

# 目 录

<b>第一章 流体流动与基本方程</b>	
<b>1.1 流体流动</b> ..... (1)	2.3.4 取向性 ..... (25)
1.1.1 稳定流动..... (1)	2.3.5 吸湿性 ..... (25)
1.1.2 不稳定流动..... (1)	2.3.6 硬化特性 ..... (26)
<b>1.2 连续性方程</b> ..... (1)	<b>2.4 塑料熔体流动特性</b> ..... (27)
<b>1.3 动量方程</b> ..... (2)	2.4.1 粘性流动行为 ..... (27)
1.3.1 欧拉运动方程..... (2)	2.4.2 影响粘性流动的因素 ..... (28)
1.3.2 纳维-斯托克斯方程 ..... (2)	2.4.3 状态方程 ..... (32)
<b>1.4 能量方程</b> ..... (4)	<b>2.5 塑料熔体的弹性表现</b> ..... (33)
<b>1.5 应变速率张量及流变方程</b> ..... (5)	2.5.1 入口效应 ..... (33)
参考文献 ..... (7)	2.5.2 口模膨胀 ..... (34)
	2.5.3 熔体破裂 ..... (34)
	<b>2.6 塑料熔体在管隙中的流动分析</b>
	..... (34)
	2.6.1 单元体与稳流假设 ..... (34)
	2.6.2 熔体在圆形单元体中的流
	动 ..... (35)
	2.6.3 熔体在矩形单元体中的流
	动 ..... (36)
	2.6.4 椭圆形截面流道 ..... (36)
	2.6.5 正三角形截面流道 ..... (37)
	2.6.6 U形截面流道 ..... (37)
	2.6.7 圆环形截面流道 ..... (38)
	2.6.8 管隙中的拖曳流动 ..... (38)
	参考文献..... (39)
<b>第二章 塑料基本性能</b>	
<b>2.1 材料特性</b> ..... (8)	
2.1.1 塑料组成..... (8)	
2.1.2 塑料分类..... (9)	
2.1.3 塑料名称与代号 ..... (11)	
2.1.4 塑料性能 ..... (11)	
<b>2.2 塑料热性能</b> ..... (14)	
2.2.1 密度和比体积 ..... (14)	
2.2.2 导热系数 ..... (14)	
2.2.3 比热容 ..... (14)	
2.2.4 热扩散率 ..... (14)	
2.2.5 热焓 ..... (14)	
2.2.6 不流动温度 ..... (16)	
2.2.7 线胀系数 ..... (16)	
2.2.8 几个特征温度 ..... (17)	
2.2.9 耐热性和耐寒性 ..... (19)	
<b>2.3 塑料可加工性能</b> ..... (21)	
2.3.1 流动性 ..... (21)	
2.3.2 收缩性 ..... (22)	
2.3.3 结晶性 ..... (24)	
	<b>第三章 塑件结构设计</b>
	<b>3.1 塑件常用成形方法</b> ..... (41)
	3.1.1 压缩成型 ..... (42)
	3.1.2 压注成型 ..... (43)
	3.1.3 注射成型 ..... (44)
	3.1.4 挤塑成型 ..... (45)
	3.1.5 成型方法选择 ..... (46)

<b>3.2 塑件几何形状设计</b> .....	(47)	<b>3.9.1 轴承材料</b> .....	(101)
3.2.1 避免侧孔与侧凹 .....	(47)	<b>3.9.2 轴承类型</b> .....	(102)
3.2.2 脱模斜度 .....	(47)	<b>3.9.3 轴承设计</b> .....	(102)
3.2.3 塑件壁厚 .....	(51)	<b>3.9.4 橡胶轴承</b> .....	(107)
3.2.4 加强筋 .....	(53)	<b>3.10 齿轮设计</b> .....	(108)
3.2.5 圆角 .....	(56)	3.10.1 齿轮结构及几何参数 ...	(108)
3.2.6 支承面 .....	(57)	3.10.2 模塑齿轮强度计算 .....	(110)
3.2.7 孔设计 .....	(57)	3.10.3 齿轮模塑成型 .....	(113)
3.2.8 凸台与角撑 .....	(60)	<b>3.11 模塑件尺寸精度与表面质量</b>	
3.2.9 边缘、平面与拱底 .....	(62)	.....	(114)
3.2.10 螺纹设计.....	(63)	3.11.1 影响尺寸精度的因素 ...	(114)
3.2.11 花纹设计.....	(66)	3.11.2 塑件尺寸公差与精度 ...	(116)
3.2.12 文字、标记与符号.....	(67)	3.11.3 塑件表面质量 .....	(119)
<b>3.3 嵌件设计</b> .....	(69)	<b>3.12 塑件设计中的 CAD</b> .....	(120)
3.3.1 嵌件的作用 .....	(69)	3.12.1 CAD 的特点及应用 .....	(120)
3.3.2 嵌件的形式 .....	(69)	3.12.2 目录编制与信息库 .....	(121)
3.3.3 嵌件设计要点 .....	(70)	3.12.3 塑件设计中的 CAD .....	(121)
<b>3.4 塑件功能设计</b> .....	(74)	3.12.4 塑件图输出及其评价 ...	(124)
3.4.1 设计目标 .....	(74)	<b>参考文献</b> .....	(124)
3.4.2 材料选用 .....	(74)		
3.4.3 结构设计 .....	(80)		
3.4.4 尺寸设计 .....	(82)		
3.4.5 性能预测 .....	(84)		
<b>3.5 联接件设计</b> .....	(84)		
3.5.1 联接的意义及特性 .....	(84)		
3.5.2 卡夹联接 .....	(86)		
3.5.3 铰链联接 .....	(87)		
<b>3.6 增强塑件设计</b> .....	(88)		
3.6.1 增强塑料的性能 .....	(88)		
3.6.2 SMC 与 BMC 制件设计 ...	(89)		
3.6.3 层压塑料制件 .....	(89)		
<b>3.7 泡沫塑件设计</b> .....	(91)		
3.7.1 泡沫塑料的特性及应用 ...	(91)		
3.7.2 泡沫塑件设计 .....	(95)		
<b>3.8 光学塑件设计</b> .....	(97)		
3.8.1 光学塑料及其应用 .....	(97)		
3.8.2 塑料的光学性能 .....	(98)		
3.8.3 光学塑件设计 .....	(98)		
<b>3.9 轴承设计</b> .....	(101)		
		<b>第四章 注射模设计</b>	
		<b>4.1 注射模概述</b> .....	(126)
		4.1.1 注射模设计的特点.....	(126)
		4.1.2 注射模组成.....	(127)
		4.1.3 注射模分类.....	(128)
		4.1.4 注射模结构.....	(128)
		4.1.5 设计注射模须考虑的	
		问题.....	(131)
		4.1.6 注射模设计程序.....	(139)
		<b>4.2 浇注系统设计</b> .....	(141)
		4.2.1 浇注系统的功能.....	(141)
		4.2.2 流道系统设计.....	(142)
		4.2.3 浇口设计.....	(146)
		4.2.4 浇口平衡.....	(159)
		4.2.5 平衡布置流道尺寸计算...	(161)
		4.2.6 非平衡布置流道尺寸	
		计算.....	(166)
		<b>4.3 分型面和排气槽设计</b> .....	(171)
		4.3.1 分型面设计.....	(171)



<b>5.6 压模结构零部件设计</b> ..... (371)	<b>7.1.1 功能与作用</b> ..... (436)
5.6.1 导向零件..... (371)	7.1.2 设计挤塑模须考虑的 问题..... (436)
5.6.2 脱模机构及其零部件..... (372)	7.1.3 设计程序..... (438)
5.6.3 侧向分型与抽芯机构..... (376)	<b>7.2 熔体流动过程分析</b> ..... (440)
5.6.4 固定板、垫板、联接件螺 纹和手柄..... (379)	7.2.1 假设与边界条件..... (440)
<b>5.7 压模加热与冷却</b> ..... (381)	7.2.2 圆形流道模拟分析..... (441)
5.7.1 压模热计算..... (381)	7.2.3 矩形流道模拟分析..... (443)
5.7.2 压模冷却..... (387)	7.2.4 有限元法分析..... (445)
5.7.3 压模温度控制..... (387)	<b>7.3 工艺装置设计</b> ..... (448)
<b>5.8 泡沫塑料压模设计</b> ..... (388)	7.3.1 挤塑机性能..... (449)
5.8.1 泡沫塑料模压特性..... (388)	7.3.2 联接器设计..... (452)
5.8.2 泡沫塑料压模设计特点... (390)	7.3.3 栅板与滤网设计..... (454)
5.8.3 泡沫塑料压模结构实例... (392)	<b>7.4 实心型材挤塑模设计</b> ..... (458)
<b>5.9 聚四氟乙烯压锭模设计</b> ..... (399)	7.4.1 棒材模设计..... (458)
5.9.1 聚四氟乙烯的加工特性... (399)	7.4.2 定型模设计..... (462)
5.9.2 压锭模设计特点..... (400)	7.4.3 焊条机头设计..... (463)
5.9.3 压锭模典型结构..... (402)	<b>7.5 空心型材挤塑模设计</b> ..... (464)
<b>5.10 压模结构实例</b> ..... (404)	7.5.1 管材模设计..... (464)
参考文献..... (410)	7.5.2 管材定型模设计..... (471)
	7.5.3 吹膜机头设计..... (474)
	7.5.4 型坯机头设计..... (480)
	<b>7.6 平缝形挤塑模设计</b> ..... (486)
	7.6.1 平缝模结构设计..... (487)
	7.6.2 平缝模流道设计..... (488)
	7.6.3 自动调节式平缝机头..... (508)
	<b>7.7 线缆包覆挤塑模设计</b> ..... (509)
	7.7.1 线缆包覆模结构类型..... (509)
	7.7.2 线缆包覆模结构设计..... (509)
	7.7.3 芯模分配系统设计..... (512)
	7.7.4 交联聚乙烯线缆包覆模 设计..... (515)
	<b>7.8 异型材挤塑模设计</b> ..... (519)
	7.8.1 异型材分类及设计原则... (519)
	7.8.2 异型材机头类型..... (520)
	7.8.3 异型材机头结构设计..... (521)
	7.8.4 异型材定型模设计..... (524)
	7.8.5 设计实例..... (532)
	<b>7.9 低发泡型材挤塑模设计</b> ..... (533)
<b>第六章 传递模设计</b>	
<b>6.1 传递成型特点</b> ..... (411)	
6.1.1 成型方法及模具结构..... (411)	
6.1.2 充模流动特点..... (412)	
<b>6.2 传递模分类</b> ..... (412)	
6.2.1 料槽式传递模..... (413)	
6.2.2 柱塞式传递模..... (413)	
6.2.3 螺杆预塑式传递模..... (416)	
<b>6.3 传递模设计</b> ..... (416)	
6.3.1 加料室设计..... (416)	
6.3.2 压料柱塞设计..... (422)	
6.3.3 浇注系统设计..... (424)	
6.3.4 排气槽设计..... (428)	
<b>6.4 传递模结构实例</b> ..... (429)	
参考文献..... (435)	
<b>第七章 挤塑模设计</b>	
<b>7.1 设计目标与步骤</b> ..... (436)	



7.9.1 低发泡型材的发泡方法… (534)	8.2.6 宽深比与引伸比… (595)
7.9.2 发泡型材挤塑模结构 类型… (534)	8.2.7 尺寸精度… (596)
7.9.3 模腔流道设计… (535)	8.2.8 修边考虑… (597)
<b>7.10 其他挤塑模设计</b> … (536)	<b>8.3 吸塑成型模具设计</b> … (597)
7.10.1 喷丝机头设计 … (536)	8.3.1 模具设计参数… (597)
7.10.2 造粒机头设计 … (537)	8.3.2 型面粗糙度考虑… (600)
7.10.3 挤网机头设计 … (539)	8.3.3 边缘密封设计… (600)
<b>7.11 共挤塑模设计</b> … (541)	8.3.4 加热与冷却设计… (600)
7.11.1 共挤特性与工艺原理 … (541)	<b>8.4 压空成型模具设计</b> … (603)
7.11.2 共挤塑模结构类型 … (541)	8.4.1 排气孔设计… (603)
7.11.3 多层共挤流动模拟 分析 … (542)	8.4.2 吹气孔设计… (604)
<b>7.12 挤塑模加热与压力测量</b> … (552)	8.4.3 型刃设计… (605)
7.12.1 加热功率计算 … (552)	8.4.4 缓冲垫设置… (606)
7.12.2 加热方式选择 … (553)	8.4.5 锁模力计算… (607)
7.12.3 温度控制与调节 … (555)	<b>8.5 热成型模具用材料</b> … (607)
7.12.4 机头压力测量 … (555)	8.5.1 模具选材原则… (607)
<b>7.13 挤塑模机械设计</b> … (556)	8.5.2 非金属材料… (607)
7.13.1 机械设计基本原则 … (556)	8.5.3 金属材料… (608)
7.13.2 圆形流道挤塑模机械 设计 … (557)	8.5.4 特种塑料模用材料… (609)
7.13.3 平缝形流道挤塑模机械 设计 … (561)	8.5.5 模具用材性能比较… (610)
7.13.4 挤塑模用材料选择 … (566)	<b>参考文献</b> … (611)
<b>7.14 挤塑模结构设计实例</b> … (567)	
<b>参考文献</b> … (575)	

## 第八章 热成型模具设计

<b>8.1 热成型及应用</b> … (576)
8.1.1 热成型特点… (576)
8.1.2 热成型方法… (577)
8.1.3 热成型应用… (590)
<b>8.2 制品设计及其工艺特性</b> … (591)
8.2.1 几何形状设计… (591)
8.2.2 脱模斜度… (592)
8.2.3 凹槽设计… (593)
8.2.4 圆角设计… (593)
8.2.5 片材选择… (594)

## 第九章 中空吹塑模设计

<b>9.1 中空吹塑成型及其应用</b> … (612)
9.1.1 中空吹塑成型方法… (612)
9.1.2 中空吹塑工艺特性… (613)
9.1.3 中空吹塑制品常用塑料… (616)
9.1.4 中空吹塑制品的应用… (622)
<b>9.2 中空吹塑制品设计</b> … (622)
9.2.1 圆形容器的设计… (622)
9.2.2 方形容器的设计… (623)
9.2.3 椭圆形容器的设计… (623)
9.2.4 异形容器的设计… (623)
9.2.5 垂直载荷强度考虑… (624)
9.2.6 圆角与瓶底内凹设计… (626)
9.2.7 容器刚性设计… (626)
9.2.8 瓶口螺纹设计… (626)
9.2.9 嵌件设计… (628)
9.2.10 按加工特性设计 … (628)

9.2.11 按使用要求设计 .....	(629)	(GB4169.7—84) .....	(655)
9.2.12 多层复合与表面装饰 设计 .....	(630)	<b>10.3 导柱与导套</b> .....	(656)
<b>9.3 挤出吹塑模设计</b> .....	(630)	10.3.1 导柱类型及标准 .....	(656)
9.3.1 吹塑模结构特征 .....	(630)	10.3.2 导套类型及标准 .....	(660)
9.3.2 模口螺纹设计 .....	(631)	10.3.3 应用举例 .....	(663)
9.3.3 模底夹口设计 .....	(631)	<b>10.4 推出零件</b> .....	(663)
9.3.4 合模线设计 .....	(632)	10.4.1 推杆类型及标准 .....	(663)
9.3.5 模腔内表面设计 .....	(633)	10.4.2 推管及尺寸系列 .....	(668)
9.3.6 模腔排气考虑 .....	(633)	10.4.3 复位杆及尺寸系列 .....	(669)
9.3.7 冷却系统设计 .....	(634)	10.4.4 推板尺寸及标准 (GB4169.7—84) .....	(670)
<b>9.4 挤拉吹塑技术</b> .....	(635)	10.4.5 垫块 .....	(671)
9.4.1 型坯口模尺寸确定 .....	(635)	10.4.6 限位钉 .....	(672)
9.4.2 型坯温度控制 .....	(637)	10.4.7 支承柱 .....	(673)
<b>9.5 注射吹塑模设计</b> .....	(637)	<b>10.5 定位圈与浇口套</b> .....	(674)
9.5.1 芯棒设计 .....	(637)	10.5.1 定位圈标准及应用举例 .....	(674)
9.5.2 吹塑型坯设计 .....	(638)	10.5.2 浇口套标准及应用举例 .....	(675)
9.5.3 型坯模腔设计 .....	(639)	<b>10.6 拉料杆</b> .....	(678)
9.5.4 型坯模计算 .....	(641)	10.6.1 主流道拉料杆标准及 应用举例 .....	(678)
9.5.5 喷嘴与支管设计 .....	(641)	10.6.2 流道拉料杆标准及应用 举例 .....	(679)
9.5.6 吹塑模设计 .....	(642)	<b>10.7 标准模架 CAD 图形库系统</b> .....	(681)
9.5.7 吹模底塞设计 .....	(643)	10.7.1 图形库内涵及功能 .....	(681)
9.5.8 脱模板设计 .....	(643)	10.7.2 图形库系统结构 .....	(682)
9.5.9 模具组合考虑 .....	(643)	10.7.3 图形库系统技术 .....	(683)
<b>9.6 注拉吹塑成型技术</b> .....	(644)	参考文献 .....	(685)
9.6.1 注拉吹塑成型工艺 .....	(644)		
9.6.2 注拉吹塑型坯设计 .....	(645)		
9.6.3 瓶坯脱模力计算 .....	(648)		
9.6.4 型坯模弦度校核 .....	(650)		
9.6.5 浇注系统设计与加热 计算 .....	(650)		
9.6.6 冷却系统参数校核 .....	(651)		
参考文献 .....	(653)		

## 第十章 塑料模具结构零件及标准

<b>10.1 标准化的重要性</b> .....	(654)
10.1.1 模具标准化的意义 .....	(654)
10.1.2 塑料模具标准化现状 .....	(654)
<b>10.2 模板尺寸系列标准</b>	

## 第十一章 塑料模 CAD/CAM

<b>11.1 概述</b> .....	(686)
<b>11.2 CAD/CAM 系统配置</b> .....	(687)
11.2.1 CAD/ CAM 系统硬件 .....	(687)
11.2.2 CAD/ CAM 系统软件 .....	(691)
11.2.3 CAD/ CAM 软件功能 比较与分析 .....	(692)
<b>11.3 塑料模 CAD/CAM 系统构型</b> .....	(695)
11.3.1 塑料模 CAD/ CAM 系 统的工作流程 .....	(695)

## 第十三章 注射模 CAE

11.3.2 塑料模 CAD/ CAM 系统的典型构型 .....	(698)	13.1 充模过程的数学描述 .....	(744)
11.4 系统集成及其关键技术 .....	(700)	13.1.1 充模过程的基本方程 .....	(744)
11.4.1 CAD/ CAM 系统集成 .....	(700)	13.1.2 基本方程的简化 .....	(746)
11.4.2 CAD/ CAM 技术关键 .....	(703)	13.1.3 数学模型及边界条件 .....	(746)
11.5 CAD/CAM 技术发展趋势 .....	(704)	13.1.4 塑料熔体的粘度模型 .....	(749)
参考文献 .....	(706)	13.2 一维流动分析 .....	(750)
<b>第十二章 注射模结构 CAD</b>		13.3 二维流动分析 .....	(751)
12.1 CAD 的内容及特点 .....	(707)	13.4 三维流动分析 .....	(752)
12.1.1 注射模结构 CAD 的内容 .....	(707)	13.4.1 压力场有限元方程 .....	(753)
12.1.2 注射模结构 CAD 的特点 .....	(707)	13.4.2 熔体流动前沿位置的确定 .....	(755)
12.2 注射模结构 CAD 中的数据		13.4.3 温度场计算 .....	(755)
处理 .....	(708)	13.4.4 数值计算过程 .....	(757)
12.2.1 注射模结构 CAD 中数据类型 .....	(708)	13.5 保压过程分析 .....	(758)
12.2.2 数据流图 .....	(710)	13.6 冷却过程分析 .....	(761)
12.2.3 数据库管理技术 .....	(711)	13.6.1 一维冷却分析 .....	(762)
12.3 注射模 CAD 中的几何造型 .....	(718)	13.6.2 二维冷却分析 .....	(765)
12.3.1 几何造型方法 .....	(718)	13.6.3 三维冷却分析 .....	(767)
12.3.2 几何造型特点 .....	(721)	参考文献 .....	(771)
12.3.3 形体模式与数据结构 .....	(721)	<b>第十四章 注射模软件开发与应用</b>	
12.4 模具图的生成 .....	(726)	14.1 注射模软件概述 .....	(772)
12.4.1 型腔、型芯形状生成 .....	(726)	14.2 H-Mold 总体结构 .....	(773)
12.4.2 模具图的生成 .....	(727)	14.3 图形输入软件 .....	(774)
12.5 流道系统交互设计 .....	(728)	14.3.1 模腔图形输入软件 .....	(774)
12.5.1 流道分类及平衡分析		14.3.2 模腔尺寸换算 .....	(775)
准则 .....	(729)	14.3.3 二维模腔图形输入 .....	(775)
12.5.2 流道系统平衡设计 .....	(729)	14.3.4 三维模腔图形输入 .....	(776)
12.6 结构零件强度与刚度校核 .....	(736)	14.4 结构设计软件 .....	(777)
12.6.1 校核准则 .....	(736)	14.4.1 结构设计软件结构 .....	(777)
12.6.2 计算方法 .....	(737)	14.4.2 标准模架选择及编码 .....	(778)
12.7 专家系统在注射模中的应用 .....	(741)	14.4.3 成型零件设计及程序处理 .....	(780)
12.7.1 专家系统结构简介 .....	(741)	14.5 参数化图形库的应用 .....	(782)
12.7.2 在注射模中的应用 .....	(741)	14.5.1 图形库构成及其数据结构 .....	(782)
参考文献 .....	(743)	14.5.2 参数化图形库实现方法 .....	(783)

<b>14.6 充模流动模拟软件</b> .....	(784)	<b>15.5 成型缺陷及对策</b> .....	(812)
14.6.1 流动模拟软件总体结构...	(784)	15.5.1 影响成型的因素 .....	(812)
14.6.2 简易流动分析 .....	(784)	15.5.2 常见塑件缺陷与措施 ...	(813)
14.6.3 详细流动分析 .....	(784)	15.5.3 因素分析与对策 .....	(821)
14.6.4 成型工艺条件分析 .....	(785)	<b>15.6 试模结论</b> .....	(821)
14.6.5 保压分析 .....	(785)	15.6.1 模具结构不尽合理 .....	(822)
14.6.6 流动软件的层次及作用...	(786)	15.6.2 制造精度不符合要求 ...	(824)
14.6.7 输入数据的准备 .....	(787)	15.6.3 配套部分不完善 .....	(825)
14.6.8 输出结果的指导意义 ...	(787)	15.6.4 移交生产 .....	(826)
<b>14.7 冷却模拟软件</b> .....	(788)	参考文献 .....	(826)
14.7.1 冷却模拟软件总体 结构 .....	(788)	<b>第十六章 模具验收、维修及保养</b>	
14.7.2 稳态冷却分析 .....	(789)	<b>16.1 模具验收</b> .....	(827)
14.7.3 非稳态冷却分析 .....	(789)	16.1.1 塑件验收 .....	(827)
14.7.4 商品化冷却模拟软件 ...	(789)	16.1.2 模具验收 .....	(832)
参考文献 .....	(791)	<b>16.2 模具管理</b> .....	(836)
<b>第十五章 试模与投产</b>		16.2.1 模具档案 .....	(836)
<b>15.1 概述</b> .....	(792)	16.2.2 模具使用及保养 .....	(836)
<b>15.2 注射机选用</b> .....	(792)	16.2.3 模具存放前的修整 .....	(838)
15.2.1 锁模力校核 .....	(792)	16.2.4 模具存放及管理 .....	(838)
15.2.2 注射容量校核 .....	(794)	<b>16.3 模具维修</b> .....	(839)
15.2.3 顶出机构校核 .....	(795)	16.3.1 常见磨损及修复 .....	(839)
15.2.4 其他因素考虑 .....	(796)	16.3.2 意外损坏及修复 .....	(841)
15.2.5 注射机空行程试验 .....	(797)	参考文献 .....	(842)
<b>15.3 模具安装</b> .....	(798)	<b>第十七章 塑料模具的价格估算</b>	
15.3.1 模具检检 .....	(798)	<b>17.1 影响模具价格的因素</b> .....	(843)
15.3.2 吊环螺钉 .....	(800)	17.1.1 生产成本 .....	(843)
15.3.3 模具吊装 .....	(800)	17.1.2 供货周期 .....	(843)
15.3.4 安装方位 .....	(800)	17.1.3 市场状况 .....	(843)
15.3.5 模具紧固 .....	(802)	17.1.4 高技术成分 .....	(844)
15.3.6 调整锁模机构 .....	(802)	17.1.5 模具寿命 .....	(844)
15.3.7 模具空循环试验 .....	(803)	<b>17.2 模具价格简易估算法</b> .....	(844)
15.3.8 模具配套件安装 .....	(804)	17.2.1 经验估算法 .....	(844)
15.3.9 模具预热 .....	(804)	17.2.2 材料价格系数法 .....	(845)
<b>15.4 塑料选用及工艺条件拟定</b> ...	(804)	17.2.3 类比法 .....	(845)
15.4.1 塑料选用 .....	(804)	<b>17.3 模具价格详细计算法</b> .....	(845)
15.4.2 工艺条件拟定 .....	(805)	17.3.1 塑料模具价格构成 .....	(846)
15.4.3 试模工艺条件的倾向性...	(807)	17.3.2 塑料模具价格计算方法...	(846)

17.3.3 塑料模具价格计算公式…(847) 参考文献 .....	(853)
------------------------------------	-------

## 第十八章 塑料模具设计基础

<b>18.1 材料与基本数据</b> .....	(854)
表 18.1-1 塑料名称与缩写代号对照 .....	(854)
表 18.1-2 材料幂律参数 .....	(856)
表 18.1-3 热塑性塑料性能 .....	(860)
表 18.1-4 热固性塑料性能 .....	(875)
<b>18.2 塑料制品设计数据</b> .....	(881)
表 18.2-1 模塑件尺寸公差标准(GB/ T 14486-93) .....	(881)
表 18.2-2 塑件几何剖面及力学特性 .....	(883)
表 18.2-3 横梁方程式 .....	(890)
表 18.2-4 平板方程式 .....	(897)
表 18.2-5 压杆受力稳定性计算公式 .....	(905)
<b>18.3 塑料管材标准</b> .....	(906)
表 18.3-1 RPVC 管材规格及尺寸公差(GB4219-84) .....	(906)
表 18.3-2 德国 RPVC 管材系列标准 .....	(909)
表 18.3-3 SPVC 管材规格及尺寸公差 .....	(910)
表 18.3-4 PP 管材规格及尺寸公差 .....	(911)
表 18.3-5 PE 管材规格及尺寸公差 .....	(911)
<b>18.4 塑料模具设计的力学特性</b> .....	(912)
表 18.4-1 模腔刚性计算的允许变形量 $\delta$ .....	(912)
表 18.4-2 常用模具钢的机械性能 .....	(912)
表 18.4-3 常用铝合金的基本性能 .....	(915)
表 18.4-4 常用弹簧钢的化学成分及基本性能 .....	(916)
表 18.4-5 易切结构钢的基本性能 .....	(916)
表 18.4-6 德国塑料模具钢 .....	(916)
表 18.4-7 日本塑料模具钢 .....	(917)
表 18.4-8 美国塑料模具钢 .....	(917)
表 18.4-9 国内外常用模具钢牌号对照表 .....	(918)
<b>18.5 公差与配合</b> .....	(918)
表 18.5-1 标准公差数值(GB1800-79) .....	(918)
表 18.5-2 常用孔的优先极限偏差(GB1801-79) .....	(920)
表 18.5-3 常用轴的优先极限偏差(GB1801-79) .....	(924)
表 18.5-4 大尺寸孔的极限偏差(GB1802-79) .....	(929)
表 18.5-5 大尺寸轴的极限偏差(GB1802-79) .....	(931)
表 18.5-6 未注公差尺寸的极限偏差(GB1804-79) .....	(933)
<b>18.6 形位公差与表面粗糙度</b> .....	(935)
表 18.6-1 平行度、垂直度、倾斜度公差值(GB1184-80) .....	(935)



表 18.6-2	直线度、平面度公差值(GB1184-80)	(936)
表 18.6-3	圆度、圆柱度公差值(GB1184-80)	(936)
表 18.6-4	同轴度、对称度、圆跳动、全跳动公差值(GB1184-80)	(937)
表 18.6-5	未注形位公差的公差值(GB1184-80)	(938)
表 18.6-6	表面粗糙度数值系列(GB3505-83)	(938)
表 18.6-7	表面光洁度与表面粗糙度第一系列代号对照参考表	(939)
表 18.6-8	表面粗糙度代(符)号(GB1031-83)	(940)
表 18.6-9	公差等级与表面粗糙度数值	(940)
<b>18.7</b>	<b>弹簧与聚氨酯弹性体</b>	(941)
表 18.7-1	圆柱螺旋压缩弹簧的尺寸系列(GB1358-78)	(941)
表 18.7-2	圆柱螺旋压缩弹簧计算	(941)
表 18.7-3	碟形弹簧的尺寸和参数(GB1972-80)	(945)
表 18.7-4	碟形弹簧的组合方式和计算公式(GB1972-80)	(946)
表 18.7-5	聚氨酯弹性体的尺寸(HG2867.9-81)	(947)
表 18.7-6	聚氨酯弹性体压缩量与工作负荷的关系	(948)
<b>18.8</b>	<b>联接紧固件</b>	(948)
表 18.8-1	螺栓、螺钉和螺柱性能等级及其力学性能(GB3098-82)	(948)
表 18.8-2	螺栓的保证载荷(GB3098.1-82)	(949)
表 18.8-3	常用螺栓结构尺寸	(950)
表 18.8-4	常用螺钉结构尺寸	(954)
表 18.8-5	常用螺母结构尺寸	(963)
表 18.8-6	定位销结构尺寸	(965)
<b>18.9</b>	<b>管件与密封</b>	(967)
表 18.9-1	快速接头(JB/ZQ4434-86)	(967)
表 18.9-2	螺塞规格	(975)
表 18.9-3	过渡接头(JB/ZQ4437-86)	(978)
表 18.9-4	联接螺母(JB/ZQ4438-86)	(979)
表 18.9-5	液压气动用 O 形橡胶密封圈	(980)
<b>18.10</b>	<b>注射模模架标准</b>	(982)
18.10.1	中小型模架标准	(982)
18.10.2	大型模架标准	(985)
<b>18.11</b>	<b>液压机性能及规格</b>	(991)
<b>18.12</b>	<b>国产注射机性能及规格</b>	(999)
参考文献		(1006)

# 第一章 流体流动与基本方程

随着高分子材料科学与工程的研究和发展,塑料模具设计的理论基础日益明了。由于绝大多数塑料加工中,涉及到熔体流动和传热这些输送过程,因而聚合物熔体流变学的重要性,就越来越为塑料模具设计师所承认和理解。为此,有必要将流体流动及其基本方程做一概略回顾,以便在后续各章中灵活应用。

## 1.1 流体流动

### 1.1.1 稳定流动

凡流体在其输送通道中流动时,若该流体在任何部位的流动状况均保持恒定,不随时间而变化,即一切影响流体流动的因素,均不随时间而改变,此种流动称为稳定流动。所谓稳定流动,并非是流体在各部位的速度以及物理状态都相同,而是指在任何一定部位,它们均不随时间而变化。例如在正常操作的挤塑模具中,塑料熔体沿模腔流道向前的流动,就属稳定流动。因其流速、流量、压力及温度分布等,各种参数均不随时间而变化。

### 1.1.2 不稳定流动

凡流体在其输送通道中流动时,其流动状况均随时间而变化,即一切影响流动的各种因素均随时间而变化,此种流动称之为不稳定流动。例如,在注塑模的充模过程中,塑料熔体的流动,就属于不稳定流动。因为此时在模腔内的流动速度、温度、压力等,各种影响流动的因素均随时间而变化。因此,通常把塑料熔体的充模流动,认为是典型的不稳定流动。

## 1.2 连续性方程

连续性方程是质量守恒定律,应用于流体流动的一种数学表达式。

根据质量守恒原理,一个密封系统的质量保持恒定,其体积单元内密度随时间的局部增减,必然完全反映在物料进入或离开该处的流动速率上,这样才能使体积单元内密度的总变化率为零。为此,各种流动的连续性方程,如表 1.2-1 所示。

表 1.2-1 连续性方程<sup>①</sup>

流动类型		可压缩非定常流动	可压缩定常流动	不可压缩流动	
一般微分形式	矢量式	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \mathbf{v}) = 0$	$\nabla(\rho \mathbf{v}) = 0$	$\nabla \mathbf{v} = 0$	
	标量式	直角坐标系	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$
		圆柱坐标系	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r \rho v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0$	$\frac{1}{r} \frac{\partial(r \rho v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0$	$\frac{1}{r} \frac{\partial(r v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$
用于管道的形式	微分式	$A \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho VA)}{\partial t} = 0$	$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dV}{V} + \frac{dA}{A} = 0$	$\frac{dV}{V} + \frac{dA}{A} = 0$	
	代数式	$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = Q_m(t)$	$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = Q_m = \text{常数}$	$V_1 A_1 = V_2 A_2 = Q = \text{常数}^{\text{②}}$	
	说明	<p>A—过流断面面积, 其不随时间变化  V—过流断面上的平均流速  ρ—过流断面上的平均密度  <math>Q_m(t)</math>—随时间变化的质量流量</p>			

①表中各式对理想流体和粘性流体都适用。  
②对于非定常流, Q 随时间变化。

## 1.3 动量方程

动量方程, 也称运动方程。它是牛顿第二定律应用于流体流动的一种数学表达式。通常可描述为欧拉运动方程和奈维-斯托克斯方程。

### 1.3.1 欧拉运动方程

理想流体的动量方程, 简称欧拉运动方程。它是假定在流体内, 无内摩擦力的条件下, 被推导出来的微分方程, 其数学表达式见表 1.3-1。

### 1.3.2 纳维-斯托克斯方程

纳维-斯托克斯方程是粘性流体的运动微分方程。

根据牛顿粘性定律, 粘性流体流动时会产生内摩擦力。这种内摩擦力就是液体流动所产生的剪切应力, 且等于粘度与速度梯度的乘积。于是实际流体流动时, 除了作用在流体上的重力与压力外, 还应增加内摩擦力这一项。

实际上, 根据牛顿第二定律的要求, 单元流体动量增加的速率等于作用在单元流体上力的总和。因此, 纳维-斯托克斯方程有如表 1.3-2 所示的各种数学表达式。

表 1.3-1 欧拉运动方程

矢量式	$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \frac{v^2}{2} - \mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{v}) = \mathbf{F}_m - \frac{1}{\rho} \nabla p$	
标 量 式	直角坐标系	x-分量 $\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$
		y-分量 $\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$
		z-分量 $\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$
	圆柱坐标系	r-分量 $\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\theta^2}{r} = R - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}$
		$\theta$ -分量 $\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{v_r v_\theta}{r} = \Theta - \frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \theta}$
		z-分量 $\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$
说 明	X、Y、Z—单位质量的质量力在 x、y、z 坐标轴向的分量 R、 $\Theta$ 、Z—单位质量的质量力在 r、 $\theta$ 、z 坐标轴向的分量	
注: 1. 以上各式对于可压缩流动和不可压缩流动都适用。 2. 对于定常流动, 各式中的 $\frac{\partial}{\partial t}$ 项为零。		

表 1.3-2 纳维-斯托克斯方程

流动类型	可压缩非定常流动	不可压缩定常流动
矢量式	$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \frac{v^2}{2} - \mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{v}) = \mathbf{F}_m - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\nu}{3} \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v}) + \nu \nabla^2 \mathbf{v}$	$\nabla \frac{v^2}{2} - \mathbf{v} \times (\nabla \times \mathbf{v}) = \mathbf{F}_m - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v}$
标 量 式	x 分量 $\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \nu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right)$	$v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right)$
	y 分量 $\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \nu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right)$	$v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right)$
	z 分量 $\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \nu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$	$v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$

流动类型	可压缩非定常流动	不可压缩定常流动
圆柱坐标系	R分量 $\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\theta^2}{r} = R - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}$ $+ \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \nu \left( \frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r}{r^2} \right)$	$v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\theta^2}{r} = R - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}$ $+ \nu \left( \frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} - \frac{v_r}{r^2} \right)$
	$\theta$ 分量 $\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{v_r v_\theta}{r} = \Theta - \frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \theta}$ $+ \frac{\nu}{3r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \nu \left( \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} \right)$	$v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{v_r v_\theta}{r} = \Theta - \frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \theta}$ $+ \nu \left( \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r^2} \right)$
	$z$ 分量 $\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$ $+ \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \nu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$	$v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$ $+ \nu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$
说明	X、Y、Z—单位质量的质量力在 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 坐标轴向的分量 R、 $\Theta$ 、Z—单位质量的质量力在 $r$ 、 $\theta$ 、 $z$ 坐标轴向的分量	
	以上各式中的运动粘度 $\nu$ ，假定在流场中处处相等。	

## 1.4 能量方程

表示能量守恒的数学方程，称之为能量方程。

能量方程，以具体体现热力学第一定律中能量守恒原理为基础。该方程可用张量符号表示为总能量的变化率等于进入该体积的内能、功和热三者之和，即

$$\rho C_v \frac{dT}{dt} = -[\nabla \cdot \mathbf{q}] - T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho [\nabla \cdot \mathbf{v}] + [\boldsymbol{\tau} : \nabla \cdot \mathbf{v}] \quad (1.4-1)$$

式中  $C_v$ ——定容比热容；

$\mathbf{q}$ ——导热通量向量，由热传导的傅里叶定律给定，见表 1.4-1；

$\lambda$ ——流体导热系数。

对于可压缩流体(如气体)来说， $[\nabla \cdot \mathbf{v}]$ 显然是十分重要的。但对于我们将要讨论的塑料熔体，常可假定为不可压缩，即 $[\nabla \cdot \mathbf{v}] = 0$ 。因此，能量方程可大大简化。表 1.4-2 给出了张量形式能量方程的展开式。展开式有许多项，极其麻烦，但通常可视具体条件予以简化。



表 1.4-1 导热通量向量展开式

直角坐标系	柱面坐标系	球面坐标系
$q_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$	$q_r = -\lambda \frac{\partial T}{\partial r}$	$q_r = -\lambda \frac{\partial T}{\partial r}$
$q_y = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$	$q_\theta = -\lambda \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta}$	$q_\theta = -\lambda \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta}$
$q_z = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}$	$q_z = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}$	$q_\varphi = -\lambda \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial T}{\partial \varphi}$

表 1.4-2 能量方程展开式

<p>·直角坐标系</p> $\rho C_v \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left[ \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right]$ $- T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \left\{ \tau_{xx} \frac{\partial v_x}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial v_y}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial v_z}{\partial z} \right\}$ $+ \left\{ \tau_{xy} \left( \frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) + \tau_{xz} \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) + \tau_{yz} \left( \frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) \right\}$
<p>·柱面坐标系</p> $\rho C_v \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = - \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r q_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial q_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right]$ $- T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right)$ $+ \left\{ \tau_{rr} \frac{\partial v_r}{\partial r} + \tau_{\theta\theta} \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_r \right) + \tau_{zz} \frac{\partial v_z}{\partial z} \right\} + \left\{ \tau_{r\theta} \left[ r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{v_\theta}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right] \right.$ $\left. + \tau_{rz} \left( \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) + \tau_{\theta z} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) \right\}$
<p>·球面坐标系</p> $\rho C_v \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + \frac{v_\varphi}{r \sin \theta} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right)$ $= - \left[ \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 q_r) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (q_\theta \sin \theta) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial q_\varphi}{\partial \varphi} \right]$ $- T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_\rho \left( \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 v_r) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (v_\theta \sin \theta) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \right)$ $+ \left\{ \tau_{rr} \frac{\partial v_r}{\partial r} + \tau_{\theta\theta} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r}{r} \right) + \tau_{\varphi\varphi} \left( \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{v_r}{r} + \frac{v_\theta \cot \theta}{r} \right) \right\}$ $+ \left\{ \tau_{r\theta} \left( \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta}{r} \right) + \tau_{r\varphi} \left( \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} - \frac{v_\varphi}{r} \right) \right.$ $\left. + \tau_{\theta\varphi} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \theta} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial v_\theta}{\partial \varphi} - \frac{\cot \theta}{r} v_\varphi \right) \right\}$

## 1.5 应变速率张量及流变方程

考虑到应力张量  $\tau$  的性质,应变速率  $\dot{\gamma}$  也必然是一种张量。因为它既有大小,又有方向。我们用符号“ $\Delta$ ”表示应变速率张量,则可分别写出牛顿流体和幂律流体(假定为不可压缩)的流变方程:

$$\begin{aligned} \tau &= \mu \Delta \\ \tau &= \eta \Delta \end{aligned} \quad (1.5-1)$$

应变速率张量的分量为

$$\Delta_{ij} = \left( \frac{\partial v_i}{\partial j} \right) \left( \frac{\partial v_j}{\partial i} \right) \quad (1.5-2)$$

按照定义, 虽然牛顿流体的粘度  $\mu$  与剪切速率  $\dot{\gamma}$  无关, 但幂律流体的粘度  $\eta$  却依赖于剪切速率  $\dot{\gamma}$ 。因为粘度是纯量, 它只可能是应变速率张量中纯量不变量的函数。即这些纯量的大小不随坐标旋转而变化。这样的不变量共有三个, 它们是:

$$\left. \begin{aligned} \text{I}_{\Delta} &= \Delta_{ii} \\ \text{II}_{\Delta} &= \Delta_{ij}\Delta_{ji} \\ \text{III}_{\Delta} &= \begin{vmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \Delta_{13} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} & \Delta_{23} \\ \Delta_{31} & \Delta_{32} & \Delta_{33} \end{vmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (1.5-3)$$

在上述方程中, 若对重复下标求和, 便能很简单地证明:

对于不可压缩流体  $\text{I}_{\Delta} = 0$

对于简单剪切流动  $\text{III}_{\Delta} = 0$  且  $\text{II}_{\Delta} = 2\dot{\gamma}^2$

在简单剪切流动中,  $v_x$  为唯一非零速度分量,  $\frac{\partial v}{\partial y}$  是  $v_x$  唯一的非零导数。

对于幂律流体

$$\eta = K \left( \frac{1}{2} \text{II}_{\Delta} \right)^{\frac{n-1}{2}} \quad (1.5-4)$$

将上式代入方程(1.5-1), 便得幂律流体的流变方程表达式

$$\tau = K \left( \frac{1}{2} \text{II}_{\Delta} \right)^{\frac{n-1}{2}} \Delta \quad (1.5-5)$$

表 1.5-1 列出了函数  $\left( \frac{1}{2} \text{II}_{\Delta} \right)$  在相应坐标系的全面展开式。虽然这些展开式有许多项, 但在塑料模设计的简单剪切流动中, 其中大多数项为零, 使其表达式大为简化。尽管这样做可能会降低精度, 但在本书各章节的论述中, 仍将采用简化处理的手法。因为这样简化的结果, 能完全满足工程实际中的精度要求。

表 1.5-1 函数  $\left( \frac{1}{2} \text{II}_{\Delta} \right)$  的展开式

·直角坐标系
$\left( \frac{1}{2} \text{II}_{\Delta} \right) = 2 \left[ \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_y}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[ \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \left( \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) \right]^2$
·柱面坐标系
$\left( \frac{1}{2} \text{II}_{\Delta} \right) = 2 \left[ \left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_{\theta}}{\partial \theta} \right) + \frac{v_r}{r} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} \right)^2 \right]$ $+ \left[ r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{v_{\theta}}{r} \right) + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right) \right]^2 + \left[ \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_x}{\partial \theta} \right) + \left( \frac{\partial v_{\theta}}{\partial z} \right) \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) + \left( \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) \right]^2$

·球面坐标系

$$\begin{aligned} \left( \left( \frac{1}{2} \right) \Pi_{\Delta} \right) = & 2 \left[ \left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_{\theta}}{\partial \theta} \right) + \frac{v_r}{r} \right)^2 + \left( \frac{1}{r \sin \theta} \left( \frac{\partial v_{\varphi}}{\partial \varphi} \right) + \frac{v_r}{r} + \frac{v_{\theta} \cot \theta}{r} \right)^2 \right] \\ & + \left[ r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{v_{\theta}}{r} \right) + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right) \right]^2 \\ & + \left[ \frac{\sin \theta}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{v_{\varphi}}{\sin \theta} \right) + \frac{1}{r \sin \theta} \left( \frac{\partial v_{\theta}}{\partial \theta} \right) \right]^2 + \left[ \frac{1}{r \sin \theta} \left( \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \right) + r \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{v_{\varphi}}{r} \right) \right]^2 \end{aligned}$$

### 参 考 文 献

- 1 Tadmor Z. & Gogos. C.G. Principles of Polymer Processing. John Wiley, 1979
- 2 Lenk R. S. Polymer Rheology. Applied Science Publishers LTD. 1978
- 3 Han C. D. Rheology in Polymer Processing. Academic Press, 1978
- 4 Middleman S. Fundamentals of Polymer Processing. McGraw-Hill, 1977
- 5 丁浩主编. 塑料加工基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1981
- 6 吴松盛主编. 机械工程手册. 机械工业出版社, 1984
- 7 林师沛编著. 塑料加工流变学. 成都科技大学出版社, 1989
- 8 唐志玉编著. 塑料模流变学设计. 北京: 国防工业出版社, 1991
- 9 唐志玉编著. 挤塑模设计. 北京: 化学工业出版社, 1997

## 第二章 塑料基本性能

### 2.1 材料特性

#### 2.1.1 塑料组成

塑料属于有机高分子材料，其基本成分是天然树脂或合成树脂。树脂是高分子化合物，其分子由无数个单体单元构成，这些单体单元称为链节。树脂的一个分子中可以包含数百、数千、数万甚至数十万个链节，因此树脂的相对分子质量（即分子量）可以由数万、数十万到数百万。这些链节相互连接构成很长的链状分子。在固化后的热固性塑料中，树脂的每个链状分子之间又可以以化学键相连接，构成三度的网状结构大分子。

树脂的一个大分子中所含链节数称为聚合度。一种树脂的无数个大分子中，聚合度会有很大差别，使相对分子质量有颇大差别，称为相对分子质量的多分散性。这是由于生成树脂时，单体之间的反应过程中，分子链的增长是一个随机过程，又受多种复杂因素影响，使各个大分子的链长有颇大差别。因此，树脂的相对分子质量总是用平均值来表示。同一种树脂，平均相对分子质量相同，相对分子质量的分散性可能会有差别。平均相对分子质量和相对分子质量分散度对树脂的许多性能，从而对塑料的许多性能，特别是力学性能，例如拉伸和冲击强度、弹性、流动性等都有重大影响。平均相对分子质量愈大，力学性能愈好，流动性愈差。平均相对分子质量相同，相对分子质量分散性愈小，力学性能愈好。

大部分树脂的分子主链由—C—C—骨架组成，有些树脂的主链—C—C—骨架上含

有按一定规律分布的—O—键（醚键）或 $\begin{array}{c} \text{O} \\ | \\ \text{—S—} \\ | \\ \text{O} \end{array}$ （砜基）、 $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{—O—C—} \end{array}$ （酯基）、

$\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{—NH—C—} \end{array}$ （酰胺基）、—S—

$\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{—C—} \end{array}$ （羰基）或其它杂环。在主链碳原子侧旁上连接的可以是氢原子，也可以是其它原子或某种基团（称为侧基或侧原子），或者在很长的分子主链上可以稀疏地连接有或长或短的侧支链，这就使得不同品种的树脂由于主链结构、侧取代基（或侧原子）的不同，物理、化学性能和其它性能有颇大差别。即使是同一品种树脂，由于侧支链稀疏程度和长度的不同，性能也有明显差别。

根据需要，树脂中可以加入称为助剂的其它成分，成为塑料配料，以改善或调节性

能。常用的助剂有填料、增强剂、增塑剂、润滑剂、着色剂、抗氧剂、光稳定剂、固化剂、阻燃剂、泡沫塑料中还需加入发泡剂等。并非所有塑料配料中都必须加入上述各种助剂，而是根据塑料的预定用途和树脂的基本性能有选择地加入某些助剂，也有不加助剂以纯树脂形式使用的塑料。

不同塑料品种之间，不仅由于树脂主链化学组成和结构、侧取代基化学组成和排列规律（构型）的不同有颇大差别，以同一树脂为基础的塑料，所含助剂品种数量不同，性能亦有很大不同，这使得塑料的品种、品级出现了多样性，性能和应用范围有很大差别。

### 2.1.2 塑料分类

由树脂加助剂组成，在一定温度和压力下，能塑化流动并成型为一定形状和尺寸（通过模具）、经冷却凝固（热塑性塑料）或固化交联（热固性塑料）成为能够保持这种形状尺寸的制品，这样的材料称为塑料。

塑料是有机高分子材料中一个重要分枝，品种多，产量大，用途广。对于品种繁多的塑料，可按如下方法分类，使人们容易认识它，掌握并应用它。

#### 一、按受热时的行为分

塑料按受热时的行为，可以分为热塑性塑料和热固性塑料。

##### 1. 热塑性塑料

加热时变软以至流动，冷却变硬，这种过程是可逆的，可以反复进行。聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲醛，聚碳酸酯，聚酰胺、丙烯酸类塑料、其它聚烯烃及其共聚物、聚砜、聚苯醚，氯化聚醚等都是热塑性塑料。热塑性塑料中树脂分子链都是线型或带支链的结构，分子链之间无化学键产生，加热时软化流动，冷却变硬的过程是物理变化。

##### 2. 热固性塑料

第一次加热时可以软化流动，加热到一定温度，产生化学反应—交链固化而变硬，这种变化是不可逆的，此后，再次加热时，已不能再变软流动了。正是借助这种特性进行成型加工，利用第一次加热时的塑化流动，在压力下充满型腔，进而固化成为确定形状和尺寸的制品。这种材料称为热固性塑料。

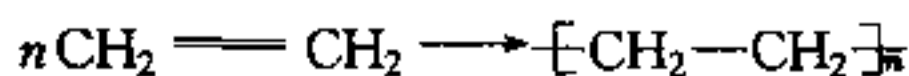
热固性塑料的树脂固化前是线型或带支链的，固化后分子链之间形成化学键，成为三度的网状结构，不仅不能再熔融，在溶剂中也不能溶解。酚醛、脲醛、三聚氰胺甲醛、环氧、不饱和聚酯、有机硅等塑料，都是热固性塑料。

#### 二、按树脂合成时的反应类型分

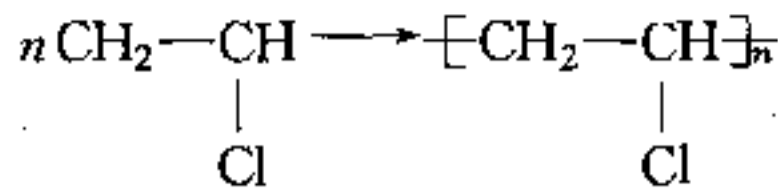
按塑料中树脂合成时的反应类型，可将树脂分为聚合型树脂和缩聚型树脂，相应的塑料分别称为聚合型塑料和缩聚型塑料。

##### 1. 聚合型塑料

树脂是由聚合反应制得。这种树脂一般是由含有不饱和键，主要是双键的单体，借双键打开生成的：



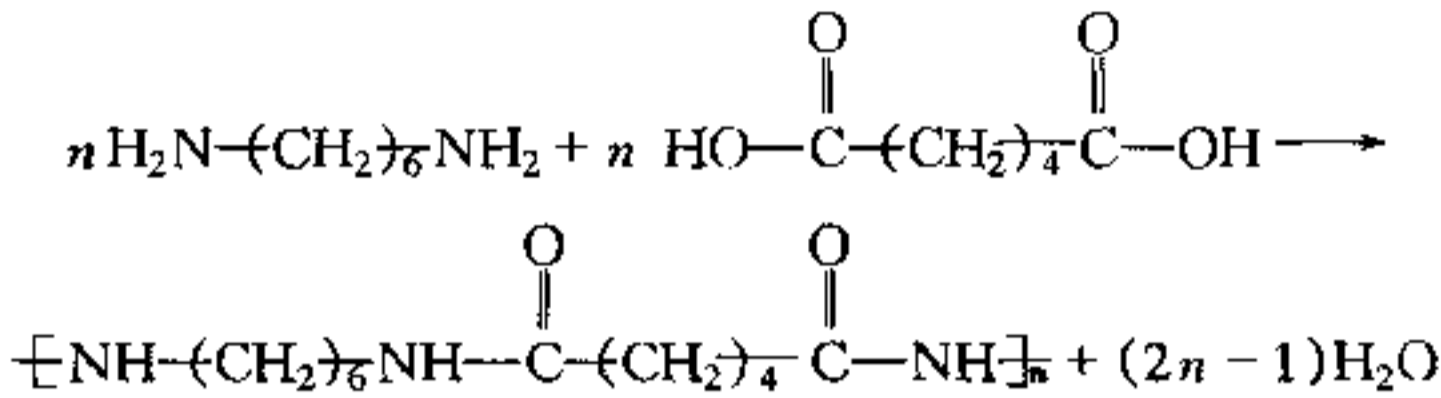




反应过程中无低分子产物释出。聚烯烃、聚卤代烯烃、聚苯乙烯、聚甲醛、丙烯酸类塑料都属于聚合型塑料。聚合型塑料都是热塑性塑料。

## 2. 缩聚型塑料

树脂是由缩聚反应制得。这种树脂一般是由含有某种官能团(一般最少含有两个官能团)的单体,借官能团之间的反应使单体连接起来而形成的:



聚酰胺、聚碳酸酯、聚苯醚、聚砜、酚醛、环氧、氨基塑料等都是缩聚类塑料。缩聚类塑料的部分品种是热固性塑料,另一些品种是热塑性塑料,树脂合成过程中有低分子产物释出。

## 三、按塑料中树脂大分子的有序状态分

按树脂大分子的有序状态,可将塑料分为无定形和结晶型两类。

### 1. 无定形塑料

树脂大分子的排列是无序的。这种塑料,由于树脂分子链的结构特点,或因热力学原因,或成型过程工艺条件范围的限制,分子链不会产生有序的整齐堆砌形成结晶结构,而呈现无规则的随机排列。在纯树脂状态,这种塑料是透明的。

### 2. 结晶型塑料

树脂大分子排列呈现出三向远程有序。从熔融状态冷却变为制品过程中,树脂的分子链能够有序地紧密堆砌产生结晶结构。一般所谓的结晶型塑料,实际上都是半结晶的,不像低分子晶体(例如 NaCl)那样能产生 100% 的结晶度。树脂大分子链排列呈现出无定形相与结晶相共存的状态。成型条件对结晶度和晶态结构有明显影响,从而对制品性能有明显影响。结晶结构只存在于热塑性塑料中。

## 四、按性能和应用范围分

按性能和应用范围,可将塑料分为通用塑料、工程塑料、特种塑料。

### 1. 通用塑料

通用塑料是指生产量大、货源广,价格低,适于大量应用的塑料。通用塑料一般皆具有良好的成型工艺性,可采用多种工艺成型出多种用途制品。一般说,通用塑料不具有突出的综合力学性能和耐热性,不宜用于承载要求较高的结构件和在较高温度下工作的耐热件。但通用塑料的各品种,都有各自的某些优异性能,使它具有广泛用途。聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、酚醛塑料合称五大通用塑料。其它聚烯烃、乙烯基塑料及其共聚物与改性材料、丙烯酸塑料、氨基塑料等也都属于通用塑料。

### 2. 工程塑料

工程塑料是指那些具有突出力学性能、耐热性,或优异耐化学试剂、耐溶剂性,或在变化的环境条件下可保持良好绝缘介电性能的塑料。工程塑料一般可以作为承载结构

件，升温环境下的耐热件和承载件，升温条件、潮湿条件、大范围的变频条件下的介电制品和绝缘用品。工程塑料的生产批量小，价格也较昂贵，用途范围相对狭窄，一般都是按某些特殊用途生产一定批量的材料。现有的工程塑料主要品种有聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、ABS、PET、PBT、聚砜、聚苯硫醚、氯化聚醚、聚酰亚胺、聚醚醚酮、氟塑料、超高分子量聚乙烯、环氧塑料和不饱和聚酯等。

### 3. 特种塑料

具有某种特殊功能，适于某种特殊用途的塑料，例如用于导电、压电、热电、导磁、感光、防辐射、光导纤维、液晶、高分子分离膜、专用于摩擦磨损用途等塑料。

特种塑料又称功能塑料。特种塑料的主要成分是树脂，有些是专门合成的特种树脂，但也有一些是采用上述通用塑料或工程塑料用树脂经特殊处理或改性后获得特殊性能的。

## 2.1.3 塑料名称与代号

塑料的中、英文名称往往都很长，特别是一些共聚型塑料，应用和书写起来颇感不便。若用其化学命名的英文全称编写大字字母表示，就可大大简化，不仅书写与应用方便，又便于国内、国际间技术交流。常用塑料的缩写代号与英文全称对照列入本书表 18.1-1 中。

## 2.1.4 塑料性能

塑料与其它有机高分子材料类似，性能上与传统的金属材料有明显不同，这种不同表现在承载能力、耐热性、加工工艺性和其它性能方面，塑料材料都具有各自的特点。本节着重介绍塑料材料的力学性能，其它性能在本章其它各节介绍。

### 一、强度和刚度

与金属相比，塑料的强度和刚度绝对值都比较小。未增强的塑料，通用塑料的拉伸强度一般约在 20~50MPa，工程塑料一般约在 50~80MPa，很少有超过 100MPa 的品种。经玻璃纤维增强后，许多工程塑料的拉伸强度可以达到或超过 150MPa，例如增强聚芳砜可达 190MPa，增强聚醚酮可达 140~160MPa，F 型环氧玻璃布层压板可达 463MPa，达到或略超过 45 号钢的水平。若用碳纤维或其它高强纤维增强，强度还会有所提高，但总的说来，仍明显低于金属材料。碳钢的拉伸强度高限可达 1300MPa，高强钢可达 1860~2000MPa，铝合金拉伸强度在 165~627MPa 之间。二者相比，塑料拉伸强度绝对值一般约低数倍至一个数量级。

塑料的弹性模量约在  $(0.48 \sim 14) \times 10^3 \text{MPa}$  之间，金属弹性模量约在  $(0.7 \sim 2.8) \times 10^5 \text{MPa}$  之间。二者相比，绝对值相差 1~2 个数量级。

由于塑料密度小，一般在  $0.9 \sim 1.5 \text{g/cm}^3$  之间，有少数塑料略低或略高于这一范围，而金属的密度除铝是  $2.7 \text{g/cm}^3$  以外，作为结构材料的多种金属品种都在  $7 \sim 8 \text{g/cm}^3$  之间，某些品种还大于这一数值。若采用比强度、比刚度（分别是强度、刚度绝对值与密度之比）与金属比较，塑料却不一定低于金属。事实上，作为结构材料使用，比强度、比刚度最高的材料是高性能增强塑料。例如石墨/环氧增强塑料比强度是 92，硼/环氧增强塑料是 72，而高强钢仅 24.2。一般而言，多数塑料的比强度与金属在同一数

量级，比刚度低于金属数倍至一个数量级，但某些结构泡沫塑料，比刚度可与金属媲美。用高模量增强剂增强后，某些塑料的比刚度可以超过金属。

## 二、应力应变特性

塑料的应力应变特性与金属有明显区别。金属材料在比较宽的载荷范围都服从胡克定律，表现出简单的弹性性质。塑料材料只是在较小应力范围内才服从胡克定律，它的比例极限较小，超过比例极限，应力继续增加，会产生较大变形，但仍是弹性变形，称为高弹变形。应力解除后，高弹变形可以恢复，但不是立即恢复，需经过一段时间。应力应变曲线上与弹性变形相应的最大应力称为弹性限或屈服点。超过弹性极限，材料开始屈服，应力不再增大，应变仍会持续发展。塑料材料开始屈服时的形变一般约在10%~20%之后，而金属由于无高弹变形，屈服出现在变形值约0.2%~0.3%时，最大不超过1%。

不同塑料的应力应变特性也有明显差别。据此，可将塑料分为五种类型：

- (1) 软而弱：特点是模量小，屈服点低，断裂伸长率适中，断裂强度小。
- (2) 软而韧：特点是模量小，屈服点低，但断裂伸长率大，断裂强度稍高。
- (3) 硬而脆：特点是模量高，断裂伸长率很小，断裂前仅有很小屈服或完全无屈服。
- (4) 硬而韧：特点是模量高，屈服点也较高，断裂伸长率大，断裂强度高。
- (5) 硬而强：特点是模量高，屈服点高，但断裂伸长率较小，屈服不明显，断裂强度高。

拉伸曲线与横坐标轴之间的面积代表着载荷作用于材料时所做的功，是材料强韧性大小的衡量，可以作为选材时的重要依据之一。

## 三、韧性

韧性标志着材料对外加能量吸收能力的大小，韧性良好的材料在承载时，可充分吸收能量产生弹性和塑性变形而不断裂。工程上对材料韧性的衡量尺度是冲击强度和断裂伸长率，冲击强度愈高，断裂伸长率愈大，材料韧性愈好。

不同塑料品种的韧性有很大差别。树脂分子链的柔顺性是决定材料韧性的重要因素，分子链愈柔顺，分子链愈容易解缠结而迅速响应外加载荷，材料就会表现出良好韧性。刚硬的无柔性分子链，对于迅速施加的载荷，分子链不易解缠，就会产生脆性破坏。加载速率和环境温度对塑料韧性有明显影响，加载速率愈快，材料韧性愈低，在一定范围内提高温度，会改善材料韧性。试样带有缺口，由于缺口处的应力集中，在冲击载荷下缺口处处于三轴拉应力状态，不产生引起塑性变形的剪应力，使材料韧性明显降低。

结晶型塑料的结晶度增大，材料的韧性降低，脆性增大。

## 四、蠕变和应力松弛

塑料是有机高分子材料，具有粘弹性，长时受载行为与短时受载时有明显差别，主要表现是蠕变和应力松弛。

蠕变是指当塑料受到一个恒定载荷时，先会产生一个与上述应力应变曲线相应的应变，随着时间增长，应变会缓慢地持续增大。所有塑料都会不同程度地产生蠕变，分子链刚硬，分子链间作用力大的塑料，特别是分子链间具有交链的塑料，抗蠕变性就好。蠕变与载荷大小及环境温度也有关，增大载荷，提高温度会使蠕变增大。作为承载结构

件时，必须考虑蠕变对塑件承载能力和尺寸稳定性的影响。

应力松弛是指在恒定的应变条件下，塑料的应力会随时间而逐渐减小。认识塑料的应力松弛现象具有重要的实际意义。塑件作为螺纹紧固件，往往由于应力松弛使紧固力变小甚至松脱，带螺纹的塑料密封件也会因应力松弛失去密封性。设计人员应针对这些情况，选用应力松弛较小的塑料或采用相应的防范措施。

### 五、疲劳性能

塑料受到重复或周期性载荷作用时会产生疲劳破坏，破坏形式是力学性能衰减，引起裂纹，最终会导致结构完全破坏。在某应力水平作用下，塑料的疲劳寿命定义为使试样破坏所需要的应力作用次数。应力水平愈低，疲劳寿命愈长。在很低的应力水平下，材料不会产生疲劳破坏。将材料能够无限次受载（一般规定是  $10^7 \sim 10^8$  次）而不被破坏的最大应力水平称为材料的疲劳极限。对于大部分塑料，疲劳极限仅是静拉伸强度的 20% ~ 35%。

塑料的疲劳性能在塑料齿轮、活页、连杆、管件、振动机械中的塑料件，以及承受周期性应力的压力容器中都十分重要，应选用耐疲劳性较优的塑料。塑料疲劳的根本原因是由于具有粘弹性，存在着较大的内摩擦作用。在周期性应力作用下，分子链变形总是落后于应力，致使材料内部产生大量摩擦热，材料表面又不足以使热量迅速散失（导热系数小），引起温升。温升常常引起材料内部软化或熔融，或引起结晶型塑料晶相的再结晶，链折叠点的断链等。

### 六、表面力学性能

塑料的表面力学性能具有重要的实际意义。表面力学性能包括硬度、摩擦和磨损性能。

一般而言，塑料的硬度较低，热塑性塑料硬度值远低于黑色金属，也低于大部分有色金属；热固性塑料固化后的硬度相当于有色金属，但也低于黑色金属。经玻纤或其它矿物填料增强后的塑料硬度可以提高。

由于塑料硬度低，表面容易被划伤，对于脱模机构就提出了要求，特别是表面要求较高的光学用塑件。塑料表面硬度虽低，但含有磨蚀性增强剂的塑料（如玻璃纤维、玻璃微珠），特别是增强热固性塑料，却对金属模具材料具有磨蚀作用，磨蚀的主要区域是模具的浇注道（特别是浇口处）、与脱模方向平行的型芯或型腔表面。因此，用于成型带磨蚀性填料的塑料时，宜采用可以更换的浇口镶块，浇注系统和模具成型表面应经过镀铬或硬化处理。

塑料的摩擦磨损性能对许多应用，例如轴承和齿轮等十分重要。塑料的摩擦磨损性能也与金属材料有所不同，对摩擦条件具有更大的依赖性。不同塑料的摩擦系数有很大差别，同一塑料，摩擦系数不仅与表面状况、相对运动速度有关，还与载荷大小、温度、湿度等因素有关，而金属材料的摩擦系数却不受载荷大小的影响，受环境温度、湿度的影响也很小。

材料的磨损根源在于摩擦，但磨损与摩擦系数并无直接的定量关系。聚四氟乙烯是现有材料中摩擦系数最小者，但耐磨损性却很差，这与它的硬度很低，又很容易产生蠕变有关。用作摩擦材料，聚四氟乙烯总是要加入适当增强剂或以与其它材料的复合形式使用。



塑料作为摩擦材料，其优点是具有自润滑性或水润滑性，这就扩大了它的应用范围，并具有明显的经济意义。但应用塑料时，必须考虑散热不良和膨胀系数大以及在水、油润滑剂或某些液体工作介质内的膨胀问题。

## 2.2 塑料热性能

在进行塑料模设计及其 CAD 分析时，材料的热力学数据必不可少。通常，这些数据是温度和压力的函数。此外，一些热物理数据，如线膨胀系数、玻璃化温度、熔点、流动温度、分解温度、耐热性与热寒性等，也常须有所了解。通常，这些数据为材料本身所固有。

材料热力学数据，可否假定为常数，取决于所考察特定体系的温度和压力范围。对于塑料模中压力较低（通常小于 40MPa）的情况，压力的影响可忽略不计。在挤塑与注射模中，聚合物熔体均处于熔融区或结晶温度以上，因而塑料的热力学数据，经常可取作常数。

### 2.2.1 密度和比体积

图 2.2-1 为某些聚合物的比体积  $v_p$  与温度  $T$  的关系。它和密度的关系式为：

$$v_p = \frac{1}{\rho} \quad (2.2-1)$$

在挤塑模压力范围内，不计压力的影响所产生的误差为 1% ~ 3%。如须考虑压力的影响，则需用状态方程计算（见式 (2.4-11) 或式 (2.4-12)）。

### 2.2.2 导热系数

图 2.2-2 表明导热系数  $\lambda$  为温度的函数。有资料表明：压力小于 30MPa， $\lambda$  随压力的变化小于 5%，而且常被流动过程中分子取向的各向异性所掩盖，因此考虑压力对其影响，似乎意义不大。

### 2.2.3 比热容

对于如图 2.2-3 所示的比热容  $c_p$  与温度的关系而言，压力的影响也可不计。

### 2.2.4 热扩散率

在稳态温度场时，仅须考虑材料的导热系数。但在非稳态过程中（如注射模的充模与冷却分析），导热系数  $\lambda$  与热储存能力的比值很重要。此比值称之热扩散率，其表达式为

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (\text{mm}^2/\text{s}) \quad (2.2-1)$$

图 2.2-4 为  $\alpha$  与温度  $T$  的关系。在此情况下，压力的影响亦可不计。

### 2.2.5 热焓

热焓  $H$  是在特定温度下单位质量的材料之热含量。聚合物的热焓与温度的关系如



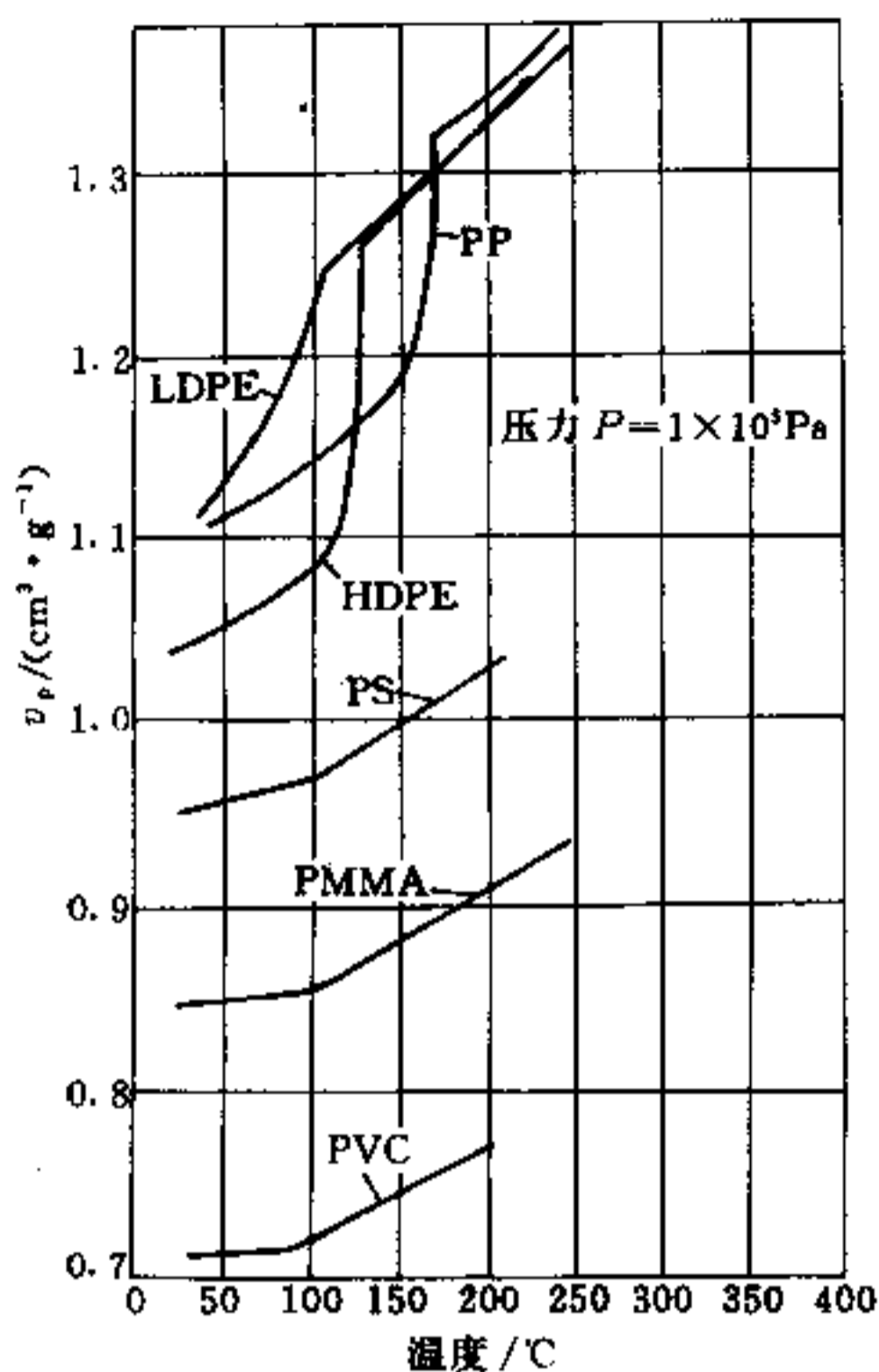


图 2.2-1 比体积与温度的关系

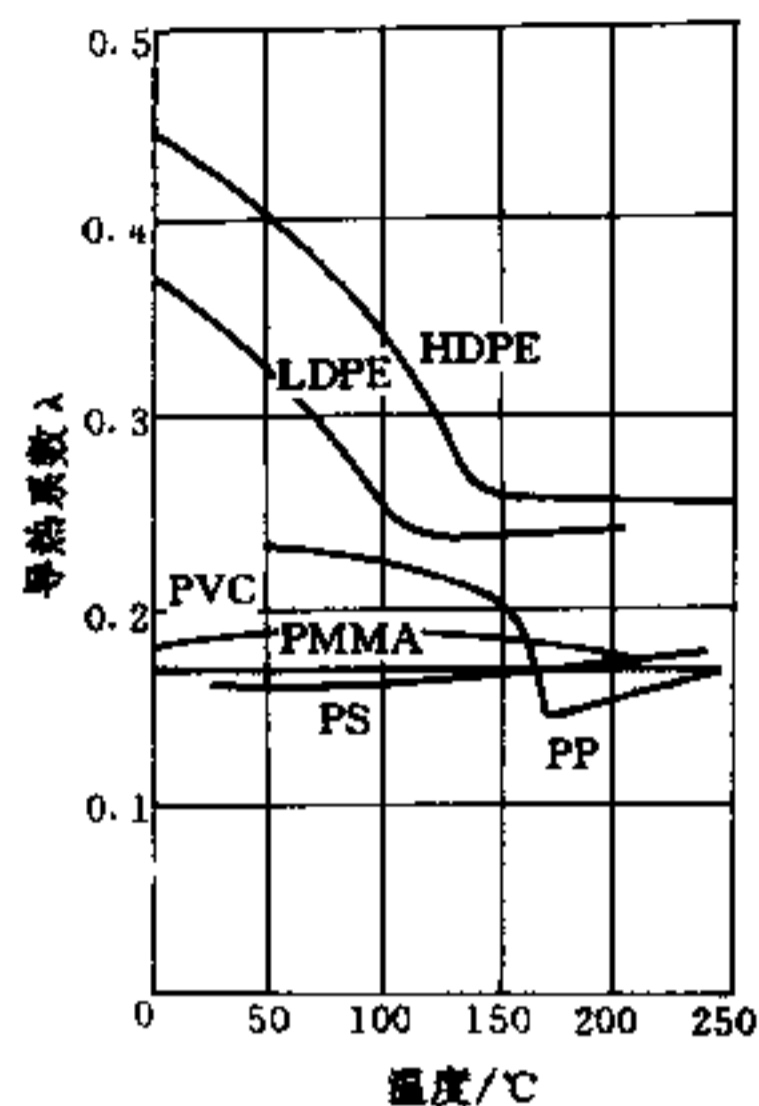


图 2.2-2 导热系数为温度的函数

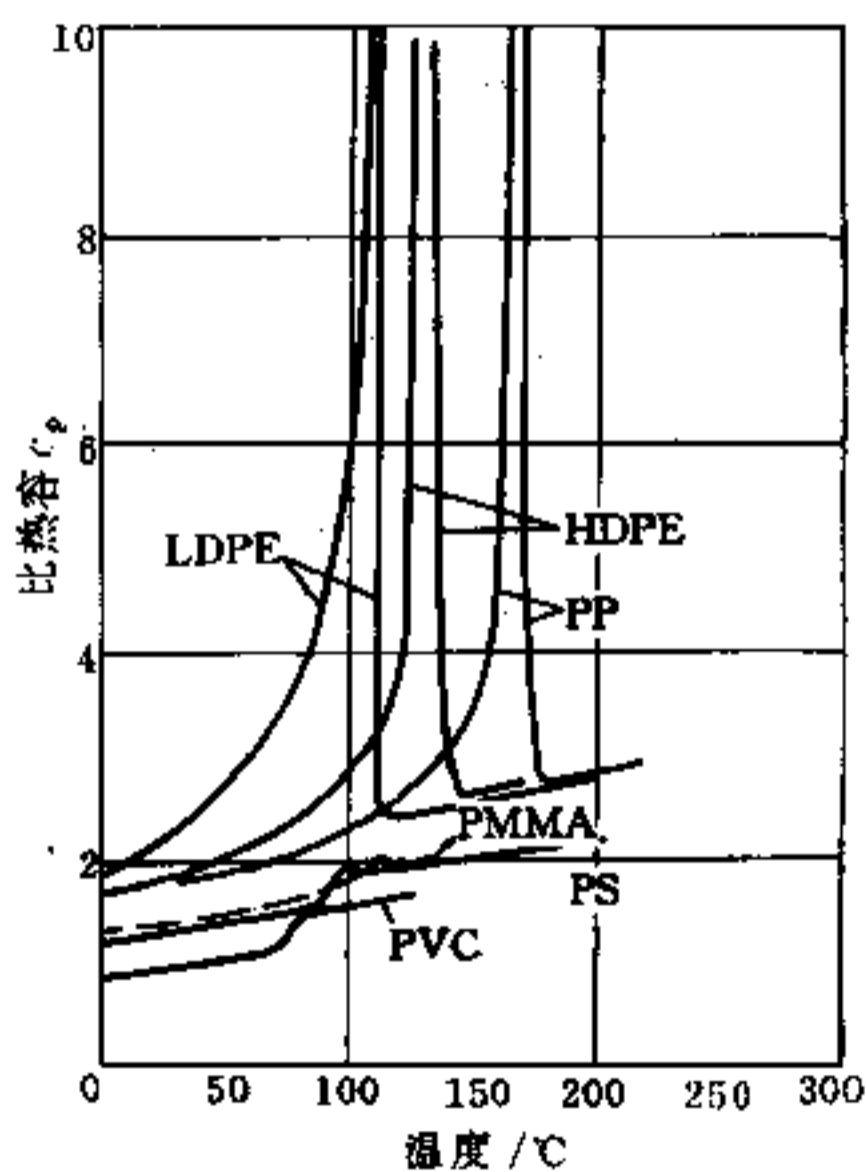


图 2.2-3 比热容与温度的关系

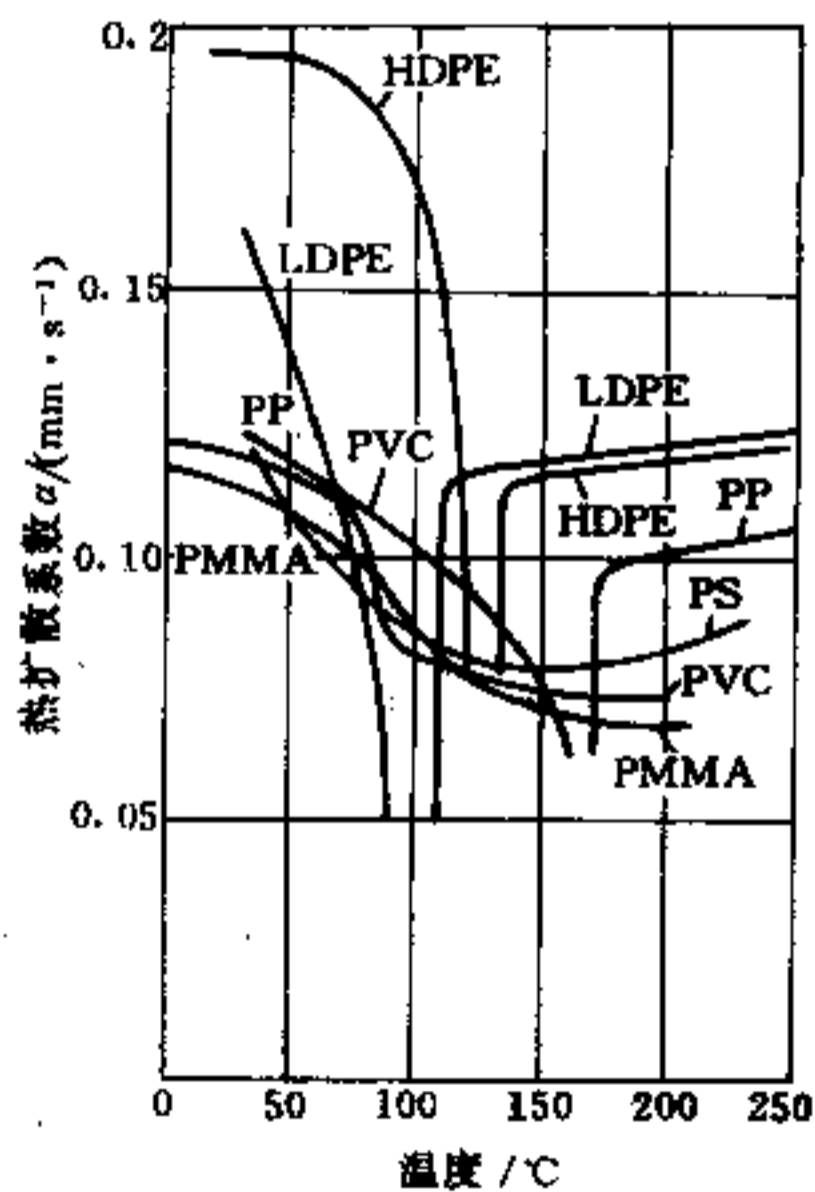


图 2.2-4 热扩散率为温度的函数

图 2.2-5 所示。焓不能绝对地量度，它总是与某一参考温度 ( $0^{\circ}\text{C}$  或  $20^{\circ}\text{C}$ ) 有关。常用热塑性塑料的热焓  $H$  列于表 2.2-1。在计算塑料模具加热或冷却时间的能量转换时，须使用热焓。

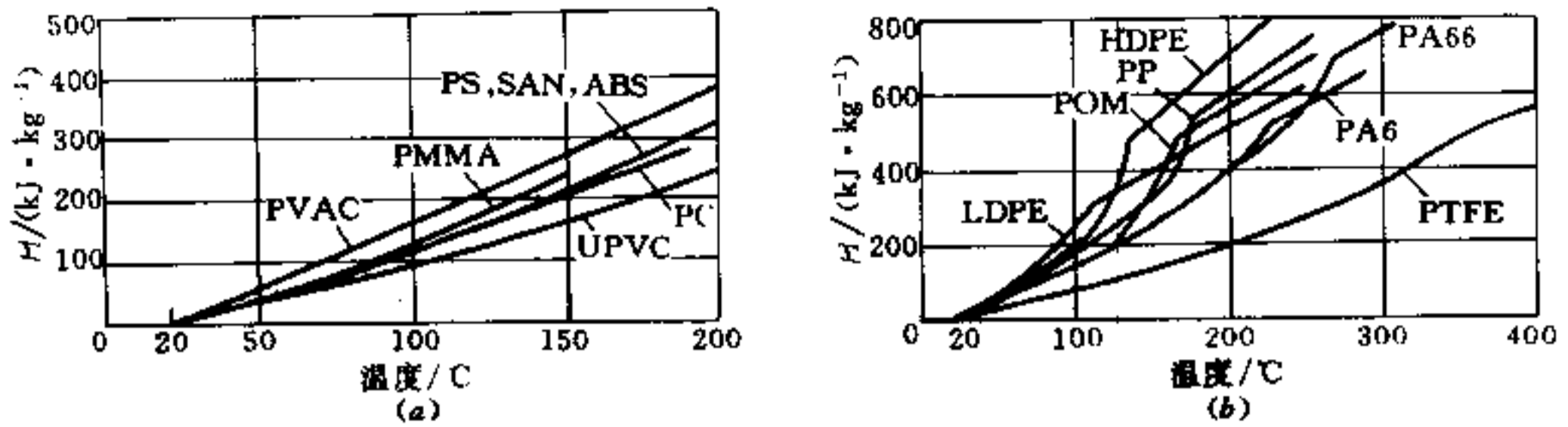


图 2.2-5 塑料的热熔与温度的关系

(a) 无定型聚合物；(b) 结晶型聚合物。

表 2.2-1 常用塑料熔体凝固时放出的热焓量

塑料品种	$H/(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$	塑料品种	$H/(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$	塑料品种	$H/(\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1})$
ABS	300~400	CA	290	PP	590
AS	335	CAB	270	PA6	500~600
POM	420	PA66	650~750	PS	270
PVAC	290	LDPE	590~690	PTFE	500
丙烯酸类塑料	290	HDPE	690~820	PVC	170~360
PMMA	210	PC	290	SAN	270~360

### 2.2.6 不流动温度

不流动温度是指塑料在一定载荷和阻力下，不发生流动的最高温度。它的作用是在注射模充模分析过程中，作为温度的截止点。也就是当实际温度低于塑料不流动温度时，将其剪切速率设定为零。不流动温度亦叫滞流温度。

不流动温度通常是这样测量的：将一定量的塑料加入毛细管流变仪口模上端的料筒中，加热至某一温度，恒温 10min 后，施加 50MPa 恒压。若该料不从口模中流出，卸压后将料温升高 10℃，保温 10min 后再施加同样大小恒压。如此继续直至熔料从口模中流出为止，减去料温 10℃ 后的温度，便定义为该种塑料的不流动温度。

### 2.2.7 线胀系数

塑料材料的线胀系数比大多数其它材料，例如金属、玻璃、陶瓷、石料等的线胀系数都要大，一般约是金属材料线胀系数的 6~10 倍。较大的线胀系数值容易使塑料制品产生内应力和应力集中，容易引起塑料装配连接件在温度改变时的损坏，也使塑料制品尺寸对温度的变化比较敏感。从事塑料制品应用的技术人员应充分了解塑料材料的膨胀特性，采用相应的设计措施防止塑料较大线胀系数的不利影响，例如对于连接件，可采用接合点带橡胶垫的设计，借橡胶的弹性，补偿塑料的膨胀。

塑料内含有玻璃纤维、无机填料等可以明显减小线胀系数，使之与金属、陶瓷等传统材料的线胀系数接近。

表 2.2-2 为常用塑料（未含填料）与某些材料的若干热物理性能参数。

表 2.2-2 塑料与某些材料若干热物理性能参数

材料名称	密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	比热容/ ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	导热系数/ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\times 10^{-2}$ )	线胀系数/ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}\times 10^{-5}$ )	滞流温度 / $^{\circ}\text{C}$
聚 4-甲基戊烯-1	0.83	2176	16.7	12	/
低密度聚乙烯	0.91~0.94	2301	32.9	16~19.8	65
高密度聚乙烯	0.95~0.97	2301	32.9	14.9~30.1	130
聚丙烯	0.90~0.91	1883	17.4~19.4	6.8~10.4	170
聚苯乙烯	1.04~1.06	1225~1464	10.1~15.6	5.9~8.6	120
聚甲基丙烯酸甲酯	1.18~1.19	1464	18.4	7.3	140
聚氯乙烯	1.30~1.58	1283~1464	12.1~17.3	4.9~5.9	
ABS	1.01~1.08	1255~1674	13.8~31.2	5.8~8.6	130
尼龙 6	1.12~1.14	1926	17.3	8.6	210
尼龙 86	1.13~1.15	1674	24.5	8.1	250
尼龙 1010	1.03~1.05		16.0~46.1	1.4~1.6	200
聚碳酸酯	1.2	1172~1255	19.6~20.4	3.2~6.8	200
共聚甲醛	1.41	1464	23	8.5	160
均聚甲醛	1.42	1464	23	8.1	170
聚苯醚	1.06~1.10	2950	15.8~21.6	5.9~6.8	
改性聚苯醚	1.06~1.10	1339	5.16	5.2	120
PBT	1.31	1507~2303	17~22.2 <sup>①</sup>	7.2	220
PET	1.30~1.38		31.3 <sup>①</sup>	2.34~3.6	
聚砒	1.24	1297	25.9	5.6	220
聚芳砒	1.36		19.05	4.7	260
聚醚砒	1.37~1.39	1088	13.4~18.4	5.5	260
聚四氟乙烯	2.14~2.30	1046	24.2	13.5~15.1	
均苯型聚酰亚胺	1.42	1130	3.3~3.7	2.0	
聚苯硫醚	1.3		28.64	5.5	
聚醚醚酮	1.27~1.32				
密胺塑料	1.48	1674	29.3~41.9	4.0	
酚醛塑料	1.25~1.30	1590~1757	12.6~9.2	2.5~6.0	
脲醛塑料	1.47~1.52	1674	29.3~41.9	2.2~3.6	
环氧塑料	1.7~2.1		16.8~41.9	3.0~6.0	
不饱和聚酯	1.10~1.46	837~1464	16.8	7.0~10.1	
铝合金	2.5~2.95	920~962	11700~20100	1.62~2.47	
铸铁	6.6~6.7	544	4330~5190	1.08~1.22	
合金铸钢	7.85	418~460	4670	1.44~1.49	
碳素铸钢	7.85	418~460	4670	1.49	
锻造黄铜	8.45~8.9	376~418	2600~23400	1.80~2.12	
锻钢	8.45~8.9	385	19400~39100	1.67~1.76	
锻造青铜	8.45~8.9	376~418	3500~20800	1.49~2.12	
玻璃	2.4~2.7	735~795	190~340	0.036~0.57	
矾土陶瓷	2.3~2.45	795		0.77	
铸镁合金	1.74~1.81	1025	4200~10000	2.5	

①玻璃纤维增强时的数据。

## 2.2.8 几个特征温度

塑料的特征温度有玻璃化温度  $T_g$ 、熔点  $T_m$ 、流动温度  $T_f$ 、分解温度  $T_d$ ，见表 2.2-3。

表 2.2-3 常用塑料的特征温度

塑料名称	玻璃化温度 $T_g/^\circ\text{C}$	熔点 $T_m/^\circ\text{C}$	流动温度 $T_f/^\circ\text{C}$	分解温度 $T_d/^\circ\text{C}$
低密度聚乙烯	$-20^{\text{①}}$	108~126		$>300$
高密度聚乙烯	$-20^{\text{①}}$	126~135		$>300$
聚丙烯	$5^{\text{①}}$	170~172		
聚丁烯-1	-20	135		
聚 4-甲基戊烯-1	50~60	245		
聚苯乙烯	80~90		120	300
ABS			217~237	$>250$
聚氯乙烯	80		136	140
聚甲基丙烯酸甲酯	104		160	$>270$
聚四氟乙烯		327~342		415
聚碳酸酯	145~150		220~230	320~340
尼龙 6	50	215~225		
尼龙 66	60	238~248		
尼龙 1010		195~210		
共聚甲醛	-40~-60	165	160~165	约 250
均聚甲醛		175	175~179	约 250
PBT	$<50$	224		
PET	80	250~260		
聚砒	190		$>300$	
聚芳砒	290			460
聚醚砒	225			510~512
聚苯醚	204		257	$>350$
改性聚苯醚	150			
氯化聚醚		178~182		约 270
聚苯硫醚	85~100	285		500 (开始失重)
聚醚醚酮	143	334		500 (失重 2%)
均苯型聚酰亚胺				约 500

①一系列报导值中的最高值。

$T_g$  是聚合物材料一个重要的特征温度，一般而言，它是无定形塑料工作温度上限，是橡胶材料的工作温度下限。聚合物由高弹态转变为粘流态的温度称为流动温度  $T_f$ ，处在粘流态的聚合物，模量进一步大幅度下降，完全丧失了承载能力。几乎所有聚合物，包括塑料在内，成型加工时都必须加热到粘流态，利用粘流态时的流动性获得各种要求的形状，再冷却到玻璃态或通过化学交链固化成为能保持这种形状的制品。因此， $T_f$  是聚合物的又一个重要特征温度，是聚合物加工温度的下限。

对于结晶型聚合物，一个很重要的特征温度是从结晶相转变为熔体的熔融温度，称为熔点，以  $T_m$  表示。 $T_m$  相当于无定形聚合物的  $T_f$ ，但它是一个相变温度，比  $T_f$  具有更窄狭的数值，也不像  $T_f$  那样受相对分子质量大小的影响。尽管如此，由于结晶型高聚物一般皆含有一定数量的无定形相，因此  $T_m$  也不像低分子晶体的熔点那样尖锐和明确，仍然是一个很小的温度区间。 $T_m$  是结晶型聚合物的加工温度下限。

处于粘流态的聚合物，当温度进一步升高时，就会使分子链的降解加剧，当温度升高到使聚合物分子链明显降解时，称为分解温度，以  $T_d$  表示。聚合物的加工温度，应控制在低于  $T_d$  的一段温度范围内。不同聚合物的  $T_d$  与  $T_f$  差值不同， $(T_d - T_f)$  愈

大，聚合物允许加工的温度范围愈宽，愈有利于成型加工。

应该指出，绝大多数聚合物的  $T_d$  高于  $T_f$ ，但某些聚合物即使加热到  $T_d$ ，也无明显的流动现象，这些聚合物的  $T_f$  很高，实际上无真正的  $T_f$ 。例如聚四氟乙烯、均苯二酞型聚酰亚胺等。这些聚合物，虽然属于热塑性聚合物，但不能采用一般热塑性塑料通用的熔融加工方法。

## 2.2.9 耐热性和耐寒性

### 一、耐热性

塑料的耐热性是一个含义比较广泛的概念，它可以指塑料制品对于在热的作用下引起变形、软化、强度下降、尺寸变化、分解、老化、功能降低、寿命减少等的抵抗能力。

从热引起材料变化的性质区分，耐热性可以分为物理耐热性和化学耐热性。

物理耐热性是指对热引起软化、熔融、尺寸变化、力学性能下降等的抵抗能力。

化学耐热性是指对热引起降解、分解、热氧化、交联、环化、水解等的抵抗能力。化学耐热性又称热稳定性，主要与材料分子链内所含化学键的键能有关。

从对材料耐热性的考核方法区分，又可分为短时耐热性和长时耐热性。

以下介绍塑料材料几个常用的耐热性能指标。

#### 1. 热变形温度

这一指标的全称是“弯曲负载热变形温度”，它的测定方法是将被测试样浸在以  $(12 \pm 1)^\circ\text{C}/\text{min}$  的等速升温传热介质中（一般采用矿物油），按水平位置安放试样，以简支梁静弯曲的加载方式，加以恒定的载荷  $1.81\text{MPa}$ （或  $0.45\text{MPa}$ ），测定试样挠度达到  $0.21\text{mm}$  时的温度，即材料的热变形温度。

热变形温度是材料的一种短时耐热性试验，从性质上看，它是一种物理耐热性指标。它并不能说明材料在实际工作条件下的耐热性，不能作为材料工作温度的上限，但它可以说明温度升高对材料刚度的影响。热变形温度主要用于塑料的质量控制，材料验收时的检验，选材时材料的筛选比较和新材料的鉴定。

#### 2. 马丁耐热

最初由 DIN53458 规定的塑料耐热性试验方法，现 GB 亦有规定。将被测试样垂直装夹在试样底座上，放置在以  $(50 \pm 1)^\circ\text{C}/\text{h}$  的等速升温的加热箱中，在与试样相连的水平横杆上施以载荷，使试样承受  $4.9 \pm 0.02\text{MPa}$  的弯曲应力，在弯曲扭矩作用下，当离试样水平方向  $240\text{mm}$  处的变形指示器下降  $6\text{mm}$  时的温度，即是材料的马丁耐热。

马丁耐热适用于耐热性高于  $60^\circ\text{C}$  的塑料的耐热性测试。马丁耐热与热变形温度一样，并不能说明材料实际工作条件下的耐热性能，但能说明温度升高对材料刚度的影响，也主要用于塑料的质量控制、材料验收、初选材时的耐热性对比等。

#### 3. 维卡软化温度

评价塑料短时耐热性的又一试验方法，只适用于热塑性塑料。将被测试样放置在试样架上后，浸在以  $(50 \pm 1)^\circ\text{C}/\text{h}$  等速升温的传热介质中，用横截面  $1\text{mm}^2$  的方形或圆形平头针，以  $1\text{kg}$  的载荷向试样垂直施压，当针头刺入试样深度达  $1\text{mm}$  时的温度，即是材料的维卡软化点。维卡软化点适于无明确熔点的热塑性塑料，它可以说明材料随温



度升高变软的情况，但并不能代表材料的工作温度上限，主要也是用于材料的质量控制，新品种鉴定，不同材料之间的比较。

#### 4. 长时耐热指标

塑料长时间受热的作用，即使是在温度远低于分解温度时，也会引起许多性能的明显劣化，例如力学性能和电性能降低，耐化学性能变坏、变脆或发粘，刚性下降或完全丧失等。对于塑料长时间受热时性能变化的评价，一般是将塑料试样置于机械对流炉中加热，在规定温度下放置规定时间，对试样受热前后的某种性能进行比较，随后再对试样受热温度以一定的温度间隔增加或降低，直到观察到试样破坏为止。试样的破坏是以试样的外观、失重或尺寸变化或其它性能变化到材料在所规定的工作环境下不能使用的程度为止。

塑料长期耐热性一个使用比较广泛的指标是最高连续使用温度，是由美国保险业研究室（代号 UL）提出并被普遍采用的。最高连续使用温度代表着塑料可以安全工作而不必担心性能过早劣化的一个最高温度，在这一温度下长时间工作，塑料的性能可保持不低于初始值的 50%。

## 二、耐寒性

随着温度降低，所有塑料都会由于分子链活动性降低变得硬而脆。塑料材料抵抗由于温度降低所引起的冲击强度减小、脆化等的的能力称为耐寒性。塑料的耐寒性用脆化温度  $T_B$  表示。脆化温度愈低，材料的耐寒性愈好。脆化温度定义为塑料在冲击载荷下出现脆性破坏的温度，一般是将在规定的冲击条件下，有 50% 试样出现脆性破坏的温度确定为脆化温度。表 2.2-4 列出了常用塑料的几种耐热性指标和耐寒性指标。

表 2.2-4 常用塑料的耐热性和耐寒性

塑料名称	维卡软化点 /℃	热变形温度 (在 1.8MPa 下) /℃	最高连续使 用温度/℃	脆化温度 /℃
低密度聚乙烯	108~120	38~49 <sup>①</sup>	80~100	-55~-80
中密度聚乙烯		49~74 <sup>①</sup>	104~121	
高密度聚乙烯		60~82 <sup>①</sup>	121	-70
超高分子量聚乙烯		79~83 <sup>①</sup>		-70~-80
聚丙烯	约 150	57~64	107~149	
聚 4-甲基戊烯-1	179	100~140 <sup>①</sup>	121~164	
聚苯乙烯	80~87	92~103	60~80	
高抗冲击聚苯乙烯	75~85	65~75		
AS		88~105	60~96	
ABS	90~108	93~122	60~99	-18 <sup>②</sup> , -60 <sup>③</sup>
PVC		60~77	65~80	
聚甲基丙烯酸甲酯	113	85~95	65~95	约 9
尼龙 6		68~80	82~121	
尼龙 66		65~80	82~121	
尼龙 1010	123~190		80	-60
共聚甲醛	162	110	90	
均聚甲醛		124	105	
聚碳酸酯		130~138	121	
PBT		60	120~140	
PET		85	80~120	≤ -40

(续)

塑料名称	维卡软化点 /℃	热变形温度 (在 1.8MPa 下) /℃	最高连续使 用温度/℃	脆化温度 /℃
聚砜	170~180	170~174	150	-100
聚芳砜		274~300	260	-240
聚醚砜	226	203~208	180~200	
聚苯醚		174	120	< -170
改性聚苯醚		100~129	80~105	
氯化聚醚		99	140	-40
聚苯硫醚		137	204~260	
聚醚醚酮		135~160	250	
均苯型聚酰亚胺			260	
木粉酚醛		127~182	166~177	

①0.45MPa 载荷下测试值；②共混型数据；③共聚型数据。

## 2.3 塑料可加工性能

### 2.3.1 流动性

所有塑料都是在熔融塑化状态下成型加工的，流动性是塑料材料加工为制品的过程中所应具备的基本特性，它标志着塑料在成型条件下充满模腔的能力。流动性好的塑料容易充满复杂的模腔，获得精确的形状。热塑性塑料的流动性是用熔体流动速率指数，简称熔融指数 (MFI) 来表示的。熔融指数是将塑料在规定温度下使之熔融并在规定压力下从一个规定直径和长度的仪器口模中挤出，在 10min 内挤出的材料克数。熔融指数数值愈大，材料流动性愈好。由于材料的流动性与树脂的相对分子质量有关，相对分子质量愈大，流动性愈小，因此，熔融指数用于定性地表示相对分子质量的大小，成为热塑性塑料规定品级的重要数据。同一品种的塑料材料，规定出各种不同的熔融指数范围，以满足不同成型工艺的要求。例如注塑级的塑料就比挤塑和中空吹塑用料应具有较大的熔融指数。由于熔融指数不仅与相对分子质量有关，还与相对分子质量的分散性有关，平均相对分子质量相同，但相对分子质量分散性不同的树脂，熔融指数亦不相同，因此，熔融指数与材料工艺性能并无严格的对应关系。

热固性塑料的流动性表示方法与热塑性塑料类似，但又不完全相同，最常用的表示方法有两种，一种是拉西格流动性，另一种是螺旋流动长度。拉西格流动性是在规定温度和压力下，将塑料配料从规定口径和长度的流动仪（称拉西格流动仪）中在规定时间内所挤出的长度（毫米数）表示，这一数值愈大，材料流动性愈好。螺旋流动长度是将塑料配料装入一个标准的传递模加料室中，标准模的型腔是螺旋状，在规定的温度、压力和时间内，在柱塞的挤压下，塑料通过浇注道被挤入螺旋状型腔的长度就是该塑料的螺旋流动长度，该数值愈大，流动性愈好。

拉西格流动性和螺旋流动长度都是热固性塑料配料在规定条件下熔融塑化、熔体粘

度、凝胶速率等综合特性的一个量度。热固性塑料配料流动性首先与树脂反应程度有关，反应程度愈大，流动性愈小，同时与配料中各成分比例，主要是填料的用量和性质有关。配料粒度对流动性亦有影响，粒度愈小，流动性愈小，但配料的压锭性和制品的光泽愈好。

### 2.3.2 收缩性

#### 一、收缩率定义

塑料制品生产过程中要采用各种模具以获得各种形状和尺寸的制品。塑料制品在模具中经冷却定形或固化变硬获得确定形状从模具中脱出后，尺寸缩小的性质称为收缩。收缩性用收缩率表示。收缩率定义为：

$$S = \frac{L_M - L}{L_M} \quad (2.3-1)$$

式中  $S$ ——收缩率 (%)；

$L_M$ ——模具成型尺寸 (mm)；

$L$ ——收缩后塑件的相应尺寸 (mm)。

应该指出，如果所测得的  $L_M$  是模具在工作温度下的成型尺寸，则式 (2.3-1) 表示的是实际收缩率，若  $L_M$  是在室温下测得，则式 (2.3-1) 表示的是计算收缩率。由于在绝大多数情况下，人们都是测量模具室温时的成型尺寸，且设计模具时也是根据塑件图纸中的规定尺寸来计算室温下的模具成型尺寸，故只有计算收缩率才具有工程上的实用意义，在模具设计和塑件生产中普遍采用。所有手册和技术资料中引用的都是计算收缩率数据。

有些技术资料中对收缩率的定义用下式表示：

$$S = \frac{L_M - L}{L} \quad (2.3-2)$$

将这一表示方法与式 (2.3-1) 比较，显然式 (2.3-1) 的物理意义更明确。它表示塑件收缩后的尺寸缩小量与未收缩前塑件尺寸（即模具成型尺寸）的比例，而式 (2.3-2) 表示塑件收缩后尺寸缩小量与收缩后塑件尺寸的比例。因而，前者的含义更确切。

式 (2.3-1) 所表示的收缩率数值比式 (2.3-2) 表示的数值要稍小，但相差甚微，无论采用二者那一个数据，对实际设计的模具成型尺寸精度都不会有多大影响。由式 (2.3-2) 可以得到：

$$L_M = L (1 + S) \quad (2.3-3)$$

由式 (2.3-1) 可以得到：

$$L_M = \frac{L}{1 - S} = L (1 + S + S^2 + S^3 + \dots) \quad (2.3-4)$$

略去式 (2.3-4) 右端括弧内  $S^2$  及其以后各项，对实际计算出的模具成型尺寸基本上无影响，因为塑料的收缩率一般在  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  数量级，其平方项和高次方项都小得可以忽略。这样一来，式 (2.3-4) 就变成与式 (2.3-3) 同一式子了，这就是由给定的塑件尺寸计算模具成型尺寸的基本关系式。

#### 二、塑料收缩特点及影响因素

塑料收缩的根本原因是由于成型过程中伴随着相变和力学状态的改变。在相变和力

学状态改变过程中，聚合物分子链的热运动规模和程度以及分子链之间的靠近程度有颇大改变。

### 1. 塑料收缩特点

塑料材料收缩有不同于金属、玻璃、陶瓷等材料收缩的如下几个特点：

#### (1) 收缩率绝对数值大

塑料收缩率的绝对数值一般在  $10^{-3} \sim 10^{-1}$ （千分之几到百分之几）数量级，比金属、玻璃、陶瓷大 1~2 个数量级。收缩率绝对数值大对塑料成型的不利影响是容易造成塑件的表面凹陷和内部缩孔，特别是当塑件壁厚增大时，也容易引起塑件的内应力。

#### (2) 收缩率变化范围宽

所有塑料，收缩率都不是一个固定不变的数值，而是在一定范围内变化，称为收缩率波动。同一品种的塑料，甚至同一品种内的同一品级，收缩率的大小不仅与树脂相对分子质量大小、相对分子质量分散程度有关，更与成型时的工艺参数改变有关。收缩率波动的不利影响是使塑料制品生产中控制尺寸困难，很难生产出高精度尺寸的塑料制品。收缩率波动也使模具设计中计算成型尺寸准确选取收缩率变得困难。

#### (3) 有后收缩

以无定形树脂为基础的塑料在脱模后的 24h 内就可以完成收缩，但以结晶型树脂为基础的塑料，脱模后的收缩会持续很长时间，可持续数日至数月，这种现象称为后收缩。后收缩现象是由于脱模后分子链仍在进行着重排和松弛，直至达到平衡，但由于温度低，这一过程进行非常缓慢。后收缩会影响塑料尺寸的稳定性。同一种塑料，后收缩大小和持续时间与塑料的成型条件有关。提高模温、降低冷却速率，有利于分子链重排，缩短达到平衡的时间。塑件脱模后进行后处理有利于消除应力，减少后收缩，稳定尺寸。

### 2. 影响收缩的因素

#### (1) 工艺参数的影响

工艺参数中影响最大的因素是成型压力，提高压力可以使塑料压得更密实，使收缩率减小。

提高物料温度，会因体积膨胀而使压入型腔的物料数量减少；但物料温度升高使粘度减小却有利于向型腔内传递压力。前一效应使收缩率增大，后一效应使收缩率减小。一般，粘度对温度敏感的塑料，后一种效应影响大；粘度对温度变化不敏感的塑料，前一种效应影响大。

提高模温，一般会使收缩率增大，特别是结晶型塑料。

在一定范围内延长保压时间，可以使收缩率减小，但延长保压至超过浇口封闭所相应的时间，对收缩率就不再有影响了。

#### (2) 塑件结构的影响

塑件厚度增大，收缩率增大，厚壁塑件收缩率总是大于薄壁塑件，同一塑件的壁厚较大部分总是大于壁厚较小部分。塑件收缩受到阻碍的方向收缩率比无阻碍方向要小，例如带通孔塑件的孔径方向收缩小于轴向收缩，靠近嵌件部位的收缩小于远离嵌件部位的收缩。形状复杂塑件的收缩小于形状简单塑件的收缩。流动方向与垂直于流动方向的收缩亦有明显差别，一般地说，流动方向收缩率大于垂直于流动方向，但也有相反的情

况，这与塑料品种以及塑件壁厚有关。

### (3) 模具结构的影响

主要的影响因素是浇口位置、浇口横截面大小、浇口数量的影响。浇口位置的数量与位置不同，物料进入型腔后的流向、流程不同，使分子链取向方向和程度不同，不仅影响到收缩率大小，还影响到塑件各部分和各方向收缩的差别程度。浇口横截面面积大，有利于向模腔内传递压力和补入更多的塑料，使收缩率减小，但采用横截面大的浇口要求相应的较长保压时间，以便使浇口处物料冷却达到浇口凝固封闭，否则过早地结束保压就会因浇口尚未冻结封闭而使物料从型腔倒流至浇口以外，反而会增大收缩率并引起塑件其它弊病。塑件远离浇口部位的收缩率比靠近浇口部位的收缩率大。

### 2.3.3 结晶性

结晶结构是高聚物的一种聚集态结构。作为塑料基本组分的树脂，其中有许多品种都可以结晶。用 X 射线衍射方法研究发现，尽管许多树脂虽不具有很规则的宏观外形，但却包含着许多微小晶粒，这些晶粒内部结构与普通晶体类似，具有三维远程有序的特征。长径比很大的链状分子是用规则地折叠方式整齐排列形成微小晶粒的。结晶结构的基本单元是薄晶片，称为片晶。在一定条件下，无数片晶可以从一个结晶中心向四面八方生长，发展成为球状的多晶聚集体，称为球晶。只有从稀溶液中结晶时才能得到片晶单晶体，而从熔体冷却或从玻璃态加热结晶时，一般都是生成由多片晶堆切的球晶。因此，球晶在以热塑性树脂为基础的塑料制品中是一种最常见的结晶结构单元。

一种树脂是否能够结晶取决于分子链结构的规整性，只有具有充分规整结构的树脂才能形成结晶结构。因此，作为塑料应用，只有那些具有高度规整结构的线型或带轻微支链结构的热塑性树脂才能够结晶，热固性树脂由于具有三维网状结构根本不可能结晶。热塑性树脂中，那些分子链上含有侧基但侧基在空间以不规则方式排列，或分子链上含有大量支链，或者分子链是由两种单体共聚生成，而两单体又以随机方式排列，都可大大减小结晶的可能性，或使得材料根本不能结晶。

一种聚合物是否容易结晶，也与分子链的柔性有关。分子链结构同样规整的不同聚合物，分子链柔性愈好，结晶愈容易，因为它有助于结晶时分子链的重排与折叠。

一种塑料成型为制品时所产生的结晶度和晶粒大小与成型条件，特别是与冷却速率密切相关。这是因为结晶型聚合物的结晶速率是随温度而变化的，结晶速率在熔点附近是零，随温度下降逐渐增大达到最大值，再随温度下降而减小，至接近玻璃化温度时又重新变为零。这种情况如图 2.3-1 所示，图中曲线是聚对苯二甲酸乙二醇酯的结晶曲线。因此，制品成型过程中的冷却速率对制品结晶度和晶粒结构有重大影响。冷却速率快（例如当模温较低时），所得到的制品结晶度低、晶粒小，制品硬度低、韧性好，收缩率也较小，冷却速率慢时（当模温较高时）则正好相反。

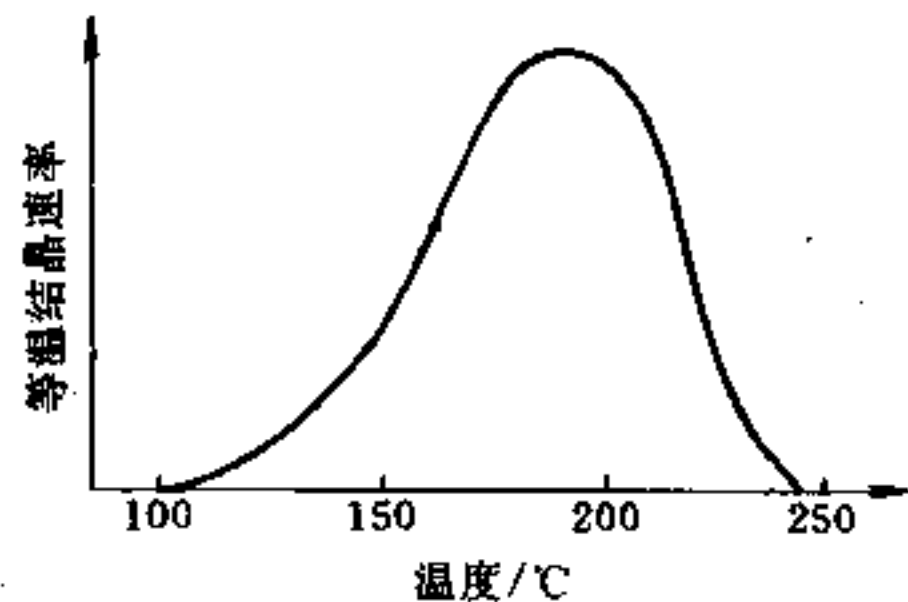


图 2.3-1 PET 结晶速率随温度的变化



会存在这样的情况，某些聚合物，由于玻璃化温度与熔点相差不是太大，都远高于成型时的模具温度，熔体进入模具型腔时会迅速冷却到低于玻璃化温度。这些聚合物的成型过程，根本不会创造出使聚合物结晶的条件，尽管它们的分子链结构可能很规整，理论上本应是可以结晶的，但实际生产中却从未得到过结晶产品。双酚 A 型聚碳酸酯、聚砜、聚芳砜聚醚砜、聚苯醚等都属于这种材料。这些聚合物不仅  $T_m$ 、 $T_g$  差值不大，都远高于模温，而且分子链刚性大，妨碍结晶过程。

在常用的塑料中，聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛、各种尼龙等都是比较典型的结晶型塑料，可达到颇大的结晶度；PBTP、PETP、氯化聚醚、聚醚醚酮等，是具有一定结晶度的塑料；通用聚苯乙烯、苯乙烯系共聚物、丙烯酸类塑料都是典型的无定形塑料。

### 2.3.4 取向性

链状大分子具有很大的长径比，可以达到数百、数千、数万甚至数十万，这样的分子在外力作用下，分子链会沿外力作用方向呈某种方式和某种程度的平行排列，称取向。材料在一个方向上受外力作用产生单轴取向，所有取向的分子都沿一个方向排列。若材料受互相垂直的两个方向外力作用，则会产生双轴取向，一部分分子链沿一个方向平行排列，另一部分分子链沿同一平面内的另一方向平行排列，即所有取向的分子链都沿着两个力所组成的平面平行排列，但在平面内各分子链排列可能仍然是无序的。

分子链的取向单元包括链段取向和整链取向两种。链段取向在高弹态下就能发生，链段取向时，链段沿外力场方向平行排列，但整个分子链可能仍是随机排列的。整个分子链的取向只能在粘流状态下进行。无论链状取向或整链取向，都是热力学上的非平衡状态，当外力解除后，都会由于分子的热运动使链段或整链重新处于随机状态，称为解取向。只有当取向后的链段或分子链被迅速冷却到玻璃化温度时，取向才能被保留下来。这种被“冻结”的取向也只有相对的稳定性，也会很缓慢地解取向。随材料温度提高，解取向会迅速进行。

塑料熔融加工过程中，例如注塑和挤出中，都会产生分子链的取向。取向对制品带来的影响是产生性能的各向异性，取向方向的强度、模量等明显增大，垂直于取向方向的强度、模量等明显减小，这是因为在取向方向上分子链的各原子是以化学键相结合，而垂直于取向方向上各分子链之间的作用力是范德华力。取向还会造成制品两个方向收缩率、折射率等的不同。在注塑制品生产过程中，常常利用取向来改善制品某个方向的力学性能。取向也会对制品带来不利影响，会使制品在工作过程中由于解取向的进行而改变尺寸，产生变形甚至产生裂纹等（在垂直于取向方向）。针对这种情况，在制品成型后，应预先进行必要的处理，创造出使已取向分子解取向的必要条件，避免“冻结”在制品中的分子链取向在制品工作中所带来的上述弊病。

注塑、挤出等成型过程中，材料分子链仅产生单轴取向，单轴取向在塑料单丝、纤维和薄膜生产中得到最充分的应用，用于提高单丝、纤维长度方向的强度和薄膜某方向的强度。双轴取向可以改善薄膜平面内各方向的强度，也可以提高有机玻璃板材的强度。

### 2.3.5 吸湿性

吸湿性是指塑料材料从空气中吸收水分的倾向。某些塑料由于树脂分子链含有亲水

基团，具有明显的吸湿倾向，例如聚酰胺、酚醛塑料等。凡树脂分子链中含有极性基团的塑料，都会使材料产生吸湿性。塑料材料中的增强剂、填料等助剂若含有亲水基团、极性基团等，也会增大材料的吸湿性。塑料从空气中吸湿的速率与材料的比表面有关。塑料材料的供料状态大都是颗粒状（热塑性塑料）、细粉状（热固性塑料压塑粉、某些热塑性塑料树脂粉），具有较大比表面，从空气中吸湿速率较快。长期贮存的塑料供料，很容易达到吸湿平衡，含有较多水分，成型前必须进行充分干燥，否则会在制品成型时出现表面银丝、内部气泡等弊病，对某些塑料还会产生水解降解等，引起力学性能下降。

塑料制品吸湿对制品性能也会带来影响，吸入制品内部的水分往往起增塑剂作用，使材料模量明显减小，力学性能改变，明显吸湿的塑料对塑件尺寸也有影响。吸湿后的制品电性能会明显降低。用于电绝缘和介电方面的塑料制品，应选用吸湿性小的塑料。

应该对塑料的吸湿性和吸水性两术语加以区别。吸水性指将塑料在规定条件下浸泡到水中后对水的吸收能力的大小，用吸水率来表示。吸水率是用将塑料在  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  条件下浸泡到蒸馏水中 24h 后的增重率来表示。塑料的吸水性与在空气中的吸湿性基于同样原因，吸水率大的塑料吸湿性也大；从吸水性试验数据可直接判断出塑料的吸湿性。

### 2.3.6 硬化特性

热塑性塑料制品的生产，是在熔融流动状态下借助一定的模型，在外压力作用下获得要求的形状和尺寸，再经冷却变硬（定型）使已获得的形状和尺寸永久保存下来，成为制品。在冷却定型过程中，材料经历了聚集态改变或相变、无定形聚合物从粘流态变为高弹态，再变为玻璃态，结晶型聚合物从粘流态变为晶态等过程。热固性塑料则是在充满模腔后进一步受热产生交链反应，使之固化变硬定型成为制品。我们统称塑料制品的定型过程为硬化。

不同塑料具有不同的硬化特性。热塑性塑料硬化时的聚集态或相变过程中，体积缩小，熔融剪切流动中（充模时）取向的分子链会产生松弛。如果材料的比热容较小，冷却变硬的速度就快，给分子链松弛所提供的较短，如若材料分子链刚性较大，取向分子链解取向（松弛）的速度就慢，这两种因素结合就很容易在制品内产生冻结应力。反之，如果材料比热容较大，冷却变硬的速度就慢，取向分子链有较充分的松弛时间，兼之材料分子链如果较柔，取向分子链的解取向速度快，使分子链得到充分松弛，就可消除或大大减小内应力。聚碳酸酯和聚乙烯可作为上述两种不同材料的典型代表。聚碳酸酯的比热容约  $1225\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{k})$ ，熔体冷却硬化较快，加之分子链刚性大，不易松弛，很容易产生内应力。聚乙烯的比热容约  $2301\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{k})$ ，熔体冷却硬化较慢，加之分子链柔软，容易松弛，制品产生的内应力就小得多。当然熔体冷却硬化的速率与模具温度亦有很大关系，因此也会影响到分子链的松弛情况。结晶型塑料冷却定型过程中，分子链折叠堆砌产生结晶结构，需要相应的温度条件和时间条件。每种结晶型聚合物都有一个相应的最大结晶速率温度（一般约在熔点至玻璃化温度区间的某中间温度），如果聚合物在模具中的硬化过程经历这一温度时能保持较长时间，必然能得到较充分结晶，得到结晶度较高、晶粒结构较粗大的制品；反之，就会得到结晶度较小，晶粒结构较细小的制品。显然，聚合物的比热容和模具温度决定着聚合物在这一温度下所能保持的时

间。比热容小和模温低时，聚合物冷却速率快，经历最大结晶速率温度的时间很短；比热容大和模温高时，情况正好相反，两种情况下会得到截然不同的结果。制品产生结晶度不同，对制品性能有颇大影响。不同热塑性塑料不同的硬化特性和成型条件的颇大差异，使不同塑料制品乃至同一材料的不同制品性能上有很大差异。

热固性塑料成型时要求在最佳的塑化流动状态下充模，充模后又能以最快的速度交链固化。同样，不同热固性塑料的硬化特性也有颇大差别，主要表现在固化反应速度的不同。由于提高温度一方面可以使物料的流动性增大，另一方面又能加速固化反应使流动性减小，因此恰当地调节模温和物料受热时间（包括注塑时在料筒内和充模过程中两段时间）就成为取得优质制品的关键。模温偏低时物料流动性欠佳，充模速度慢，难以充满复杂型腔；偏高时又会使物料在尚未完成充模就过早产生固化反应，亦不能顺利充模并带来制品弊病。不同塑料品种固化反应速度差别颇大，酚醛塑料较慢，脲醛和三聚氰胺甲醛塑料就快得多。

## 2.4 塑料熔体流动特性

### 2.4.1 粘性流动行为

在塑料成形过程中，除极少数几种工艺外，均要求塑料处于粘流状态。因为在这种状态下的塑料不仅易于流动，而且易于形变，这给它的输送和成形制品带来极大方便，使之大规模的工业化生产成为可能。熔体流动和形变都是在外力作用下实现的。其中最为重要的是剪切应力，因为成形时塑料熔体或分散体在设备或模具中流动的压降、所需功率以及制品质量等均受它的制约。剪切应力还直接影响到熔体粘度。

#### 一、牛顿粘性定律

牛顿在研究低分子液体的流动时，发现剪切应力和剪切速率间存在着一定关系，可表示为：

$$\tau = \mu \left( \frac{dv}{dr} \right) = \mu \dot{\gamma} \quad (2.4-1)$$

式(2.4-1)说明液层单位面积上所施加的剪切应力  $\tau$  与液层间的速度梯度  $(dv/dr)$  成正比，这就是著名的牛顿粘性定律。其中  $\mu$  为比例常数，称为牛顿粘度。它是液体本身固有的性质，其大小表征液体抵抗外力流动变形的能力。

#### 二、粘性系统流体

根据非牛顿型液体的剪切应力与剪切速率间呈现非线性关系的不同特征，非牛顿型流体又可分为粘性系统、有时间依赖性系统和粘弹性系统三大类。其中与模具设计密切相关的是粘性系统。这类流体流动时，其剪切速率只依赖于所施加剪切应力的大小，而与剪切力所施加的时间无关。它的普适粘性流动方程可表示为：

$$\dot{\gamma} = f(\tau) \quad (2.4-2)$$

根据流体函数关系式性质的不同，又可分为：

##### 1. 宾哈流体 (Bingham fluid)

其粘性流动方程可表示为：

$$\tau - \tau_y = \eta_p \dot{\gamma} \quad (\tau > \tau_y) \quad (2.4-3)$$

式中,  $\eta_p$  为流体的粘度或刚性系数。宾哈液体之所以有这种流变行为, 原因是当外加应力超过  $\tau_y$  时, 这种流体内部的凝胶性结构才全部崩溃, 并开始流动。在塑料工业中, 几乎所有聚合物的浓溶液和凝胶性糊塑料的流变行为, 都与宾哈流体很接近。

### 2. 假塑性流体 (Pseudoplastic fluid)

描述假塑性流体流动行为的经验方程中, 具有实用价值的要推幂律函数方程:

$$\tau = k \left( \frac{dv}{dr} \right)^n = k \dot{\gamma}^n \quad (n < 1) \quad (2.4-4)$$

式中  $k$ ——流体稠度, 表征流粘稠性的量度;

$n$ ——流体流动行为指数。 $n$  值离整数 1 越远, 表明该流体的非牛顿性越强。

若取  $\eta_a = k (dv/dr)^{n-1} = k \dot{\gamma}^{n-1}$ , 则有另一种假塑性流体粘性流动方程表达式

$$\tau = \eta_a \dot{\gamma} \quad (2.4-5)$$

$\eta_a$  为假塑性流体的表观粘度 ( $N \cdot s/cm^2$  或  $Pa \cdot s$ ) 此种流体的最大特点是: 粘度随剪切速率的增加而降低, 具有“剪切变稀”的流动特性。幸运的是绝大多数热塑性塑料熔体属于假塑性流体范畴, 为其熔体加工创造了优越条件。

### 3. 膨胀性流体 (Dilatant fluid)

膨胀性流体的流动行为, 也可用幂律函数方程来描述, 但  $n > 1$ 。即

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \text{ 和 } \eta_a = k (dv/dr)^{n-1} = k \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.4-6)$$

显然, 这种流体具有“剪切变稠”的特性, 属不适宜用剪切力来加工成形的材料。好在这类流体在塑料中极少。

## 2.4.2 影响粘性流动的因素

粘度是描述塑料熔体流动行为的重要量度, 为塑料模具设计不可缺少的工艺数据, 分析了解其影响因素十分重要。

### 一、温度的影响

由于粘性流动是一种速率过程, 通常可用阿雷尼厄斯 (Arrhenius) 方程来描述其粘性流动对温度的依赖性。

$$\eta = \eta_0 \exp \left[ \frac{E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (2.4-7)$$

式中  $E$ ——流体的活化能 ( $E(\dot{\gamma})$  或  $E(\tau)$ ) ( $kJ/mol$ );

$R$ ——分子能常数 ( $8.32J/mol \cdot K$ );

$T$ ——流体温度 ( $^{\circ}C$ );

$T_0$ ——基本温度 ( $^{\circ}C$ );

$\eta_0$ ——于基本温度下的粘度 ( $Pa \cdot s$ )。

表 2.4-1 中列有若干聚合物熔体的活化能  $E(\dot{\gamma})$ 。若须用给定剪切应力下的活化能  $E(\tau)$ , 则可由  $E(\tau) = E(\dot{\gamma})/n$  而得。表 18.1-2 给出了若干聚合物的非牛指数  $n$  值。图 2.4-1 给出了五种聚合物熔体随温度的升高, 其粘度呈指数函数方式下降, 但其对温度的敏感性不尽相同。

表 2.4-1 若干聚合物熔体的活化能

聚合物	商品名	温度/°C	剪切速率/ $s^{-1}$	$E(\dot{\gamma})/kJ$
聚甲醛(POM)	Delrin 500×	190	$10^1 \sim 10^2$	26.4~28.5
尼龙(PA)	1050	250	$10^1 \sim 10^2$	96.3~104.7
聚乙烯(MI3.3)	Sholex 600	190	$10^1 \sim 10^2$	25.1~28.5
聚乙烯(MI2.1)		150	$10^2 \sim 10^3$	28.9~34.3
聚乙烯(MI2.1)		200	$10^2 \sim 10^3$	23.9~29.3
聚乙烯(MI0.74)	Hi-Zex 3000	190	$10^1 \sim 10^3$	28.9~30.1
聚丙烯(PP)	1014	250	$10^1 \sim 10^2$	41.8~60.1
聚丙烯(PP)		180~220	$10^1 \sim 10^3$	13.6~22.6
聚丙烯+40%滑石粉		180~220	$10^1 \sim 10^3$	15.1~21.8
聚苯乙烯(PS)	Diarex HF55	190	$10^1 \sim 10^2$	92.1~96.3
有机玻璃(PMMA)	Acrypet M	190	$10^1 \sim 10^2$	159~167
聚碳酸酯(PC)	Paullite K	250	$10^1 \sim 10^2$	167~188
聚氯乙烯(PVC)	JR800	160	$10^1 \sim 10^2$	250~270
聚丙烯(PP)		180~220	$2 \times 10^{-2} \sim 3 \times 153$	34.8
聚丙烯+40%滑石粉		180~220	$2 \times 10^{-2} \sim 3 \times 153$	34.8
聚异丁烯		55~120	$10^2 \sim 10^3$	20.5~36.4

## 二、压力的影响

聚合物的聚集状态，实际上存在很多微小空穴，即所谓“自由体积”，从而使聚合物熔体有了可压缩性。在模塑过程中，塑料熔体受到自身的流体静压力和外部施压的双重作用。熔体中“自由体积”减小，大分子间的距离缩短，链段活动范围变窄；而分子间的作用力增加，以致于流体的粘度增大。表 2.4-2 列出了若干聚合物在不同压力下的粘度比值。

增加压力引起粘度增大这一事实表明，单纯通过增大压力去提高产量，是不恰当的。过大的压力，不仅会造成功率的消耗，而且还会造成设备的过度磨损。事实上，一种聚合物在正常加工范围内，增加压力对粘度的影响，与降低温度对粘度的影响，具有相似性。

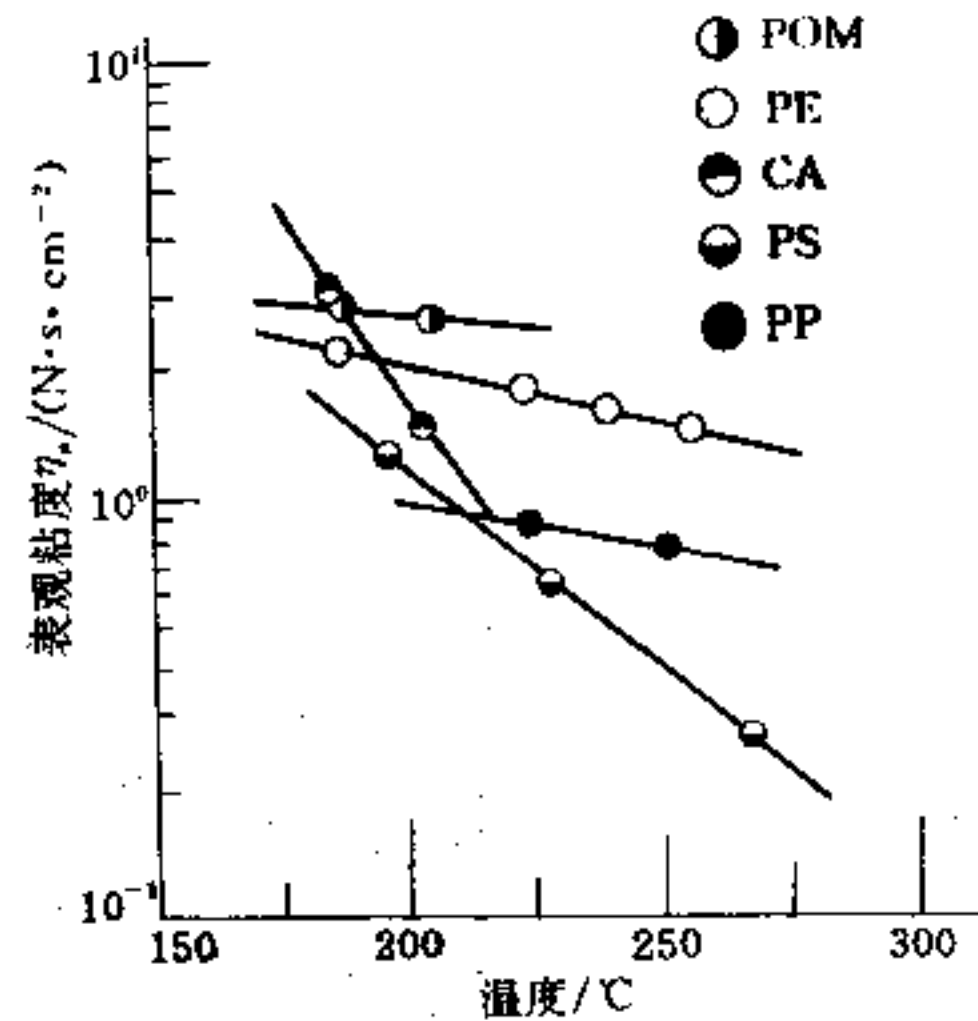


图 2.4-1 表观粘度随温度的依赖关系

表 2.4-2 聚合物在不同压力下粘度的比值

聚合物			熔体温度/°C	压力变化范围/MPa	粘度比值(增大倍数)
代号	密度/( $g \cdot cm^{-3}$ )	MI/( $g \cdot min^{-1}$ )			
PS			196	0~126.6	134.0
PS			180	14.0~175.8	10.0
PE			149	0~126.6	14.0
PE	0.960	5.0		14.0~175.8	4.1
PE	0.920	2.1		14.0~175.8	5.6
PE	0.920	0.3		14.0~175.8	9.7
PE	0.945	0.2		14.0~175.8	6.8
PP	0.907			14.0~175.8	7.3



显然，在生产控制过程中，通过改变压力或温度，都能获得相同的粘度变化效应，通常把这种相关的变化效应称之为压力/温度等效效应，并以符号  $(\Delta T/\Delta P)_\eta$  表示之。若干聚合物的  $(\Delta T/\Delta P)_\eta$  值列于表 2.4-3 中。例如在 220℃ 和 100MPa 下的 LDPE，在表 2.4-3 中查得  $(\Delta T/\Delta P)_\eta$  为  $5.3 \times 10^{-1} \text{℃/MPa}$ ，因此在标准大气压下为了获得相同的粘度所必需的温度降为  $5.3 \times 10^{-1} \times 100 = 53 \text{℃}$ 。这就是说，LDPE 熔体在 220℃ 和 100MPa 压力的流动性能等于该熔体在 167℃ (= 220 - 53) 和在大气压下的流动性能。

表 2.4-3 若干聚合物熔体的温度/压力等效值

聚合物	聚氯乙烯 (PVC)	尼龙 (PA66)	有机玻璃 (PMMA)	聚苯乙烯 (PS)	高密度聚乙烯 (HDPE)
$(\Delta T/\Delta P)_\eta \times 10^{-1} / (\text{℃} \cdot \text{MPa}^{-1})$	3.1	3.2	3.3	4.0	4.2
聚合物	共聚甲醛 (CO-POM)	低密度聚乙烯 (LDPE)	硅烷聚合物	聚丙烯 (PP)	
$(\Delta T/\Delta P)_\eta \times 10^{-1} / (\text{℃} \cdot \text{MPa}^{-1})$	5.1	5.3	6.7	8.6	

### 三、剪切速率的影响

塑料熔体的一个显著特征是具有非牛顿性，其表观粘度随剪切速率（或剪切应力）的升高而降低。在相同情况下高  $\dot{\gamma}$  下的粘度值可比低  $\dot{\gamma}$  下的粘度值小几个数量级，这可从图 7.4-2 和图 7.4-3 清楚地观察到。在很低的  $\dot{\gamma}$  下塑料熔体具有很高的粘度。可是在通常可达到的  $\dot{\gamma}$  范围内，双对数坐标图中的粘度值几乎是随  $\dot{\gamma}$  的增加呈直线下降。正如

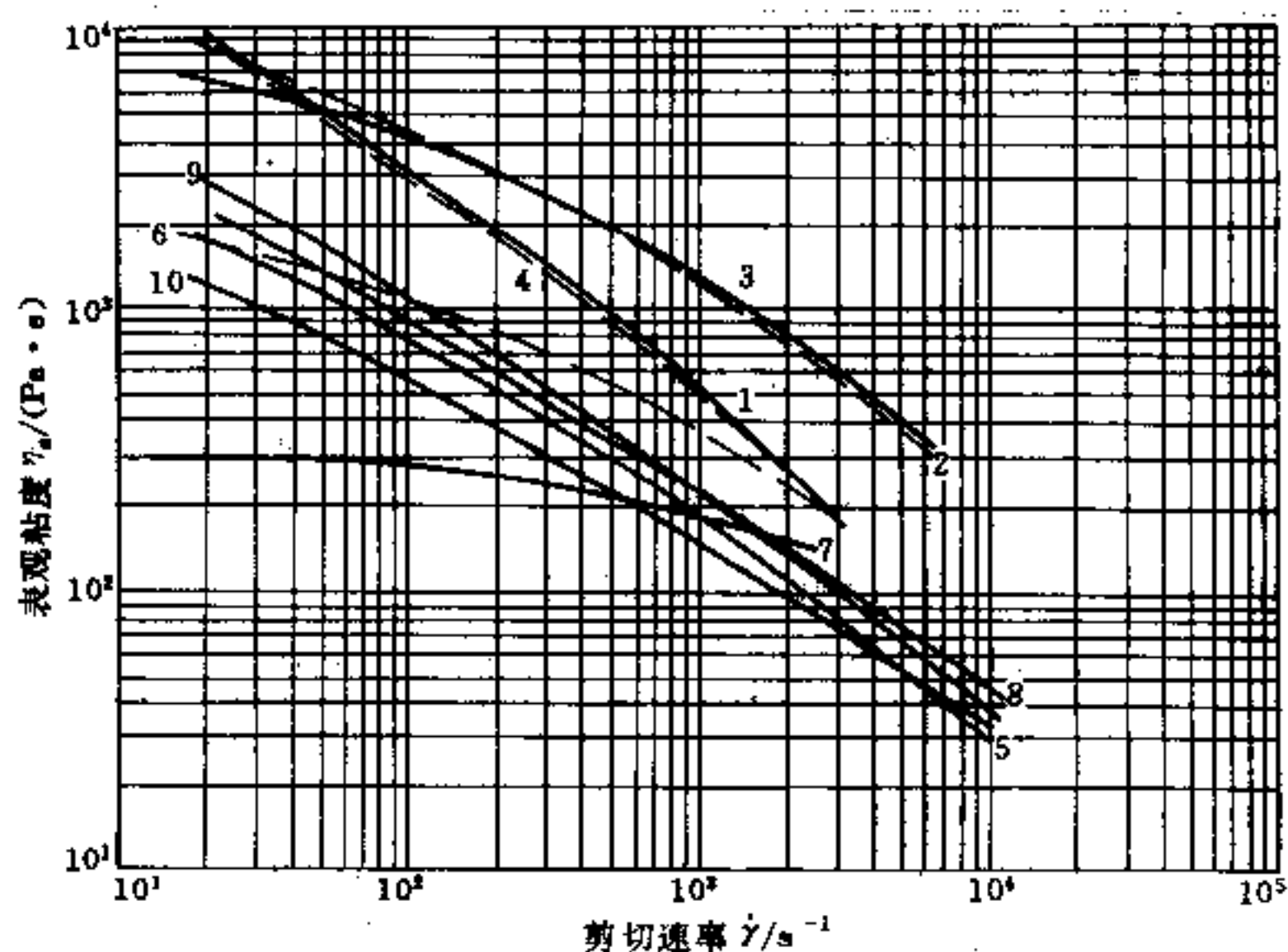


图 2.4-2 表观粘  $\eta_a$  与  $\dot{\gamma}$  的关系

- 1—ABS (210℃); 2—聚砜 (310℃); 3—聚碳酸酯 (280℃); 4—聚甲基丙烯酸甲酯 (200℃);  
 5—软聚氯乙烯 (170℃); 6—尼龙 1010 (230℃); 7—聚对苯二甲酸乙二醇酯 (270℃);  
 8—聚丙烯 (180℃ MFI=2.61); 9—聚苯乙烯 (190℃); 10—低密度聚乙烯 (150℃)。

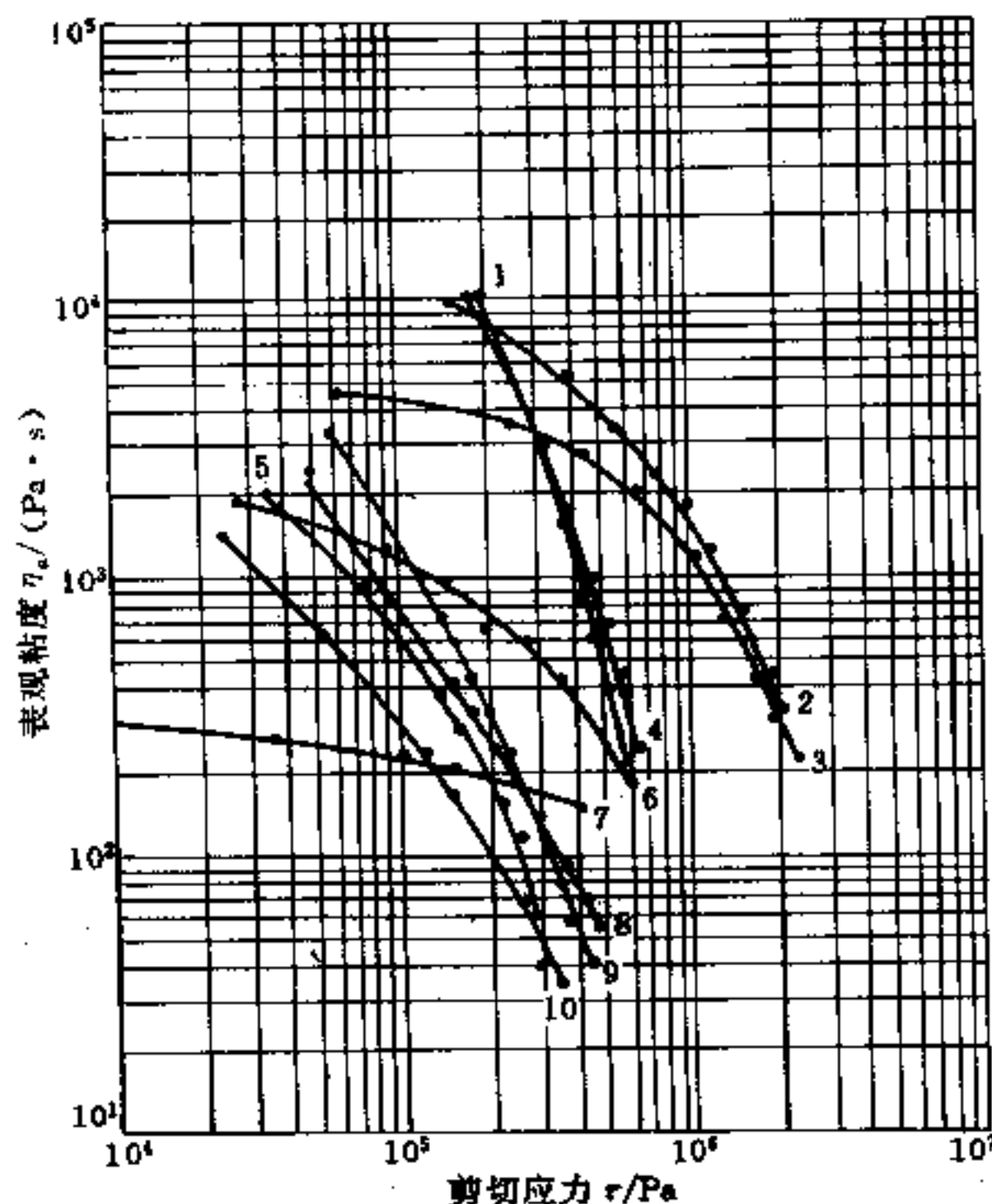


图 2.4-3 表观粘度  $\eta_a$  与  $\tau$  的关系

1~10—与图 2.4-2 相同。

式 (2.4-5) 所描述的那样:

$$\eta_a = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (n < 1) \quad (2.4-8)$$

或

$$\eta_a = K^n \tau^{\frac{1-n}{n}} \quad (n < 1) \quad (2.4-9)$$

表观粘度  $\eta_a$  随剪切速率  $\dot{\gamma}$  或剪切应力  $\tau$  的增大而呈指数函数地降低。对塑料模具设计来说, 如果塑料熔体的粘度在很宽的  $\dot{\gamma}$  范围内都是可用的, 则选择在粘度对  $\dot{\gamma}$  不甚敏感的区域内的操作数据更为合适。因为此时  $\dot{\gamma}$  的波动, 不会造成塑件质量上的明显差异。

#### 四、聚合物结构因素的影响

##### 1. 相对分子质量

分子量是确定聚合物流变性质最重要的结构因素。在给定温度下, 聚合物熔体的零剪切粘度  $\eta_0$  随分子量的增加呈指数关系增大。一般说来, 它们有如下关系:

$$\eta_0 = k \bar{M}_w^a \quad (2.4-10)$$

式中,  $k$  为实验常数。当  $\bar{M}_w > M_c$  时,  $a = 3.4 \sim 3.5$ ; 当  $\bar{M}_w \leq M_c$  时,  $a = 0.8 \sim 1.8$ 。临界分子量  $M_c$  取于不同的聚合物, 见表 2.4-4。

表 2.4-4 若干聚合物的临界分子量  $M_c$  值

聚合物	线型聚乙烯	聚异丁烯	聚乙酸乙烯酯	聚苯乙烯	
$M_c$ 值	4000	17000	29200	38000	
聚合物	聚二甲基硅氧烷	聚甲基丙烯酸甲酯	线型聚己内酰胺	四支化聚己内酰胺	八支化聚己内酰胺
$M_c$ 值	35200	10400	19200	22000	31100

## 2. 分子量分布

平均分子量分布相同，但相对分子质量分布不同的聚合物，其流动性的差别如图 2.4-4 所示。显然，分子量分布宽的聚合物熔体，其流动性表现出更多的非牛顿性；分子量分布窄的聚合物，在较宽剪切速率范围内流动时，表现出更多的牛顿型特征。

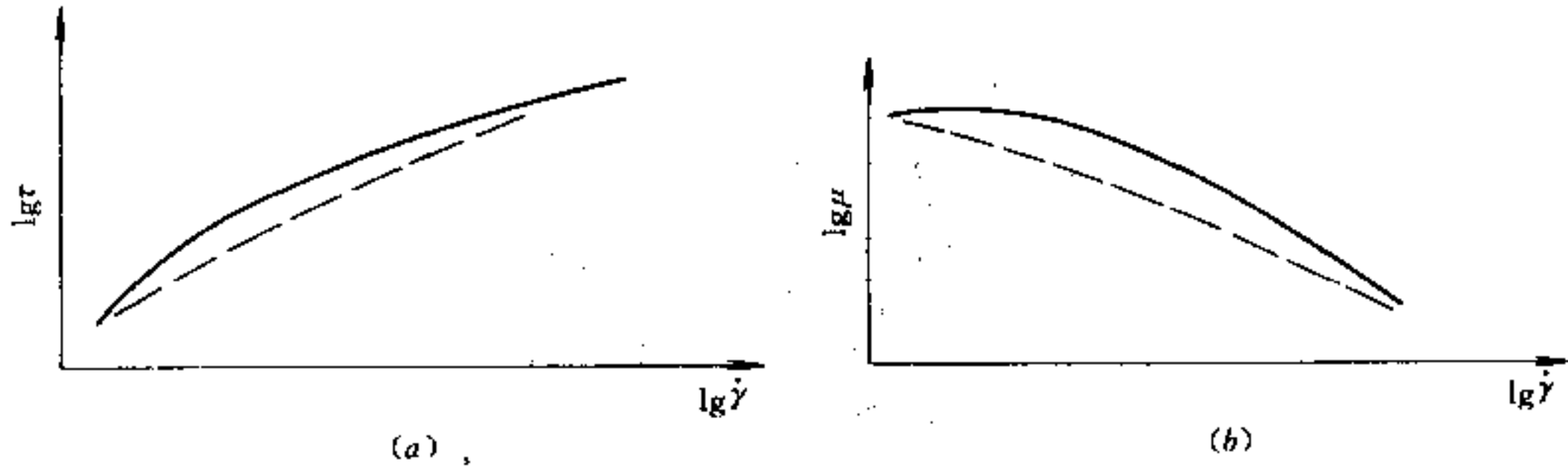


图 2.4-4 分子量分布不同的聚合物的流变曲线  
——窄分子量分布；---宽分子量分布。

## 3. 聚合物结构

如图 2.4-5 所示。剪切速率的变化，对 PS 表观粘度的影响最为敏感，其次是醋酸纤维、聚乙烯和聚丙烯，聚甲醛对  $\dot{\gamma}$  的依赖性最小。这说明具有刚性分子链的聚合物，其粘度对  $\dot{\gamma}$  的变化比柔性分子链聚合物来得快。

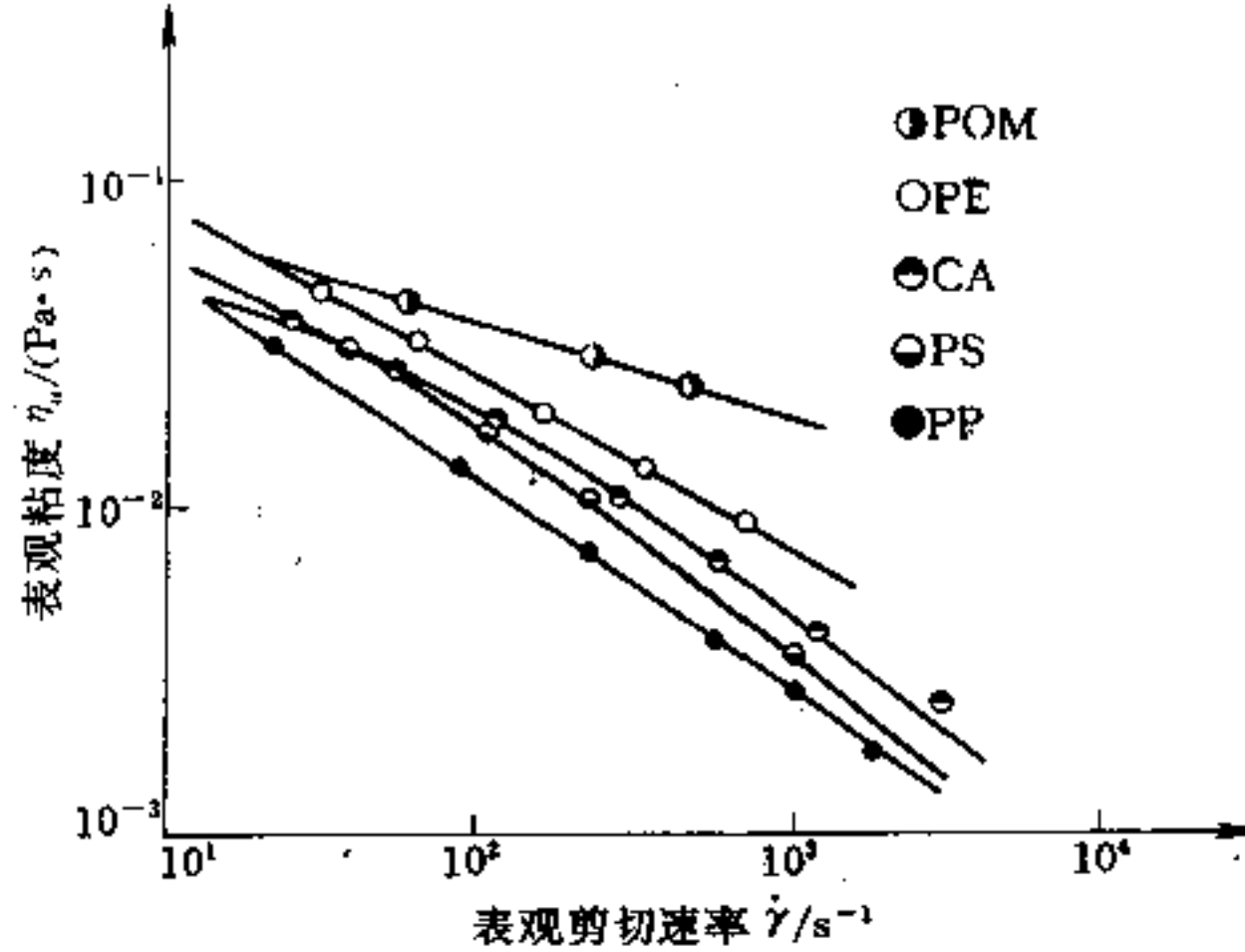


图 2.4-5 不同聚合物之流变曲线

### 2.4.3 状态方程

在塑料模具设计计算中，常要用到聚合物熔体的密度  $\rho_m$ 。聚合物熔体密度  $\rho_m$  是温度和压力的函数。它可由表示压力、温度和容积相互间关系的状态方程获得。其表达式为：

$$(P + \pi) (V_m - \omega) = R'T \quad (2.4-11)$$

$$\text{或} \quad \rho_m = \frac{1}{V_m} = \frac{(P + \pi)}{R'T + \omega (P + \pi)} \quad (2.4-12)$$

式中  $P$ ——外加压力 ( $\text{N}/\text{cm}^2$ );

$\pi$ ——内压力 ( $\text{N}/\text{cm}^2$ );

$V_m$ ——熔体比容 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ );

$T$ ——绝对温度 ( $\text{K}$ );

$\omega$ ——在绝对温度为零时流体比容 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ );

$R'$ ——修正的气体常数 ( $\text{N}\cdot\text{cm}^3/\text{cm}^2\cdot\text{g}\cdot\text{K}$ )。

该状态方程可用于无定形聚合物,也可用于结晶形聚合物。若干聚合物的状态参数见表 2.4-5。

表 2.4-5 状态方程的  $\pi$ 、 $\omega$  和  $R'$  值

聚合物	$\pi/ (\text{N}\cdot\text{cm}^{-2})$	$\omega/ (\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1})$	$R'/ (\text{N}\cdot\text{cm}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$
聚苯乙烯 (PS)	19010	0.822	8.16
通用聚苯乙烯 (GPS)	34840	0.807	18.90
有机玻璃 (PMMA)	22040	0.734	8.49
乙基纤维素 (EC)	24510	0.720	14.05
醋酸丁酸纤维素 (CAB)	26080	0.688	15.62
低密度聚乙烯 (LDPE)	33520	0.875	30.28
高密度聚乙烯 (HDPE)	34770	0.956	27.10
聚丙烯 (PP)	25300	0.922	22.90
聚甲醛 (POM)	27550	0.633	10.60
尼龙 610 (PA610)	13510	0.860	18.50
尼龙 66 (PA66)	30450	0.914	7.38

## 2.5 塑料熔体的弹性表现

### 2.5.1 入口效应

即使所挤出的聚合物熔体,只通过一个极短的口模,也会产生预想不到的大的压力降,此种现象称之为入口效应。因此,当用毛细管流变仪测量聚合物熔体粘度时,毛细管长度必须修正,通常采用入口修正系数  $n_B$ 。即由于聚合物熔体所具有的弹性,使口模的真实长度必须变长。在口模壁上的真实剪切应力应为:

$$\tau_w = \frac{\Delta P}{2(L/R + n_B)} \quad (2.5-1)$$

式中  $n_B$ ——入口修正系数,须由实验确定,通常可用“虚构长度”系数 3 来代替;

$\Delta P$ ——熔体通过口模时的总压降;

$L/R$ ——口模长度与半径之比。

于是可得口模的真实长度:

$$L = L_c \times \frac{b(a+3)}{a(b+3)} \quad (2.5-2)$$

式中  $L_c$ ——计算所得口模长度 ( $\text{cm}$ );

$a$ ——流变仪口模长径比;

$b$ ——计算所得口模长径比。

### 2.5.2 口模膨胀

口模膨胀定义为充分松弛的挤出物直径  $d$  与口模直径  $D$  之比。因此就圆形口模来说，口模膨胀比可表示为：

$$B = \frac{d}{D} \quad (2.5-3)$$

或

$$B' = \frac{d^2}{D^2} = B^2 \quad (2.5-4)$$

口模膨胀，在口模出口之初极大，而以后又变小。这是它依赖于熔体在流动期间可恢复的弹性变形所致。

### 2.5.3 熔体破裂

熔体破裂是挤出物表面出现凹凸不平或外形发生畸变、以至于支离或断裂的总称。它不仅在挤出物表面出现疵端，而且还深入到挤出物（制品）内部结构，因而具有更严重的破坏效果。模具设计时尤其应予以充分考虑，主要要在工艺参数与制模材料的选择方面下功夫。

关于熔体破裂，在以下诸方面已取得共识：

- (1) 熔体破裂只能在模壁处剪切应力或剪切速率高至一定值后才发生；
- (2) 临界剪切应力或速率随口模长径比和挤出温度的升高而增大；
- (3) 对大多数塑料来说，临界剪切应力约为  $10^5 \sim 10^6 \text{Pa}$ 。但在这一范围内的差别是有的，系与塑料的品种及牌号有关；
- (4) 临界剪切应力随聚合物相对分子质量的降低和相对分子质量分布幅度的增大而增加；
- (5) 熔体破裂与口模壁光滑程度的关系不大，但与制模材料的关系较大；
- (6) 如果使口模的入口区流线型化，常可使临界剪切速率或应力增大 10 倍或更多；
- (7) 某些聚合物，尤其是高密度聚乙烯，显示有超流动区。意即超过正常的临界剪切速率时，也不会引起挤出物的畸变。因此可以推测，这类聚合物可实现超高速挤出。

## 2.6 塑料熔体在管隙中的流动分析

### 2.6.1 单元体与稳流假设

尽管塑料模具的种类繁多，几何形状各异，但归纳起来不外乎是一些截面形状简单的管或隙的组合体。其中圆形和狭缝隙（形）流道是两种极端情况，其它形状的流道实际上可看成是这两种极端情况的过渡或组合体。

由于熔体内部粘滞力和模壁摩擦力的存在，塑料熔体沿模腔流道流动会引起速度变化和压力降。模具流道截面形状与尺寸的变化，也会引起熔体流速分布、压降与流量的变化，这将对塑料制品质量、性能与产量产生重大影响。塑料熔体流经管隙所产生的压



降是塑料模具设计计算不可缺少的关键数据。它可用于评估塑料模具设计的可行性效果，并为制品成形提供工艺参数。为便于这种计算，可把模腔或流道按几何形状或截面特征归纳为若干典型基本单元体。这些基本单元体，大致有圆形、截锥形、矩形、梯形、楔形、椭圆形、三角形与圆筒形等。

由于绝大多数塑料熔体粘度都很高（一般在  $10^1 \sim 10^5 \text{Pa}\cdot\text{s}$ ），且为假塑性流体。对于服从幂律函数、并在通常情况下为稳态层流的塑料熔体，符合以下条件：

- (1) 不可压缩；
- (2) 等温流动；
- (3) 在流道壁上的速度为零；
- (4) 熔体粘度与时间无关；
- (5) 流道为足够长。

### 2.6.2 熔体在圆形单元体中的流动

将等截面圆形单元体置于圆柱面坐标系中，则动量方程  $z$  向分量（轴向）可简化为

$$-\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\tau_{rz}) = 0$$

再由式 (2.4-3) 联立求解，并利用边界条件  $v_z (r=R) = 0$ ，得熔体速度分布方程：

$$v_z = \frac{nR}{n+1} \left( \frac{R\Delta P}{2KL} \right)^{\frac{1}{n}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (2.6-1)$$

于是熔体流经该单元体的体积流量应为：

$$Q = 2\pi \int_0^R v_z r dr = \frac{\pi n}{3n+1} \left( \frac{\Delta P}{2KL} \right)^{\frac{1}{n}} R^{\frac{3n+1}{n}} \quad (2.6-2)$$

移项化简后得熔体流经等截面圆形单元体压降方程：

$$\Delta P = \left( \frac{3n+1}{\pi n} Q \right)^n \frac{2KL}{R^{3n+1}} \quad (2.6-3)$$

设熔体表观稠度  $K' = K \left( \frac{3n+1}{4n} \right)^n$  代入上式化简得：

$$\Delta P = \left( \frac{4Q}{\pi} \right)^n \frac{2K'L}{R^{3n+1}} \quad (2.6-4)$$

根据三角学，通过适当几何形状代换与数学处理，可得熔体流经截锥形单元体的压降方程：

$$\Delta P = \left( \frac{4Q}{\pi} \right)^n \frac{2K'L}{3n(R_1 - R_2)} [R_2^{-3n} - R_1^{-3n}] \quad (2.6-5a)$$

或可写成如下近似方程，更为简单和适用：

$$\Delta P = \left( \frac{4Q}{\pi} \right)^n \frac{2K'L}{R_2^{3n+1}} \quad (2.6-5b)$$

式中， $R_1$ 、 $R_2$ 、 $L$  分别为截锥体大、小端半径及其长度； $n$  和  $K'$  为塑料熔体幂律参数，详见第十八章表 18.1-2。

### 2.6.3 熔体在矩形单元体中的流动

设矩形流道截面宽为  $W$  (沿  $x$  轴)、高为  $H$  (沿  $y$  轴)、长为  $L$  (沿  $z$  轴), 则熔体流经矩形截面单元体的压降方程为

$$\Delta P = \left( \frac{4n+2}{n} Q \right)^n \frac{2KL}{W^n H^{2n+1}} \quad (2.6-6)$$

将  $K'' = K \left( \frac{2n+1}{3n} \right)^n$  代入上式化简后得:

$$\Delta P = (6Q)^n \frac{2K''L}{W^n H^{2n+1}} \quad (2.6-7)$$

设梯形流道上下底宽分别为  $B_1$  和  $B_2$ 、厚为  $H$ , 将  $W = (B_1 + B_2) / 2$  代入式 (2.6-7) 化简, 得梯形单元体内熔体压降方程为:

$$\Delta P = (6Q)^n \frac{2^{n+1} K''L}{(B_1 + B_2)^n H^{2n+1}} \quad (2.6-8)$$

此外, 当矩形流道厚度  $H$  恒定, 而宽度由  $W_1$  渐变为  $W_2$ , 构成宽楔形流道。据此可得其压降方程为

$$\Delta P = (6Q)^n \frac{2K''L (W_2^{1-n} - W_1^{1-n})}{(n-1) (W_1 - W_2) H^{2n+1}} \quad (2.6-9)$$

或取其近似值得:

$$\Delta P = \left( \frac{6Q}{W_2} \right)^n \frac{2K''L}{H^{2n+1}} \quad (2.6-10)$$

另外, 当矩形流道宽度  $W$  恒定, 而厚度由  $H_1$  渐变至  $H_2$ , 构成窄楔形流道。从而可推导得熔体压降为:

$$\Delta P = \left( \frac{6Q}{W} \right)^n \frac{K''L [H_2^{-2n} - H_1^{-2n}]}{n (H_1 - H_2)} \quad (2.6-11)$$

或取其近似值为

$$\Delta P = \left( \frac{6Q}{W} \right)^n \frac{2K''L}{H_2^{2n+1}} \quad (2.6-12)$$

值得注意的是  $K''$  与  $K'$  略有差别。经推导它们间有如下关系:

$$K'' = K' \left[ \frac{4(2n+1)}{3(3n+1)} \right]^n$$

由表 2.6-1 可知, 当取  $K'' = K'$  时, 其误差小于 4%。

表 2.6-1  $K''/K'$  随  $n$  值变化表

非牛顿指数 $n$	0.10	0.15	0.18	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
$(K''/K')$ 值	1.020	1.027	1.029	1.030	1.034	1.035	1.036	1.035
非牛顿指数 $n$	0.45	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$(K''/K')$ 值	1.034	1.033	1.031	1.028	1.022	1.016	1.008	1.000

### 2.6.4 椭圆形截面流道

设  $2A$  和  $2B$  分别代表椭圆形截面长轴和短轴的长度,  $W$  和  $H$  分别为与该椭圆面

积等效的矩形截面流道的宽度和高度。并令  $A/B = W/H = \zeta$ ，则可得熔体流经椭圆形单元体的压降方程：

$$\Delta P = \left( \frac{6Q}{\pi^{3/2}} \right)^n \frac{(\zeta+1) K'' L}{\zeta^{n+1} B^{3n+1}} \quad (2.6-13)$$

当椭圆形截面流道沿轴向具有  $2\theta$  的锥角时，则其压降方程变为：

$$\Delta P = \left( \frac{6Q}{\pi^{3/2}} \right)^n \frac{(\zeta+1) K'' \cot\theta}{6n\zeta^{(n+1)}} [B_2^{-2n} - B_1^{-2n}] \quad (2.6-14)$$

或取其近似值得：

$$\Delta P = \left( \frac{6Q}{\pi^{3/2}} \right) \frac{(\zeta+1) K'' L}{\zeta^{(n+1)} B_2^{3n+1}} \quad (2.6-15)$$

在实际应用中须注意以下三种情况：

- (1) 当为典型椭圆形截面流道时（即  $1.25 \leq \zeta \leq 10$ ），须用式（2.6-13）或式（2.6-14）求解；
- (2) 当长轴  $A$  略大于短轴  $B$  时（即  $\zeta \leq 1.25$ ），可使用圆形截面流道的压降方程（2.6-4）或式（2.6-5）来处理，较为简捷；
- (3) 当长轴  $A \gg B$ （短轴）时，（即  $\zeta > 10$ ）应用狭缝形截面流道的压降方程式（2.6-8）为妥。

### 2.6.5 正三角形截面流道

设正三角形截面流道的一个边长为  $s$ ，其等效截面圆半径为  $R$ 。经推导压降方程为：

$$\Delta P = (32Q)^n \frac{12K'L (\pi)^{\frac{n+1}{2}}}{3 \left( \frac{3n+5}{4} \right) s^{3n+1}} \quad (2.6-16)$$

当正三角形截面流道的每边（沿轴线方向），具有斜角为  $\beta$ 、且大小端边长分别为  $s_1$  和  $s_2$  时，则压降方程变为

$$\Delta P = (32Q)^n \frac{2K' \cot\beta L (\pi)^{\frac{n+1}{2}}}{n (s_1 - s_2) 3 \left( \frac{3n+5}{4} \right)} [s_2^{-3n} - s_1^{-3n}]$$

或取其近似值得

$$\Delta P = (32Q)^n \frac{12K'L (\pi)^{\frac{n+1}{2}}}{3 \left( \frac{3n+5}{4} \right) s_2^{3n+1}}$$

### 2.6.6 U形截面流道

在注射模浇注系统设计中，常要用到 U 形截面的分流道。U 形截面流道，因其形状的不规则，将其视为异形截面流道来处理。设 U 形截面积为  $A$ 、周长为  $S$ 、则其等效圆半径为

$$R_n = \frac{2A}{S}$$

且熔体通过的体积流量可写成

$$Q = \left( \frac{2n}{3n+1} \right) \left( \frac{A^{2n+1} \Delta P}{KS^{n+1} L} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2.6-17)$$

于是熔体流过 U 形单元体所产生的压降方程为:

$$\Delta P = \left( \frac{Q}{A} \right)^n \frac{2^{2n+1} K' L}{R_n^{n+1}} \quad (2.6-18)$$

### 2.6.7 圆环形截面流道

在此情况下, 熔体处于两个长度为  $L$ 、半径分别为  $R_i$  和  $R_0$  的同心圆筒之间的流动。对于幂律流体 (大多数塑料熔体如此), 当然也可以求得其速度分布函数式, 但需要进行相当长的数学运算, 实际上并非需要这一结果, 只有体积流量才是有用的, 经求解得:

$$Q = \frac{n\pi R_0}{2n+1} (R_0 - R_i)^{\frac{2n+1}{n}} \left( \frac{\Delta P}{2KL} \right)^{\frac{1}{n}} F(n, k) \quad (2.6-19)$$

图 (2.6-1) 给出了  $F(n, k)$  的图像求解值。于是压降为

$$\Delta P = \left( \frac{3Q}{\pi R_0} \right)^n \frac{2K'L}{(R_0 - R_i)^{2n+1} [F(n, k)]^n} \quad (2.6-20)$$

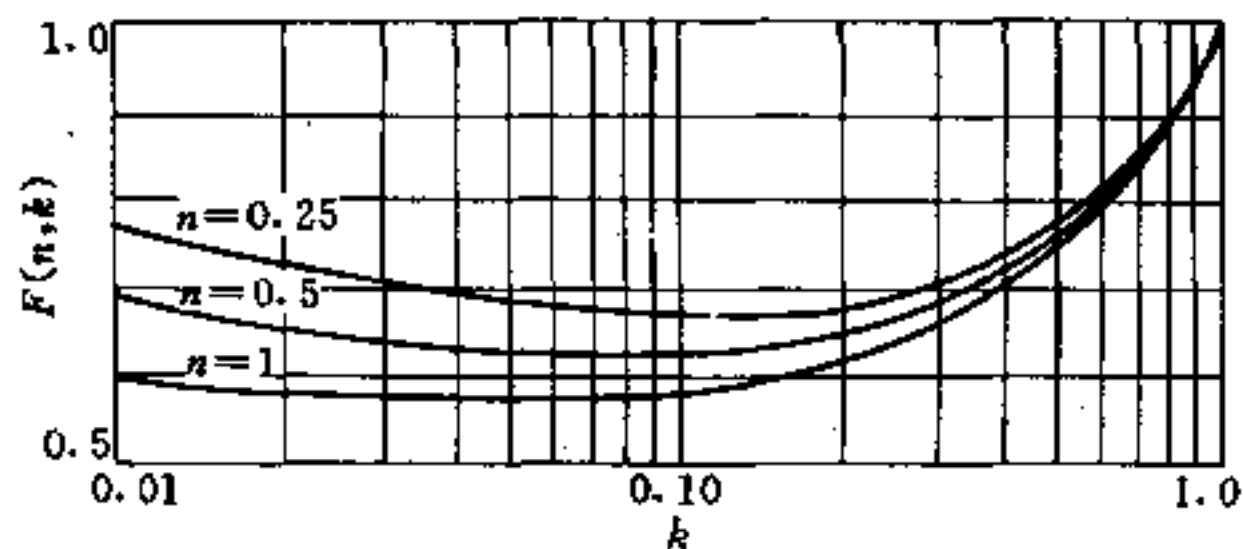


图 2.6-1 方程 (2.6-20) 定义的压降函数

### 2.6.8 管隙中的拖曳流动

在管隙中, 速度场产生于运动的周界, 此时没有压力施于熔体流动体系上, 然而流动场本身有时会建立起压力梯度。

#### 一、圆环隙空间的拖曳流动

这是熔体在两个半径分别为  $R_i$  和  $R_0$  的同心圆筒之间的转动流动。设内圆筒以线速度 ( $R_i \omega$ ) 转动, 从而使熔体产生了具有速度  $v_\theta(r)$  的等温层旋转流动。若该体系是旋转对称的, 且无轴向 ( $z$ ) 流动, 使用圆柱面坐标系, 则动量方程的  $\theta$  向分量简化为:

$$-\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \tau_{r\theta}) = 0 \quad (2.6-21)$$

再考虑幂律流体的解:

$$\tau_{r\theta} = K \left[ r \frac{d}{dr} \left( \frac{v_\theta}{r} \right) \right]$$

联立求解。并利用边界条件  $r = R_i$  时,  $v_\theta = R_i \omega$ ; 当  $r = R_0$  时,  $v_\theta = 0$ , 由此可最后解得  $v_\theta$ , 并可写成无量纲形式:

$$\frac{v_\theta}{R_i \omega} = \left( \frac{r}{R_i} \right) \left[ \frac{1 - \left( \frac{R_0}{r} \right)^{\frac{2}{n}}}{1 - k^{\frac{2}{n}}} \right] \quad (2.6-22)$$

通常将转动的内圆筒壁上的剪切速率, 作为公称剪切速率 (即最大值)。其表达式应为

$$\dot{\gamma}_{R_i} = \left[ r \frac{d}{dr} \left( \frac{v_\theta}{r} \right) \right]_{r=R_i} = \frac{\frac{2}{n} \omega}{1 - k^{2/n}} \quad (2.6-23)$$

内圆筒转动的情况可在旋转机头设计中找到应用。但更一般的情形是内外圆筒各自以不同速度转动, 其数学表达式要复杂多。

## 二、圆环隙轴向拖曳流动

这种流动模型如图 2.6-2 所示。熔体在两个同心圆筒之间的环隙空间, 被拖曳着沿轴向运动。若内圆筒以速度  $V$  沿  $z$  方向运动, 利用边界条件  $r = R_i$  时,  $v_z = V$  和  $r = R_0$  时,  $v_z = 0$ , 经推导可得无量纲体积流量表达式:

$$\frac{Q}{2\pi R_0 (R_0 - R_i) V} = \left( \frac{1}{q+1} \right) \left[ \frac{1 - k^{(q+2)}}{(-k)(k^q - 1)} \right] - \left[ \frac{1+k}{2(k^q - 1)} \right] \quad (2.6-24)$$

轴向拖曳流动的公称剪切率, 可在  $r = R_i$  上任意一点取值, 应由下式给出:

$$\dot{\gamma}_{R_i} = \left( - \frac{dv_z}{dr} \right)_{r=R_i} = - \frac{V}{R_0 - R_i} \left[ \frac{q(1-k)k^{q-1}}{k^q - 1} \right] \quad (2.6-25)$$

在式 (2.6-24) 和式 (2.6-25) 中,  $k = R_i/R_0$ ;  $q = -\frac{1}{n} + 1$ , 或  $q = \frac{n-1}{n}$ 。但牛顿流体的解, 不能简单地取  $n = 1$  得到。牛顿流体的结果应为:

$$\frac{v_z}{V} = \frac{\ln(r/R_0)}{\ln k} \quad (2.6-26)$$

和 
$$\frac{Q}{2\pi R_0 (R_0 - R_i) V} = - \frac{2k^2 \ln k - k^2 + 1}{4(1-k) \ln k} \quad (2.6-27)$$

以及 
$$\dot{\gamma}_{R_i} = - \frac{V}{R_0 - R_i} \left( \frac{1-k}{k \ln k} \right) \quad (2.6-28)$$

圆环隙轴向拖曳流动, 可在电线电缆包覆模具设计中应用。

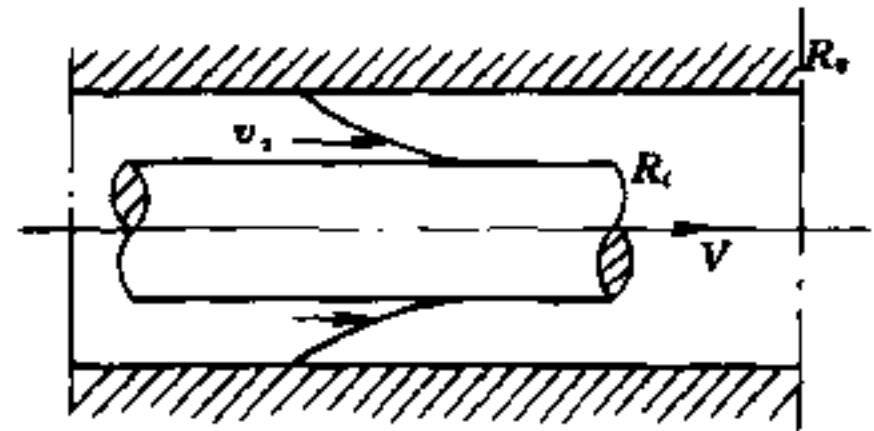


图 2.6-2 圆环隙轴向拖曳流动模型

## 参考文献

- 1 区英鸿等, 塑料手册, 北京: 兵器工业出版社, 1991
- 2 Vishu Shah, Handbook of Plastics Testing Technology, John Wiley & Sons, Inc., 1984

- 3 张克惠. 注塑模设计. 西安: 西北工业大学出版社, 1995
- 4 中国科技大学高分子物理教研室. 高聚物的结构与性能. 北京: 科学出版社, 1981
- 5 (英) R.P. 布朗编. 塑料试验方法手册. 沈曼英等译. 北京: 中国标准出版社, 1987
- 6 轻工业部塑料工业局. 塑料标准汇编. 成都: 成都科技大学出版社, 1987
- 7 中国大百科全书出版社编辑部. 中国大百科全书(化学). 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1989
- 8 张克惠、寇开昌. 注射参数对尼龙 1010 收缩率的影响. 工程塑料应用. 1987 (4): 17-31
- 9 张克惠、寇开昌. 注塑参数对聚苯乙烯收缩率的影响. 中国塑料. 95, 9 (4): 45-49
- 10 (德) N.S. 拉奥著. 塑料工程设计公式集. 朱进、吴立新译. 北京: 化学工业出版社, 1993
- 11 周彦豪编. 聚合物加工流变学基础. 西安: 西安交通大学出版社, 1988
- 12 厂浩主编. 塑料加工基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1981



## 第三章 塑件结构设计

将塑料加工成具有一定功能用途的塑料制件，有成型方法的工艺要求，制品本身的功能性要求，以及加工成本的经济性要求，故塑件结构设计十分重要。

### 3.1 塑件常用成型方法

目前把塑料加工成制品的方法已有近百种之多，但仍以模塑成型方法居多，如压缩成型、注射成型、压注成型以及挤塑成型等，把塑料模塑成型为几何形状、尺寸精度、物理机械性能等符合使用要求的制品。或者用上述方法之一把塑料加工成半成品，即工序制品，然后再采用机械加工的办法使其成为最终制品。

按成型过程中物理状态不同，可把塑料成型加工的方法分为熔体成型与固相成型两大类。

熔体成型也叫熔融成型，是把塑料加热至熔点以上，使之处于熔融态进行成型加工的一类方法。属于此类成型加工方法的主要有压缩成型、压注成型、注射成型、挤塑成型、旋转成型、离心浇铸成型、粉末成型等。

固相成型，是泛指塑料在熔融温度以下，至少低于熔点  $10\sim 20^{\circ}\text{C}$  时，塑料尚处于固态所进行的一类成型方法。其最大优点是节省能量。

对于非结晶型塑料来说，把在玻璃化温度以上，熔点以下的高弹区域内进行的成型加工，称为热成型；把在玻璃化温度以下进行的成型加工，称为冷成型或室温成型。

热成型，是把预先制成的塑料片材周边紧压固定于模具上，将片材加热软化，然后在模具成型面一侧抽真空，或者在与其相反的一侧充以压缩空气，使塑料片材紧贴于模具型面上，冷却定型后脱模，便获得热成型塑件。在此成型过程中，还可以利用压缩空气或辅助柱塞对片状坯材进行拉伸，借以改善塑件的壁厚均匀性及物理机械性能。

室温成型，多称固相成型。系指在室温条件下对热塑性坯材施加机械压力作用，使其成为塑件的一种方法。如在常温下的塑料粉末压延薄膜、片材辊轧、冷拉和冲压成型以及坯料或粉末塑料的模压成型等均属此列。

中空吹塑成型，是把由挤出或注射制得的、尚处于塑化状态的管状或片状坯材趁热固定于成型模具中，立刻通入压缩空气，迫使坯材膨胀并贴于模具型腔壁上，待冷却定型后脱模，即得所需中空制品。

物理变化成型，是在塑料成型加工过程中，发生以物理变化为主的，如相转变、变形与流动、机械分离，或稍热降解、轻度交联等的成型。热塑性塑料的挤塑成型、注射成型、压缩成型、浇注成型等均属此类物理变化的成型。

加有引发剂的甲基丙烯酸甲酯预聚物，加有固化剂的液态环氧树脂的静态浇铸，以

及聚氨酯单体的反应注射成型等，在其成型过程中，聚合物或单体有明显的聚合反应或交联反应。这些化学反应的进行程度对塑件的使用性能有决定性的影响。

热固性塑料的压注成型、压缩成型和注射成型等，其成型过程的共同特点，都是先通过加热使聚合物从玻璃态转变为粘流态。粘流态物料流动充模，取得模腔形状之后，再借助交联反应使塑件固化，成为具有一定形状与尺寸的工序制品或最终制品。不难看出，在这些塑件成型过程中，兼有物理变化和化学变化两种过程。

### 3.1.1 压缩成型

压缩成型俗称压制成型，是最早成型塑件的方法之一。压缩成型是将塑料直接加入到具有一定温度的敞开的模具型腔内，然后闭合模具，在热与压力作用下塑料熔融变成流动状态。由于物理及化学作用，而使塑料硬化成为具有一定形状和尺寸的常温保持不变的塑件。

压缩成型主要是用于成型热固性塑料，如酚醛模塑粉、脲醛与三聚氰胺甲醛模塑粉、玻璃纤维增强酚醛塑料、环氧树脂、DAP树脂、有机硅树脂、聚酰亚胺等的模塑料，还可以成型加工不饱和聚酯料团（DMC）、片状模塑料（SMC）、预制整体模塑料（BMC）等。

压缩成型也可用于热塑性塑件的生产。如用挤出机挤出已塑化好的热塑性料条，速把此料加入温度较低的压模中，压制成平板状或较浅的容器类制品，如鞋底、碟等。常把这种成型法称为热挤冷压成型。无翘曲变形的薄壁平面密纹唱片，就可用此种成型法制造；但是在实际生产中，压制热塑性塑件的情况并不多见，因其劳动强度大，消耗能量多、设备利用率很低。

#### 一、工艺性能指标

热固性塑料的流动性、固化速率及成型收缩率等工艺性能指标，对压制成型有重要意义。

(1) 流动性。薄壁、形状复杂的制品要求模塑料具有较大的流动性；厚壁、形状简单的制品能用流动性小的模塑料成型；但是流动性过小，往往充模困难。

(2) 固化速率。定义为在模压条件下，达到标准试件外观或指定性能最佳时，所需时间与试件厚度之比。其单位为： $\text{min/mm}$  或  $\text{s/mm}$ ，比值愈小，则固化速率愈大。物料的固化速率大，其流动性必然较低，成型薄壁形状复杂的制品时，可能出现物料尚未填满型腔就已固化的现象。

(3) 成型收缩率。塑件收缩量与塑料组成和性质、塑件形状、结构及成型条件、塑件的保管、使用条件等因素有关。塑料成型收缩率大，模压成型的制品，易翘曲变形；塑料成型收缩率波动大，模压成型的制品，尺寸波动范围也大。

#### 二、工艺参数

压缩成型过程可分为成型准备（工具、物料）、压缩成型（加料、压制、脱模）、塑件后处理（去毛边、涂漆烘烤及热处理）等三个阶段，在压制成型中要注意控制模压温度、模压压力及模压时间等三个工艺参数。

(1) 模压温度。压缩成型所规定的模温就是模压温度。物料在接触模壁处升温快，先交联反应形成硬壳，内部稍后交联、固化、收缩，因受硬外壳限制而承受拉应力。固

化后的塑件表层有残余压应力，内部有残余拉应力，这些残余应力的存在是塑件成型后出现翘曲、开裂、强度下降的原因。每一种热固性塑料有其合适的模压温度范围。模压温度过高，交联反应快；成型形状复杂、薄壁、深腔塑件时，常因物料流动性下降而难以充满模腔。过早形成的硬壳，阻碍内部交联而产生的低分子挥发物向外排出，导致塑件脱模后出现肿胀、翘曲、开裂。高模温会使着色剂分解，使塑件表面质量下降。模压温度过低，物料粘度高，流动性差，交联反应难以充分进行，导致塑件强度低，外观无光泽，脱模时出现粘附、变形。因此应在建议的模压温度范围内确定模压温度，薄壁塑件取上限，厚壁塑件取下限。深度很大的薄壁塑件也取下限，这是为了保证熔融物料能够充满深腔薄壁塑件的模腔。尽量减小模腔内物料的温差是获得高质量塑件的必要条件。

(2) 模压压力。系指压缩成型时在施压方向上模腔单位投影面积上所受到的压力。它的作用是使塑料增密、促进物料流动、平衡模腔内低分子挥发物所产生的压力。高模压压力使塑件密度增大，成型收缩量减小，增大物料流动，克服肿胀，防止出现气孔；但也会增大塑件内部残余应力。应根据材料性能、配合模温，选定合适的模压压力。表观密度低、散状料、乱纤维状塑料等需用高模压；模塑预压物、粉状料可用低模压。

(3) 模压时间。系指模具完全闭合后或最后一次卸压排气闭模后到开启模具之间，物料在模内受热固化的时间。它的作用是使压制品充分交联、固化定型，达到预期的物理机械性能或特定的使用性能指标。模压时间与塑料类型和组成、塑件的形状和壁厚、模具结构、模压温度及模压压力、预压、预热及卸压排气等多种因素有关。预热有利于缩短模压时间。提高模压温度，模压时间随之缩短。塑件壁厚大，需模压时间长。当模压温度和压力一定时，模压时间就成为决定塑件质量的关键因素。模压时间短，塑件未完全固化，机械性能差，外观缺乏光泽，易翘曲、肿胀。模压时间过长，会导致成型收缩量大，树脂与填料间内应力大，塑件表面发暗、起泡、裂纹。合适的模压时间会使塑件收缩量减小，提高其耐热性、电绝缘性能和强度。

热固性塑料模压制品内应力小，取向程度低、翘曲变形小，故塑件尺寸稳定性好；但塑件质量一致性差。因压缩变形量所限，压缩成型不适合成型形状很复杂的塑件。

### 3.1.2 压注成型

压注成型，亦称铸压成型。是将塑料原料加入预热的加料室内，然后把压柱放入加料室中锁紧模具，通过压柱向塑料施加压力，塑料在高温、高压下熔化为流动状态，并通过浇注系统进入型腔逐渐固化成塑件。此种成型方法，也称传递模塑成型。

压注成型适用于各种热固性塑料，原则上能进行压缩成型的塑料，也可用压注法成型。但要求成型物料在低于固化温度时，熔融状态具有良好的流动性，在高于固化温度时，有较大的固化速率。

压注成型用模具与压缩成型用模具，其结构与要求，显著不同，这两种不同类型的模具结构是影响成型塑件性能的重要因素。压注成型也能用于热塑性塑件成型。成型热塑性塑件时，模具型腔温度比加料室温度低得多，通常低 35~50℃。压注成型的工艺过程与压缩成型大致相同，其主要控制工艺参数为压注温度、压注压力和压注时间。压

注成型所规定的模温即为压注温度。同种模塑料的压注温度低于其模压温度。压注压力，系指压注成型时加料室内物料所承受的压力。同种模塑料的压注压力比其模压压力高，通常为模压压力的 1.5~2.5 倍。固化速度大的模塑料最好采用高压高速成型。压注时间，系指由压柱开始对加料室内物料施压时起到开启模具时止的时间，通常压注时间比压制时间缩短 20%~30%。

压注成型时固化速度快、成型效率高，壁厚相同的同种塑料的固化时间只相当其模压时间的 1/3~1/5。这是因为物料通过浇道摩擦生热，使其温度升高所致。例如物料在加料室温度为 170℃，而进入型腔后达 180℃。压注速度愈高，物料通过浇道时承受的剪切力愈大，温度上升愈高。

压注成型适于成型薄壁、壁厚变化较大、带有细薄金属嵌件，具有深孔，且形状复杂的塑件；也适用于环氧、有机硅、DAP、不饱和聚酯、酚醛等模塑料压封电气元件。用压注法成型的塑件，具有较高的强度和尺寸稳定性，且无气孔和缩孔，故塑件电性能好，抗水性能高。但压注成型品密度、机械强度低些，且各向异性。

### 3.1.3 注射成型

注射成型，是先把塑料加入到注射机的加热料筒内，塑料受热熔融，在注射机螺杆或柱塞的推动下，经喷嘴和模具浇注系统进入模具型腔，由于物理及化学作用而硬化定型成为注塑制品。

注射成型由具有注射、保压（冷却）和塑件脱模过程所构成循环周期，因而注射成型具有周期性的特点。热塑性塑料注射成型的成型周期短、生产效率高，熔料对模具的磨损小，能大批量地成型形状复杂、表面图案与标记清晰、尺寸精度高的塑件；但是对于壁厚变化大的塑件，难以避免成型缺陷。塑件各向异性也是质量问题之一，应采用一切可能措施，尽量减小。

影响注射成型塑件性能的因素很多，其中以料筒温度、注射压力、保压时间、模具温度、塑件壁厚的影响较为显著。通常注射成型塑件中有构型体积应力、冻结分子取向应力、体积温度应力等三种。塑件的几何形状复杂、壁厚差别较大，导致各部分成型收缩不同、温降速率不同，而形成构型体积应力与体积应力。这可通过对塑件进行热处理，予以消除。缩短保压时间、降低充模速度与压力，提高熔体温度与模具温度，可使取向应力减小。塑件中存在内应力是塑件翘曲与开裂的重要原因，同时也会影响其外观质量、电性能及光学性能。

热固性塑料注射成型效率高，易自动化，塑件质量一致性好，近年来有很大发展。热固性塑料注射成型不宜生产多嵌件制品，同时其成型品的机械强度、物理性能有方向性，易出现翘曲变形。

无流道模具的出现，无疑是以上两种注射成型的一大进步。此外，还有液态反应物的反应注射、发泡注射、多色注射、注射压缩成型以及气体辅助注射成型等。

(1) 反应注射成型。是把具有反应活性的液体组分（单体）混合后，注入密闭的模具型腔中，经化学反应定型而成为塑件，如 MC 尼龙、聚氨酯等反应注射成型便是实例。目前只有用不饱和聚酯、环氧树脂、聚环戊二烯、聚酰胺、聚氨酯等几种树脂的单体进行反应注射成型，并以聚氨酯的单体应用最为广泛。最近用反应注射成型制出了—

种新的丙烯酰胺酯高聚物制品，其强度、刚度、耐热性能等都很高，它的原始原料是丙烯酸酯与二苯甲烷 4, 4'-二异氰酸酯或甲苯二异氰酸酯结合而成的预聚体。双色注射成型是用双混色、双花色、双青色等三种不同类型的注射机进行注射成型。主要是用于制造塑料花、具有双色花纹图案的制品。双色制品，如打字机按钮等。

(2) 注射压缩成型。是先注射、后压缩，即先用不大的锁模力使模具在大于塑件容积处闭合，然后注入精确计量的熔体，再以较大的锁模力使模具完全闭合锁紧，以取得精确的塑件形状。由于熔体在较低的压力下充模，剪切应力不大，压缩时受压较均匀，故注射压缩成型的塑件的取向度低，内应力小，各向收缩近于相等。注射压缩成型特别适于成型透明度高、无应变的大面积光学塑件和声像塑件，如激光音盘，便是一例。

(3) 发泡注射成型。有低压发泡注射成型、高压发泡注射成型、共注射成型等三种。低压发泡注射成型是把具有发泡能力的熔体由高压料筒注入低压低温模腔，注入熔料容积为模腔的 75%~85%，因发泡而熔料体积迅速膨胀、充满整个型腔，形成表层薄而致密、芯部密度较低的塑件。高压发泡注射成型，是把在注射机料筒中加热塑化的发泡熔料注入锁紧的模腔，动模后退一定距离，型腔容积增大，完成发泡充模、定型过程的一种成型方法。发泡注射成型，可制造密度为  $0.1\sim 0.3\text{g/cm}^3$  的低密度发泡制品，也可制得密度为  $0.4\sim 0.9\text{g/cm}^3$  的高密度发泡塑件。高压发泡注射塑件与低压发泡注射塑件相比，结皮更为坚硬、芯部发泡更加均匀，表面可带有精细图案花纹。发泡结皮塑件易大型化、相对密度小、刚性好，不会出现表面凹陷、内部缩孔及应力翘曲。

(4) 双组分共注射成型。采用双组分注射机，该机有两套注射装置，一套注射塑件表层物料，另一套注射塑件芯部物料。先注入塑件皮层物料，然后通过同一浇口注入混有发泡剂的芯料，因芯料熔料呈层流而被均匀地包于皮层内，待熔料完全注满型腔后，再注入少量不含发泡剂的表层熔料封闭浇口，最后使塑件脱模。共注射发泡塑件表层不发泡、致密，内部发泡、质轻。

(5) 气体辅助注射成型。此种成型有许多优点。它可极大地降低塑件几何形状及工艺性要求，能成型壁厚不均及复杂的中空三维制品。它可在塑件中设置中空筋及中空凸台，能有效防止塑件表面凹陷，提高塑件外观质量。它能实现低压注射成型，降低模具刚性要求，并减小塑件翘曲变形。它还能减轻塑件质量，提高塑件使用刚性。

### 3.1.4 挤塑成型

挤塑成型，是使处于粘流状态的塑料，在高温和一定的压力下，通过具有特定断面形状的口模，然后在较低的温度下，定型成为所需截面形状连续型材的一种成型方法。

挤塑成型的生产过程，是准备成型物料、挤出造型、冷却定型、牵引与切断、挤出品后处理（调湿或热处理）。在挤塑成型过程中，注意调整好挤出机料筒各加热段和机头口模的温度、螺杆转数、牵引速度等工艺参数，以便得到合格的挤塑型材。特别要注意调整好聚合物熔体由机头口模中挤出的速率。因为当熔融物料挤出的速率较低时，挤出物具有光滑的表面、均匀的断面形状；但是当熔融物料挤出速率达到某一限度时，挤出物表面就会变得粗糙、失去光泽，出现鲨鱼皮、桔皮纹、形状扭曲等现象。当挤出速



率进一步增大时，挤出物表面出现畸变，甚至支离和断裂成熔体碎片或圆柱。因此挤出速率的控制至关重要。

用挤出成型加工的塑料制品有管材、棒材、板材、片材、电线和电缆覆层、单丝、网材以及具有异形截面的各种型材。挤出制品约占塑料加工总量的三分之一。

挤出成型能连续生产同一截面的型材，能得到由单纯形状到复杂截面形状的制品；能进行发泡挤出和复合挤出成型，使制品由几种材料复合而成，并且具有多种使用性能和装饰花纹，能进行自动化加工，适于大批量生产。

塑料异型材就是除有轴对称截面的圆管、圆棒等，以及片材、薄膜之类挤出制品外，具有非轴对称的其它截面形状的挤出塑料制品的总称。按其几何形状，可分为异型管材、中空异型材、空腔异型材、开放式异型材、复合异型材及实心异型材等。异形管材的特点是壁厚均匀、角呈圆弧过渡，刚性好。中空异型材是用筋把型材截面分隔成几个中空室，壁厚不甚均匀。空腔异型材有呈封闭状态的中空截面、壁厚不一致，有凸缘、带锐角。开放式异型材具有各种各样的完全没有中空室的截面形状。复合异型材有组合式和带嵌件的两类异型材。组合式异型材由具有不同色泽或不同硬度的同种树脂或异种树脂组成。带嵌件的异型材由两种不同质地的材料复合而成，其芯层材料有铜、钢、铝、织物、木材等，包覆层部分或全部是塑料。实心异型材的截面形状有矩形、三角形、椭圆形等。

除以上所述之外，用挤出成型还可以成型具有木材花纹、蜂窝结构、硬皮发泡制品、双色圆柱笔杆、窗框密封条、双色滑条、筋条软管、花色薄片、象牙花纹制品、多层管、螺旋状管、瓦楞板、竹节管、格栅板等各种各样的制品。可以挤出热塑性塑料制品，也可以挤出热固性塑料制品。

拉出成型与挤塑成型并不完全相同，但有类似之处，故可归于挤塑成型一起讨论。拉出成型也叫拉挤成型。它是利用树脂的热熔粘流性、玻璃纤维及织物的连续性和松弛压缩性，在外力牵引下使其连续浸渍树脂，然后通过具有一定截面的成型模具、固化炉进行固化成型型材的一种工艺方法。利用拉出成型可以成型实芯棒材、管材及各种结构的异型材。用该成型法成型的制品类似于热塑性塑料的挤出制品，制品的壁厚随其截面形状而变化，截面形状取决于使用要求。截面形状应当简单对称。壁厚最薄为1mm，最厚时可达60mm。具有中空室的异型材，中空部分不宜太小。拉出成型制品的重量轻、强度高、尺寸稳定、易着色。通过适当地选择树脂及填料，可使制品具有良好的抗腐蚀性、阻燃性、耐候性、抗蠕变性。该类制品已应用于汽车、电力、化工、体育和航空等方面。利用拉出成型不仅可以成型聚酯、环氧树脂等热固性增强塑料制品，也可以成型聚丙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、尼龙、聚乙烯等热塑性树脂的增强塑料制品。热塑性塑料的拉出成型是使连续的纤维在牵引力作用下通过一个由挤出机供料的熔体槽浸渍后，再通过一个水冷口模形成预成型物，然后在红外炉中加热、最后用压塑模压塑成制品。

### 3.1.5 成型方法选择

选择塑件成型方法时，应对以下问题加以综合考虑，酌情确定。

(1) 塑件功能。对塑件的几何结构特点、尺寸精度、表观质量、使用性能等功能要



求，进行全面分析，尤其要考虑塑性几何结构特点、尺寸精度要求，采用何种成型加工方法为好。塑件批量也是选择成型方法时必须考虑的问题之一。

(2) 塑件材料。塑件材料的性能，特别是成型性能，该种材料宜用何种成型加工方法；成型加工数据，材料生产厂常会提供建议，选择成型方法时应予以重视。

(3) 加工工艺方法。热固性塑件，要求其密度大，机械性能好，各向异性小，尺寸精度不太高，需要数量不太大，可以考虑用压制成型生产。若要求塑件电性能好、尺寸精度高，塑件质量指标重复性好，并带有细薄金属嵌件，用压注成型生产较好。热塑性塑件尺寸不大、形状复杂；但不带金属嵌件，需要数量大，要求质量指标重复性好，最好用注射成型加工。中空、小塑件，要求强度及表面质量高，可以用注射拉伸吹塑成型。塑件为型材，可以用挤出成型。若为增强的异型材，特别是热固性塑料异型材，宜用拉挤成型。塑件需要量不大，为了避免使用昂贵而复杂的成型模具，或难以用成型法得到尺寸合格的塑件，可以先成型出工序制品，后以机械加工作为最终加工手段，使其达到要求，成为最终制品。

(4) 生产成本。在满足塑件质量要求的前提下，尽量减少生产成本，为此要对塑件结构、尺寸精度、质量指标、塑件材料、成型方法、设备折旧费及利用率、模具及其它辅助工具费用、所需工人数量及工资支出等问题全面分析比较，寻求对各个问题的合理解决办法，力争降低塑件成本。

## 3.2 塑件几何形状设计

### 3.2.1 避免侧孔与侧凹

如果在塑件内外表面上存在有与开合模方向垂直的孔（通孔、盲孔）、凹陷部、突起部，则把这些孔、凹陷部、突起部称为侧孔、侧凹、侧凸。带有侧孔、侧凹、侧凸的模塑件成型后脱模困难，需要先抽出成型这些部分侧向运动的模具零件至不妨碍塑件脱模的位置，然后才能把塑件由模具中顶出。下一次成型之前，又必须使侧向抽出的模具零件回复至成型位置。这必然会导致模具结构复杂、成型周期增长、塑件成本提高等一系列问题。因此，在不妨碍使用要求的前提下，应尽量避免把塑件设计成带有侧孔、侧凹、侧凸的结构。通常，只要适当改变塑件的结构，就可使模具结构大为简化，如图 3.2-1 所示。

### 3.2.2 脱模斜度

为便于模塑件从模腔中脱出，在平行于脱模方向的塑件表面上，必须设有一定的斜度，此斜度称为脱模斜度。所谓脱模方向系指使塑件脱模的开闭模方向或抽出成型塑件上侧孔的侧型芯方向，如图 3.2-2 所示。

在通常情况下如果不给塑件设计脱模斜度或者脱模斜度太小，就会在生产过程中发现，脱模阻力过大，塑件常被顶裂、变形和擦伤，塑件废品率增加、质量下降。压制热固性塑件时，借助于阳模的尖劈作用使塑件侧壁受压，提高其密实性，具有一定好处。当然，也有不设计脱模斜度的情况。如塑件高度不高，即在脱模方向上塑件表面长度不

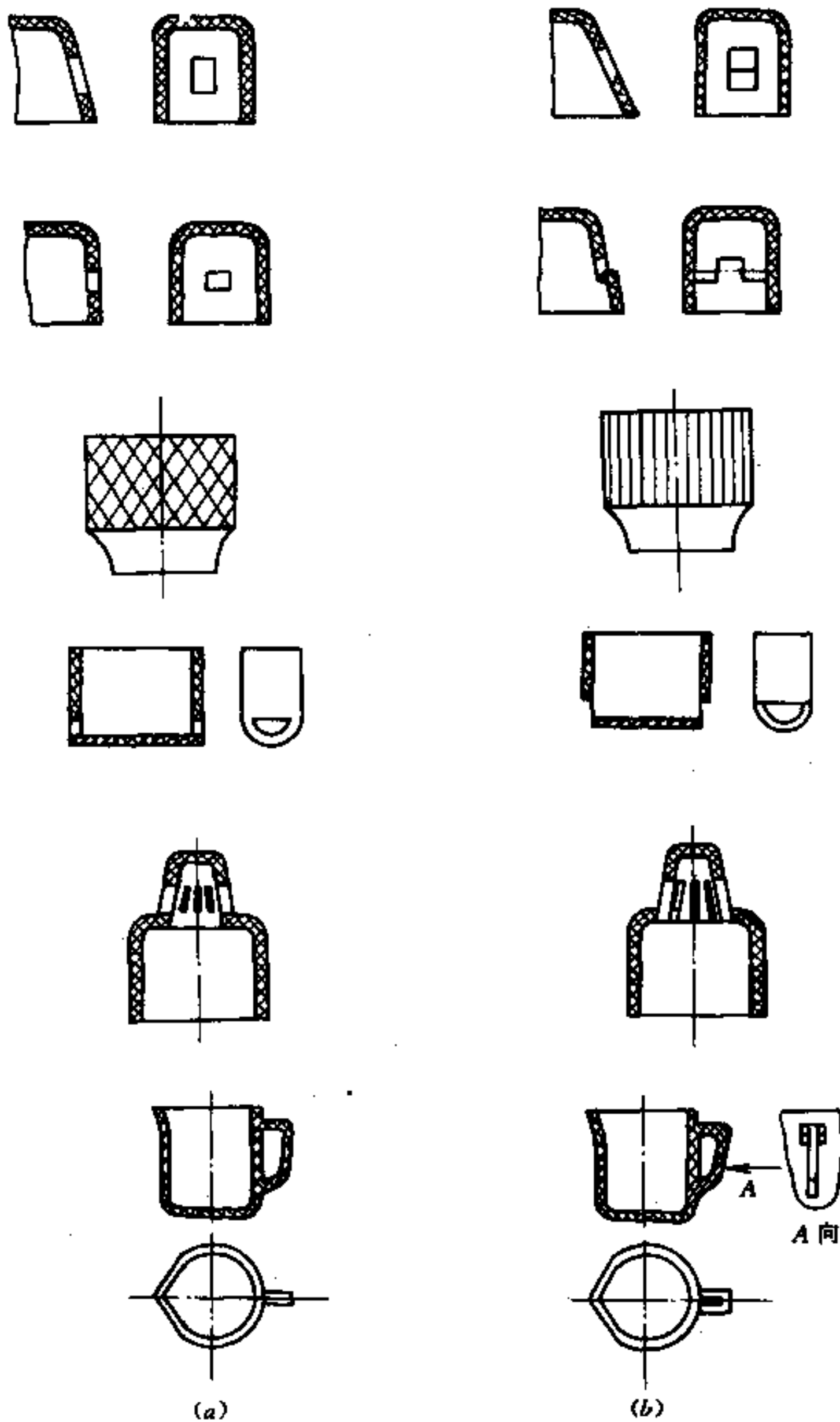


图 3.2-1 避免侧孔与侧凹的设计  
(a) 原来的塑件结构；(b) 改进后的塑件结构。

长，或尺寸精度要求较高，或者为了解决开模时的塑件去留问题，有时在塑件的某一表面上不仅不设脱模斜度，甚至还要给塑件表面附以与脱模方向相反的脱模斜度。

当塑件尺寸精度与脱模斜度无关时，应尽量地选取较大的脱模斜度。当塑件尺寸精度要求严格时，可以在其尺寸公差范围内确定较为适当的脱模斜度。

通常，塑件的几何形状复杂而且很不规则，其脱模斜度取大些，塑件内表面的脱模斜度应大于其外表面的脱模斜度。当考虑到要保证模塑件尺寸精度时，其长度愈长、内腔愈深，则其脱模斜度应适当地减小；反之，则取大些。塑件尺寸精度高，则其脱模斜度取小值。当塑件为轴时，应保证其大端尺寸，斜度向小的方向取；塑件为孔时，应保

证其小端尺寸，斜度向大的方向取。其目的是，使模具成型零件有修理的余地，留有足够的修模余量。

开模脱出塑件时，希望塑件留在有脱模装置的模具一侧。要求模塑件留在型芯上，则该塑件内表面脱模斜度应比其外表面小。反之，若要求模塑件留在型腔内，则其外表面的脱模斜度应小于其内表面的脱模斜度。如果希望塑件留于型腔内，但塑件内腔形状复杂，有留于阳模的可能性，此时若沿脱模方向塑件外表面长度不大于10~15mm，就可不给该表面设置脱模斜度。如果该塑件外表面的长度小于3~4mm时，则可取与其脱模方向相反的脱模斜度。

塑件上脱模斜度可以用线性尺寸、角度、比例等三种方式来标注。

用线性尺寸标注脱模斜度的图例，如图3.2-3(a)所示。这种标注法可以直接地给出一个具体的斜度值，斜度值与塑件该部分表面的高度或长度有关。也可以用塑件表面两端的尺寸来表示其脱模斜度，例如塑件为圆柱形表面，就可以用该表面两端的大小直径来表示其脱模斜度。用角度表示脱模斜度如图3.2-3(b)所示，对于塑件某一部分表面的任何高度或长度，斜角都保持不变，能够广泛地选用斜度的测定单位，对模具零件的加工极为方便，勿须换算，因而应用颇普遍。

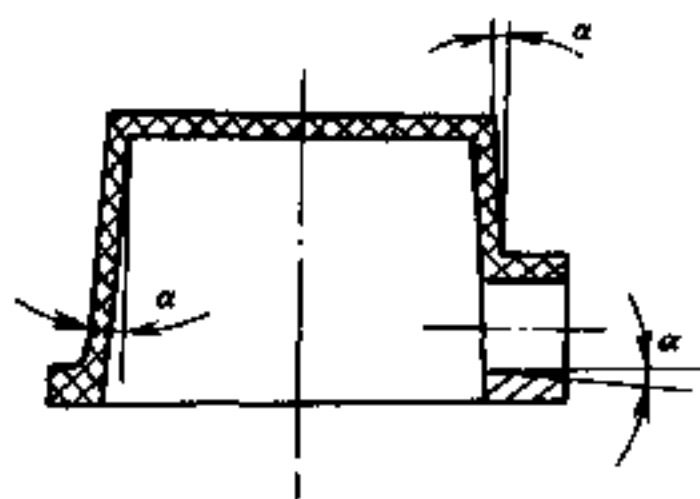


图 3.2-2 脱模斜度

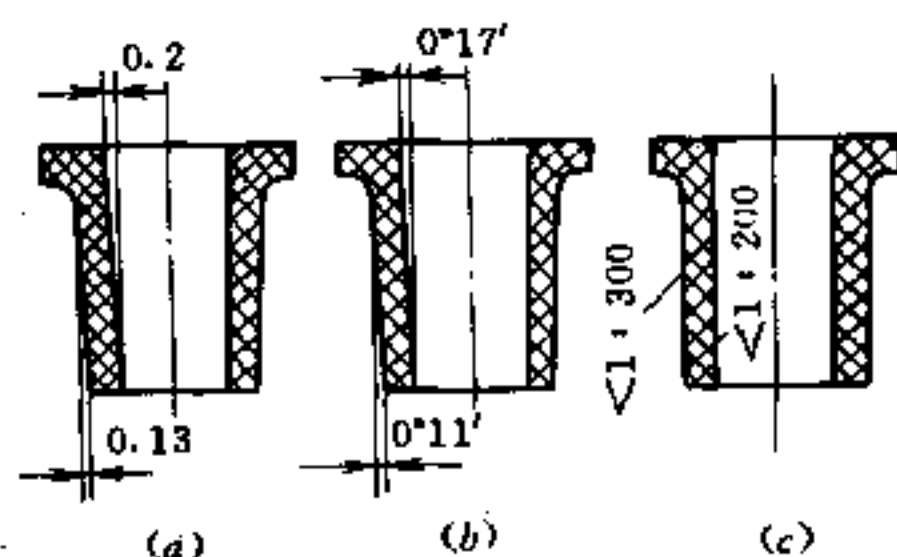


图 3.2-3 斜度标注

用比例标注法，例如用比例1:50；1:100等来表示脱模斜度、非常直观，勿须计算就能判断出脱模斜度的大小；同时不必在塑件图上夸大斜度而使其失真，如图3.2-3(c)所示。用符号“<”表示脱模斜度的方向，符号尖端应指向所设想的锥尖。用比例法表示脱模斜度的缺点是只能选取严格的一定的比例值。

表3.2-1~表3.2-4是脱模斜度的推荐值，可供设计塑件时参考。

表 3.2-1 不同高度塑件的脱模斜度值

塑件高度 /mm	脱 模 斜 度					
	15'	30'	45'	1°	1°30'	2°
1	0.004	0.008	0.013	0.017	0.025	0.035
2	0.008	0.016	0.025	0.035	0.050	0.0707
3	0.012	0.025	0.040	0.050	0.080	0.100
4	0.017	0.034	0.050	0.070	0.100	0.140
5	0.020	0.040	0.060	0.080	0.120	0.160

(续)

塑件高度 /mm	脱模斜度					
	15'	30'	45'	1°	1°30'	2°
6	0.025	0.050	0.080	0.100	0.160	0.200
8	0.035	0.070	0.100	0.140	0.200	0.280
10	0.040	0.080	0.125	0.170	0.250	0.350
12	0.050	0.100	0.150	0.200	0.300	0.400
15	0.060	0.120	0.180	0.250	0.360	0.500
18	0.075	0.150	0.230	0.300	0.45	0.600
20	0.080	0.160	0.260	0.350	0.520	0.700
25	0.100	0.200	0.300	0.400	0.650	0.900
30	0.120	0.250	0.400	0.500	0.800	1.000
35	0.150	0.300	0.450	0.600	0.900	1.200
40	0.160	0.320	0.520	0.700	1.000	1.400
50	0.200	0.400	0.650	0.850	1.250	1.750
60	0.250	0.500	0.800	1.000	1.500	2.100
70	0.280	0.560	0.900	1.200	1.750	2.100
80	0.340	0.700	1.000	1.400	2.000	2.800
90	0.400	0.800	1.200	1.600	2.400	3.150
100	0.420	0.840	1.300	1.750	2.600	3.500
110	0.460	0.900	1.400	2.000	2.800	—
130	0.540	1.100	1.700	2.300	—	—
150	0.600	1.250	2.000	—	—	—

表 3.2-2 热固性塑件上孔的脱模斜度

长度 L/mm	直径/mm	脱模斜度 $\alpha/ (^{\circ})$
4~10	2~10	15~18
	10以上	18~30
20~40	5~10	10~15
	15以上	15~18

表 3.2-3 热固性塑件外表面的脱模斜度

长度/mm	10以下	10~30	30以上
斜角 $\alpha/ (^{\circ})$	25~30	30~35	35~40

表 3.2-4 热塑性塑件的脱模斜度

塑料名称	脱模斜度	
	塑件外表面	塑件内表面
尼龙(通用)	20'~40'	25'~40'
尼龙(增强)	20'~50'	20'~40'
聚乙烯	20'~45'	25'~45'
氯化聚酯	25'~45'	30'~45'
有机玻璃	30'~50'	35'~1°
聚碳酸酯	35'~1°	30'~50'
聚苯乙烯	35'~1°, 30'	30'~1°
ABS	40'~1°, 20'	35'~1°

### 3.2.3 塑件壁厚

塑件的壁厚是最重要的结构要素，是设计塑件时必须考虑的问题之一。热固性塑件的壁厚一般在1~6mm之间，最厚不超过13mm，最薄为1.6mm，甚至可达1mm以下，如玻璃纤维增强的酚醛塑件的壁厚可达0.8mm左右。

热塑性塑件的壁厚一般为2~4mm，小塑件取偏小值，中等塑件取偏大值，大塑件可以适当地加厚。塑件的最小壁厚取决于塑料的流动性，流动性好的尼龙、聚乙烯等的塑件的最薄壁厚为0.2~0.4mm，流动性较差的聚氯乙烯、聚碳酸酯等的塑件的最小壁厚为1mm。

不论是热固性塑件还是热塑性塑件，其壁厚增加，则其成型周期都要延长。塑件壁厚太厚，就很难达到完全均匀地硬化，且易产生气泡、缩孔等缺陷，如图3.2-4(a)所示，必须改成如图3.2-4(b)所示的断面结构，使其壁厚均匀，才是合理的设计。

塑件壁厚太薄，刚度差，在脱模、装配、使用中会发生变形，影响塑件的使用和装配的准确性。塑件壁厚太薄，还会造成模腔通道狭窄、流动阻力大。流动性差的塑料，薄壁而形状复杂的大尺寸塑件，会导致充模成型困难。

塑件壁厚不均匀，导致塑件各部分固化收缩不均匀，易在塑件上产生气孔、裂纹、引起内应力及变形等缺陷。合理地确定塑件的壁厚，至关重要。塑件壁厚首先取决于使用性能，即在强度、结构、质量、电性能、尺寸稳定性及装配等方面满足其功能要求。因玻璃纤维等增强塑料的流动性差，只能成型壁厚而高度不大、形状简单的塑件；流动性好的塑料，就可以成型薄而大的、形状复杂的塑件。塑料的机械强度高，塑件的壁可以薄些；塑料机械强度低，应适当地增加塑件的壁厚。

塑件具有管状、空心圆锥形及抛物面等形状，则刚性好，受力不易变形，能承受较大的载荷，其壁可以薄些。塑件具有大的矩形、方形的平面壁则易翘曲变形。为了不增加壁厚而提高其强度，可在壁的适当部位设置加强筋，也可采用波纹形、弯折形、拱形等截面壁的形状，如图3.2-5所示。

由于使用要求不同，塑件各部分的壁厚经常是不一样的。设计塑件时，在满足使用要求的前提下，要尽量使壁厚均匀一致。若需要塑件各部分壁厚不一样，也不得使壁厚

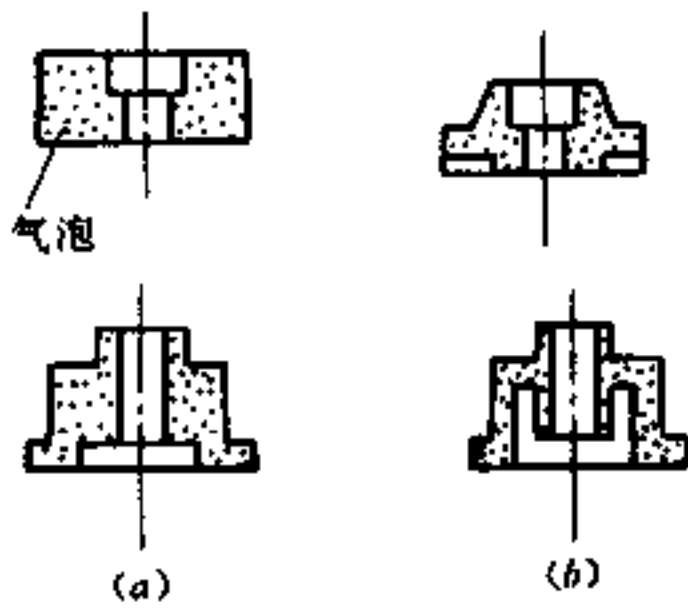


图 3.2-4 塑件壁厚设计

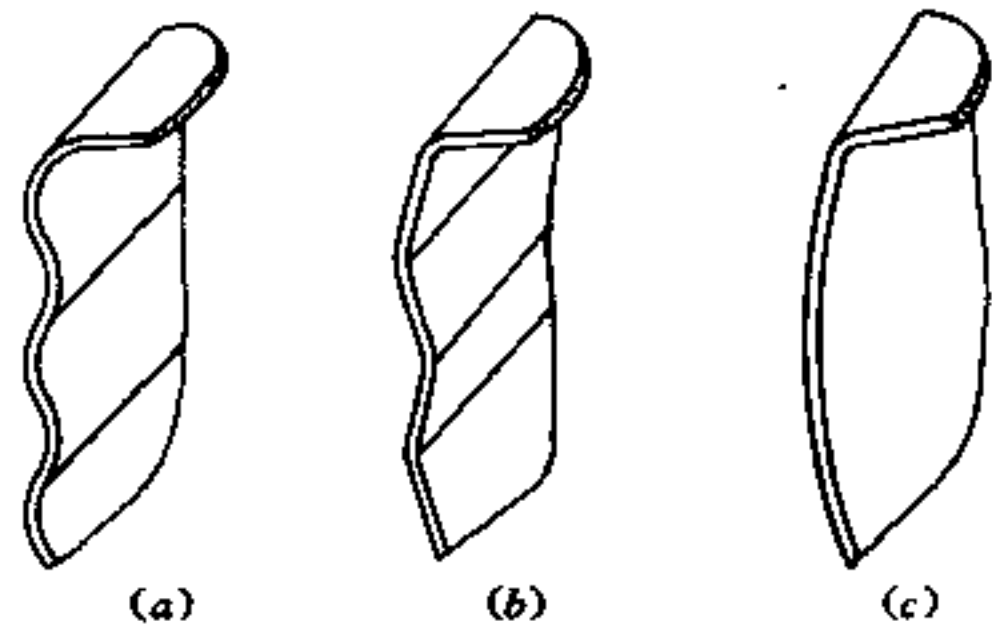


图 3.2-5 不同截面壁状的塑件

相差太悬殊，且应沿料流方向逐渐地增减，圆滑过渡。

塑件相邻两壁厚应尽量相等。若需要有差别时，设相邻两壁厚分别为  $S$  和  $S_1$ ，则应满足如下关系式。

热塑性塑件  $S/S_1 \leq 1.5 \sim 2$

热固性塑件  $S/S_1 \leq 3$

塑件壁厚与流程有关。所谓流程是指熔融物料由进料口流向型腔各处的距离。各种塑料在其常规工艺参数下，流程大小与塑件壁厚成正比，壁厚则其流程长。表 3.2-5 为壁厚与流程的关系，用它能计算与其相对应的塑件壁厚。

表 3.2-5 壁厚与流程的关系

塑料品种	计算式
流动性好 (聚乙烯、尼龙等)	$S = (\frac{L}{100} + 0.5) \times 0.6$
流动性中等 (有机玻璃、聚甲醛等)	$S = (\frac{L}{100} + 0.8) \times 0.7$
流动性差 (聚碳酸酯、聚砜等)	$S = (\frac{L}{100} + 1.2) \times 0.9$

塑件壁厚要满足其成型与使用要求。根据塑件在使用中的受力情况，进行必要的强度和刚度计算以确定其壁厚；也可以在收集资料、实物样品的基础上，进行分析对比来确定塑件的壁厚；还可以通过实验、模拟试验决定塑件壁厚。热固性塑件的最小壁厚公式：

$$S = \frac{2h}{l - 20} + \frac{1}{\lg a} \quad (3.2-1)$$

式中  $S$ ——塑件的最小壁厚 (mm)；  
 $h$ ——预计的塑件壁高 (mm)；  
 $l$ ——塑料的流动长度 (mm)；  
 $a$ ——塑料的比冲击韧性 ( $\text{kJ}/\text{m}^2$ )。

该公式的适用范围：塑件壁高 160~200mm，拉西格流动长度为 30~200mm，塑料的比冲击韧性为 2.5~100 ( $\text{kJ}/\text{m}^2$ )。热塑性塑件的最小壁厚公式：

$$S = 0.3(\sqrt[3]{h} - 2.1) \quad (3.2-2)$$

式中符号同式 (3.2-1)。



用压制法成型的塑件的壁厚与深度的关系, 见表 3.2-6。当塑件同时要求强度与刚度时, 其壁厚为表值加上 (0.5~1) mm。表 3.2-7 与表 3.2-8 为某些热固性和热塑性塑件壁厚的推荐值, 可供设计塑件壁厚时参考。

表 3.2-6 塑件的壁厚与深度的关系

深度/mm	100	200	300	400	500
壁厚/mm $\leq$	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5

表 3.2-7 某些热固性塑件壁厚推荐值 (mm)

塑件材料		最小塑件壁厚	小塑件壁厚	中等塑件壁厚	大塑件壁厚
酚醛塑料	一般的及棉纤维填料	1.25	1.6	3.2	4.8~25
	碎布填料	1.6	3.2	4.8	4.8~10
	无机物填料	3.2	3.2	4.8	5.0~25
聚酯塑料	玻璃纤维填料	1.0	2.4	3.2	4.8~12.5
	无机物填料	1.0	3.2	4.8	4.8~10
氨基塑料	纤维素填料	0.9	1.6	2.5	3.2~4.8
	碎布填料	1.25	3.2	3.2	3.2~4.8
	无机物填料	1.0	2.4	4.8	4.8~10

表 3.2-8 某些热塑性塑件的壁厚推荐值 (mm)

塑件材料	最小壁厚	小塑件壁厚	中等塑件壁厚	大塑件壁厚
尼龙 (PA)	0.45	0.76	1.5	2.4~3.2
聚乙烯 (PE)	0.6	1.25	1.6	2.4~3.2
聚苯乙烯 (PS)	0.75	1.25	1.6	3.2~5.4
改性聚苯乙烯	0.75	1.25	1.6	3.2~5.4
有机玻璃 (372#)	0.8	1.50	2.2	4~6.5
硬聚氯乙烯 (RPVC)	1.2	1.60	1.8	3.2~5.8
聚丙烯 (PP)	0.85	1.45	1.75	2.4~3.2
氯化聚醚	0.9	1.35	1.8	2.5~3.4
聚碳酸酯 (PC)	0.95	1.80	2.3	3~4.5
聚苯醚 (PPO)	1.2	1.75	2.5	3.5~6.4
醋酸纤维素 (CA)	0.7	1.25	1.9	3.2~4.8
乙基纤维素 (EC)	0.9	1.25	1.6	2.4~3.2
丙烯酸类	0.7	0.9	2.4	3.0~6.0
聚甲醛 (POM)	0.8	1.40	1.6	3.2~5.4
聚砜 (PSU)	0.95	1.80	2.3	3~4.5

### 3.2.4 加强筋

在塑件上设置加强筋, 不用增加壁厚, 就可使其强度与刚度得到改善, 并能有效地克服翘曲变形现象。就注塑与压注成型模塑件来说, 加强筋还可起辅助浇道的作用, 改

善熔料的流动充模状态，有利于塑件成型。如图 3.2-6 所示，由于增设了加强筋，提高了它的机械强度，改善了熔料充模条件，有利塑件成型，并能有效防止塑件翘曲变形。

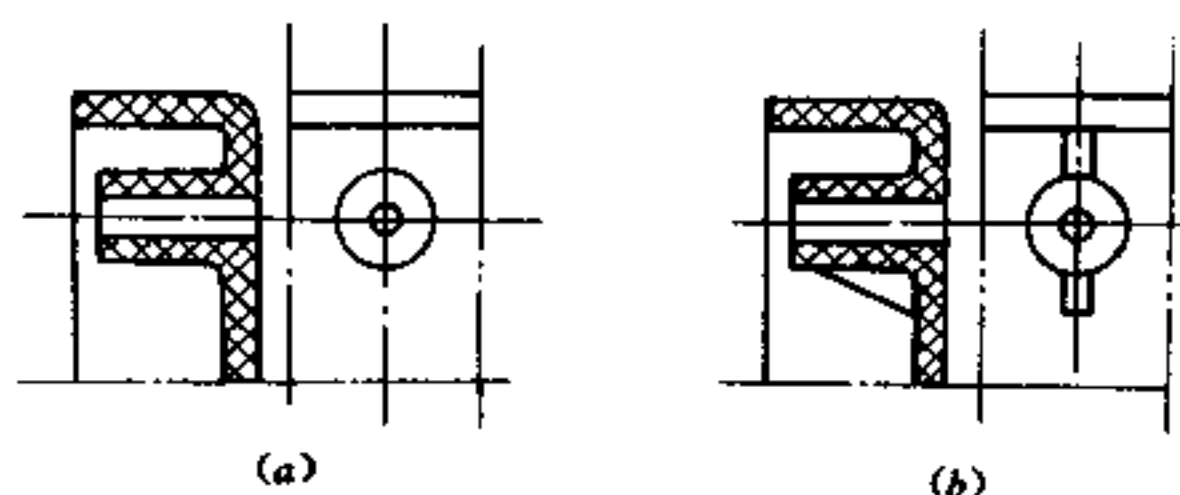


图 3.2-6 增设加强筋实例  
(a) 未设加强筋；(b) 增设加强筋。

在塑件上设置加强筋，从而避免了因壁厚不均匀而产生的缩孔、气泡、凹陷等现象，同时塑件的质量也会有所减轻。加强筋设置在塑件内部，也可以设置在其外部；可以设置在平面上，也可以设置在其它类型的面上。用加强筋连接塑件上互成角度的两壁，称之为角撑，能成为塑件结构上必不可少的部分。

除加强筋外，还可采用半圆形、波形、折线形等截面形状来增加塑件刚性。图 3.2-7 的下排为不同加强筋相应的变异形式；而上排为半圆形、梯形及一般形式的加强筋。图 3.2-8 是这些增强结构在塑件上的具体应用。设计加强筋时，应注意以下诸点：

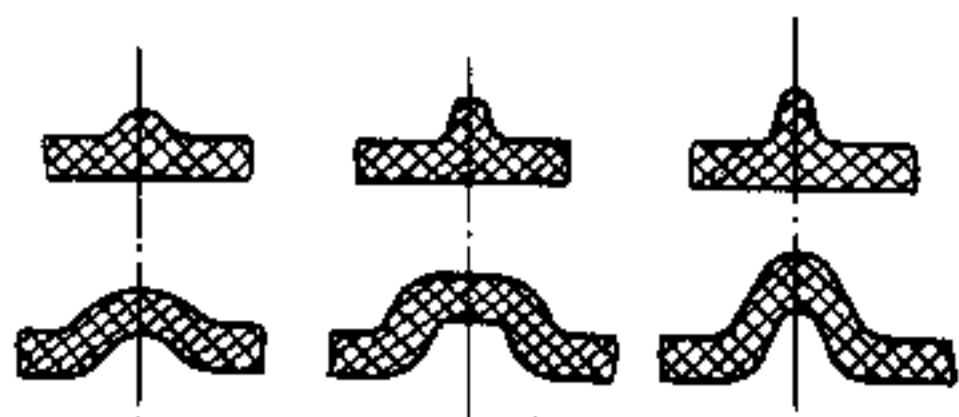


图 3.2-7 几种增强形式

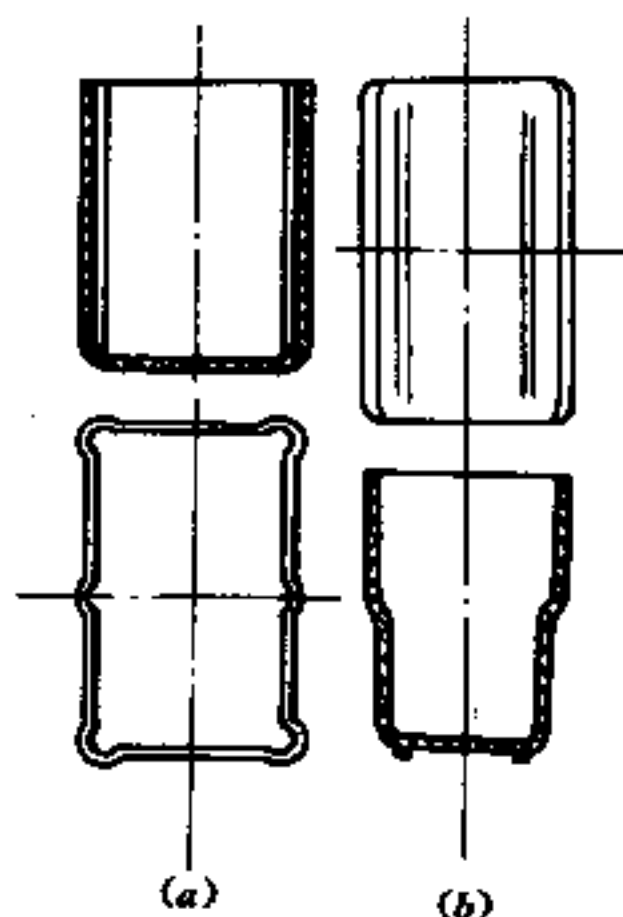


图 3.2-8 塑件侧壁的增强

(1) 加强筋设计得矮一些、多一些、薄一些为好。加强筋之间的中心距应大于壁厚。加强筋高而厚会在塑件上形成缩孔及表面凹陷。加强筋根部圆角太小时，会由于应力集中在根部产生裂纹。

(2) 加强筋的方向应与模压方向或模具成型零件的运动方向一致，以便使塑件成型后容易脱模。加强筋的方向也应与熔料流动方向一致，以利于充模成型。加强筋还应与塑件的收缩方向一致，以避免加强筋阻碍塑件收缩而在筋周围形成内应力。为了提高塑件尺寸稳定性，也有利用加强筋阻止塑件收缩变形的设计，如图 3.2-9 所示，(a) 图为阻止收缩变形的设计；(b) 图为沿收缩方向的设计。

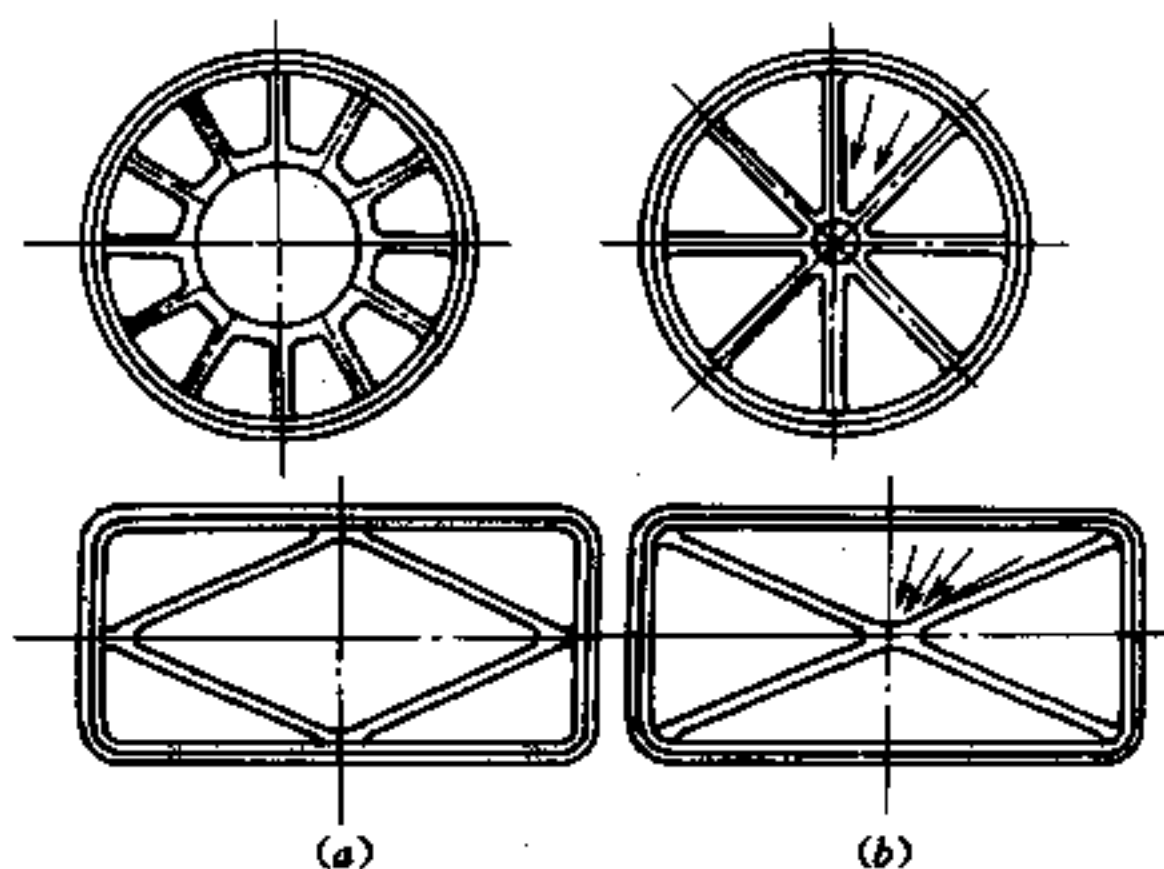


图 3.2-9 加强筋的方向

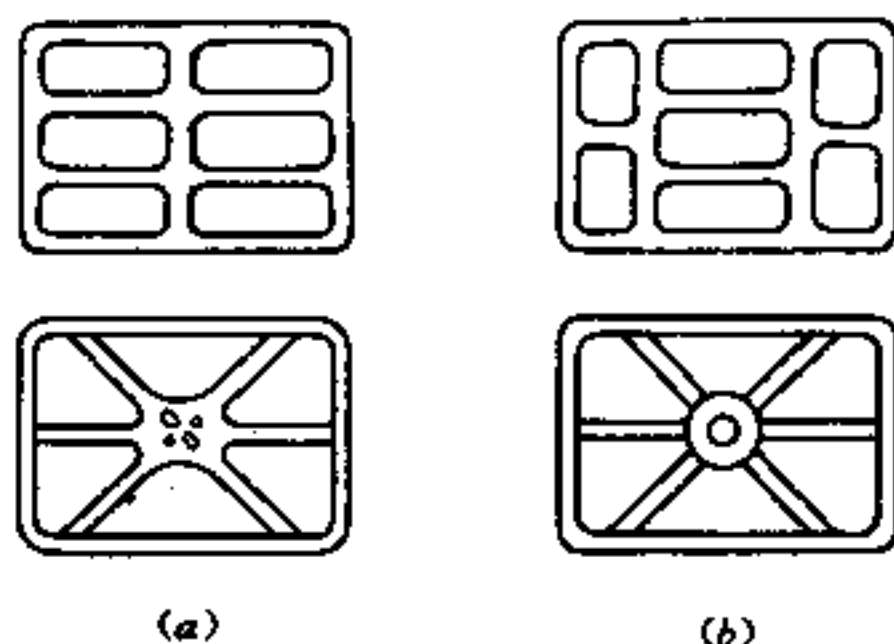


图 3.2-10 加强筋的布置

(3) 加强筋布置，应尽力避免塑料局部集中，以防止产生缩孔或气泡。如图 3.2-10 所示，(a) 图塑料局部集中严重，(b) 图较好。

(4) 加强筋的端面应低于塑件支承面  $0.5 \sim 1\text{mm}$ ，如图 3.2-11 所示。

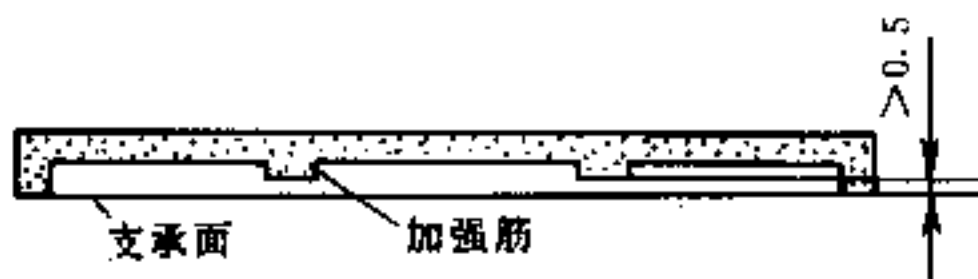


图 3.2-11 加强筋与支承面

加强筋在塑件上所处的部位不同，其几何形状与有些差异。图 3.2-12 (a) 所示加强筋的各部分尺寸比较合理。图 3.2-12 (b) 所示加强筋各部分尺寸不合理， $R_2$  比  $R_1$  大得多，在与加强筋相反的一侧易产生凹陷，如图中 A 点所示。

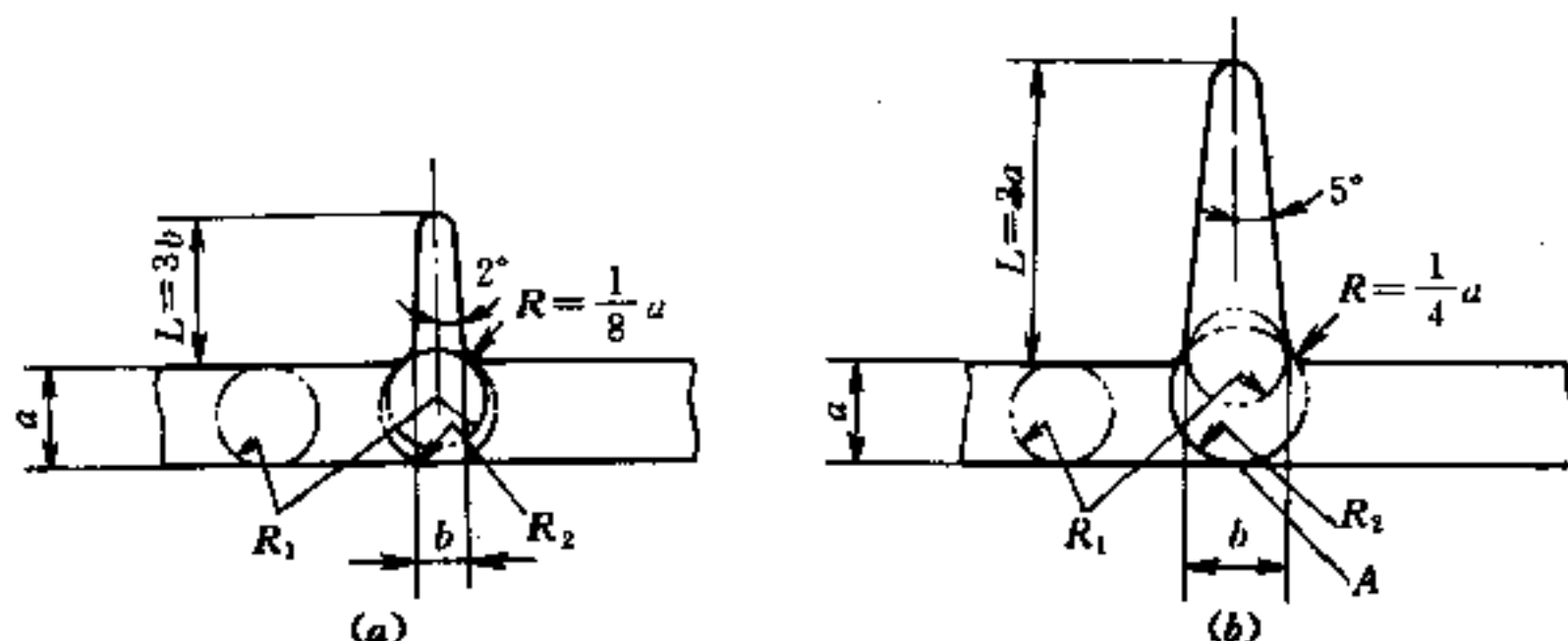


图 3.2-12 加强筋尺寸

表 3.2-9 中所列的筋与凸台尺寸，可供设计塑件时参考。其高度和厚度应采用某一不变的比例，一超出这个比例范围，例如高度太高，则筋与凸台内部易产生缩孔或凹陷，其根部变弱。

表 3.2-9 筋和凸台尺寸

		热成型	冷成型
凸台		$\alpha$ 5°	10°
		$R$ 最小 4mm	最小 0.8mm
		$T$ 最小 1.5mm	最小 2.3mm
筋		$\alpha$ 10°	20°
		$\beta$ 5°	10°
		$A$ $n$	$n$
		$B$ $\frac{n}{2}$	$\frac{n}{2}$
		$C$ $3n$	$\frac{3n}{2}$
		$R$ $\frac{n}{4}$	$\frac{n}{4}$

### 3.2.5 圆角

在塑件的角隅处，即内外表面的交接转折处，加强筋的顶端及根部等处都应设计成圆角，而且圆角的半径不应小于 0.5mm。凡能设计成圆角的地方均设计成圆角，有一系列好处。在塑件成型时熔料流动阻力小，有利于改善流动充模特性。其结果可以防止因塑料收缩而导致的塑件变形，或者因锐角而引起的应力集中，使塑件的强度增大，模具使用寿命延长，塑件外形也因圆弧过渡而显得更为美观。同时，与塑件相对应的模具成型零件在热处理时不易裂口，强度大为增加。表 3.2-10 为筋的高度与圆角半径的关系。表 3.2-11 为塑件内形边缘处的最小允许半径值。

表 3.2-10 筋的高度与圆角半径 (mm)

筋的高度	6.5	6.5~13	13~19	19 以上
圆角半径	0.8~1.5	1.5~3.0	2.5~5.0	3~6.5

表 3.2-11 塑件内形边缘处的最小许可圆角半径 (mm)

塑料名称	最小许可圆角半径
聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯	1.0~1.5
聚酰胺、聚己内酰胺	0.5~1.0
酚醛塑料、氨基塑料	0.5

图 3.2-13 为圆角半径与应力集中的关系。若在塑件角隅处设置圆角，就可有效地防止应力集中，延长其使用寿命。由图可知，当圆角半径与壁厚之比值小于 0.25 时，应力集中系数急剧增大，即角隅处应力急剧增加。当圆角半径与壁厚之比值大于 0.75 时，应力集中系数变化趋于平缓，并逐渐成为常量。因此在塑件上设计圆角时，应尽可能取大值。

图 3.2-14 是塑件上设计圆角的图例，其中 (a)、(b)、(c) 各图右边是正确设计圆角的图例。

在给塑件内外表面的拐角处设计圆角时，应像图 3.2-15 所示那样地确定内外圆角半径，以保证塑件壁厚均匀一致。

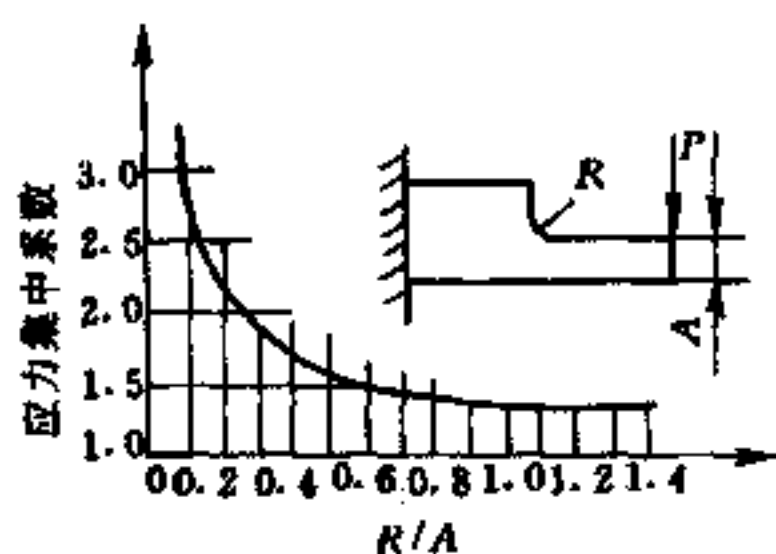


图 3.2-13 圆角与应力集中

$P$ —外加载荷； $R$ —圆角半径； $A$ —壁厚。

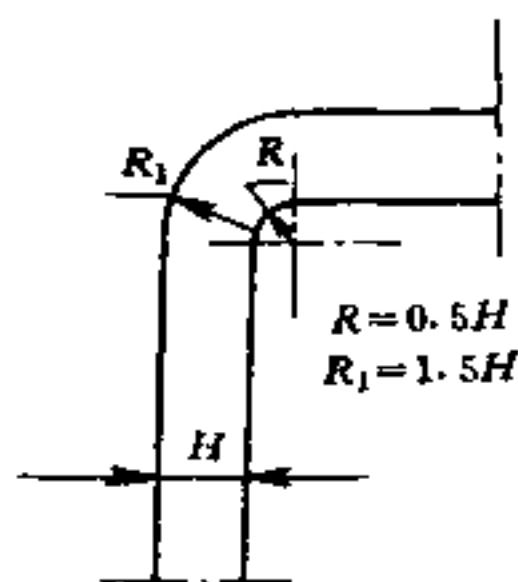


图 3.2-15 内外圆角半径

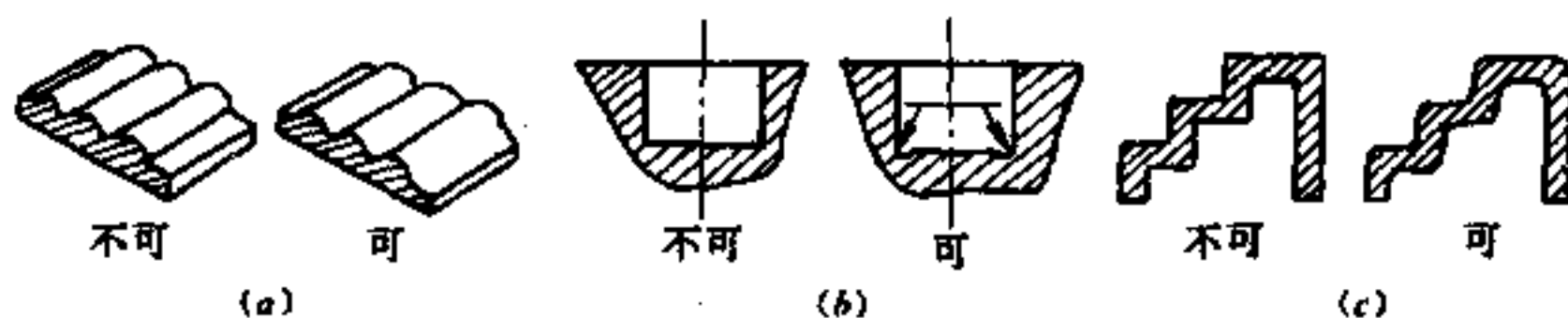


图 3.2-14 圆角设计图例

### 3.2.6 支承面

当塑件需由一个表面作支承面时，用整个塑件底平面来作支承面是不合理的，因为实际上不能达到整个底平面绝对平直，所以在一般情况下采用底脚、凸边等来作塑件的支承面，其效果甚好。根据塑件及支承底脚、凸边所在表面的形状，底脚可取三个或四个，凸边可以为方形、圆形、长条形等形式。如图 3.2-16 所示，其中 (a) 图为整个底平面作支承面，不宜采用；(b) 图是用凸边作支承面；(c) 图是以底脚作支承面；(d) 图是加强筋与凸边支承的一种结合形式，对塑件底面起着增强作用。

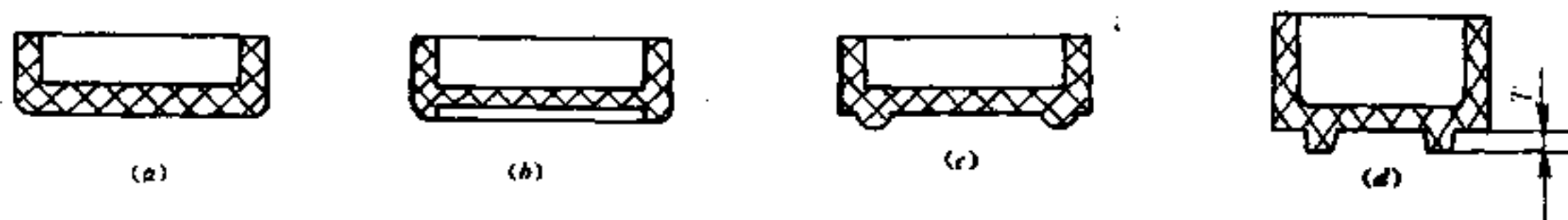


图 3.2-16 支承面、底角与凸边

### 3.2.7 孔设计

基于各种各样的功能要求，塑件上常常需要设置各种各样的孔眼。塑件上的孔有简单的孔、复杂的孔、通孔、盲孔、光孔、螺纹孔，还有竖向的孔和侧向的孔等。设计孔时要满足塑件的使用要求，使孔的形状、位置要有利于塑件成型，同时还要保证塑件有

足够的使用强度。

塑件上的光孔及螺纹孔，无论是通孔还是盲孔都应当直接成型，尽量不要依靠后加工去完成。

若是压制塑件，通孔的长度希望短于4倍的该孔直径。为盲孔时，孔的长度与孔的直径之比值应小于2才对。若是用压注法或注射法成型塑件，成型孔的型芯的安装、受力情况比压制成型时好，因此可以成型出比压制法成型的孔要深的孔，孔的长度与孔径的比值为：通孔到8为止，盲孔应在4以下为妥。能成型的孔的深度、直径及最小孔边厚度见表3.2-12。

塑件上许可成型的孔的深度与成型塑件上该孔的型芯的机械强度及对塑件的使用要求有关，型芯的机械强度又与孔的形状、大小、型芯在模具中的安装方式（一端固定，还是两端固定）、受力状况等有关。例如型芯是平行于压制方向、料流方向，还是垂直于压制方向、料流方向，此外还与塑料的成型比压有关。

表 3.2-12 孔的极限尺寸推荐值 (mm)

成型方法	塑料名称	孔的最小直径 $d$	最大孔深		孔边最小厚度 $b$
			不通孔	通孔	
压制成型与压注成型	压塑粉	3	压制时, $2d$ 压注时, $4d$	压制时, $4d$ 压注时, $8d$	$1d$
	纤维塑料	3.5			
	碎布塑料	4			
注射成型	尼龙	0.2	$4d$	$10d$	$2d$
	聚乙烯				$2.5d$
	软聚氯乙烯				$2.5d$
	有机玻璃	0.25	$3d$	$8d$	$2.5d$
	氯化聚醚	0.3			$2d$
	聚甲醛				$2d$
	聚苯醚				$2d$
硬聚氯乙烯	0.25	$2d$		$2d$	
改性聚苯乙烯	0.3				
聚碳酸酯	0.35	$2d$		$2.5d$	
聚砜				$2d$	

成型盲孔的型芯是一端固定的，就好似受均布载荷作用的悬臂梁一样，因此可按力学上的有关悬臂梁的公式计算孔的许可成型深度。

$$h = \left( \frac{E\pi[\delta]}{8P_C} \right)^{\frac{1}{3}} d \quad (3.2-3)$$

式中  $h$ ——孔深 (mm);

$d$ ——孔直径 (mm);

$[\delta]$ ——型芯允许变形量 (mm);

$P_C$ ——模塑压力 (通常取 40MPa);

$E$ ——弹性模量 (钢材为  $2.1 \times 10^5$ MPa)。



对于直径为 4~50mm 的圆柱形孔, 计算其最大许可成型深度时, 允许变形量取  $[\delta] = 0.04 \sim 0.06\text{mm}$ 。该公式适用于圆柱形孔或锥度不大的 (单边斜度不超过 1:50) 孔。

塑件上的通孔, 成型时型芯在模内的受力状态, 可视为受均布载荷的简支梁模型。由此, 通孔最大许可成型深度可由下式计算:

$$h = \left( \frac{6E\pi[\delta]}{5P_c} \right)^{\frac{1}{3}} d \quad (3.2-4)$$

确定非圆形孔的成型深度时, 可采用当量半径或水力学半径概念代入式 (3.2-3) 或式 (3.2-4) 计算。

设计孔时, 应注意以下问题:

(1) 在一般情况下应把孔设置在塑件强度较大处。必要时可以采取一些增厚措施。如图 3.2-17 所示, 采用凸边增厚孔的周围来提高孔的使用强度。

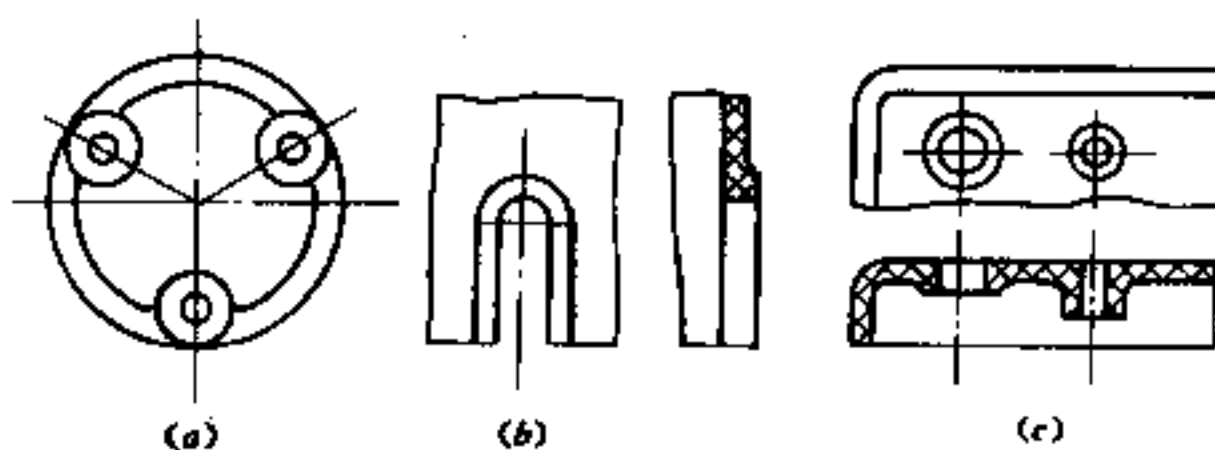


图 3.2-17 孔的加强

(2) 为确保塑件的使用强度, 应使孔间、孔与边壁间, 孔的端部至塑件表面要有足够的塑料层厚度。除此之外, 处于塑件边缘的孔应与其边缘形状相一致, 使孔周围塑料层厚度均匀, 保证塑件强度与外形美观, 如图 3.2-18 所示。表 3.2-13 与表 3.2-14 分别列举了在塑件上设计一个孔及两个孔的有关数据, 可作为设计塑件时参考。

表 3.2-13 塑件上有一个孔时的有关数据

	孔径	孔与端面间距离	深度	壁厚
	$A_{\min}/\text{mm}$	$B_{\min}/\text{mm}$	$C_{\max}/\text{mm}$	$D_{\max}/\text{mm}$
	1.5	1.5~2.3	1.5	3.0
	2.0	1.5~2.3	2.0	4.0
	3.0	2.5~4.5	4.5	9.0
	4.0	2.5~4.5	6.0	12.0
	5.0	2.5~5.0	8.8	17.6
	6.0	3.0~6.0	10.5	21.0
	7.0	3.0~6.0	12.3	24.6
	8.0	4.0~6.0	14.3	28.0
	9.0	4.0~6.0	15.6	31.2
	10.0	4.0~6.0	17.5	35.0

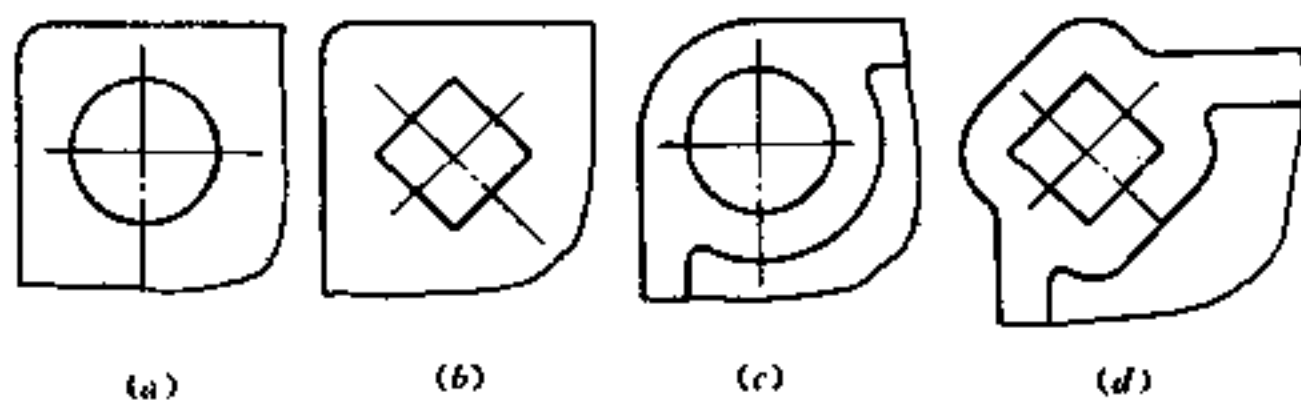


图 3.2-18 孔与塑件边缘形状

(3) 塑件上的孔一定要有足够的脱模斜度，以利脱模。

(4) 当塑件须有长方形孔时，在成型中容易产生流动伤痕。如图 3.2-19 所示，会产生“鱼眼”问题，所以对于制品上长方形孔的形状、位置必须仔细考虑。

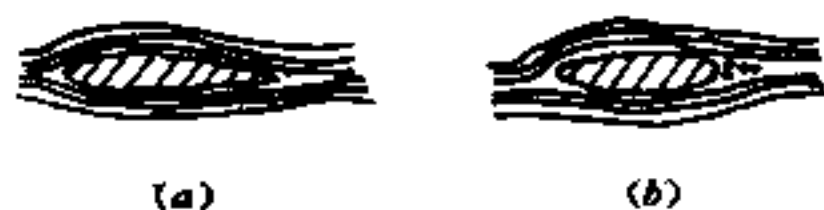


图 3.2-19 翼型

(a) 良好的气流翼型；(b) 切断端头的翼型，会产生湍流。

表 3.2-14 塑件上有两个孔时的有关数据

	D/mm	A/mm	B/mm
	1.5	3.5	2.3
	2.0	4.5	3.0
	3.0	6.0	4.0
	4.0	7.5	4.5
	5.0	9.5	5.5
	6.0	11.0	6.0
	8.0	15.0	8.0
	10.0	19.0	9.0

图 3.2-20 为长方形孔的设计示例，(a) 图为长方形孔近于塑件上端，并且孔与孔配置不平衡，会在箱的底部产生流动伤痕；(b) 图为改进后的设计，孔端为圆形，孔间间隔也增宽，处于离开箱端的位置，箱角取较大半径圆弧过渡；(c) 图是说明在  $x$  处易产生流动伤痕；(d) 图是表示若把孔设计成长方形，并延长到箱边就可以完全消除流动伤痕，同时模具成本低，成型速度快。

(5) 塑件上的斜孔、坡形孔、阶梯孔、三通孔及形状复杂的孔，设计成能用拼合型芯成型的结构为好，如图 3.2-21 所示。

### 3.2.8 凸台与角撑

凸台是在塑件上用来增强孔或供装配附件用的凸起部分。在塑件的边缘及筋部设置

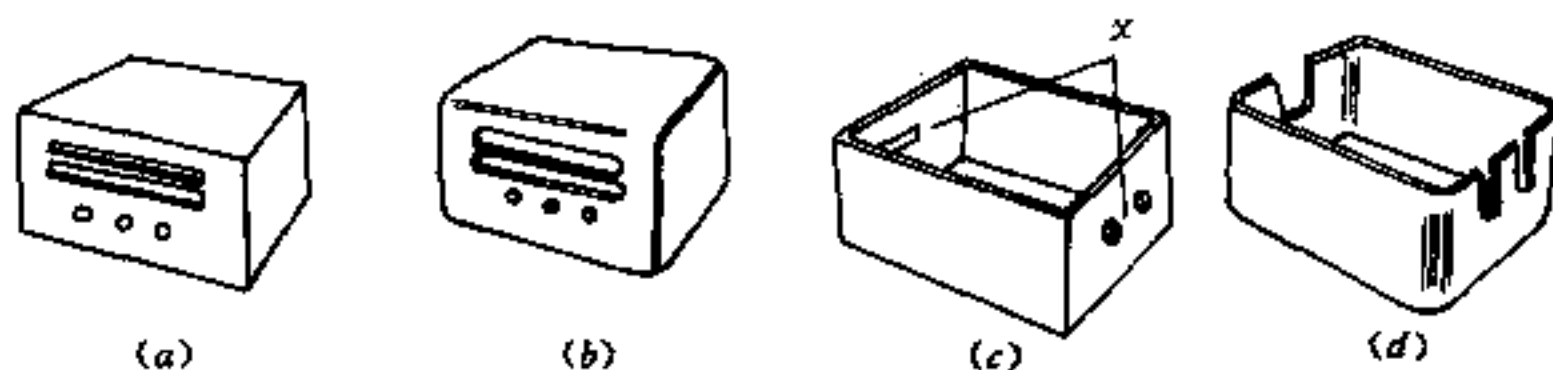


图 3.2-20 长方形孔的设计

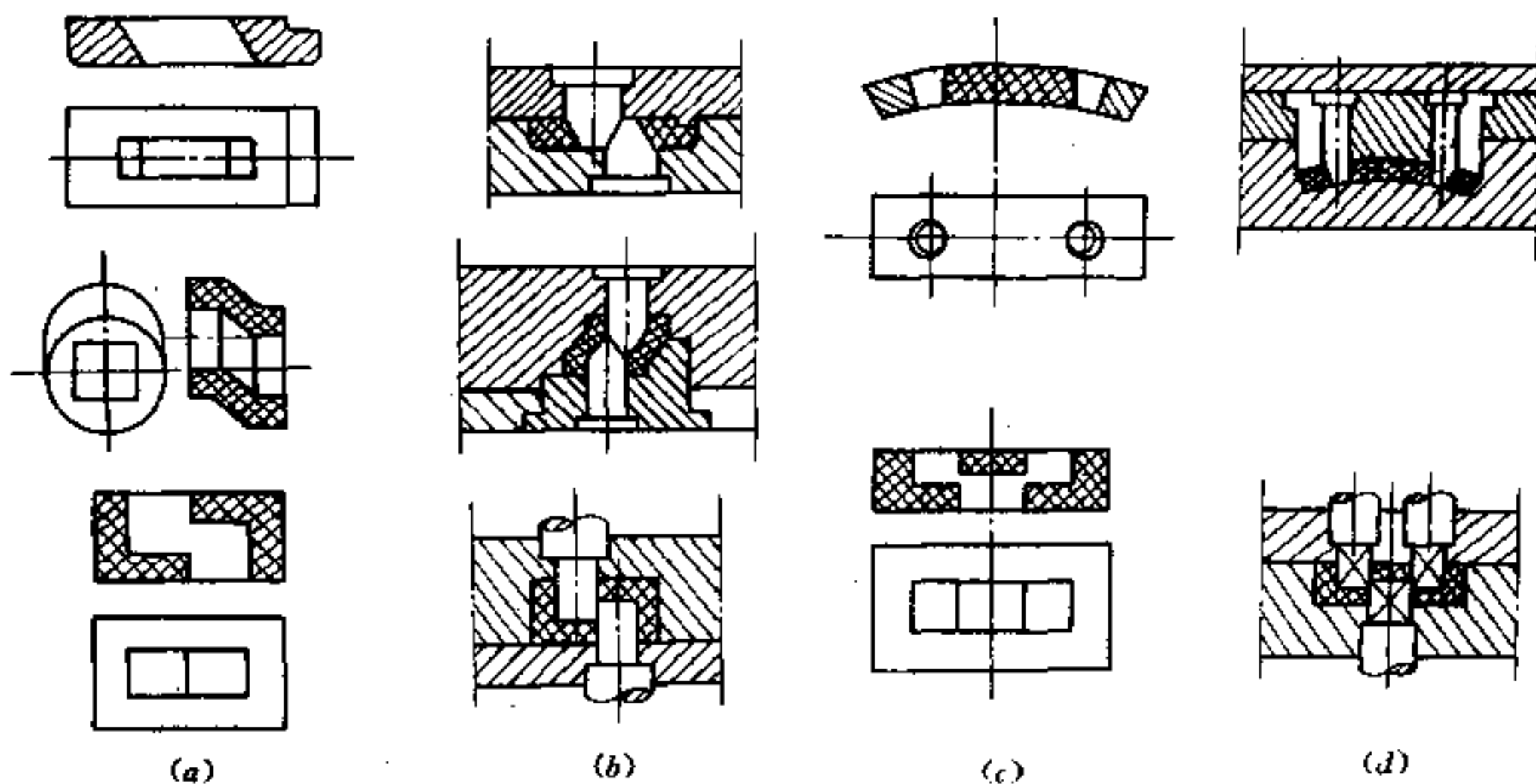


图 3.2-21 复杂孔的设计

(a)、(c) 塑件形状；(b)、(d) 成型方法。

凸台，使顶出塑件的顶杆作用于凸台上，因此处能承受较大的顶出力。通常凸台比相邻的部分高一些，它的形状有长条形、圆形、方形、圆弧形等。图 3.2-22 是在筋上设置顶杆凸台的情况，其中 (a) 图、(b) 图是凸台处于筋中部的情况，(c) 图、(d) 图是凸台处于两条筋交叉处的情况。图 3.2-23 是塑件边缘及角部设置顶杆凸台的图例，

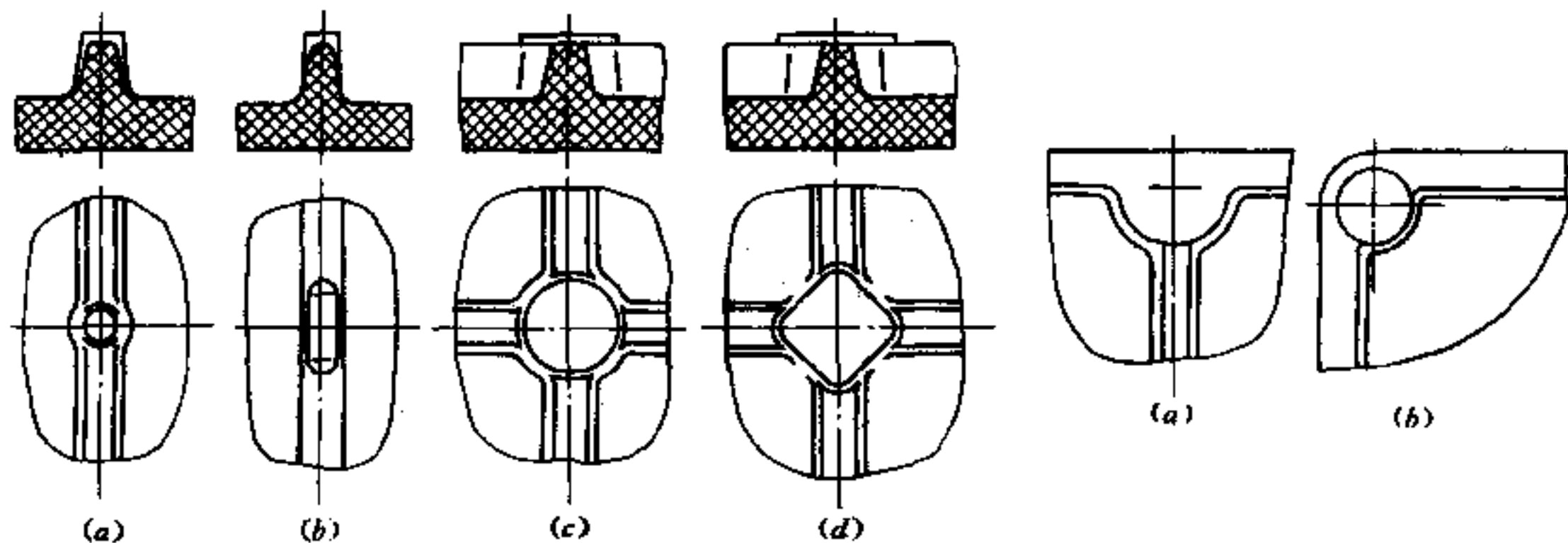


图 3.2-22 筋上的顶杆凸台

图 3.2-23 塑件边缘的顶杆凸台

位于角部的凸台，还可以兼起支承、定位的作用。

设计凸台时除设计加强筋应考虑的问题外，应尽量使凸台的尺寸小些。不要因设置凸台而使塑件壁厚过分悬殊。当凸台处于平面或远离壁面时，应用加强筋加强，提高其强度，并使塑件成型容易，如图 3.2-24 所示。加强筋的厚度以不超过其所在壁厚的 80% 为好。否则多数热塑性塑件会产生凹陷。

安装紧固凸耳（如图 3.2-25 所示），应有足够的强度来承受安装紧固塑件时的作用力。为此，台阶支承面不宜太小，且应当平缓地过渡。

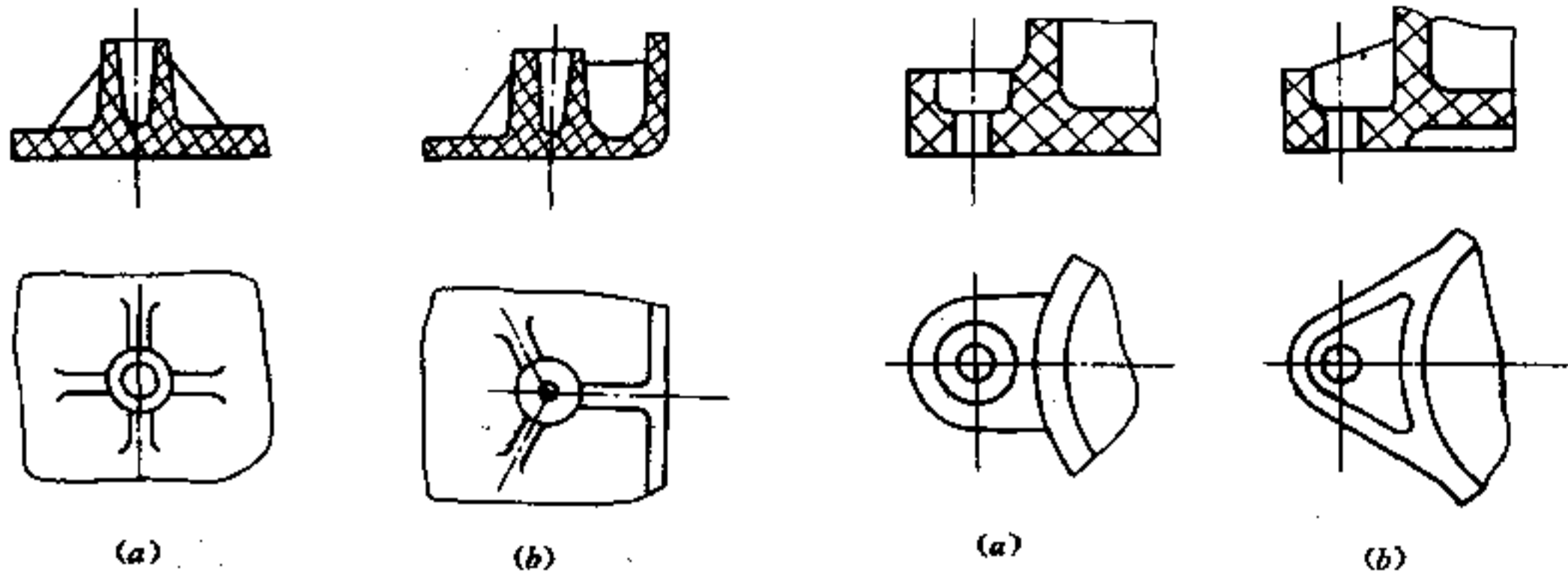


图 3.2-24 凸台的增强

在塑件的边缘部位采用角撑支撑壁面，以增加塑件的强度与刚性，满足塑件的使用要求。角撑设计如图 3.2-26 所示。角撑的尺寸主要取决于其所在壁的厚，有如下关系：若  $A =$  塑件壁厚，则  $B = A$ ， $F = 2E$ ， $C = B$ ， $D = 2B$ ， $E = 0.8A$ 。

为了增强角撑的作用，宜增加角撑的个数，减少角撑间的距离。实际上，角撑就是处于塑件边壁转折处的加强筋。因此，加强筋的设计原则也适用于角撑设计。

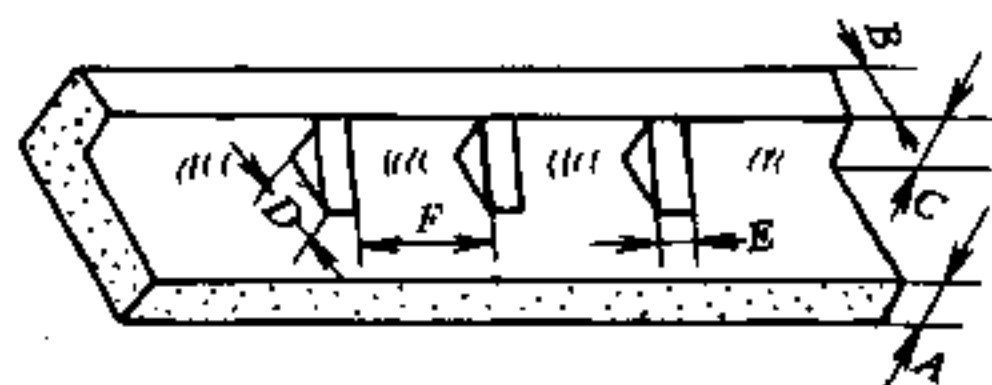


图 3.2-26 角撑设计

图 3.2-25 安装用凸耳  
(a) 不正确设计；(b) 合理的设计。

### 3.2.9 边缘、平面与拱底

设计塑件边缘的目的，除满足其强度及使用功能要求之外，还要注意美观。

图 3.2-27 是增加塑件刚度、防止变形的边缘设计图例。图 3.2-28 所示为满足塑件安装使用的边缘形式；其中 (a) 图所示的边缘凹槽是为了放置密封环；(b) 图、(c) 图所示的边缘台阶孔和锥面孔是为满足塑件的配合与安装需要。图 3.2-29 为塑件边缘增强形式。

塑件上的平面容易翘曲变形，应当尽力避免采用。为了保证塑件质量、防止翘曲变形，可用硬质塑料作塑件材料，或者把塑件壁面设计成边弯曲、边成波形的凹凸面，不要设计成完全的平面。图 3.2-30 中，(a) 图表明圆形平板易翘曲变形；(b)、(c) 图

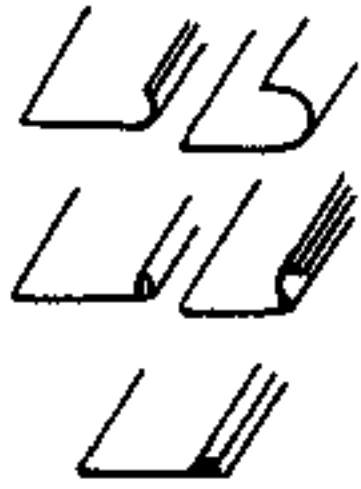


图 3.2-27 几种边缘形式

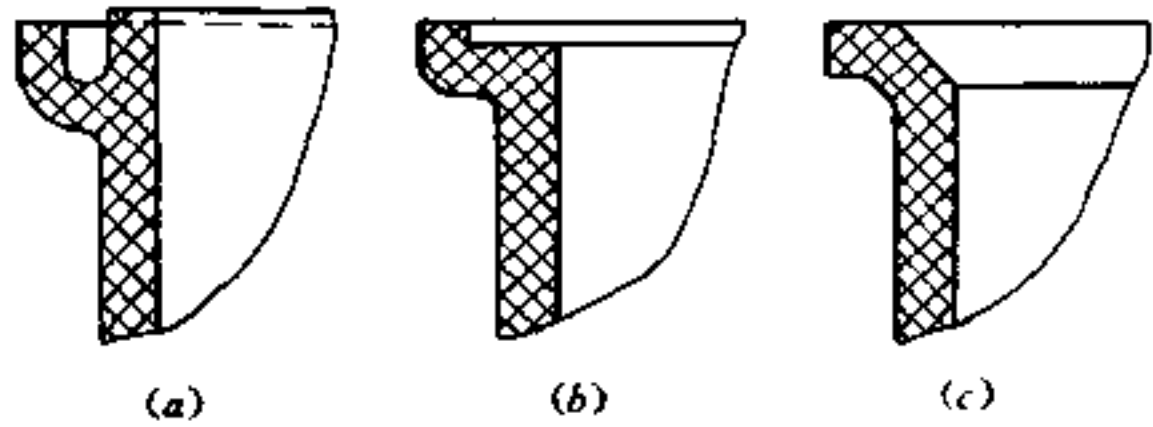


图 3.2-28 边缘结构形式

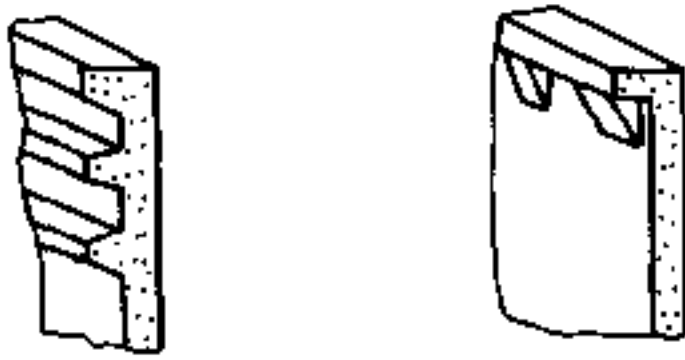


图 3.2-29 边缘增强形式



图 3.2-30 塑件壁设计

表明折线形壁面与波形壁面，具有增加塑件刚性、避免变形的效果。

容器类塑件的底部应设计成图 3.2-31 所示那样的拱底。图 3.2-31 (a) 为波浪形的底，具有较大刚性，是较为理想的设计。若设计成图 3.2-21 (b)、(c) 所示的那样的角锥形、皇冠状也有分散内应力、防止变形的效果。

设计塑件底部时还必须注意转角处的设计，像图 3.2-32 所示的设计，不仅成型容易，而且能得到良好的塑件质量。

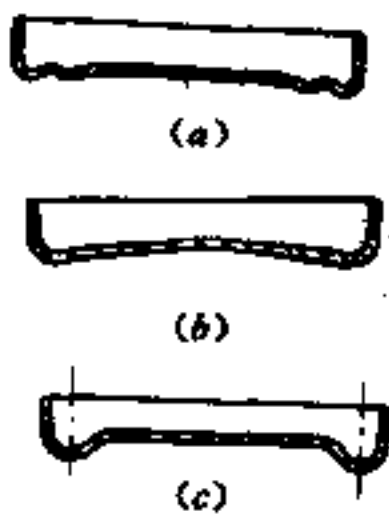


图 3.2-31 容器底设计

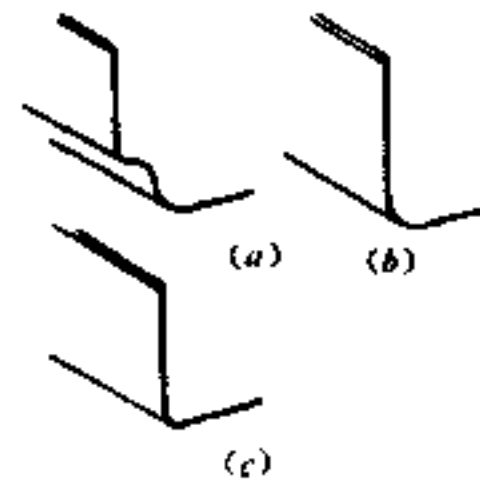


图 3.2-32 底部拐角设计

### 3.2.10 螺纹设计

用于塑件的螺纹，通常有普通公制螺纹、矩形螺纹、锯齿形螺纹、瓶口螺纹、V形螺纹等。设计这些螺纹塑件时，有以下两方面要求。

#### 1. 保证塑件及螺纹的强度

(1) 塑料螺纹强度约为钢制螺纹强度的  $1/5 \sim 1/10$  倍，而且螺牙的正确性较差。如果两个互相配合的螺纹塑件的材料、成型方法相同，则一般问题不大。如果是塑料螺

纹与钢制螺纹配合，则螺纹的配合长度应不大于螺纹直径的 1.5 倍。螺纹配合长度、螺距方向的收缩量大，就有影响螺纹塑件使用的危险。螺纹的配合长度可按以下公式计算：

$$L = nS = \frac{b - (\Delta + 0.06 + kd_{CP})}{0.0035} \quad (3.2-5)$$

式中  $L$ ——螺纹的许可配合长度 (mm)；  
 $n$ ——螺距数；  
 $S$ ——螺距 (mm)；  
 $b$ ——塑件螺纹中径公差 (mm)；  
 $\Delta$ ——塑件螺纹中径制造公差 (mm)；  
 $d_{CP}$ ——塑件螺纹中径 (mm)；  
 $k$ ——塑料收缩波动系数。

$$k = \frac{S_L - S_m}{100} \quad (3.2-6)$$

式中  $S_L$ ——计算收缩率最大值；  
 $S_m$ ——计算收缩率最小值。

(2) 塑件螺纹设计如图 3.2-33 所示，(a) 图为螺纹孔，在螺纹入口处设计一个无螺纹的台阶孔穴，孔穴长度大于 0.5mm，这可以防止塑件上螺纹孔的第一扣螺纹崩裂，同时对螺纹件的配合起引导作用，在螺纹的末端也设有大于 0.5mm 的一段为无螺纹的光孔，其作用是保证螺纹型芯的第一扣螺纹在使用中不被损坏；(b) 图为螺纹轴，亦有类似的要求。

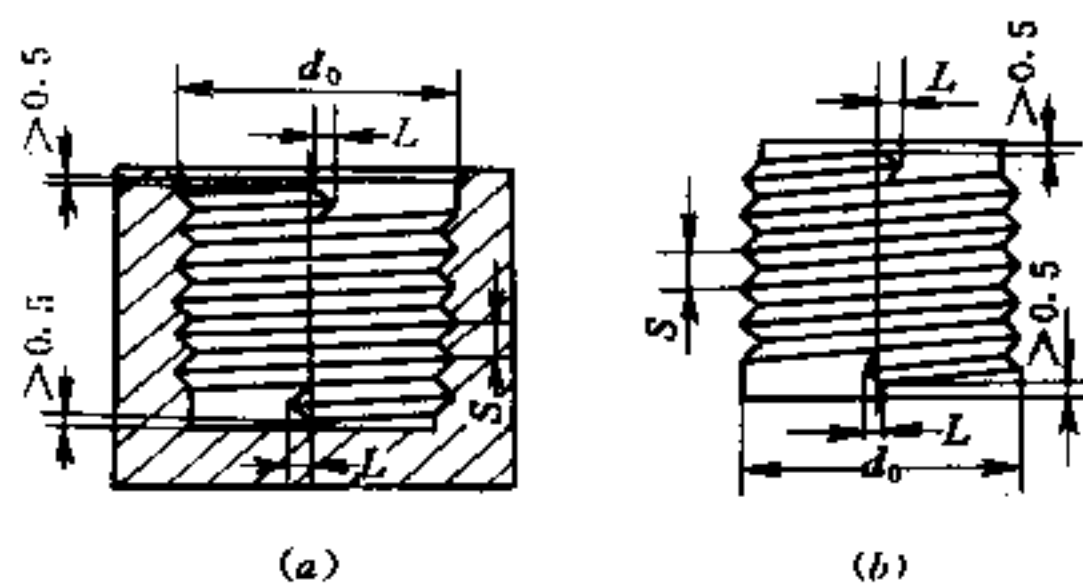


图 3.2-33 螺纹设计

螺纹的始末尺寸也必须加以规定，借以保证螺纹始末的强度。螺纹始末尺寸的数值，见表 3.2-15。

(3) 塑件螺纹孔到边缘的距离应大于螺纹外径的 1.5 倍，同时应大于螺纹孔所在塑件壁厚的 1/2。螺纹孔间距离应大于螺纹外径的 0.75 倍，同时应大于塑件壁厚的 1/2。



表 3.2-15 螺纹始末尺寸

螺纹直径/mm	螺 距 S/mm		
	≤1	>1~2	>2
	始末尺寸 L/mm		
≤10	2	3	1
>10~20	3	4	5
>20~30	4	6	8
>30~40	6	8	10

(4) 塑件螺纹直径较小时不宜采用细牙螺纹。纤维或布基填充塑件的螺纹牙尖端, 常被强度不大的纯树脂填充, 易于崩裂。如果需要细牙螺纹时, 可按表 3.2-16 选用。表中符号“+”为建议采用的螺纹, 符号“-”为不希望选用的螺纹。

表 3.2-16 螺纹选用范围

螺纹公称直径 /mm	螺 纹 种 类				
	公制标准螺纹	1级细牙螺纹	2级细牙螺纹	3级细牙螺纹	4级细牙螺纹
3以下	+	-	-	-	-
3~6	+	-	-	-	-
6~10	+	+	-	-	-
10~18	+	+	+	-	-
18~30	+	+	+	+	-
30~50	+	+	+	+	+

## 2. 保证塑件螺纹顺利脱模

(1) 当塑件上有多处螺纹时, 各螺纹的螺距和旋向应相同。如图 3.2-34 所示, 使用组合螺纹型芯成型, 模具结构复杂化。图 3.2-34 (a) 为在同一孔中的两段螺纹旋向与螺距相同, 用一个螺纹型芯成型。图 3.2-34 (b) 为在同一孔中的两段螺纹旋向不同, 螺距不同, 需用组合螺纹型芯成型, 并需两次脱模。

(2) 在脱模过程中, 塑件上的螺纹易碎裂。因此, 对于化妆品或药物瓶盖之类的螺纹, 可采用圆形螺牙截面的螺纹。为了使螺纹件脱模方便, 在螺纹处应当设计有  $1/15 \sim 1/25$  的脱模斜度。对某些塑件上的螺纹, 无严格的密封要求, 仅起连接作用, 且受力不大, 可在塑件周围向上设计成断隔螺纹, 则塑件成型后脱模方便, 如图 3.2-35 所示。

(3) 应当在塑件螺纹的适当部位, 设计有止转部分。止转部分的形式有花纹、内外六方形、端面花纹及内外沟槽等。

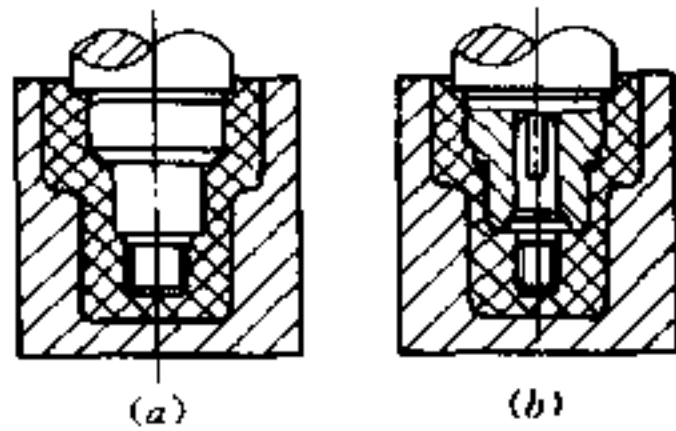


图 3.2-34 同轴两段螺纹

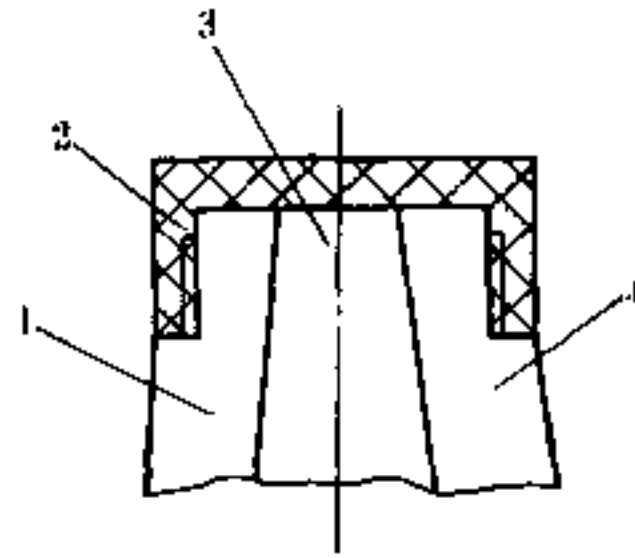


图 3.2-35 部分螺纹

1、4—活动型芯；2—塑件；3—固定型芯。

### 3.2.11 花纹设计

为了塑件表面质量，增加塑件的外形美观，常对塑件表面加以装饰。在塑件表面上做出凹槽纹、皮革纹、桔皮纹、图案、木纹等装饰花纹，这可遮掩成型过程中在塑件表面上形成的疵点、丝痕、波纹等缺陷。大平面的塑件表面要想达到很高的表面质量，是十分困难的。对此，可采用这种装饰的办法予以改善塑件表面的外观状况。有时候采用流线型或圆柱形表面，能有效地防止塑件变形。

在手柄、旋钮等塑件的表面上，设置花纹及其它凸凹纹，其目的是为了增大摩擦力，便于工作时施力。在带有螺纹的瓶盖类塑件外表面上做成花纹，便于装卸。有时为了增加粘接表面积及粘接可靠性，也可在塑件表面上做出花纹，也有用于装饰的花纹。花纹截面形状有圆形、三角形及梯形。圆形截面较好，采用较普遍。

花纹设置不得影响塑件脱模，如图 3.2-36 所示。其中 (a) 图为菱形花纹，影响塑件脱模；(b) 图是贯通式花纹，去除毛边费事；(c) 图是最常用的花纹形式，正确合理；(d) 图花纹条纹太细小，则清理毛边费事；(e) 图所示花纹处于塑件表面中间，塑件脱模及模具加工困难；(f) 图为手轮，在花纹表面上会出现毛边，需要修整。

花纹设计应沿脱模方向，且有脱模斜度。条纹高度不小于 0.3~0.5mm。高度不超过其宽度。花纹不得太细，因为太细太深的沟槽加工难，成型难，清理模具也难。表 3.2-17 为常用花纹尺寸，可作为设计时参考。

表 3.2-17 花纹尺寸 (mm)

细花纹					粗花纹			
塑件直径 $D$	$\leq 18$	$>18 \sim 50$	$>50 \sim 80$	$>80 \sim 120$	$\leq 18$	$>18 \sim 50$	$>50 \sim 80$	$>80 \sim 120$
齿距 $t$	1.2~1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5	4R			
半径 $R$	0.2~0.3	0.3~0.5	0.5~0.7	0.7~1	0.3~1	0.5~4	1~5	2~6
齿高 $h$	$\approx 0.86t$				0.8R			

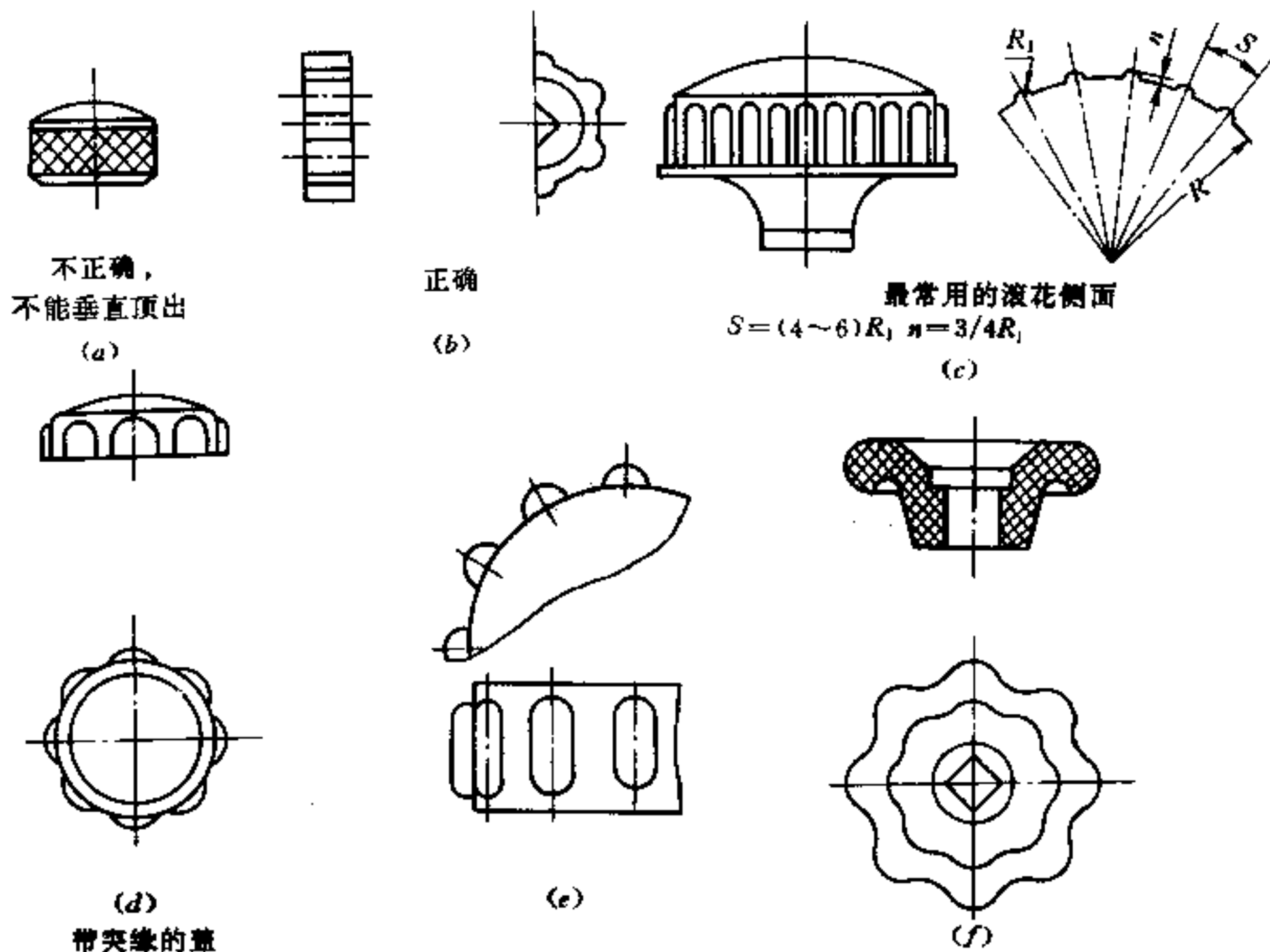


图 3.2-36 花纹设计图例

花纹可均布于塑件表面上,也可以分组集中布置。这要根据花纹功能及塑件的使用情况决定。不管什么表面上的花纹,都要便于制造。对于圆锥表面上的花纹,要特别注意可加工性。

在塑件平面上的花纹,可以是平行的直线花纹,也可以是网状花纹。网状花纹条纹线的交角为  $60^\circ \sim 90^\circ$ 。交角太小会在塑件表面上形成凸起的尖角,影响塑件及模具的使用强度。花纹结构形式与塑件表面形状有关,如图 3.2-37 所示。塑件表面为圆形,宜用同心圆花纹,见图 3.2-37 (a),或采用条纹线相互夹角为  $90^\circ$  的网状花纹,见图 3.2-37 (b)。塑件表面为矩形或正方向,可采用条纹线互相平行的直花纹,见图 3.2-37 (c),也可采用条纹线沿对角线方向布置的交角为  $90^\circ$  的网状花纹,见图 3.2-37 (d)。塑件表面为三角形,宜采用网状花纹;但花纹条纹线应与三角形的一边平行,见图 3.2-37 (e)。

如果塑件侧壁上设置有装饰花纹,花纹布置处于图 3.2-38 所示的范围内,则塑件成型之后可以直接强制脱模。皮革纹、布纹,  $\alpha = 3^\circ \sim 5^\circ$ ; 文字、花纹,  $\alpha = 8^\circ \sim 10^\circ$ 。

### 3.2.12 文字、标记与符号

由于装璜或某些使用及特殊要求,需要在塑件上做出文字、符号之类的标记。在塑件上做出文字、标记符号的通常办法,是在成型塑件的过程中直接成型出来。因为用这种办法做出的文字、标记符号坚固耐用、轮廓清晰、美观。

若要在塑件上制出与塑件颜色不同的文字,首先要制作由薄筋连接的单个字母,如图 3.2-39 (a) 所示。筋的厚度一定要小于字母的厚度。必须采用比塑件材料软化点高

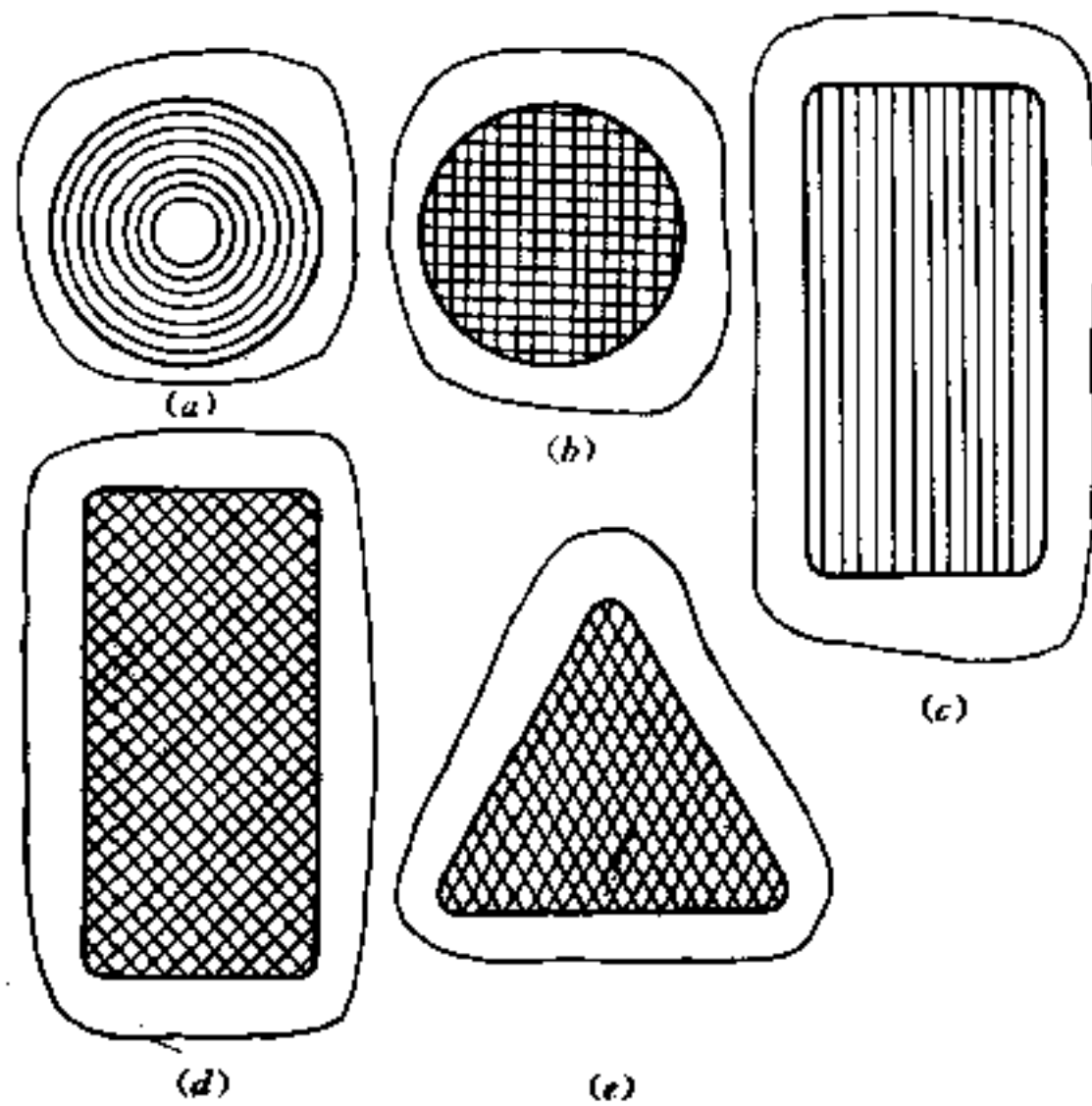


图 3.2-37 表面形状与花纹形式

的塑料制作字母及薄筋，成型时先用专用的工艺芯件或凸台，将薄筋连接的字母固定于模具内，然后，用压制法或注射法成型塑件，就可在塑件上制得与其颜色不同的文字来，如图 3.2-39 (b) 所示。

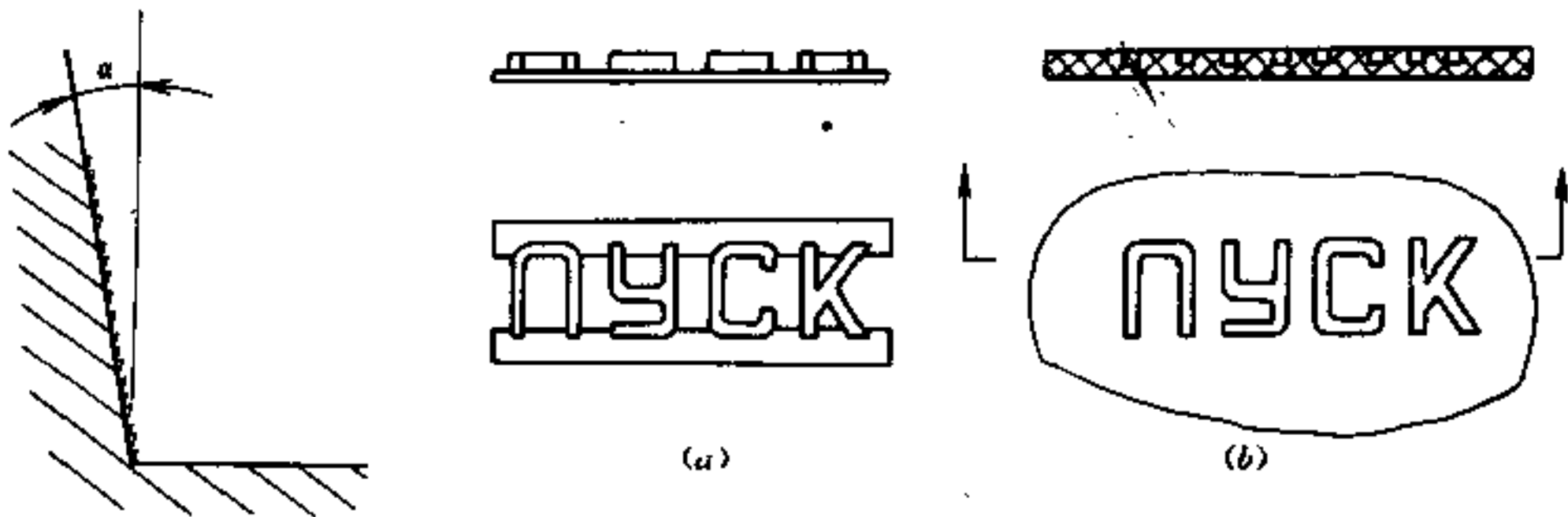


图 3.2-38 侧壁花纹

图 3.2-39 塑件与用薄筋连接的字母

塑件上的文字、标记符号为凹形，如图 3.2-40 (a) 所示，则模具上就为凸形，用一般方法制作模具较困难。因此，建议采用电铸、冷挤压、电火花加工等新工艺来加工模具。

塑件上的文字、标记符号等，可以是凸出塑件表面的凸形，也可以是凹入塑件表面的凹形。塑件上为凸形，如图 3.2-40 (b) 所示，则模具上就为凹形，可以用机械或手工加工出来，模具制造容易；但是塑件上的凸形文字、标记符号在使用中容易损坏。

为了使塑件上的文字、符号等坚固耐用，又容易加工制造模具，因此建议在塑件上做出凹坑凸字，如图 3.2-40 (c) 所示。对此，把模具做成镶嵌结构，并可把镶件周围的结合线作为边框。在塑件上采用这种凹坑凸字，当抛光、使用时都不会使它损坏。

塑件上的文字、符号等凸起高度一般不低于 0.2mm，而多用 0.4~0.8mm，其线条的宽度不小于 0.3mm。通常文字、符号的线条高度不应超过其宽度，否则就会影响其使用强度。文字、符号的脱模斜度大于  $10^\circ$ ，采用凹坑凸字时凹坑应比凸字高出 0.2mm。

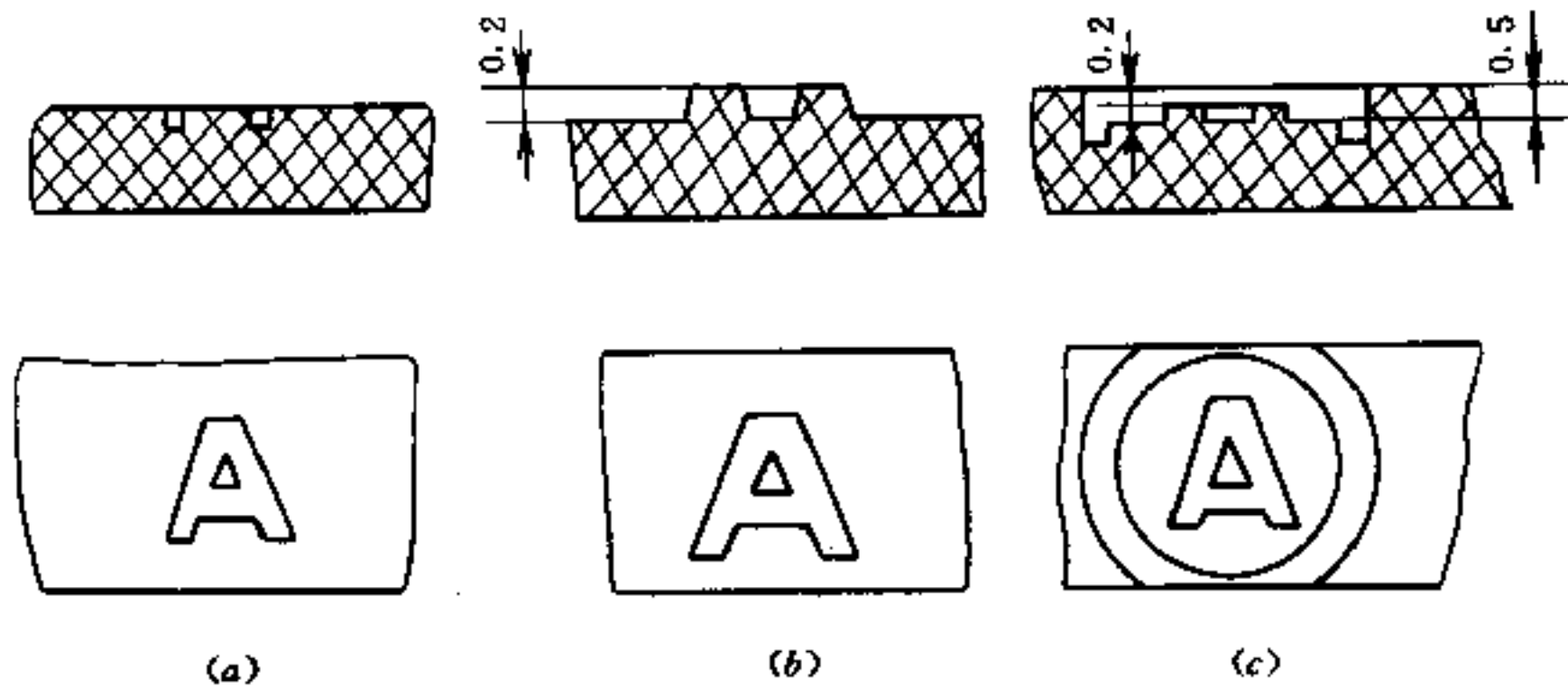


图 3.2-40 塑件上的文字

### 3.3 嵌件设计

嵌入塑件中的零件，叫嵌件。由于用途不同，嵌件的形式不同，材料也不同。嵌件的材料有金属、合金、陶瓷、玻璃、塑料、木材等，使用最多的是各种金属嵌件。

#### 3.3.1 嵌件的作用

(1) 提高塑件的机械坚固性和磨损寿命。例如起子、手柄、汽车方向盘等塑件中的金属件就属于这种用途的嵌件。为了提高塑件某一部分的耐磨性能，也可采用各种形式的金属嵌件，这种嵌件多用钢材、合金、青铜、黄铜等制造。

(2) 在塑件中构成电路，起导电作用。根据这种嵌件在塑件中的作用，此种嵌件多是贯穿塑件的。导电嵌件的材料多用导电性能好的银、铜、铝等。为了满足特殊的使用要求，有时在塑件上嵌装比塑料电绝缘性能更好的陶瓷、玻璃等。

(3) 提高塑件的尺寸稳定性和尺寸精度。在成型时把金属嵌件模塑入塑件中，嵌件可以起阻碍塑料收缩、减小塑料的收缩量及收缩波动的作用，从而提高了塑件某一部分的尺寸精度及稳定性。或用金属嵌件代替塑件尺寸精度高的部分，借以达到塑件尺寸精度的要求。

(4) 起紧固、连接作用。作为这种用途的嵌件有螺帽、螺钉、双头螺栓、螺纹衬套、螺纹芯件等形式的连接紧固嵌件。此外，还可采用铆钉、薄片、芯轴之类零件作为塑件的连接紧固嵌件。在连接紧固时把这类嵌件扩口或将它们伸出的部分卷弯。

在塑件上采用嵌件会使塑件的成本增加，使成型塑件的模具结构复杂化。同时在成型塑件的过程中安放嵌件需要时间，比较费事，难以自动化生产。另外嵌件常常引起塑件的变形及开裂。

#### 3.3.2 嵌件的形式

使用嵌件的目的是不同，嵌件的材料和形式也不相同，若根据其几何形状来分，大概有以下几种常用形式：

(1) 销柱形嵌件, 如图 3.3-1 (a) 所示。这类嵌件有螺杆、台阶杆、轴销、针状件等, 常用于导电、配合定位、连接紧固等。

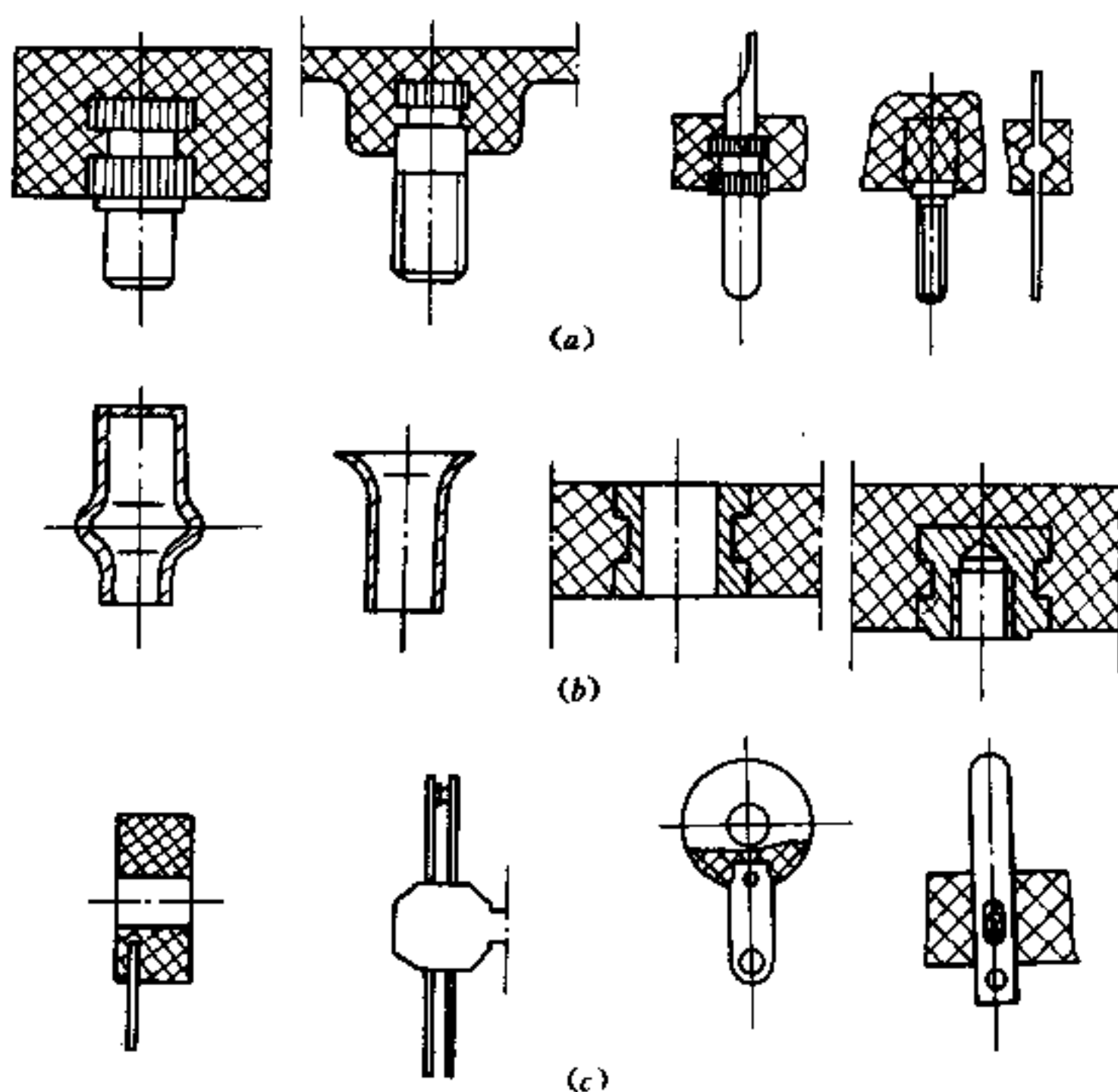


图 3.3-1 常见嵌件形式

(2) 套筒形嵌件, 如图 3.3-1 (b) 所示。这类嵌件有螺纹套、轴套和冲制拉伸而成的薄壁套管等。经常用于拆卸频繁、受力较大的场合或导电部位的连接。

(3) 板条形嵌件, 如图 3.3-1 (c) 所示。这类嵌件多用于导电的场合, 常用的有导电片、接触片、焊片、瓣形片等。

### 3.3.3 嵌件设计要点

#### 一、嵌件与塑件的连接

(1) 在模塑塑件时, 先把嵌件装固于模具中, 然后加料模塑成型, 使嵌件与塑料紧密结合而成为塑件的组成部分, 这是最常采用的方法之一。

(2) 趁塑件脱模后尚热之时, 迅速把嵌件压入到在塑件上预设的孔眼中。如果嵌件直径小于 60mm, 塑件上预设的孔眼应保证与嵌件轴为过盈 0.02~0.1mm 的配合。

(3) 待塑件成型之后把嵌件装固于其中。如图 3.3-2 所示, (a) 图为塑件成型后再把导电片装入, 加以扭转使其卡在塑件中; (b) 图是在塑件成型后装入装饰片, 依靠装饰片弯折变形而紧固其上。

(4) 把嵌件胶接于塑件。先用机械加工、喷沙、砂光等办法, 使胶接表面粗糙, 消除斜度、清洗去油污后再胶接。胶接时常用 БФ 胶、环氧树脂胶等, 胶接面间应留有单侧间隙为 0.04~0.06mm。这种方法常适用于装饰的目的, 把精制的金属、陶瓷、塑料、玻璃等嵌件装于小的或薄壁塑件。



## 二、嵌件在塑件中的位置

把嵌件安置到塑件中的位置与塑件的使用要求、强度、成型施压方向、熔料的流动方向等有关。通常应使嵌件距塑件边缘远一点。如果是一个嵌件，应把嵌件安置在塑件的中心位置。如果有几个嵌件，应把嵌件对称地安置于塑件中，尽力避免非对称的配置，以免导致塑件变形。

(1) 尽量沿压制方向配置嵌件，即使嵌件的轴与压制施力方向一致。应尽力避免把嵌件配置在垂直于压制施力方向上。对于垂直于施压方向配置的嵌件，嵌件伸出的自由长度如果超过其本身直径的2倍时，就有必要进行工艺支撑，如图3.3-3所示。基于同样理由，也不应把嵌件轴放置成与熔料流动方向互相垂直，以免在成型中把嵌件压弯或被冲走。

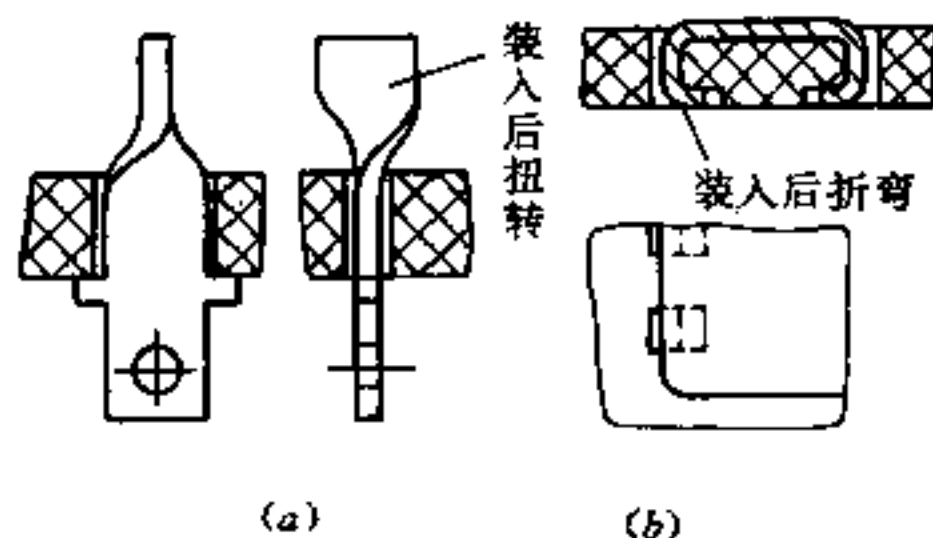


图 3.3-2 嵌件的装配

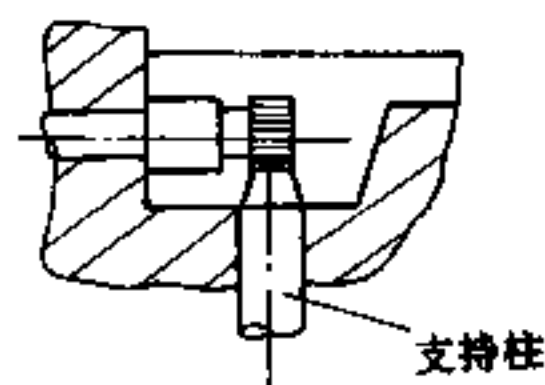


图 3.3-3 支撑嵌件

(2) 通常圆形嵌件周围的塑料层厚度，应在嵌件直径的四分之三以上。嵌件周围塑料层的最小厚度与塑料种类、塑料与嵌件材料的热胀系数、嵌件大小等有关。主要是与塑料的断裂相对伸长率有关。塑料的断裂相对伸长率大，塑料层厚度可以小些；塑料的断裂相对伸长率小，则塑料层应厚一些，据报导树脂断裂相对伸长率为5%~6%，则嵌件周围的塑料层不会发生裂纹。

嵌件被包容部分的尺寸愈小，覆盖在嵌件上的塑料层厚度就愈薄，否则塑料层就应厚些。通常金属嵌件与塑料两者的线膨胀系数值相差甚大，所以塑料层厚度应大一些。表3.3-1中列有若干材料的线膨胀系数。表3.3-2为嵌件周围塑料层的最小厚度；表3.3-3为金属嵌件周围的塑料层厚度。

表 3.3-1 若干材料的线膨胀系数

序号	材料名称	线膨胀系数	
		$\times 10^{-5}/K$	温度范围/ $^{\circ}C$
1	酚醛玻纤模压塑料	0.4~0.66	18~200
2	苯酚甲醛木粉塑料	2.5~4	-
3	氨基塑料	2.5~5.5	-
4	爱卓塑料 (ЭТРОЯ)	6.7~16	-
5	聚苯乙烯	6.8	-
6	聚碳酸酯	7	-
7	聚酰胺 П68	11~12	0~50
8	聚乙烯	21~55	50~100
9	钢	1.13~1.18	20~200
10	铜	1.71~1.75	20~200

(续)

序号	材料名称	线膨胀系数	
		$\times 10^{-5}/K$	温度范围/ $^{\circ}C$
11	黄铜	1.75~1.88	20~200
12	青铜	1.79	20~200
13	银	1.98	20~200
14	铝	2.4	20~200
15	刚玉陶瓷 K-20; KM-1	0.35~0.4	20~100
16	高频瓷料 NO46; 53	0.5~0.55	20~100
17	无碱石英玻璃	0.55	20~120

表 3.3-2 嵌件周围塑料层的最小厚度 (mm)

嵌件直径		3.2	6.4	9.5	13	19.0	25	32	38	44	51
热固性塑料	酚醛塑料 (一般)	2.4	4.0	4.8	5.6	8.0	8.7	9.6	10.3	11.0	12.0
	酚醛塑料 (耐冲击)	1.6	3.2	3.6	4.8	6.4	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3
	酚醛塑料 (耐热)	3.2	4.8	5.6	6.4	8.7	9.5	10.3	11.1	11.9	12.7
	尿素塑料	2.4	4.0	4.8	5.6	8.0	8.7	9.5	10.3	11.1	12.0
	三聚氰酰胺	3.2	4.8	5.6	8.0	8.7	9.5	10.3	11.1	12.0	12.7
热塑性塑料	醋酸纤维素	3.2	6.4	9.5	12.7	19.0	25.4	31.8	38.0	44.5	51.0
	乙基纤维素	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.1	8.0	8.7
	聚甲基丙烯酸甲酯	2.4	3.2	4.8	4.8	5.6	6.4	16.0	19.0	22.2	25.4
	聚苯乙烯	4.8	9.5	14.3	19.0	28.6	38.0	47.6	57.2	66.7	76.2
	聚乙烯	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.1	8.0	8.7
	尼龙 6	2.4	3.2	4.0	5.6	6.4	8.0	8.7	10.3	11.1	12.0
	尼龙 66	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.1	8.0	8.7
	氯化醋酸乙烯	2.4	3.2	4.8	6.4	9.5	12.7	16.0	19.0	22.2	25.4

表 3.3-3 金属嵌件周围的塑料层厚度 (mm)

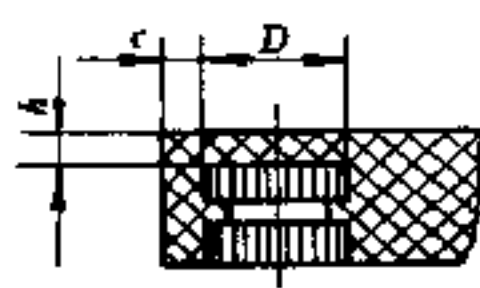
	D	<4	4~8	8~12	12~16	16~25
	h	1	1.5	2.0	2.5	3.0
	c	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0

表 3.3-3 中所示的嵌件如果其轴处于施压方向, 那么  $h$  太小, 则会在  $h$  段形成很密实的塑料层而成为这部分鼓起的原因, 因此  $h$  要有足够厚度才行。

嵌件在塑件中的位置如图 3.3-4 所示, 其中 (a) 图为嵌件的上表面与塑件表面一致, 成型时螺纹处易渗料, 成型后需要清除毛刺, 因此可以像 (b) 图那样在嵌件上设置一个台肩, 借以克服上述问题; (c) 图和 (d) 图所示的嵌件周围的  $x$  处由于冷却而快速硬化, 容易碎裂; (e) 图的螺纹处易渗料, 而 (f) 图所示嵌件配置正确; (g) 图所示的嵌件太靠近塑件的凸起部位, 模具制造及装固嵌件困难, 应像 (h) 图所示那样, 使嵌件距塑件凸起部有足够的距离; (i) 图是表示嵌件伸出塑件部分大于包在塑料中的部分, 并且嵌件增大部分正好与塑件边缘吻合。由于塑料收缩而可能使嵌件增大部分与塑件表面分离, 故 (j) 图所示嵌件增大处, 应有一部分处于塑料内为好。

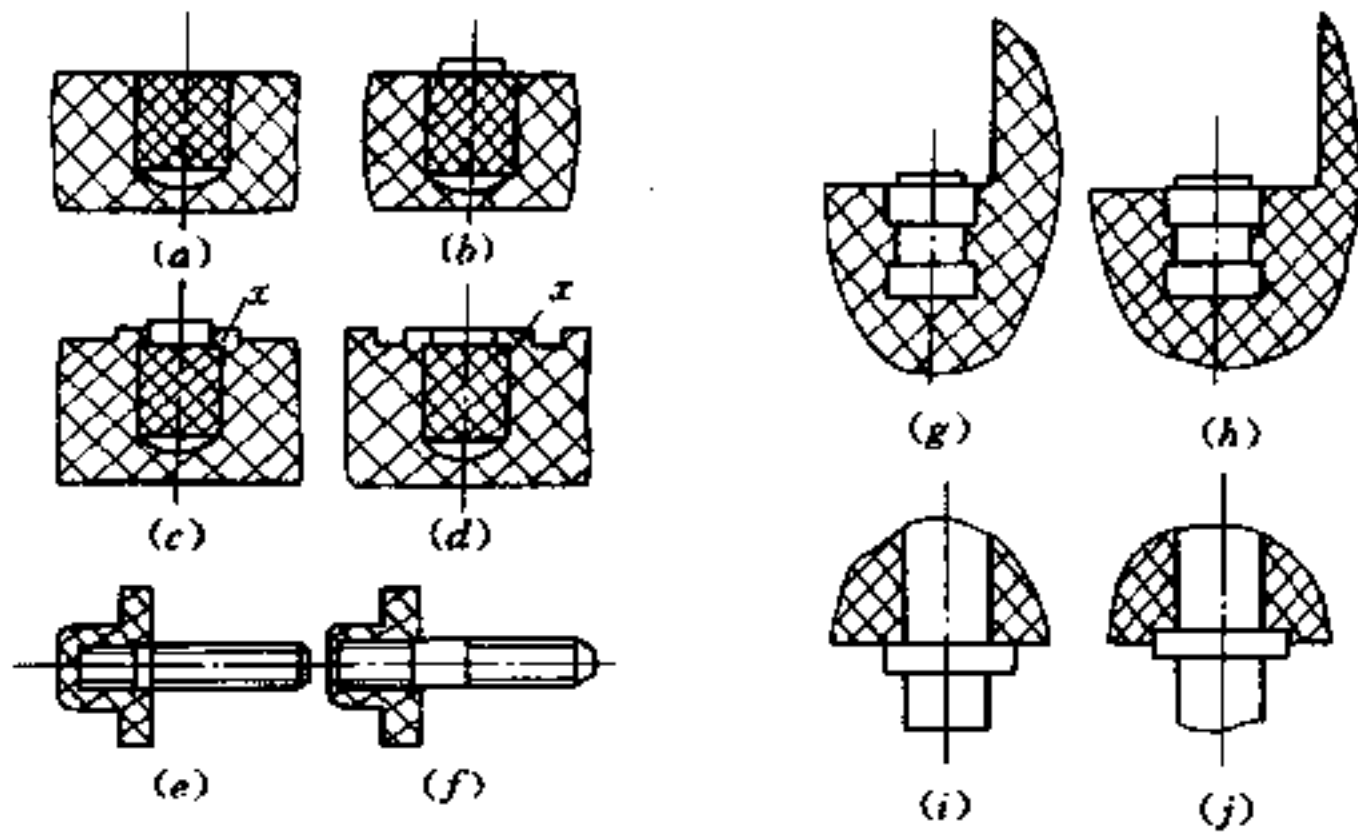


图 3.3-4 嵌件在塑件中的位置

### 三、嵌件在塑件中的固定

根据嵌件的几何形状、使用要求等不同，可以在嵌件上采取各种固定措施。例如，在嵌件的适当部位滚花、开槽、冲孔、切口、压扁、弯折或把嵌件的固定部分作成六方形、台阶形等，借以把嵌件牢固地固定于塑件材料中。

图 3.3-5 为嵌件在塑件内固定方法举例，其中 (a) 图是把嵌件表面加工成菱形滚花，其抗拉、抗扭性能均好；(b) 图为在嵌件上作出直滚花及台阶；(c) 图是利用环形槽及六方体固定；(d) 图是利用切口、冲孔、弯曲等办法，把片条形嵌件固定于塑件中；(e) 图是利用折弯薄壁筒状嵌件的边缘，而使其固定于塑件中；(f) 图是用压扁、弯曲的办法来固定针状嵌件的。

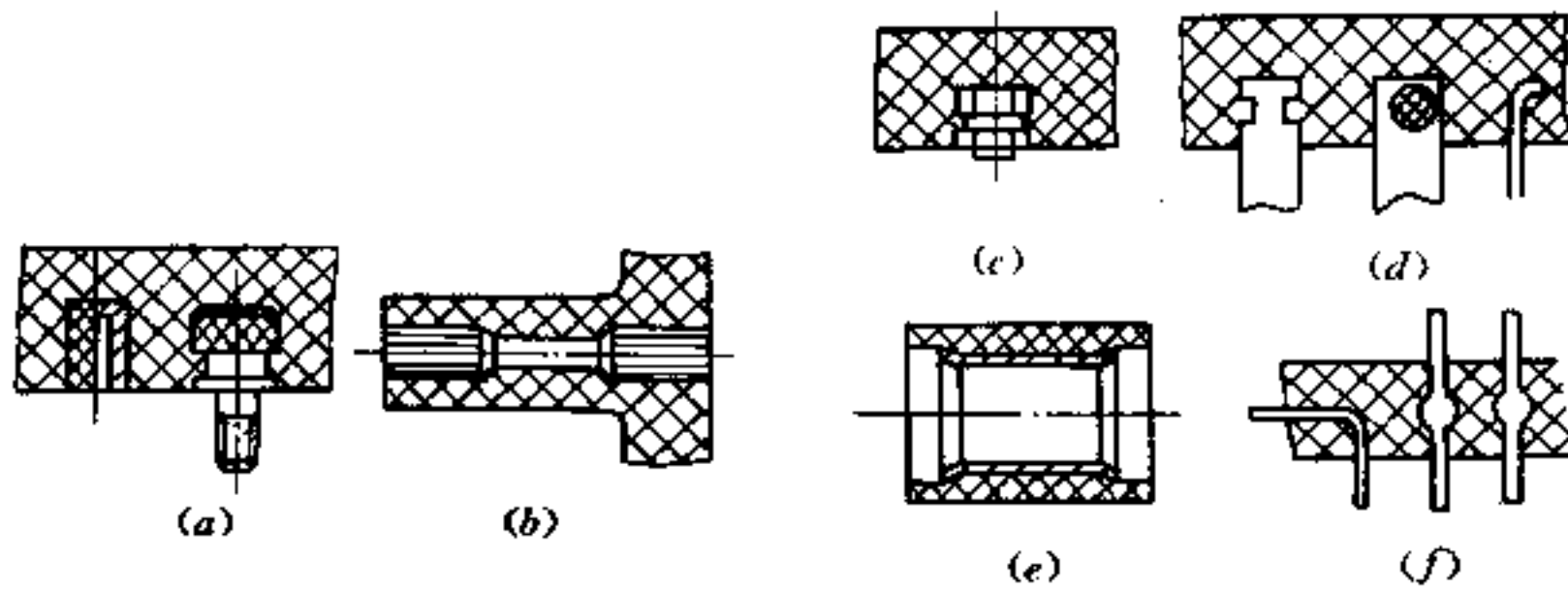


图 3.3-5 嵌件与塑件的结合法

另外，嵌件的形状要尽量对称、简单、应把嵌件上各处的尖角倒成圆角，这对塑件的成型及强度都有好处。

### 四、嵌件在模具中的装固

通常在成型前先把嵌件安放于模具中，然后再进行模塑成型。为此，在设计嵌件时必须根据塑件要求、嵌材材料、形状及它在塑件中所处的位置等来考虑嵌件在模具中的安装固定问题。从嵌件结构上保证其在模具中安放容易、装固可靠，不被熔料渗入其上的预设孔眼及螺纹槽中去。

(1) 轴类嵌件的装固。通常是把轴类嵌件插入到模具的相应孔中加以固定。为此，嵌件与其安装定位部分应具有一定配合精度 ( $H9/h9$  或  $H9/f9$ )。为防止熔料渗入螺纹

槽和安装孔内，可采取如图 3.3-6 所示的措施，其中 (a) 图是利用嵌件凸肩部分配合、定位及密封；(b) 图是利用嵌件光杆部分与模具的配合；(c) 图所示的嵌件有一厚度不小于 1mm 的凸出圆环，利用圆环密封，与 (a) 图情况类同；(d) 图也是防止渗料的一种形式。

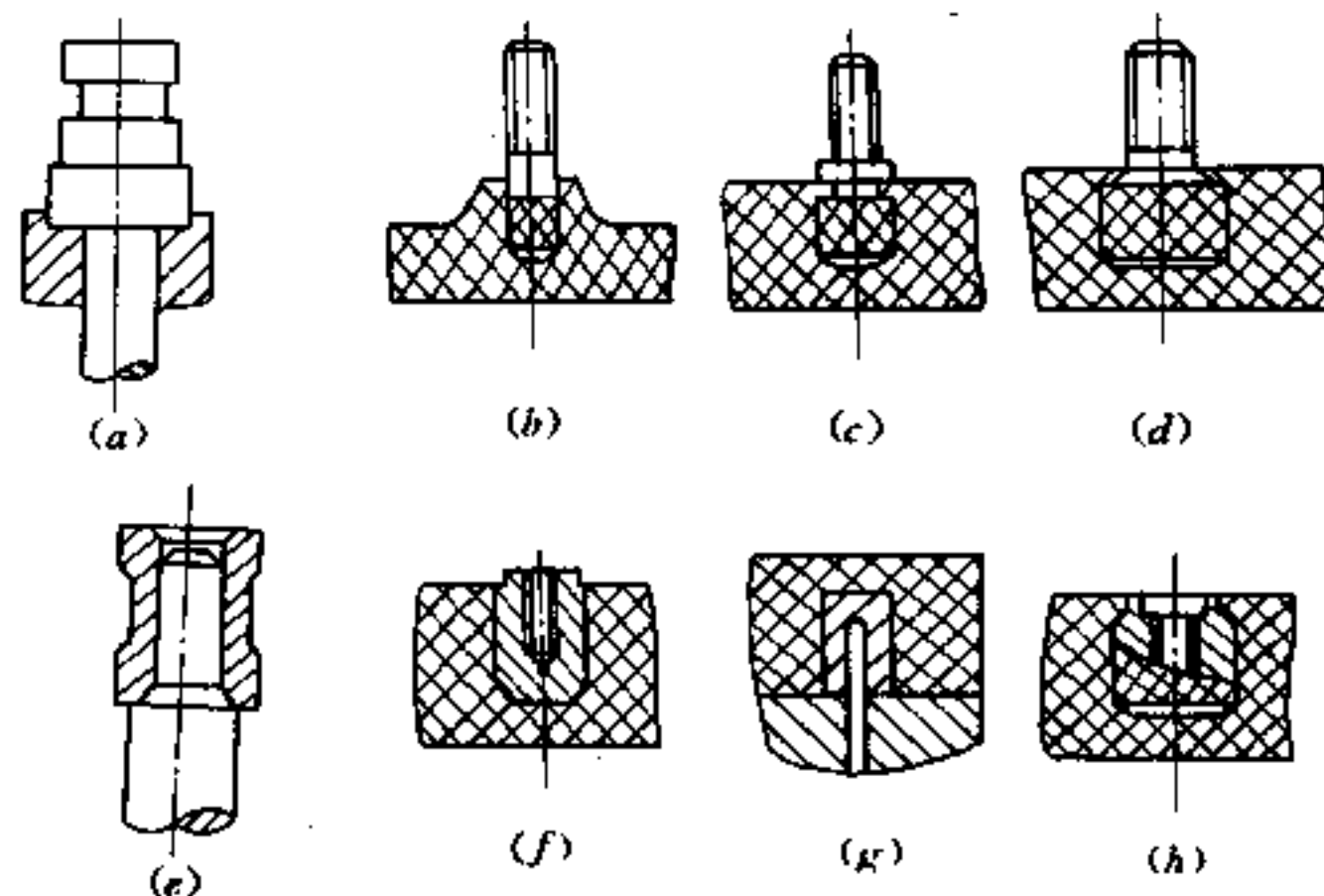


图 3.3-6 嵌件装固措施

(2) 套筒类嵌件在模具中的装固。可以把嵌件直接套在模具中的光杆上，或把螺纹嵌件拧在带螺纹的固定杆上，然后把嵌件与固定杆一起装入模具的相应孔中，也可依靠嵌件上的凸、凹台阶与模具中的孔或轴配合，来增加其定位的稳定性和密封性。图 3.3-6 中，(e) 图为通孔嵌件的固定；(f) 图为利用凸出台阶；(h) 图为利用内凹台阶的装固；(g) 图为盲孔嵌件的装固。

(3) 细条状及薄片类嵌件装固。应尽力避免使用此类嵌件。为了可靠固定这类嵌件，必要时可把模具成型零件做成组合件，以便夹持此类嵌件，还可用定位销、支撑杆等装固零件来固定。

## 3.4 塑件功能设计

### 3.4.1 设计目标

不同塑件其使用功能不同。塑件可单独使用，也可与其它零件组合起来使用。不论是何种情况，塑件在形状、尺寸、表面质量、物理机械性能等方面，均有一定的指标要求。因此，塑件设计者必须根据塑件使用功能、使用环境、受力状况、使用特点等，正确选择塑件材料，设计其几何结构，确定其几何尺寸与精度及各种使用性能指标要求，力求设计出价廉物美、坚固耐用、令人喜爱的塑件来。令使用者感到方便、安全、舒适、得心应手。

### 3.4.2 材料选用

塑件的研制过程大致可分为：塑件设计（含选材）、模具设计与制造、工艺装置调试及塑件制造工艺控制。根据塑件批量生产的性能质量指标测试结果，才能最后判断塑

件的选材是否正确。当然，在此过程中也可采用 CAD 技术，进行预测，这将使塑件的开发过程大大简化，并缩短开发时间。

选材正确与否，是塑件设计成功的关键问题之一。在过去塑件设计的失败事例中，选材不当约占 32%，其中聚合物不合适占 23%，添加剂不合适占 9%。

选材的主要依据，应是塑件的使用性能要求，塑料的成型性能及其价格，以及获得的难易程度。

选择塑件材料的方法，主要有如下三种。

### 一、按塑件使用性能要求选材

按使用性能要求的参数值选材，是一种定量的选材方法。按此法选材必须具备以下资料。

#### 1. 按塑料综合使用性能分类的资料

按综合使用性能参数，可把塑料分为通用塑料与工程塑料，如图 3.4-1 所示，图中数字为塑料的分类号，数字所代表的塑料，见表 3.4-1。

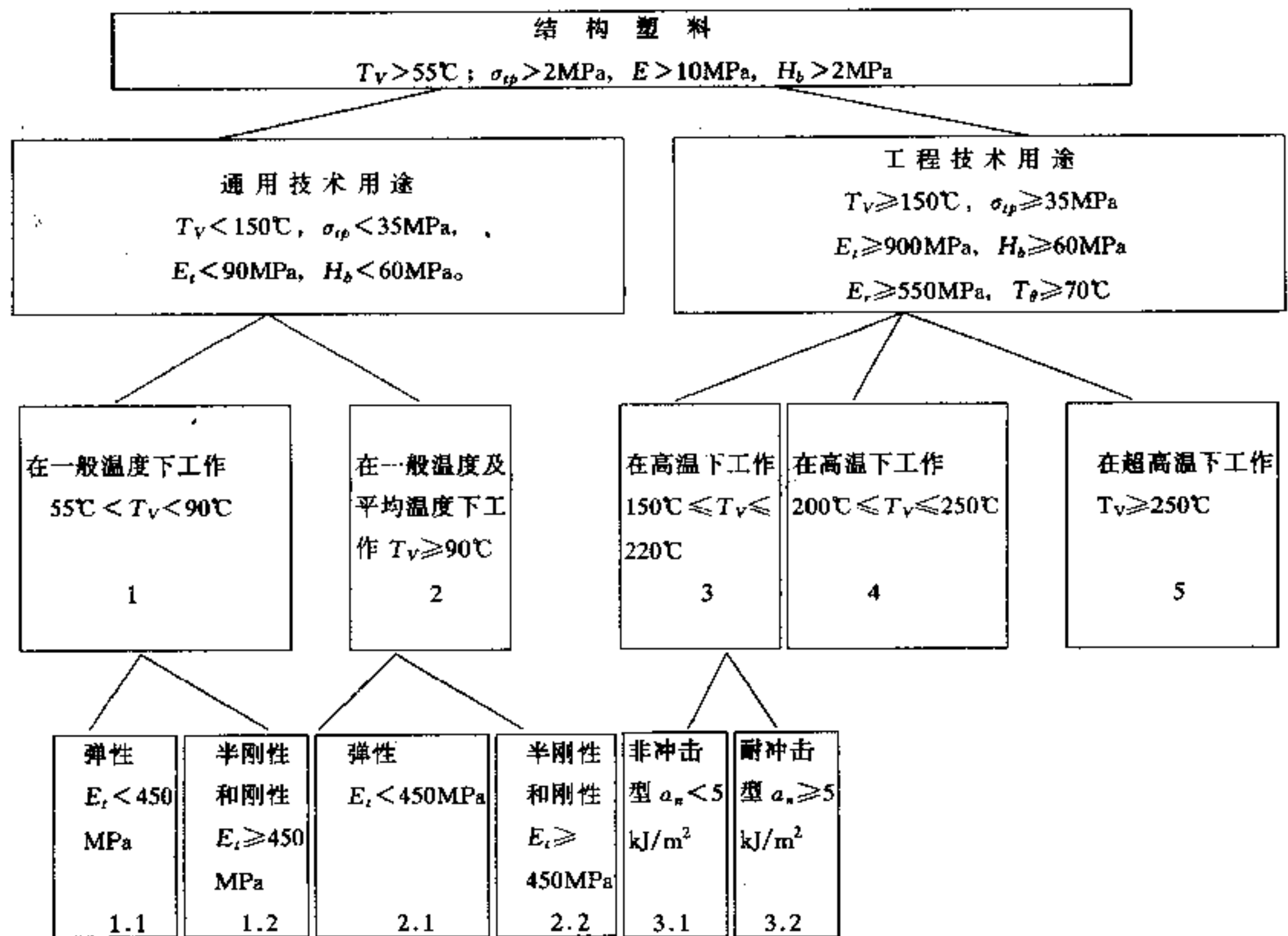


图 3.4-1 塑料分类准则

$T_V$ —加载荷 9.8N 时的维卡软化点； $\sigma_{sp}$ —拉伸流动极限；

$E$ —弹性模量； $H_b$ —钢球压入强度； $E_t$ —拉伸弹性模量；

$E_r$ —变形 0.5% 及载荷作用时间为 1000h 的蠕变模量；

$T_\theta$ —在长时间静载荷作用下的最高使用温度； $a_n$ —无切口试样的冲击强度。

表 3.4-1 塑料按综合使用性能参数分类

塑料分类号	塑 料
1.1	乙烯与醋酸乙烯的共聚物、软聚氯乙烯、发泡聚乙烯
1.2	硬 PVC、纤维塑料、发泡聚苯乙烯、氯乙烯共聚物等
2.1	低密度聚乙烯、聚氨酯、乙烯与丙共聚物等
2.2	高密度聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、耐冲击聚苯乙烯、氟塑料、聚氨酯、聚甲基丙烯酸甲酯等
3.1	以酚醛树脂为基础的塑料及其泡沫塑料，以尿素树脂为基础的压塑料及其泡沫塑料、环氧树脂的压塑料和密封材料
3.2	聚酰胺、聚氧化苯、聚砜、聚丙烯酸酯、以酚醛和尿素树脂为基础的压塑料，如夹布塑料等
4	尼龙 <sub>66</sub> 、聚醚砜、环氧有机硅压塑料、酚醛环氧塑料、纤维素塑料等
5	聚酰亚胺、有机硅塑料、聚苯并呋喃等

通用塑料，在常温下具有较低的流动稳定性参数和刚度，低的热稳定性；随着温度的提高，其拉伸流动极限 ( $\sigma_{lp}$ )、拉伸弹性模量 ( $E_t$ ) 急剧降低。这类塑料适于制作在通常温度下受小载荷作用的塑件，及使用温度低于 50~60℃ 的塑件。

工程塑料，具有较高的机械性能及热稳定性能。随着温度的提高，这些参数降低较少，特别是无定型聚合物，可以用它制作在较高温度下，短时间受载荷作用的塑件。工程塑料在通常温度下和提高的温度下具有高的蠕变模量，可以用其制作在较高温（高于 75℃）下，长期受静载荷作用的重要塑件。

## 2. 按塑料单项使用性能分类的资料

按塑料单项使用性能顺序分类资料，即塑料的排列次序与参数值由高到低相一致。按塑料单项使用性能分类，有如下内容：

(1) 塑料按维卡软化点  $T_v$  分类；

(2) 塑料按弯曲软化点  $T_f$  分类；

(3) 在热老化时保持机械性能（含冲击强度）和电性能，根据长时间使用温度  $T_{s1}$  的塑料分类；

(4) 在热老化时保持机械性能（不含冲击强度）和电性能，根据长期使用温度  $T_{s2}$  的塑料分类；

(5) 在热老化时保持电性能，按长期使用温度  $T_{s3}$  的塑料分类；

(6) 按弯曲时脆性温度  $T_B$  的塑料分类；

(7) 按拉伸流动极限  $\sigma_{lp}$  的塑料分类；

(8) 按断裂强度  $\sigma_t$  的塑料分类；

(9) 按拉伸弹性模量  $E_t$  的塑料分类；

(10) 按弯曲强度  $\sigma_f$  的塑料分类；

(11) 按弯曲弹性模量  $E_f$  的塑料分类；

(12) 按压缩强度  $\sigma_c$  的塑料分类；

(13) 按压缩弹性模量  $E_c$  的塑料分类；

(14) 按在周期载荷作用下的疲劳强度  $\sigma_y$ 、耐久性  $N_B$  的塑料分类；

(15) 按球压入强度  $H_b$  的塑料分类；

(16) 按无切口的试样的冲击强度  $a_n$  的塑料分类（用沙比式冲击试验机测定）；



- (17) 按有切口的试样的冲击强度  $a_{kv}$  的塑料分类 (用沙比式冲击试验机测定);
- (18) 按有切口的试样的冲击强度  $a_{ku}$  的塑料分类 (用伊佐特式冲击试验机测定);
- (19) 塑料对钢的摩擦系数  $f_t$  的分类;
- (20) 塑料按粗糙面摩擦系数  $f_u$  的分类;
- (21) 塑料按电强度  $E_n$  的分类;
- (22) 塑料按比体积电阻  $R_V$  的分类;
- (23) 塑料按比表面电阻  $R_S$  的分类;
- (24) 塑料按介质渗透性  $\phi$  的分类;
- (25) 塑料按介电损失角正切  $\tan\delta$  的分类;
- (26) 塑料按耐电弧性  $\Pi_c$  的分类;
- (27) 塑料按自动熄灭性的分类;
- (28) 塑料按氧指数  $K_u$  的分类;
- (29) 塑料按光线透过系数  $\lambda$  的分类;
- (30) 塑料按折射系数  $\eta_D$  的分类;
- (31) 发泡聚合物;
- (32) 用于接触食物和医学中的塑料;
- (33) 塑料按平均线性热胀系数  $\alpha_l$  的分类;
- (34) 塑料按在标准条件下的平均吸水湿度  $B_{cp}$  的分类;
- (35) 塑料按在 23℃ 经 24h 的吸水平衡湿度  $B_{24}$  的分类;
- (36) 塑料按在 23℃ 的吸水平衡湿度  $B_P$  的分类;
- (37) 塑料注射收缩率分类;
- (38) 塑料按密度  $\rho$  分类;
- (39) 塑料按泊桑系数  $\nu$  分类;
- (40) 有关蠕变系数  $E_r$  和  $\sigma_r$  的资料。

按使用性能参数值选材的顺序为:

(1) 查明塑件的基本使用条件, 确定与其相对应的使用性能参数值。现以柔性管选材为例, 确定该塑件所要求的使用性能参数值过程, 如表 3.4-2 所示。

表 3.4-2 确定塑件使用性能参数

塑件使用条件	对塑件的使用性能要求	说明所要求使用性能的标准参数值
无外部机械载荷作用, 可能受短时间 (约 3min) 的高温	要求短时间对软化及热变形稳定	$T_V = 150^\circ\text{C}$
受短时间 (1~3s) 拉伸载荷作用	在短时间拉伸载荷作用下的流动稳定性; 要求低的弹性模量, 在短时间拉伸载荷作用下保持弹性	$\sigma_{tp} = 35\text{MPa}$ $E_t = 500\text{MPa}$
受短时间 (1~3s) 的弯曲载荷作用	在短时间弯曲载荷作用下的强度。 在短时间弯曲载荷作用下的弹性——要求低的弹性模量	$\sigma_f = 28\text{MPa}$ $E_f = 400\text{MPa}$
受短时间冲击载荷作用	对短时间冲击作用的稳定性。试样有切口, 放置在两个支撑上测试	$a_n$ ——不破坏

(2) 根据塑件所要求的使用性能参数值, 将其作为塑件选材的依据。利用选择塑料顺序表 (图 3.4-2), 排除在图中不合要求的使用性能参数部分后, 按图中箭头所示方向制作选材顺序计划表, 或者按塑件所要求的使用性能参数值自行编制选材程序表。然后按选材程序表中所列顺序进行选材。柔性管的选材顺序如表 3.4-3 所示。图中数字为塑料单项使用性能参数分类序号。由表 3.4-3 可知, 最后选取牌号为  $\Pi A_{12-3}$  的尼龙

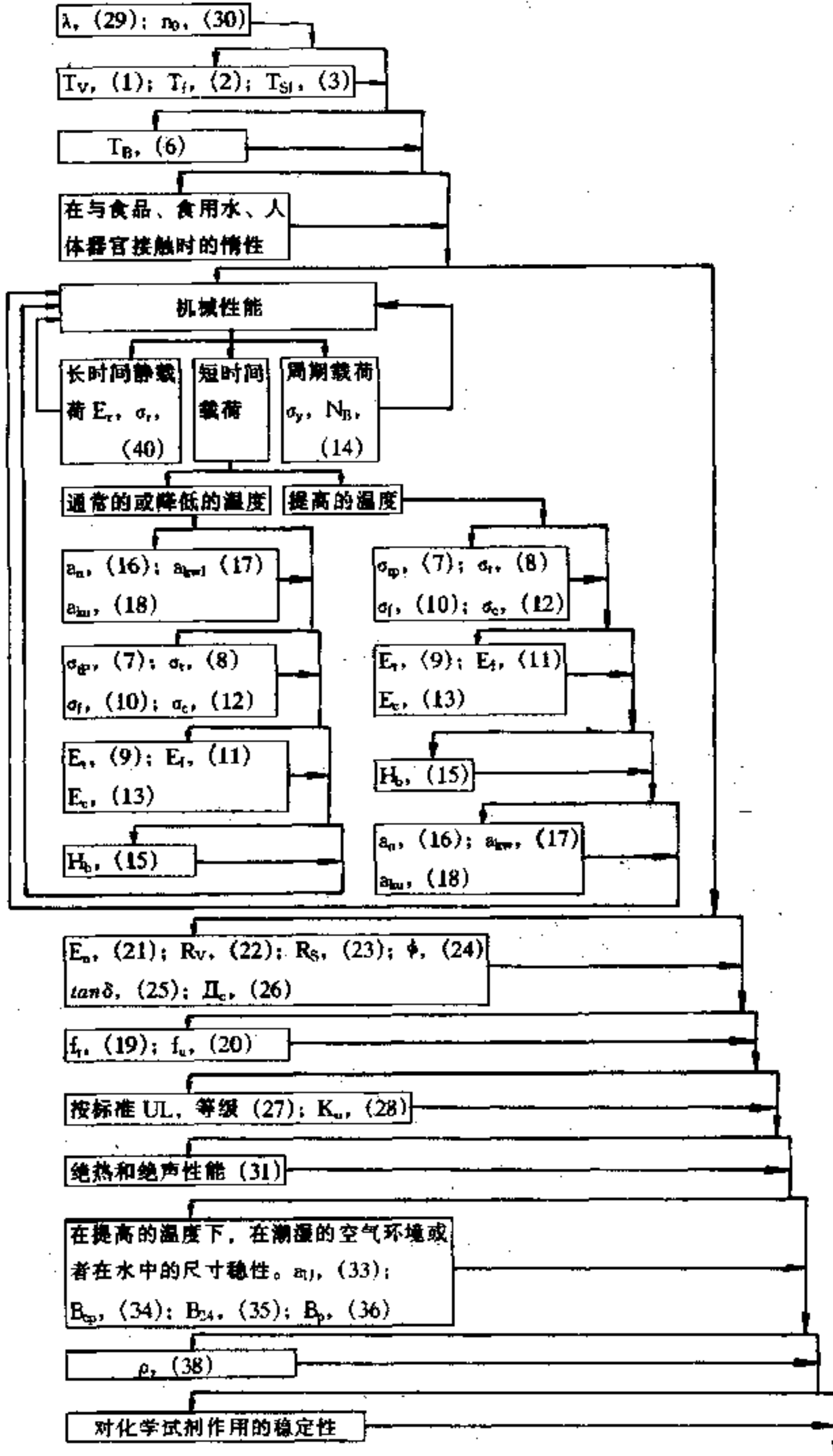


图 3.4-2 选择塑料顺序图

表 3.4-3 柔性管选材顺序

选材阶段		工作结果
1	从使用条件出发,查明基本使用性能参数	$T_V = 150^\circ\text{C}$ ; $\sigma_f = 28\text{MPa}$ ; $E_f = 400\text{MPa}$ ; $a_k$ ——不破坏
2	按给定参数,根据图写出或自拟出选择塑料的顺序表	1) $T_V = 150^\circ\text{C}$ ; 2) $a_k$ ——不破坏; 3) $\sigma_f = 28\text{MPa}$ ; 4) $E_f = 400\text{MPa}$ ; 5) $\sigma_{ip} = 35\text{MPa}$ ; 6) $E_t = 500\text{MPa}$
3	选出 $T_V \geq 150^\circ\text{C}$ 的聚合物	E/P、PP、PC、PPO、POM、PA12、PA11、PSV、PA66 与 PA6 的共聚物、PA610、PA6、PI 等
4	从按 2 选择的聚合物中,选择在 $20^\circ\text{C}$ 时具有 $a_k$ ——不破坏的聚合物	因非改性的聚合物中没有所需塑料,故选择提高弹性的塑料牌号
5	选择提高弹性模量的塑料牌号, $T_V \geq 150^\circ\text{C}$	PA12— $\Theta_2$ ; PA12— $\Theta_1$ ; PA11— $\Theta$ ; SPVC— $\Theta$ ; PC— $\text{YM}_M$ 、TC、XC; PA6— $\Theta$ ; PA6— $\text{Y}_{M2}$ ; PA6— $\text{Y}_{M1}$ ; PA6— $\Theta$ ; PA6— $\text{Y}\Pi_{M20}$
6	保留按 5 选择的塑料牌号中在 $20^\circ\text{C}$ 时 $a_k$ ——不破坏的材料	
7	从根据 6 选择的塑料牌号中,选择在 $20^\circ\text{C}$ 下, $\sigma_f = 28\text{MPa}$ 的牌号	PA6— $\Theta$ 、PA12— $\Theta_2$
8	从按 7 选择的塑料牌号中,保留在 $20^\circ\text{C}$ 时 $E_f \leq 400\text{MPa}$ 的牌号	PA12— $\Theta_2$
	<p>根据其余给定参数,校验牌号 PA12—<math>\Theta_2</math> 是否适用</p> <p>①按 <math>\sigma_{ip}</math> 校验 在 <math>20^\circ\text{C}</math> 时, PA12—<math>\Theta_2</math> 具有 <math>\sigma_{ip} = 30 \sim 32\text{MPa}</math>。</p> <p>②按 <math>E_t</math> 校验 在 <math>20^\circ\text{C}</math> 时, PA12—<math>\Theta_2</math> 具有 <math>E_t = 400 \sim 500\text{MPa}</math></p>	从使用条件出发,允许降低给定的 $\sigma_{ip}$ 值到 $30 \sim 32\text{MPa}$ ,故最终选定尼龙牌号 PA12— $\Theta_2$

作为柔性管的材料。

## 二、按成型因素选材

根据塑料某些加工性能参数,可大致估计出用何种成型方法,能成型所设计的塑件。

(1) 根据塑料的粘度、熔体流动指数,选择塑件加工成型方法。塑料类别与加工成型方法之间的关系,如表 3.4-4 所示。按此表可选出适于预定成型方法的塑料牌号。

表 3.4-4 塑料类别与成型方法的关系

塑料类别号	1	2	3	4	5	6	7
粘度等级	最低粘度	很低粘度	低粘度	中等粘度	高粘度	很高粘度	最高粘度
适用成型加工方法	纤维成型		挤出成型、注射成型及浇铸成型				压制成型及其专用塑料牌号
			喷涂与包覆成型			压延、吸塑及热成型	

(2) 按壁厚  $S$  与流程  $L$  的关系,判断用何种塑料成型塑件为好。表 3.4-5 是按壁

厚与流程的关系式，将塑料分为三类。利用表中公式，可为一定壁厚的塑件选择成型塑料。

表 3.4-5 壁厚与流程的关系式

塑料品种	S-L 计算公式	成型方法
流动性好 (如聚乙烯、尼龙等)	$S = (\frac{L}{100} + 0.5) \times 0.6$	注塑、挤塑、吹塑、浇注、模压、真空成型
流动性中等 (如有机玻璃、聚甲醛等)	$S = (\frac{L}{100} + 0.8) \times 0.7$	注塑、吹塑、挤塑、真空成型、模压
流动性差 (如聚碳酸酯、聚砜)	$S = (\frac{L}{100} + 1.2) \times 0.9$	注塑、挤塑、吹塑、真空成型、冷压、冷拉、冷冲压、冷辊压等

### 三、数据库选材

PPDB 塑料物性数据库，是国家“八五”科技攻关成果。它包含了国内常用品种和牌号的塑料 100 余种，各项性能完整、准确。主要有物理性能、热性能、力学性能、电气性能、化学性能以及流变性能、加工参数和收缩率。

本软件有 7 大功能：数据输入、数据查询、数据修改、数据删除、材料选择、图表打印和系统维护。如需选择塑料品种，可按简称和牌号两种方式进行搜索、定位。同时当按简称方式操作时，还会显示出塑料名称的英、汉对照表，使查询准确无误。材料选择功能，可按性能或用途，从所有塑料中，筛选出所需塑料品种。通过图表打印功能，可按一定格式打印出所需数据。因而，用塑料物性数据库选材，最为简便和可靠的，是当今最常用的一种选材方法。

### 3.4.3 结构设计

塑件的基本结构由工艺结构、功能结构及造型结构三部分组成。其中功能结构设计是核心，工艺结构和造型结构设计是在满足功能结构设计基础上进行的设计。在设计塑件时应当把这三种结构的设计有机地结合起来，以达到较好的设计效果。

#### 一、功能结构设计

塑件设计的核心问题，是要保证其使用功能要求。在充分分析塑件使用功能的基础上确定塑件的整体结构、各组成部分几何形状、尺寸、材质和外观要求及强度等。塑件的结构，应在满足其功能要求的前提下，力求简单、明快、可靠。因为简单的塑件结构容易满足其功能要求，达到经济、实用、安全的目的。

在设计塑件时，应当了解它是单独使用，还是与其它零件组合起来使用，在使用过程中它的主要功能和辅助功能是什么。如果它是与其它零件组合起来使用，那么它的哪些部分、结构形状、尺寸受其它零件制约、不可变动；哪些部分可通过直观判断、试验后加以修改。

塑件各部分的强度可以通过选材、合理地分配材料、必要的强度和刚度计算、模拟或实用试验等办法予以确认。根据使用要求不同，在设计某些塑件时还要计算容积、重量、伸长，决定某些几何参数，有的塑件要采用金属嵌件，如齿轮、轴承一类塑件。

为了提高刚度，例如对于玻璃纤维增强的塑件，应尽量不设计成平面而设计成曲面，恰当地利用筋、皱折、凸起部、夹层结构和有方向性的玻璃纤维基材。

为了保证更好地发挥塑件的功能作用，例如在设计仪表壳体、仪表板件等时，应考虑到在其上要安装与运转操作、情报传达、安全警报、娱乐快适性等有关的各种零件，因此在设计板面零件布局时要考虑操作者的视认性、操作性和安全性等。

## 二、工艺结构设计

在塑件功能结构设计的基础上，为实现其加工制造的可能性和简捷性，必须进行工艺结构设计。因此，在设计塑件时，要选择合适的材料，以保证在使用过程中的可靠性及加工过程中的可行性，用以确定成型方法及成型工艺对塑件提出的工艺结构要求。

塑件工艺结构设计的主要内容如下：塑件内外侧壁应有恰当的脱模斜度，内外表面接合处，即隅角处，加强筋端部和根部等以及所有能允许设计圆角的地方均应设计成圆角。塑件壁厚要均匀，加强筋、凸台、支承面、边缘、底部形状的设计要保证其强度，利于其成型与脱模。金属嵌件要满足塑件使用功能要求，与塑料连接牢固性要求，成型时便于在模具中装固，成型后容易从模中脱出。塑件表面花纹、图案、文字、符号等的设计要考虑其成型与脱模、使用中的损伤、模具加工等问题。此外处于塑件外形轮廓最大部分的分型线痕迹，不能影响其工作特性及表观质量。

因此，在进行塑件工艺结构设计时，要充分了解其在使用中的机能，又要熟悉材料的性能特点，成型工艺过程及特点。只有正确的工艺结构设计，才能保证塑件顺利地成型、脱模，确保塑件质量，避免塑件在成型中出现裂纹、凹陷、气孔、银纹、疏松、污斑等一系列成型缺陷，增强塑件在使用中的可靠性及持久性。

除以上所述外，还应对塑件的焊接、铆接、电镀、涂装、印刷、压花、机械加工等后续工序加以考虑，并在塑件结构设计上采取相应的措施，借以保证这些加工的顺利进行，并确保加工质量。

## 三、造型结构设计

工业制品的造型设计，是一门技术与艺术相结合的多元交叉科学。

塑料制品种类繁多、有像光盘、磁带、薄膜、人造革、电影胶片、编织带、地毯、地板等一类平面状制品；有像餐具、玩具、家用电器、照明器具、计时工具、音频和视频设备、机电零部件、仪器、仪表等立体状制品，还有塑料花、仿大理石、仿玉石制品，仿生制品等艺术品。对于这些制品，都要通过外部造型设计加以装饰美化。因为人们通常都是在满足功能要求、价格相近的前提下，总是喜欢购置外形美观的制品。

塑件造型设计系指按照美的法则，如对比与调合、概括与简单、对称与平衡，安定与轻巧、尺寸与比例、主从、比拟、联想等对塑件外观形状、图案、色彩及其相互的结合进行设计，通过视觉给人以美的感觉。

对于单独使用的塑件或壳体制品，一定要认真地进行造型设计，以满足其使用机能要求，是现代制品设计的根本目的，满足人的心理需要是制品使用功能设计的根本依据。“实用、经济、美观”是制品造型设计的基本原则。在造型设计中还要体现环境、时代的要求，正确地使用水平线、垂直线、弧线等所形成的几何构型、比例尺度、起伏、棱角、肌理、色彩等，使人们在使用该塑件时有一种美的享受，同时又能保证使用者在使用它时感到方便、安全、可靠、舒适。

### 3.4.4 尺寸设计

在设计塑件时,可根据其使用要求与其在整个产品中和其它零件间的组合关系、环境条件以及操作者的生理特点与尺寸来确定其尺寸。塑件某些尺寸因受其它因素制约不可变更,而另外一些尺寸可以根据实际情况作些变动,从整体结构上加以确定。例如根据简化的或1:1的塑件模型,对其各部分结构要素进行分析,通过对应力与材料强度的对比,进行必要的计算、确定出塑件各部分的尺寸,也可以利用三维测量机,借用塑件模型对塑件各部分尺寸予以确定。

进行有关强度、刚度等计算时,要依据塑件的结构情况,利用与其相适应的力学模型公式,还要确定安全系数和许用应力,以及有关材料的性能数据。对于承受静载荷,需要进行长期工作,要求尺寸稳定,其应变值不大于0.5%的塑件,可视为在小于蠕变极限条件下工作。对此,可用蠕变极限来确定其许用应力 $[\sigma]$ ,即

$$[\sigma] = \frac{\sigma}{k} \quad (3.4-1)$$

式中  $\sigma$ ——应力值,此处取蠕变极限;

$k$ ——安全系数,一般 $k \approx 1.5 \sim 2.0$ 。

对于式(3.4-1)中的 $\sigma$ 值,大多数非增强塑料取产生0.4%应变时的应力,增强塑料取产生0.7%应变时的应力。

承受动载荷的塑件,如塑件在循环交变载荷或频繁振动冲击作用下工作,则塑件的结构强度,由疲劳强度极限确定。

当需要考虑蠕变时,可根据塑件的设计寿命、材料蠕变破坏强度及蠕变模量,计入安全系数,求出工作应力与工作系数,然后再对其进行强度校核与刚度校核。受均布载荷的玻纤增强塑件壁厚 $t$ 的计算式,列于表3.4-6中。

根据塑件使用条件、材料老化环境,以及材料性能上及成型上的误差,确定使用安

表 3.4-6 受均布载荷塑件壁厚计算公式

塑件类型及特征		塑件壁厚 ( $t$ )	
		计算依据	计算公式
平板	板四周固定	允许应力 $[\sigma]$	$t = \sqrt{\frac{a_1 q b^2}{[\sigma]}} = b \left( \frac{a_1 q}{[\sigma]} \right)^{\frac{1}{2}}$
		允许挠度 $[\delta]$	$t = \sqrt[3]{\frac{\beta_1 q b^4}{[\sigma] E}} = b \left( \frac{\beta_1 q b}{[\sigma] E} \right)^{\frac{1}{3}}$
	板四周简支	允许应力 $[\sigma]$	$t = \sqrt{\frac{a_2 q b^2}{[\sigma]}} = b \left( \frac{a_2 q}{[\sigma]} \right)^{\frac{1}{2}}$
		允许挠度 $[\delta]$	$t = \sqrt[3]{\frac{\beta_2 q b^4}{[\delta] E}} = b \left( \frac{\beta_2 q b}{[\delta] E} \right)^{\frac{1}{3}}$
圆板	板四周固定	允许应力 $[\sigma]$	$t = \sqrt{\frac{3 q D^2}{16 [\sigma]}} = \frac{D}{4} \left( \frac{3 q}{[\sigma]} \right)^{\frac{1}{2}}$
		允许挠度 $[\delta]$	$t = \sqrt[3]{\frac{3 (1-\mu^2) q D^4}{256 E [\delta]}} = \frac{D}{8} \left( \frac{6 (1-\mu^2) q D}{E [\delta]} \right)^{\frac{1}{3}}$
	板四周简支	允许应力 $[\sigma]$	$t = \sqrt{\frac{3 (3+\mu) q D^2}{32 [\sigma]}} = \frac{D}{8} \left( \frac{6 (3+\mu) q}{[\sigma]} \right)^{\frac{1}{2}}$
		允许挠度 $[\delta]$	$t = \sqrt[3]{\frac{3 (5+\mu) (1-\mu) q D^4}{256 E [\delta]}} = \frac{D}{8} \left[ \frac{6 (5+\mu) (1-\mu) q D}{E [\delta]} \right]^{\frac{1}{3}}$

(续)

塑件类型及特征		塑件壁厚 (t)	
		计算依据	计算公式
圆筒	所受压力为流体自重	允许应力 $[\sigma]$	$t = \frac{\rho HD}{2 [\sigma]} = \frac{\rho HD}{2 [\sigma]}$
	承受内装流体压力	允许应力 $[\sigma]$	$t = \frac{qD}{2 [\sigma]}$
	承受外部气体压力	允许应力 $[\sigma]$	$t = \sqrt{\frac{qD}{2 [\sigma]}}$
		允许弯曲应力 $[\sigma]_b$	$[\sigma]_b = \frac{2tE}{D} \left\{ \frac{\pi^4}{(n^2-1)} \left( \frac{1}{2L} \right)^4 + (n^2-1) \frac{1}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{2t}{D} \right) \right\}$ $n=2, 3, \dots$
圆锥	圆锥部分 $Y < h$		$t = \rho \tan \alpha \cos \alpha$
	圆锥部分 $h < Y < 2h$		$t = \rho \tan \alpha Y^2 / [\sigma] \cos \alpha$
	圆锥部分 $Y > 2h$		$t = \frac{\rho \tan \alpha \cdot h (Y-h)}{[\sigma] \cos \alpha}$
	圆筒部分		$t = \sigma D (Y-h) / 2 [\sigma]$
	圆筒部分 $Y > 2h$		$t = \frac{\rho D (Y-h)}{2 [\sigma]}$
球	内压载荷	允许应力 $[\sigma]$	$t = \frac{qD}{[\sigma]}$
		允许应力 $[\sigma]$	$t = \frac{qD}{4 [\sigma]}$
		允许弯曲强度 $[\sigma]_b$	$t = \frac{D}{2} \left[ \frac{\sqrt{3} [\sigma]_b (1-\mu)}{2E} \right]^{1/2}$ 或 $PC = \frac{8Et^2}{D^2 \sqrt{3} (1-\mu)^2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{8Et^2}{D^2 (1-\mu)}$

注：表中各公式中符号的含义如下：  
 $D$ —直径 (mm)； $q$ —压力 (MPa)； $E$ —弹性模量 (MPa)； $[\sigma]_b$ —允许抗弯强度 (MPa)； $H$ —圆筒高度 (mm)； $[\delta]$ —允许挠度 (mm)； $\alpha$ —形成圆锥的角 ( $^\circ$ )； $a$ —长边 (mm)； $Y$ —液体高度 (mm)； $\mu$ —泊松比 (一般为 0.3)； $b$ —短边 (mm)； $\rho$ —流体密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )； $h$ —圆锥高度 (mm)； $[\sigma]$ —许用应力 (MPa)； $L$ —圆筒长度 (mm)； $n$ —圆筒外径与内径之比值。  
 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  是根据  $a/b$  决定的几何形状系数，其值列入表 3.4-7 中。

全系数。用于飞机上的塑件，其安全系数不应小于 1.5，玻纤增强塑件的安全系数，见表 3.4-8。塑件的结构、用途不同，需要进行计算的内容和公式不同，请参考有关文献。

表 3.4-7  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$  的值

$a/b$	1	1.25	1.5	1.75	2.0	$\infty$
$a_1$	0.308	0.399	0.454	0.490	0.497	0.500
$\beta_1$	0.0138	0.0199	0.0240	0.0264	0.0277	0.0284
$a_2$	0.287	0.396	0.487	0.557	0.610	0.750
$\beta_2$	0.0443	0.0657	0.0843	0.0991	0.1106	0.1422



表 3.4-8 玻纤增强塑件的安全系数

材 料		静载荷	动载荷		振动或冲击载荷
			反复	交变	
玻纤增 强塑件	短期	2	6	6	10
	长期	2	6	6	10

### 3.4.5 性能预测

塑件性能受其加工条件影响较大。例如模塑件强度受工艺因素（如模塑压力、熔料流向、熔融温度、保压时间、冷却条件、模压应力等）、塑件均匀性（密度、壁厚等）影响很大。同一几何结构塑件采用不同的模塑成型方法，可导致其性能指标的重大变化。

对初步设计的塑件图进行审核、修改。审核的重点是根据特定的性能平衡、成型加工限度、装配方法等而选择的材料。塑件强度，主要取决于必要的壁厚、压配合公差、加强筋形状、数量、尺寸及位置以及塑件材料的物理机械性能。其后对初步设计图进行修改，依据修改后的塑件图，研究、设计、制造原型试验样品。样品试验是塑件设计程序的重要组成部分。必须有计划地、认真地、仔细地进行试验，获取有用的性能数据和试验成果。试验时要对最终塑件的使用条件，作全面细致地分析。试验样品的性能，必须与最终塑件的性能相类似，特别是在临界应力附近，或在塑件性能最差的地方更是如此。

确定有效、可靠的试验方法及试验内容。试验内容有模拟试验、包装、运输、塑件储存条件、预定寿命试验等。以满足最终性能要求，来决定实施模拟整个使用、贮藏和运输条件的样品试验项目及方法。在实验室内可以进行一系列试验。在许多情况下，试验设备可用于将来生产过程中的塑件质量指标的控制。通过试验来证明生产的塑件性能是否合格。用于样品性能测试的设备类型，可能有应力补偿相关仪、涂层脆性试验仪、热循环老化试验箱、红外线光束源热辐射效用装置、负荷及卸荷循环试验仪（如作冲击、弯曲、扭曲等试验的装置）、高低温和高低湿及紫外线光加速老化装置等。

根据塑件使用要求，也可以设计、制造一些简单可靠的试验设备。当然须依据有关塑件通用标准，按标准要求的试验设备、样品、试验方法进行测试更好，更能说明问题，取得公认。

## 3.5 联接件设计'

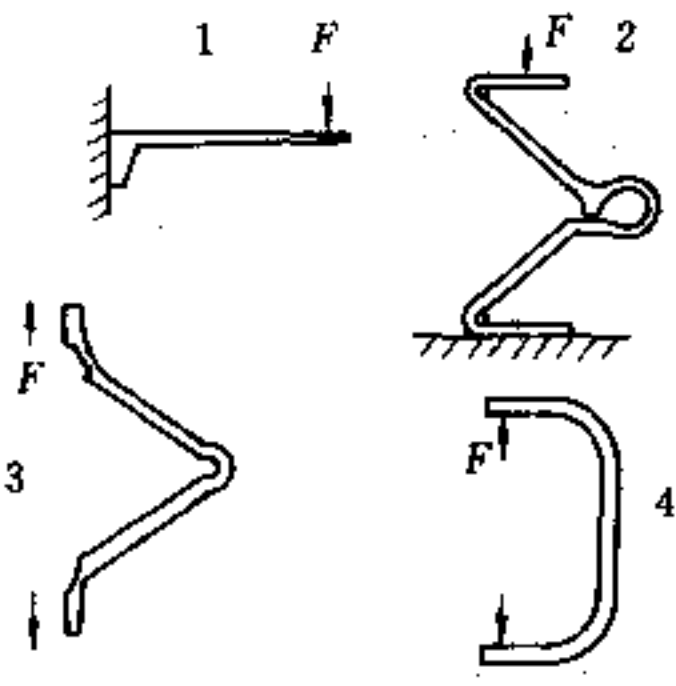
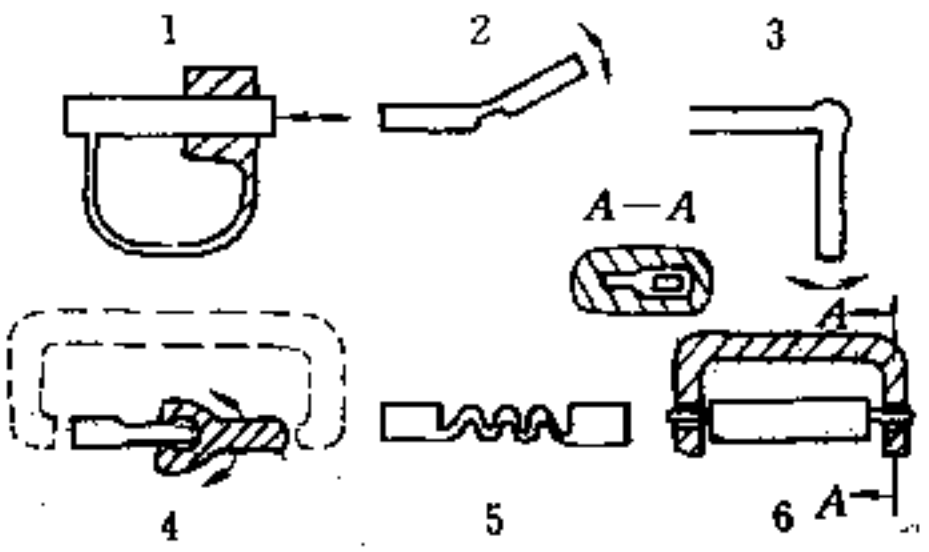
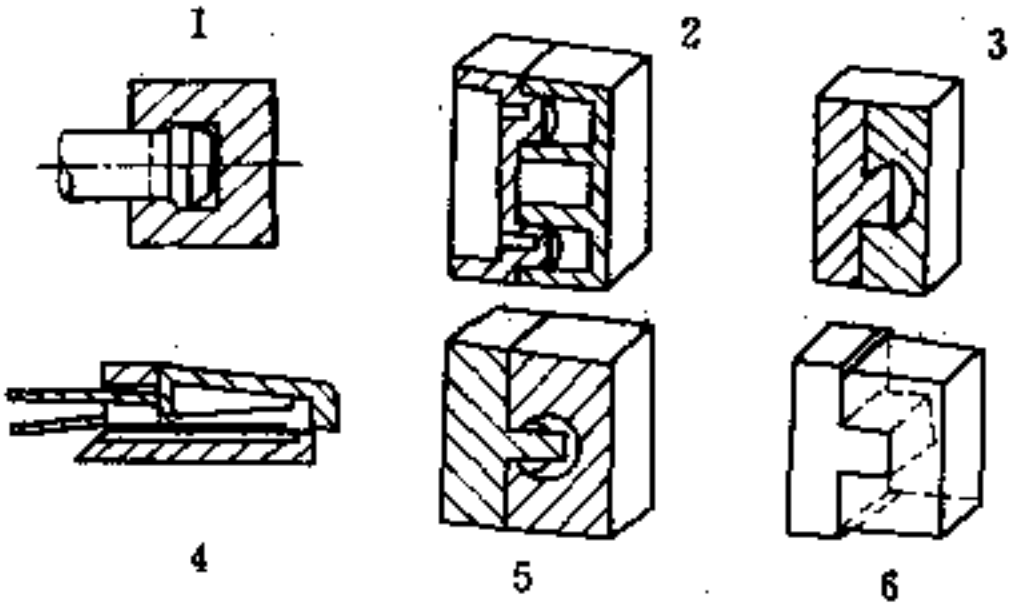
### 3.5.1 联接的意义及特性

塑件的联接可分为可拆连接与不可拆连接。可拆连接如螺纹、铰链、夹扣、搭扣等，不可拆连接有焊接、铆接、胶接等。通过连接把几个形状简单的塑件组装成一个较复杂的制品，以满足具有特殊功能的使用要求。

利用塑料的特性，如良好的弹性、柔软的可塑性以及优良的抗疲劳特性等，可制作

一些轻巧、实用、新颖的联接结构形式，如表 3.5-1 所示的结构形式，已获得广泛应用。利用摩擦、紧缩或填塞等办法，把单元构件装固于塑件上的深孔、支承及槽缝中，以构成较为复杂的塑件。这种复杂的塑件具有原组合件的使用功能，如图 3.5-1 所示，其中 (a) 图表示蜗轮由分解件组装而成，组装时用 1 所示的部分卡紧，用 2 所示部分导向定位，此种组装件，避免了模具结构上的侧抽芯机构；(b) 图为一般的晒衣夹，由夹片 1, 2 及钢制弹簧 3 组装而成；(c) 图是利用塑料弹簧 3 及夹紧连杆 (1, 2, 1.3 及 1.2) 集合成为一件的塑料晒衣夹，可以一次注射成型。

表 3.5-1 单元塑件联接结构形式

弹簧构件		<p>1—板片弹簧； 2—压弹簧； 3—拉弹簧； 4—拉弹簧</p>
连杆构件		<p>1—具有滑动配合及弹性连杆的构件； 2—片形连杆； 3—肘形连杆； 4—球形压力配合连杆； 5—组合连杆； 6—装配连杆</p>
联接组合结构形式		<p>均为一般联接、定位结构形式</p>

通常两个塑件的组合紧固与松脱，是依靠应力、摩擦及变形来实现的，如表 3.5-2 所示，列举了常用的六种组合紧固方式。数个塑件组装之后，既可成为永久性联接，也可再拆装。表中除第四项是依靠松弛实现紧固外，其余各项是依靠应力紧固的。

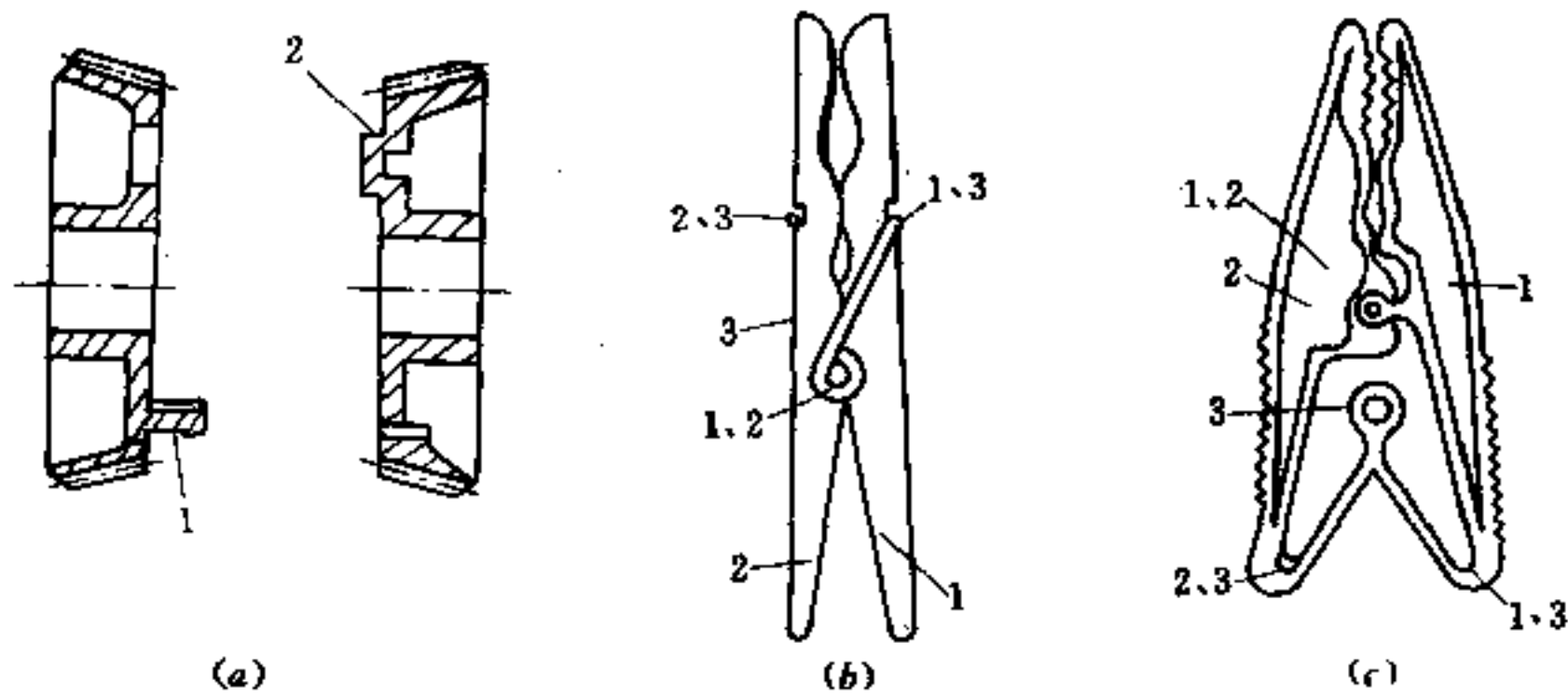


图 3.5-1 联接件

表 3.5-2 塑件的组装紧固

项次	标 称	开 脱 紧 固	闭 锁 紧 固
1	紧缩紧固	力	力
2	摩擦紧固	摩擦	摩擦
3	滑动紧固	形	摩擦
4	刺力紧固	形	力
5	紧压滑动紧固	力	力 (另一方向的摩擦)
6	摩擦滑动紧固	摩擦	摩擦 (另一方向的摩擦)

### 3.5.2 卡夹联接

卡夹联接, 是利用塑料的弹性变形进行快装、速拆的一种联接方式。它可以是暂时性的联接, 也可以是永久性的联接。利用卡夹联接使塑件组装之后, 若没有外力作用, 就不会松脱。

卡夹联接如图 3.5-2 所示, 是由肘形连杆与变异的板片弹簧构件集合而成。A 处起铰链作用, B 处凸起部的形状与尺寸是卡夹联接的关键所在。在搭扣力  $F_i$  作用下, 板片弹簧产生弯曲弹性变形, 越过凸起部而实现卡夹紧固。与此相反, 在脱扣力  $F_0$  的作用下, 使板片弹簧脱离凸起部。

搭扣力  $F_i$  与脱扣力  $F_0$  可分别用以下公式计算。

$$F_i = F_s \tan(\alpha + \varphi) = kh \tan(\alpha + \varphi) \quad (3.5-1)$$

$$F_0 = F_s \tan(\beta + \varphi) = kh \tan(\beta + \varphi) \quad (3.5-2)$$

式中  $F_s$ ——弯曲弹性力;

$\varphi$ ——摩擦角,  $\varphi = \arctan^{-1} f$ ;

$f$ ——摩擦系数;

$k$ ——卡夹弹性比;

$h$ ——凸起部高度。

现将几种简单弹性构件及其参数列于表 3.5-3 中。表中  $E$  为塑料的弯曲弹性模量,  $\sigma$  为凸起部  $h$  导致的弯曲应力,  $\epsilon$  为凸起部  $h$  引起的应变,  $c$  是计算系数,  $[\sigma]$  为材料的许用应力。

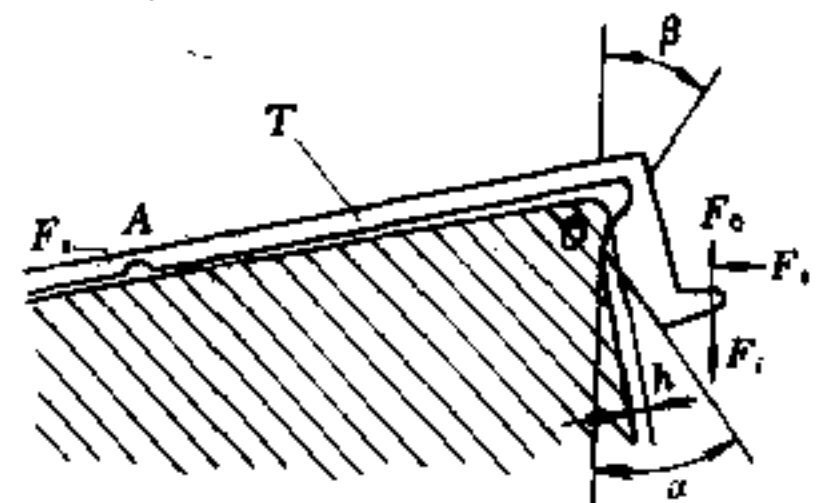


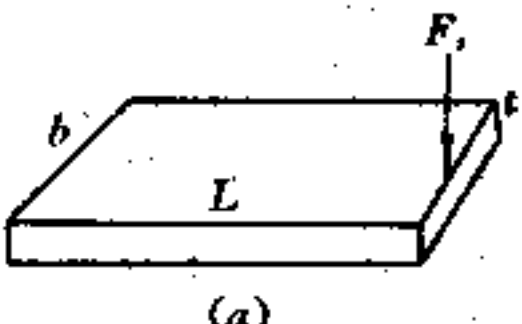
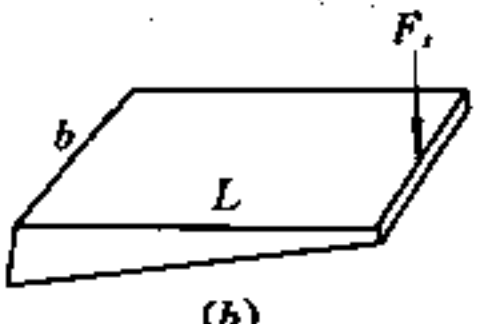
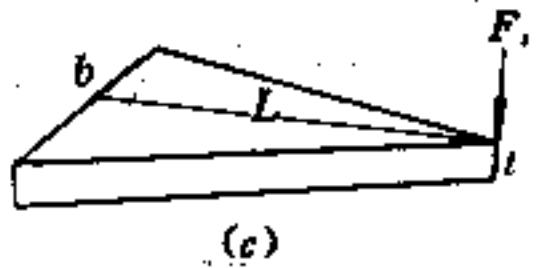
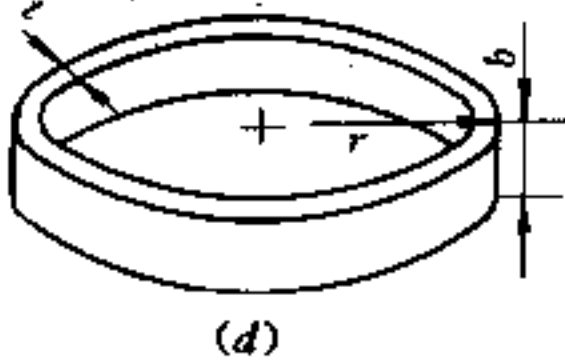
图 3.5-2 卡夹联接

T—弹性构件;  $\alpha$ —装配导角;

$\beta$ —拆卸回程角。

薄壁圆筒弹簧卡夹联接如图 3.5-3 所示, 其中 (a) 图为圆筒外缘上有一个加厚的凸起圆环, 而作为与搭扣相联接的盖上有内凸缘, 经搭扣联接后, 圆筒形状保持不变; (b) 图为圆筒上缘有均布的三个凸耳, 当它与盖搭扣组装时, 迫使盖变形成为近似三角形的形状而越过凸耳 (如 (c) 图所示)。

表 3.5-3 简单弹簧构件及其参数

类型	简图	K	$\sigma$	$\epsilon$	$h$
均匀板片弹簧		$\frac{Eb}{4} \left(\frac{t}{l}\right)^3$	$\frac{3Eht}{2l^2}$	$\frac{3ht}{2l^2}$	$\frac{2[\sigma]l^2}{3Et}$
非均匀板片弹簧		$\frac{Eb}{6c} \left(\frac{t_0}{l}\right)^3$	$\frac{Eht_0}{cl^2}$	$\frac{ht_0}{cl^2}$	$\frac{c[\sigma]l^2}{Et_0}$
斜板片弹簧		$\frac{Eb}{6} \left(\frac{t}{l}\right)^3$	$\frac{Eht}{l^2}$	$\frac{ht}{l^2}$	$\frac{[\sigma]l^2}{Et}$
薄壁圆筒弹簧		$2\pi Eb \left(\frac{t}{r}\right)$	$\frac{h}{r} E$	$\frac{h}{r}$	$\frac{[\sigma]r}{E}$

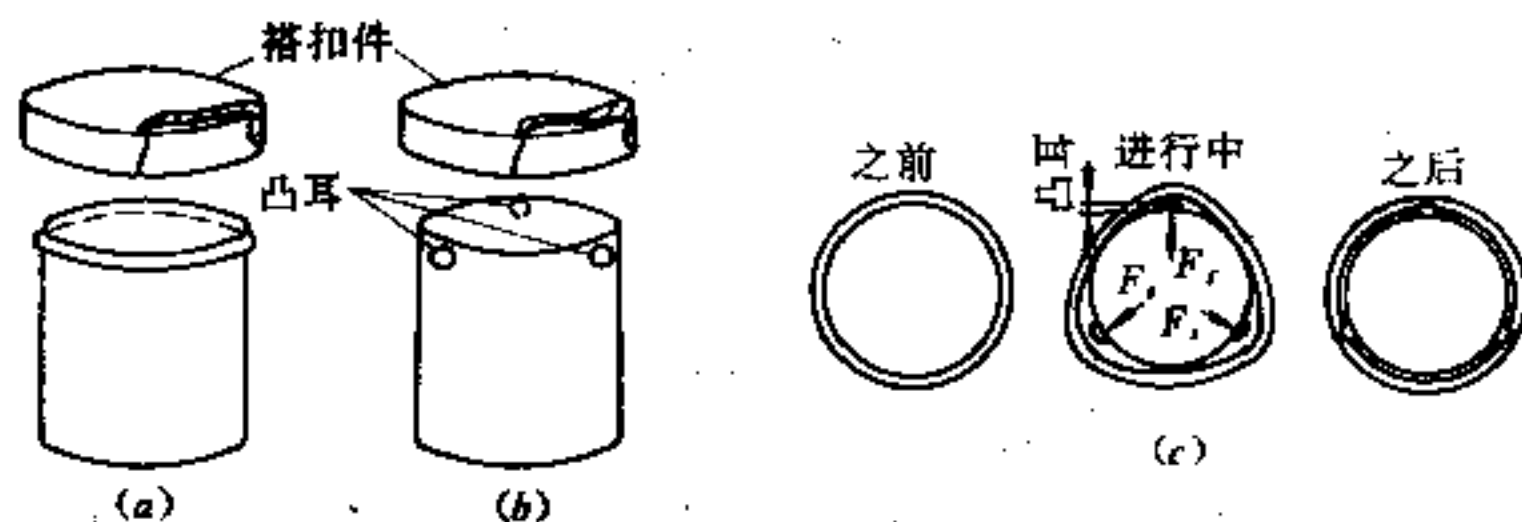


图 3.5-3 圆筒卡夹

类似此种搭扣装配形式的, 有按钮、拉链、带扣、圆扣、插头扣、带有保险锁柱与锥形棘齿的系条等。

### 3.5.3 铰链联接

塑料铰链也叫合页, 是片形连杆与肘形连杆在塑件联接上的运用。它是通过塑料本身的特性, 把几个塑件连接在一起集合而成。例如用箱形盖与盒本体的一边, 呈薄膜或

几段薄片把两件连接在一起，构成一个完整的塑件。

铰链绕着一个固定轴转动，能阻止非转动方向的位移，能承受弯折转动。聚丙烯及其共聚物是理想的铰链材料，由它制造的铰链可以弯折百万次以上。用聚乙烯、乙烯-醋酸乙烯共聚物、离子交联聚合物等软质塑料也可制造塑料铰链。塑料铰链，视其材料与要求的不同，可用注射成型、吹塑成型，也可用热压延、冲压或挤出成型等方法制造。

塑料铰链的尺寸如图 3.5-4 所示，铰链中央最薄处最小厚度为 0.25~0.4mm，宽度为 0.5mm，并要求该处厚度均匀一致，不许有厚度差。铰链的弯折区域宽度为 1.5mm。用注射成型时，应使熔料垂直于铰链轴，并以极高的速度流过铰链，以使聚合物分子沿该方向有较大的取向排列。塑件脱模后，立即将铰链弯折数次，使聚合物分子进一步拉伸取向，以提高铰链的使用强度。除此之外，还有球扣铰链、销式铰链、耳销式铰链等。

塑件的组装还可以采用类似于轴与轴套那样的压力装配联接，成型简单，也能多次拆装。

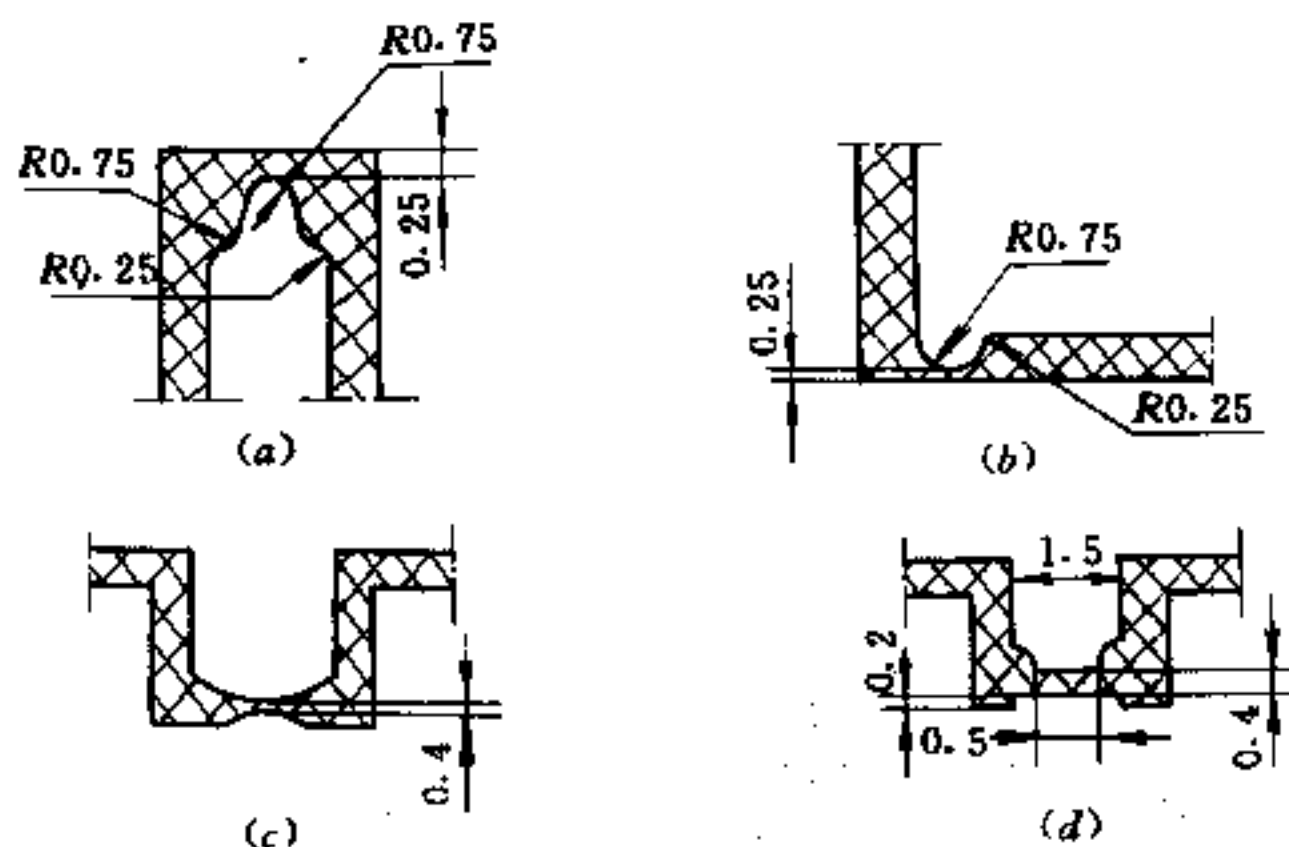


图 3.5-4 塑料铰链尺寸

## 3.6 增强塑件设计

### 3.6.1 增强塑料的性能

玻璃纤维增强塑料俗称玻璃钢。它是玻璃纤维织物（布、带、毡等）作为填充增强材料，达到增强热固性塑料基体的一种复合材料。

玻璃钢轻质高强，密度为  $1.5 \sim 2.0 \text{g/cm}^3$ ，是普通碳钢的  $1/4 \sim 1/5$ ，比铝轻  $1/3$  左右，机械强度大于或相当于普通碳钢的机械强度。它能耐海水，一般浓度的酸、碱、盐，多种油类及有机溶剂，具有优良的电绝缘性，在高频电流作用下仍能保持良好的介电性能，微波透过性良好。它的导热系数低，在室温为  $0.35 \sim 0.46 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，是优良的绝热、隔音减震材料。

用玻纤增强的热塑性塑料，其机械强度提高约  $2 \sim 3$  倍，热变形温度可提高  $1$  倍以上，抗蠕变性能提高  $2 \sim 5$  倍，线膨胀系数降低  $1 \sim 3$  倍，抗疲劳性能提高  $2 \sim 3$  倍，电性能改善，其制品尺寸稳定性提高。

玻璃钢的弹性模量低，刚性不足，变形较大，与金属相比较，长期耐热性差。由于各种机械应力的作用和化学物质的侵蚀，它的性能会逐渐降低。玻璃钢没有屈服点，在外力作用下会出现分层现象。当超负荷时容易突然断裂。玻璃钢的某些原料有毒，污染环境，影响人们健康，设计塑件时要加以注意。玻璃钢制件的性能，取决于其树脂含量与性能、玻璃纤维性能、含量与分布，以及它们之间的界面特性。设计玻璃钢制件是一个比较复杂，综合性很强的技术问题，务必从选材、结构形式及成型工艺等方面全面考虑，尽力避免其缺点，充分发挥其优点。

玻璃钢的主要成型方法，有手糊工艺、层压成型，缠绕与连续成型，铸压成型及注射成型等。用挤出成型、拉挤成型可以制造玻璃钢管、棒及各种断面形状的异型材。还可用车、铣、冲等传统的机械加工方法，对玻璃钢型材施行加工，把它作成各种用途的制件。

### 3.6.2 SMC 与 BMC 制件设计

预混模塑料有 SMC、BMC 等多种，其状态主要有块状和片状两种。

片状模塑料简称 SMC。它是一种用已加入增稠剂、填料、引发剂等组分的树脂混合物糊状浸渍短切纤维或毡片，两面覆盖聚乙烯薄膜的薄片状模塑料。片料厚度为 0.8~6.5mm，视制件要求而定。

BMC 模塑料，是用切短的玻璃纤维、树脂（如不饱和聚酯、苯乙烯树脂）、矿物填料、稠化剂、着色剂等组成的块状预混料。可以成型尺寸、形状复杂的制件。SMC、BMC 预混料，主要是用于中大型压缩成型与注射成型制件。它们已广泛用于汽车和电子电气工业、办公机械、建筑及室内设施、公共设施、游乐设施等方面。而且制件的生产操作简便，无粉尘飞扬，模压时温度、压力不高，可变化范围大，适于大型厚壁制件的自动化机械生产。

采用玻璃席之类填料的预混料，不宜成型带有侧孔、侧凹、嵌件、凸台及加强筋的制件。

### 3.6.3 层压塑料制件

塑料层压制件系指把浸涂有热固性树脂的片状基材叠合起来，在加压、加热的情况下制成板、管、棒及其它形状简单的制件。

用于层压制件的热固性树脂有聚酯、环氧、酚醛、三聚氰胺、有机硅等。酚醛树脂价廉、有良好的电气及物理性能；三聚氰胺树脂成本较高；但耐火焰性好，电性能极佳。聚酯树脂价格适中，综合性能好；环氧树脂耐化学药物性强，抗湿性好；有机硅树脂在高温下仍能保持其机械及电性能。

用于层压制件的基材有纸、棉纤维织物、木材薄片、玻璃纤维织物、石棉毡、石棉纸等。

视制件使用要求，确定树脂种类、基材品种、数量与叠合方式以及层压制件的类别及规格。可对层压塑料型材施行机械加工，使其成为所要求的制件。切削加工玻纤基材的层压塑料时，使用钻石或碳化钨工具，会得到较为满意的使用效果。

### 一、加工螺纹

图 3.6-1 (a) 为车削内螺纹，若螺纹轴线垂直于层压塑料型材叠层，则所得螺牙强度好、耐用；若在层压塑料棒材或管材上车制外螺纹，则螺纹轴线与基材叠层平行，螺牙强度较差，装配连接时就有可能发生螺牙层剥落现象，如图 3.6-1 (b) 所示在层压塑料板材上，用螺纹丝锥加工内螺纹时，须先钻底孔，并将底孔绞光，这样制作的螺纹较光滑实用。若为内螺纹盲孔，底部应留有两个螺距长的光孔，如图 3.6-1 (c) 所示。

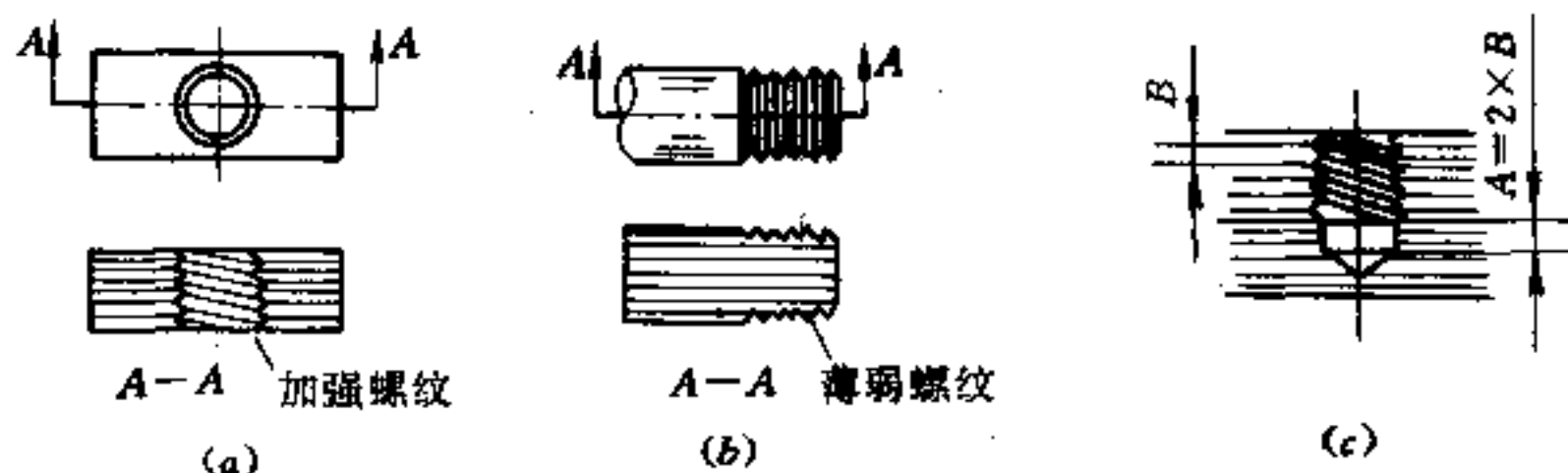


图 3.6-1 车制螺纹

为获得高强度螺纹，可用拉挤成型把多股连续玻璃纤维束、聚酯或环氧树脂制成的棒材，然后在棒材外卷绕多层浸胶螺旋式玻璃席至规定直径，再加热固化。然后用切削法车制螺纹即可，如图 3.6-2 所示。

与模塑螺纹相比，机械加工的螺牙强度较低。

### 二、铣削加工

层压塑料型材的铣削加工，要防止出现脱层现象。铣制板形件上的两个长孔时，孔间壁厚  $W$  应大于孔的深度  $D$ ，如图 3.6-3 (a) 所示，铣刀应有约  $10^\circ$  的负前角。需铣削图 3.6-3 (b) 所示的长槽孔时，槽端应为圆形，以使用圆柱铣刀加工。用冲切或机械加工层压塑料制件时，其隅角处应为圆角，以防止脱层和裂缝，如图 3.6-3 (c) 所示。

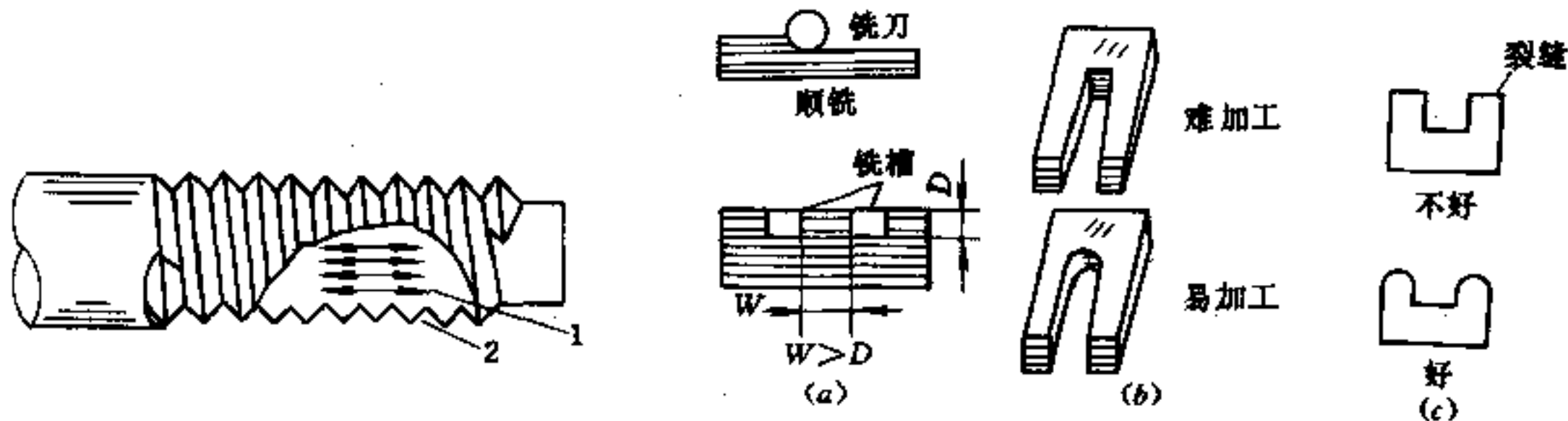


图 3.6-2 高强度螺纹

- 1—连续玻璃纤维束；  
2—卷绕玻璃纤维布。

图 3.6-3 铣削层压塑料件

### 三、冲压加工

通常，把在常温下进行冲裁加工，要求塑料板厚度为  $0.8 \sim 3\text{mm}$  的这种加工，叫冷冲压。把塑料层压板材预热至  $38 \sim 138^\circ\text{C}$  后进行冲压加工，被加工的层压板厚度可达  $2 \sim 3\text{mm}$ ，这叫热冲压。



由于塑料层压板材有弹性回复性能，所以冷冲压出的孔尺寸，总是小于冲头的尺寸；冲切制件的外形尺寸总是大于冲切模刃口尺寸。

热冲压加工，因塑料层压板材同时存在有热胀冷缩和弹性回复，故冲孔尺寸小于冲头尺寸；冲切板形制件的外形尺寸小于冲模刃口尺寸。

设计板状塑料层压制件时，如图 3.6-4 所示，应使圆形冲孔的直径或方形孔角的对角线大于板厚（见图 3.6-4 (a)）；冲孔的孔间距和孔边距也应大于板厚（见图 3.6-4 (b)）；方形孔或矩形孔的角顶间距应大于 1.1 倍的板厚，以防止冲孔时角顶处开裂（见图 3.6-4 (c)）。若要求制件上的圆形孔的孔间距和孔边距小于板厚时，不可冲孔，宜钻孔。

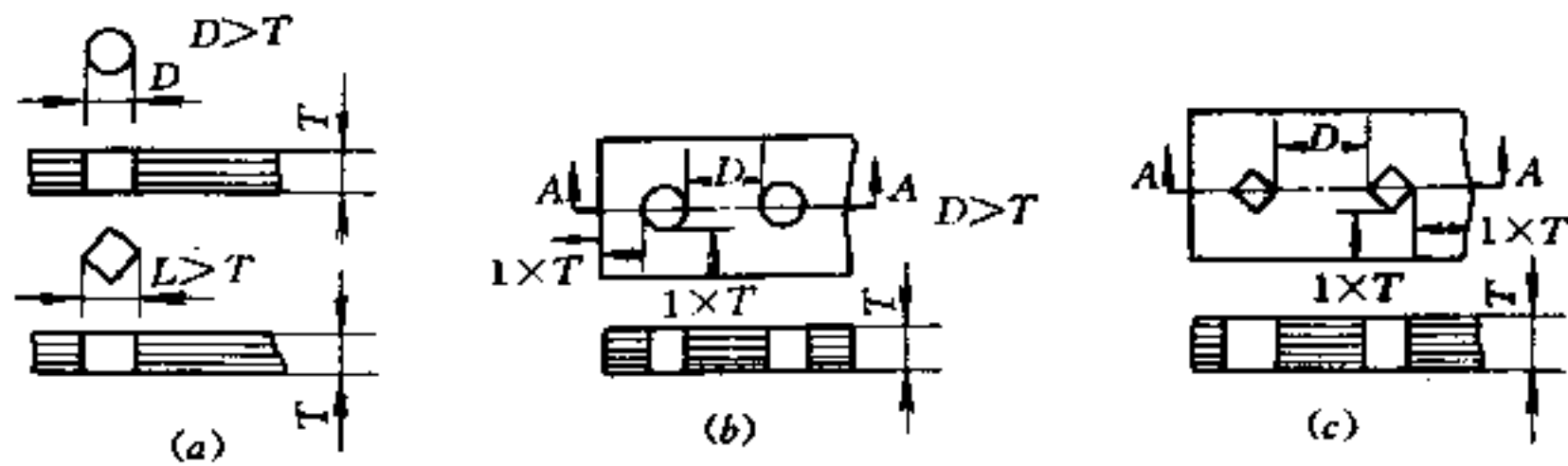


图 3.6-4 层压塑件的冲孔

冲孔超过最大允许厚度，不仅冲头磨损大，使用寿命短，而且制件上的孔形状不正，如图 3.6-5 (a) 所示。在板状制件上冲盲孔时，冲头部分贯穿板材，冲切下的孔芯部突出板面，磨削去突起部分即得盲孔（见图 3.6-5 (b)）。实际上孔的非贯穿部分已与本体断开，易吸水，会导致电弧击穿。因此，要尽力避免冲压加工盲孔。必要时采用特种工具，用机械加工，甚至手工加工（见图 3.6-5 (c)）。

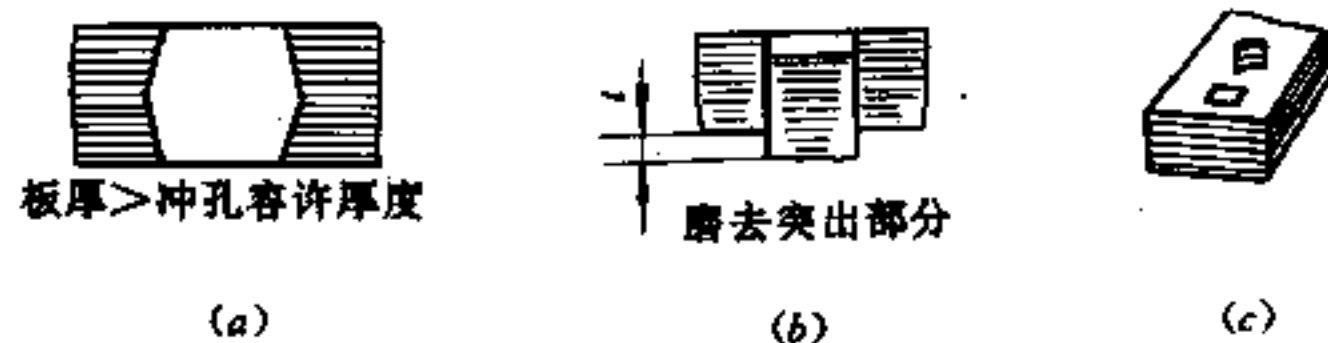


图 3.6-5 层压塑件

$t$ —突出部分厚度。

## 3.7 泡沫塑件设计

### 3.7.1 泡沫塑料的特性及应用

泡沫塑料有软与硬、开孔与闭孔、高密度与低密度之分。在此，主要介绍硬质结构型泡沫塑料。

#### 一、力学性能

##### 1. 弯曲强度

测试结果表明，硬质泡沫塑料的弯曲强度与模量随密度增大而增大，随泡孔尺寸增大而减小。

结构泡沫塑料具有完整密实的皮层，而芯部却是微泡结构。在力矩作用下，结构泡沫塑料试样会发生应变，其挠度值表明试样弯曲刚度的大小。结构泡沫塑料承受弯曲的能力优于同种密实塑料。弯曲刚度  $D$ ，定义为：材料的弯曲弹性模量  $E_b$  乘以试样断面的惯性矩  $J_x$ ，即

$$D = E_b J_x \quad (3.7-1)$$

## 2. 拉伸强度

拉伸强度是衡量材料承受拉力的能力，表示材料刚性大小的量度。硬质泡沫塑料的拉伸性能大致随着其密度的增大而增大。一般可用下式表示其拉伸性能、压缩性能与密度的关系

$$E_f = k \rho_f^n \quad (3.7-2)$$

式中  $E_f$ ——模量或破坏强度；

$k$ ——与泡沫塑料基体聚合物有关的系数；

$\rho_f$ ——泡沫塑料密度；

$n$ ——与载荷性质有关，拉伸载荷的  $n$  值小于压缩载荷的  $n$  值。通常， $1.0 \leq n \leq 2.0$ 。

## 3. 冲击韧性

结构泡沫塑料的冲击韧性低于同种密实型塑料的冲击韧性。承受冲击载荷时因其刚性较大、变形极小，常出现脆性失效。温度愈低，冲击韧性值愈低，大多数泡沫塑料在  $-28 \sim 40^\circ\text{C}$  冲击韧性值明显降低。

硬质结构泡沫塑料的冲击韧性，可表示如下：

$$\frac{\sigma_i}{\sigma} = 1 + \sqrt{1 + \frac{h}{d}} \text{ 和 } d = \frac{h\sigma^2}{\sigma_i(\sigma_i - 2\sigma)} \quad (3.7-3)$$

式中  $\sigma_i$ ——下落物体产生的动态应力；

$\sigma$ ——物体的静态应力；

$h$ ——物体下落高度；

$d$ ——物体引起的静态变形量。

$\sigma_i$  值愈大，静态变形量愈小，刚性愈大，抗冲击韧性就愈低。随着泡沫塑料的密度增大，其剪切强度、模量也都随之提高。

## 二、热性能

泡沫塑料导热系数低、绝热性能优异，根据付立叶定律，泡沫塑料的导热系数  $\lambda$  可用下式表示。

$$\frac{dQ}{dT} = -\lambda \frac{dT}{dx} dF \quad (3.7-4)$$

该式表明热量穿过面积  $dF$  的传递速率  $\frac{dQ}{dT}$  与温度梯度  $dT/dx$  呈正比例关系。 $\lambda$  为总导热系数，负号表示热量由高温传向低温。

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_g + \lambda_c + \lambda_r \quad (3.7-5)$$

式中  $\lambda_s$ 、 $\lambda_g$ ——固体聚合物、泡孔内气体传导对总导热系数的分量；

$\lambda_c$ ——泡孔内气体对流对总导热系数的分量；

$\lambda_r$ ——因辐射对总导热系数形成的分量。

泡沫塑料的最高工作温度，系指其制件在无载荷作用时失去尺寸稳定性或产生变形的温度，它主要取决于固相聚合物的性质。泡沫塑料线胀系数与固相聚合物性质、泡孔尺寸的各向异性、密度有关。当密度大于  $20\text{kg/m}^3$  时，线胀系数与密度无关，接近相应的非泡沫塑料线胀系数。当密度小于  $12\text{kg/m}^3$  时，随着密度减小，线胀系数增大，拉长了的泡孔更为明显。

### 三、尺寸稳定性、吸水性及透湿性

当闭孔泡沫塑料泡孔内外存在压差时，会引起泡沫塑件尺寸变化，周围环境温度也会导致塑件尺寸变化。泡沫塑料的某些性能参数见表 3.7-1。

泡沫塑料具有更小的介电常数和介质损耗角正切值，更适用于导线、电缆和其它用途中的绝缘材料。泡沫塑料稳定状态的透湿率，是环境温度和湿度的函数。温度、湿度增大，透湿率也随之增大。开孔泡沫塑料比闭孔泡沫塑料的透湿率大得多，亲水基体树脂比憎水基体树脂透湿率大。

表 3.7-1 泡沫塑料的某些性能参数

泡沫塑料名称		导热系数/( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{k}^{-1}$ )	最高工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	线胀系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}\times 10^{-5}$	吸水率/%
聚乙烯	非交链	0.037~0.041	70~82	4.14~17.1	
	交链	0.036~0.058	80~93	<23.4	<0.50
	高密度	0.132 (结构泡沫)			
聚氯乙烯	硬质			7.2~10.8	0
	软质	0.035~0.041	55~107		
聚苯乙烯		0.024~0.040	75~80	5.4~7.2	1~6
ABS		0.081~0.30	80~82	6.66~17.10	0.4~0.6
环氧		0.016~0.055	177 (硬质) 177~260(组合)		1.8 (组合)
酚醛		0.029~0.041	135~150	0.9 18 (浇注、组合)	1~5 0.5 (组合)
脲醛		0.026~0.030	50		1.9
聚丙烯	非交链	0.038	120		0.02
	交链		135		
AS		0.046	77~88		0
聚苯醚		0.124	93	6.84	
聚氨酯	硬	0.016~0.074	92~120	7.2~14.4	0.2~2.0
		0.016~0.043	68~80		1.5
聚碳酸酯		0.151	132	4.50	
丙烯酸类树脂		0.31	105~110	5.22~5.76	
有机硅		0.052~0.086	232~343		
离子聚合物		0.038~0.049	66~68		0.4~1.0
醋酸纤维素		0.04	177	4.5	1.2~2.5
聚苯并咪唑		0.31	315 (板材与组合)		
呋喃		0.015~0.022	135		

#### 四、化学性能与生物性能

泡沫塑料的耐化学性与基体树脂的耐化学性、泡孔结构、数量大小、着色剂等有关。泡孔使泡沫塑料的表面积大大增加，对溶剂作用更为敏感。泡孔中含氧，对紫外线及其它短波射线也敏感。着色剂可能促进或抑制发泡剂的分解，影响泡孔结构、分布及数量。

泡沫塑料的生物性能，系指耐昆虫性、耐腐烂性、耐细菌和霉菌性，以及对人体的毒害性。大量试验证明：聚氨酯、聚苯乙烯、脲醛泡沫塑料等都具有良好的耐菌性和耐昆虫性，具有良好的耐腐烂性，不会成为昆虫的食物，也不会成为菌类的载体。

#### 五、耐燃性、防振性及隔音和吸音性

内聚能是聚合物分子间次价力大小的量度，数量上等于 1mol 聚合物气化时所需的能量。内聚能小，聚合物熔点低、易挥发、易燃。分子内的极性基团可使内聚能增加，利于阻燃。聚合物分子内化学键解离所需能量大，其分子不易分解、不易燃。含 C=C 键和 C=O 键的聚合物比含 C—C 键及 C—O 键的聚合物稳定，含 C—Br、C—Cl 键聚合物的键能很低、易分解，分解后放出能抑制燃烧的卤素原子，故可燃性较小。聚合物燃烧时所放出的热能，若超过引燃聚合物所需的热能，会使燃烧蔓延；若小于引燃所需热能，燃烧就会自熄。在聚合物中加入阻燃剂，可使某些阻燃性较差的聚合物成为阻燃材料。

聚合物燃烧时产生的大量浓烟及有毒气体，会危害人身安全，制件设计者要特别注意。

用于包装的泡沫塑件，能依靠本身的弹性变形而大量吸收坠落时所产生的冲击能量，使包装件迅速减速到零速度，从而起到保护作用。泡沫塑料的缓冲能力可用载荷系数来量度。载荷系数  $G$  是冲击时物件减速度  $a$  与重力加速度  $g$  之比， $G$  值愈小，缓冲效果愈好。

$$G = \frac{a}{g} = \frac{\sqrt{2gh}}{gt} \quad (3.7-6)$$

式中  $h$ ——物体跌落高度；

$t$ ——物体着地时间。

泡沫塑料的隔音性能，随开孔系数的增大而降低，随泡沫密度的增大而增加。开孔系数是表示塑料内开孔所占的比例或泡孔连通的程度。泡沫塑料的吸音性能与泡孔类型有关，开孔结构比闭孔结构吸音表面大，吸音效果好。泡沫塑料的厚度增大，吸音效果变好。酚醛塑料开孔系数很大，吸音性能最好。

#### 六、漂浮性能

用作漂浮材料的泡沫塑料应具有闭孔结构，具有良好的耐水性，同时还要耐化学腐蚀性好。聚乙烯、聚氨酯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、AS、ABS 等都是优良的泡沫漂浮材料。

漂浮系数  $B$  定义为水与泡沫塑料密度  $\rho_f$  之差。

$$B = 1 - \rho_f \quad (3.7-7)$$

实质上漂浮材料的漂浮系数等于材料所受水的浮力减材料自重。选择漂浮材料体积时可用以下公式。

$$V_t = \frac{W h_t}{B h_i} \quad (3.7-8)$$

式中  $W$ ——漂浮材料能支承的载荷（漂浮材料自重与有效载荷）；

$V_t$ ——所需漂浮材料总体积；

$h_t, h_i$ ——漂浮结构总高度和浸水深度。

泡沫塑料，可广泛用于产品包装、导线与电缆绝缘、隔音与吸音的壁板材料，漂浮材料（如作漂浮装置、救生装置、打捞装置）、密封材料、医疗材料、交通运输用品（坐垫、脚踏板、手柄、飞机翼肋、机舱隔板）、家具及生活用品、航空航天产品等等。

### 3.7.2 泡沫塑件设计

泡沫塑件种类繁多，以下仅就常用制件设计简叙于后，供参考。

#### 一、梁设计

设有一两端简支的结构泡沫塑料梁，其两支点间长度为  $L$ ，在梁中央受力  $P$  作用，则该梁所产生的挠度  $y$  可用近似公式表示为：

$$Y = \frac{PL^3}{4h^3BE_s} \quad (3.7-9)$$

式中  $B$ ——梁的断面宽度；

$E_s$ ——表层（密实）塑料弹性模量；

$h$ ——梁的断面厚度。

#### 二、缓冲垫层设计

由式 (3.7-6) 知，载荷系数  $G$  与产品本身质量大小无关，而与跌落高度  $h$  和着地时间  $t$  有关，也与包装垫层的质量、厚度有关。

可发性聚苯乙烯泡沫塑料（密度  $30\text{kg/m}^3$ ）缓冲垫的特性曲线，如图 3.7-1 所示。每条曲线都是在不同的跌落高度/垫层厚度 ( $h/d$ ) 下由实验获得的。

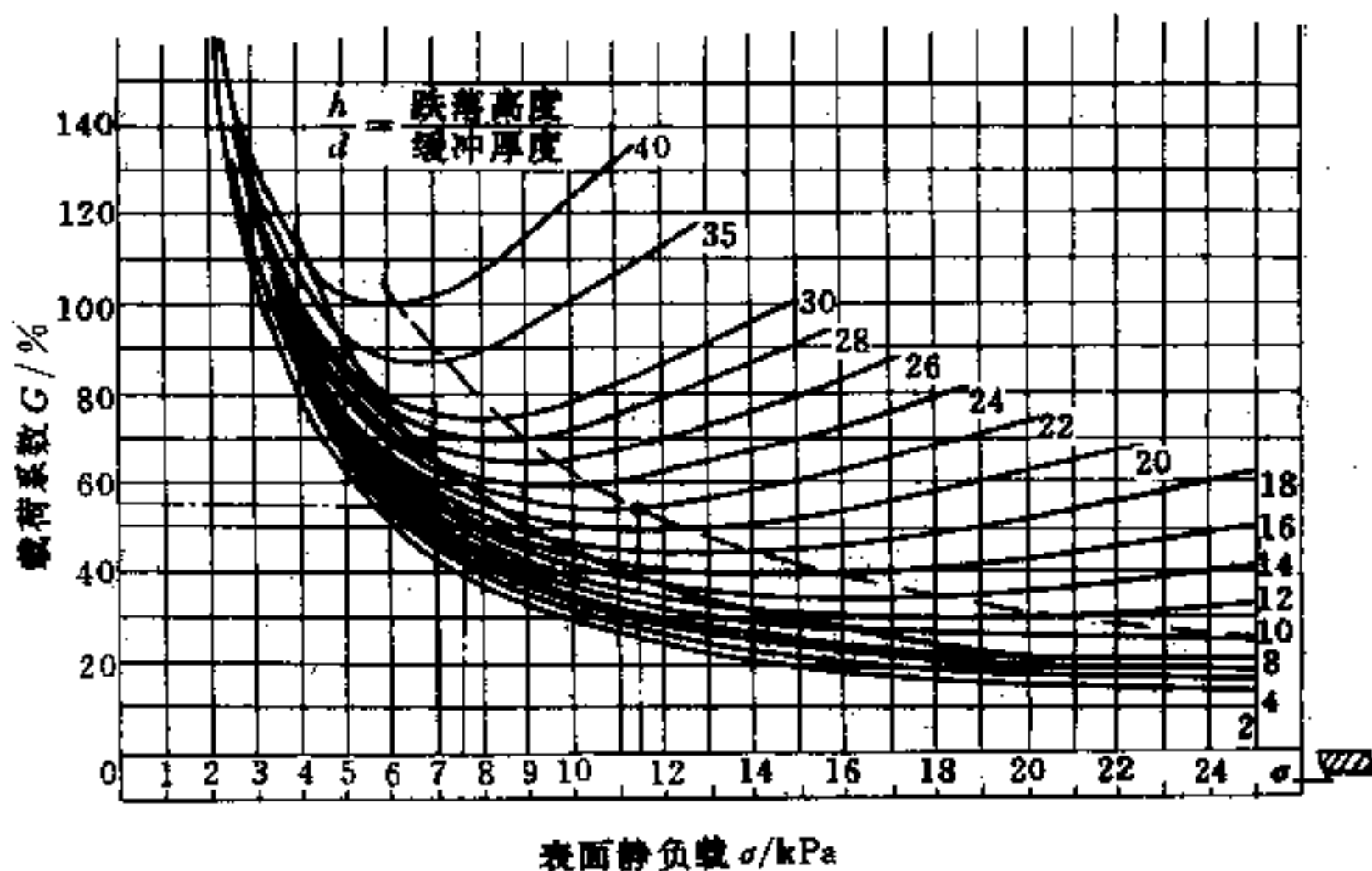


图 3.7-1 缓冲特性曲线

如表 3.7-2 所示, 由于各种不同产品的承受冲击能力和易损程度不同, 因此, 每种产品都有允许的最大载荷系数  $G_{\max}$  值。只有当  $G$  值小于  $G_{\max}$  值时, 才可保证产品跌落时不被损坏。

在设计包装产品时, 可按以下顺序确定泡沫塑料缓冲垫厚度及缓冲面积  $A_c$  大小。

- (1) 确定被包装产品的质量  $m$  及跌落高度  $h$ ;
- (2) 根据表 3.7-2 确定包装产品所要求的  $G_{\max}$  值;

表 3.7-2 不同物品的  $G_{\max}$  值

对冲击的敏感程度	$G_{\max}$	物品举例
极敏感	12~25	精密仪器、仪表
很敏感	25~40	一般仪器、仪表
敏感	40~60	机电设备、办公机械
适度敏感	60~85	电视机、收音机、计算机等家庭用具、如冰箱、洗衣机、吸尘器、器皿
不太敏感	85~115	工业机械
不敏感	>115	

(3) 根据  $G_{\max}$  值从图 3.7-1 上选出一条适当的特性曲线, 使该曲线最低点所对应的  $G < G_{\max}$ ;

(4) 根据所选曲线的对应  $h/d$  值, 确定泡沫塑料垫厚度  $d$ ;

(5) 根据曲线最低点所对应载荷应力  $\sigma$  和产品所受重力求缓冲面积  $A_c$ ,  $A_c = mg/\sigma$ 。

要求求出的缓冲面积  $A_c$ , 应小于产品的实际跌落面积  $A_r$ , 若  $A_c > A_r$ , 可另选一条  $h/d$  值较小的曲线, 直至  $A_c < A_r$  时为止。

### 三、模塑件设计

(1) 模塑件壁厚一般为 10~13mm, 最小壁厚  $\geq 4$ mm, 最大壁厚小于或等于 30mm。因芯部有发泡塑料, 塑件表面不会出现凹陷。

(2) 塑件壁转折处要避免出现锐角、锐边, 一般都设计成圆角, 圆角半径宜大不宜小, 最小圆角半径应大于 3mm。

(3) 加强筋不宜太高, 筋的方向应不影响排气与物料充模。

(4) 脱模斜度一般应大于  $1.5^\circ$ 。

(5) 塑件上的凸台一般与壁连接, 或者通过筋与壁连接。凸台的横截面直径应小于或等于 1.5 倍的平均壁厚, 凸台的高度小于其横截面直径的 2 倍。

(6) 在塑件上应尽力避免出现侧孔、侧凹。

(7) 嵌件一般仅适用于大截面泡沫塑件。

(8) 模塑件表面花纹, 可做成仿皮纹、麻纹和图案纹。若用模具型面直接成型时, 纹理方向应顺着脱模方向。

(9) 模塑件尺寸偏差一般可达  $\pm 0.1\%$ 。

## 3.8 光学塑件设计

### 3.8.1 光学塑料及其应用

某些塑料是透明的或半透明的，同时还具有不雾、不散射等一系列良好的光学性能。适用于制造透明塑件及光学制件，如窗玻璃、建筑玻璃、汽车灯罩、反射镜、警戒灯光控透镜、光引向器双透镜、太阳镜、隐形镜片、医疗用具、标志照明、显示器、光栅、玩具等。

用于上述各种用途的塑料有聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚碳酸酯、透明 ABS 及聚氯乙烯、聚-4-甲基戊茂-1 (TPX)、苯乙烯-丙烯腈共聚物 (SAN、AS)、透明氟塑料、苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯的共聚物 (NAS)、甲基丙烯酸甲酯与苯乙烯和丙烯腈的共聚物、聚苯醚砜-苯乙烯共聚物 (JD)。以及烯丙基二甘醇碳酸酯 (CR-39) 等。表3.8-1 列有部分光学塑料的主要光学性能参数。

表 3.8-1 光学塑料的主要光学参数

材料 光学参数	PMMA	PS	PC	SAN	NAS	CR-39	TPX	JD	Trogmid .T	PACP- 9/6
总透光率/%	92	88	89	88	90	91	90	90	90	92
雾度/%	<2	<3	<3		<3					≤0.5
折射率 $n_D$	1.491	1.590	1.586	1.569	1.562	1.498	1.465	1.607	1.566	
阿贝数 $v_D$	57.2	30.8~ 30.9	29.9~ 34.7	34.7~ 35.7	35	53.6~ 57.8	44.9~ 56.4	27	56.4	

聚异丁烯酸甲酯十分清澈，对可见光吸收小、混浊度低，对光的分散度和方向的改变都很小，可用于制作标志照明、咽喉照明、显示器等。

Trogamid-T 与 PACP-9/6 均系透明尼龙品种。聚甲基丙烯酸甲酯尺寸稳定性较好，耐候性较优良，力学性能比无机光学玻璃大 10 倍以上。冲击强度在  $-56 \sim +100^\circ\text{C}$  范围内变化不大，耐磨性较好；但热胀系数为无机光学玻璃的 8~10 倍，吸湿性偏高，韧性、耐热性也不高，热变形温度小于  $100^\circ\text{C}$ ，只适于制作中、低精度的光学制件。

聚碳酸酯综合性能优良、耐热耐寒性能、耐冲击性能优异，能在  $-135 \sim +120^\circ\text{C}$  范围内保持较高的力学性能，尺寸稳定；但易应力开裂，不宜用机械加工，宜用注射成型。

聚苯乙烯透光率、光学稳定性、耐候性低于聚甲基丙烯酸甲酯及丙烯酸类塑料；但吸湿率低，染色与模塑成型容易，价廉，尺寸稳定性好，可用于制作光学玩具、110 照相机物镜及其它光学制件。

聚-4-甲基戊茂-1 (TPX) 最轻，耐化学性及耐热性优异，适于制作要求具有耐腐蚀、耐热的透镜或透明制件，特别适用于制作红外线光学装置用透镜。苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯共聚物 (NAS) 的透射率优于聚苯乙烯，次于聚甲基丙烯酸甲酯。与聚苯乙烯相比，耐油性、耐水性、耐候性及光学稳定性较高，耐磨性增强、流动性有改善，更适于注射成型，可用于制造计算机显示器。



烯丙基二甘醇碳酸酯塑料，简称 ADC，美国商品名为 CR-39，是热固性透明塑料。透光性高于聚苯乙烯，次于聚甲基丙烯酸甲酯。耐化学性、抗冲击性良好，硬度最高，耐划伤性较优，不褪色、不翘曲、不变形，是优异的镜片材料，也可用于制造计算机显示器，但宜用单体浇注成型。

聚甲基丙烯酸-2-羟乙酯-聚苯乙烯基吡咯烷酮，具有亲水性，吸水后变软，能透过水蒸气，是软性隐形眼镜材料。特别是它吸水后镜片曲率半径不变，更舒适、更有效。

### 3.8.2 塑料的光学性能

#### 一、光反射、折射与色散

当光线从塑件内向空气或真空中折射，其入射角大于某一角度（临界角）时，光线不能折入空气中或真空中，而是全部向内反射，把这种现象称为全反射或内反射。只有当光线从光密媒质进入光疏媒质时，才能产生全反射现象。折射率大于 1 的任何透明塑料都会出现全反射现象，全反射是光管效应的基础。

折射率随波长的不同而改变，称为色散。色散是光学材料的性能之一，它可使某些波长的光以不同的速度透过材料，而速度是波长的函数，每种波长的光有不同的折射率。通常用阿贝数  $\nu_D$ ，即色散率倒数来表示这种色散特性。阿贝数愈小，材料的色散能力愈强。

如果透明塑件两表面不平行，光线通过时，会产生图像失真，即畸变。此外，畸变也与物距和像距有关，畸变程度与物距和像距成正比。因此，在实际应用中，除保证塑件具有平行表面外，应尽力减小物距或像距，以使畸变尽可能小。当光线射入各向异性的光学介质时，就分裂成两条光线，沿不同方向折射，这种现象称为双折射。

#### 二、透光率、扩散透光率及雾度

透光率定义为从光学材料中出来的光和进入材料的光之比。当光线通过材料时，部分光以大于某一角度（规定为  $2.5^\circ$ ）与原入射光偏离透过材料，这部分偏离的透射光与入射光之比称为扩散透光率。

扩散透光率在透光率中所占的比例称为雾度。雾度是由材料的表面缺陷、密度不均匀，或含有微小杂质颗粒，或其它不连续现象所引起的光散射，或材料的不透明现象。透光率大、雾度小的材料属光学性能材料。

#### 三、偏振光与二色性

许多塑料在处于外加应力或内应力的状态下，用偏振光观察，都会呈现出一种应力光学性能的内部花纹。在塑料内部，存在应力的平面内振动的光比在与此平面垂直方向振动的光传播速度要快，这两个振动方向不同光的传播速度之差表现为双折射。利用塑料的上述光学性能，可对各种零件进行应力状态分析。

二色性是一种光学材料的性能，对于某波长的光，当入射光在特定方向上时它的电场矢量可以吸收，而另一方向的电场矢量则不吸收。

### 3.8.3 光学塑件设计

#### 一、塑料透镜

能用作塑料透镜的材料，有 PMMA、SAN、PC、PS 以及 ADC (R-39) 等。塑料

透镜在照相机、TV 投影机、复印机等方面取得了广泛应用。

### 1. 透镜举例

(1) 非球面透镜。采用非球面透镜能增加光学设计的自由度，改善与提高光学性能，减少透镜枚数。利用树脂薄膜改善其光学性能，以控制反射率的复合型非球面透镜，如图 3.8-1 所示。

透镜在照相机快门上的应用，如图 3.8-2 所示，其中 (a) 图中有 3 枚塑料透镜，其中 K 为非球面塑料透镜，还有 1 枚玻璃透镜；(b) 图所示的 4 枚透镜中有 3 枚塑料透镜，1 枚玻璃透镜；(c) 图所示结构为在最后配置 1 枚非球面塑料透镜，凸面向着像侧，前方为 3 枚玻璃透镜。

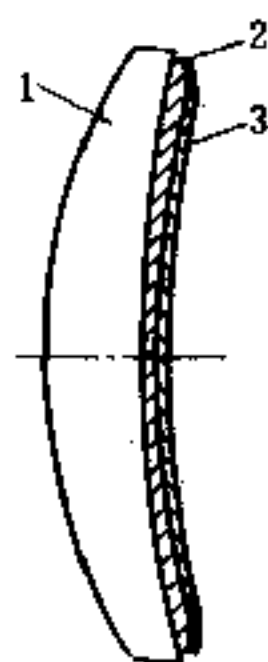
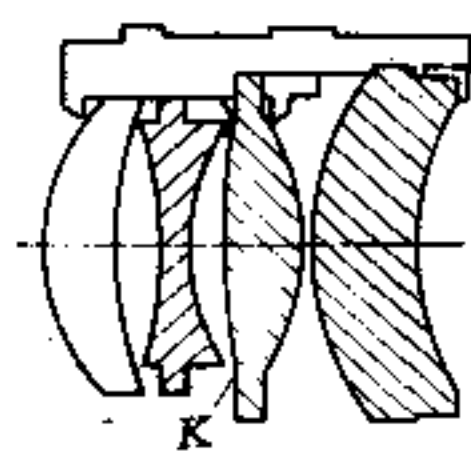
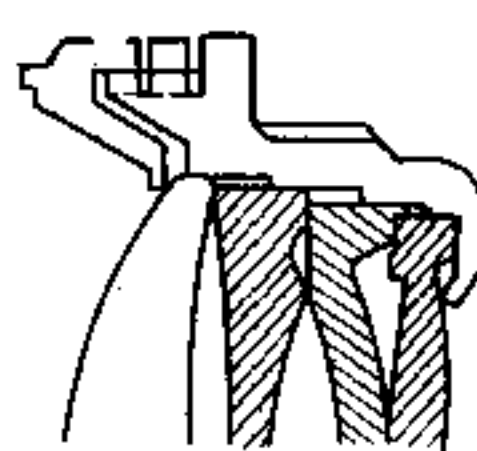


图 3.8-1 复合型  
非球面透镜

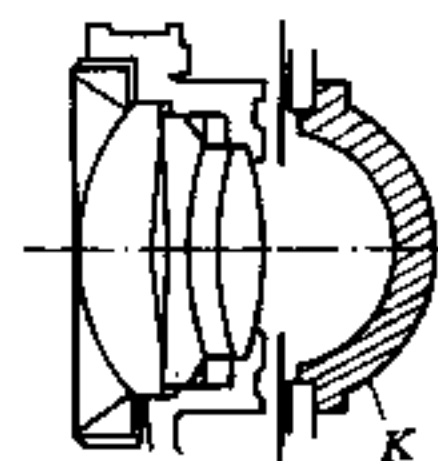
- 1—玻璃球面透镜；
- 2—第一层树脂膜；
- 3—第二层树脂膜。



(a)



(b)



(c)

图 3.8-2 照相机快门上的塑料透镜

- K—非球面透镜；
- ⊙—塑料透镜。

(2) 菲涅耳透镜。菲涅耳透镜，如图 3.8-3 所示，是一种折叠式或阶梯形环带透镜，具有强大的放大作用。它可用作光源聚焦透镜、书写投影聚光透镜、相机取景器场镜、粗略观察的放大镜，也可用于电视机屏幕。

(3) 反射透镜。光栅式反射透镜，如图 3.8-4 所示为棱锥形，也可以是球形截面。此种透镜可用于报警灯、紧急指示灯透镜及汽车车灯的反射透镜等。

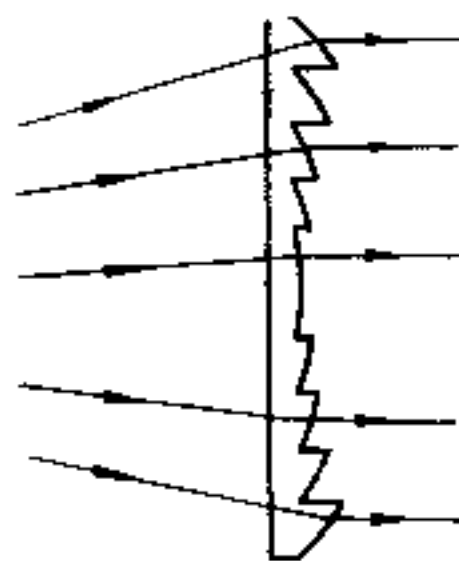


图 3.8-3 菲涅耳透镜

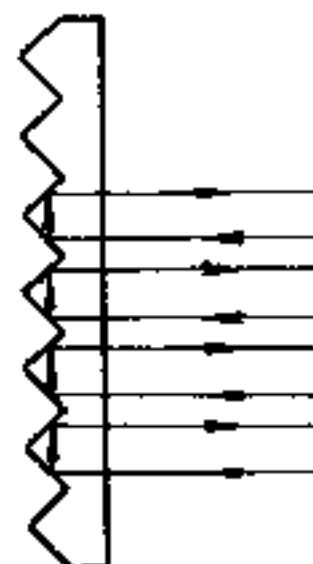


图 3.8-4 反射透镜

### 2. 透镜设计

塑料透镜设计制作的大致过程是：

- (1) 熟悉透镜有关标准，选定透镜材料；

(2) 设计透镜、确定透镜几何形状, 根据光线行程轨迹, 确定透镜的焦点或透镜的虚焦点距离, 确定透镜尺寸 (如有效径、外径、曲率半径、透镜厚度), 甚至注塑成型的浇口位置;

(3) 确定透镜精度 (如周边精度、有效径及外径精度)、厚度差 (中央与边缘);

(4) 透镜成型, 确定成型方法, 设计加工模具, 选定成型设备;

(5) 设计涂层, 确定表面处理及覆盖方法;

(6) 确定模拟、测定及评价方法。

## 二、其它光学塑件

### 1. 光管效应塑件

把光线传送一定距离, 进行远距离照明, 使标志发光; 还可利用光导纤维, 传播图像和信息, 如在医疗诊断中作胃镜、膀胱镜、子宫镜、关节镜等均为光管效应的实例。

光管效应用于标志显示, 如图 3.8-5 所示, 是利用丙烯酸类塑料板材, 把合适的光线由一端引入, 传播到需要显示的部位使标志发光, 需在观察表面的对面, 切割抛光或粗制出光散射的标志表面。

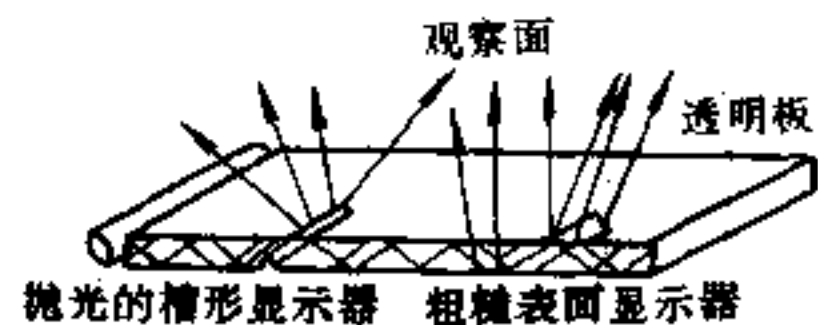


图 3.8-5 标志发光结构

### 2. 光栅效应塑件

利用激光光刻或机械加工法在每 1mm 宽的基材上刻出 50~600 多条线纹形成光栅, 光通过光栅产生绕射, 形成彩虹效应。

塑料光栅可代替棱镜作光分析、显示、包装和广告, 还可制作装饰品, 如制作具有彩虹光泽的假宝石、工艺品、日用品等。

塑料光栅制件制作过程大致为: 用上述加工方法制成塑料光栅模型, 用明胶复制成平面光栅, 或用真空蒸镀法制成平面、凹面光栅。还可用塑料光栅模型电铸成金属光栅模型, 利用注塑、滚压法制成光栅毛坯, 再经真空镀膜、印刷、粘贴制成光栅制件。

## 三、光学塑件精度、涂层及镀层

直径为 150mm 的光学塑件, 一般曲率半径误差为 1%~2%。光学注塑件的球面质量, 与光的干涉或衍射产生的明亮、黑暗带条有关。塑件厚度误差应控在 +0.013mm 以内。影响光学模塑件尺寸精度的因素虽多, 但必须在选材、制定和控制加工工艺条件、模具加工精度等方面下工夫, 特别是要严格控制塑件各部分以相同的冷却速率均匀冷却, 最大限度地减小变形。光学塑件的冷却收缩率大致为 0.002~0.010mm/min·℃<sup>-1</sup>。

由于光学塑件的硬度、耐磨性、耐划伤性等, 远不如光学玻璃好, 为此, 可用光学塑料涂料予以改善和提高。光学塑料的涂料, 有耐磨、耐划伤、抗反射、抗静电等涂料, 也有防雾、防结露涂料。

目前可用真空蒸镀、真空溅射镀膜和化学气相沉积等办法, 在光学塑件表面上形成发挥各种功能的镀层, 如反射层、减反射镀层、窄频带激光镀层、耐磨层等。镀层可使塑料的热变形温度提高约 10%~20%。薄金属镀层能通过可见光, 反射红外线及无线电波, 故可作无线电波反射器和有选择的光线过滤器。

在透明或涂有着色底涂料层的聚酯薄膜上, 粘结上具有高折射率的玻璃微珠, 然后进行真空镀铝、形成反光层, 外加胶粘剂和隔离纸, 就形成折射反光片, 可以从各个角

度多次折射反光。此种折射反光片可作道路标志、消防报警装置标志、影剧院座号、钟表和仪表的指针等。

当镀铝层厚度大于或等于  $5 \times 10^{-8} \text{m}$  (500Å) 时, 光反射率很高, 光线透过率接近零, 并呈现美丽的金属光泽。还可在光学塑件表面制造减反射镀层。若在丙烯酸类制件的反射表面镀一层  $\text{MgF}_2$ , 大约能减少 1.6% 的光反射损失。若采用多层镀层法, 会使光学塑件的反射性能与大多数玻璃制件镀层相同, 把反射损失减少到 0.5% 或更小。

## 3.9 轴承设计

### 3.9.1 轴承材料

用塑料作轴承材料有许多优点。首先, 塑料的摩擦系数随着载荷的增大而降低。载荷增加, 聚四氟乙烯的摩擦系数减小, 当载荷达到一定值时, 摩擦系数趋于恒定。在高速高负荷下, 摩擦系数可低于 0.01。

其次, 通常塑料磨耗量比金属少, 磨耗量与载荷、摩擦距离成正比例关系。常用磨耗系数表示材料的磨耗性能。所谓磨耗系数就是单位载荷、单位滑动距离的体积磨耗量。按磨耗系数由小变大所表示的塑料顺序为: PA、RPVC、PE、PC、PF、POM、PMMA、PP、PS、PTFE。

在塑料中若混入石墨、 $\text{MoS}_2$ 、铅、玻璃纤维等, 就会使其摩擦减小, 最大允许的 PV 值增大, 耐磨耗性改善, 酚醛树脂特别显著。

当没有润滑, 以滑动速度  $0.4 \sim 2.0 \text{m/s}$ , 单位负荷  $0.5 \sim 3.5 \text{MPa}$  摩擦时, 按耐磨稳定性来说, 卡普隆超过夹布塑料 1.6 倍, 超过青铜 11~12 倍。以水润滑时保持其工作性能, 在磨料介质中摩擦时有高的工作性能, 对磨料表面的作用相当小, 能用作矿山机械、建筑机械及农业机械的轴承。

尼龙的摩擦系数虽高; 但耐磨性优异, 能注塑成型, 能代替酚醛层压塑料制造轻载轴承。尼龙轴承自润滑性良好, 能用水、油润滑。按强度、硬度、刚度来说, 聚甲醛超过卡普隆, 自润滑性优良, 摩擦系数高于聚四氟乙烯, 低于尼龙, 适用于不能用油润滑的轴承。钢件与聚甲醛对磨时, 动、静摩擦系数相等, 无滑粘性。

聚四氟乙烯自润滑性好, 耐蚀性优异, 工作温度范围宽, 在不高的速度下具有低的稳定的摩擦系数; 但聚四氟乙烯的机械强度低, 冷流动性相当高, 实际上不能用纯聚四氟乙烯作负荷抗磨零件, 而是加入增强、改性的其它物质成复合材料提供使用。

超高分子量聚乙烯耐磨耗性格外优异, 动摩擦系数大于聚四氟乙烯, 小于 PA66 与聚甲醛。在无润滑情况下, 它与钢或黄铜对磨不会发热粘滞, 机械加工时对热也不敏感。与普通聚乙烯相比, 它的抗冲击、耐蠕变性提高; 但成型加工性差。

在塑料轴承材料中, 聚酰亚胺耐热性最高, 与碳钢对磨时 PV 值最大, 在惰性介质中, 在高载荷和高滑动速度下, 磨耗量极小, 特别适于制作精密机械和仪器、仪表中的轴承。

以织物为填料的酚醛层压塑料, 作为轴承材料, 具有优异的机械强度和良好的耐磨蚀磨耗性。无润滑时 PV 值高, 它具有较高的耐冲击性, 较低的摩擦系数。它具有自润

滑性，良好的边界润滑特性，适于作轮船舵柱轴承以及轧钢机、轧板机轴承。

以环氧树脂为基体的混合物轴承，工作温度范围为： $-100\sim+150^{\circ}\text{C}$ ，没有润滑材料工作时摩擦系数为 $0.15\sim 0.25$ ，带有润滑材料时摩擦系数小于 $0.05$ 。

### 3.9.2 轴承类型

轴承是支承轴或轴上回转体运动的部件。按支承处相对运动表面的摩擦性质分，有滑动轴承和滚动轴承两种类型。按承受载荷方向分，有向心轴承、推力轴承和向心推力轴承三大类。

滑动轴承由轴承体、轴瓦、轴衬、润滑装置和密封装置等组成。除轴承体外，其它部分可根据具体情况取舍。目前已成功使用塑料轴衬、轴瓦，除应用以布基或木粉为基体的塑料外，还制作了PA6、PA1010的轴衬、卡普隆轴衬等。滚动轴承通常是由内外圈（上下平圈）、滚动体、保持架、密封板等零件组成。保持架的作用是隔离相邻的滚动体，防止它们互相摩擦、减少摩擦，现多用塑料制作。

### 3.9.3 轴承设计

#### 一、滑动轴承

##### 1. PV 值

轴承工作时的发热量为  $Q = \frac{1}{J} \mu PV$ ， $J$  为热功当量， $P$  为轴承所受的压力， $V$  为轴的滑动速度， $\mu$  为摩擦系数。由于  $\mu$  值不大，故把  $PV$  值作为判断摩擦发热量的标准，它的许用值为  $[PV]$ 。

作为滑动轴承材料的塑料的许可工作温度为：聚酰胺， $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ ；聚烯烃， $70\sim 105^{\circ}\text{C}$ ；硅氧烷弹性体， $135\sim 185^{\circ}\text{C}$ ；聚碳酸酯， $100\sim 135^{\circ}\text{C}$ ；硅树脂， $145\sim 200^{\circ}\text{C}$ ；含氟液体聚合物为  $155\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

##### 2. 滑动轴承结构

轴承衬套可以用压制、注射成型，也可以用切削加工制成。除全塑料轴承之外，还有金属轴瓦加氟塑料青铜轴衬及增强塑料衬加氟塑料轴衬等。

滑动塑料轴承的典型结构如图 3.9-1 所示，其中 (a) 图外壳零件的侧壁是轴承外套的座架；(b) 图座架是齿轮；(c) 图座架是较复杂的三联齿轮；(d) 图是轴承衬套与外套的另一种装固形式，在轴向有较大的延伸。把轴衬固定于轴承座架（外套）中的结构，如图 3.9-2 所示，借以防止轴套移动。

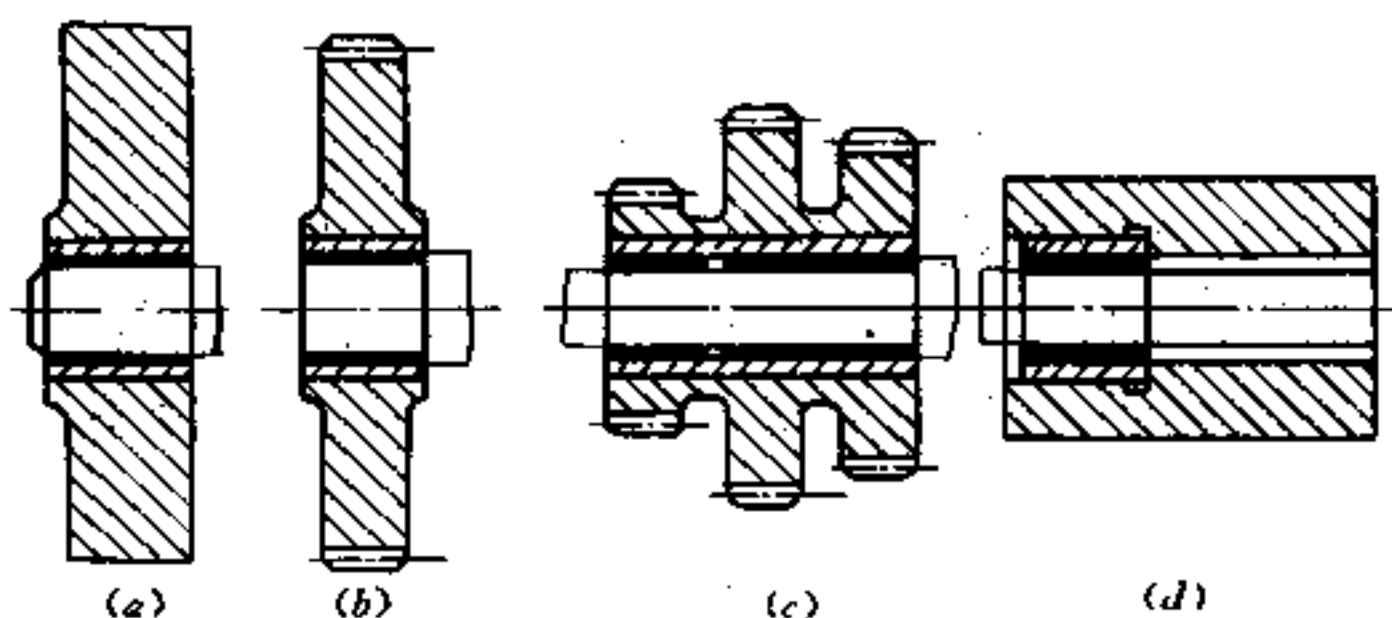


图 3.9-1 滑动轴承的典型结构

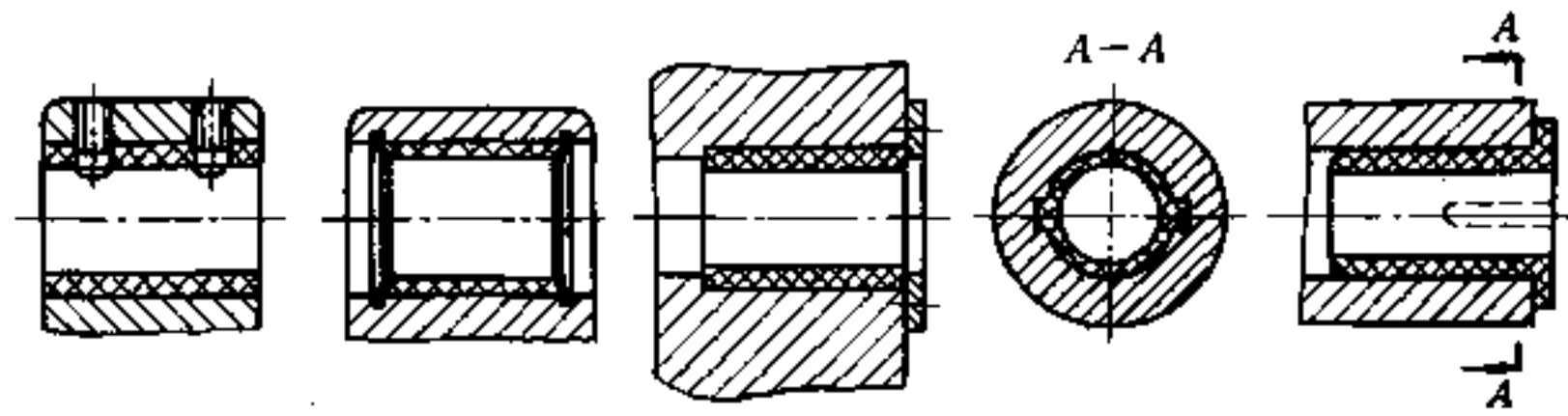


图 3.9-2 轴衬固定结构

热固性塑料轴套壁厚  $\delta$  按  $\delta = (0.7 \sim 0.9) \sqrt{d_B}$ , 热塑性塑料轴套壁厚按  $\delta = (0.45 \sim 0.5) \sqrt{d_B}$  选择,  $d_B$  为轴的直径。轴套长度按  $L = (1.0 \sim 1.3) d_B$ , 外套壁厚  $\delta_1$  按  $\delta_1 = (0.18 \sim 0.20) \sqrt{d_B}$  选用。设计滑动轴承轴套的参数有: 轴与轴套配合中的径向间隙  $\Delta R$ , 功能间隙  $\Delta \phi = 2\Delta R + b$ , 轴衬与外套配合中的过盈量  $\Delta y$ , 以及间隙与过盈的温度补偿。滑动轴承的内径  $D_0$ , 轴与轴套的径向间隙  $\Delta R = (D_0 - d_B) / 2$ , 工作轴中心线相对于轴衬轴线的充分位移后, 形成的导入量为  $b$ 。通常不考虑聚合物粘性与吸油、水性对间隙及过盈的影响。

### 3. 过盈量 $\Delta y$

用诺模图比较简单, 在图 3.9-3 上的横坐标轴表示  $k_0$  值, 而纵坐标轴表示  $c_1 = \Delta y E / (\sigma_T D)$ 。若知道轴套内径  $D_0$  和外径  $D$  之比  $k_0$ , 就可从该图上查  $c_1$  值, 并代入工作温度的模量  $E$  值和  $\sigma_T$  值 (对于热固性塑料为有条件的流动极限), 就可以求得在工作温度下的最大过盈  $\Delta y$ 。

图 3.9-3 是热塑性轴套压配入金属外套中, 根据  $k_0 = D_0 / D$  和泊松系数而绘制的最大和最小过盈的线解图。

轴套内表面的工作温度  $t_{P1}$  为:

$$t_{P1} = \beta_n q_n d_B \left( \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{1}{k_0} + \frac{10^3}{kD_1} \right) 10^{-3} + t_0 \quad (3.9-1)$$

式中  $\beta_n$ ——根据实验图测定的热流分配系数 (见图 3.9-4);

$q_n$ ——轴与轴套接触表面上的热流密度 ( $W/m^2$ );

$\lambda$ ——导热系数 ( $W/m \cdot ^\circ C$ ), 见表 3.9-1;  $k_0 = \frac{d_B}{2} \approx D_0 / D$ ;

$k$ ——钢对空气的传热系数 ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ), 根据温度,  $k = 7.5 \sim 12.5$ 。

外套的工作温度  $t_{P2}$  为:

$$t_{P2} = \beta_n q_n d_B / (kD_1) + t_0 \quad (3.9-2)$$

式中  $D_1$ ——金属外套外径;

$t_0$ ——常温 ( $20^\circ C$ )。

轴套的平均温度  $t_P$  为:

$$t_P = \frac{(t_{P1} + t_{P2})}{2} \quad (3.9-3)$$

塑料在平均工作温度下弹性模量为:

$$E_t = EK_{T_3} \quad (3.9-4)$$

式中  $E$ ——常温下的弹性模量;

$K_{T3}$ ——系数（见表 3.9-2）。

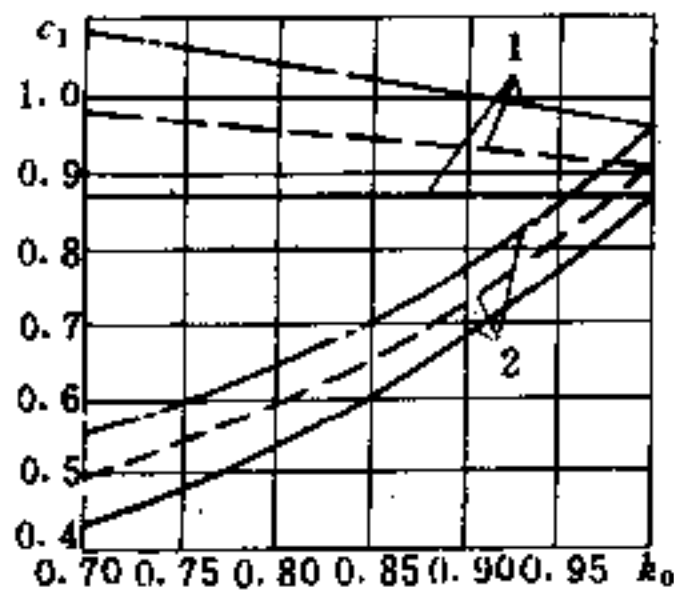


图 3.9-3 过盈的线解图

1—最大过盈曲线；2—最小过盈曲线；  
实线—泊松系数  $\nu=0.5$ ；虚线— $\nu=0.45$ ；  
点划线— $\nu=0.4$ 。

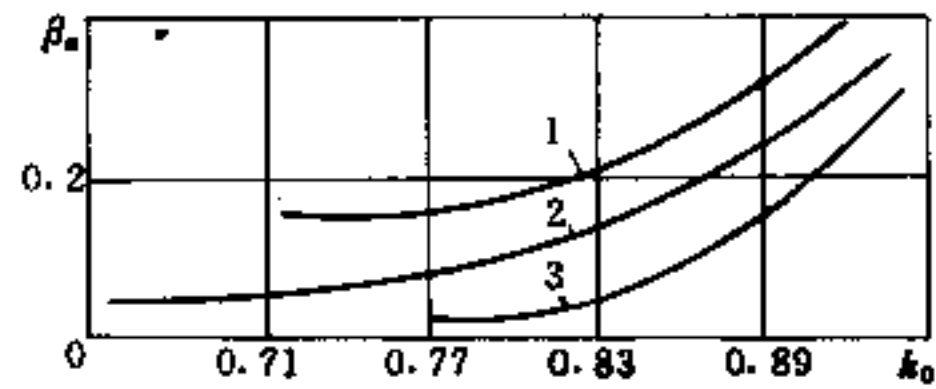


图 3.9-4  $\beta_n$  与  $k_0$  的关系线解图

1— $F_n/F_B=0.6\sim 0.8$ （聚酰胺轴承）；  
2— $F_n/F_B=0.1\sim 0.5$ （同前）；  
3— $F_n/F_B=0.1\sim 0.5$ （夹木层压塑料轴承）；  
 $F_n, F_B$ —分别为轴承与轴的散热表面。

在平均工作温度下的塑料流动极限  $\sigma_{Tt}$  为：

$$\sigma_{Tt} = \sigma_T k_{T2} \quad (3.9-5)$$

式中  $\sigma_T$ ——常温（20℃）下的流动极限；

$k_{T2}$ ——系数（见表 3.9-3）。

表 3.9-1 塑料线胀系数、导热系数和热稳定性

材 料	线胀系数/ $(\text{C}^{-1} \times 10^{-5})$	导热系数/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{C}^{-1})$	热稳定性/ $^{\circ}\text{C}$
卡普隆	8~10	0.22	110
聚酰胺 II-68	10~12	0.20~0.18	130
聚酰胺 AK-7	10~11	0.20~0.22	—
聚碳酸酯	6	0.17	140
聚甲醛	8	0.20	180
氟塑料-4	8~25	0.21	140
抗水叠层胶木塑料 ДСП-Г	2.5~3.0	0.18	110
布层塑料	2~4	0.20~0.29	120
玻璃布塑料	0.4~1.2	0.27~0.50	

表 3.9-2 塑料弹性模量

材 料	在 $t=20^{\circ}\text{C}$ 时, $E/\text{GPa}$	在 $t^{\circ}\text{C}$ 时 $K_{T3}$			
		40	60	80	100
聚酰胺 II-68	2.0	0.9	0.8	0.7	0.6
聚酰胺 AK-7	1.5	0.91	0.84	0.79	0.74
聚碳酸酯	2.5	0.85	0.74	0.62	0.51
聚甲醛	3.0	0.73	0.45	0.27	0.22
氟塑料-4	0.55	0.85	0.72	0.60	0.50
抗水叠层胶木塑料 ДСП-Г	4.0	0.94	0.90	0.87	0.84
玻纤增强塑料	15.0~30.0				



表 3.9-3 塑料流动极限选择数据

材 料	在 $t=20^{\circ}\text{C}$ 时, $\sigma_T/\text{MPa}$	在 $t^{\circ}\text{C}$ 时 $K_{T2}$			
		40	60	80	100
卡普隆、聚酰胺 (П-68) (AK-7)	35~45	0.80	0.65	0.55	0.50
卡普罗纶(КАПРОЛОН)	55~65	0.80	0.65	0.55	0.50
聚碳酸酯	50~60	0.85	0.75	0.70	0.65
聚甲醛	40~50	0.80	0.65	0.55	0.50
氟塑料-4	20~25	0.75	0.55	0.50	0.40
布层塑料、ДСП-Г	40~50	0.90	0.80	0.70	0.65

## 4. 过盈温度及吸湿补偿

轴套过盈温度补偿线解图, 如图 3.9-5 所示。纵坐标为:  $c_2 = K_{T1} / [a_1 D (t_{P1} - t_0)]$ 。图中  $\xi = (t_{P1} - t_{P2}) / (t_{P1} - t_0)$ 。  $a_1$  为塑料线胀系数,  $t_{P1}$  与  $t_{P2}$  分别为轴套与外套的内表面工作温度,  $t_0$  为常温。横坐标为  $k_0 = \frac{D_0}{D}$ 。

当给定  $k_0$  与  $\xi$  值时, 就可按线解图找到  $c_2$  值, 进而求得过盈的温度补偿  $K_{T1}$ 。

表 3.9-4 压制结构塑料时, 选择强度极限的数据

材 料	$\sigma_c/\text{MPa}$	在 $t^{\circ}\text{C}$ 时 $K_{T1}$				$\nu$
		40	60	80	100	
卡普隆	75.0	0.88	0.80	0.69	0.58	0.5
聚酰胺	75.0~85.0	0.88	0.80	0.69	0.58	0.5
卡普罗纶(КАПРОЛОН)	110.0~125.0	0.86	0.78	0.65	0.52	0.4~0.5
聚碳酸酯	80.0~90.0	0.90	0.75	0.60	0.40	
聚甲醛	130.0	0.86	0.68	0.49	0.28	0.43
氟塑料-4	12.5	0.98	0.92	0.84	0.76	
布层塑料	230.0	0.87	0.76	0.68	0.59	0.3
ДСП-Г	125.0					0.4
玻璃布塑料	100.0~350.0	0.98	0.95	0.89	0.85	0.27~0.30

对于工作温度波动  $\Delta t_P$ , 塑料的线胀系数波动  $\Delta a_1$  与弹性模量波动  $\Delta E$  的补偿分为:  $\Delta H_t = \frac{K_{T1} \Delta t_P}{t_0}$ ,  $\Delta H_a = (K_T \Delta a_1) / a_1$  和  $\Delta H_e = (\Delta H_a \cdot \Delta E) / E$ , 故最大过盈的补偿为:  $\Delta H_{ct} = 0.5 \sqrt{\Delta^2 H_t + \Delta^2 H_a + \Delta^2 H_e}$ 。同时考虑与吸湿有关的补偿  $K_B$ , 最大装配过盈为:

$$\Delta H_{B \cdot CB} = \Delta H_B - K_{ПН} - \Delta H_{ct} - K_B \quad (3.9-6)$$

## 5. 配合间隙

利用与上述相类似的办法, 最后确定轴套与轴的最大装配间隙为:

$$2\Delta R_{HB \cdot CB} = 2\Delta R_{HB} + K_{Пз} + K_{Bз} +$$

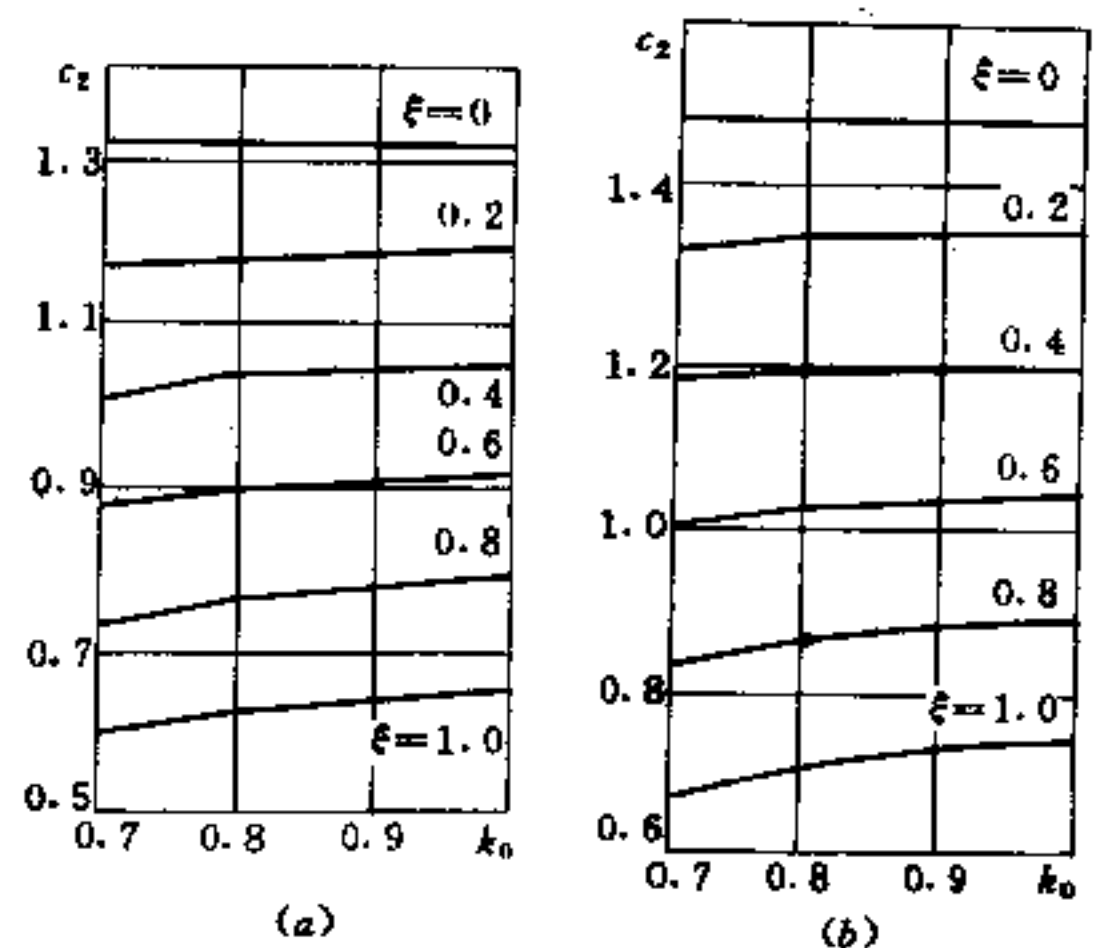


图 3.9-5 轴套过盈温度补偿线解图

(a) 泊松系数  $\nu = 0.3$  (热固性塑料);

(b) 泊松系数  $\nu = 0.5$  (热塑性塑料)。

$$\Delta Y_{HM \cdot Bep} - \Delta_{3 \cdot CJL} \quad (3.9-7)$$

式中  $2\Delta R_{HB}$ ——最大间隙；

$K_{\Pi 3}$ ——温度补偿间隙；

$K_{B3}$ ——湿度补偿间隙；

$\Delta Y_{HM \cdot Bep}$ ——最小调节变形；

$\Delta_{3 \cdot CJL}$ ——最大充分补偿间隙。

若轴套是用压缩和注射成型的，必要时可给以工艺斜度。当斜度角度小于或等于  $1^\circ$  时，斜度误差应在给定的尺寸公差范围内确定；当斜度角度大于  $1^\circ$  时，斜度误差会不在尺寸公差范围内，可把此种配合视为圆锥体对待。

确定塑件尺寸公差后，可按以下两式确定模具制造公差。

$$P_{\phi}(1 - \bar{S}) = P_{\Pi} \quad (3.9-8)$$

$$T_{\phi} = T - 0.5P_{\phi}(S_{\max} - S_{\min}) \quad (3.9-9)$$

式中  $P_{\phi}$ ——模具尺寸；

$T_{\phi}$ ——均等分布的模具尺寸上、下偏差；

$\bar{S}$ ——塑件材料的平均收缩率；

$P_{\Pi}$ ——塑件尺寸；

$T$ ——均等分布的塑件尺寸上、下偏差；

$S_{\max}, S_{\min}$ ——塑件材料的最大、最小收缩率。

## 6. 轴套磨耗

自润滑轴承的径向磨耗为：

$$t_w = K_r P V T \quad (3.9-10)$$

式中  $t_w$ ——径向磨耗(mm)；

$K_r$ ——径向磨耗系数；

$P$ ——径向压力；

$V$ ——轴表面速度；

$T$ ——时间。

## 7. 摩擦系数 $\mu$ 与轴承常数 $\eta N/P_m$

摩擦系数可用下式表示，

$$\mu = 9.5 \sqrt{\frac{\eta N}{P_m}} \quad (3.9-11)$$

式中  $N$ ——回转数；

$\eta$ ——润滑油粘性系数；

$P_m = P/dL$ ——平均轴承压力( $P$ ——负荷； $d$ ——轴承直径； $L$ ——轴承宽度)。

由图 3.9-6 可知，轴承常数一变小，就脱离流体润滑区域，进入境界润滑区域，摩擦系数急剧增大。为了确保流体润滑，就必须使轴承常数处于临界值以上。

为保证轴套强度，必须使轴承工作时的压缩强度不超过轴承材料的许用压缩强度  $[\sigma_c]$ 。许用压缩强度是压缩强度极限  $\sigma_c$  与强度安全系数  $\bar{K}$  之比。通常热塑性塑料安全

系数为 7.50, 热固性塑料为 5.75。

## 二、滚动轴承

### 1. 滚动轴承类型及应用

滚动轴承, 按载荷方向分, 有向心、推力、推力向心、向心推力等。按滚动体分, 有滚球、圆柱滚子、圆锥滚子、滚针、鼓形及螺旋滚子等轴承。按滚珠的行列分, 有单列、双列及多列等滚动轴承。

球轴承适用于轻型或中等载荷, 螺旋滚子轴承适用于冲击震动载荷。轴承径向尺寸受限制时, 可选用滚针轴承。一根轴上的几个轴承不能保证同心, 或轴弯曲倾斜时, 可选用球面球轴承或球面滚子轴承。总之, 选用轴承时要根据使用条件: 载荷(大小、方向)、载荷特点(恒定、可变、振动或冲击)、转动频率、使用期限、使用环境、工作温度、含尘率等。塑料滚珠轴承摩擦系数小、能耗小、宽度不大, 特别适用于仪器及精密机械。

轴承隔离环可用布基塑料、含石墨氟塑料(AФГ-80BC)、抗摩自润滑材料(АСП)等加工而成。用以填充材料 ПТФЭ 为基础的隔离环, 轴承工作时 ПТФЭ 本身和在它中含的固体润滑物质漂移在滚珠(或滚柱)和滚道上, 使轴承能在不顺利的条件(如高真空中)下工作。用氟塑料、聚酰胺制作密封垫, 此外还有塑料轴承座。

### 2. 滚动轴承的配合

滚动轴承的组合设计, 就是要解决轴承的安装、拆卸、配合、紧固、调节、润滑、密封等问题。但滚动轴承的配合问题尤为重要。

通常与轴承内环相配合的轴颈公差带分布向零件“体”内, 为负。轴承内径尺寸偏差为负偏差, 与轴承外环相配的轴承座孔为正偏差。这样在轴上的配合易保证过盈, 在轴承座中的配合易保证最大间隙或过盈。

过盈公差或间隙公差等于配合处直径上的总公差。滚动轴承配合处的间隙和过盈不大, 塑料零件难以达到这种精度, 必要时可用机械加工予以实现。

ГОСТ520-71 和 CTCЭB774-77 把滚动轴承精度等级分为: 0, 6, 5, 4, 2 等 5 级, 0 和 6 级最常用, 5 和 4 级用于转动频率大、转动精度高的情况, 2 级用于精密仪器及机器。

### 3. 滚动轴承寿命

所谓寿命就是指任意元件首先出现剥落现象的总转数, 或给定转速下的工作小时数。关于它的计算原理与方法, 可参阅文献[14]。

## 3.9.4 橡胶轴承

橡胶轴承的结构如图 3.9-7 所示, 其中(a)图为整体式轴瓦和轴衬;(b)图为组装式橡胶轴承的组装元件, 它是由橡胶条与底衬粘结而成, 把组装元件以燕尾槽形式装入轴承座而成为组装式轴承。

轴承衬里多用合成橡胶作成。合成橡胶有丁腈橡胶、氟橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、硅

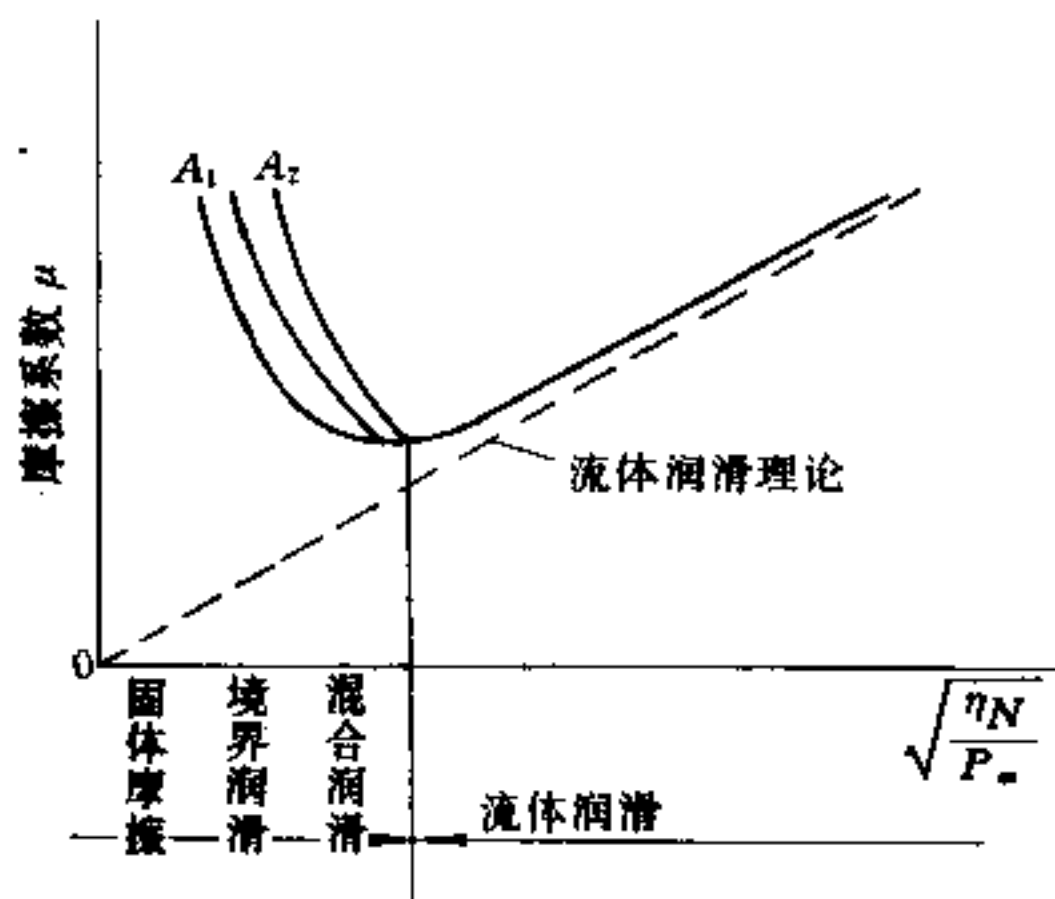


图 3.9-6 润滑摩擦特性曲线

$A_1$ —油性高;  $A_2$ —油性低。

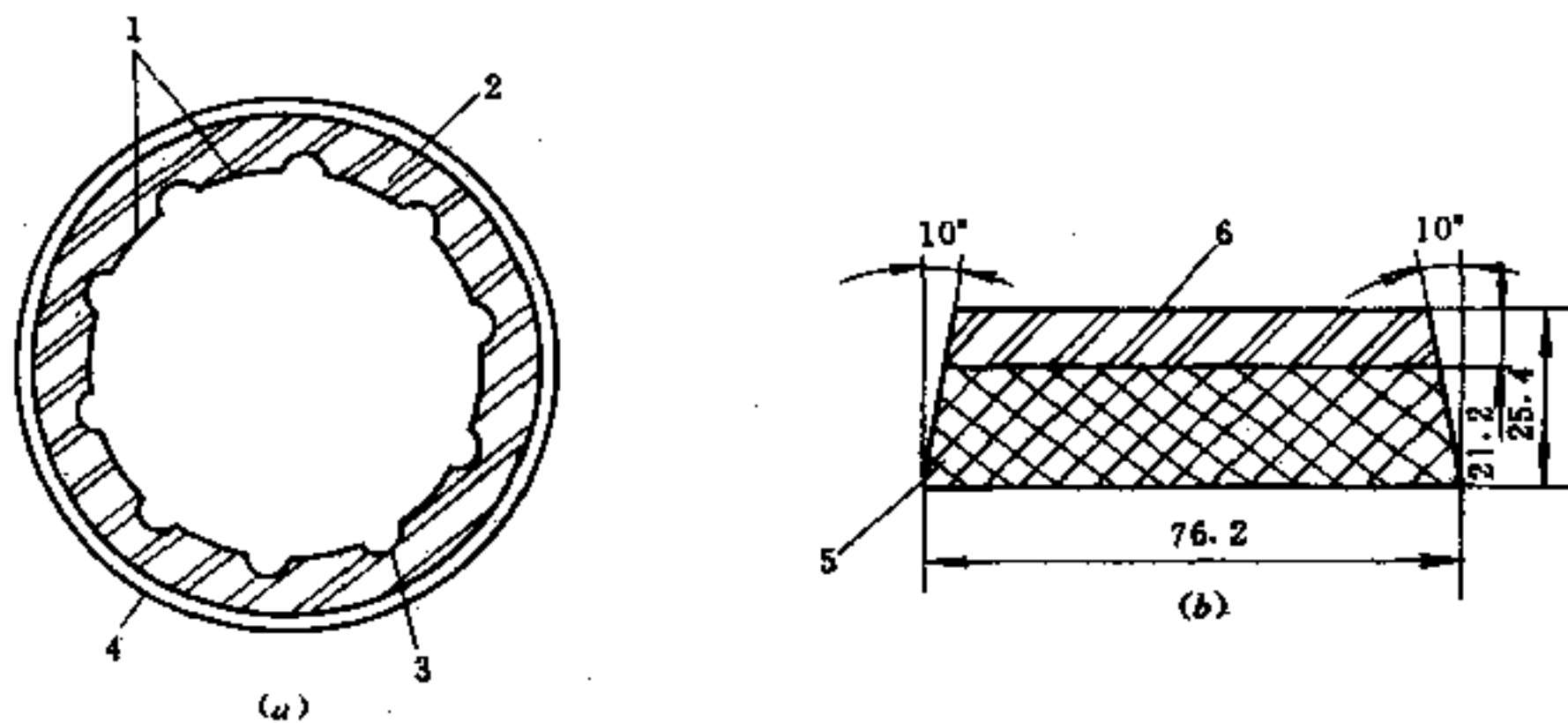


图 3.9-7 橡胶轴承

1—轴承台阶;2—软轴承橡胶;3—润滑剂槽;4—轴瓦;5—塑料;6—橡胶。

酮橡胶、聚氨酯橡胶等。若用水之类的低粘度润滑剂,橡胶轴承摩擦系数小,具有异物埋入性能、耐磨耗性良好,具有吸收振动和抗冲击性能。但橡胶轴承静摩擦系数很高,这是其缺点。

轴瓦可用金属及非金属材料制成。金属材料常用能与橡胶粘结牢固的黄铜,非金属材料有以棉纤维为填料的酚醛塑料、玻纤增强环氧塑料、单丝缠绕的环氧、聚酯玻璃钢等。

橡胶轴承的长径比为:2:1~4:1,视承受径向载荷的能力大小而定。

## 3.10 齿轮设计

直齿轮、斜齿轮、人字齿轮、圆锥齿轮、螺旋齿轮、蜗轮蜗杆等均可由塑料制成。

塑料齿轮摩擦系数小,对灰尘微粒有埋没作用,耐磨性与耐蚀性好,自润滑性好,可在无润滑条件下工作。它能吸振抗冲击,加之重量轻、惯性小,故噪声小、传动平稳,即使齿距、齿形稍有偏差也能正常工作。塑料齿轮易于模塑成型,并能成型双联、三联及结构较复杂的齿轮,成本低廉。故在食品、纺织、机械、电子等工业中已得到应用。

由于成型收缩、受热和吸湿后膨胀,塑料齿轮尺寸不稳定,刚度、强度较差,导热性差,耐热有限。通常,用作塑料齿轮的材料,有尼龙、聚甲醛、布基酚醛、聚碳酸酯、聚砒、聚苯醚、聚氨酯等。

### 3.10.1 齿轮结构及几何参数

#### 一、齿轮结构设计

塑料齿轮有全塑料齿轮、带金属嵌件的塑料齿轮和机械装配式的塑料齿轮。

塑料导热不良,设计齿轮结构时,要注意散热和防胀问题,最好用金属齿轮和塑料齿轮配对,以有利散热,减小摩擦和磨耗,能充分发挥塑料的特长。为防止发热膨胀而咬死,齿侧间隙、径向间隙应比金属齿轮大。传递精度要求不高,传递载荷不大,可采用全塑料齿轮。直齿轮适于小载荷;斜齿轮、人字齿轮适用于较大载荷;但人字齿轮的模塑成型较复杂。如果传递精度高,传递载荷大,则应设计成用金属嵌件增强的塑料齿轮。设计塑料齿轮结构时,壁厚要均匀、形状要对称,尽力避免尖角、壁厚断面突变。金属嵌件周围要有

足够的塑料层厚度。

如图 3.10-1 所示,为使塑料齿轮的形状、尺寸满足模塑工艺要求,特规定:轮缘宽度  $t_1 = 3t$ ,  $t$  为齿高;轮板厚度  $H_1 \leq H$ ,  $H$  为轮缘厚度;轮毂厚度  $H_2 \geq H$ , 轮毂外径  $D_1 \geq (1.5 \sim 3)D$ ,  $D$  为轴孔直径,轮毂的长度  $H_2 = D$ 。

齿顶圆直径小于 50mm 时,通常把齿轮宽度为 (1.5~3.5)mm 的小齿轮设计成薄片式。可把较大的齿轮设计成整体辐板结构,辐板要对称布置。在齿轮辐板上不可设计大的孔眼,以免收缩变形。

机械装配式塑料齿轮如图 3.10-2 所示。此种结构齿轮刚性和与轴连接的可靠性增加,能避免大的内应力,并有利散热。

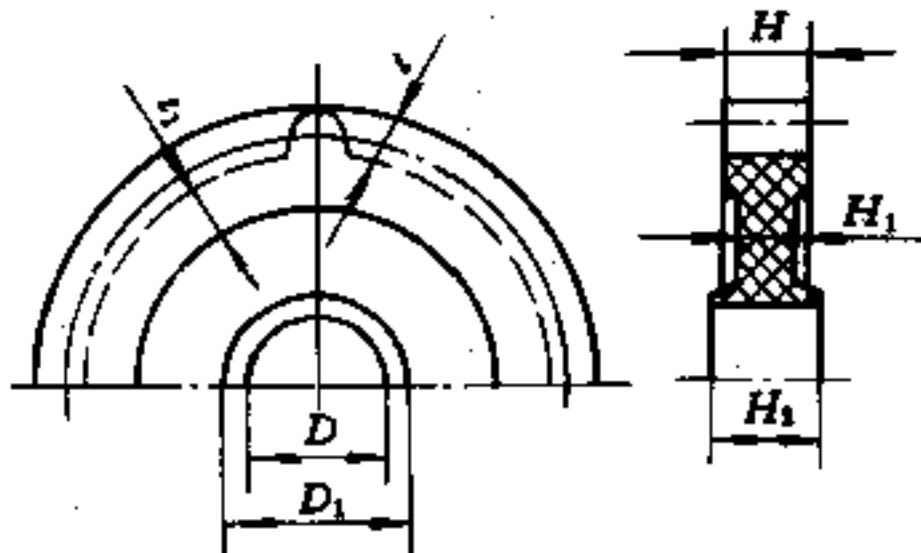


图 3.10-1 模塑齿轮尺寸

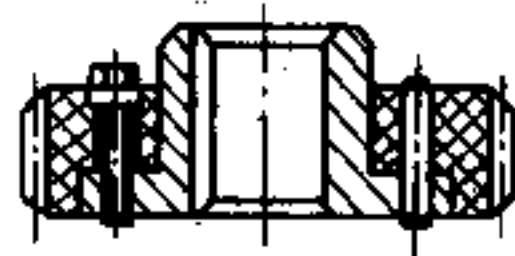


图 3.10-2 机械装配式齿轮

塑料齿轮与轴的连接,可用花键或圆键连接,最好用双键或多键,借以降低比压,使齿轮受力均匀。轴与齿轮采用过渡配合装配,以免压配时产生压应力。

## 二、齿轮尺寸与几何参数

设计塑料齿轮时必须确定齿轮的工作条件、使用性能指标要求,主原动机扭矩或功率数及其特性,传动比、允许中心距误差、间隙要求、机器预定寿命等。

直齿圆柱齿轮的几何参数及其计算公式列于表 3.10-1 中。表中  $Z_1$ 、 $Z_2$  分别为小、大齿轮的齿数,下标 1,2 分别代表小、大齿轮的相关参数。

表 3.10-1 渐开线标准直齿圆柱齿轮几何尺寸计算公式

名称	符号	计算公式	
		小齿轮	大齿轮
模数	$m$	(由强度计算求得)	
分度圆直径	$d$	$d_1 = mZ_1$	$d_2 = mZ_2$
齿顶高	$h_d$	$h_d = f_d m = m$	
齿根高	$h_g$	$h_g = f_g m = 1.25m$	
齿高	$h$	$h = (f_d + f_g) m = 2.25m$	
齿顶圆直径	$D_d$	$D_{d1} = d_1 + 2h_d$	$D_{d2} = d_2 + 2h_d$
齿根圆直径	$D_g$	$D_{g1} = d_1 - 2h_g$	$D_{g2} = d_2 - 2h_g$
齿厚	$S$	$S_1 = S_2 = \frac{\pi m}{2}$	
径向间隙	$c$	$c = h_g - h_d = (f_g - f_d) m = f_c m = 0.25m$	
中心距	$A$	$A = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) = \frac{m}{2}(Z_1 + Z_2)$	

齿轮模腔与用该模腔模塑齿轮轮齿形状有差别,如图 3.10-3 所示,实线是按标准齿轮制造的齿轮模腔齿廓;虚线是模塑齿轮的齿廓。由图可知,齿顶变窄、齿根变厚,这是因塑料齿轮冷却硬化收缩所致。为获得所要求的齿廓,应当对齿轮模腔尺寸加以修正。

修正公式为:

$$\cos\alpha = \frac{\cos\alpha_C}{(1 + Q_{CP})} \quad (3.10-1)$$

$$m_C = (1 + Q_{CP}) m \quad (3.10-2)$$

式中  $\alpha$ ——模塑齿轮压力角,标准压力角为  $\alpha = 20^\circ$ ;

$\alpha_C$ ——模具齿轮型腔压力角;

$m_C$ ——模具齿轮型腔的模数;

$Q_{CP}$ ——塑料平均收缩率;

$m$ ——模塑齿轮模数。

对一个标准齿轮来说,当其齿数与模数确定之后,齿轮的其它几何尺寸也就基本上确定了。齿数可按要求的传动比确定。

齿顶间隙、侧隙以及中心距允许误差,要根据齿轮安装情况,吸湿和受热膨胀情况,采用适当公式加以计算,并予以校核。

### 3.10.2 模塑齿轮强度计算

塑料齿轮运转时,在齿顶法线方向受到脉动或对称循环载荷作用。当载荷较大,运转时间较长时,在齿轮受力一侧的齿根部发生裂纹,甚至断裂破坏,这就是齿根弯曲疲劳破坏,如图 3.10-4 (a) 图所示。

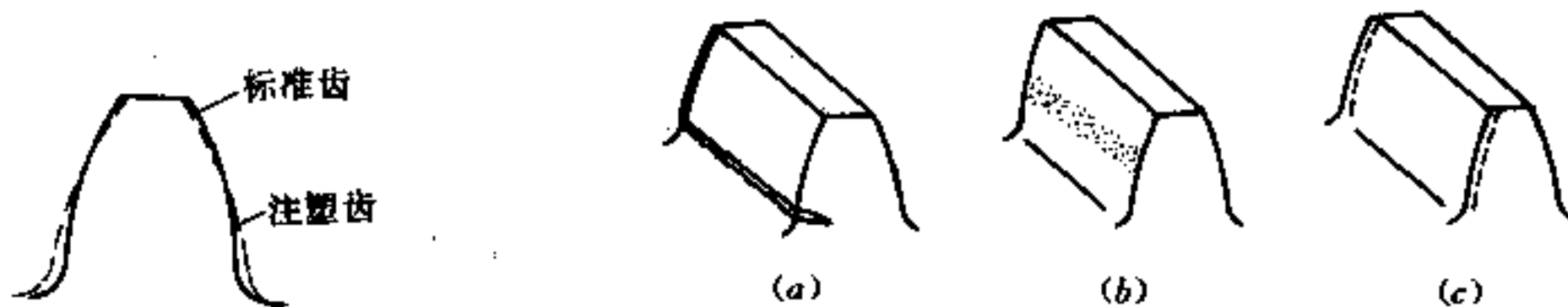


图 3.10-3 标准齿廓与模塑齿廓

图 3.10-4 模塑齿轮破坏形式

结晶型聚合物比无定型聚合物,玻纤增强塑料比未增强塑料抗疲劳性能好。润滑不好,齿轮齿数少,载荷大、速度大、温度升高、吸水率增加,齿轮出现弯曲疲劳破坏的可能性就大。

塑料齿轮运转时,在周期性表面接触应力作用下,在齿面接触线处靠近齿根一侧,沿齿宽方向出现数毫米宽的剥蚀带,如图 3.10-4 (b) 所示,导致轮齿啮合失常、传动不平稳、噪声加大、温升剧烈等现象。

当模塑齿轮的传动速度和齿面比压过大,齿轮材料配对不当,工作环境差,齿轮精度低时,在摩擦力作用下齿面发生剪切变形,进而粘滞剥离,产生磨损、齿厚变薄、渐开线齿廓失真、侧隙加大,导致冲击振动噪声,传动质量下降,如图 3.10-4 (c) 所示。

当塑料齿轮高速运转时,在周期性弯曲载荷作用下,由于齿轮变形的材料内摩擦产

生大量热不能及时排出, 导致温度升高, 变形加剧, 出现断裂, 甚至熔融, 这就是“热软化”现象。

### 一、齿轮弯曲疲劳强度计算

通常轮齿法向模数应为

$$m_n = 3 \sqrt{\frac{60000NK}{[\sigma_f]y\phi_m^n}} \quad (3.10-3)$$

$$K = K_z K_l K_m K \quad (3.10-4)$$

$$K_z = K_b K_d \quad (3.10-5)$$

$$[\sigma_f] = \sigma_s K_w K_s K_g K_c K_j \quad (3.10-6)$$

$$K_s = 6 \sqrt{\frac{10^7}{N_n}} \quad (3.10-7)$$

$$N_n = 60un\tau \quad (3.10-8)$$

以上各式中符号含意是:  $m_n$  为法向模数 (cm);  $N$  为传递功率 (kW);  $n$  为转速 (r/min);  $y$  为齿形系数;  $\phi_m$  为齿宽系数,  $\phi_m = B/m_n$ ,  $B$  为齿宽 (cm);  $K_z$  为载荷系数;  $K_b$  为载荷不均系数, 切削加工齿轮为 1.0, 注塑齿轮由表 3.10-3 中查取;  $K_d$  为动载荷系数, 斜齿轮为 1.0; 直齿轮为 1.05~1, 载荷不平稳、冲击大时取大值。  $K_l$  为与螺旋角有关的系数, 直齿轮为 1.0; 螺旋角  $\beta = 10^\circ \sim 20^\circ$  时, 为 0.7~0.8;  $K_m$  为考虑因磨损而削弱轮齿断面的系数;  $[\sigma_f]$  为许用弯曲应力 (MPa);  $\sigma_s$  为塑料的屈服极限 (MPa);  $K_w = K_v \cdot K_t$  为载荷工作系数;  $K_v$  为速度系数;  $K_t$  为温度系数 (见表 3.10-6);  $K_s$  为考虑使用期限的系数;  $N_n$  为在使用期限内, 每个轮齿啮合的总次数;  $u$  为齿轮转一圈, 每个齿的啮合次数;  $\tau$  为规定的使用期限 (h);  $K_g$  为与制造工艺有关的系数, 机加齿轮为 0.9, 注塑齿轮为 1.0;  $K_c$  为与每个齿每分钟啮合次数有关的系数;  $K_j$  为考虑齿根应力集中的系数。与计算弯曲疲劳强度有关的参数值见表 3.10-2~表 3.10-8。

表 3.10-2 齿形系数 ( $y$ )

齿数	$y$	齿数	$y$	齿数	$y$	齿数	$y$
12	0.103	18	0.120	28	0.139	45	0.153
13	0.107	19	0.123	30	0.141	50	0.155
14	0.110	20	0.125	33	0.144	65	0.160
15	0.113	22	0.130	36	0.147	80	0.162
16	0.115	24	0.134	39	0.150	100	0.163
17	0.118	26	0.137	42	0.151		

表 3.10-3  $K_b$  与齿宽系数  $\phi_m$

$\phi_m$	<5	5~10	>10
$K_b$	1.0	1.1	1.2

表 3.10-4  $N_n$  与  $K_s$

$N_n$	$10^6$	$5 \times 10^6$	$10^7$	$2 \times 10^7$	$3 \times 10^7$	$4 \times 10^7$	$5 \times 10^7$	$6 \times 10^7$	$7 \times 10^7$	$8 \times 10^7$	$9 \times 10^7$	$10^8$	$5 \times 10^8$	$10^9$
$K_s$	1.5	1.1	1.0	0.89	0.83	0.79	0.76	0.74	0.72	0.70	0.69	0.68	0.52	0.46



表 3.10-5 每分钟每齿啮合次数  $un$  与  $K_c$  值

$un$	0~300	300~500	500~10000	1000~2000	>2000
$K_c$	1.0	0.9	0.85	0.8	0.75

表 3.10-6 温度系数  $K_t$ 

材 料	长期使用温度/℃				
	20	40	60	80	100
尼 龙	1.0	0.8	0.65	0.55	0.50
聚甲醛	1.0	0.8	0.65	0.55	0.50
聚碳酸酯	1.0	0.85	0.75	0.70	0.65

表 3.10-7 应力集中系数  $K_f$ 

材 料	$K_f$
尼龙、聚甲醛、聚丙烯等	0.8~0.9
聚碳酸酯	0.25~0.35

表 3.10-8 塑料屈服极限 ( $\sigma_s$ )

材 料	$\sigma_s$ (MPa)	材 料	$\sigma_s$ (MPa)
注射尼龙	35~45	聚 甲 醛	40~50
铸型尼龙	55~65	聚碳酸酯	50~60

## 二、齿面接触疲劳强度计算

两渐开线齿轮啮合时齿面接触应力  $\sigma_n$  为:

$$\sigma_n = Z_e \sqrt{\frac{0.7}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \sin \alpha \cos \alpha}} \sqrt{\frac{K_w F_t i + 1}{b d_1 i}} \leq \sigma_H \quad (3.10-9)$$

式中  $Z_e$ ——重合度系数;

$E_1, E_2$ ——两齿轮材料在工作环境下弯曲弹性模量 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ );

$\alpha$ ——标准压力角;

$K_w$ ——载荷修正系数 (见表 3.10-9);

$F_t$ ——分度圆上的圆周力 (N), 当节圆速度  $v > 12\text{m/s}$  时, 用  $F_d$  代替  $F_t$ 。

$$F_d = F_t \frac{v + 3.05}{3.05} \quad (3.10-10)$$

式中  $b$ ——两轮轮齿的实际接触宽度 (mm);

$d_1$ ——小齿轮分度圆直径 (mm);

$i$ ——齿数比;

$\sigma_H$ ——塑料齿轮接触疲劳极限强度。

$$\sigma_H = \sigma_{HO} Z_i Z_w \quad (3.10-11)$$

式中  $\sigma_{HO}$ ——齿轮接触疲劳极限应力 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ );

$Z_i$ ——润滑修正系数, 初始润滑,  $Z_i = 1$ , 连续润滑,  $Z_i = 1.5 \sim 3.0$ , 其它情况, 按传动率,  $Z_i < 1$ 。

$Z_w$ ——啮合材料系数。

$\sigma_{HO}$ 可由图 3.10-5 上查取, 该图说明了共聚甲醛齿轮的疲劳周期与齿面接触疲劳极限应力的关系, 接触疲劳试验是在室温下对一对共聚甲醛齿轮作的。当工作温度不同, 塑料品种不同或者是塑料齿轮与钢齿轮相啮合时, 需用啮合材料系数  $Z_w$  对  $\sigma_{HO}$  加以修

正。

$$Z_w = \frac{C_k}{53.8} \quad (3.10-12)$$

$$C_k = \sqrt{\frac{0.7E_1E_2}{(E_1 + E_2) \sin\alpha \cos\alpha}} \quad (3.10-13)$$

表 3.10-9 工作情况系数  $K_w$  ( $K_w \cdot K_v$ )<sup>①</sup>

负载类型	连续工作 24h/d	正常工作 (8~10h) /d	间歇工作 3h/d	偶然工作 0.5h/d
平稳的	1.25	1.00	0.80	0.50
轻度的	1.50	1.25	1.00	0.80
中等冲击	1.75	1.50	1.25	1.00
严重冲击	2.00	1.75	1.50	1.25

①对于 PA 和 POM 齿轮, 第 1 行为  $K_w$  值, 对于其它塑料齿轮, 表中为  $K_w \cdot K_v$  值。

啮合齿轮的重叠系数  $\epsilon$  愈大, 齿轮的接触应力  $\sigma_H$  值愈低, 可由图 3.10-6 上查取  $Z_\epsilon$  值, 代入接触应力公式进行计算。

重叠系数  $\epsilon$  用下式计算:

$$\epsilon = \frac{1}{2\pi} [Z_1 (\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha') + Z_2 (\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha')] \quad (3.10-14)$$

式中  $Z_1, Z_2$ ——小齿轮与大齿轮的齿数;

$\alpha_{a1}, \alpha_{a2}$ ——小齿轮与大齿轮的顶圆压力角;

$\alpha'$ ——实际工作啮合角。

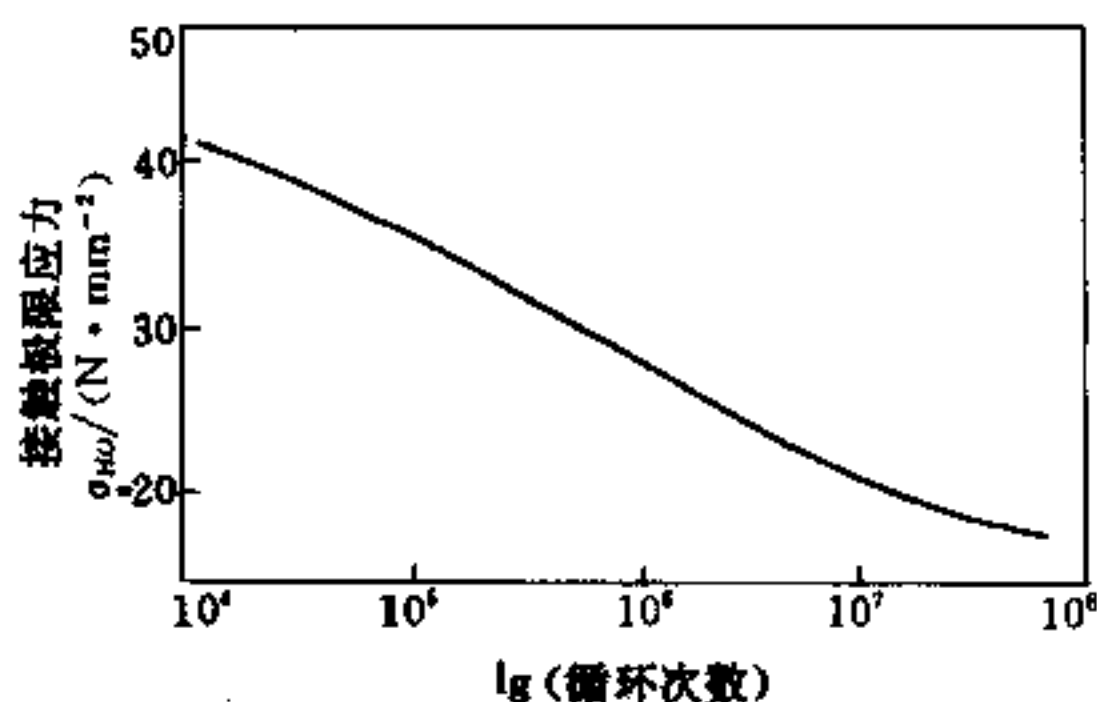


图 3.10-5 疲劳周期与接触极限应力的关系

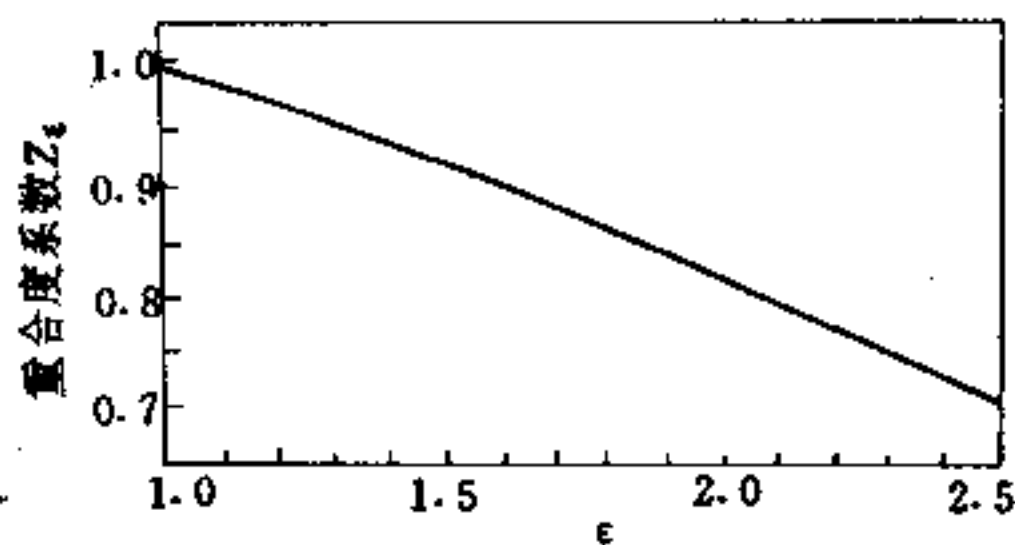


图 3.10-6 重合度系数  $Z_\epsilon$  与重叠系数  $\epsilon$  的关系

### 3.10.3 齿轮模塑成型

有资料建议: 为了保证注塑齿轮设计成功, 轮辐与轮毂的厚度应当保持相等, 在节圆上轮辐筋厚度至少应为齿厚的两倍, 轮辐厚度应该等于轮辐筋厚度。轮毂厚度应等于或大于轮辐筋厚度。轮毂的外径至少比轴的直径大 1.5 倍, 凡夹角处应采用大的圆角, 并且在轮齿根处也应为圆角。

为保证齿轮精度, 模具结构及其制造相当重要。确定齿轮型腔时, 要考虑到模塑材料的收缩会使轮齿变形的问题, 对此, 齿轮模数、各几何尺寸参数及压力角须进行修正。

可用电火花、线切割、冷挤压、电铸加工等方法来制造齿轮型腔，可根据齿轮的精度要求，予以恰当选择。为保证齿轮精度，应把齿轮型腔与其轴孔的型芯设置在模具动模一侧，并最好是一模一件。采用中心浇口由型芯周围进料填充型腔，型芯兼起拉料杆及分流锥作用，有较大效果。

若用点浇口注射成型，可用多点进料，按齿轮型腔几何形状均匀分布配置进料口。对于精度要求高的塑料齿轮，最好采用注射—压缩成型。用这种方法成型的齿轮，使聚合物分子、增强纤维在希望的区域内定向，塑件密实无缩孔、物理机械性能好、尺寸精度高。

合理地确定工艺参数要求，如注射压力、注射时间、熔体温度、模具温度、冷却时间等。在试生产过程中，不断地对塑料齿轮进行检测，调整，确保严格地实施工艺条件。

### 3.11 模塑件尺寸精度与表面质量

#### 3.11.1 影响尺寸精度的因素

影响模塑件尺寸精度的因素甚多，也极复杂，主要有以下方面：

##### 一、模具因素的影响

模具类型不同，对塑件尺寸精度的影响也不同。压模成型出现的毛边对塑件尺寸精度有较大的影响。注射模、压注模成型的塑件尺寸精度与进料口大小、位置、数量有关。固定式模具比移动式模具成型的塑件尺寸（对应于成型零件拆卸方向尺寸）精度高。

模具零件的制造误差对其所成型塑件尺寸精度有较大的影响，模具型腔制造误差将经常地稳定地影响尺寸精度。如果塑件是在多型腔模或模具贴合装置中成型，则模具制造误差的影响不仅在塑件平均批量尺寸变化中出现，而且还会在公差带边界状态出现。单型腔模比多腔模成型的塑件尺寸精度高而稳定。模具结构不合理，也会影响塑件的尺寸精度。

模具活动部分的间隙误差也会影响塑件尺寸精度，如偏心距。模具成型零件的磨损，也会影响塑件尺寸精度，但不起主导作用。

根据塑件尺寸与对应模具尺寸关系，可把塑件尺寸分为以下几种：

(1) 由模具直接决定的尺寸，即塑件尺寸是由一个模具零件，如由阳模或阴模单独成型的。如图 3.11-1 所示， $A_1$  类塑件尺寸是由阳模、阴模或型芯单独成型的，故尺寸精度较高。

(2) 不能由模具直接决定的尺寸，即塑件尺寸是由两个或两个以上的模具零件成型的。如图中所示  $A_2$ 、 $A_3$  类尺寸就属此种尺

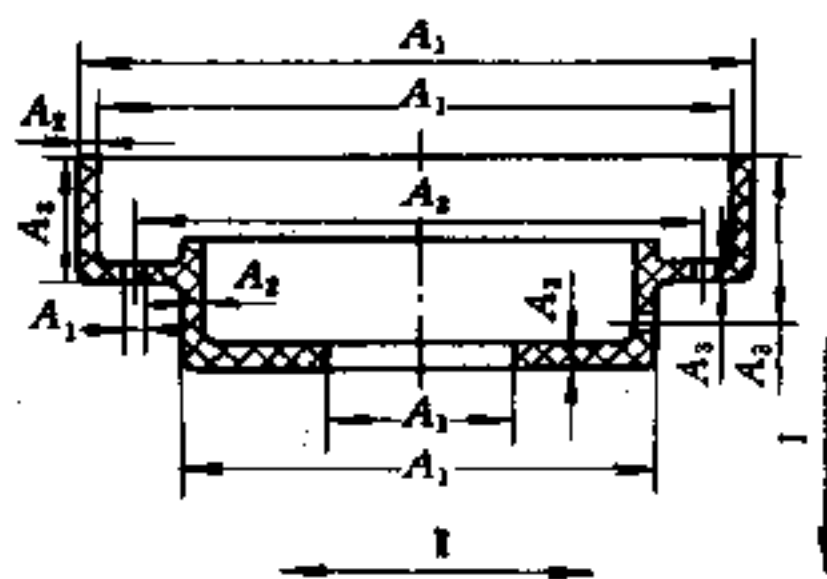


图 3.11-1 模塑制件

I—模具闭合方向；

II—侧型芯移动方向。

寸之列，因而其尺寸精度比  $A_1$  类尺寸精度低。

跨越分型面的塑件尺寸，被阴、阳模的相互位置所左右，对处于分型面上毛边厚薄以及塑件高度方向的尺寸，会造成影响。

## 二、材料因素的影响

塑料的收缩率是对塑件尺寸最基本、最重要的影响因素。塑料收缩率在一定范围内是波动的，不同塑料的收缩率不同，即使是同种塑料，也存在着批量间的收缩差别。收缩率波动范围大的塑料，因成型工艺条件波动而造成塑件尺寸精度低、误差大，难以获得较高塑件尺寸精度（见图 3.11-2）。聚碳酸酯收缩率波动范围（0.5%—0.8%）小，比聚乙烯、尼龙（收缩率为 1.5%—3.6%）等易达到较高尺寸精度。

通常热固性塑料平均收缩率波动为 0.4%—0.5%，而热塑性塑料竟达 2%。

塑件的工艺收缩，系指塑件由脱模的瞬间冷却至周围环境温度时，塑件尺寸的绝对或相对缩小程度。

## 三、工艺因素的影响

成型工艺条件，如温度（模温、加料室温度、料筒温度）、压力（压制压力、传递压力、注射压力）、时间（加压时间、注入或注射时间、冷却时间）等的波动，会导致塑件中填料取向、分子取向方向、结晶程度及其分布、塑件收缩的差异等，进而影响塑件质量及其尺寸精度。成型工艺条件波动，表现为塑件成型收缩波动，是塑件产生尺寸误差直接重要的原因。有资料指出，对于中小型模塑件：

- (1) 模具制造误差约占模塑件成型误差的 1/3；
- (2) 模具磨损约占模塑件成型误差的 1/6；
- (3) 模塑材料批量间成型收缩率误差约占模塑件成型误差的 1/6；
- (4) 成型条件波动，引起收缩率误差约占模塑件成型误差的 1/3。

使用因素的影响，模塑件在长期使用或储存期间，由于外部因素（温度、介质等）的作用，塑件尺寸发生绝对或相对减小，甚至翘曲变形。把在使用或储存期间发生的收缩称为补充收缩或后收缩，它与塑料性质、结晶型或无定型、环境条件（温度、湿度、接触介质）、塑件结构及应力状态等有关。酚醛塑件在冬天因低温干燥进一步收缩，尺寸变小；夏天因高温多湿、吸湿膨胀、尺寸变大。而热固性 DAP 塑料，环氧塑料等尺寸稳定性特别好。热塑性模塑件即使在常温、常湿条件下使用，也会因外力作用而产生蠕变现象及变形。

## 四、设计因素的影响

遵循塑件设计的基本原则，合理地设计塑件几何结构，正确地选用塑件材料，必要时利用加强筋、金属嵌件等阻止塑料收缩，减小其收缩程度，借以提高塑件的尺寸精度

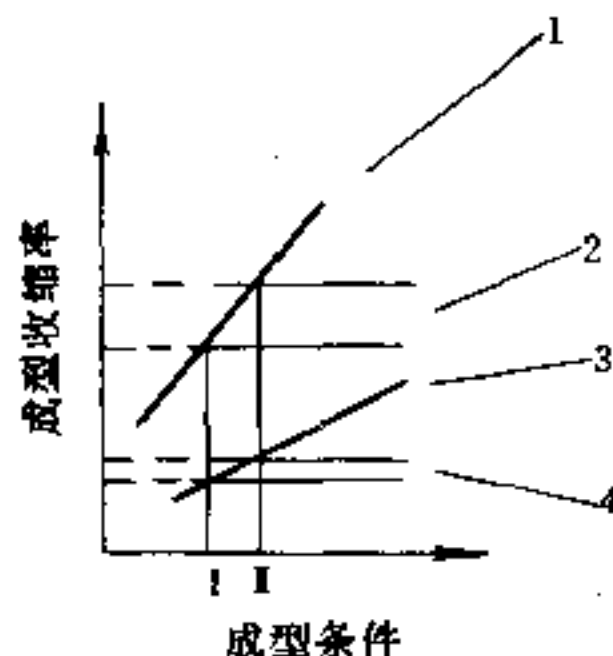


图 3.11-2 成型条件波动与成型收缩误差  
(I, II 为成型条件)

- 1—成型收缩率值波动大的塑料；
- 2—成型收缩率值波动大的塑料因成型条件由 I 变至 II 而形成的成型收缩率波动误差；
- 3—成型收缩率值波动小的塑料；
- 4—成型收缩率值波动小的塑料因成型条件由 I 变至 II 时，所形成的收缩率波动误差。

及其稳定性。反之，就有可能因收缩程度过大、吸湿膨胀、翘曲变形而使其尺寸精度和稳定性降低；甚至还会诱发出其它成型缺陷，甚至使塑件报废。

表 3.11-1 列出了某些因素对塑件尺寸影响的表达式。

表 3.11-1 某些影响塑件尺寸因素的表达式

影响塑件尺寸的因素和类别	表达式	表达式中符号含义
工艺收缩误差	$\Delta l_i = \Delta l_0 (1 - e^{-v})$ $l_i = l_0 - \Delta l_i$	$\Delta l_i$ —尺寸偏差； $\Delta l_0$ —比例系数； $v$ —说明材料物理性能特点的系数； $t$ —过程时间； $l_i$ —变化的塑件公称尺寸； $l_0$ —最初的塑件公称尺寸值
热膨胀、磨损导致的塑件尺寸误差	$\Delta l_i = \Delta l_0 t$	
吸湿、老化导致的塑件尺寸误差	$\Delta l_i = \Delta l_0 t_\phi$	$t_\phi$ —常温
模具加工误差	$\Delta_u = f(k \sqrt[3]{D_H})$	$\Delta_u$ —模具制造误差； $D_H$ —公称尺寸； $k$ —与制造精度等级有关的系数
模具磨损误差	$\Delta_c = f(n)$	$n$ —成型周期数
塑件保存环境波动导致的误差	$\Delta x_p = a \Delta t_{0c} + \beta \Delta \beta_{0c}$ $\beta = m t^n$	$\Delta x_p$ —保管环境条件波动导致的塑件尺寸变化； $t$ —吸湿时间； $a$ —塑料线膨胀温度系数； $\Delta t_{0c}$ —环境温度波动； $\Delta \beta_{0c}$ —环境湿度波动； $m$ 和 $n$ —与材料、塑件制备条件、塑件表面尺寸有关的因素； $\beta$ —吸湿速度系数

为了确保模塑件尺寸精度要求，分析各个影响因素的特点与性质，以评估其总误差，建立基本尺寸类型的误差结构式是必要的。尺寸总误差结构表达式为：

$$\Delta = \Delta_c + \Delta_u + \sqrt{\Delta_s^2 + \Delta_o^2 + \Delta_j^2 + \Delta_k^2} \quad (3.11-1)$$

其中， $\Delta$  为各因素所造成的总误差； $\Delta_c$  为模具磨损误差； $\Delta_s$  为收缩率波动误差； $\Delta_u$  为模具制造误差； $\Delta_o$  为毛边误差； $\Delta_j$  为模具活动间隙误差； $\Delta_k$  为工艺操作误差。

Ю.А. 沃尔布耶夫 (Ю.А. ВОРБЬЕВ) 进行了一系列分析研究，建立了 20℃ 时模塑件尺寸  $d$  的公式

$$d = \frac{P_\phi (1 + a_\phi t_{\phi 1}) + l a_t (t_H - t_u) (1 + a_t t_2)}{[1 + a_t (t_H - t_u) (1 + a_t t_2)]} \quad (3.11-2)$$

其中， $P_\phi$  为模具尺寸； $a_\phi$ ， $a_t$  为相当于在正常温度和工作温度下的模具材料线胀系数（对于钢， $a_\phi = (11 \times 10^{-6}) \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ； $t_{\phi 1} = t_{\phi u} - t_\phi$  为模具工作温度与正常温度之差； $t_H$  为塑件开始收缩时的温度； $t_u$  为塑件温度， $t_2 = t_u - 20^\circ\text{C}$ ； $l$  为零件尺寸（妨碍收缩的部分）。

### 3.11.2 塑件尺寸公差与精度

由分析可知，影响塑件尺寸精度的因素甚多，也很复杂。通常借助于模塑件尺寸公

差标准，作为确定其尺寸精度等级的依据。

直到目前为止，为国人所公认、且应用颇广的部颁标准有 WJ1266—81 和 SJ1372—78。这两个标准有相似之处，但以后者应用较广。国家模塑件尺寸公差标准 GB/T14486—93，见附录表 18.2-1。

SJ1372—78 标准如表 3.11-2 和表 3.11-3 所示。把这两个表配合起来使用，先由表 3.11-3 中根据塑件材料类别，选定适宜的尺寸精度等级，再由表 3.11-2 中查出其名义尺寸的公差值。该标准适用注塑模塑、压缩模塑及压注模塑等成型的热固性模塑件与热塑性模塑件的尺寸公差。尺寸精度等级共八级，一级精度最高，八级精度最低，1、2 级精度很少使用。基本尺寸范围为 3~500mm，共分为 25 个尺寸段。尺寸公差值的确定如下：基准孔的下偏差为零，上偏差为正，即在表值前加以“+”号。基准轴的上偏差为零，下偏差为负，即在表值前冠以“-”号。长度尺寸公差以上下均布的偏差表示，即为  $\pm 1/2$  表值。受模具活动部分如活动型芯影响的尺寸，跨越分型面的尺寸不能选用高精度，其公差值等于表值加附加值。附加值取决于尺寸的精度等级，2 级精度的附加值为 0.05mm，3~5 级精度的附加值为 0.1mm，6~8 级精度的附加值为 0.2mm。

表 3.11-2 SJ1372—78 公差数值

公称尺寸/mm	精度等级							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	公差数值							
~3	0.4	0.6	0.08	0.12	0.16	0.24	0.32	0.42
3~6	0.5	0.7	0.08	0.14	0.18	0.28	0.36	0.56
6~10	0.6	0.8	0.10	0.16	0.20	0.32	0.40	0.64
10~14	0.7	0.9	0.12	0.18	0.22	0.36	0.44	0.72
14~18	0.8	0.10	0.12	0.20	0.24	0.40	0.48	0.80
18~24	0.9	0.11	0.14	0.22	0.28	0.44	0.56	0.82
24~30	0.10	0.12	0.16	0.24	0.32	0.48	0.64	0.94
30~40	0.11	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.72	1.00
40~50	0.12	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.80	1.20
50~65	0.13	0.16	0.22	0.32	0.46	0.64	0.92	1.40
65~80	0.14	0.18	0.24	0.38	0.52	0.76	1.04	1.60
80~100	0.16	0.22	0.30	0.44	0.60	0.88	1.20	1.80
100~120	0.18	0.25	0.34	0.50	0.68	1.00	1.36	2.00
120~140		0.28	0.38	0.56	0.76	1.12	1.52	2.20
140~160		0.31	0.42	0.62	0.84	1.24	1.68	2.40
160~180		0.34	0.46	0.68	0.92	1.36	1.84	2.70
180~200		0.37	0.50	0.74	1.00	1.50	2.00	3.00
200~225		0.41	0.56	0.82	1.10	1.64	2.20	3.30
225~250		0.45	0.62	0.90	1.20	1.80	2.40	3.60
250~280		0.50	0.68	1.00	1.30	2.00	2.60	4.00
280~315		0.55	0.74	1.10	1.40	2.20	2.80	4.40
315~355		0.60	0.82	1.20	1.60	2.40	3.20	4.80
355~400		0.65	0.90	1.30	1.80	2.60	3.60	5.20
400~450		0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	4.00	5.60
450~500		0.80	1.10	1.60	2.20	3.20	4.40	6.40

表 3.11-3 各类塑料精度等级的选用

类别	塑料名称 (举例)	高精度	一般精度	低精度
I	聚苯乙烯 苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚体 聚甲基丙烯酸甲酯 聚碳酸酯 聚砒 酚醛塑料粉、氨基塑料粉 玻璃纤维增强塑料	3	4	5
II	聚酰胺 6, 66, 610, 9, 1010 氯化聚醚 聚氯乙烯 (硬)	4	5	6
III	聚甲醛 聚丙烯 高密度聚乙烯	5	6	7
IV	聚氯乙烯 (软) 低密度聚乙烯	6	7	8

精密模塑件的精度，应具备以下条件：保证其耐气候性至少要在 10 年以上，若为齿轮，则须要达 3~4 级精度，一般尺寸精度误差应在  $50\mu\text{m}$  以内。对于自动安装的基准尺寸及小塑件来说，其尺寸误差应控制在  $10\sim 15\mu\text{m}$  以内，某些重要塑件的配合尺寸精度，必须从结构上通过计算获得。

以下就确定塑件尺寸公差的方法与公式作简要介绍，作为分析选用塑件尺寸公差时参考。塑件的尺寸公差  $\Delta$  为：

$$\Delta = \delta (1 + \nu_2) + \nu_2 (1 + \nu_1) D + C (1 + \nu_2) \quad (3.11-3)$$

其中， $\nu_2 = \beta_0 - \beta$ ； $\nu_1 = \delta_0 - \delta$ ； $\Delta$  为塑件尺寸公差； $\delta$  为模具制造实际误差； $\delta_0$  为模具制造预定误差； $\beta_0$  为塑件预定收缩率； $\beta$  为塑件实际收缩率； $\nu_1$  为模具制造误差波动值； $\nu_2$  为塑件收缩率波动值； $C$  为模具在使用中的磨损； $D$  为塑件公称尺寸。

在对一些参数作简化处理后，利用式 (3.11-3) 计算的塑件尺寸公差主要适用于注塑件。对于其它方法成型的塑件，其尺寸公差计算值可作为参考。

当然最简单的求法，是由表 3.11-3 和 3.11-2 直接确定。若塑件的基本尺寸大于 500mm 时，可按以下公式求解确定。

$$\Delta = HI = H (D^{0.1} + 0.027D) \quad (\mu\text{m}) \quad (3.11-4)$$

式中  $H$ ——精度等级系数，由表 3.11-4 查取；

$I$ ——公差单位 =  $(D^{0.1} + 0.027D) (\mu\text{m})$ ；

$D$ ——塑件公称尺寸 (mm)。

若为受模具活动部分影响的尺寸，其公差值可放宽 0.2~0.3mm。

表 3.11-4 塑件精度等级系数  $H$ 

SJ1372-78	1	2	3	4	5	6	7	8
等级系数 $H$	40	55	75	110	150	220	300	440



### 3.11.3 塑件表面质量

与金属零件一样，塑件的表面粗糙度对它的使用性能是有影响的。塑件强度与它的表面粗糙度有直接关系。表面显微不平的凹陷处正是应力集中处。且凹陷愈深，它的半径愈小，则应力集中就愈大。因此，表面具有凹凸条纹塑件的强度比金属件差得多。另外，粗糙度大的塑件，表面的耐腐蚀性就差些。

塑件表面粗糙度，与其成型加工方法、模具结构、成型工艺条件、塑料材料性能等一系列因素有关。以注射成型而论，它与注射压力、材料熔融温度、模具温度、保压时间及塑件在模具中的冷却时间等有关。

成型模具，无疑对塑件表面粗糙度影响较大。然而，不是在所有情况下，塑件均能准确地转印模具的表面加工状况。

提高塑件持久性和可靠性的方法之一，就是针对具体的使用条件，为其选择最好的表面粗糙度。为此，在一定范围内，依靠塑件表面粗糙度的理想化，来调整它的强度、摩擦系数和耐磨性。在塑件和模具成型零件图纸的相应表面上，应标明表面不平整方向。特别是在表面粗糙度高的情况下，表面不平整方向应当垂直于在使用期间塑件所承受载荷的作用力方向。在设计模具时，要考虑模具表面粗糙度对塑件表面粗糙度的影响，针对具体的聚合物材料品种来设计模具。如表 3.11-5 和表 3.11-6 所示的内容，可根据塑件所要求的表面显微几何结构来选择模具的表面粗糙度。因为机械加工后的塑件表面粗糙度高，它的耐磨性、强度会相应降低，因此，在机械加工后，应采用专门降低表面粗糙度的办法，使它的性能得到改善。

表 3.11-5 模具表面粗糙度对注塑件表面粗糙度的影响

注塑模工作表面			注塑件表面粗糙度/ $\mu\text{m}$				
加工方法	梳状物方向	粗糙度/ $\mu\text{m}$	SB <sup>①</sup>	IPS	LDPE	HDPE	PP
精磨	顺着	0.12	0.024	0.13	0.18	0.25	0.20
	横着	0.21	0.05	0.17	0.22	0.26	0.26
磨光	顺	0.18	0.02	0.29	0.28	0.20	0.26
	横	0.46	0.26	0.36	0.34	0.26	0.55
铣	顺 横	RZ <sup>②</sup> 3.4	1.2	1.6	0.4	0.72	1.9
		RZ4.6	RZ3.7	1.9	RZ4.1	RZ3.0	RZ3.5
刨	顺 横	RZ4.2	1.5	0.85	1.1	1.6	1.35
		RZ8.0	RZ6.2	RZ7.2	RZ5.6	RZ7.4	RZ7.4

①SB、IPS 依次为苯乙烯与丁二烯的共聚物，抗冲击聚苯乙烯；  
②RZ 为十点断面不平整高度，即在标准长度范围内，五个点最大断面突起部和五个点最大断面凹陷处的平均算术绝对偏差的总值。

表 3.11-6 ACT-T 塑件试样表面粗糙度与其模具表面质量的关系

模具表面粗糙度参数	表面不平整尺寸 <sup>①</sup> /μm		模具表面粗糙度参数	表面不平整尺寸 <sup>①</sup> /μm	
	模具	试样		模具	试样
$R_z$	$\frac{0.065 \sim 0.09}{0.12}$	$\frac{0.25}{0.40}$	$\frac{R_2}{R_z}$	$\frac{1.9}{14 \sim 16}$	$\frac{1.0}{1.35}$
$R_z$	$\frac{0.30 \sim 0.28}{0.58 \sim 1.06}$	$\frac{0.38}{0.80}$	$\frac{R_2}{R_z}$	$\frac{1.6 \sim 2.0}{7 \sim 8}$	$\frac{2.20}{5}$

①分子是表面不平整方向顺着试样的数值，分母为表面不平整方向横过试样的数值。

从塑件表面功能出发，有根据地对其表面粗糙度提出要求，例如有时根据塑件的使用性能要求，对其表面缺陷如擦伤、气泡、凹痕、云纹等的尺寸、数量及其分布情况加以限制。

## 3.12 塑件设计中的 CAD

### 3.12.1 CAD 的特点及应用

CAD 技术，是设计人员在计算机系统的辅导与帮助下，根据一定的设计流程进行产品设计的一项专门技术，是人的智慧和创造力与计算机软硬件功能的巧妙结合。设计人员通过人一机交互操作方式进行产品设计构思，直观、形象地建立几何模型，快速准确地进行性能分析和计算，进而利用专用信息库（数据库和图形库）进行结构设计、详细设计，编制技术文件、绘制工程图。但 CAD 不能代替人们的设计行为，而是实现这些行为的一种先进工具，或者说，是结合具体设计过程，提供一套具有智能性质的辅助手段。人们的设计行为，则由专业技术人员的创造力和工作经验以及设计方法学，所提供的科学思维方法和实施方法来认定。

由 CAD 概念可知，无论是产品设计构思，建立几何图像，还是性能分析计算，乃至最后输出工作图，都离不开图形。因此，CAD 技术的核心是图形处理。它主要包括以下内容：

(1) 图形输入和输出。把设计人员构思的产品几何图形，转化为计算机信息贮存于计算机内，必要时在计算机屏幕上再显现产品几何图形，或在打印机、绘图机上输出图形。

(2) 图形变换。有两种，一种是几何形状和位置的变换，如图形的旋转、位移、比例、镜像、投影、透视、窗口等变换；另一种是非几何属性的变换，如灰度、色彩、明暗等变换。

(3) 图形组合分解及运算。用简单图形组成复杂图形，或将复杂图形分解成简单图形，以及对图形之间进行布尔运算（逻辑和、逻辑乘、逻辑差运算）。

(4) 图形编辑。对图形进行裁剪、拼接、删除、复制等操作，称为图形编辑。实际上，图形变换也属图形编辑的内容。此外，属于图形编辑范畴的还有，如交点、交线、交面的计算，隐线、隐面的消除，彩色图形真实感显示等。

为此，CAD 系统的配置应为：PC486 以上的微机，8M 以上的内存，带协处理器。

图形卡为 VGA 或更高、鼠标器, AI 以上绘图机。支持软件有: DOS5.0 以上的操作系统、AutoCAD10.0 以上绘图系统, SPA 有限元计算模块。

塑件设计属软科学范畴, 其综合性能强、技术要求高, 需要设计人员具有丰富的经验、创造思维和开拓能力。若能采用设计辅助性之先进工具 CAD 技术, 可极大缩短产品开发周期, 提高塑件设计质量, 大大降低或从根本上消除塑件样品试制费用。不仅如此, 采用 CAD 技术还能把设计人员, 从日常的、繁琐的、重复性的、事务性的工作中解脱出来, 集中精力于产品设计的构思等创造性劳动中去, 以利于提高设计人员水平, 从而更好地、更多地完成新产品设计任务。

### 3.12.2 目录编制与信息库

设计目录又称设计信息库, 是任何制品设计过程必不可少的。信息库有三种不同类型, 即对象信息库、作业信息库及解法信息库。

(1) 对象信息库。对象信息库所储存的是设计塑件所必需的物理、几何、流变学、热力学、模塑工艺和树脂材料性能等方面的基本知识和信息。诸如塑件成型加工方法、工艺流程及其有关工艺参数, 塑料加工性能及各种性能数据, 以及塑件几何形体的表面积、体积、重心位置、惯量、惯性矩等。

(2) 作业信息库。该信息库储存系统性程式设计范围内的各关键作业、作业序列及其使用条件和判别准则。诸如不同功能几何结构的生成规则, 几何造型的生成规则, 分功能解法的选择方法、数值解法(有限元法、差分法)、强度计算方法等。该库还可储存产品目录、设计手册及各种标准等资料。

(3) 解法信息库。它为某一种功能或某一类功能设计提供具体解法。因此, 对某一确定目标, 都应有相对应的不同解法。在解法信息库中, 应尽量广泛收集对应于某一特定功能问题的各种解法加以储存备用。

建立信息库时对各类信息知识目录的编排要考虑设计阶段及各阶段的任务, 既要保存信息知识的系统性、严密性, 又要便于调用。

### 3.12.3 塑件设计中的 CAD

#### 一、塑件构思与几何造型

当设计者根据塑件功能要求、使用条件、使用对象等, 对塑件几何结构、外部造型的构思形成以后, 就可用 CAD 系统的几何造型软件进行塑件的整体设计。

几何造型软件能形成线框图形、表面图形或实体图形, 能进行删除、修改、拼接、组合等图形编辑工作, 还能作体与体、面与面之间的干涉检验。几何造型软件具有图形变换能力, 能在屏幕上旋转、平移、收缩图形, 使人从各个方向观察到塑件的立体结构, 还能依靠变更光源个数、方向和强度等来变换塑件的装饰色彩, 造成色彩浓淡和明暗效果。它能把塑件模型变换成表面模型、线框图, 然后投影而获得三视图及所需的辅助视图。它还能形成半透明的塑件图, 能从塑件外壳看到其内部的几何结构。

#### 二、设计目录编制

设计目录是一个具有设计过程的信息库, 它储存的内容有技术要求说明、原理图、计算公式、简图、图表、原材料性能数据等。

建库时必须依据塑件设计阶段的需要,设计调用所需信息资料的程序及步骤、具体设计内容及清单,以及用什么手段将其转化为设计课题或设计任务,按照设计内容和一定的隶属关系,以专用命令把字符、数据、公式、图表、图案等专用信息输入贮存于数据库和图形库。使用时设计者能靠专用命令,全面、准确、快速、方便地进行信息检索、屏幕显示、打印输出,获取相应的设计专用信息资料。

### 三、设计分析计算及优化

塑件设计的分析计算及优化工作,几乎贯穿在设计过程的各个环节之中。当塑件几何结构初步确定后,可用有限单元法、差分法及图形展平技术等对塑件材料成型充模流动,热交换及塑件应力进行模拟分析,对塑件结构反复修改,使其达到最优化设计。

#### 1. 有限单元 (FEM)

有限单元是把物体视作一连续体,把它分成若干个微小单元(有限单元),并把它们视作为骨骼的构成部件,再列出平衡条件公式,组成一个与骨骼完全相同的式子,利用计算机进行结构分析。

图 3.12-1 是把对变形具有无限自由度的物体近似地看作对变形体具有有限自由度的有限单元的集合体,并对这个集合体相对应的方程式进行解析,它是以偏微分方程的变分法奠定的解析法为基础的。现在已开发了很多通用程序,只要按程序规则制作出数据,无论塑件形状多复杂,也能获得满意答案。图 3.12-2 为各种有限单元示例,图中黑点为有限单元节点,单元通过该点与其它单元结合,力通过该点传递。



图 3.12-1 有限单元法 (二维场合)

A—领域; B—边界; C—有限单元。

#### 2. 差分法

差分法是将物体的支配方程式在区域内所确定的各格子点用差分法来进行解析,如图 3.12-3 所示。描述解析对象的方程式多属偏微分方程式,如在图示的差分法中,关于支配方程式中的未知函数  $f(x, y)$  的偏微分等于:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f(x + \Delta x, y) - f(x, y)}{\Delta x}; \quad \frac{\partial f}{\partial y} \approx \frac{f(x, y + \Delta y) - f(x, y)}{\Delta y}$$

据此换写成支配方程式,  $f(x, y)$  值就是在给定边界条件范围内顺序划出的格子点。具体说,函数  $f(x, y)$  即是应力、流速、温度等。

#### 3. 熔体粘度

熔体粘度是剪切速率和温度的函数,也是传导热和摩擦热的函数。为了进行模拟充模流动,首先要建立一维流动模型,如图 3.12-4 所示。

对于二维结构的塑件,可将其分为若干个流动区段,按熔体流动路径把一维流动单元串联起来进行流动分析。一维流动单元有圆柱形、圆管形、具有中心浇口的圆板形、

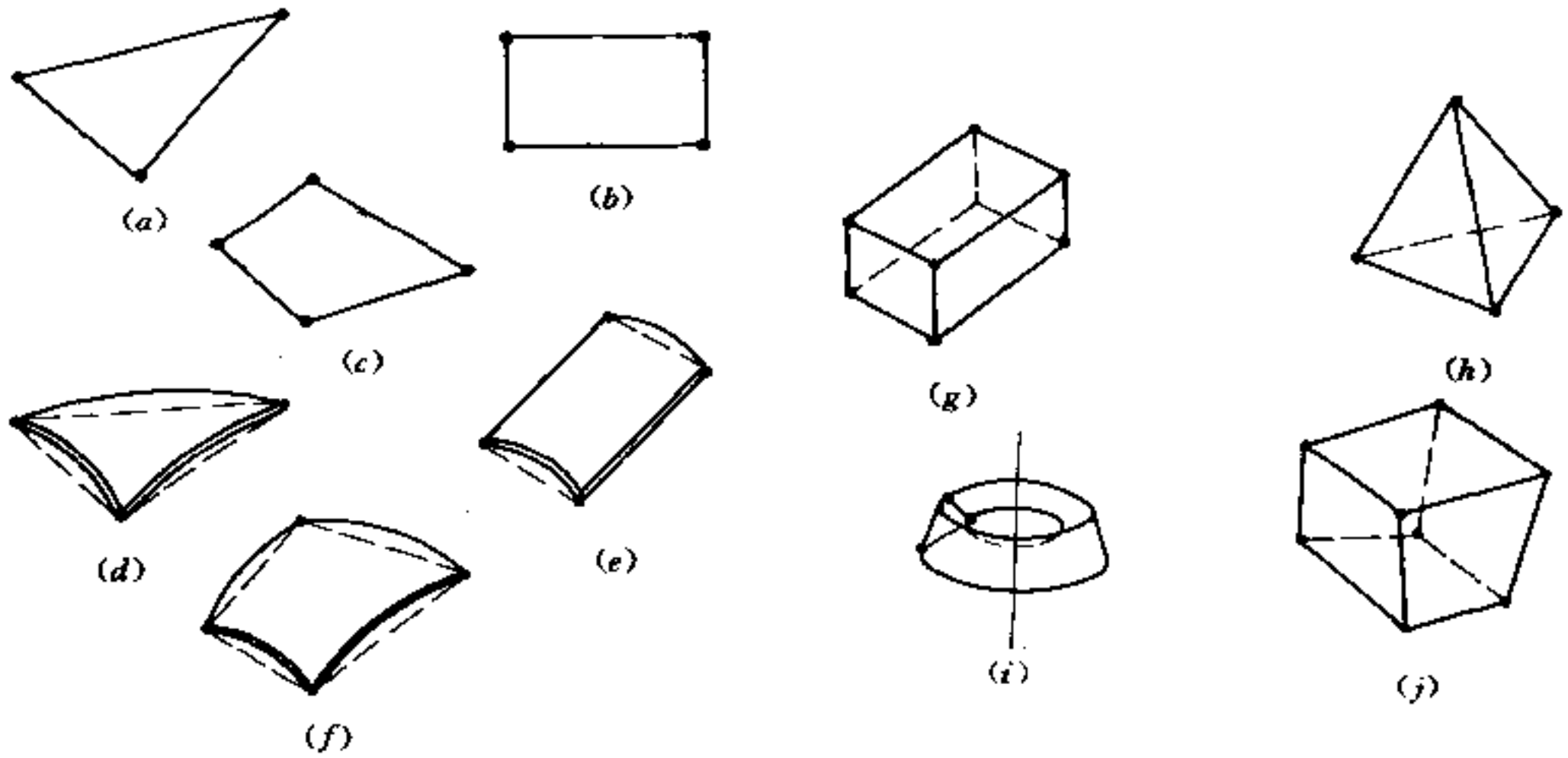


图 3.12-2 有限单元示例

(a) 三角形单元; (b) 长方形单元; (c) 四边形单元;  
 (d) 三角形曲板单元; (e) 长方形曲板单元; (f) 四边形曲板单元;  
 (g) 立方体单元; (h) 四面体单元; (i) 三角形环单元; (j) 六面体单元。

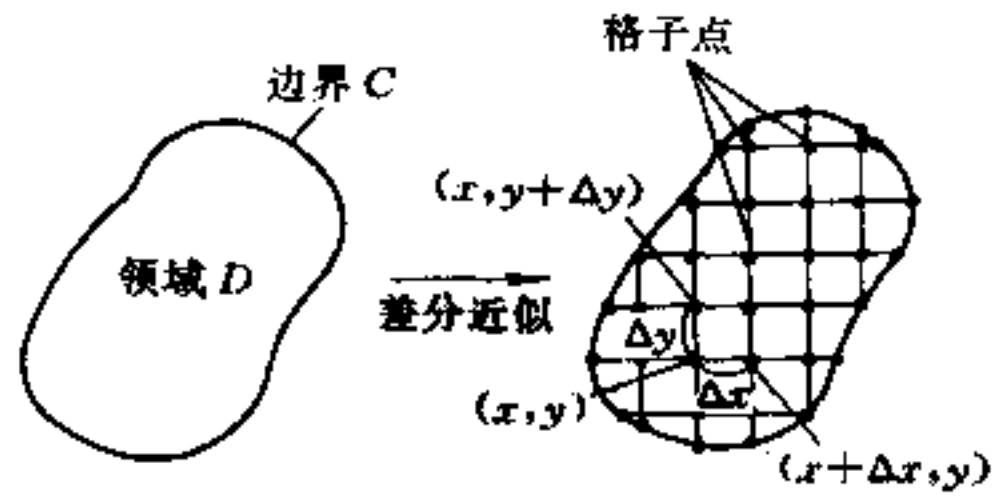


图 3.12-3 差分法 (二维场合)

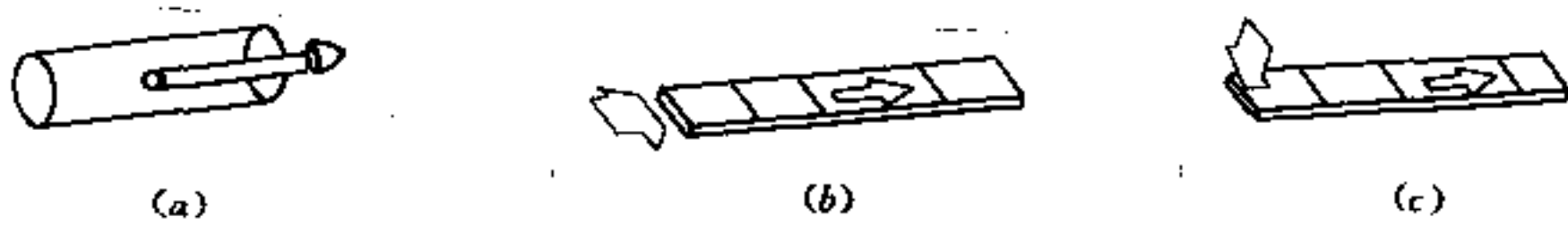


图 3.12-4 一维流动模型

(a) 圆柱流动; (b) 矩形板流动; (c) 径向流动。

具有边缘浇口的平板形及具有内缘浇口的圆环形, 还有梯形块和圆锥形等。

对于三维形状的塑件, 设计者可借助于交互式程序, 指定需展平的平面和旋转轴, 程序便按三维形状表面模型的数据结构, 逐步将塑件展平成二维展平图。图 3.12-5 为塑件展平图。当获得二维展平图、确定流动路径和流动单元后, 便可借助二维流动分析程序来模拟熔体在型腔内的流动, 获得任意时刻熔体流动的前沿位置及其温度场、速度场、压力场和熔接线位置。

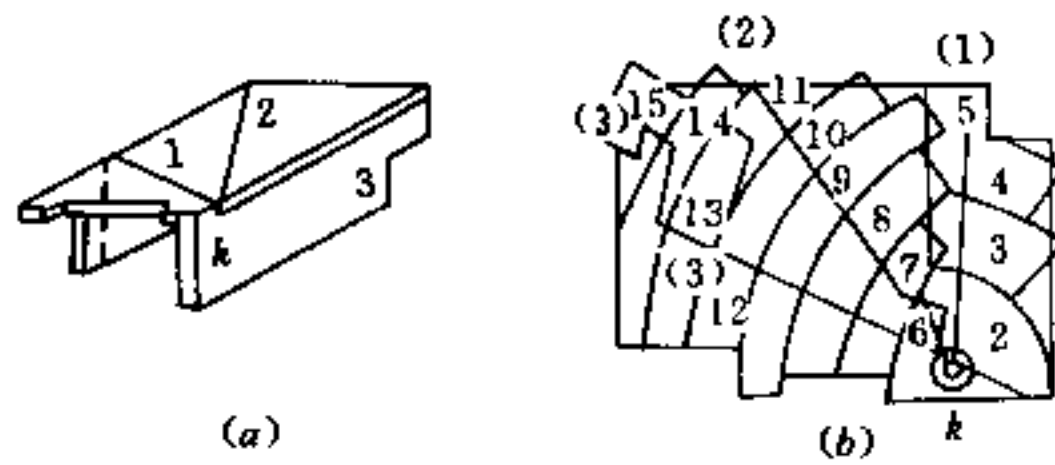


图 3.12-5 塑件展示图

(a) 塑件图; (b) 塑件展平图;  $k$ —进料口。

利用上述方法,可模拟塑件的充模成型,通常要输入模具材料、塑件几何图形、材料、质量和加工条件,以及冷却孔道数据等。通过充模成型模拟分析,可得到以下结果:

- (1) 确定最适合的塑料材料;
- (2) 把熔接线调整到塑件上最适宜的部位;
- (3) 确定进料口在塑件上的最佳位置;
- (4) 修正塑件上不合理的壁厚;
- (5) 改正塑件上不利成型的几何形状;
- (6) 使塑件满足使用性能要求等。总而言之,使塑件的设计更加合理、达到优化设计的效果。

#### 3.12.4 塑件图输出及其评价

利用 CAD 系统中的丰富的图形库和标准库,以及其它具有尺寸标注和字符注释软件、图面布置软件、绘图机支撑软件等,对各种基本构件进行调用、局部拼接、剪切、修改或套用等办法,最后形成联接结构复杂的塑件结构图。由几何造型所形成的三维图形直接变换成各种视图和剖视图,安排好图面,对图形作详细注释、标注尺寸及技术要求等。依靠计算机软件自动校核,由绘图机出图。

CAD 系统中有丰富的数据库、图形库及评价软件等。可利用设计评价软件进行评价工作,把评价结果用排版软件编排成自己所需的各种技术报告、经济报告和表格。把这些技术资料与设计说明书打印、装订成册,加上设计图纸等形成一套完整的技术文件。

#### 参 考 文 献

- 1 唐志玉,徐佩弦主编,塑料制品设计师指南,北京:国防工业出版社,1993
- 2 邹立谦,塑料制品设计,北京:机械工业出版社,1991
- 3 (日)白石顺一郎著,注塑成型模具,许鹤峰译,北京:轻工业出版社,1989
- 4 张如彦等,塑料注射成型与模具,北京:中国铁道出版社,1987
- 5 钱志屏,塑料制品设计与制造,上海:同济大学出版社,1993
- 6 邱明恒主编,塑料成型工艺,西安:西北工业大学出版社,1994
- 7 叶蕊主编,塑料挤出成型技术,北京:金盾出版社,1992
- 8 上海化工学院等编,玻璃钢工艺学,北京:中国建筑工业出版社,1979

- 9 Sidney Levy, J. Harry DuBois 著, 塑料制品设计工程手册 (第二版), 黄棋允译, 北京: 轻工业出版社, 1990
- 10 Ronald D. Beck 著, 塑胶制品设计手册, 张志纯译, 北京: 徐氏基金会出版, 世界图书出版公司, 1991
- 11 網島貞男、下間頼一等编著, 大学課程機械設計学 (第2版), 東京: 才一△社, 昭和 60
- 12 [美] J. B. 戴姆著, 注射模具与注射成型实用手册, 北京: 化学工业出版社, 1987
- 13 (日) 沢田慶司, 塑料异型和复合挤出技术及制品开发, 朱焯男译, 北京: 化学工业出版社, 1987
- 14 (苏) E. H. 杰明著, 塑料压模设计, 化学工业设计院翻译科, 北京: 化学工业出版社, 1959



## 第四章 注射模设计

### 4.1 注射模概述

塑料的注射成型过程，是借助螺杆或柱塞的推力，将已塑化的塑料熔体以一定的压力和速率注入闭合的模具型腔内，经冷却固化定型后开模而获得制品。注射成型在整个塑料制品生产中占有重要位置。除少数几种塑料外，几乎所有的塑料都可以注射成型。据估计，注塑制品占有所有模塑件总产量的三分之一；注塑模具占塑料成型模具数量的二分之一以上。注射模应用十分广泛，且结构很复杂。

#### 4.1.1 注射模设计的特点

塑料注射模能一次性地成型形状复杂，尺寸精确，或带嵌件的塑料制件。注塑件生产中，通常以最终的塑料制品的质量来评价模具的设计和制造质量。

注塑件质量，包括外观质量和内在质量。从塑件的形状和尺寸精度来衡量外观质量，包括注塑件的表面粗糙度和外观缺陷状况。常见的表面缺陷有：凹陷、气孔、无光泽、发白、银纹、剥层、暗斑纹、烧焦、裂纹、翘曲、溢料飞边及可见熔合缝等。内在质量也就是性质质量，包括熔合缝强度、残余应力、取向、密度与收缩等。

作为先进的模具，须在使用寿命期限内保证制品质量，并要有良好的技术经济指标。这就要求模具动作可靠，自动化程度高，热交换效率好，成型周期短。其次，合理选用模具材料，恰当确定模具制造精度，简化模具加工工艺，降低模具的制造成本亦十分重要。

此外，在注射模设计时，必须充分注意到以下三个特点：

(1) 塑料熔体大多属于假塑性液体，能“剪切变稀”。它的流动性依赖于物料品种、剪切速率、温度和压力。因此须按其流变特性来设计浇注系统，并校验型腔压力及锁模力。

(2) 视注射模为承受很高型腔压力的耐压容器。应在正确估算模具型腔压力的基础上，进行模具的结构设计。为保证模具的闭合、成型、开模、脱模和侧抽芯的可靠进行，模具零件和塑件的刚度与强度等力学问题必须充分考虑。

(3) 在整个成型周期中，塑件-模具-环境组成了一个动态的热平衡系统。将塑件和金属模的传热学原理应用于模具的温度调节系统的设计，以确保制品质量和最佳技术经济指标的实现。

尽管注射模具设计和制造的技术难度较高。但由于注射成型方法有其它塑料成型方法无法取代和比拟的优点，已引起人们普遍关注。注射模设计理论及方法，已经历了从经验设计到理论设计的过程。我国正在加紧开发研制注塑模设计的 CAE/CAD/CAM 实

用软件。

### 4.1.2 注射模组成

凡是注射模，均可分为动模和定模两大部件。注射充模时动模与定模闭合，构成型腔和浇注系统。开模时动模与定模分离，取出制品。定模安装在注射机的固定模板上；动模则安装在注射机的移动模板上。图 4.1-1 为一典型的单分型面注射模。根据模具上各个零件的不同功能，可由以下 7 个系统或机构组成：

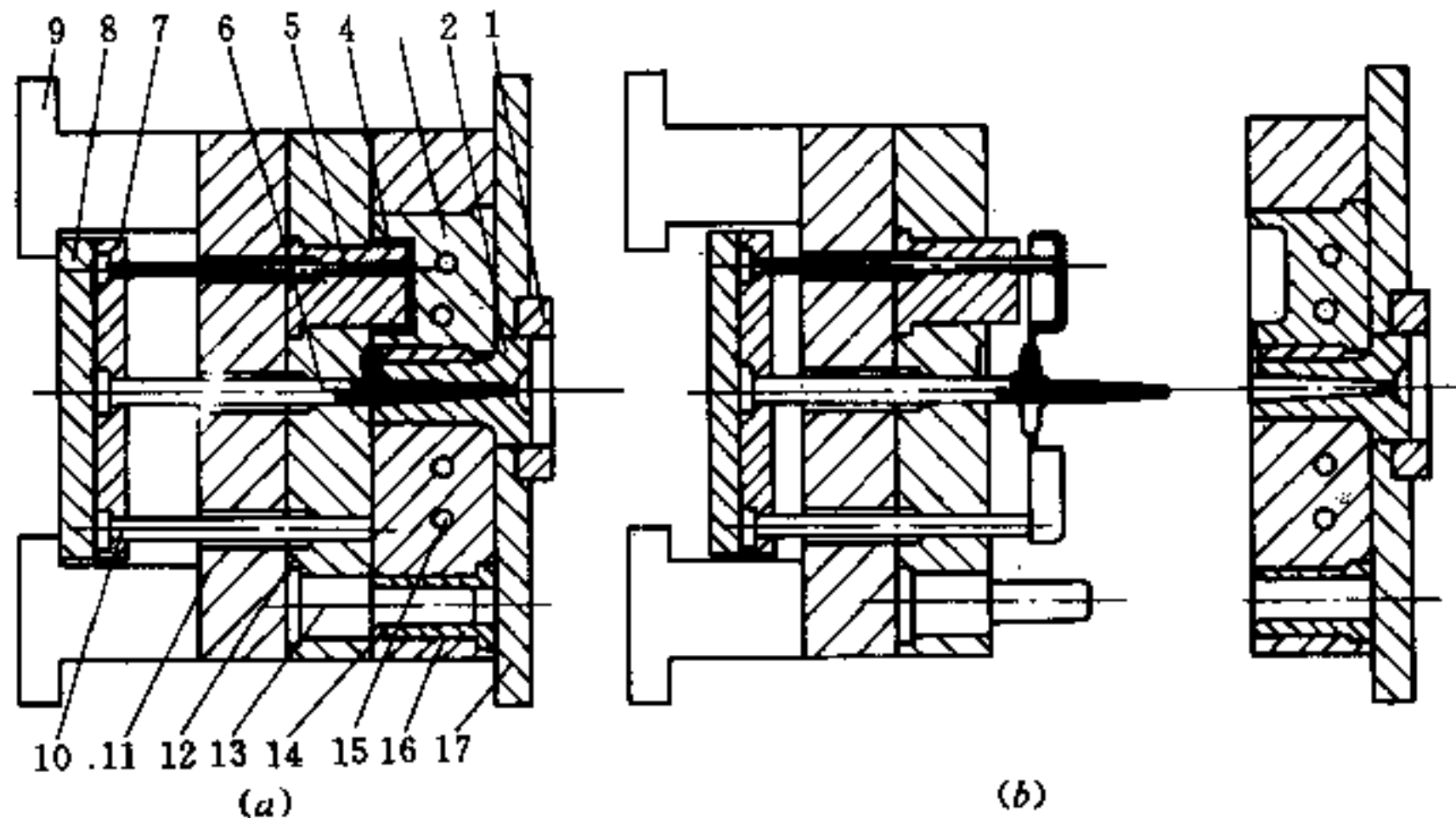


图 4.1-1 单分型面注射模

(a) 闭合充模；(b) 开模取件。

1—定位环；2—主流道衬套；3—凹模；4—凸模；5—顶杆；6—拉料杆；7—顶出固定板；  
8—顶出板；9—动模座；10—回程杆；11—动模垫板；12—动模板；13—导柱；  
14—导套；15—冷却水管道；16—定模板；17—定模安装板。

(1) 成型零件 指构成型腔，直接与熔体相接触并成型塑料制品的零件。通常有凸模、型芯、成型杆，凹模、成型环、镶件等零件。在动模和定模闭合后，成型零件确定了塑件的内部和外部轮廓和尺寸。图 4.1-1 所示模具，型腔是由凹模 3、凸模 4 和动模板 12 构成的。

(2) 浇注系统 将塑料熔体由注射机喷嘴引向型腔的流道称为浇注系统，由主流道、分流道、浇口和冷料井组成。

(3) 导向与定位机构 为确保动模和定模闭合时，能准确导向和定位对中，通常分别在动模和定模上设置导柱和导套。深腔注射模还须在主分型面上设有锥面定位。有时为保证脱模机构的准确运动和复位，也设置导向零件。

(4) 脱模机构 是指在开模过程的后期，将塑件从模具中脱出的机构。图 4.1-1 中脱模机构由顶杆 5、拉料杆 6、顶出固定板 7、顶出板 8 及回程杆 10 组成。

(5) 侧向分型抽芯机构 带有侧凹或侧孔的塑件，在被脱出模具之前，必须先进行侧向分型或拔出侧向凸模或抽出侧型芯。

(6) 温度调节系统 为了满足注射工艺对模具温度的要求，模具设有冷却或加热的温度调节系统。模具冷却，一般在模板内开设冷却水道。加热则在模具内或周边安装电

加热元件。有的注射模须配备模温自动调节装置。

(7) 排气系统 为了在注射充模过程中将型腔内原有空气排出，常在分型面处开设排气槽。小型腔的排气量不大，可直接利用分型面排气。也可利用模具的顶杆或型芯与配合孔之间间隙排气。大型注射模须预先设置专用排气槽。

### 4.1.3 注射模分类

(1) 按塑料品种分类。注射成型最早用于热塑性塑料制品加工，特别是大量地用于工程塑料的成型。目前，热固性塑料和橡胶也已大量应用注射模生产制品。它们需用专门的注射机进行塑化，注射至模具后在较高的温度下进行交联固化定型。低发泡塑料注射成型，是在塑料中加入一定量的发泡剂，在低发泡注射模的型腔内发泡膨胀后固化成型。聚氨酯等几种塑料可用反应注射方法成型。流动性好的反应液在模具内固化迅速。反应注射模是一种成型周期短，生产率高的注射模。共注射模具是以不同塑料或不同色泽熔体，分先后二次注射于模具内。注射成型对各种液态塑料有良好的适应性。液态塑料有不同的流动性；在型腔内的物理和化学固化成型过程也不同。因此，各种物料的注射模的结构各有其特点。

(2) 按模具型腔容量分类。一般将模具型腔容积  $3000\text{cm}^3$  以上，模具重量大于  $2\text{t}$ ，需锁模力约  $600\text{t}$  以上的注射模称大型注射模具。大型注射模的设计制造难度高，造价昂贵。必须慎重考虑塑料熔体流动性、模具的力学特性和温度调节系统。习惯上，又把模具型腔容积在  $100\text{cm}^3$  以下的注射模称为小型。介于两者之间为中型注射模。

(3) 按注射件尺寸精度分类。模塑过程中，塑件成型收缩率很难稳定地控制。高精度的注塑件生产涉及众多因素，是综合性技术难题。近年来在大批量生产中，电子、电器、仪表、照相机等精密产品里，接插件、齿轮、凸轮、支架板等塑料零件的精密注射技术有所进展。由此将中小型注射模中，成型精密级塑料件的模具称为精密注射模。这类模具能生产的精密塑件，应达到部级标准 SJ1372—78 中的 1~2 级精度，大致相当于金属件的国标 GB1800—79 中的 IT8~9 级精度。精密注射模的成型零件的加工精度达到 IT6~7 级，且型腔表面达到镜面。

除上述三种分类方法外，还可按所安装注射机类型，分成立式或卧式注射机用的注射模，或角式注射机上用的注射模。也可按模具成型型腔数目，分成单型腔和多型腔注射模。常用分类方法，是按注射模总体结构分类，详见下节。

### 4.1.4 注射模结构

注射模结构，主要取决于塑件的复杂程度及其浇注系统不同类型，有以下 7 种基本结构：

(1) 单分型面注射模。也称两板式注射模，见图 4.1-1。单分型面注射模的主流道设在定模一侧，分流道设在分型面上，开模后制件连同流道凝料一起留在动模一侧。动模上的脱模机构顶出制件和流道凝料。在打开的动模和定模之间，取走塑件和流道凝料。在模具重新闭合时，一般由回程杆 10 使脱模机构复位。

(2) 双分型面注射模。系泛指浇注系统凝料和制品由不同分型面取出。此类注射模亦称三板式注射模，如图 4.1-2 所示。与单分型模具相比，在定模边增加了一块可往复

移动的型腔板 13。此板也被称为型腔中间板，或流道板。多用于针点浇口的单型腔或多型腔模具。开模时 A 面分型，型腔板与定模板作定距分离，供人工取出浇注系统凝料。B 面分型时，型腔板 13 与脱模板 5 相分离。然后再由脱模机构经顶出板 9、顶杆 11 和脱模板 5，将塑件从型芯上脱出。

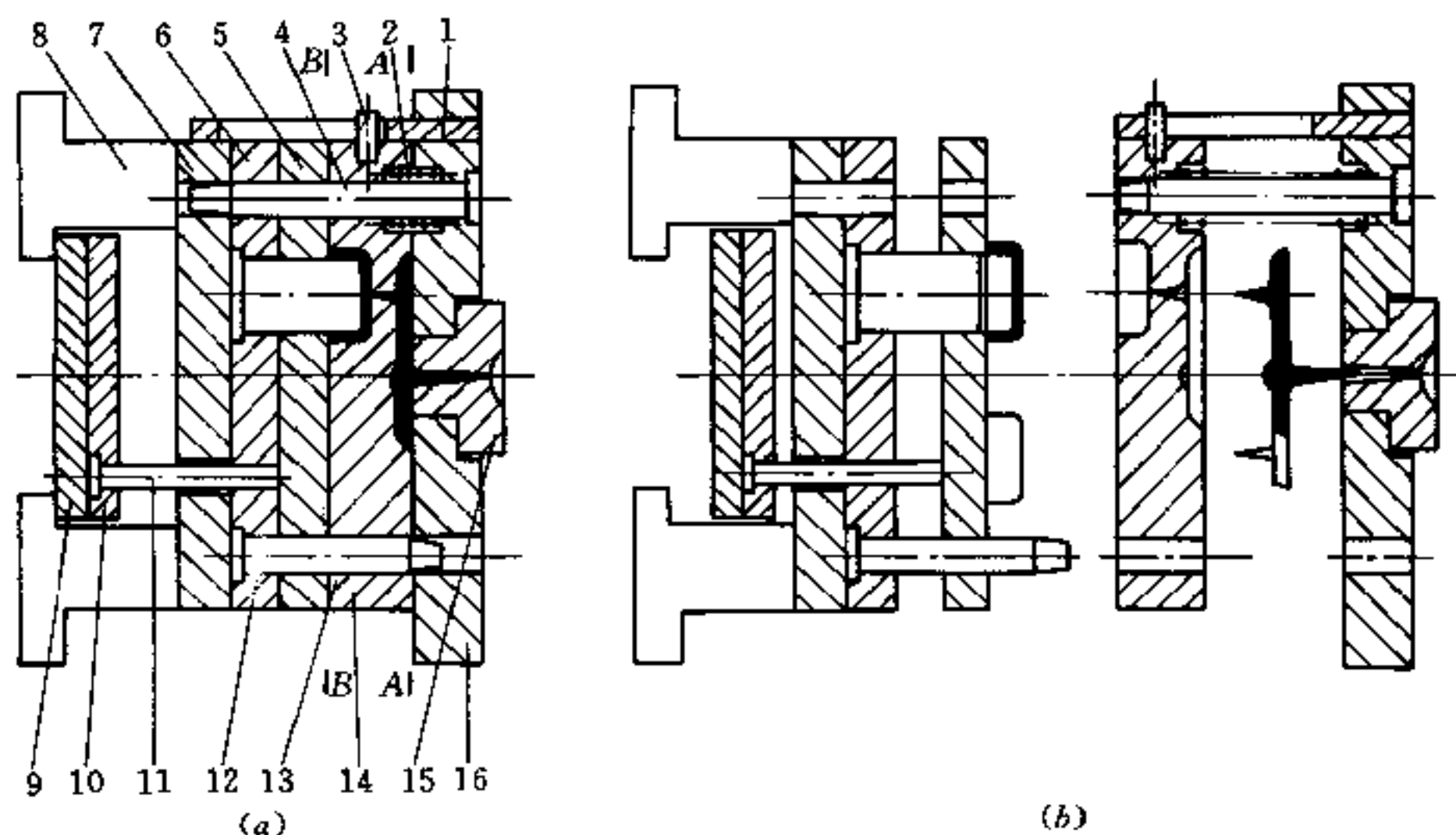


图 4.1-2 双分型面注射模

(a) 闭合充模；(b) 开模取出塑件和凝料。

- 1—定距拉板；2—压缩弹簧；3—限位销钉；4—导柱；5—脱模板；6—型芯固定板；  
7—动模垫板；8—动模座；9—顶出板；10—顶出固定板；11—顶杆；12—导柱；  
13—型腔板；14—定模板；15—型芯；16—主流道衬套。

(3) 侧向分型抽芯注射模。当塑件有侧孔或侧凹时，模具里设置斜导柱或侧滑块等组成的侧向分型或抽芯机构。开模时利用开模力，驱动侧滑块作侧向移动，使其与塑制件脱离。图 4.1-3 为斜导柱带动的侧向抽芯的注射模。这类模具也可用液压或气动实现其侧向分型或抽芯动作。

(4) 带有活动镶块的注射模。由于有些塑件上的特殊结构，如内外侧向有凹槽或凸台、及螺纹等，且生产批量较小时，可使用活动镶块连同塑件一起取出模外。然后由手工或简单工具使镶块与塑件分离，镶块再装入模具。活动镶块是构成型腔的成型零件，必须在模具中可靠定位与固定。图 4.1-4 是一副带有活动镶块的注射模。塑件为矩形箱体，但内侧有凸台。活动镶块 1 在脱模机构推出时，沿着滑套 2 和导向斜楔 3，与塑件一起脱出模外。取下塑件后，将此两个镶块杆在顶杆 10 上，在滑套和斜楔之间可靠定位。

(5) 倒装注射模。有时由于塑件形状限制，塑件留在定模；或根据塑件的特殊要求，塑件必须留在定模。这就要求在定模边设置脱模机构。图 4.1-5 就是这种倒装注射模的例子。盒状的塑件开模后留在定模的型芯 11 上。拉板 7 固定在脱模板 12 上。开模时销钉 5 随动模走完分型间距后，推动拉板，经脱模板将塑件从型芯上推出。

(6) 机动脱螺纹注射模。对带有内螺纹或外螺纹的塑件要求自动脱模时，在模具上设有可转动的螺纹型芯或型环。利用注射机的旋转运动或往复运动，或者设置专门的原

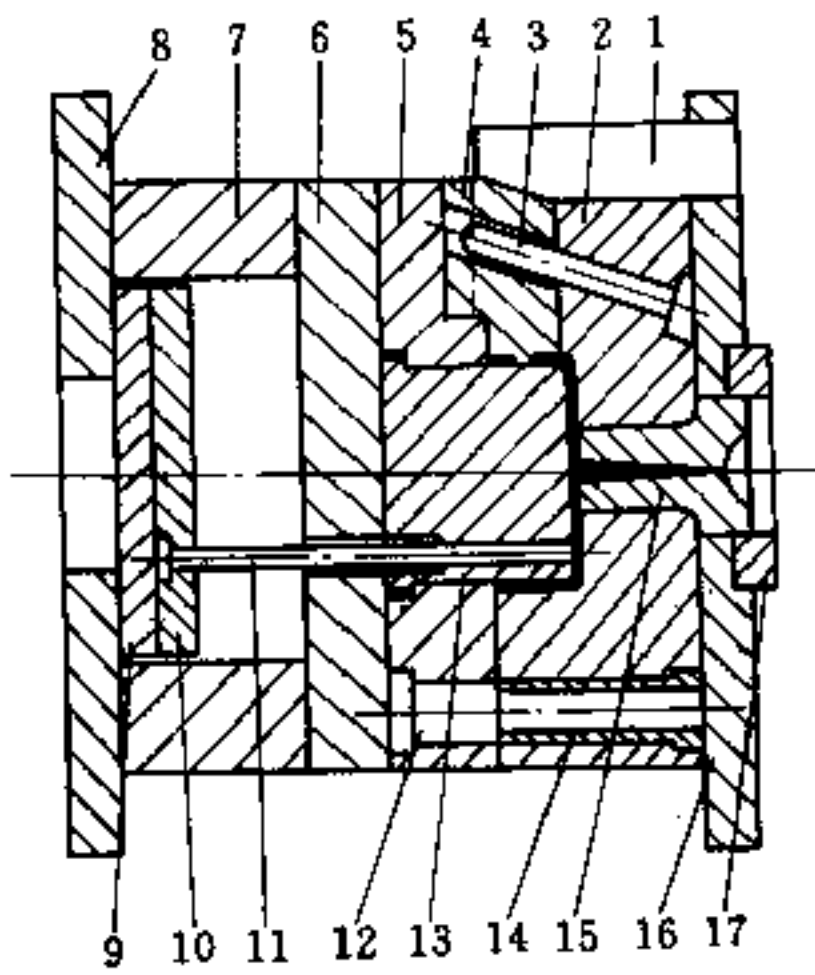


图 4.1-3 侧向抽芯注射模

- 1—锁紧楔；2—定模板；3—斜导柱；4—侧滑块；
- 5—动模板；6—动模底板；7—垫块；8—动模垫板；
- 9—顶出板；10—顶出固定板；11—顶杆；
- 12—导柱；13—凸模；15—主流道衬套；
- 16—定模固定板；17—定位环。

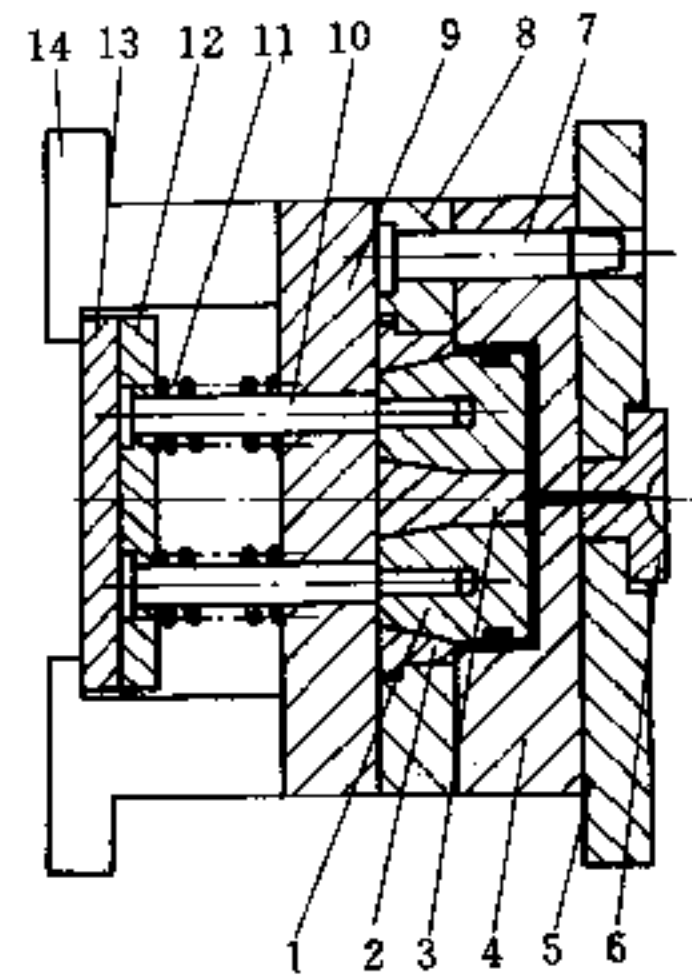


图 4.1-4 活动镶块注射模

- 1—活动镶块；2—滑套；3—导向斜楔；
- 4—定模板；5—定模固定板；6—主流道衬套；
- 7—导柱；8—动模板；9—动模垫板；10—顶杆；
- 11—压缩弹簧；12—顶出固定板；
- 13—顶出板；14—动模座。

动件，如电机、液电电机等，经机械传动驱动螺纹型芯或型环转动，迫使塑制件脱出。图 4.1-6 即为较简单的机动脱螺纹注射模。该模具安装在角式注射机上。模具在 B 分型面分开后，螺纹型芯 1 在注射机的丝杆直接驱动下转动，脱出内螺纹塑件。

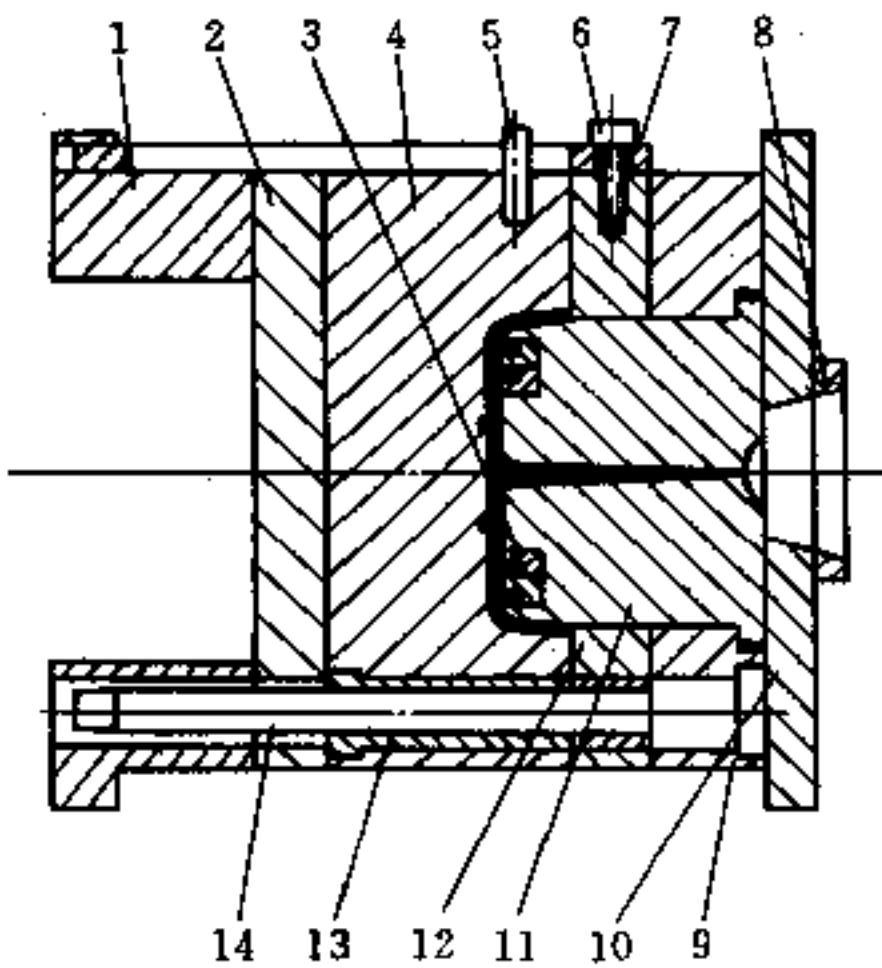


图 4.1-5 倒装注射模

- 1—动模座；2—动模垫板；3—成型镶片；
- 4—动模板；5—销钉；6—螺钉；7—拉板；
- 8—定位环；9—定模安装板；10—定模板；
- 11—型芯；12—脱模板；13—导套；14—导柱。

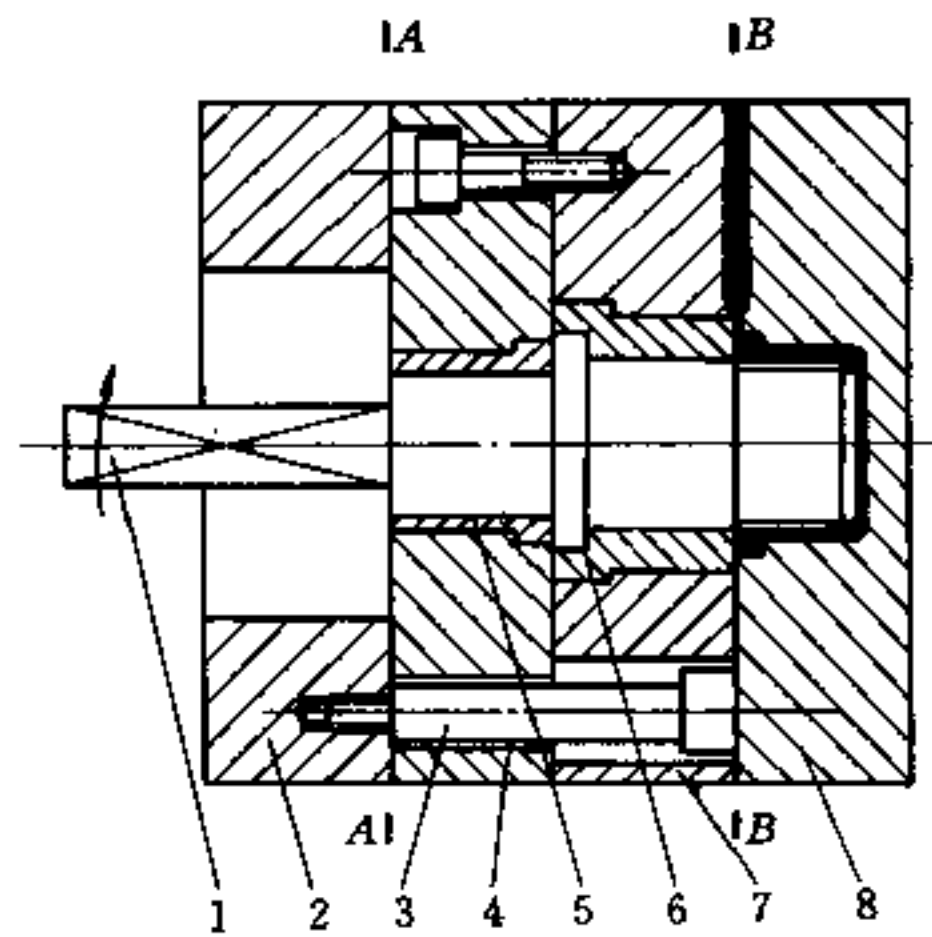


图 4.1-6 机动脱螺纹注射模

- 1—螺纹型芯；2—动模垫块；3—定距螺钉；
- 4—动模垫板；5—衬套；6—衬套；
- 7—动模板；8—定模板。

(7) 无流道凝料注射模。它包括用于热塑性塑料的绝热流道和热流道注射模；以及用于热固性塑料的温流道注射模等类型。采用对流道进行绝热或加热的方法，保持从注

射喷嘴到型腔浇口之间的塑料呈熔融状态。在每次注射后，只需取出塑制件而没有浇注系统的凝料。这就缩短了成型周期，也保证了压力在流道中的传递，这类模具将在4.14节中详细介绍。

#### 4.1.5 设计注射模须考虑的问题

注射模具设计应力争达到塑件质量与经济性的完美统一。先进的注射模设计应保证合理注塑工艺的实施，具有先进的结构，既有良好的可操作性、可靠性和完整性，又有零件的良好可加工性，并便于装配和修模。为此，必须考虑以下诸要素。

##### 一、型腔数的确定

最经济型腔数的确定，实质上是注塑件生产成本的经济核算。但在注射模设计初始方案决定阶段，由于浇注系统等技术参数尚属未知，下述型腔数的确定是一种估算的预测方法，一些参数要凭经验来假定。在模具设计完成后，可根据这个方法再细化，进行生产总成本和每个塑件成本的核算。

##### 1. 影响因素

影响最经济型腔数  $n_{\text{max}}$  的因素，有技术参数和经济指标两个方面。技术参数有锁模力、最小和最大注射量、塑化能力、模板尺寸和流变参数。这里只考虑注塑机锁模力和最大注射量两个主要参数。技术经济指标是从制品尺寸精度和经济效果考虑。对一模多腔整体嵌入式的注射模，影响型腔数的重要因素有如下四个：

##### (1) 注射机锁模力

$$n_1 = \frac{(F/P_C) - B}{A} \quad (4.1-1)$$

式中  $n_1$ ——由锁模力决定的型腔数；

$F$ ——注射机的锁模力(N)；

$P_C$ ——型腔内塑料熔体的压力(MPa)；

$B$ ——浇道和浇口在模具分型面上的投影面积(mm<sup>2</sup>)；

$A$ ——每个制件在分型面上的投影面积(mm<sup>2</sup>)。

浇道和浇口在分型面上投影面积  $B$ ，在模具设计前是未知值。根据对多型腔模的统计分析，大致是每个塑件在分型面上投影面积  $A$  的 0.2~0.5 倍，因此可用平均值 1.35 $A$  估算。型腔内塑料熔体的压力  $P_C$  主要由注射压力等决定，大致在 25~40MPa。易成型制品取低值；高粘度物料，制品精度高时取大值。实际所需锁模力应小于该台注射机的名义锁模力。为留有余地用 0.8 $F$  估算。因此实用估算式为：

$$n_1 = \frac{(0.8F) / P_C}{1.35A} = \frac{6F}{AP_C} \quad (4.1-2)$$

##### (2) 注射机的注射量

$$n_2 = \frac{G - C}{V} \quad (4.1-3)$$

式中  $n_2$ ——由注射量决定的型腔数；

$G$ ——注塑机的公称注射量 (cm<sup>3</sup>)；

$C$ ——浇道和浇口的总体积 (cm<sup>3</sup>)；



$V$ ——每个成型塑件的体积 ( $\text{cm}^3$ )。

生产中每次实际注射量应为公称注射量  $G$  的 (0.75~0.45) 倍, 现取  $0.6G$  进行估测。同样浇道和浇口的总体积  $C$  是未知值。据统计, 每个塑件所需浇注系统体积是塑件体积  $V$  的 0.2~1 倍。当物料粘度高, 塑件愈小, 型腔数越多又作平衡布置时, 浇注系统的体积甚至还要大。现以  $1.6V$  作为预测估算, 有

$$n_2 = \frac{0.6G}{1.6V} = \frac{0.375G}{V} \quad (4.1-4)$$

### (3) 塑件精度

根据经验, 模具每增加一个型腔, 塑件的尺寸精度要降低 4%。故有

$$n_3 = [ (M - d\%L_z) / (d\%L_z \cdot 4\%) ] + 1 \quad (4.1-5)$$

将上式简化得

$$n_3 = 2500 \frac{M}{dL_z} - 24 \quad (4.1-6)$$

式中  $n_3$ ——由塑件精度决定的型腔数;

$L_z$ ——塑件上决定制品精度的一个典型的公称尺寸 (mm);

$M$ ——该  $L_z$  尺寸的公差值的二分之一 (mm);

$d$ ——采用单型腔模具时, 该种注塑件能达到的公差系数。

$L_z$  可由塑件图上取尺寸较大, 精度等级最高的公称尺寸。公差系数  $d$  值主要取决于塑件材料的模塑收缩率, 反映收缩率波动可控范围, 大致是成型收缩率的十分之一。结晶型聚合物如 PA、POM 等, 可取  $d = (0.2 \sim 0.3)$ 。无定形聚合物 PS、ABS、PC 等, 可取  $d = (0.05 \sim 0.07)$ 。

例如有一 ABS 的套筒塑件, 其孔  $\phi 50$  有配合要求, 按 SJ1372—78 的 1 级至 4 级精度, 塑件孔的尺寸应是  $50^{+0.12}_0$ 、 $50^{+0.14}_0$ 、 $50^{+0.20}_0$ 、 $50^{+0.28}_0$ 。其  $L_z = 50$ , 对应  $M$  分别为 0.06、0.07、0.10、0.14, 取  $d = 0.05$  代入式 (4.1-6) 计算得  $n_3 = 36$ 、47、76、116。若是 POM 注塑件, 取  $d = 0.2$  代入后计算得  $n_3 = -9$ 、-5、1、11。出现负值即为不能达到制品的精度要求。

### (4) 经济效果的限制

设注塑机成型全部定货的总成本是

$$K = N \left( \frac{U\theta}{3600n_4} \right) + K_F + K_G + n_4 K_{M1} \quad (4.1-7)$$

式中  $K$ ——全部成型塑件的成本费(元);

$N$ ——塑件定货总数;

$n_4$ ——由经济效果决定的型腔数,  $n_4 = \sqrt{\frac{NU\theta}{3600K_{M1}}}$ ;

$U$ ——注射机每小时的加工费, 包括设备折旧、人工费、耗能等;

$\theta$ ——模塑成型周期(s);

$K_F$ ——对于总定货, 生产所耗塑料物料, 包括浇注系统凝料的总材料费;

$K_G$ ——与型腔数无关的模具制造成本;

$K_{M1}$ ——制造一个模具型腔嵌件的成本,  $K_M = K_G + n_4 K_{M1}$ 。



对于同样型号规格的注塑机, 由于生产厂不同, 新旧不同, 每小时的加工费  $U$  应有差异。注塑周期  $\theta$  主要根据注塑工艺而定。在塑件冷却时间确定后才能估测。模具的  $K_G$  成本大致上是参照标准模架价格。模具成本  $K_M$  也可由  $K_G$  乘上加工难度的扩大系数估算。其它还有模架寿命, 型腔嵌件寿命, 型腔嵌件置换备件, 试模和修模等众多成本问题, 都可以根据式 (4.1-7) 细化。

上述计算需对现有的各台注射机进行一遍。将每台注塑机的四种型腔数进行比较, 存在一个可行的型腔数。只有对所有注塑机上的花费总成本比较, 才可获得最小的也就是最佳的可行的型腔数  $n_w$ 。计算工作量是很大的。

## 2. 计算方法

### (1) 一般计算法

先进行  $n_1$ 、 $n_2$  和  $n_4$  综合考虑, 初步拟定最经济型腔数。再经精度、模板尺寸等校核后确定。然后可计算塑件生产总成本。

$$\text{若型腔数} \quad n = \frac{Q}{q} \quad (4.1-8)$$

式中  $Q$ ——注射机的技术参数, 前述  $F$  与  $G$ ;

$q$ ——与  $Q$  对应的注塑件的技术参数。

将  $Q/q$  替代式 (4.1-7) 中型腔数, 得

$$K = N \frac{U\theta q}{3600Q} + K_F + K_G + \frac{Q}{q} K_{M1} \quad (4.1-9)$$

当  $dK/dQ = 0$  时, 成型件的成本最低, 即

$$-\frac{NU\theta q}{3600Q^2} + \frac{K_{M1}}{q} = 0$$

得

$$\frac{U}{Q^2} = \frac{3600K_{M1}}{Nq^2\theta} \quad (4.1-10)$$

由此, 可安排计算步骤如下:

- 由已知  $N$ 、 $q$ 、 $\theta$  和  $K_{M1}$  计算得式 (4.1-10) 右侧数值;
- 将现有的各台注塑机  $U$  和  $Q$  计算式 (4.1-10) 左侧数值, 列成表格存放, 供查阅;
- 用计算的数值对照表格数值, 选定数值最相近的那台注塑机;
- 计算  $n = Q/q$ , 得初拟的型腔数;
- 对其余的技术参数如塑件精度、模板尺寸等加以校核, 确定最经济型腔数  $n_w \leq n$ 。

**[例]** 总订货量  $N = 3 \times 10^6$  件注塑制品。每一型腔所需锁模力  $q = 180\text{kN}$ , 注射机锁模力  $Q = 3000\text{kN}$ 。注射机每小时运行成本  $U = 28.5$  元。每个型腔嵌件成本  $K_{M1} = 2530$  元。拟定的循环周期  $\theta = 30\text{s}$ 。试确定最经济的型腔数。

**[解]** 计算现有的各台注射机的特征参数, 其中有一台锁模力  $Q = 3000\text{kN}$  的注塑机, 有

$$\begin{aligned} \frac{U}{Q^2} &= \frac{28.5}{3000^2} = 0.0317 \times 10^{-4} \text{元} / [\text{h} \cdot (\text{kN})^2] \\ \frac{3600K_{M1}}{Nq^2\theta} &= \frac{3600 \times 2530}{3 \times 10^6 \times 180^2 \times 30} = 3.14 \times 10^{-6} \text{元} / [\text{h} \cdot (\text{kN})^2] \end{aligned}$$

$$n = \frac{Q}{q} = \frac{3000}{180} = 16.6$$

经其余参数校核，取型腔数  $n_w = 14$ 。

### (2) CAD 计算法

按现有注塑机台数编号设为变量  $I$ ，建立注射机参数的数组，如前含义的  $F(I)$ 、 $G(I)$ 、 $N1(I)$ 、 $N2(I)$ 、 $N4(I)$ 、 $U(I)$ 、 $SITA(I)$ 、 $KG(I)$ 、 $N(I)$ 和  $K(I)$ 。

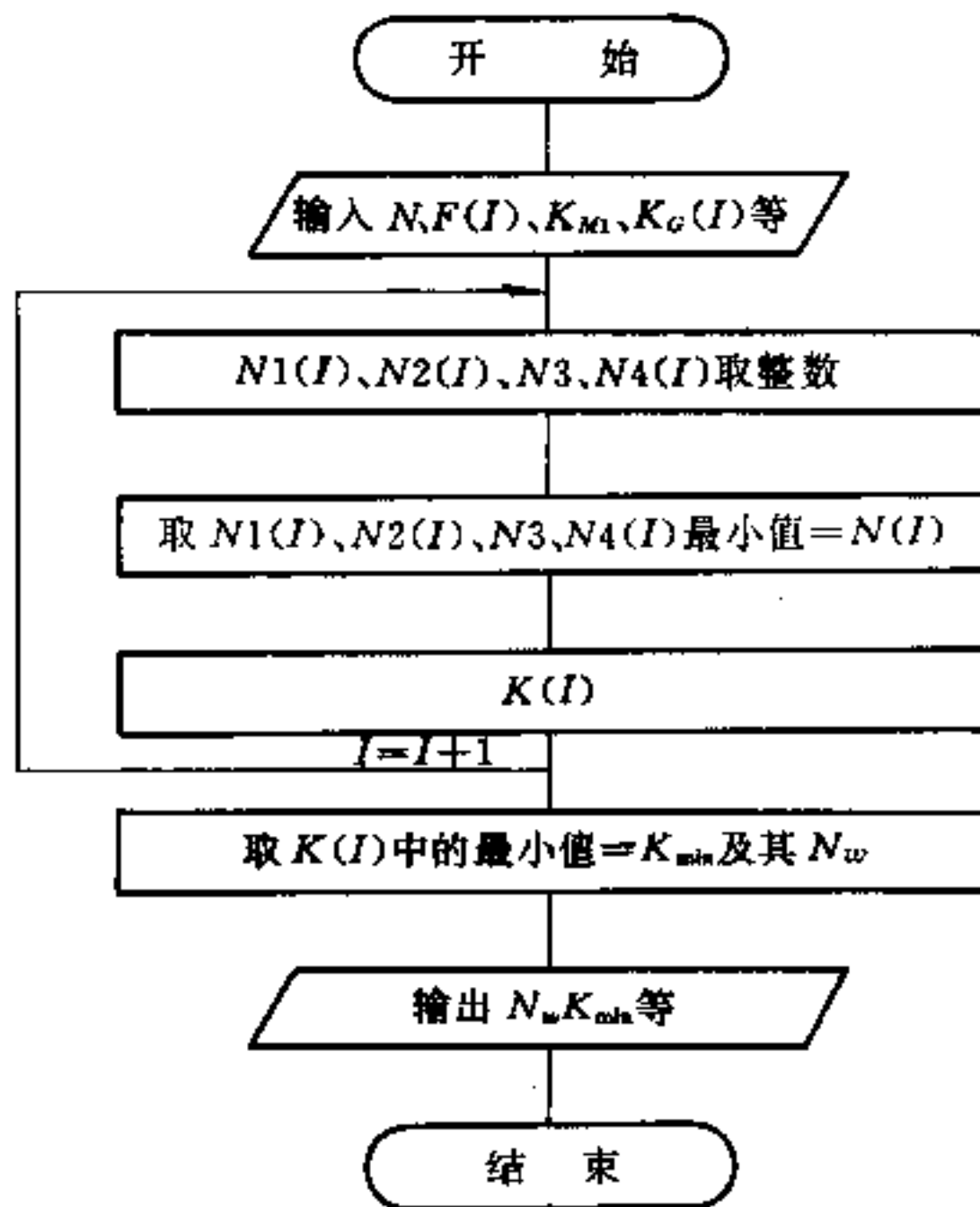


图 4.1-7 最经济型腔数的 CAD 程序框图

循环计算每台注射机的  $N1(I)$ 、 $N2(I)$ 、 $N4(I)$  及  $N3$ ，取它们的最小值为可行的型腔数  $N(I)$ ，计算对应的总成本  $K(I)$ 。比较各台注射机上生产的总成本，得  $K_{MIN}(I)$ 。其对应注射机上的  $N(I)$ ，即为最经济的型腔数  $n_w$ 。

用最经济型腔数的实际加工成本的方程式计算结果分析可知（见图 4.1-7），塑料材料费  $K_F$  一般不受型腔数  $n_w$  的影响，除非浇注系统有特殊的设计；模具成本  $K_M$  随着型腔数增加而增大；注射费用  $K_U$  随着型腔数增加反而减小。见图 4.1-8，对于某台注射机存在最经济的型腔数  $n_w$ ，可获得最低生产成本  $K_{min}$ 。并不是型腔数愈多经济效益愈好。根据实践，按上述理论得到最经济型腔数制定的模具设计方案，比凭主观“经验”推断型腔数，总成本往往能降低 10%~20%。

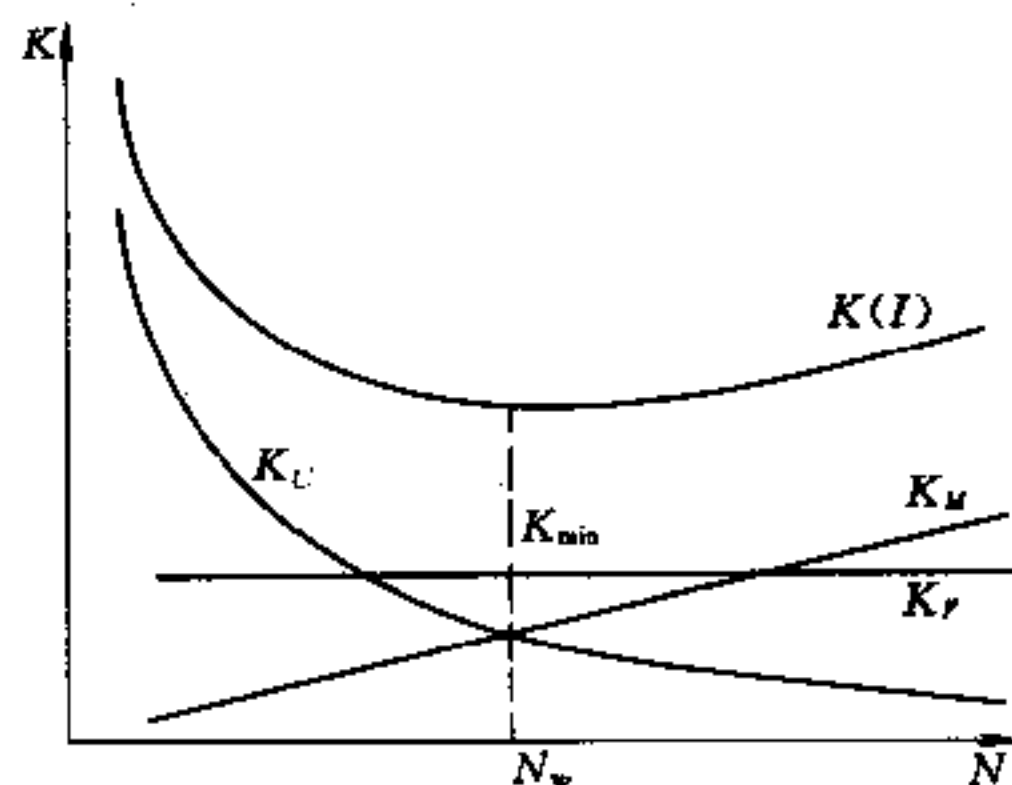


图 4.1-8 注射成型中各项成本与型腔数的理论关系曲线

## 二、型腔压力分析

型腔压力是注射模设计时各项计算的依据。在浇注系统设计、模腔壁厚和垫板强度与刚度计算、型芯的偏移和变形计算、所需锁模力校核等运算中，都要将型腔压力作为已知条件。型腔压力大小会影响开模力和脱模力，是决定塑件质量的重要因素。型腔压力的分布和变化与温度一起，将决定固化后塑件密度和密度分布。借助注塑模 CAE/CAD 的有限元分析软件进行型腔压力的计算机模拟；借助模具型腔压力的测定进行注射机参量的自动调节控制，能实现理想的注塑成型工艺。但是由于昂贵的设备和技术难度，难以普遍实行。

### (1) 模腔压力分布

广义的模腔压力是模内塑料熔体流经位置 and 时间的函数。模腔压力分布链的位置状态，如图 4.1-9 所示。主流道末端 A 处具有最大的分型面上压力  $P_A$ 。浇口 B 处具有塑件型腔最大压力  $P_B$ 。A、B 两处常是压力测定点。喷嘴出口 Z 处的压力  $P_Z$ ，是模具浇注系统压力的源头。在双分型注射模的型腔板上，浇注系统较复杂且流程长。从  $P_Z$  至  $P_B$  有较大浇注系统压力降  $\Delta P_c$ 。c 点为熔流末端，压力  $P_c$  倘若过低则会影响塑件质量，甚至不能注满。故熔体末端压力  $P_c \geq (10 \sim 25) \text{ MPa}$ 。塑件型腔的压力降从  $P_Z$  至  $P_c$  为  $\Delta P_c$ 。若型腔流程的截面较简单，可用流变学压力降公式估算。

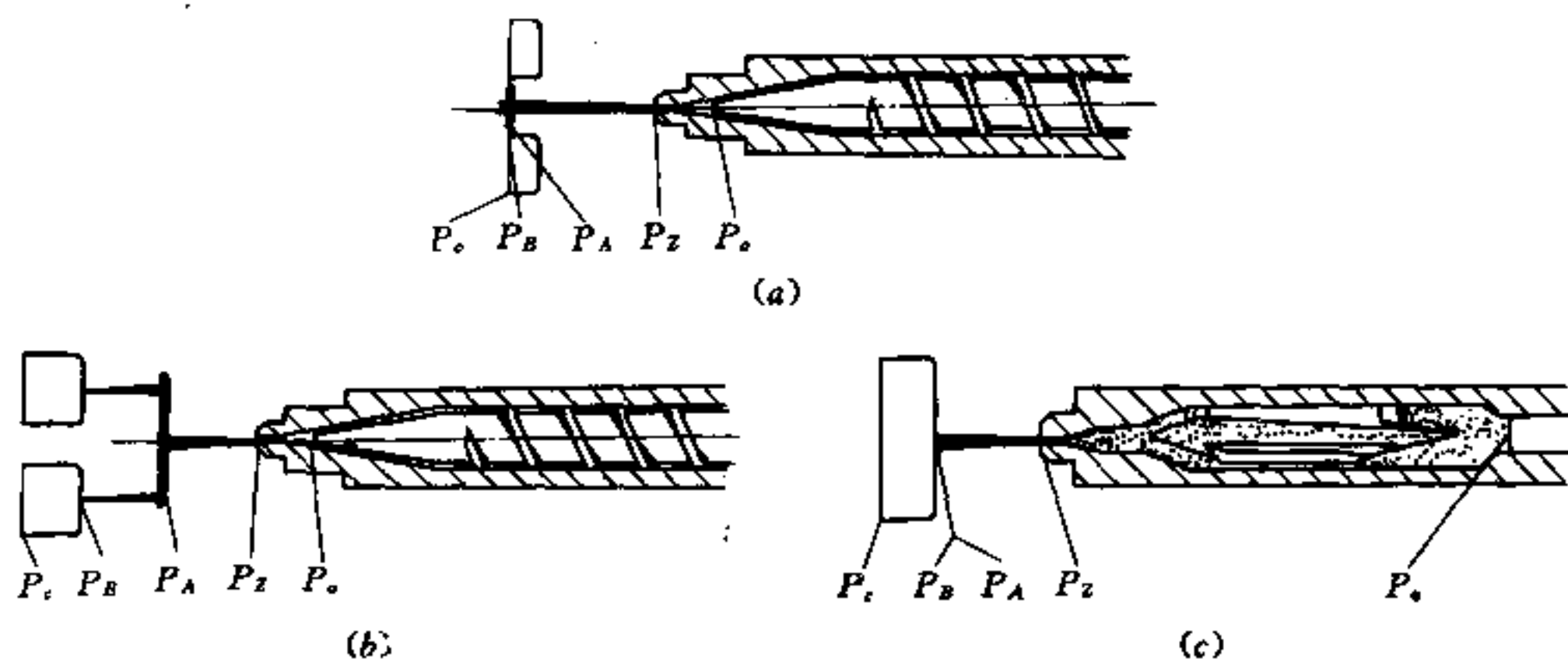


图 4.1-9 注射模型压力链示意图

(a) 单分型面注射模；(b) 双分型面注射模；(c) 柱塞式单分型面注射模。

型腔压力的源头是注射压力  $P_0$ ，它可由每台注射机的油压表上读出的最大值  $P_i$  换算得到

$$P_0 = P_i \left( \frac{D}{d_s} \right)^2 = P_i \left( \frac{P_{\max}}{P'} \right) \quad (4.1-11)$$

其中， $P_0$  为调用的最大注射压力 (MPa)； $D$  为注射油缸活塞直径 (mm)； $d_s$  为注射螺杆或柱塞的直径 (mm)； $P_{\max}$  为注射机的最大注射压力 (MPa)； $P'$  为注射机油泵的额定油压 (MPa)。  $P_i$  为注射过程中油压表上的最大值，即表压 (MPa)。

由图 4.1-9 (a)、(b) 可知，螺杆头处  $P_0$  至喷嘴  $P_Z$  间存在压力降  $\Delta P_1$ 。喷嘴若为圆柱孔道，其非牛顿型流变学的压力降计算式为

$$\Delta P_Z = \left( \frac{4}{\pi} \right)^n \frac{2K'Q^n L_Z \times 10^4}{R_Z^{3n+1}} \quad (4.1-12)$$

其中,  $\Delta P_z$  为塑料熔体流经注射机喷嘴的压力降 (Pa);  $n$  为塑料熔体非牛顿指数 ( $n < 1$ );  $K'$  为熔体剪切粘度系数 ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ );  $Q$  为熔体流经喷嘴的体积流量 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ );  $L_z$  为喷嘴长度 (cm);  $R_z$  为喷嘴半径 (cm)。

**[例]** ABS 熔体的温度  $T_m = 230^\circ\text{C}$ , 注射时计量容积  $V = 427\text{cm}^3$ , 注射时间  $\theta = 4\text{s}$ 。经注射机喷嘴的剪切速率  $\dot{\gamma} = (10^3 \sim 10^4)\text{s}^{-1}$ 。喷嘴内半径  $R_z = 0.275\text{cm}$ , 长  $L_z = 2.0\text{cm}$ 。计算 ABS 熔体流过喷嘴的压力降  $\Delta P_z$ 。

**[解]** 流经喷嘴的熔体体积流量

$$Q = \frac{V}{\theta} \quad (4.1-13)$$

代入已知条件计算得  $Q = 107\text{cm}^3/\text{s}$ 。又由表 18.1-2 查得 IMT-100 ABS 的  $n = 0.23$ ,  $K' = 5.80\text{N}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 。代入式 (4.1-13) 得熔体流经喷嘴的压力降为

$$\Delta P_z = \left(\frac{4}{\pi}\right)^{0.23} \frac{2 \times 5.8 \times 107^{0.23} \times 2 \times 10^4}{0.275^{3 \times 0.23 + 1}} = 6.4\text{MPa}$$

由实验曲线可知, 螺杆式注射装置中的压力降为

$$\Delta P_e = P_o - P_z = (2.0 \sim 2.5) \Delta P_z \quad (4.1-14)$$

此式中的放大系数, 系指活塞和螺杆等运动件的摩擦阻抗, 以及螺杆头前剩余熔体段的压力降。通常螺杆式注射装置中的压降  $\Delta P_e = 10 \sim 20\text{MPa}$ , 但在注射高粘度熔体, 或是高阻抗喷嘴, 如阀式喷嘴,  $\Delta P_e$  会更大, 需作计算预测或专门的测量。此外, 在型腔压力估算时, 所使用的注射压力  $P_o$  必须小于注射机的最大注射压力  $P_{\text{max}}$ 。为注射车间现场留有充分调节注射压力的余地。

若将非牛顿塑料熔体, 视为短时间恒温状态, 且在各流程段中处于恒剪切速率。则可用牛顿流体计算式计算压力降。对于圆管道有

$$\tau = K' \dot{\gamma}^n = K' \dot{\gamma}^{n-1} \dot{\gamma} = \eta_a \dot{\gamma} \quad (4.1-15)$$

且按定义  $\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3}$   $\tau = \frac{R \cdot \Delta P}{2L}$   $\Delta P = \frac{2L\tau}{R}$  (4.1-16)

以上各式中,  $L$  (cm) 和  $R$  (cm) 为圆管长和半径;  $\eta_a$  是塑料熔体表观粘度 ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ );  $\tau$  ( $\text{N}/\text{cm}^2$ ) 为剪切应力;  $\Delta P$  ( $\text{N}/\text{cm}^2$ ) 是圆管道两端的压力降。注意  $1\text{N}/\text{cm}^2 = 10^4\text{Pa}$ 。

由式 (4.1-16) 计算流量  $Q$  和该段流程中剪切速率  $\dot{\gamma}$ , 然后在 ABS 塑料流动曲线的  $\tau - \dot{\gamma}$  图上, 查到对应剪切应力  $\tau$ 。最后用式 (4.1-16) 计算获压力降  $\Delta P$ 。从上例中数据, 可得

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3} = \frac{4 \times 107}{\pi \times 0.275^3} = 6551\text{s}^{-1}$$

查图 4.1-10, 该种 ABS 于  $230^\circ\text{C}$ , 对应  $\dot{\gamma} = 6551\text{s}^{-1}$  得  $\tau = 4 \times 10^5\text{Pa}$ , 故有

$$\Delta P_z = \Delta P = \frac{2L\tau}{R} = \frac{2 \times 2 \times 4 \times 10^5}{0.275} = 5.8\text{MPa}$$

计算结果与上述数值相差很小。此种计算方法称之为塑料熔体压力降的工程算法。

柱塞式注射装置有与螺杆式注射装置不同的塑化原理和结构。由于粒料区作用, 装置内压力阻抗较大。不过, 柱塞式注射装置常见公称注射量均在  $60\text{cm}^3$  以下。经实验测得, 柱塞式注射装置中的压力降为

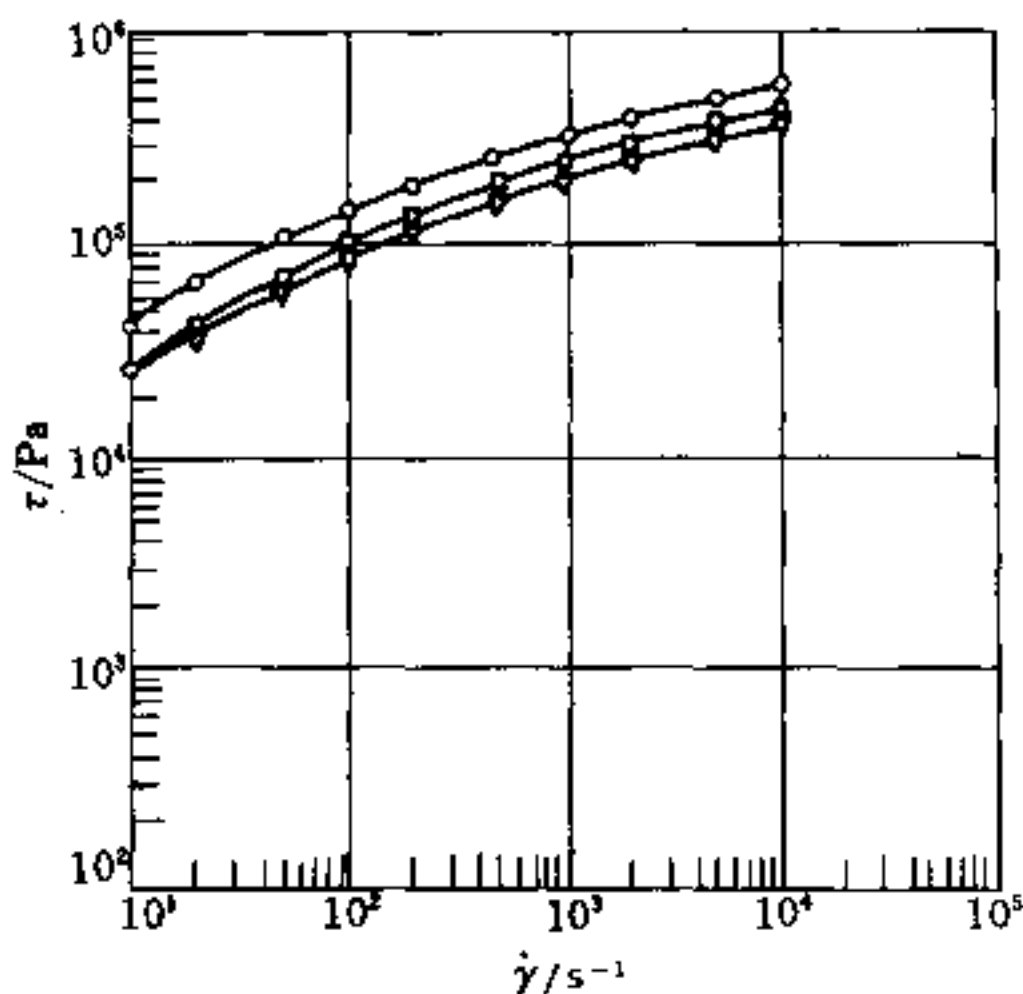


图 4.1-10 ABS 熔体  $\tau$ - $\dot{\gamma}$  流动曲线

(上海高桥 IMT-100,  $l/d=30$ ;  $\circ$  为  $210^\circ\text{C}$ ;  $\square$  为  $230^\circ\text{C}$ ;  $\nabla$  为  $250^\circ\text{C}$ )

$$\Delta P_e = P_o - P_z = 30\text{MPa} + (0.1 \sim 0.2) P_o$$

式中, 第一项  $30\text{MPa}$  压降是加热室和喷嘴的粘流区的压力损失; 第二项是被压缩的粒料区的压力损失, 它与柱塞压力  $P_o$  成正比。其折算系数与注射加工时的注射量有关, 当注射量较大时取大值。

## 2. 型腔压力变化

### (1) 型腔压力周期

将模腔压力变化对注射成型时间进程作图, 就得到型腔压力周期图。图 4.1-11 为对应图 4.1-9 (b) 双分型面注射模, 于浇道、浇口和型腔各位置的的压力对时间作变化的一个例子。

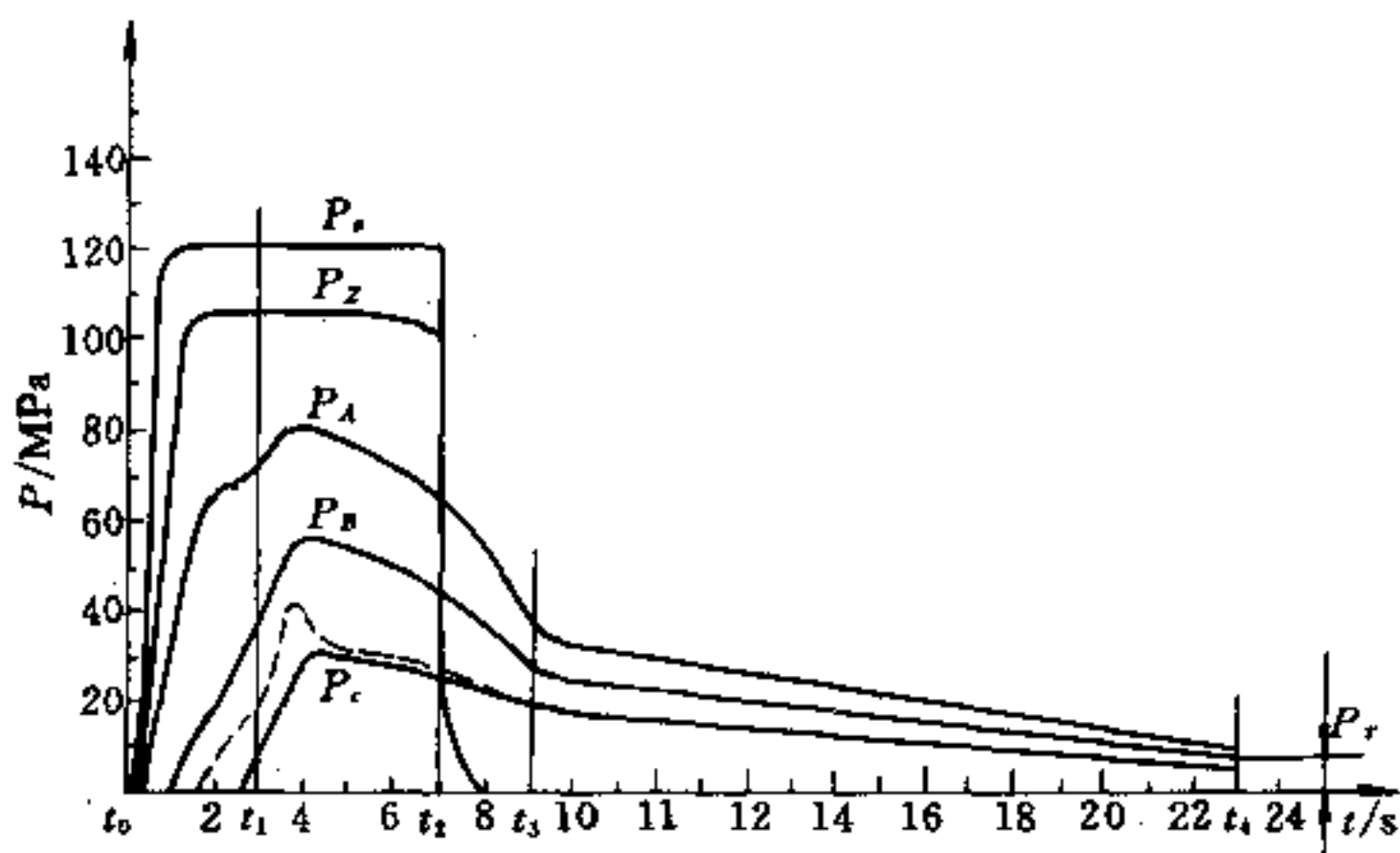


图 4.1-11 注射成型型腔压力周期图

图示  $t_0 \sim t_1$  称注射时间。塑料熔体进入型腔, 并达到最远处, 而且压力得到急骤升高。 $t_1 \sim t_2$  为保压时间, 也称压实补缩阶段。螺杆作少量推进, 以维持一定压力。于时间  $t_1$ , 模内物料温度开始明显下降。于时间  $t_2$  螺杆后撤。喷嘴口压力  $P_z$  下降最快。

$t_2 \sim t_3$  称倒流时间。时间  $t_3$  是注射模中内浇口的冻结时间。螺杆后撤时，内浇口尚未冻结，型腔内熔体回头倒流至浇道。 $t_3 \sim t_4$  是静态冷却时间。 $t_4$  是模具打开时间。 $P_r$  为该时间的型腔内的残余压力。

## (2) 压力与温度变化

成型周期中模腔内熔体压力  $P$  与温度  $T$  的关系，可画出如图 4.1-12 所示的典型的压力与温度图。该图是将型腔压力周期图上的时间  $t_0, t_1 \dots t_4$ ，用型腔内熔体温度  $T_0, T_1, T_2, T_3, T_4$  替代，并将纵横坐标轴对调。二曲线的形状相似。

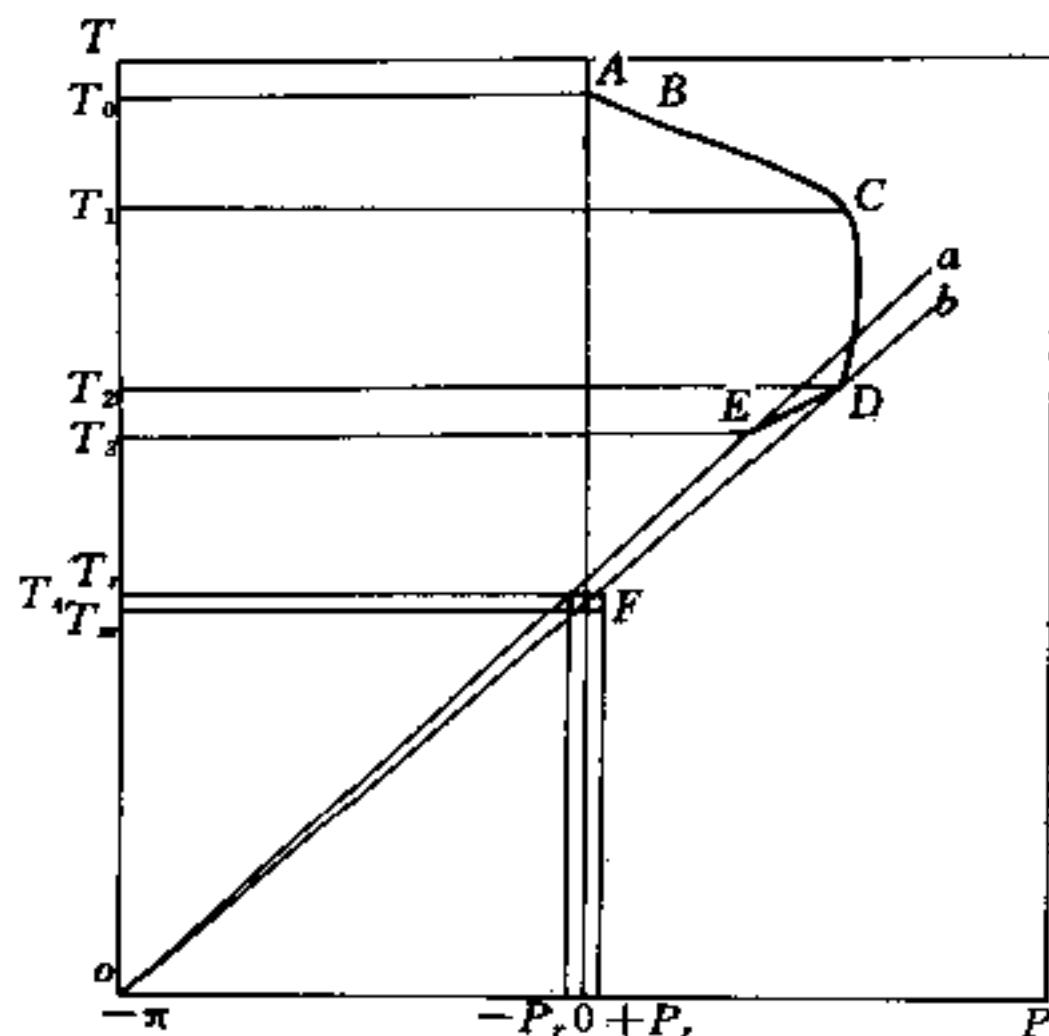


图 4.1-12 型腔内熔体压力与温度图

该图上曲线  $DE$ ，为浇口尚未冻结但保压补料已结束。因此存在倒流而使型腔压力急剧下降。于浇口冻结点  $E$  开始，型腔内的塑料量不再改变。所以型腔内压力与温度沿着直线  $a$  变化。倘若保压于  $D$  点结束时，浇口早已冻结封闭，则模腔内的压力与温度沿直线  $b$  变化。

浇口封闭后，型腔内的压力与温度的关系可用修正的状态方程描述，详见 2.4.3 节式 (2.4-11)。

式中， $\pi, \omega, R'$  皆为常数。因此，该方程是以比容  $V_m$  为斜率的直线方程。浇口冻结后，模腔内塑料的压力与温度沿着一条等容线或等密度线变化。冻结点不同，型腔内的塑料量不同，等容线的斜率也不同。但所有等容线都通过  $P-T$  图的原点。即  $P = -\pi$ ， $T$  为热力学温度零。

根据上述压力与温度图，可以合理确定模具打开的温度和压力条件。首先，型腔内的塑件应该冷固到具有足够的刚度和硬度。开模时的温度  $T_s$  应低于塑料的热变形温度。因此，开模温度范围在  $T_s$  和模具工作温度  $T_m$  之间。其次，开模时型腔内的残余压力不能高于某个  $+P_r$  值。太高会引起塑件与凹模表面间过大的粘附力，使开模力增大。残余压力也不能小于某个负压值  $-P_r$ 。否则易出现缩孔和凹陷，使制品收缩率过大，对型芯包得过紧，致使脱模困难。上述的两组温度与压力限制条件，拟定了开模的合理区域。凡浇口冻结后型腔内塑料冷却的等容线通过这一区域的，都属于优质的注射工艺。

### 4.1.6 注射模设计程序

注射模类型不同, 塑件复杂程度不同和模具结构不一, 可有不同设计方法和步骤。注射模设计实用计算机软件应用, 使设计过程有了重大变革。科学的设计步骤可提高模具设计质量和效率。以下所述是中等复杂程度的注射模的常规设计步骤。指一模多腔有点浇口的双分型面注射模, 或者有侧向分型或抽芯机构的模具。

#### 一、模具设计任务书

模具设计时必须清楚用户所有的要求和希望, 因此在接受订货的同时要与对方技术人员充分协商, 有必要将协商的结果全部记录在模具设计任务书上。任务书记录着对模具设计的各技术项目研究结果, 是模具设计工作准绳和依据, 也是今后模具设计审核的依据。

模具设计任务书的内容, 见表 4.1-1。

表 4.1-1 模具设计任务书

订货单位	订货单位地址		其它	模具交货期		年 月 日	
	订货单位名称			使用单位			
	交货地点			模具价格			
制品	名称		模具主要结构	模具结构形式		标准型、三板式、瓣合模	
	使用树脂名称			每模型腔数		型	
	成型收缩率			分模面		平面、允许穿透、不允许穿透	
	色调	透明性		透明 不透明	顶出方式	推杆	推杆、带台肩推杆、方形推杆、碟形推杆
		色别				推件板(型芯外)	板状、杆状、块状、环状
	制品单件重量			g		推套	推套, 特殊推套
制品投影面积		cm <sup>2</sup>	压缩空气	仅用空气、与其它并用			
注射机制造厂家			并用				
注射量		g/次	其它	二次顶出、先复位机构			
注塑机	锁模力		t	流道	方式	普通、绝热流道、热流道	
	型式				形状、尺寸	圆形、半圆形、U形、梯形	
	导杆间距	纵向	cm × cm	喷嘴方式		井式喷嘴、延伸喷嘴、半绝热喷嘴、全绝热喷嘴、内部加热喷嘴	
		横向	cm × cm	浇口	种类、位置 形状、尺寸	在附件上详细标记	
	顶出孔孔径		φmm				
	模具厚度	最大	mm	侧向分型 与抽芯	种类	侧型芯、瓣合模	
		最小	mm				脱模方式
	定位孔直径		φmm	冷却加热方式			
	喷嘴孔径		φmm	有无特种加工		电加工、电铸、花纹加工、精密铸造, 冷挤压、压力锻造、NC加工	
	喷嘴圆弧		Rmm	是否电镀		需要, 不需要	
提供条件	提供物品	制品样本、制品图、模型、雕刻原稿、注塑机样本		主要材料			

注: 协商确定的项目应标注○印记。



## 二、拟定设计方案

### 1. 注射成型工艺的可行性分析

(1) 接受塑件图或实物, 应该明确塑料材料、生产批量、尺寸精度与技术条件, 了解塑件的功用及工作条件;

(2) 了解塑料材料的机械性能和热性能, 以及与注射工艺有关的参数;

(3) 审核塑件注塑工艺性, 讨论壁厚、筋、圆角、粗糙度、尺寸精度、表面修饰、脱模斜度、形状和嵌件等的可行性;

(4) 计算出塑件的体积和质量。

### 2. 拟定设计方案

通过边计算, 边绘草图方法来拟定模具设计方案。至少有两个方案进行分析比较, 需要讨论的内容及大致步骤如下:

(1) 确定型腔数目及选择注射机型号;

(2) 确定分型面及考虑排气措施;

(3) 决定模具的总体结构、凹凸模的结构, 同时考虑模具制造工艺的可行性;

(4) 拟定注射工艺方案, 确定注射各阶段的时间、压力、温度及速率;

(5) 设计浇注系统, 确定浇口形式和位置, 决定主流道、分流道和冷料井的形式及尺寸;

(6) 脱模机构设计;

(7) 侧向分型及抽芯机构的设计;

(8) 导向机构设计或确定所选用的标准模架;

(9) 冷却系统设计;

(10) 确定模具与注射机的连接。

## 三、绘制装配图和零件图

装配图按工作位置布置, 以先里后外, 由上而下次序进行。即先绘塑件、凹凸模, 再绘浇注系统……。二个或三个视图同时进行。其要求有:

(1) 按国家机械制图标准和注塑模具图的习惯画法绘制;

(2) 反映全部零件并编序号, 有详细的明细表, 标注模具的外形尺寸及与注射机有关尺寸。

(3) 应有塑件图或塑件的轴侧图;

(4) 注明技术条件, 内容有: 叙述动作过程、模板的平行度要求、装配要求、试模要求、脱模行程、抽拔距、所用注塑机型号;

(5) 零件图须按国家机械制图标准绘出。

## 四、编写设计说明书

设计说明书除了编入设计任务书、塑件图、注塑成型工艺可行性分析、设计方案讨论和说明外, 还应有以下校核和设计计算的主要内容:

(1) 模具与注射机有关参数的校核;

(2) 型腔数目的确定计算;

(3) 对浇注系统流道和塑件的流程比较核, 以及冷却时间的计算;

(4) 型腔压力的估算和浇注系统的尺寸计算;

- (5) 成型零件的制造尺寸的计算；
- (6) 模具型腔壁厚和垫板厚度的强度与刚度校核，以及型芯的偏移和变形计算；
- (7) 开模力和脱模力的计算，脱模顶杆直径与根数的计算；
- (8) 侧向抽拔力及斜导柱强度计算，抽拔距的校核及斜导柱长度计算；
- (9) 调温系统的热平衡和传热面积计算，水管的直径、长度和数量以及冷却水参量计算；
- (10) 弹簧的强度和刚度计算。

### 五、设计审核

模具设计中的差错和疏忽会影响塑件质量，延误交货。全面和认真审核可保证优质模具生产。审核要确保模具设计计算和结构没有错误和不合理，全套图纸无差错，模具加工和塑件生产经济且可行。审核可分技术项目或专业由多人承担，并作审核记录。

审核内容一般可包括：

- (1) 模具质量与寿命、塑制品质量符合用户要求，注塑机选用是否正确；
- (2) 有关模具基本结构合理性，该模具各组成系统和机构是否合理可靠；
- (3) 对设计图的审核，应要求装配图和零件图表达清楚，尺寸及精度标注准确无误，技术要求全面合理；
- (4) 模具加工工艺审核，应检查零件加工可行性，模具装配方便，有调整余地，并适合模具车间的加工条件。

## 4.2 浇注系统设计

浇注系统设计是注射模具设计中最重要的问题之一。浇注系统是引导塑料熔体从注塑机喷嘴到模具型腔为止的一种完整的输送通道。它具有传质、传压和传热的功能，对塑件质量具有决定性影响。它的设计合理与否，影响着模具的整体结构及其工艺操作的难易程度。

### 4.2.1 浇注系统的功能

浇注系统的作用，是将塑料熔体顺利地充满到模腔深处，以获得外形轮廓清晰，内在质量优良的塑料制品。因此要求充模过程快而有序，压力损失小热量散失少，排气条件好，浇注系统凝料易于与制品分离或切除。

#### 一、浇注系统组成

无论用于何种类型注塑机的模具，其浇注系统一般均由四部分组成，如图 4.2-1 所示。

(1) 主流道 指由注射机喷嘴出口起到分流道入口止的一段流道。它是塑料熔体首先经过的通道，且与注塑机喷嘴在同一轴线。

(2) 分流道 指主流道末端至浇口的整个通道。分流道的功能是使熔体过渡和转向。单型腔模具中分流道是为了缩短流程。多型腔注射模中分流道中为了分配物料，通常由一级分流道和二级分流道，甚至多级分流道组成。

(3) 浇口 指分流道末端与模腔入口之间狭窄且短小的一段通道。它的功能是使塑

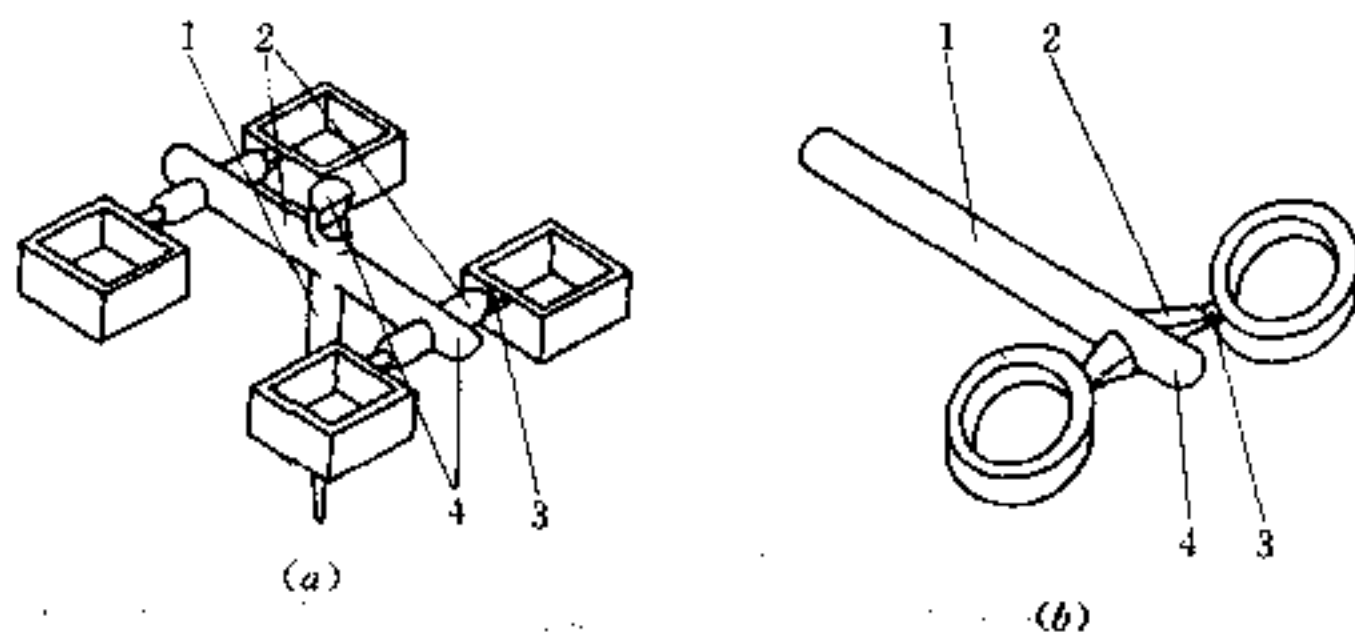


图 4.2-1 浇注系统组成

(a) 卧式注射机的浇注系统；(b) 角式注射机的浇注系统。

1—主流道；2—分流道；3—浇口；4—冷料井。

料熔体加快流速注入模腔内，并有序地填满型腔，且对补缩具有控制作用。

(4) 冷料井 通常设置在主流道和分流道转弯处的末端。其功用为“捕捉”和贮存熔料前锋的冷料。冷料井也经常起拉勾凝料的作用。

## 二、浇注系统设计原则

- (1) 浇注系统与塑件一起在分型面上，应有压降、流量和温度分布的均衡布置；
- (2) 尽量缩短流程，以降低压力损失，缩短充模时间；
- (3) 浇口位置的选择，应避免产生湍流和涡流，及喷射和蛇形流动，并有利于排气和补缩；
- (4) 避免高压熔体对型芯和嵌件产生冲击，防止变形和位移；
- (5) 浇注系统凝料脱出方便可靠，易与塑件分离或切除整修容易，且外观无损伤；
- (6) 熔合缝位置须合理安排，必要时配置冷料井或溢料槽；
- (7) 尽量减少浇注系统的用料量；
- (8) 浇注系统应达到所需精度和粗糙度，其中浇口须有 IT8 以上精度。

## 三、浇注系统布置

在多腔模中，分流道的布置有平衡式和非平衡式两类，一般以平衡式为宜。

(1) 平衡式布置 从主流道末端到各型腔的分流，其长度、断面形状和尺寸都对应相等。这种布置可使塑料熔体均衡地充满各个型腔。一起出模的各塑件质量和尺寸精度的一致性较好。但分流道较长，对熔体阻力大，浇注系统凝料多。如图 4.2-2 所示，圆周均布，较适宜圆形塑件，但流道较长。而 H 形排列，适宜于矩形塑件。

(2) 非平衡式布置 见图 4.2-3，由于从主流道末端到各个型腔的分流道长度各不相同。为达到均衡充模，需将浇口尺寸按距主流道远近，进行修正。此种布置，流程虽短但制件质量一致性很难保证。

浇注系统无论是平衡式或非平衡式布置，型腔均应与模板中心对称。使型腔和流道的投影中心与注射机锁模力中心重合，避免注射时产生附加的倾侧力矩。

### 4.2.2 流道系统设计

流道系统包括主流道、分流道和冷料井及其结构设计。

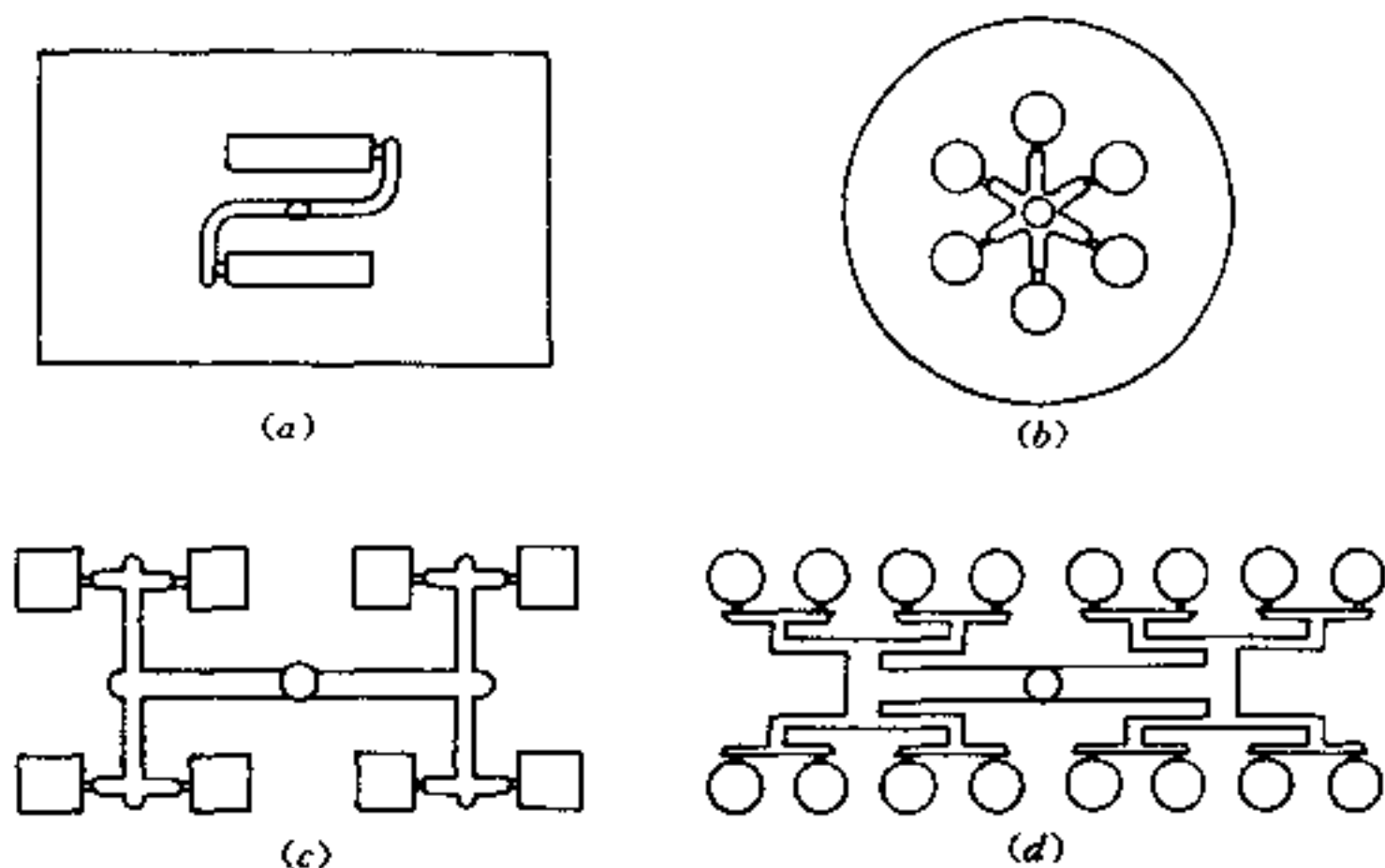


图 4.2-2 浇注系统平衡式布置  
(a)、(b) 圆周排列；(c)、(d) H形排列。

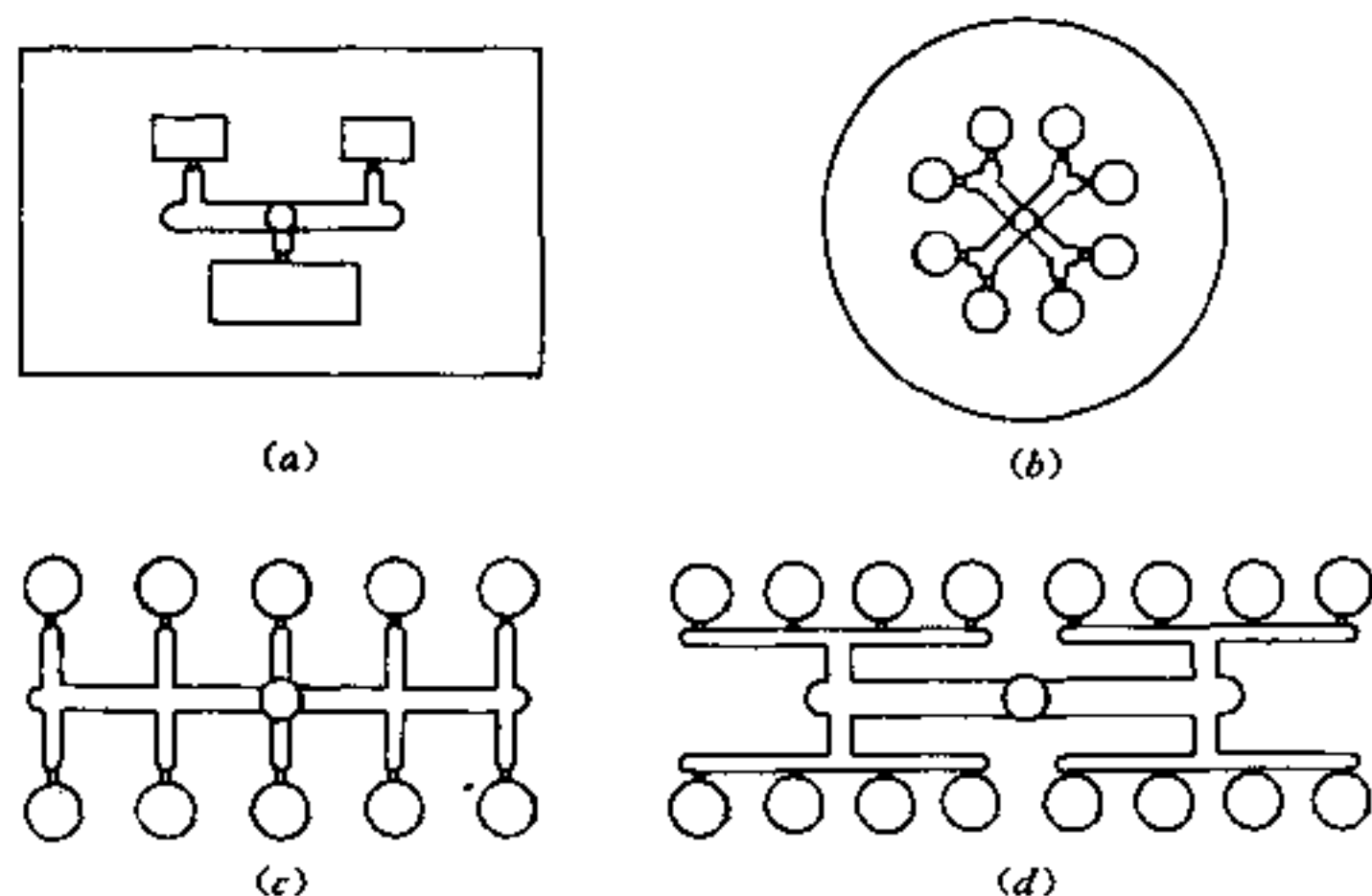


图 4.2-3 浇注系统非平衡式布置

### 一、主流道

直浇口式主流道呈截锥体，见图 4.2-4。主流道入口直径  $d$ ，应大于注射机喷嘴直径 1mm 左右。这样便于两者能同轴对准，也使得主流道凝料能顺利脱出。主流道入口的凹坑球面半径  $R$ ，应该大于注射机喷嘴球头半径约 2~3mm。反之，两者不能很好贴合，会让塑料熔体反喷，出现溢边致使脱模困难。锥孔壁粗糙度  $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ 。主流道的锥角  $\alpha = 2^\circ \sim 4^\circ$ 。过大的锥角会产生湍流或涡流，卷入空气。过小锥角使凝料脱模困难；还会使充模时流动阻力大，比表面增大，热量损耗大。主流道的比表面积  $S$  为

$$S = \frac{4(D+d)}{D^2+d^2} \quad (4.2-1)$$

主流道的长度  $L$ ，一般按模板厚度确定。但为减小充模时压力降和减少物料损耗，以短为好。小模具控制在 50mm 之内。在出现过长主流道时，可将主流道衬套挖出深凹坑，让喷嘴伸入模具。主流道的出口端应该有较大圆角  $r \approx \frac{1}{8}D$ ，在熔料流量较大，粘度较

高时, 大端直径  $D$  设计得大些, 可用经验公式求出

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi K}} \quad (4.2-2)$$

式中  $V$ ——流经主流道的熔体体积 ( $\text{cm}^3$ );  
 $K$ ——因熔体材料而异的常数, PS 类  $K = 2.5$ , PE、PP 的  $K = 4$ , PA 的  $K = 5$ , PC 的  $K = 1.5$ , POM 的  $K = 2.1$ , CA 的  $K = 2.25$ 。

小型模具可将主流道衬套和定位环制成一体, 见图 4.2-5 (a)。主流道衬套里侧端面承受熔体高压。入口端面受喷嘴的冲撞和挤压。因此, 需要有足够硬度和可靠紧固。如图 4.2-5 (b) 所示, 衬套用 T8 或 T10 经淬火 HRC50~55。衬套里端面与熔体的接触面积尽可能小些, 并由定位环压紧。定位环外圆与注射机定模板上定位孔呈动配合。

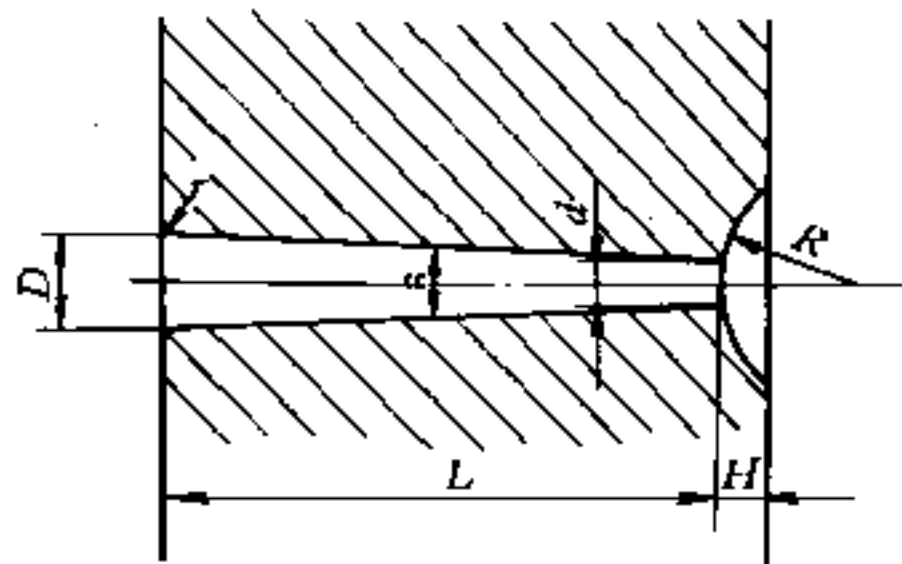


图 4.2-4 主流道参数

$$d = \text{喷嘴孔径} + 1\text{mm};$$

$$R = \text{喷嘴球面半径} + 2 \sim 3\text{mm};$$

$$\alpha = 2^\circ \sim 4^\circ; r = \frac{D}{8}; H = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{2}{5}\right) R。$$

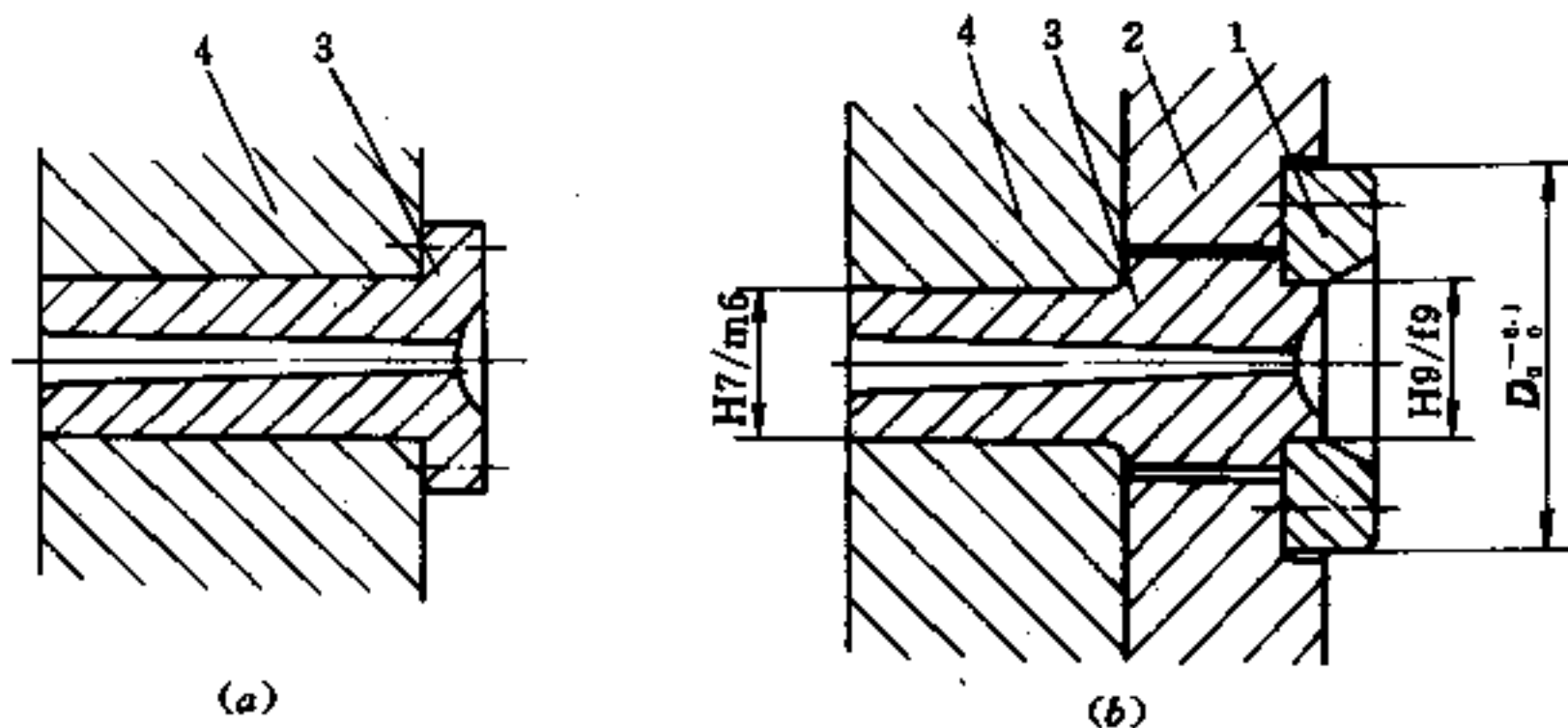


图 4.2-5 主流道衬套与定位环

1—定位环; 2—定模垫板; 3—主流道衬套; 4—定模板。

## 二、分流道

### 1. 截面形状

分流道的种类及截面形状如图 4.2-6 所示。从压力传递角度考虑, 要求有大的流道截面积。从散热少考虑应有小的比表面  $S$ 。圆形截面  $S = 4/d$ ; 半圆截面  $S = 4.63/d$ ; 矩形截面, 若  $t = \frac{\pi}{8}d$ , 则  $S = 5.02d$ ; 若正方形边长  $d$ , 则有  $S = 4/d$ 。其中圆形截面最理想, 使用越来越多。方形截面由于脱模困难, 多不采用。梯形截面比表面  $S$  虽然大些, 但因加工和脱模方便, 应用广泛。以其  $t/d = 2/3 \sim 4/5$ , 梯形侧边斜度  $5^\circ \sim 15^\circ$  为宜。U 形截面与梯形类似, 使用较多。

(2) 截面尺寸 分流道截面尺寸可由以下经验公式作初步估算。但计算结果须按现有刀具尺寸圆整, 并校核熔料剪切速率  $\dot{\gamma}$  在  $5 \times 10^2 \sim 10^3 \text{s}^{-1}$  范围内, 方为合理。

$$d = 0.27 \sqrt{M \sqrt{L}} \quad (4.2-3)$$

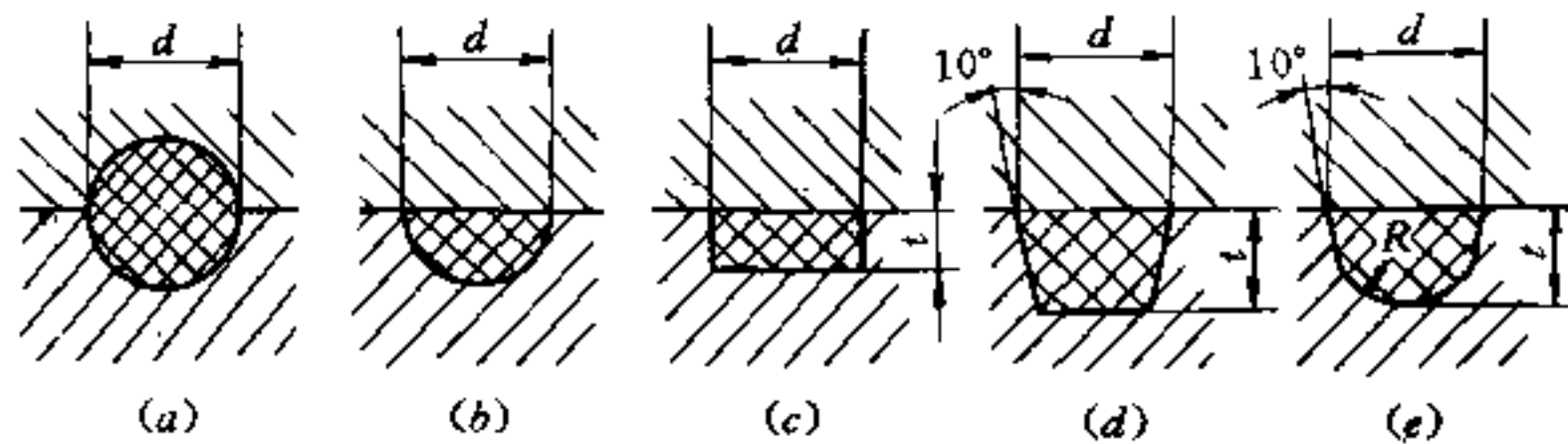


图 4.2-6 各种分流道的截面

式中  $d$ ——圆分流道直径，或各种截面分流道的当量直径 (mm)；

$M$ ——流经的塑料物料质量 (g)；

$L$ ——该分流道的长度 (mm)。

此式适用壁厚 3mm 以下，小于 200g 的塑件。对于高粘度物料，如硬 PVC 和丙烯酸塑料，适当扩大 25%。一般分流道直径在 3~10mm，高粘度物料可达 13~16mm。

分流道表面粗糙度，常取  $R_a > 0.63 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。以增大外层流动阻力，避免熔流表面滑移，使中心层具有较高剪切速率。

### 三、冷料井及拉料杆

冷料井有两种，一种是纯为“捕捉”或贮存冷料之用；另一种是还兼有拉或顶出凝料功用。

#### 1. 冷料井

根据需要，不但在主流道末端，也可在各分流道转向位置，甚至在塑件型腔末端设置冷料井。冷料井应设置在熔料流动方向的转折位置，见图 4.2-7，并迎着上游的熔流。其长度通常为浇道直径  $d$  的 1.5~2 倍。

#### 2. 拉料杆冷料井

(1) 顶出杆成型的“拉顶”冷料井，如图 4.2-8 所示三种顶出杆的杆脚固定在顶出板中。开模时将主流道凝料从定模边的型腔中拉出。在其后的脱模过程中，再将凝料从动模中顶出。图 4.2-8 (a) 为 Z 形头顶出杆，虽有“拉顶”动作可靠的优点，但 Z 形面的方向性需手工定向取出凝料。需特别注意，在受到塑件型芯或螺纹型芯杆限制时，会无法取出凝料。图 4.2-8 (b) 和 (c) 为两种倒锥和圆环槽冷料井，在实现先拉后顶动作后，凝料处于自由状态。但尺寸设计需凭经验。倘若物料塑性差，沟槽过深，脱模顶出时会发生剪切分离。一般取单向沟槽深 0.5~1mm。对韧性物料如 ABS、POM 和 PE，可取较大值。但对脆性物料 PC、PMMA 和 PP 等，应取较小值。且沟槽部位表面粗糙度应达  $R_a > 3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

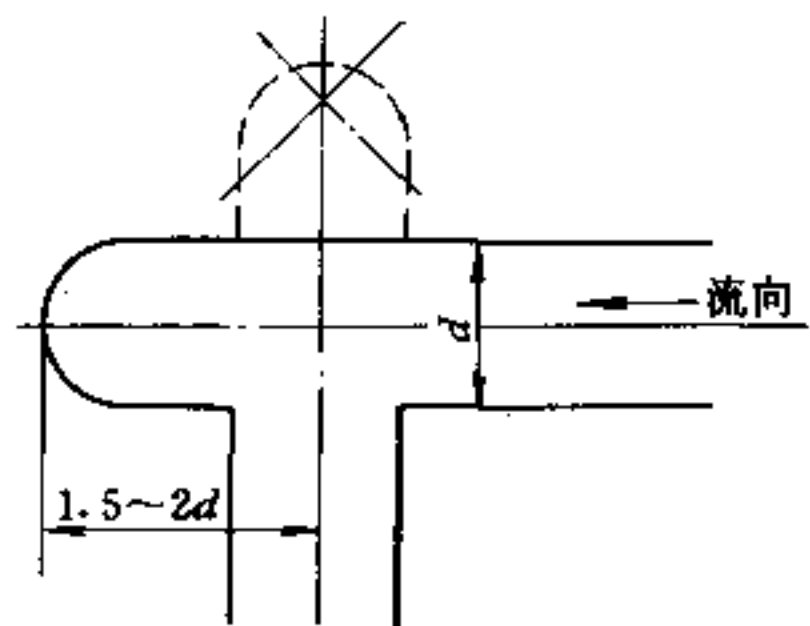


图 4.2-7 设置冷料井方法

(2) 拉料杆成型的“拉料”冷料井 该拉料杆的杆脚固定在动模中。开模时将主流道凝料从定模中拉出。其后在脱模过程中，由推杆板将它从拉杆成型头中推出。如图 4.2-9 所示，拉料头有多种结构形式，如球头、菌形头等。另一类是利用塑料冷却对成型头的包紧力，达到拉料的目的，如圆锥头等。常用在单腔成型齿轮等带中心孔的盘类

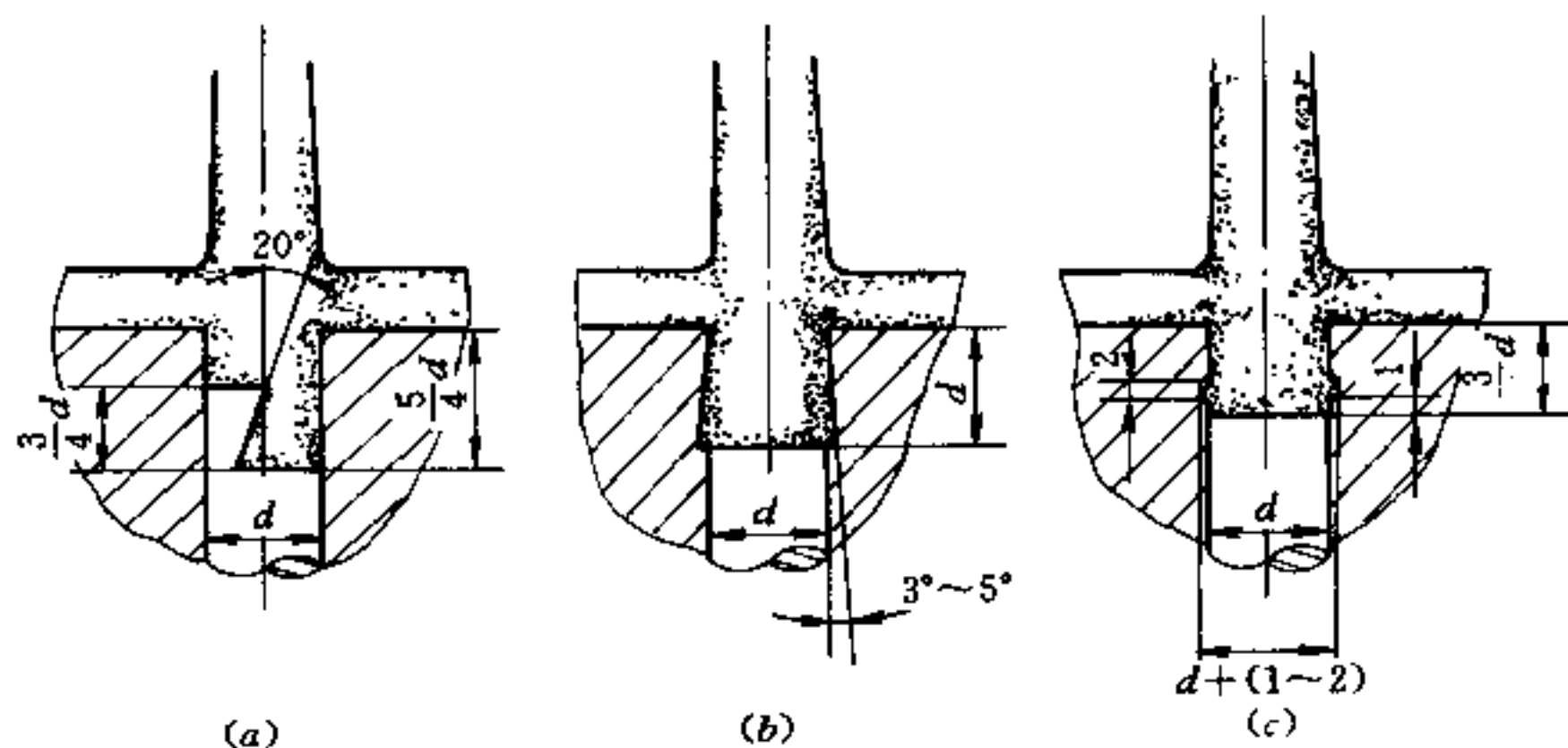


图 4.2-8 顶出杆成型的冷料井  
(a) Z型; (b) 倒锥; (c) 圆环槽。

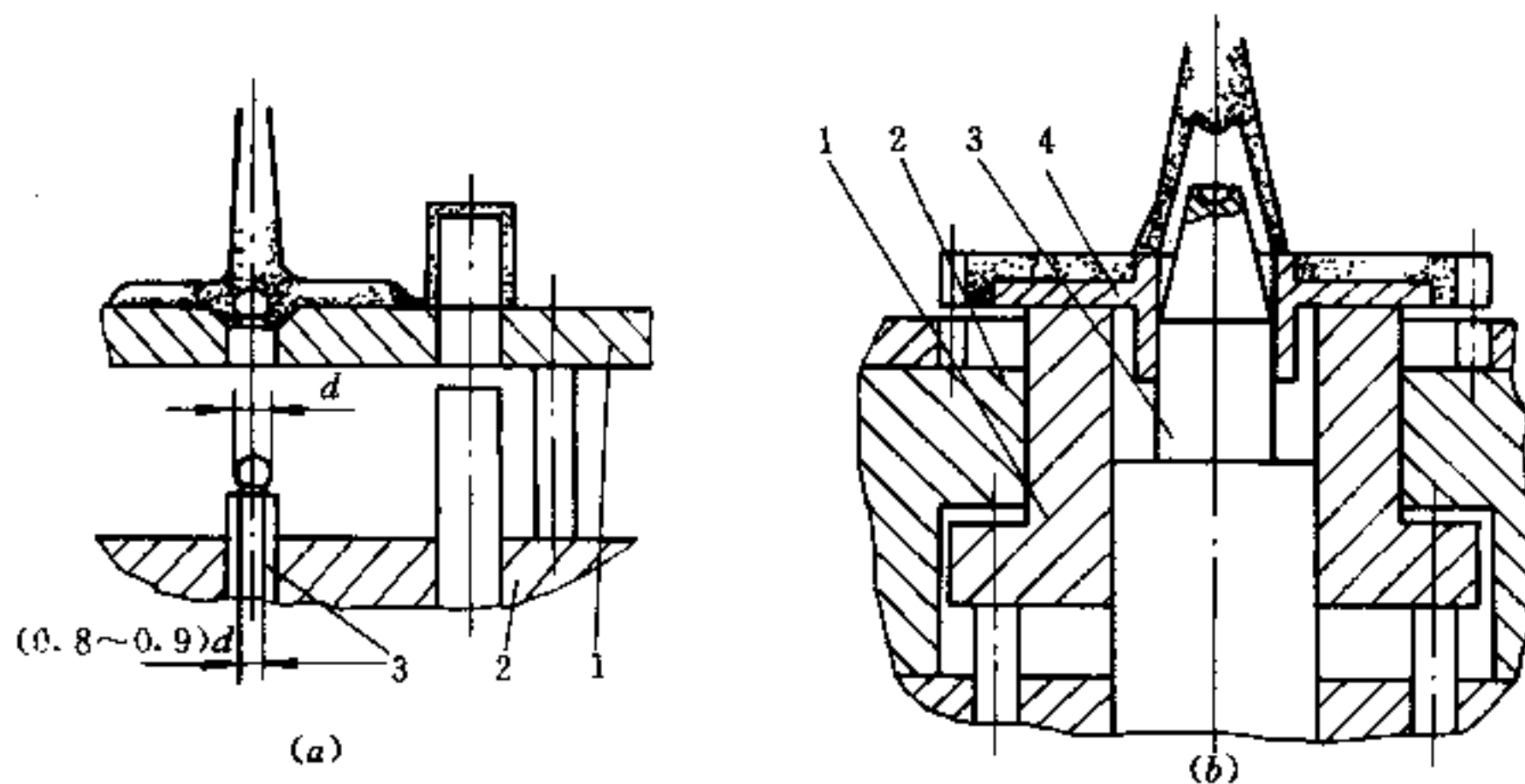


图 4.2-9 拉料杆成型的冷料井  
(a) 球头; (b) 圆锥头。

1—推件板; 2—动模板; 3—拉料杆; 4—金属嵌件。

塑件上。孔与外圆有较好的同心度。如果成型塑件较大时，可在锥顶挖出球坑作为冷料井。

(3) 凹坑拉料冷料井 与开模方向成一定倾角的凹坑中冷料，可产生所需的拉力，用以拉出主流道凝料或拉断点浇口。图 4.2-10 所示有两种使用状态，(a) 图中，在主流道终端的动模上开有锥形凹坑冷料井，此种结构必须用 S 形的挠性分流道相匹配，以便冷料头从盲孔中顺利拔出；(b) 图是在定模板的分流道末端，开有斜孔冷料井，开模时会先拉断点浇口，然后在拉出主流道凝料的同时，将分流道与冷料头一起拉出。最后再将凝料从动模中顶出，并自动坠落。

### 4.2.3 浇口设计

浇口是塑料熔体进入型腔的阀门，对塑件质量具有决定性的影响。因而浇口类型与尺寸、浇口位置与数量便成为浇注系统设计中的关键。



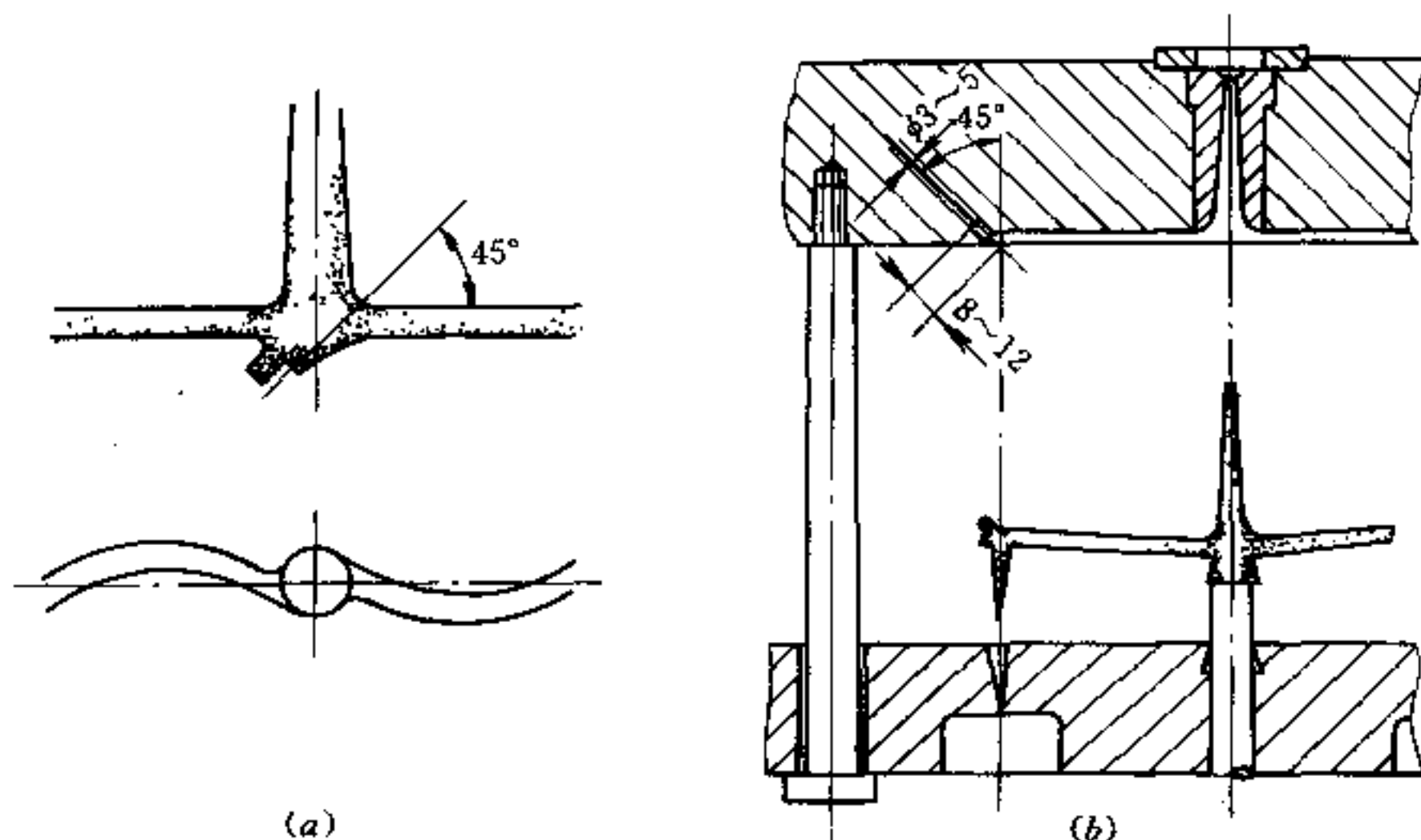


图 4.2-10 凹坑拉料冷料井  
(a) 主流道凹坑; (b) 分流道凹坑。

### 一、浇口形式和尺寸

通常浇口可分为大浇口和小浇口两类。前者也称非限制性浇口，系指直接浇口；后者也称限制性浇口或内浇口，常用的有侧浇口、点浇口等。

#### 1. 直接浇口

直接浇口又称为主流道型浇口或中心浇口。直浇口的优点甚多，注射时以等流程充模，浇注系统流程短，压力损失和热量散失小，且有利于补缩和排气。因此塑件外表无可见熔合缝，塑件质量好，而且浇注系统凝料少。所以它常被用来注射大型厚壁长流程制品，及一些高粘度的塑料。

如图 4.2-11 所示，直浇口与塑件连接处的直径约为塑件厚度的 2 倍或略大些。若此处直径不够大，会使熔体流动摩擦剧增，产生暗斑和暗纹；如直径太大，则冷却时间过长，流道凝料多，易产生缩孔。

直浇口的缺点是塑件上残留痕迹较大，切除困难。可将直浇口设计在塑件的里侧，如图 4.2-11 (b) 所示。但会使塑件留在定模边，需设置倒装脱模机构。

#### 2. 侧浇口

也称边缘浇口，如图 4.2-12 所示。由于它开设在主分型面上，截面形状易于加工和调整修正。多型腔模具常采用侧浇口，可设计成两板模。它适用于各种塑料物料，且易切除并对塑件外观质量影响甚小。

侧浇口的三个尺寸中，以深度  $h$  最为重要。 $h$  控制了浇口畅通开放时间和补缩作用。浇口宽度  $W$  的大小控制了熔体充模流量。浇口长度  $L$ ，只要结构强度允许，以短为好，一般选用  $L = 0.5 \sim 1.5 \text{mm}$ 。浇口深度有经验公式：

$$h = nt \quad (4.2-4)$$

式中  $h$ ——侧浇口深度 (mm)，中小型塑件常用  $h = 0.5 \sim 2 \text{mm}$ ，大约为制品最大壁厚的  $1/3 \sim 2/3$ ；

$t$ ——塑件壁厚 (mm)；

$n$ ——塑料材料系数，见表 4.2-1。

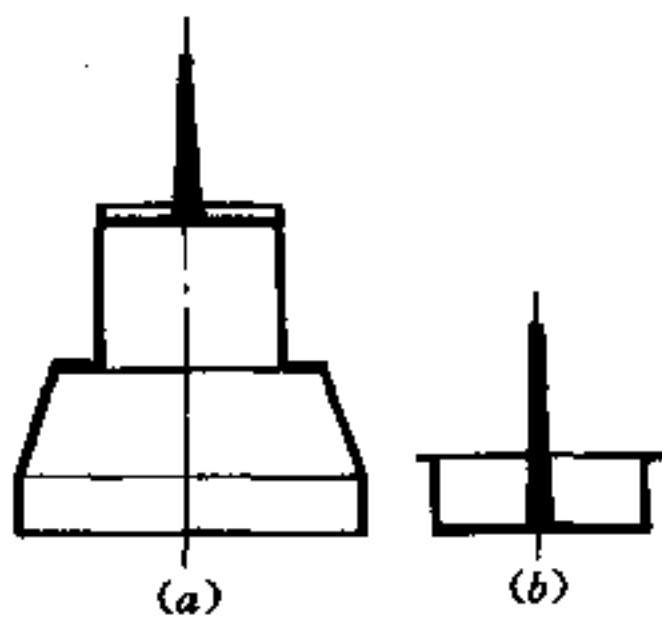


图 4.2-11 直接浇口

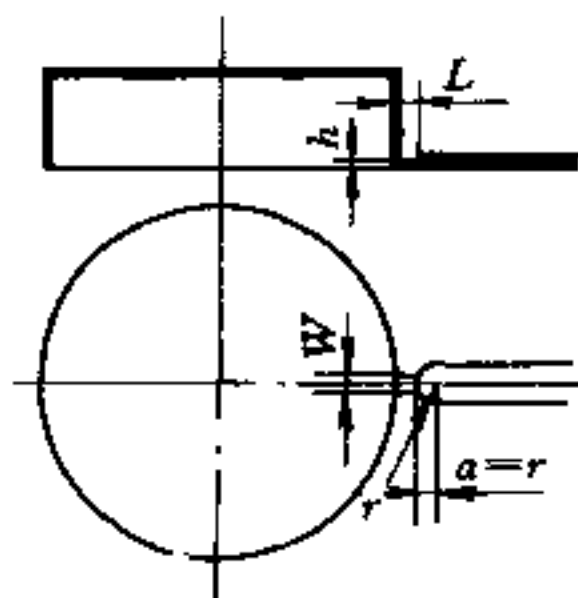


图 4.2-12 侧浇口

表 4.2-1 塑料材料系数  $n$ 

材料分类	材料名称	材料系数 $n$
I	PE、PS	0.6
II	POM、PC、PP	0.7
III	CA、PMMA、PA	0.8
IV	PVC	0.9

浇口宽度的经验公式：

$$W = \frac{n\sqrt{A}}{30} \quad (4.2-5)$$

式中  $W$ ——浇口宽度 (mm)；

$A$ ——型腔表面积，即塑件外表面面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$n$ ——塑料材料系数，见表 4.2-1。

最后，须用流经侧浇口熔体剪切速率  $\dot{\gamma} = \frac{6Q}{Wh^2} \geq 10^4 \text{s}^{-1}$  校核。

[例] 有一 PS 矩形盒，底平面  $150 \times 130 \text{mm}$ ，高  $50 \text{mm}$ ，壁厚  $t = 1.3 \text{mm}$ 。试设计矩形侧浇口。

[解] 现取浇口长  $L = 0.5 \text{mm}$ 。由表 4.2-1 得  $n = 0.6$ ，故  $h = nt = 0.6 \times 1.3 = 0.8 \text{mm}$ 。

$$A = 2(150 \times 50) + 2(130 \times 50) + (150 \times 130) = 47500 \text{mm}^2$$

得 
$$W = \frac{n\sqrt{A}}{30} = \frac{0.6\sqrt{47500}}{30} = 4.5 \text{mm}$$

由塑件体积  $V = 475 \times 0.13 \approx 61.8 \text{cm}^3$ ，定充模注射时间  $1.6 \text{s}$ ，在此

$$Q = \frac{61.8}{1.6} = 38.6 \text{cm}^3/\text{s}$$

故得  $\dot{\gamma} = \frac{6Q}{Wh^2} = \frac{6 \times 38.6}{0.45 \times 0.08^2} = 8.04 \times 10^4 > 10^4 \text{s}^{-1}$ ，符合要求。

### 3. 重叠式浇口

侧浇口开设在塑件端面的边缘，如图 4.2-13 所示。它可避免熔体从浇口射出，在大型腔中产生喷射现象。尤其适用于低粘度物料，使熔体有序推进。浇口深度  $h$ 、宽度

$W$  及长度  $L_1$  可按前侧浇口的确定方法计算。其浇口总长度  $L = L_1 + L_2$  中

$$L_2 = h + \frac{W}{2} \quad (4.2-6)$$

式中  $L_2$ ——重叠长度 (mm);  
 $h$ ——浇口深度, 见式 (4.2-4);  
 $W$ ——浇口宽度, 见式 (4.2-5)。

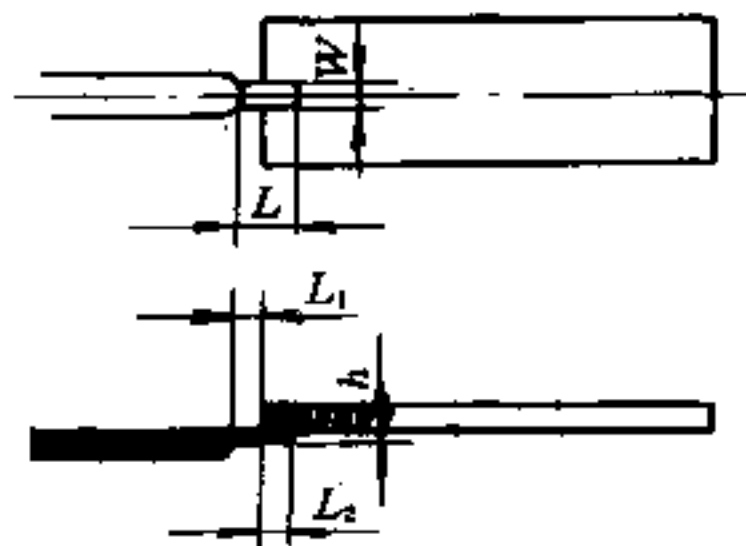


图 4.2-13 重叠式浇口

#### 4. 扇形浇口

这是侧浇口的一种改进型。扇形浇口从流道起向型腔扩展呈扇形, 深度逐步由深至浅。浇口的截面积  $S$  应视为常数。塑料熔体可在较大范围注入, 所以这种浇口适用于大面积薄壁塑件。扇形浇口呈扩展形, 使注塑时流痕很小。塑件取向变形也小。注塑着色塑料时, 外观色泽一致。除粘度较高的物料外, 一般塑料均适用。

浇口有较长长度  $L = 0.7 \sim 2.0\text{mm}$  或更大。浇口的面积  $S$  应按式 (4.2-4) 和式 (4.2-5) 计算。然后根据流道直径  $d$  和最大宽度  $W_2$ , 求出它们对应的深度  $h_1$  和  $h_2$ , 见图 4.2-14 有

$$S = hW, \quad h_1 = \frac{S}{d}, \quad h_2 = \frac{S}{W_2} \quad (4.2-7)$$

式中  $S$ ——浇口的平均截面积 ( $\text{mm}^2$ );  
 $h$ 、 $W$ ——由式 (4.2-4) 和式 (4.2-5) 计算的平均深度和宽度 (mm);  
 $h_1$ 、 $h_2$ ——浇口始端和型腔端深度 (mm);  
 $d$ ——流道直径、即浇口始端宽 (mm);  
 $W_2$ ——浇口型腔端宽度, 常取 40mm 左右。

为补偿扇形扩展时, 两侧流程增大所造成的压力损失, 浇口深度  $h$  从中心线起向两侧逐步加深至  $h'$ 。

**[例]** 尺寸为  $150\text{mm} \times 100\text{mm} \times 3\text{mm}$  的 PS 平板, 设计扇形浇口。

**[解]** 参量计算:

表面积  $A = (150 \times 100) \times 2 + (150 \times 3) \times 2 + (100 \times 3) \times 2 = 31500\text{mm}^2$

质量  $M = 15 \times 10 \times 0.3 \times 1.0 = 45\text{g}$

流道直径  $d = 0.27 \sqrt[4]{M \sqrt[4]{L}} = 0.27 \sqrt[4]{45 \cdot \sqrt[4]{50}} = 5\text{mm}$

平均深度  $h = nt = 0.6 \times 3 = 1.8\text{mm}$

平均宽度  $W = \frac{n \sqrt{A}}{30} = \frac{0.6 \sqrt{31500}}{30} = 3.6\text{mm}$

平均面积  $S = hW = 1.8 \times 3.6 = 6.4\text{mm}^2$

起始深度  $h_1 = \frac{S}{d} = \frac{6.4}{5} = 1.3\text{mm}$

型腔端中心深度  $h_2 = \frac{S}{W_2} = \frac{6.4}{20} = 0.32\text{mm}$

扇形两侧深度  $h'_2 = 0.5\text{mm}$

校核: 在此  $Q = \frac{15 \times 10 \times 0.3}{1} = 45\text{cm}^3/\text{s}$

故得  $\dot{\gamma} = \frac{6 \times 45}{0.36 \times 0.18^2} = 2.3 \times 10^4 > 10^4 \text{ s}^{-1}$ , 可行。

### 5. 平缝型浇口

这种浇口又称薄膜浇口。它是由扇形浇口演变而来, 充模流动更为均衡。对有透明度和平直度要求、表面不允许有流痕的片状塑件尤为适宜。

平缝形浇口宽度等于或略大于型腔宽度, 见图 4.2-15。流道也随之加长, 因而切割困难, 耗料较多。浇口长度  $L \geq 1.3 \text{ mm}$ , 以便于割除。浇口深度  $h$ , 即使对于低粘度熔体也不能小于  $0.25 \text{ mm}$ , 其深度经验公式为

$$h = 0.7nt \quad (4.2-8)$$

式中,  $h$ 、 $n$  和  $t$  的含义和单位同前。

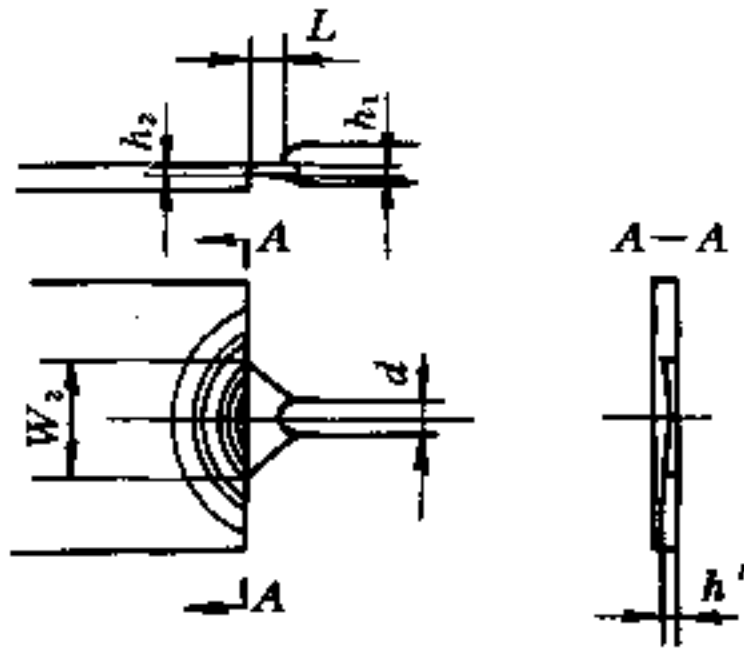


图 4.2-14 扇形浇口

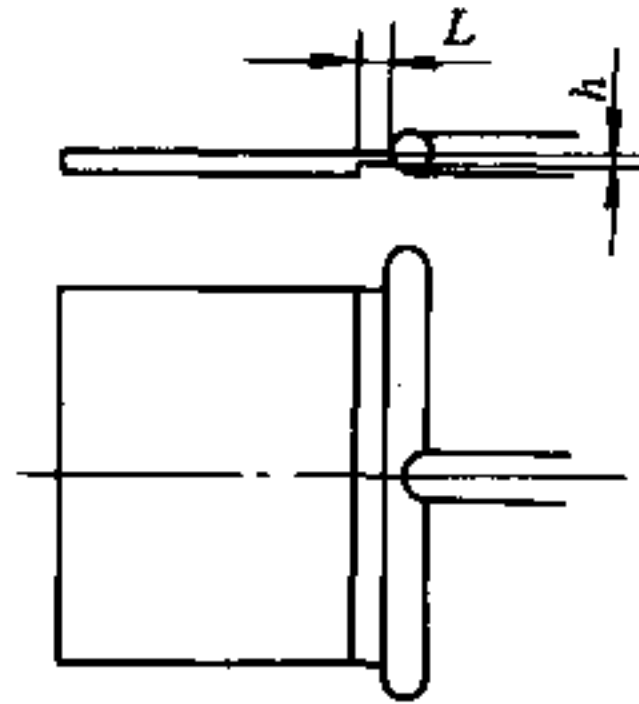


图 4.2-15 平缝形浇口

### 6. 点浇口

点浇口全称针点式浇口, 是典型的限制型浇口。具有如下优点:

(1) 可大大提高塑料熔体剪切速率, 表观粘度降低明显, 致使充模容易。这对 PE、PP、PS 和 ABS 等对剪切速率敏感, 即非牛顿指数愈小的熔体更加有效。

(2) 熔体经过点浇口时因高速摩擦生热, 熔体温度升高, 粘度再次下降, 致使流动性再次提高。

(3) 能正确控制补料时间, 无倒流之虑; 有利降低塑件特别是浇口附近的残余应力, 提高了制品质量。

(4) 能缩短成型周期, 提高生产效率。

(5) 有利浇口与制品的自动分离, 便于实现塑件生产过程的自动化。

(6) 浇口痕迹小, 容易修整。

(7) 在多型腔模中, 容易实现各型腔均衡进料, 改善了塑件质量。

(8) 能较自由地选择浇口位置。

点浇口按使用位置关系可分成两种。一种是与主流道直接接通, 整个点浇口如图 4.2-16 (a) 所示, 就成了棱形浇口或称橄榄形浇口。由于熔体由注射机喷嘴很快就进入型腔, 只能用于对温度稳定的物料, 如 PE 和 PS 等。使用较多的是经分流道的多点进料的点浇口。

点浇口的圆柱孔长  $L = 0.5 \sim 0.75 \text{ mm}$ 。其直径  $d$  常见为  $0.5 \sim 1.8 \text{ mm}$ 。它可由以下经验公式估算, 并使熔体流经剪切速率控制在  $\dot{\gamma} = \frac{32Q}{\pi d^3} \geq 10^5 \text{ s}^{-1}$  为好。

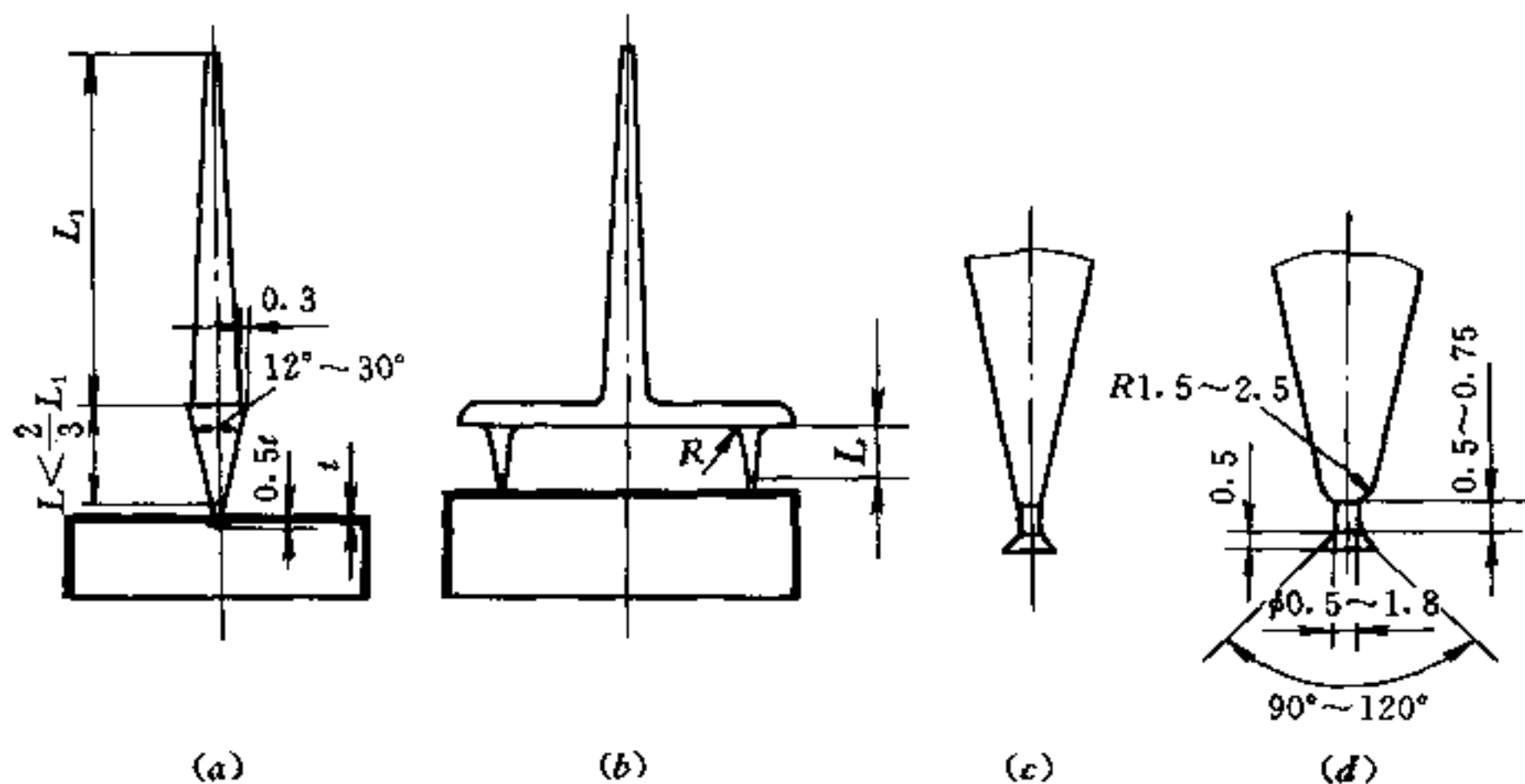


图 4.2-16 点浇口

$$d = nc \sqrt[3]{A} \quad (4.2-9)$$

- 式中  $d$ ——点浇口直径 (mm);  
 $A$ ——型腔的表面积, 即塑件外表面面积 (mm);  
 $c$ ——塑件壁厚的函数值, 见表 4.2-2;  
 $n$ ——塑料材料系数, 见表 4.2-1。

表 4.2-2 点浇口计算系数  $c$ 

塑件壁厚 $t$ /mm	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5
$c$	0.178	0.20	0.230	0.242	0.272	0.294	0.309	0.326

点浇口的引导圆锥孔有两种形式。图 4.2-16 (c) 是直锥孔, 它的阻力小, 适合于含玻璃纤维的塑料熔体。图 4.2-16 (d) 是带球形底的锥孔。它可延长浇口冻结时间, 有利补缩。点浇口引导部分长度一般 15~25mm, 有锥角  $12^\circ \sim 30^\circ$ , 与分流道间用圆弧相连, 在点浇口与塑件表面连接处带有  $90^\circ \sim 120^\circ$  锥度, 高 0.5mm 的倒锥, 使点浇口在拉断时不损伤塑件。点浇口附近充模剪切速率高, 固化残余应力大。为防止薄壁塑件开裂, 可将浇口对面的壁厚局部适当增加, 见图 4.2-16 (b)。

点浇口的缺点有:

- (1) 必须采用双分型面的模具结构;
- (2) 不适合高粘度和对剪切速率不敏感的塑料熔体;
- (3) 不适合厚壁塑件成型;
- (4) 要求采用较高的注射压力。

### 7. 潜伏式浇口

潜伏式浇口也称隧道浇口或剪切浇口。它是点浇口在特殊场合下的一种应用形式, 具备点浇口的一切优点, 因而已获广泛应用。潜伏式浇口潜入分型面一侧, 沿斜向进入型腔。这样在开模时, 不仅能自动剪断浇口, 而且其位置可设在制品侧面、端面和背面等各隐蔽处, 使制品外表面无浇口痕迹。采用潜伏式浇口的模具结构, 可将三板式简化成两板式模具, 它的浇口尺寸可按点浇口的经验公式 (4.2-9) 计算确定。

图 4.2-17 所示为四种不同潜伏式浇口。图 4.2-17 (a) 为带引导锥的潜伏浇口。浇口方向角  $\alpha$  愈大, 愈容易拔出浇口凝料, 故  $\alpha$  可达  $60^\circ$ 。对硬质脆性材料  $\alpha$  可取小值, 而引导锥角  $\beta$ , 对硬质脆性塑料反而应取大。较粗大的引导锥体可使芯部保持高温, 在开模时还具有较好弹性, 并承受较大弯曲力。图 4.2-17 (b)、(c) 是两种利用顶杆通道的潜伏式浇口。图 4.2-17 (b) 为熔体从塑件外侧的顶杆注入, 熔料在顶杆头上转半圈, 然后向上注射, 图 4.2-17 (c) 是从塑件里侧的顶杆注入熔料。图 4.2-17 (d) 是弯曲式潜伏浇口, 此种浇口的加工费用较高, 它可在扁平塑件的内侧进料。弯曲式潜伏浇口设计尺寸为  $L_{\min} = 15\text{mm}$ ,  $L/D \geq 5$ , 而  $D = \phi 4 \sim 6\text{mm}$ 。  $d_1 \leq D$ ,  $d_1 = \phi 4 \sim 6\text{mm}$ 。  $r = (2.5 \sim 3) d_1$ ,  $d_1 \sim d_2$  有  $3^\circ \sim 5^\circ$  的锥度。浇口细部尺寸见图 4.2-17 (d)。

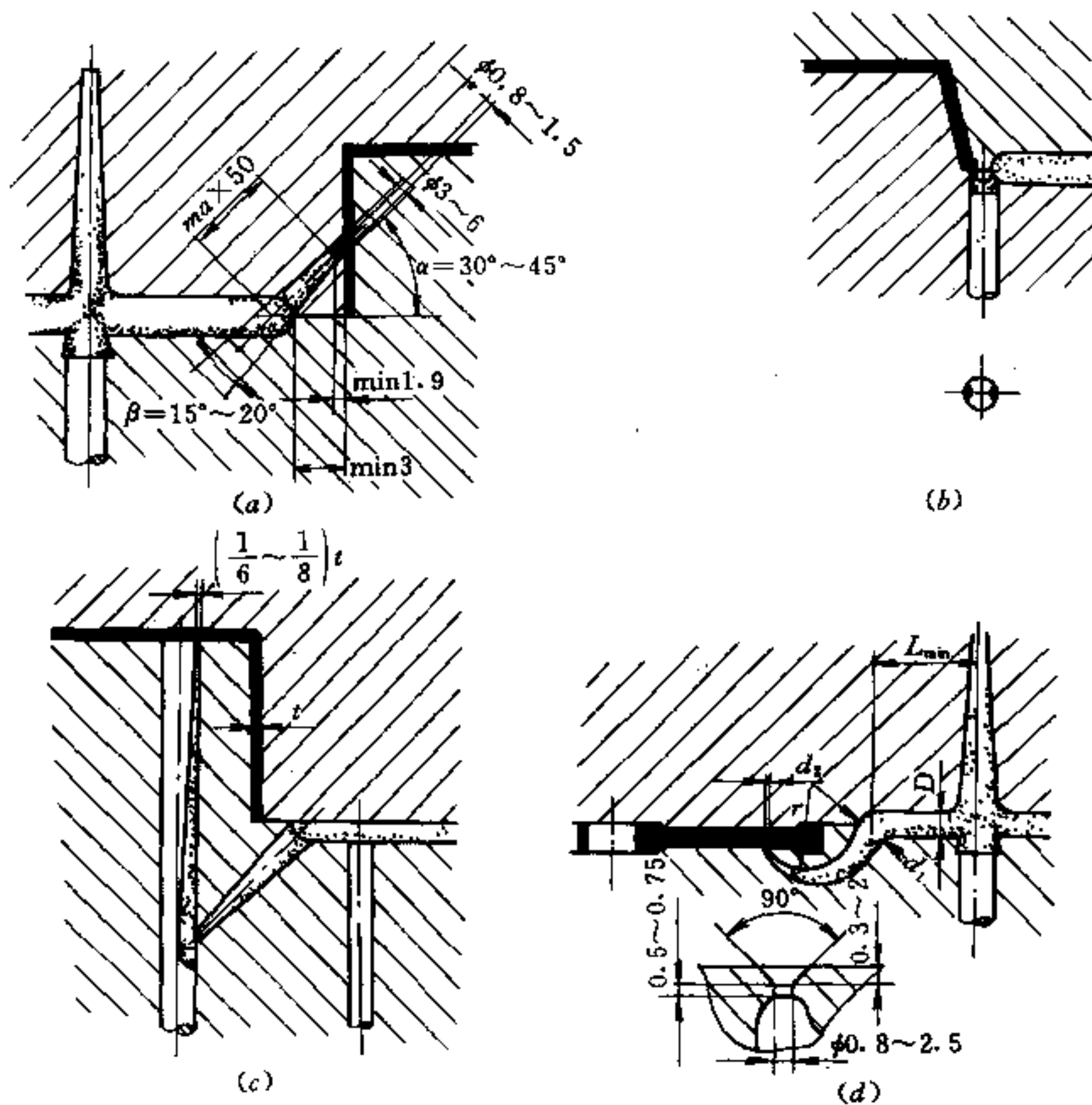


图 4.2-17 潜伏式浇口

(a) 带引导锥; (b) 外侧顶杆; (c) 里侧顶杆; (d) 弯曲式。

## 8. 圆环形浇口

主要用于圆筒形制品或中间带有孔的制品, 如图 4.2-18 所示。浇口可置于孔的内侧, 也可置于外侧或置于制品的端面上, 分流道成圆环布置, 其截面为圆形或矩形。浇口为环形缝, 可参照平缝形浇口公式 (4.2-8) 计算浇口深度  $h$ 。这种浇口进料均匀, 排气容易, 制品质量好。但浇口切除需用冲裁模冲切。

图 4.2-18 (a) 为盘形浇口。常用在单型腔的三板模中, 制品中无熔合缝。成型型芯呈一端固定的悬臂柱体, 长径比不小于  $1/5$ , 浇口长度可取  $L = 0.75 \sim 1.0\text{mm}$ 。浇口

也可交叠在端面上。图示交叠长度  $L_1 = nt$ ,  $L$  同前。图 4.2-18 (b) 为外环式浇口, 适用于孔径较小的管筒形塑件。型芯可二端支承, 保证了壁厚均匀, 在环形分流道的末端也应设置冷料井。这种浇口适合于一模多腔的模具结构。图 4.2-18 (c) 为轴向缝式环形浇口。它与外环式浇口相似, 但熔体压力对型芯冲击力最小, 更适用于细长的需二端支承的型芯。

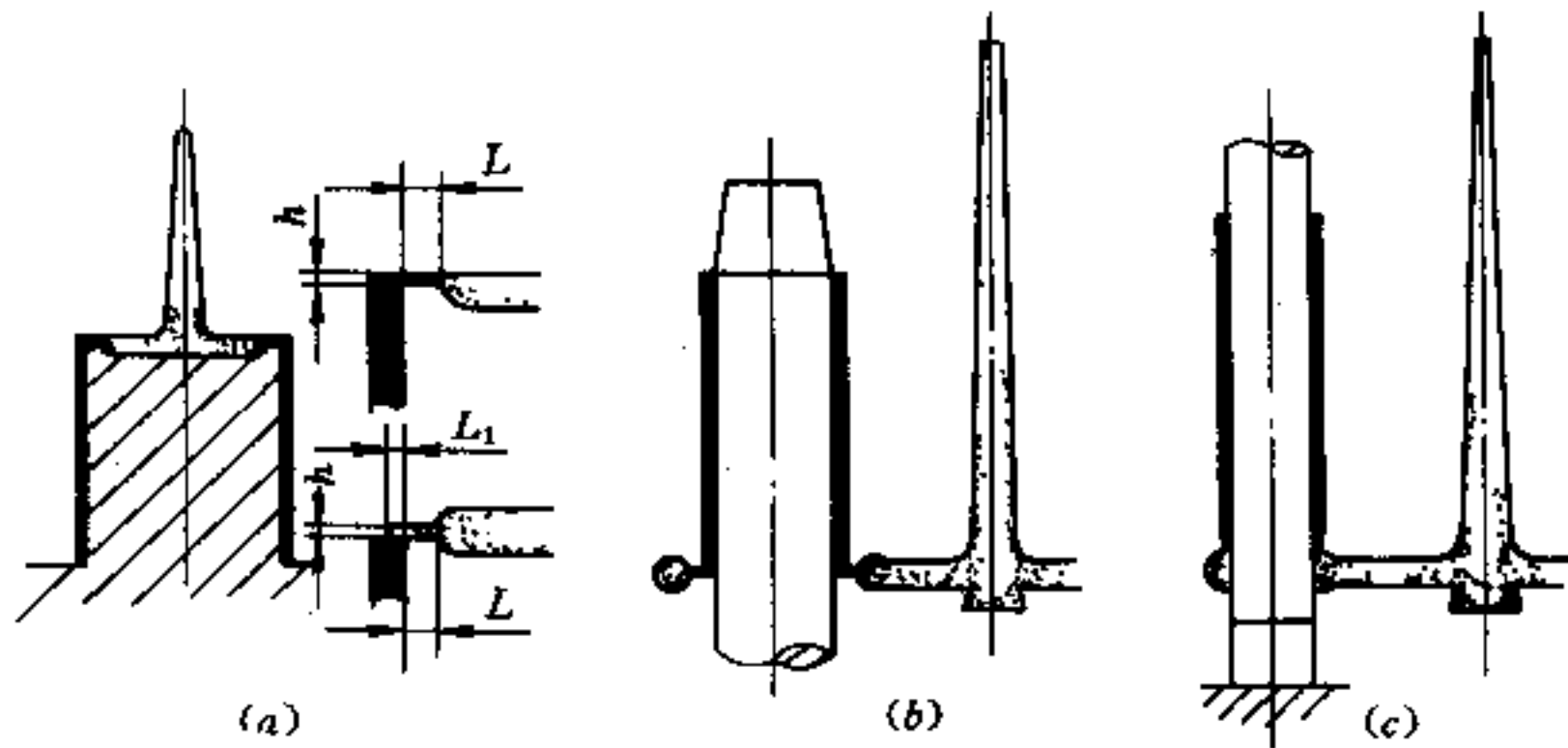


图 4.2-18 圆环形浇口

(a) 盘形浇口; (b) 外环式浇口; (c) 轴向缝式环形浇口。

### 9. 轮辐式浇口

它的适用范围类似圆环形浇口, 但是它把整圆改成了几段小圆弧进料, 如图 4.2-19 所示。这样不但浇口去除方便, 浇口凝料减少, 而且还由于型芯上部得以定位, 增加了型芯的稳定性。缺点是制品上带有若干条熔合缝, 影响制品力学性能。浇口长度  $L = 0.8 \sim 1.8 \text{mm}$ , 浇口深  $h$  和宽  $W$ , 可参照侧浇口公式 (4.2-4) 和式 (4.2-5) 计算。

### 10. 爪形浇口

爪形浇口是轮辐式浇口的一种变异形式。如图 4.2-20 所示, 其分流道和浇口不在一个平面内。它适用于内孔较小的管状制品, 及同心度要求高的塑件。由于型芯的顶端伸入定模, 起到定位和支承作用, 避免了型芯的偏移和弯曲。它既可设计成点浇口, 也可设计成矩形浇口。

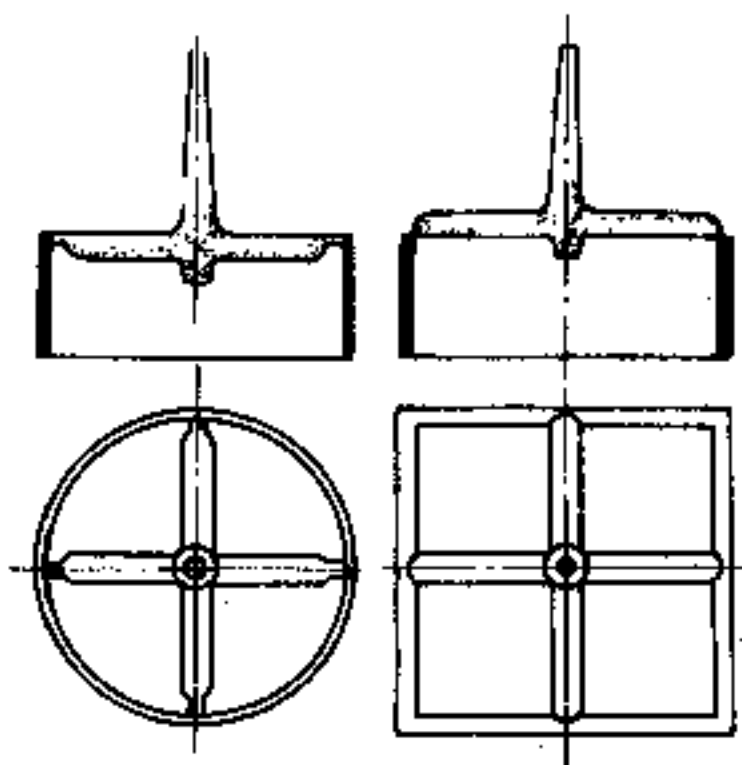


图 4.2-19 轮辐式浇口

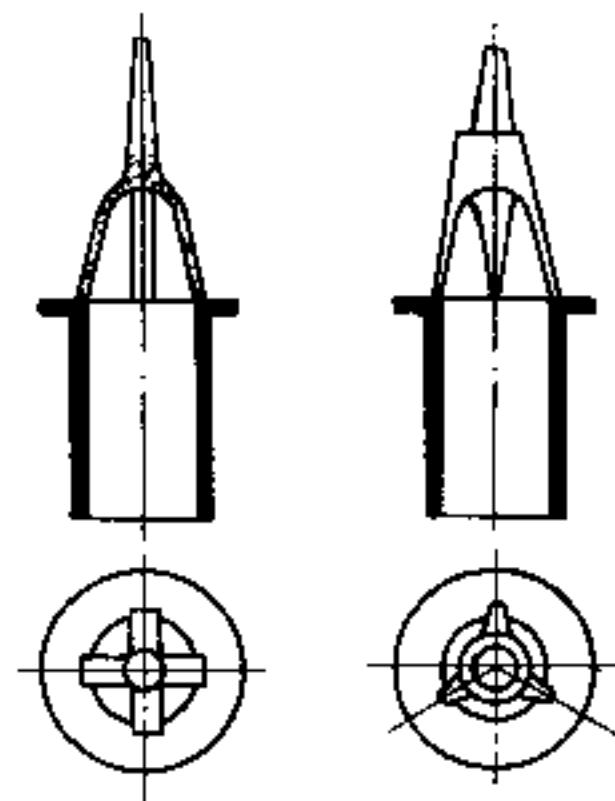


图 4.2-20 爪形浇口



### 11. 护耳浇口

对于难成型的或有光学性能要求的制品，为从制品上除去聚集有残余应力的部分，可采用图 4.2-21 所示的护耳式浇口。它容许浇口附近产生缩孔；能有效地防止喷射流动，提高制品内在质量。护耳尺寸为：宽  $W_t = D$ ，深  $h_t = 0.8 \sim 0.9t$ ，长  $L_t = 1.5D$ 。护耳一般选在塑件的较厚部位，必要时可有多个护耳。

除了上述 11 种浇口形式外，随着各种新塑料品种和新的模具结构的出现，还会有更多新型浇口问世。如用于侧向分型模具的侧隙浇口。多个浇口并联的多重浇口，可较好成型有多处细小轮廓的塑件。多个浇口串联的多级浇口，还有在浇口中设置阻流销的阻尼浇口，二者适合于硬 PVC。它们利用阻尼使熔料升温，提高流动性，但需消耗较大注射压力。众多形式的无流道凝料模具的浇口将在 4.14 节中介绍。

上述各种类型浇口的选择，是个综合性的技术和经济问题，现今大多凭经验确定，也可用 CAD 技术，以各种方案比较分析方法来确定。浇口形式选择中，大致需充分考虑如下方面：

(1) 型腔数；(2) 塑料种类及性能；(3) 制品外观及性能；(4) 制品形状及尺寸；(5) 制品的形状、位置和尺寸的精度要求；(6) 制品的后加工；(7) 减小制品中残余应力；(8) 模具的结构；(9) 浇口凝料消耗；(10) 成型周期的缩短。

### 二、浇口位置

确定了浇口类型后，需慎重决定浇口对模具型腔的位置，也涉及浇口的数目。

#### 1. 具有合理的充模流程

浇口位置不当或数目不足造成熔体流程过长，会使熔流前锋压力不足和温度过低，从而导致塑件密度低，收缩率偏大，甚至出现型腔不能充满。为此，须对熔体流程进行校核。

#### (1) 浇注系统和型腔的流程比较核

其流程比  $B$  的校核式：

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{t_i} \leq [B] \quad (4.2-10)$$

式中  $L_i$ ——各段流程长度 (mm)；

$t_i$ ——流程各段厚度 (mm)；

$[B]$ ——允许流程比，由表 4.2-3 确定。

表 4.2-3 一些塑料熔体的流程比

塑 料	流程比 $[B]$	备 注
ABS	175:1	1. 工艺条件 (1) 用阿基米德螺旋线型腔注射模实测； (2) $B = \text{流程}/\text{螺槽深}$ (2.5mm)； (3) 注射压力 80~90MPa 2. 使用条件 (1) 注射压力 > 90MPa，仍可用表中值； (2) 当流程厚度小于 2.5mm 时，取表值下限 0.7~0.8
聚甲醛	140:1	
聚丙烯酸酯类	130~150:1	
聚酰胺	150:1	
聚碳酸酯	100:1	
低密度聚乙烯	275~300:1	
高密度聚乙烯	225~250:1	
聚丙烯	250~275:1	
聚苯乙烯	200~250:1	

如图 4.2-22 示例的流程比为:

$$B = \frac{L_1}{t_1} + \frac{L_2}{t_2} + \frac{L_3}{t_3} + \frac{2L_4}{t_4} + \frac{L_5}{t_5}$$

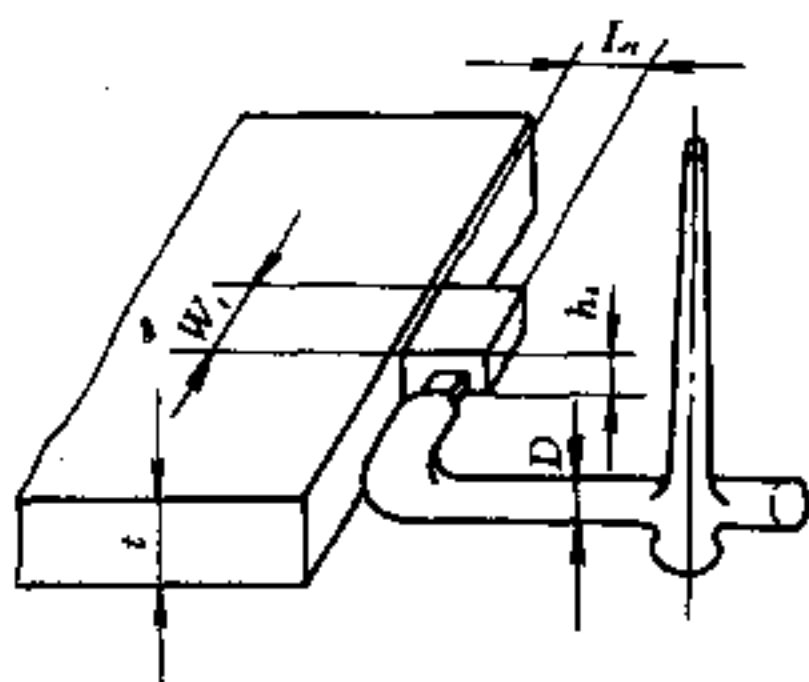


图 4.2-21 护耳浇口

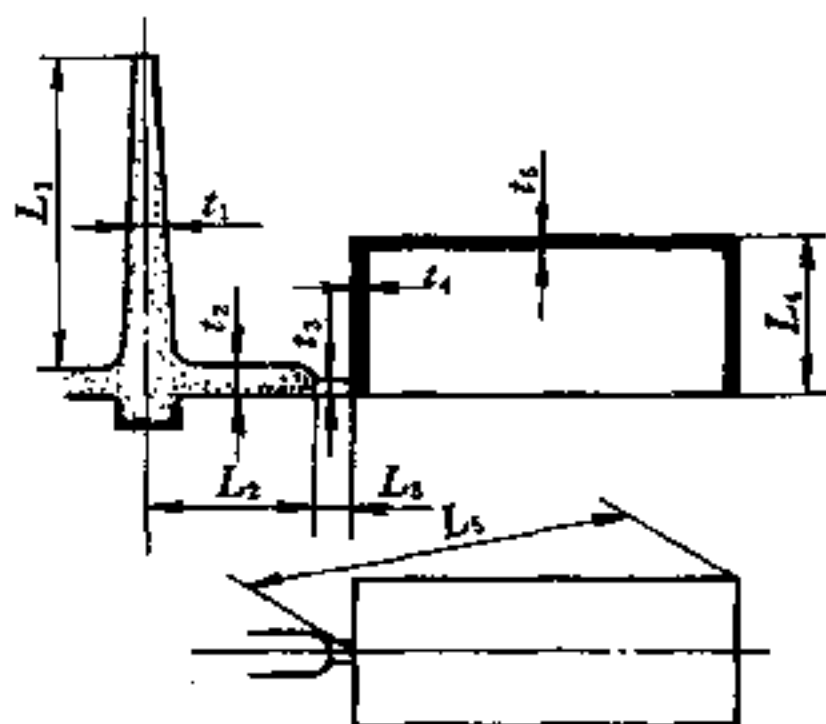


图 4.2-22 流程比计算示例

## (2) 物理模型校核

上述流程比计算法没有考虑型腔宽度  $W$ 。下面为普遍适用的物理定律, 也可进行流程比校核。

$$b = \frac{L}{H^2} = \frac{P}{32\varphi v \eta_a} \quad (4.2-11)$$

式中  $b$ ——物理流程比 (cm);

$L$ ——流程长度 (cm);

$\varphi$ ——流程宽度大于厚度时取 1.5;

$V$ ——熔料前锋流速, 最佳值 30cm/s;

$P$ ——最大注射压力, 常用  $120 \times 10^6 \text{Pa}$ ;

$\eta_a$ ——表观粘度, 对无定形聚合物  $\eta_a = 250 \sim 270 \text{Pa}\cdot\text{s}$ , 对结晶型聚合物  $\eta_a = 170 \text{Pa}\cdot\text{s}$ ;

$H$ ——当量厚度;

$$H = \frac{2Wt}{W+t} \quad (4.2-12)$$

式中  $W$ ——流程宽度 (cm);

$t$ ——流程厚度 (cm)。

将以上最佳数据代入式 (4.2-11); 化简可得:

$$\text{对无定形聚合物} \quad [b] = \frac{L}{H^2} = 320 \text{cm}^{-1} \quad (4.2-13)$$

$$\text{对结晶型聚合物} \quad [b] = \frac{L}{H^2} = 500 \text{cm}^{-1} \quad (4.2-14)$$

故物理流程比, 可按下式校核:

$$b = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{H_i^2} < [b] \quad (4.2-15)$$

式中  $L_i$ ——流程各段长度 (cm);

$H_i$ ——流程各段当量厚度 (cm), 由式 (4.2-12) 确定。

当出现流程比过长难以充满型腔时, 一般改善措施有: 改变浇口的位置; 增加浇口的数目; 改善浇注系统甚至塑件设计。

### (3) 熔流等时线校核

为了预测熔合缝在塑件的位置与走向, 以及料流终止位置, 可进行熔流前沿等时线校核。此种方法可理解为偶遇多次注不满的注塑制品, 如图 4.2-23 和图 4.2-24 所示。具体步骤如下:

- 将塑件的几个面展开到一个平面上;
- 料流从浇口开始, 以同心圆扩展; 每段流程  $L$ , 压力降  $\Delta P$ , 对应时间间隔  $\Delta t$ ;
- 由于可能的壁厚变化, 对流程修正值为

$$L_n = L_m \left( \frac{t_n}{t_m} \right) \quad (4.2-16)$$

式中  $t_n$ 、 $t_m$ ——对应于  $n$  和  $m$  段的厚度 (cm);

$L_n$ 、 $L_m$ ——对应壁厚的流程长度 (cm)。

图 4.2-25 和图 4.2-26 分别表示为具有中心直浇口和侧浇口的矩形盒, 分别具有不同熔流前沿线分布。图上双点划线为所得熔合缝位置。表明中心直浇口使流程短, 料流

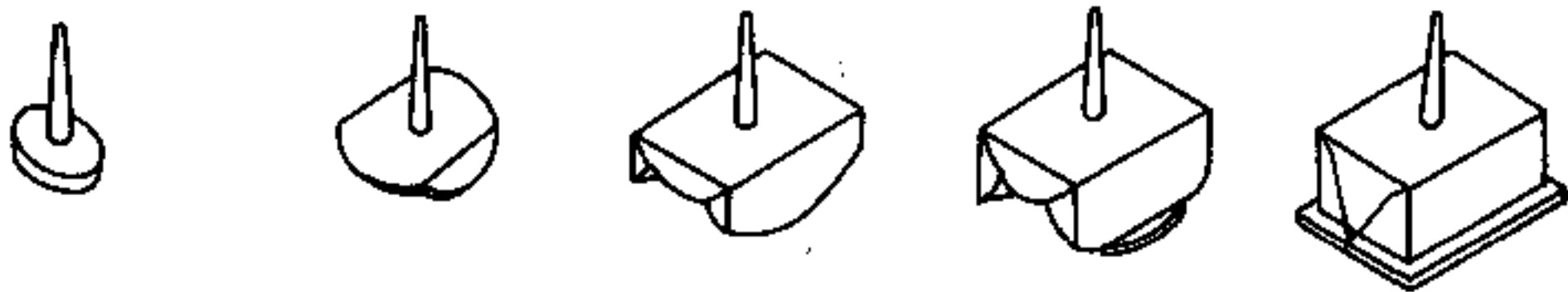


图 4.2-23 中心直浇口矩形盒的充模过程



图 4.2-24 侧浇口矩形盒的充模过程

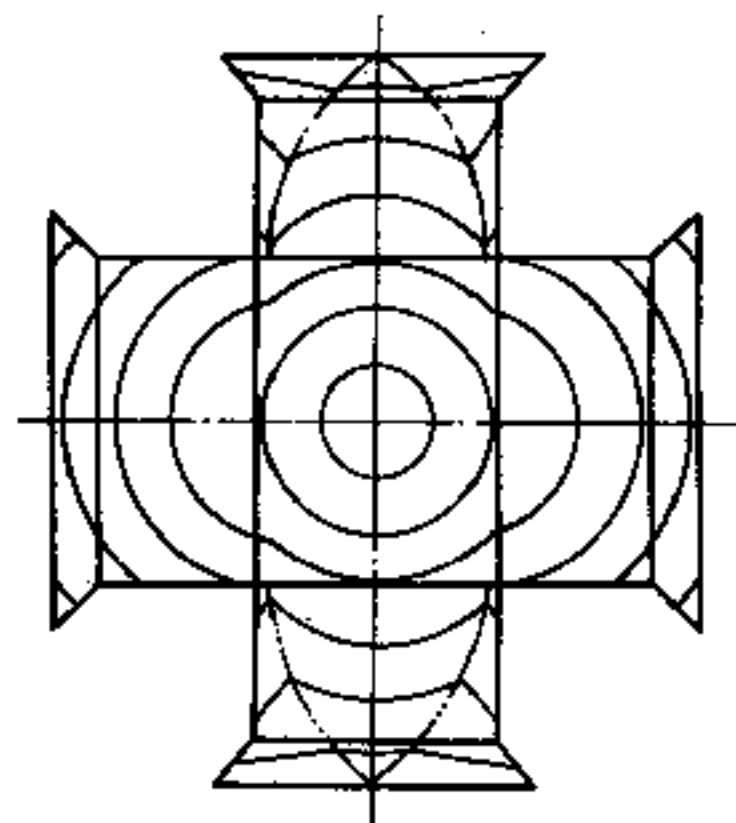


图 4.2-25 中心浇口矩形盒熔流前沿等时线图

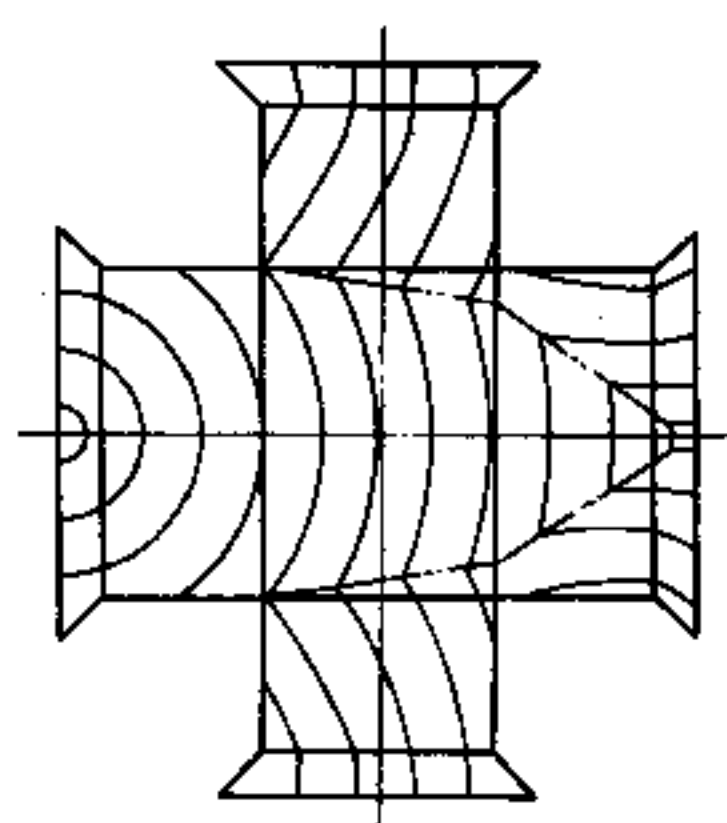


图 4.2-26 侧浇口矩形盒熔流前沿等时线图

末端在分型面上，排气容易。侧浇口充模的流程长，熔体温降大，熔合缝强度差，且排气困难。

## 2. 具有良好的充模流动状态

在合理注射工艺条件下，保证塑料熔体具有良好的充模状态，浇口位置选择具有决定性影响。

(1) 避免喷射和蛇形流，防止塑件产生内部缺陷。如图 4.2-27 (a) 所示，由于小浇口直射大型腔，熔体会产生喷射和蛇形蠕动，先喷射到型腔底部，折叠堆积后再填满型腔，致使制件上留有蛇形或波纹状的流痕和接缝等缺陷。改善的方法，一是增大浇口截面，降低剪切速率；二是利用熔体与模腔壁面或型芯冲撞来消耗能量，以形成扩展推进，见图 4.2-27 (b)。

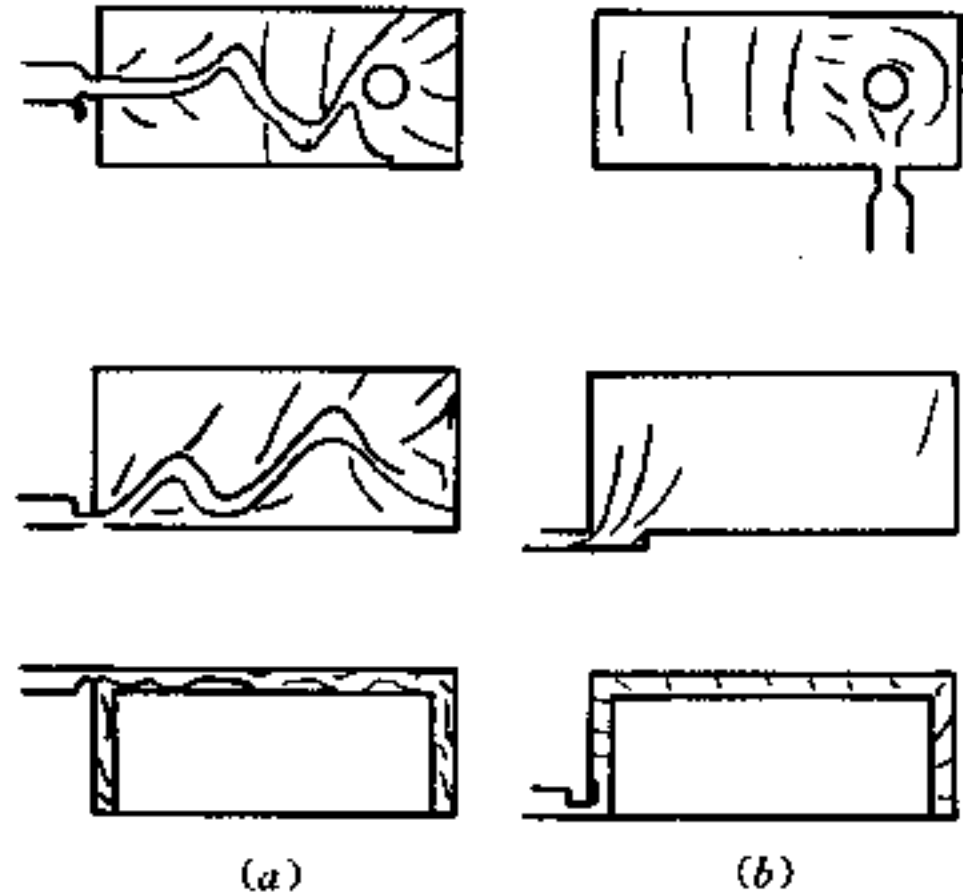


图 4.2-27 改变浇口位置避免喷射充模

(2) 有利于流动、排气和补缩。对于结构上不对称和壁厚不均匀塑件，将浇口安排在壁厚较大部位，以有利于充模流动、排气和补缩。图 4.2-28 (a) 塑件周边厚度较大，侧浇口会使周壁迅速注满，而在顶部形成气囊，并留下明显的熔合缝或焦痕。图 4.2-28 (b) 已将顶部改为厚壁，单侧浇口的料流将最后充填到对边的分型面处，但由于流程长，致使塑件密度分布和收缩不均，补缩不良。图 4.2-28 (c) 改由顶部中心进料，有利充模流动和补缩，且排气畅通。

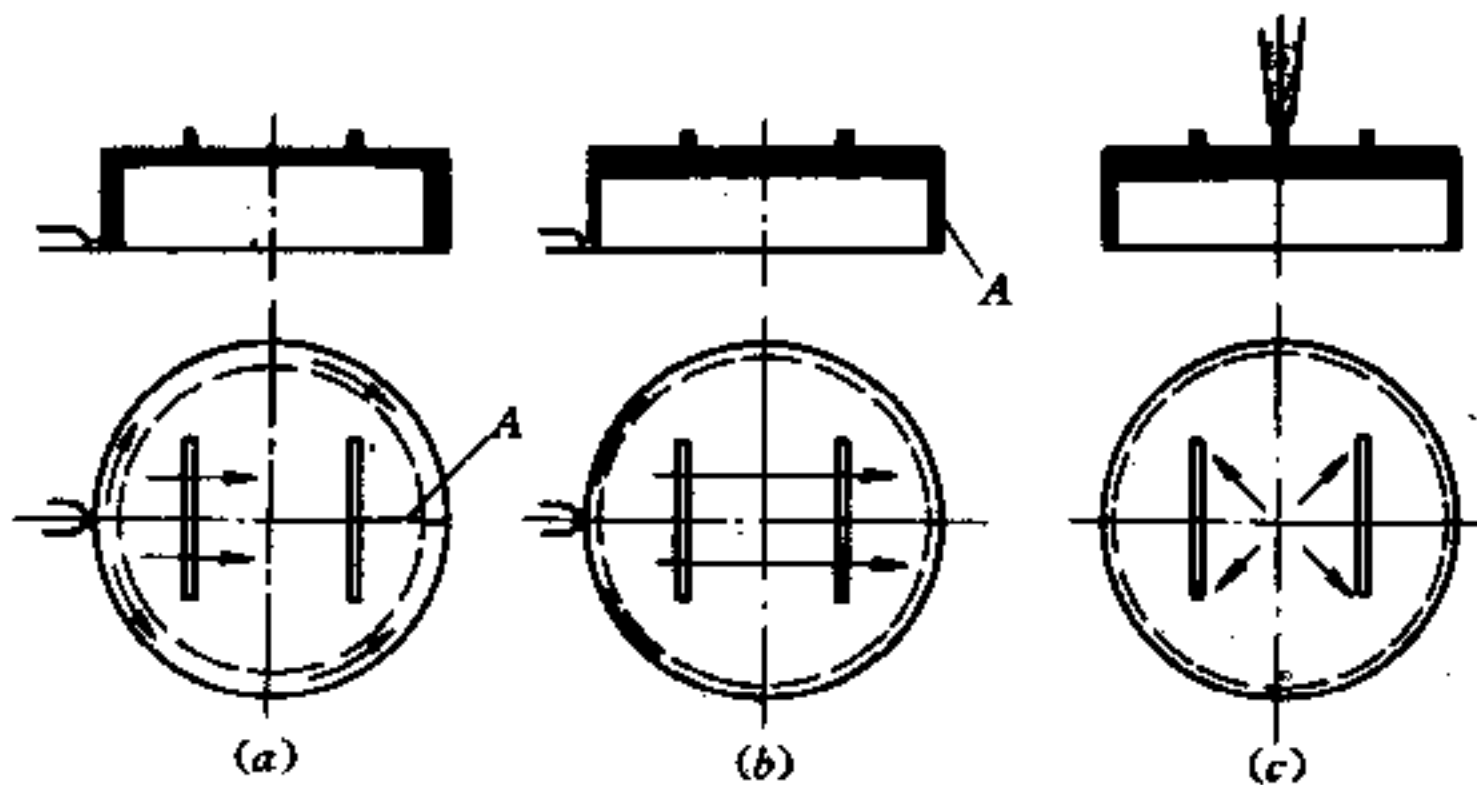


图 4.2-28 浇口位置对流动、排气和补缩的影响

## 3. 减小塑件翘曲变形

如图 4.2-29 所示，一个圆筒形塑件，采用不同浇口时，其端面具有不同不圆度特征。图 4.2-29 (a) 为单侧浇口；图 4.2-29 (b) 为端面上布置三个点浇口；图 4.2-29 (c) 为内孔有四点的轮辐式浇口；图 4.2-29 (d) 为盘形浇口。其中以采用盘形浇口制品的不圆度最小。图 4.2-30 所示为常见的矩形板件的变形和尺寸误差。用平缝形浇口可减少翘曲变形。但塑件上距浇口越近，密度和取向程度愈高；随着流程增大，密度和

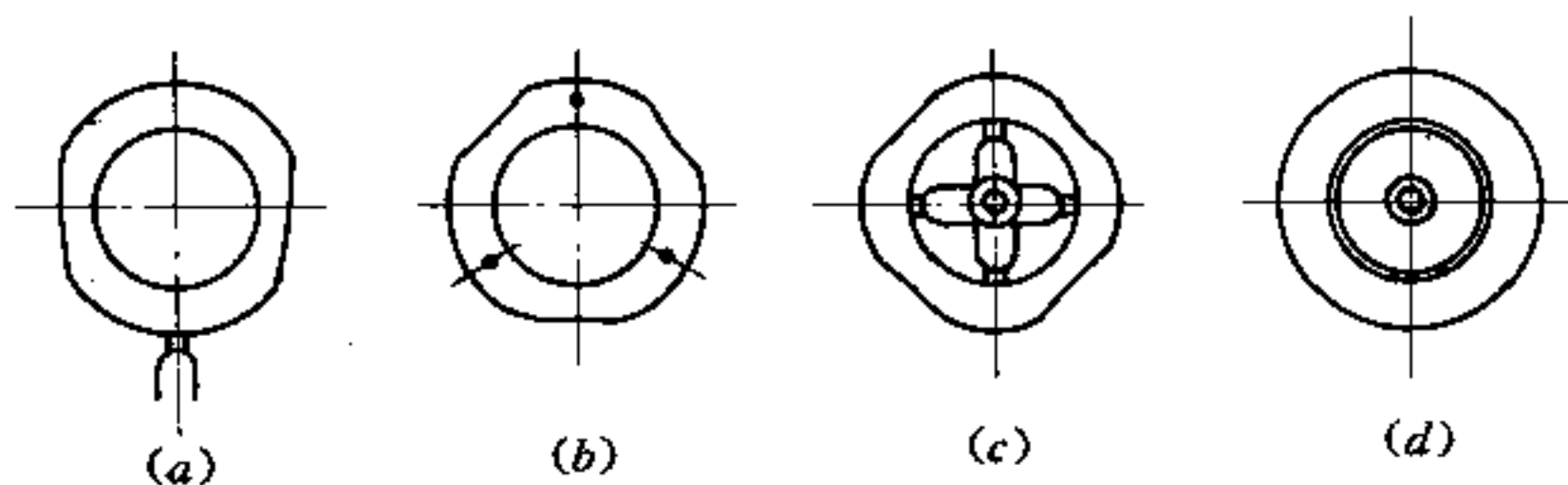


图 4.2-29 浇口与圆筒塑件的变形

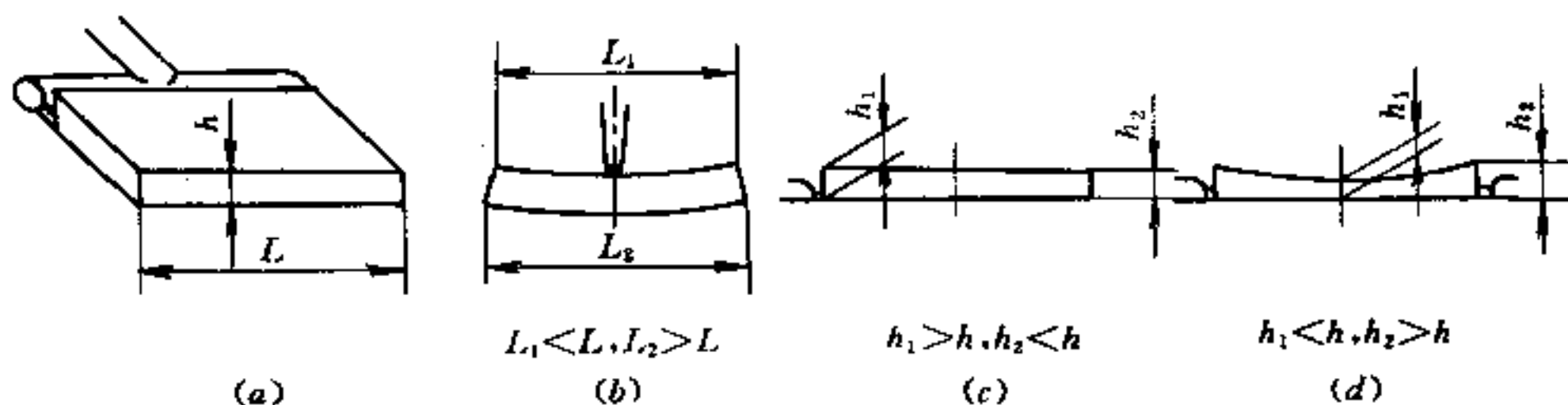


图 4.2-30 浇口与矩形塑料板的变形和尺寸

取向随之减小。

图 4.2-31 所示是采用中心浇口 PP 圆薄片，厚度 1.5mm、直径 100mm，注塑后产生翘曲变形的情况。变形后薄片在熔体流动方向，收缩至 49mm，收缩率 2%。周向方向收缩后为 49.4mm，收缩率 1.2%。致使圆心角从  $60^\circ$  增至  $60^\circ 32'$ ，整个薄片必然产生变形。改用扇形浇口或多点浇口，可大大减轻这种变形。

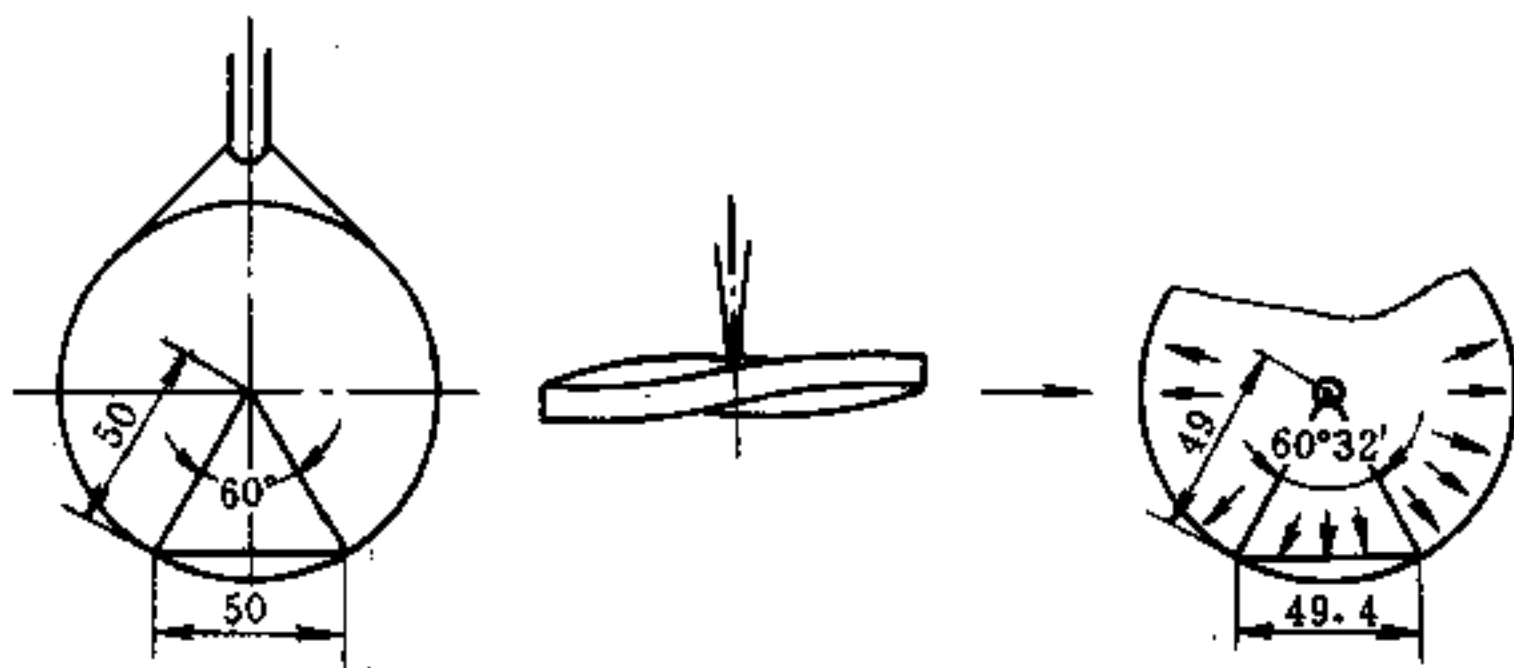


图 4.2-31 浇口与圆形塑料薄片的变形和收缩

通常，塑件翘曲变形程度与浇口类型、位置和数量选择恰当与否密切相关。这需要综合考虑，具体建议如下：

(1) 对称盒盖类壳体、圆筒形塑件，采用中心直浇口、圆环形浇口或轮辐式浇口及爪式浇口较为适宜。

(2) 对于较大圆盘形壳体若采用多点浇口，以塑件重心为中心取等边三角形顶点，设置三个点浇口，如图 4.2-32 (a) 所示。

(3) 对于较大矩形箱体塑件，取对角线位置上的四个点浇口，翘曲变形最小，见图 4.2-32 (b)。

(4) 对于矩形薄片塑件，采用平缝形浇口为好；对于圆形薄片塑件，采用扇形浇口较有效。

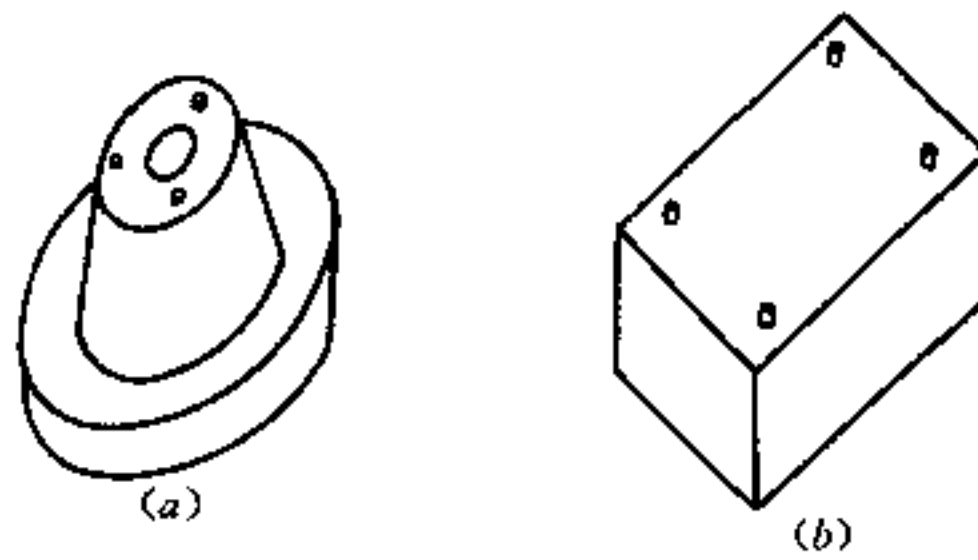


图 4.2-32 大型圆盘和箱体塑件与点浇口的位置和数目关系

(5) 对于如图 4.2-33 所示，一端带有内螺纹金属嵌件的罩类塑件，倘若浇口开设在壳顶 A 处，由于塑件内轴线方向取向，不能与嵌件有效包紧粘合。浇口开设在 B 处，由于塑件内周向取向，较大收缩应力使塑料与嵌件有较高的连接强度，也避免了塑件的应力开裂。

#### 4. 防止型芯变形

高压熔体会使细长型芯变形和偏移。这与浇口位置有关。如图 4.2-34 (a) 所示，当浇口对准两个型芯间隔进料时，熔体会对两个型芯产生向外的侧推力。偏斜型芯会使制品脱模困难，并使塑件中间隔板厚，两侧壁薄。改成如图 4.2-34 (b) 所示的冲击型浇口，使三路熔料均匀充模，防止了型芯变形。

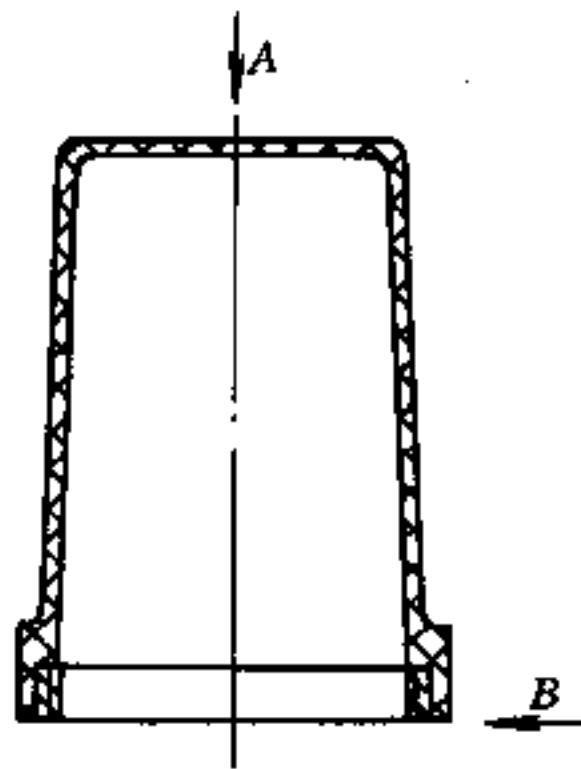


图 4.2-33 浇口位置对塑件内取向的影响

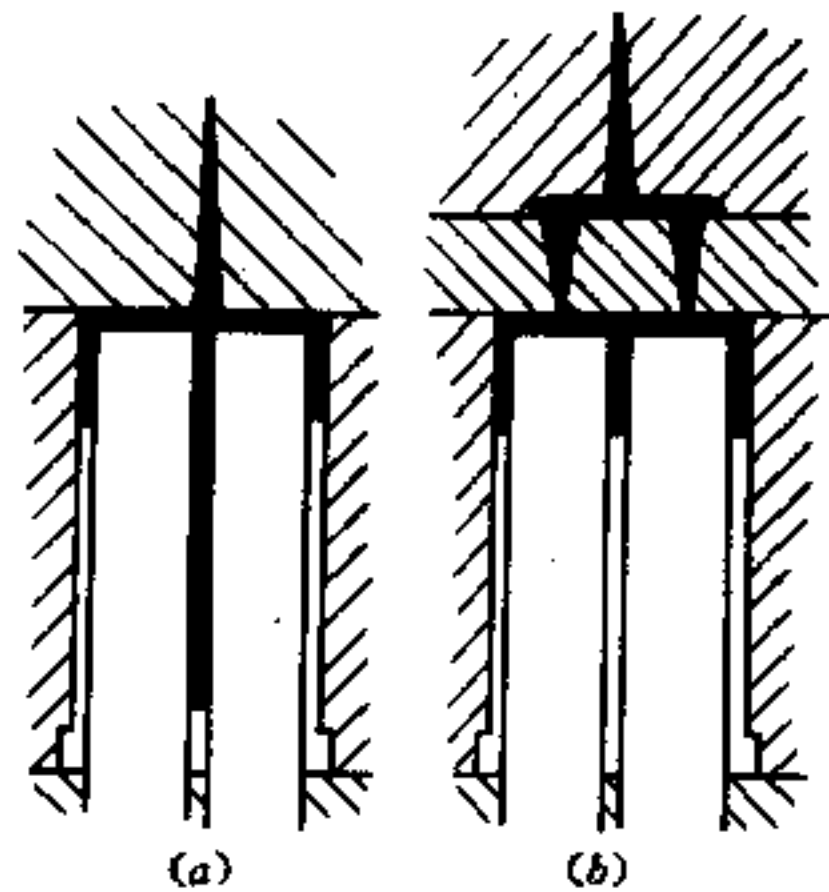


图 4.2-34 浇口位置对型芯变形的影响  
(a) 不良位置；(b) 改进后位置。

#### 4.2.4 浇口平衡

在一模多腔的非平衡布置时，需进行浇口的平衡计算，简称 BGV (Balanced Gate Value)。相同制品多型腔布置时，按浇口计算的 BGV 必须相等；不同制品多型腔布置时，各浇口计算得 BGV 必须与其填充量成正比。

##### 一、相同制品多型腔的浇口平衡

使塑料熔体同时结束各型腔的填充，是至关重要的问题。为此，除点浇口外，离主流道较近的浇口，截面积应小些；反之，浇口要大些。其计算方程式为

$$B_{gv} = \frac{S_g}{\sqrt{L_r L_g}} \quad (4.2-17)$$

式中  $B_{gv}$ ——浇口平衡值；  
 $S_g$ ——浇口截面积 ( $\text{mm}^2$ )；  
 $L_g$ ——浇口的长度 ( $\text{mm}$ )；  
 $L_r$ ——浇口至主流道间的分流道长度 ( $\text{mm}$ )。

浇口平衡计算是使所有浇口的  $B_{gv}$  相等。计算中通常使浇口截面积与对应流道截面积之比，即  $S_g/S_r = 0.07 \sim 0.09$ 。对矩形浇口，若浇口长度  $L_g$  不变，改变浇口宽度  $W$  与深度  $h$ ，使  $W/h \approx 3 \sim 5$  为好。

【例】如图 4.2-35 所示，有 10 个相同型腔呈线形非平衡布置。采用矩形侧浇口，浇口长度  $L_g = 1.3\text{mm}$  为定值。计算达到平衡的各浇口尺寸宽  $W$  与深  $h$ 。

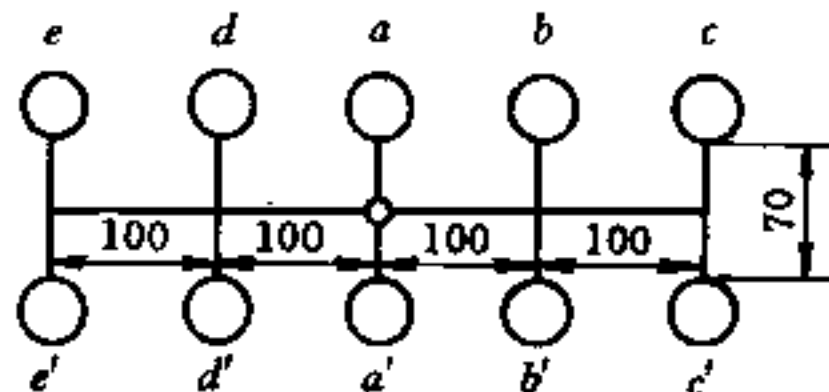


图 4.2-35 10 个相同型腔的浇口平衡

【解】根据已知条件，流通截面积

$$S_r = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 5^2}{4} = 19.64\text{mm}^2$$

若取  $S_g/S_r = 0.07$ ，可先决定  $b$  和  $d$  位置的浇口尺寸

$$S_{gb} = 0.07 S_r = 0.07 \times 19.64 = 1.38\text{mm}^2$$

再取  $W/h = 3$ ，则  $S_{gb} = W_b h_b = 3h_b^2$

$$\text{故得 } h_b = \sqrt{\frac{S_{gb}}{3}} = \sqrt{\frac{1.38}{3}} = 0.68\text{mm}$$

$$W_b = 3h_b = 3 \times 0.68 = 2.04\text{mm}$$

为了达到浇口平衡，则  $B_{gv}$  必须与  $a$ 、 $c$  ( $e$ ) 位置的浇口  $B_{gv}$  相等。各位置的  $L_r$  分别为  $35\text{mm}$ 、 $135\text{mm}$  和  $235\text{mm}$ ，有

$$\frac{1.38}{\sqrt{135 \times 1.3}} = \frac{S_{ga}}{\sqrt{35 \times 1.3}} = \frac{S_{gc}}{\sqrt{235 \times 1.3}} = 0.0914$$

因而可分别求得  $a$  和  $c$  ( $e$ ) 位置浇口截面积及其宽与深度尺寸如下：

$$S_{ga} = B_{gv} L_g \sqrt{L_{ra}} = 0.0914 \times 1.3 \times \sqrt{35} = 0.703\text{mm}^2$$

$$\text{即 } W_a = 1.45\text{mm}, h_a = 0.48\text{mm}$$

$$\text{和 } S_{gc} = B_{gv} L_g \sqrt{L_{rc}} = 0.0914 \times 1.3 \times \sqrt{235} = 1.822\text{mm}^2$$

$$\text{及 } W_c = 2.34\text{mm}, h_c = 0.78\text{mm}$$

其计算结果见表 4.2-4：

表 4.2-4 达到浇口平衡的各浇口的尺寸 (mm)

型腔代号	$a$ 、 $a'$	$b$ 、 $b'$	$c$ 、 $c'$	$d$ 、 $d'$	$e$ 、 $e'$
长度 $L_g$	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
宽度 $W$	1.45	2.04	2.34	2.04	2.34
深度 $h$	0.48	0.68	0.78	0.68	0.78



采用点浇口的多型腔模，充模流动过程复杂，浇口尺寸修正困难，原则上不用式(4.2-17)。

## 二、多型腔相异制品的浇口平衡

多型腔且填充质量不同时，BGV与填充量成正比，即

$$\frac{M_a}{M_b} = \frac{\frac{S_{ga}}{\sqrt{L_{ra}} \cdot L_{ga}}}{\frac{S_{gb}}{\sqrt{L_{rb}} \cdot L_{gb}}} = \frac{S_{ga} L_{gb} \sqrt{L_{rb}}}{S_{gb} L_{ga} \sqrt{L_{ra}}} \quad (4.2-18)$$

式中  $M_a$ 、 $M_b$ ——分别为  $a$ 、 $b$  型腔的填充量 (g)；

$S_{ga}$ 、 $S_{gb}$ ——分别为  $a$ 、 $b$  型腔的浇口截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$L_{ra}$ 、 $L_{rb}$ ——分别为  $a$ 、 $b$  型腔的流道长度 (mm)；

$L_{ga}$ 、 $L_{gb}$ ——分别为  $a$ 、 $b$  型腔的浇口长度 (mm)。

一般矩形侧浇口，其宽与深之比，仍取  $W/h=3\sim 5$  为宜；浇口截面积与流道截面积之比取  $S_g/S_r=0.07\sim 0.09$  为好。

### 4.2.5 平衡布置流道尺寸计算

注塑模浇注系统的尺寸设计受到浇注系统压力损失和注射机的注射能力的制约。较小的流道截面积能减少浇注系统用料，但会增加流道中的压力损失。注射到型腔的熔料因压力过低而达不到所需的充模速率，将影响制品质量，甚至使型腔不能充满。流道尺寸的理论计算能得到流道的最小尺寸，又保证熔体有适当的流动速率和恰当的压力损失。平衡布置与非平衡布置的浇注系统的流道截面尺寸计算的基本原理相同。

#### 一、计算原理

整个计算是对初步设计的浇注系统进行反复校核的过程。在此过程中必须遵循以下原则和方法。

##### 1. 适当的剪切速率

根据热塑性塑料流变性质和大量的注射充模计算，主流道和分流道的剪切速率  $\dot{\gamma} = 3 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ ，浇口的剪切速率  $\dot{\gamma} = 10^4 \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$ 。且在此场合，塑料熔体可视为等温流动。

在浇注系统的各环节中，适当的剪切速率应为：

- (1) 对于主流道， $\dot{\gamma} = 5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ ；
- (2) 对于分流道， $\dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ ；
- (3) 对于矩形类浇口， $\dot{\gamma} = 5 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ ；
- (4) 对于点浇口， $\dot{\gamma} = 1 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ 。

对于各流道和浇口中的剪切速率，圆管道用  $\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3}$  计算。对于非圆截面可用当量半径  $R_n$  代入。对于矩形浇口或流道用  $\dot{\gamma} = \frac{6Q}{Wh^2}$  计算。其中体积流率  $Q$  ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )，可用前述式  $Q = \frac{V}{\theta}$  计算。需注意  $V$  为该段流道，流过起始截面的熔体体积。注射充模时间  $\theta$ ，应以前述适当的剪切速率  $\dot{\gamma}$ ，用  $Q$  和  $V$  算出。对于一模多腔注塑模，可用模具型

腔体积  $V_1$  和塑件型腔体积  $V_2$ ，计算得到主流道的  $\theta_1$  和经浇口的  $\theta_2$ ，然后用  $\theta = \frac{1}{3}\theta_1 + \frac{2}{3}\theta_2$  得  $\theta$ 。最后用表 4.2-5，校核计算拟定  $\theta$  对于现行注塑机是否可行。该表所列是对于公称注射量注塑机的最短注射时间。

表 4.2-5 注射机公称注射量与注射时间的关系

公称注射量 /cm <sup>3</sup>	注射时间 $\theta/s$	公称注射量 /cm <sup>3</sup>	注射时间 $\theta/s$
30	0.86	4000	5.0
60	1.0	6000	5.7
125	1.6	8000	6.4
250	2.0	12000	8.0
350	2.2	16000	9.0
500	2.5	24000	10.0
1000	3.1	32000	10.7
2000	4.0	48000	12.6
3000	4.6	64000	12.8

图 4.2-36 是常用的  $\dot{\gamma}$ - $Q$ - $R_n$  关系图。曲线  $Q$  为塑料熔体流过各段流道或浇口的体积流率 (cm<sup>3</sup>/s)。可由适当的  $\dot{\gamma}$  与  $Q$  求得  $R_n$ ，也可由  $Q$  和  $R_n$  查得实际  $\dot{\gamma}$ 。

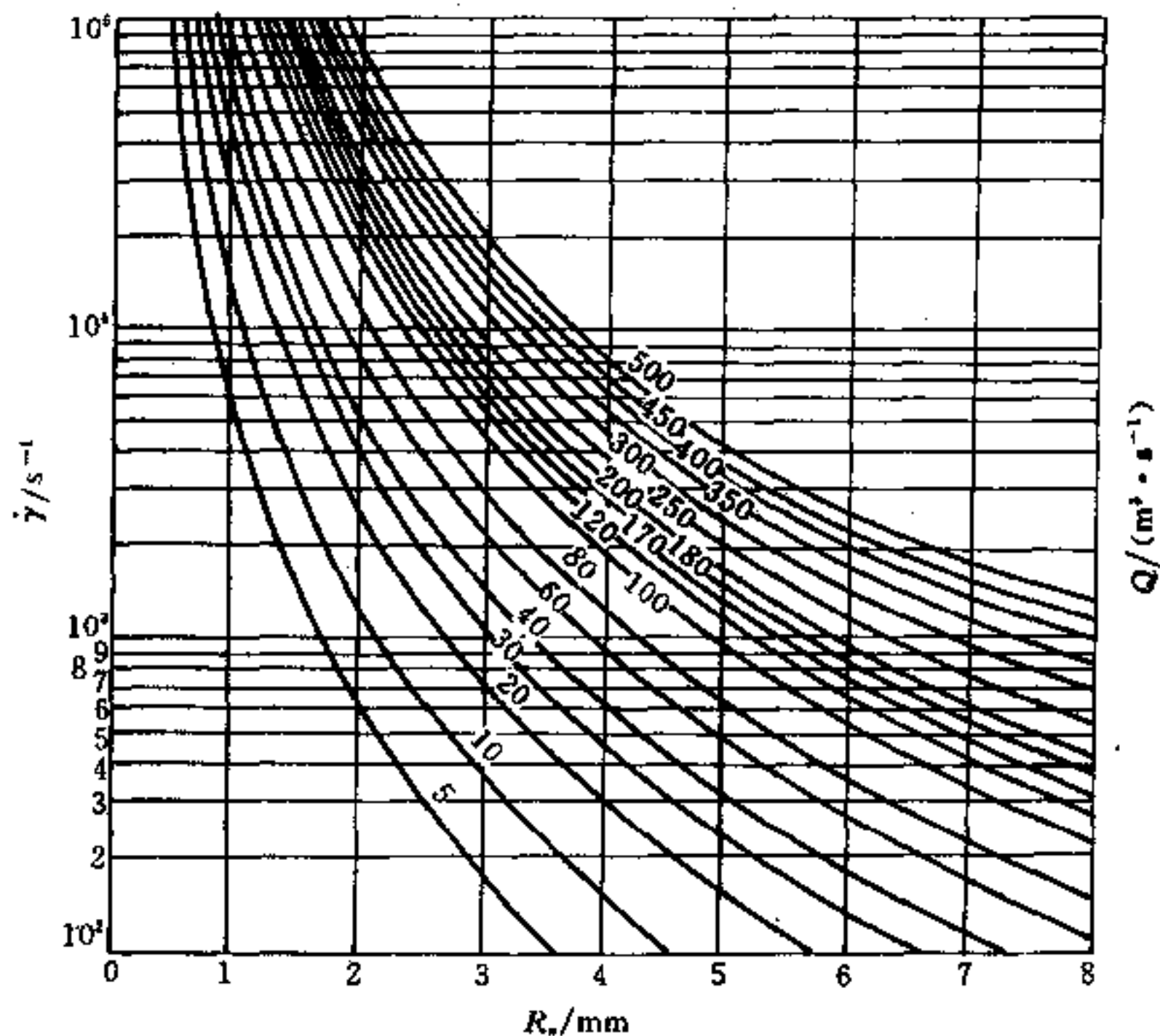


图 4.2-36  $\dot{\gamma}$ - $Q$ - $R_n$  关系曲线图

## 2. 流道截面当量计算

浇注系统的流道截面形状是多种多样的，可近似地简化成圆截面。主流道是圆锥形浇道，可用长度中间的圆截面直径，作为当量圆管道近似计算。梯形、半圆形和 U 形等分流道，所替代的圆形流道的当量半径为：

$$R_n = \sqrt[3]{\frac{2F^2}{\pi C}} \quad (4.2-19)$$

式中  $R_n$ ——假想的圆形流道的当量半径 (cm);

$F$ ——实际流道的截面面积 (cm<sup>2</sup>);

$C$ ——实际流道截面的周边长度 (cm)。

### 3. 恰当的压力降

整个浇注系统恰当的压力降  $[\Delta P_r]$  应由下式核算:

$$[\Delta P_r] = P_0 - \Delta P_e - \Delta P_c \quad (4.2-20)$$

式中  $P_0$ ——调用的注射压力;

$\Delta P_e$ ——注射压力在注射装置中的损耗压降。

螺杆式注射机用式 (4.1-15), 柱塞式注射机用式 (4.1-20)。为保证塑件型腔内熔料有足够的压力以成型合格制品, 型腔压力  $\Delta P_c$  参考表 4.2-6 确定。

表 4.2-6 常选用的平均型腔压力  $\Delta P_c$  (1MPa = 10<sup>2</sup>N/cm<sup>2</sup>)

易于成型的 PE、PP 和 PS 等厚壁塑件	25MPa
薄壁普通塑件	30MPa
ABS、PMMA、POM 等中等粘度, 具制品有精度要求	35MPa
高粘度 PC、PSF, 或制品有高精度要求	40MPa
高粘度物料、流程比大、形状复杂, 并有高精度要求	45MPa

### 4. 压降计算

浇注系统压降计算有两种方法:

#### (1) 工程计算法

若将流经的各种截面视为当量半径  $R_n$  的圆形通道, 则用前述  $\Delta P = \frac{2l\tau}{R_n}$  计算压降。

式中剪切应力  $\tau$ , 由该段流道或浇口的充模熔体的  $\dot{\gamma}$  值, 直接从该塑料的  $\dot{\gamma}$ - $\tau$  流变曲线上查得。也可从表 18.1-2, 由  $\dot{\gamma}$  查得熔体非牛顿指数  $n$  和剪切粘度系数  $K'$ , 再由  $\tau = K' \cdot \dot{\gamma}^n$  计算。此方法对非圆流道的处理, 及对流道改向和分支的忽略等, 造成一定的误差。

#### (2) 幂律参数压降计算法

熔体流经主流道及其分支与转向所产生的压降, 计算式为圆筒形主流道是

$$\Delta P = \left(\frac{4Q}{\pi}\right)^n \frac{2K'(L+L_s)}{R^{3n+1}} \quad (4.2-21A)$$

圆锥形主流道为

$$\Delta P = \left(\frac{4Q}{\pi}\right)^n \frac{2K'(L+L_s)}{3n(R_1-R_2)} (R_2^{-3n} - R_1^{-3n}) \quad (4.2-21B)$$

熔体流经第一分流道及改向和流经第二分流道所引起的压降, 分流道为圆形截面是

$$\Delta P = 2 \left(\frac{4Q}{\pi}\right)^n K' \left[ \frac{(L_1+L_s)}{R^{3n+1}} + \frac{L_2(R_2^{-3n} - R_1^{-3n})}{3n(R_1-R_2)} \right] \quad (4.2-22A)$$

第一分流道为矩形或梯形, 第二分流道为圆锥形为

$$\Delta P = 2Q^n \left[ \frac{6^n K'' (L_1 + L_s)}{W^n h^{2n+1}} + \frac{\left(\frac{4}{\pi}\right)^n K' L_2 (R_2^{-3n} - R_1^{-3n})}{3n (R_1 - R_2)} \right] \quad (4.2-22B)$$

熔体流经浇口的压力损失, 根据浇口的不同类型, 主流道型直浇口是

$$\Delta P = \left(\frac{4Q}{\pi}\right)^n \frac{2K'L (R_2^{-3n} - R_1^{-3n})}{3n (R_1 - R_2)} \quad (4.2-23A)$$

点浇口为

$$\Delta P = \left(\frac{4Q}{\pi}\right)^n \frac{2K'Q^n L}{R^{3n+1}} \quad (4.2-23B)$$

矩形截面浇口为

$$\Delta P = \frac{2 (6Q)^n K'' L}{W^n h^{2n+1}} \quad (4.2-23C)$$

式 (4.2-21A) ~ 式 (4.2-23C) 中

$\Delta P$ ——各计算段的压力降 ( $N/cm^2$ );

$K'$  ( $K''$ )——熔体剪切粘度系数 ( $N \cdot s/cm^2$ ), 可查表 18.1-2;

$n$ ——塑料熔体非牛顿指数, 可查表 18.1-2;

$Q$ ——流经计算段的体积流量 ( $cm^3/s$ );

$L$ ——计算段的流道长度 (cm);

$L_1$ ——第一分流道长度 (cm);

$L_2$ ——第二分流道长度 (cm);

$L_s$ ——流道分支及改向的当量长度 (cm), 见表 4.2-7;

$R$ ——流道半径 (cm);

$R_1$ ——流道大端半径 (cm);

$R_2$ ——流道小端半径 (cm);

$W$ ——矩形流道或浇口宽度 (cm);

$h$ ——矩形流道或浇口深度 (cm)。

表 4.2-7 流道分支及改向的当量长度  $L_s$  ( $R_n$  为流道当量半径)

当量长	两分支 + 90°改向	90°改向	双分支 < 45°	四分支 + 90°改向
$L_s$	$6R_n$	$4R_n$	$2R_n$	$10R_n$

### 5. 流道尺寸初步拟定

在模具结构初步设计后, 流道布置及其各段长度也就大致确定, 进一步拟定流道及浇口的截面尺寸, 对于平衡布置浇注系统的推算方法有两个。

(1) 根据流经的充模熔体质量  $M$  和流道长度  $L$ ; 由前经验公式 (4.2-3), 计算确定流道当量直径。通常由下游向上游逐段推算。

(2) 若  $Q_u$  为上游流道流量,  $Q_i$  为下游  $n$  个支流流道流率, 每支流道具有相同的体积流率, 即  $Q_u = nQ_i$ , 则有如下截面尺寸关系式

$$R_u = \sqrt[n]{n} R_i \quad (4.2-24)$$

式中  $R_u$ ——上游流道当量半径 (cm);

$R_i$ ——下游流道当量半径 (cm);

$n$ ——下游流道分叉数。

如上游流道分成两个支道, 则有  $R_u = \sqrt[3]{2}R_i = 1.26R_i$  的关系。

## 二、设计步骤及实例

注塑模浇注系统的工程设计方法, 关系到塑件质量和经济效益, 因而模具设计师和注塑生产工艺师必须掌握。设计计算步骤如下:

(1) 首先确定型腔数目、浇口位置; 再确定浇道截面形状及浇口形式。两个型腔间的距离尽可能近些。并尽可能设计成平衡布置的浇注系统。用  $2^n$  的型腔数, 即 2、4、8、32……为佳。在初步拟定了流道的长度和截面尺寸之后, 用如图 4.2-37 所示的树干、树枝和树叉式的线图表达, 便于下一步计算。

(2) 求出各型腔和各段流道的体积。而后计算各段流道注射充模中流过的熔体体积。经计算确定注射充模时间后, 即可求得各段流道的充模时的熔体体积流率与剪切速率。

(3) 由各段流道和浇口的剪切速率, 在流动曲线上, 或查表得  $K'$  和  $n$  后获得剪切应力。然后计算各段流道及浇口的熔体充模时的压力降。

也可用  $\dot{\gamma}-Q-R_n$  线图, 确定各段流道和浇口的剪切速率和截面尺寸, 查表得  $K'$  和  $n$  后, 用幂律参数求压力降。

(4) 经反复计算, 修正流道尺寸, 在充模时间和剪切速率合宜条件下, 使各型腔的压力达到预定要求。

**[例]** 如图 4.2-37 所示 8 腔平衡布置的浇注系统。每个型腔体积  $15\text{cm}^3$ 。注射 PA1010 (石井沟联合化工厂), 幂律参数见表 18.1-2。最终计算结果见表 4.2-8。

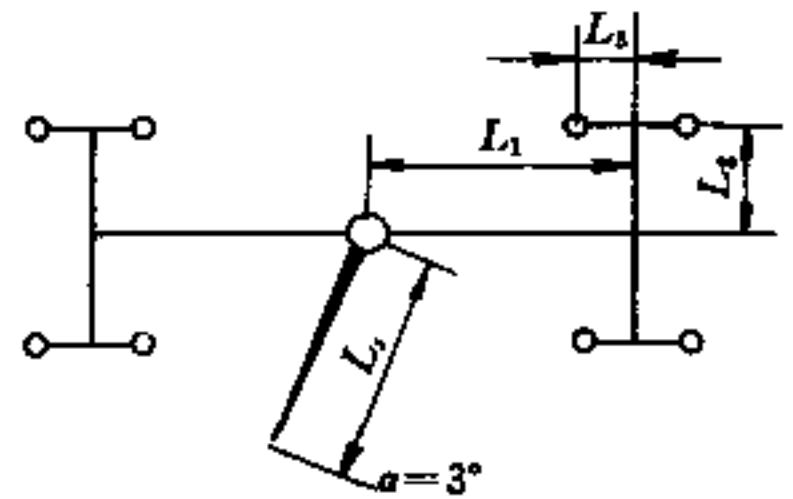


图 4.2-37 型腔体积  $15\text{cm}^3$  的 8 型腔平衡布置线图

表 4.2-8 各段流道流过熔体的体积计算表

参数及计算式	流道长 $L_i/\text{cm}$	流道半径 $R_i/\text{cm}$	各段总长 $nL_i/\text{cm}$	各段体积 $\pi R_i^2 (nL_i) / \text{cm}^3$	各段流过体积 $/\text{cm}^3$
主流道	5	0.315 (0.25~0.38)	5	1.56	147.04
第一流道	13	0.4	26	13.07	72.07
第二流道	7.5	0.3	30	8.48	33.10
第三流道	2.5	0.25	20	3.93	15.49
浇口	0.12	0.04	不计	不计	15

流经主流道的熔体体积

$$V_0 = 1.56 + 13.07 + 8.48 + 3.93 + 8 \times 15 = 147.04\text{cm}^3$$

流过第一流道  $V_1 = (147.04 - 2.90) \times 0.5 = 72.07\text{cm}^3$

流过第二流道  $V_2 = (8.48 + 3.93) \times 0.25 + 2 \times 15 = 33.10\text{cm}^3$

流过第三流道  $V_3 = (3.93 \times 0.125) + 15 = 15.49\text{cm}^3$

经主流道熔体的适当  $\dot{\gamma} = 2.5 \times 10^3 \text{s}^{-1}$ , 代入

$$Q_0 = \frac{\pi}{4} R_0^3 \dot{\gamma} = \frac{\pi}{4} \times 0.315^3 \times 2.5 \times 10^3 = 61.5\text{cm}^3/\text{s}$$

$$\theta_0 = \frac{V_0}{Q_0} = \frac{147.04}{61.5} = 2.39\text{s}^{-1}$$

将点浇口的适当  $\dot{\gamma} = 10^5\text{s}^{-1}$  代入

$$Q_g = \frac{\pi}{4} R_g^3 \dot{\gamma} = \frac{\pi}{4} \times 0.04^3 \times 10^5 = 5.03\text{cm}^3/\text{s}$$

$$\theta_g = \frac{V_g}{Q_g} = \frac{15}{5.03} = 3.0\text{s}$$

故充模时间  $\theta = \frac{1}{3}\theta_0 + \frac{2}{3}\theta_g = \frac{1}{3} \times 2.39 + \frac{2}{3} \times 3.0 = 2.80\text{s}$

取 PA1010 熔体温度  $260^\circ\text{C}$ 。

现选用  $250\text{cm}^3$  注射机, 其小孔喷嘴  $R_z = 0.2\text{cm}$ ,  $L_z = 2\text{cm}$ , 经喷嘴的熔体剪切速率

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R_z^3} = \frac{4 \times 147.04}{\pi \times 0.2^3} = 2.34 \times 10^4\text{s}^{-1}$$

由表 18.1-2 查得  $n = 0.28$ ,  $K' = 2.43\text{N}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$  得

$$\tau = K' \dot{\gamma}^n = 2.43 \times (2.34 \times 10^4)^{0.28} = 40.6\text{N}/\text{cm}^2$$

得经喷嘴的熔体压降

$$\Delta P_z = \frac{2L\tau}{R_z} = \frac{2 \times 2 \times 40.6}{0.2} = 812\text{N}/\text{cm}^2 = 8.1\text{MPa}$$

由式 (4.1-16), 注塑装置中压力损失

$$\Delta P_e = 2.25\Delta P_z = 2.25 \times 8.1 = 18.2\text{MPa}$$

该注塑机最大注射压力  $P_{\max} = 120\text{MPa}$ , 可调用最大注射压力

$$P_o = 0.7P_{\max} = 0.7 \times 120 = 84\text{MPa}$$

由表 4.2-6 可知型腔所需压力  $\Delta P_c = 30\text{MPa}$ , 用式 (4.2-20) 计算浇注系统恰当的压力降, 见表 4.2-9。

$$[\Delta P_r] = P_o - \Delta P_e - \Delta P_c = 84 - 18.2 - 30 = 35.8\text{MPa}$$

表 4.2-9 各段流道的压力损失计算表

参数及计算式	各段流率 $Q = \frac{V}{\theta} / (\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	各段速率 $\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3} / \text{s}^{-1}$	幂参数		剪切应力 $\tau = K' \dot{\gamma}^n / (\text{N} \cdot \text{cm}^{-2})$	各段压力降 $\Delta P = \frac{2L\tau}{R} / (\text{N} \cdot \text{cm}^{-2})$
			$n$	$K' / (\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2})$		
主流道	52.5	2138	0.51	0.29	14.5	460
第一流道	25.7	511	0.72	0.07	6.2	403
第二流道	11.8	556	0.72	0.07	6.6	330
第三流道	5.5	448	0.72	0.07	5.7	174
浇口	5.4	$1.07 \times 10^5$	0.28	2.43	62.2	373

浇注系统总压力损失为  $17.4\text{MPa} < [\Delta P_r]$ , 以上各项数据符合设计要求。

#### 4.2.6 非平衡布置流道尺寸计算

非平衡布置的流道尺寸计算的原理和步骤与平衡布置相同。其区别和难度在于流道尺寸的初步拟定。

### 一、流道平衡计算

对于非平衡布置流道系统，如图 4.2-38 所示。为使熔体在分流道输送中就达到平衡流动，熔体必须以相同压力降，同时到达各分流道末端。

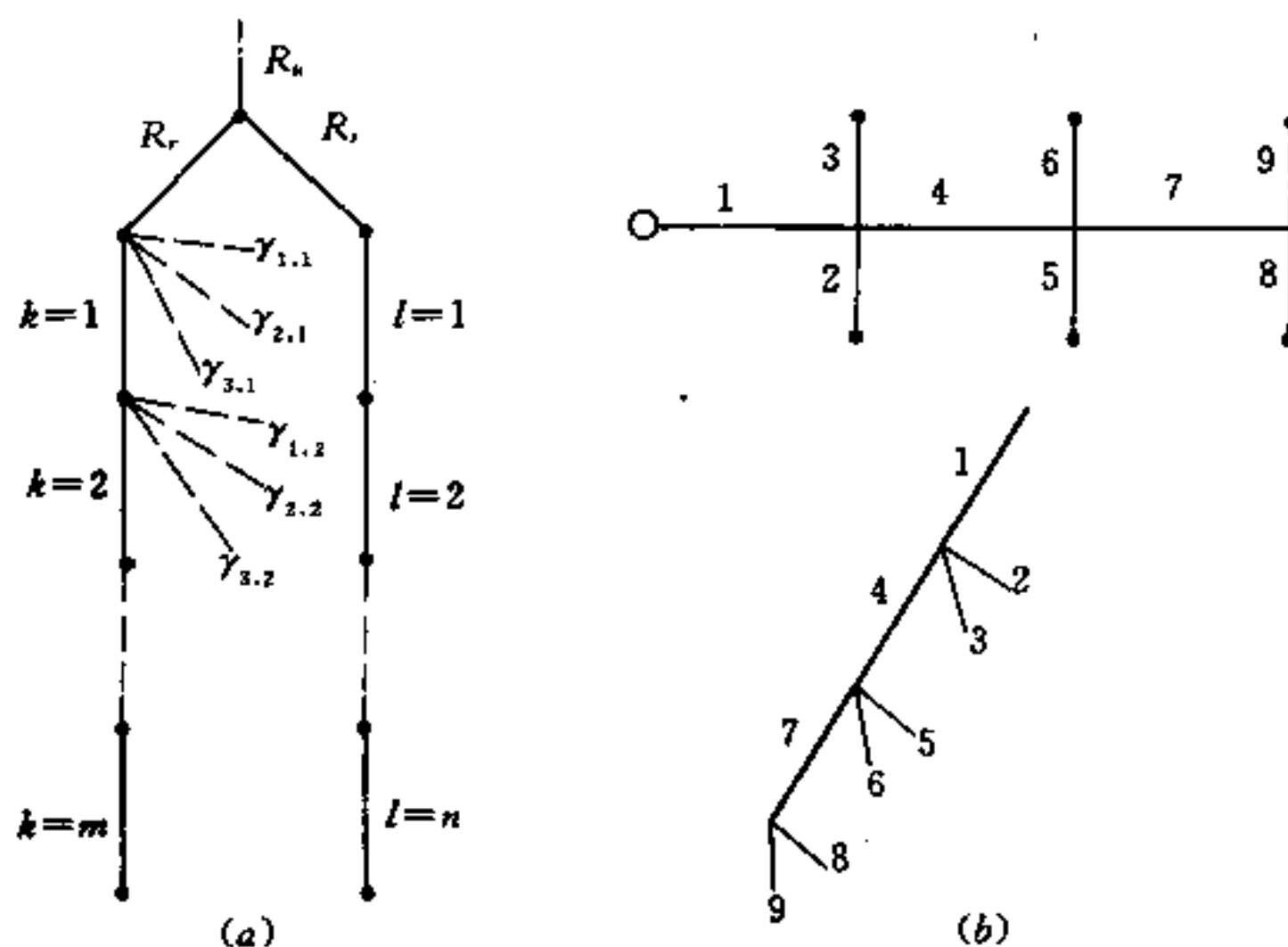


图 4.2-38 分流道非平衡布置线图

如图 4.2-38 (a) 所示，具有公共上游半径  $R_u$  的两个任意分支分流道半径  $R_r$  和  $R_s$ ， $R_r$  和  $R_s$  又分别为下游分支的上游半径。熔体能同时到达这两条路径末端，则应有

$$\frac{\pi R_r^2 L_r}{Q_r} + \sum_{k=1}^m \frac{\pi R_k^2 L_k}{Q_k} = \frac{\pi R_s^2 L_s}{Q_s} + \sum_{l=1}^n \frac{\pi R_l^2 L_l}{Q_l} \quad (4.2-25)$$

式中  $m$ 、 $n$ ——分别为  $R_r$  和  $R_s$  再分支的流道数；

$R_r$ 、 $Q_r$ 、 $L_r$  和  $R_s$ 、 $Q_s$ 、 $L_s$ ——分别为两分支流道的半径、流量和长度；

$R_k$ 、 $Q_k$ 、 $L_k$  和  $R_l$ 、 $Q_l$ 、 $L_l$ ——分别为两分支的再分支流道的半径、流量和长度， $k=1, 2, \dots, m$ ， $l=1, 2, \dots, n$ 。

根据熔体在分流道中剪切速率相同原则，有关系

$$\frac{Q_r}{Q_s} = \frac{R_r^3}{R_s^3}$$

代入上式，化简后得两流道间的半径比

$$\frac{R_r}{R_s} = \frac{L_r + \sum_{k=1}^m \frac{Q_r}{Q_k} \left(\frac{R_k}{R_r}\right)^2 L_k}{L_s + \sum_{l=1}^n \frac{Q_s}{Q_l} \left(\frac{R_l}{R_s}\right)^2 L_l} \quad (4.2-26)$$

同理，在熔体流动前沿更新时，各分支流通道内的剪切速率仍应相等。若令  $u$ 、 $d$  分别表示上游和下游分流道，则有下面的关系式

$$\frac{Q_u}{Q_d} = \frac{R_u^3}{R_d^3} = \frac{\sum_{i=1}^d R_i^3}{R_d^3} = 1 + \sum_{i=1}^{d-1} \gamma_i \quad (4.2-27A)$$

式中  $\gamma_i = \frac{R_i^3}{R_d^3}$ ， $i=1, 2, \dots, d-1$ 。



若将  $\frac{R_d^2}{R_u^2}$  用下游分支流道半径比表示, 有

$$\frac{R_d^2}{R_u^2} = \left( \frac{R_d^3}{\sum_{i=1} R_i^3} \right)^{2/3} = \left( 1 + \sum_{i=1}^{d-1} \gamma_i \right)^{-2/3} \quad (4.2-27B)$$

将此式与式(4.2-27A)相乘有

$$\frac{Q_u R_d^2}{Q_d R_u^2} = \left( 1 + \sum_{i=1}^{d-1} \gamma_i \right)^{1/3} \quad (4.2-27C)$$

将(4.2-27C)代入(4.2-26)式, 可得到非平衡布置流道的几何关系的比例式

$$\frac{R_r}{R_s} = \frac{L_r + \sum_{k=1}^m \left[ \prod_{i=1}^k \left( 1 + \sum_{i=1}^{d_j-1} \gamma_{i,j} \right)^{\frac{1}{3}} \right] L_k}{L_s + \sum_{l=1}^n \left[ \prod_{i=1}^l \left( 1 + \sum_{i=1}^{d_j-1} \gamma_{i,j} \right)^{\frac{1}{3}} \right] L_l} \quad (4.2-28)$$

此式中  $j$  是对于  $r$  和  $s$  两支路上的节点编号, 含义同  $k$  或  $l$ 。因此  $d_j$  是对于第“ $j$ ”节点, 下游的分流道数目。即

$$\gamma_{i,j} = \frac{R_i^3}{R_{d_j}^3}, (i = 1, 2, \dots, d_j - 1)$$

显然,  $L_k$  与  $L_l$  应为与  $R_{d_j}$  对应的长度。

式(4.2-26)和式(4.2-27)在分流道各段长度已知时, 可限定分流道的总体积, 来计算各分流道半径。也可根据型腔充模需要, 先确定某分流道的半径, 再计算其他分流道半径和流道体积。但是, 此两式与塑料材料的流变性质无关。计算结果是否可行, 还需与注射工艺和注射机技术参数结合, 进行充模速率和压降的多次校核修改。

**[例]** 一模六腔的流道布置如图 4.2-39 (b) 所示。主分流道长度  $L_1 = L_4 = L_7 = 2\text{cm}$ 。支分流道长  $L_2 = L_3 = L_5 = L_6 = L_8 = L_9 = 1\text{cm}$ 。根据型腔充模需要,  $R_5 = R_6 = 0.25\text{cm}$ 。求分流道半径及流道系统总体积。

**[解]** 根据已知条件, 在下游无支流时可由式(4.2-28)得

$$\frac{R_r}{R_s} = \frac{L_r}{L_s} = \frac{R_2}{R_3} = \frac{R_5}{R_6} = \frac{R_8}{R_9} = 1$$

而 
$$\frac{R_7}{R_5} = \frac{L_7 + \left( 1 + \frac{R_8^3}{R_9^3} \right)^{\frac{1}{3}} L_9}{L_5} = \frac{2 + (1+1)^{\frac{1}{3}} \times 1}{1} = 3.26$$

$$\frac{R_4}{R_2} = \frac{L_4 + \left( 1 + \frac{R_5^3}{R_3^3} + \frac{R_7^3}{R_3^3} \right)^{\frac{1}{3}} L_5}{L_2} = \frac{2 + (1+1+3.26^3)^{\frac{1}{3}} \times 1}{1} = 5.32$$

由上下游流道半径关系式  $R_u^3 = \sum_{i=1}^n R_i^3$ , 有

$$R_7^3 = R_8^3 + R_9^3 = 2R_8^3, \text{ 得 } R_7 = 1.26R_8;$$

$$R_4^3 = R_3^3 + R_5^3 + R_6^3 = (1+1+3.26^3) R_3^3 = 36.65R_3^3, \text{ 得 } R_4 = 3.32R_3;$$

$$R_1^3 = R_2^3 + R_3^3 + R_4^3 = (1+1+5.32^3) R_2^3 = 152.57R_2^3, \text{ 得 } R_1 = 5.34R_2;$$

又由  $R_5 = R_6 = 0.25\text{cm}$  代入上述半径比, 可得

流道号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
长度 (cm)	2	1	1	2	1	1	2	1	1
半径 (cm)	0.833	0.156	0.156	0.830	0.250	0.250	0.815	0.647	0.647

$$\text{流道总体积 } V = \pi \sum_{i=1}^9 R_i^2 L_i = 16.04\text{cm}^3$$

## 二、计算示例

[例] 现有非平衡布置一模六腔如图 4.2-39 所示, 浇口间距离于图 4.2-39 (a) 中, 六型腔容积均为  $10\text{cm}^3$ 。采用圆形流道, 矩形侧浇口长  $L = 0.1\text{cm}$ , 截面边长  $W \cdot h = 0.15 \times 0.07\text{cm}$ 。用 PC 物料注射, 在流道中熔体温度  $300^\circ\text{C}$ 。

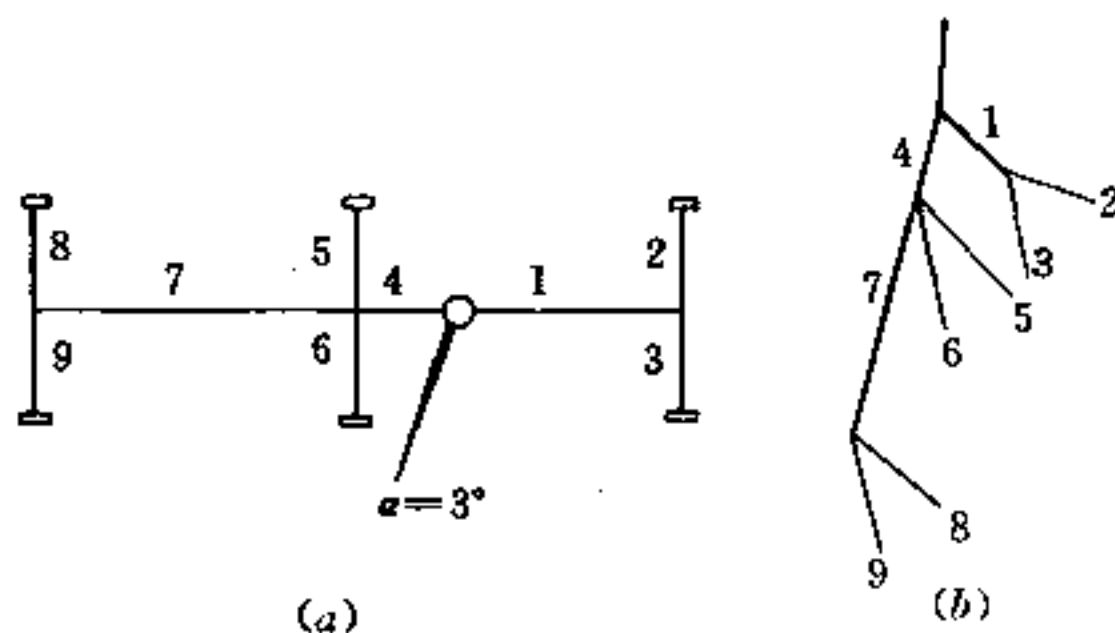


图 4.2-39 型腔体积  $10\text{cm}^3$  的六腔非平衡布置线图

[解] (1) 以熔体同时到达各分流道末端, 作流道尺寸的初步拟定  
由式 (4.2-28), 作图 4.2-39 (b) 线图, 列如下方程

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{R_5}{R_6} = \frac{R_8}{R_9} = 1$$

$$\frac{R_7}{R_5} = \frac{L_7 + \left[1 + \left(\frac{R_8}{R_9}\right)^3\right]^{\frac{1}{3}} L_9}{L_5} = \frac{8 + (1+1^3)^{\frac{1}{3}} \times 3}{3} = 3.927$$

$$\frac{R_4}{R_1} = \frac{L_4 + \left[1 + \left(\frac{R_7}{R_5}\right)^3 + \left(\frac{R_6}{R_5}\right)^3\right]^{\frac{1}{3}} L_5}{L_1 + \left[1 + \left(\frac{R_2}{R_3}\right)^3\right]^{\frac{1}{3}} L_3} = \frac{2 + [1 + 3.927^3 + 1]^{\frac{1}{3}} \times 3}{6 + (1+1)^{\frac{1}{3}} \times 3} = 1.422$$

$$R_1^3 = R_2^3 + R_3^3 = 2R_2^3, \text{ 得 } R_1 = 1.260R_2;$$

$$R_4^3 = R_5^3 + R_6^3 + R_7^3 = (1 + 1 + 3.927^3) R_5^3, \text{ 得 } R_4 = 3.970R_5;$$

$$R_7^3 = R_8^3 + R_9^3 = 2R_8^3, \text{ 得 } R_7 = 1.260R_8;$$

再用式 (4.2-28) 可确定  $R_2 = 0.3\text{cm}$ , 由此解出所有流道半径, 并将直径圆整到  $1\text{mm}$ 。

流道号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
长度 (cm)	6	3	3	2	3	3	8	3	3

计算半径 (cm) 0.378 0.30 0.30 0.538 0.136 0.136 0.532 0.422 0.422

圆整半径 (cm) 0.4 0.3 0.3 0.55 0.15 0.15 0.55 0.4 0.4

(2) 以熔体的充模速率和压力损失校核流道尺寸

由于塑料熔体的非牛顿性, 对上述结果进行修正校核的最终结果见表 4.2-10。

表 4.2-10 各段流道流过熔体的体积计算

参数及计算式	流道长 $L_i/\text{cm}$	流道半径 $R_i/\text{cm}$	各段体积 $\pi R_i^2 L_i/\text{cm}^3$	流过体积 $/\text{cm}^3$
主流道	5	0.43 (0.30~0.56)	2.904	81.39
2 或 3 流道	3	0.3	0.848	10.85
1 流道	6	0.45 (经修正)	3.817	25.51
5 或 6 流道	3	0.25 (经修正)	0.589	10.59
4 流道	2	0.55	1.901	52.98
8 或 9 流道	3	0.35 (经修正)	1.155	11.16
7 流道	8	0.55	7.603	29.90
浇口	0.1	0.15×0.07	1.05×10 <sup>-2</sup> (不计)	10.00

由主流道熔流求充模时间

$$Q_0 = \frac{\pi}{4} R^3 \dot{\gamma} = \frac{\pi}{4} \times 0.43^3 \times 2.5 \times 10^3 = 156.11 \text{cm}^3/\text{s}$$

$$\theta_0 = \frac{V_0}{Q_0} = \frac{81.39}{156.11} = 0.52 \text{s}$$

由浇口熔流求充模时间

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q_g}{Wh^2} = 5 \times 10^4 \text{s}^{-1}$$

$$Q_g = \frac{1}{6} Wh^2 \dot{\gamma} = \frac{1}{6} \times 0.15 \times 0.07^2 \times 5 \times 10^4 = 6.13 \text{cm}^3/\text{s}$$

$$\theta_g = \frac{V_g}{Q_g} = \frac{10}{6.13} = 1.63 \text{s}$$

充模时间

$$\theta = \frac{1}{3} \theta_0 + \frac{2}{3} \theta_g = \frac{1}{3} \times 0.52 + \frac{2}{3} \times 1.63 = 1.3 \text{s}$$

查表 18.1-2 得重庆长风 CF20 的聚碳酸酯在 300℃ 下的  $n$  和  $K'$ , 见表 4.2-11。

表 4.2-11 各段流道的压力损失计算

参数及 计算式	体积流率 $Q = \frac{V}{\theta} / (\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	剪切速率 $\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3} / \text{s}^{-1}$	幂参数		剪切应力 $\tau = K' \dot{\gamma}^n / (\text{N} \cdot \text{cm}^{-2})$	各段压力降 $\Delta P = \frac{2L\tau}{R} / (\text{N} \cdot \text{cm}^{-2})$
			$n$	$K' / (\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2})$		
主流道	62.6	1002	0.49	1.25	36.93	859
2 或 3 流道	8.4	396	0.59	0.63	21.48	430
1 流道	19.6	274	0.59	0.63	17.28	461
5 或 6 流道	8.2	668	0.59	0.63	29.26	702
4 流道	40.8	312	0.59	0.63	18.66	136
8 或 9 流道	8.6	255	0.59	0.63	16.57	284
7 流道	23.0	176	0.59	0.63	13.31	387
浇口	7.7	6.29×10 <sup>4</sup>	0.40	3.07	255.03	340

矩形侧浇口的剪切速率

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{Wh^2} = \frac{6 \times 7.7}{0.15 \times 0.07^2} = 6.29 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$$

查得  $n = 0.40$ ,  $K' = 3.07 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$ , 得

$$\tau = K' \dot{\gamma}^n = 3.07 \times (6.29 \times 10^4)^{0.4} = 255.03 \text{ N/cm}^2$$

熔体流过侧浇口的压力降

$$\Delta P = \frac{2L\tau}{h} = \frac{2 \times 0.1 \times 255.03}{0.07} = 729 \text{ N/cm}^2 = 7.29 \text{ MPa}$$

充模熔体于流道和浇口的压降 (MPa):

经流道 2 或 3 流程

经流道 5 或 6 流程

$$8.6 + 4.3 + 4.6 + 7.3 = 24.8$$

$$8.6 + 1.4 + 7.0 + 7.3 = 24.3$$

经流道 8 或 9 流程

$$8.6 + 1.4 + 2.8 + 3.9 + 7.3 = 24.0$$

### 4.3 分型面和排气槽设计

在模具结构设计前, 须合理地选择分型面, 并恰当地安排排气槽。

#### 4.3.1 分型面设计

在注塑模中, 用于取出塑件或浇注系统凝料的面, 通称为分型面。常见的取出塑件的主分型面, 与开模方向垂直。也有采用与开模方向一致的侧向主分型面。分型面大都是平面, 也有倾斜面、曲面或台阶面。

分型面的选择不仅关系到塑件的正常成型和脱模, 而且涉及模具结构与制造成本。在选择分型面时, 应遵守以下原则:

(1) 分型面应选择在塑件的最大截面处。否则, 如图 4.3-1 (b) 所示, 无法脱模和加工型腔。无论塑件以何方位布置型腔, 都应将此作为首要原则。

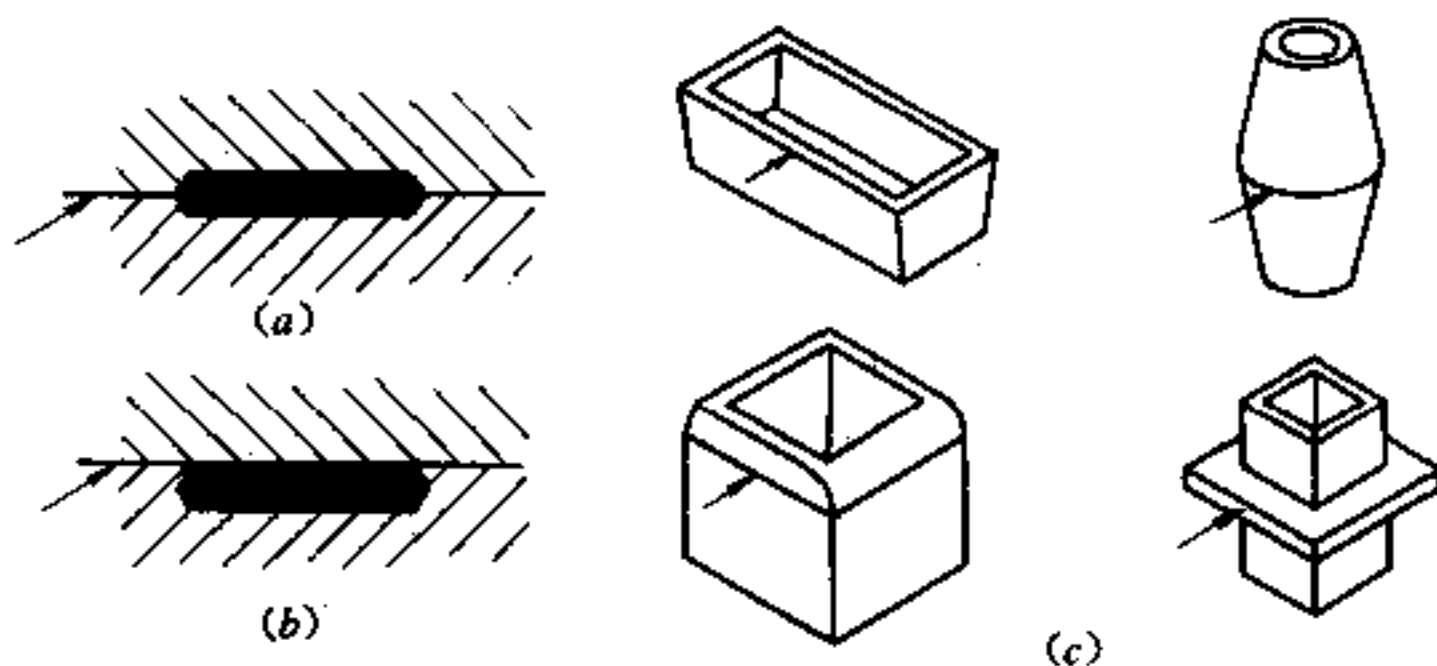


图 4.3-1 分型面应选在塑件的最大截面处

(2) 尽可能地将塑件留在动模一侧。因为在动模一侧设置和制造脱模机构简便易行。为了让塑件留在动模一侧, 图 4.3-2 (a) 将型芯设在动模边, 依靠薄壁塑件对型芯足够的包紧力。但是遇到厚壁塑件或者没有型芯, 如图 4.3-2 (b) 所示, 将塑件型腔设在动模一侧。

(3) 有利于保证塑件的尺寸精度。图 4.3-3 (a) 为保证双联齿轮的齿廓与孔的同轴度，二齿轮型腔和型芯都设在动模一侧。若分设在动模与定模两侧会受到导柱与导套配合精度，及它们磨损的影响，见图 4.3-3 (b)。如图 4.3-4 (a) 所示，为了保证塑件二台阶间距尺寸  $L$  的精度，应将二台阶面置于模具同一侧。否则如图 4.3-4 (b) 布置，尺寸  $L$  精度受到分型面制造精度和锁模力影响，会引起较大误差。

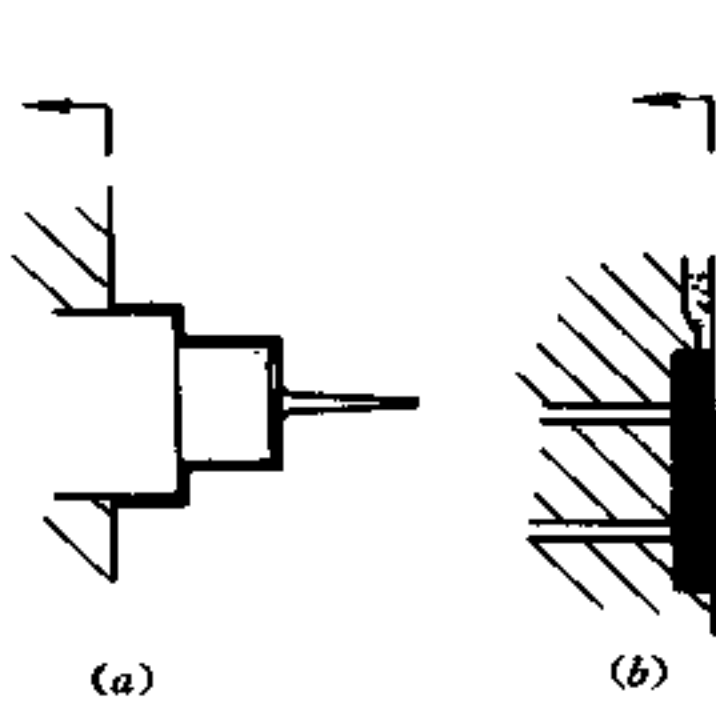


图 4.3-2 塑件应尽可能留在动模边

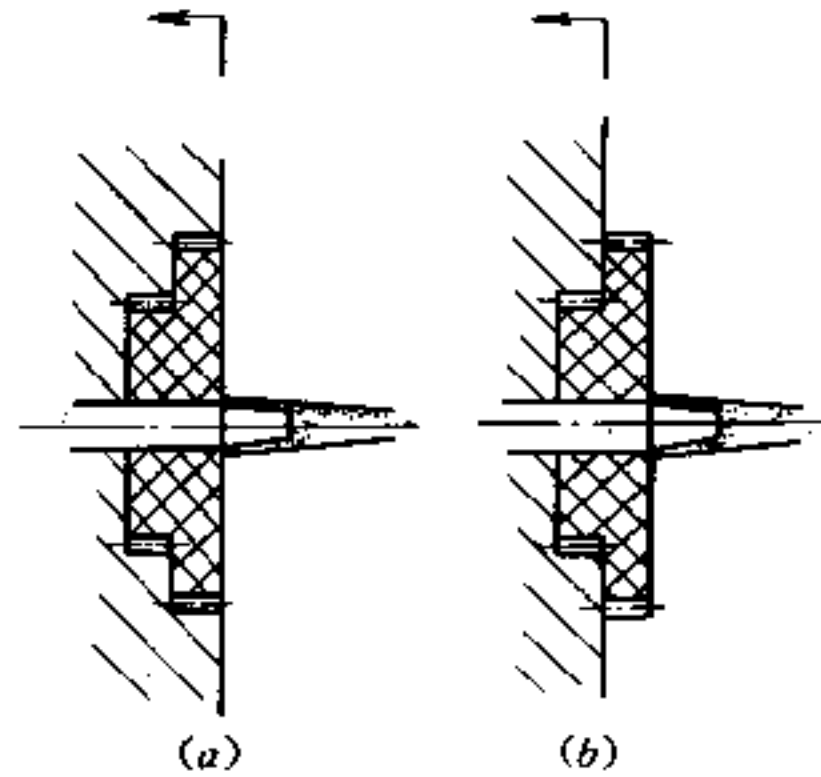


图 4.3-3 有利于保证塑件同轴度

(4) 有利于保证塑件的外观质量。分型面上型腔壁面稍有间隙，熔体就会在塑件上产生飞边。飞边影响塑件的外观质量。因此在光滑平整表面或圆弧曲面上，应尽量避免选择分型面，如图 4.3-5 (a) 所示。而图 4.3-5 (b) 的选择显然不当。

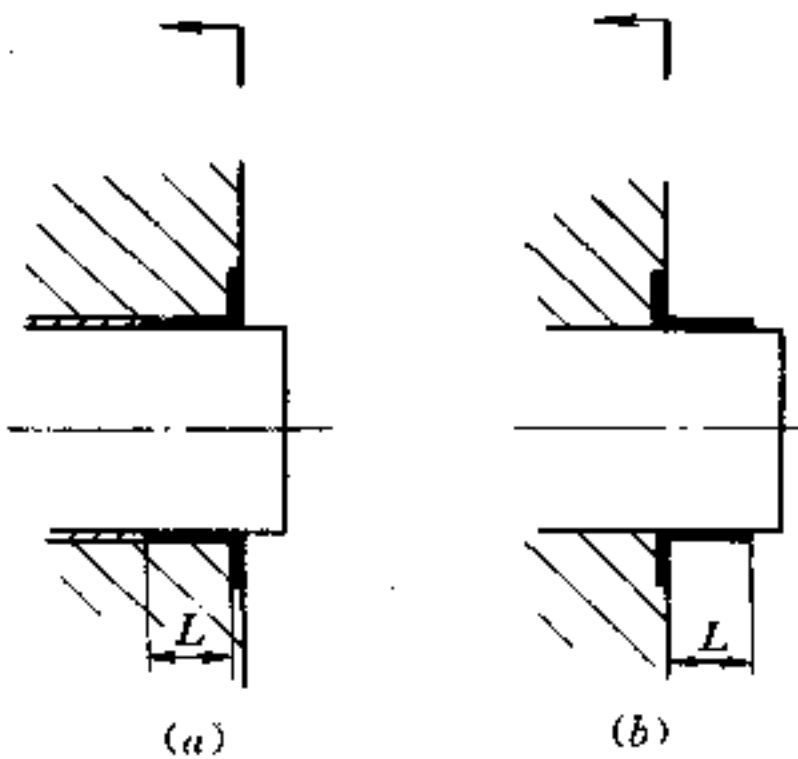


图 4.3-4 有利于保证塑件尺寸精度

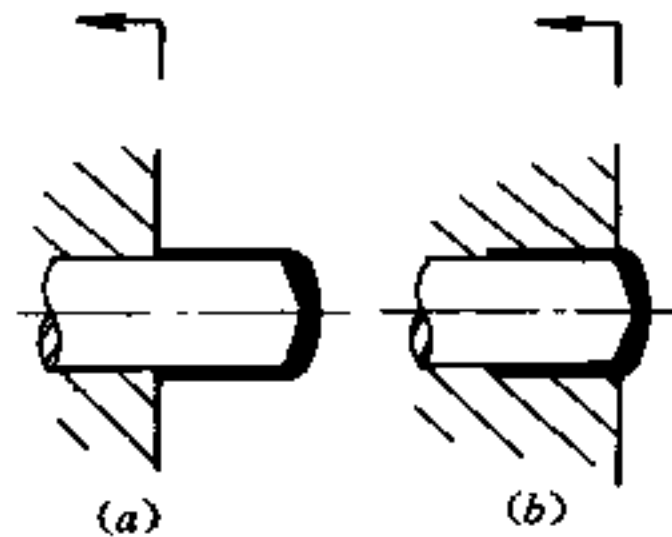


图 4.3-5 有利于保证塑件外观质量

(5) 考虑满足塑件的使用要求。注塑件在模塑过程中，有一些很难避免的工艺缺陷，如拔模斜度、分型面上飞边以及顶杆与浇口痕迹等。在分型面设计时，应从使用角度避免这些工艺缺陷影响塑件功能。如图 4.3-6 (b) 所示，塑件完全在动模一侧脱出，会使拔模斜度过大。图 4.3-6 (a) 分别在动模、定模安排型腔，可减小拔模斜度。又如图 4.3-7 塑件轴需与圆孔支承，或轴上传动零件的孔有配合要求，但分型面飞边痕迹会影响运转功能，见图 4.3-7 (b)。若如图 4.3-7 (a) 在有飞边二侧，留有与圆孔的单边间隙  $0.15\sim 0.25\text{mm}$ ，便不会影响其转动。

(6) 尽量减小塑件在合模平面上的投影面积。以减小所需锁模力。如图 4.3-8 所示的弯角板块类塑件。图 4.3-8 (a) 的选择比图 4.3-8 (b) 为好。

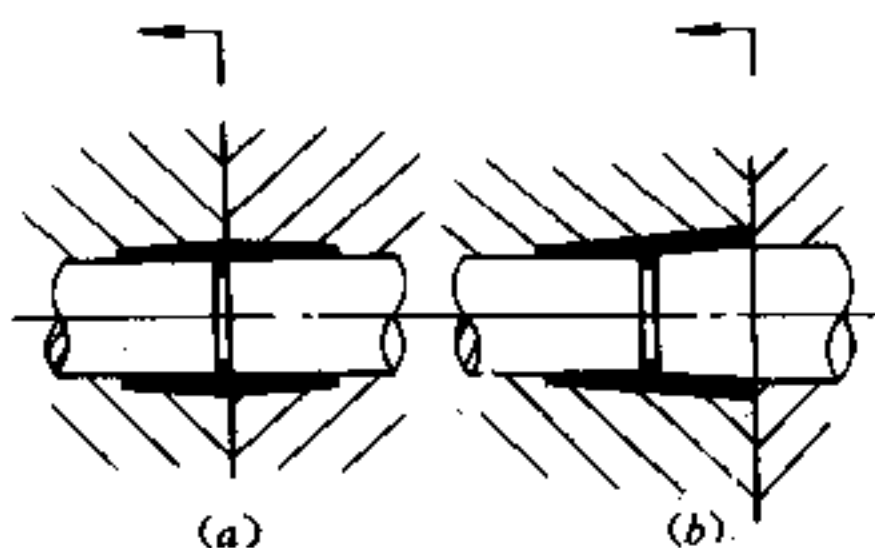


图 4.3-6 有利于减小塑件的拔模斜度

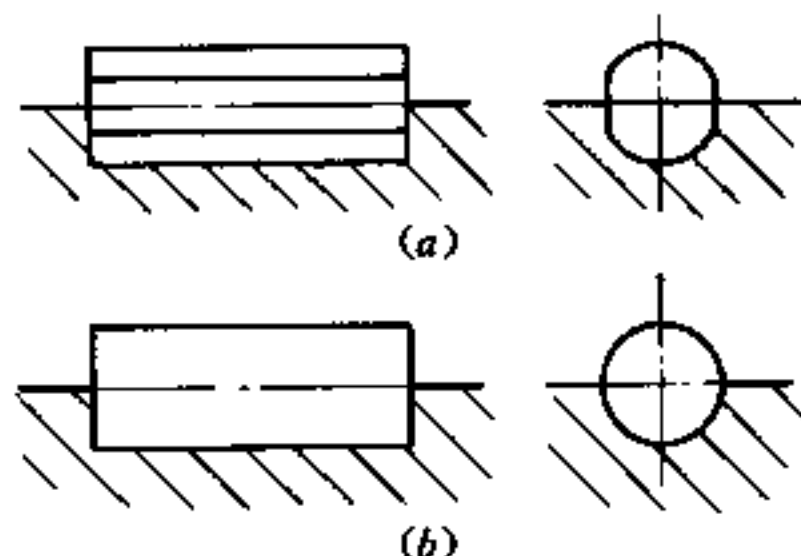


图 4.3-7 有利于保证塑料轴的转动功能

(7) 长型芯应置于开模方向。当塑件在相互垂直方向都需设置型芯时，如图 4.3-9 (a) 所示，将较短型芯置于侧抽芯方向，有利于减小抽拔距。

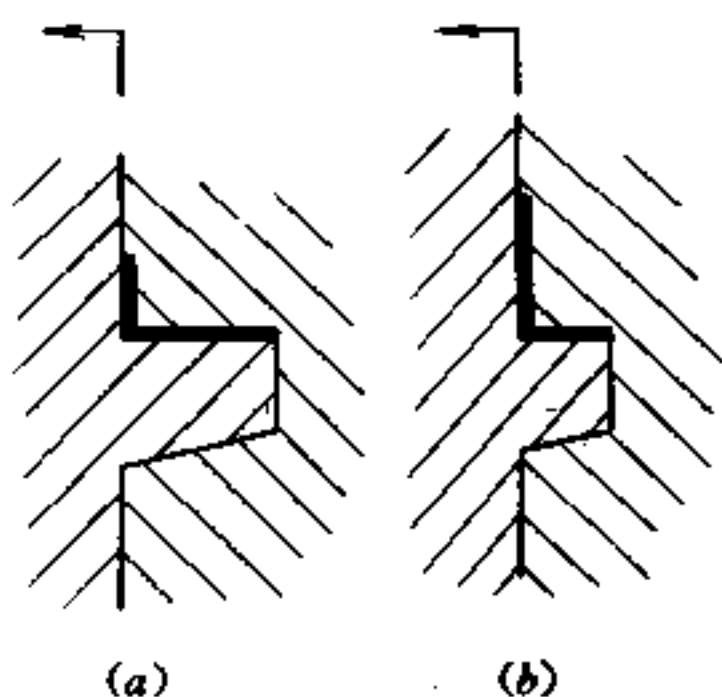


图 4.3-8 有利于减小塑件在合模平面上的投影面积

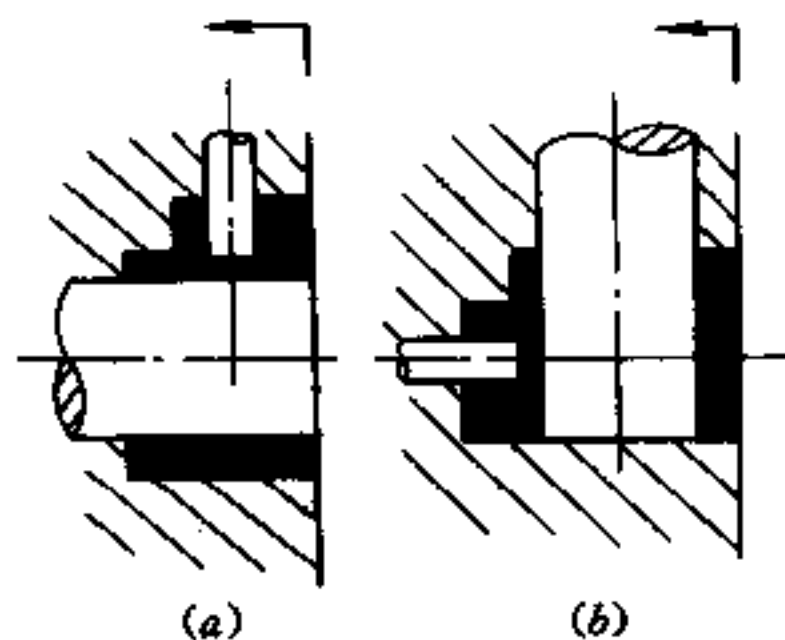


图 4.3-9 较长型芯应置于开模方向

(8) 有利于排气。应将分型面置于熔体充模流动的末端，如图 4.3-10 (a) 所示。而图 4.3-10 (b) 所示熔料溢料面与分型面垂直，熔体不能从分型面溢出。塑件在压缩中成型，不能利用分型面排气。

(9) 应有利于简化模具结构。为此在安排制件在型腔中方位时，尽可能避免侧向分型或抽芯。特别是避免在定模部分侧向抽芯；如图 4.3-11 所示，图 4.3-11 (a) 布置方位可避免侧向抽芯，模具结构比图 4.3-11 (b) 简单。

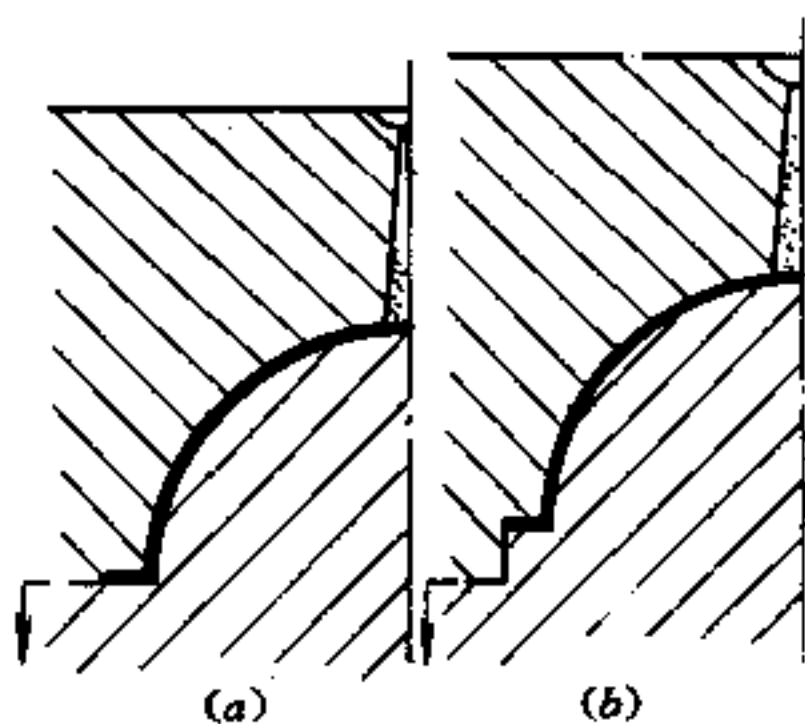


图 4.3-10 分型面应有利于排气

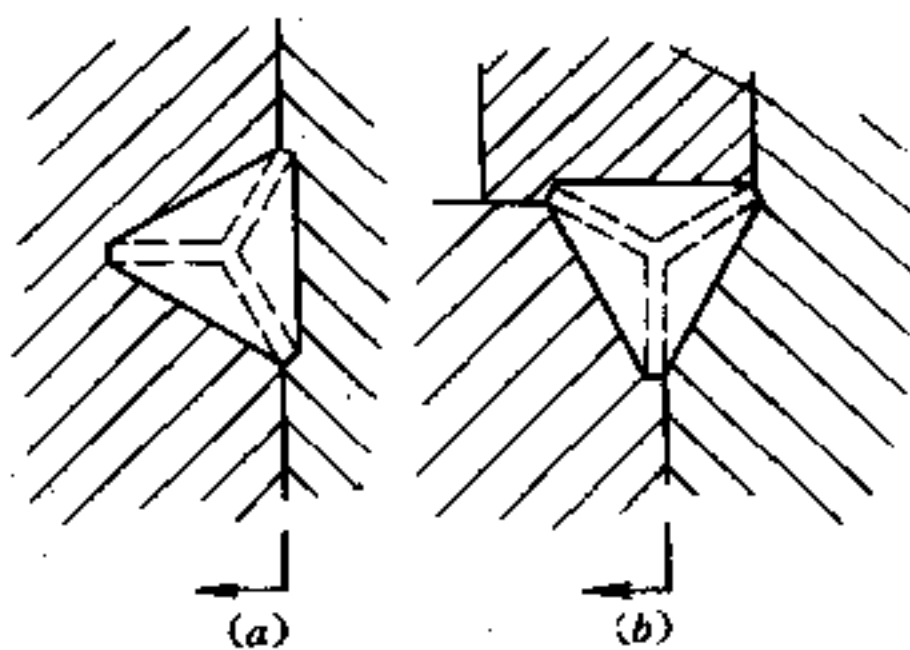


图 4.3-11 应有利于简化模具结构

(10) 非平面分型面的选择, 应有利于型腔加工和脱模方便。图 4.3-12 中分别为斜面、曲面和阶梯面分型。这种分型面加工较为困难。此外, 设计非平面分型面时, 应注意分型面上力的平衡, 如图 4.3-13 中的 (a) 图那样。如图 4.3-13 (b) 所示, 由于型腔布置对开模方向的不对称, 注塑时动模与定模间存在侧向作用力, 不利于开模和脱模。若由于塑件几何尺寸限制不能作图 4.3-13 (a) 那样的平衡设计, 则应设有粗壮的导柱。

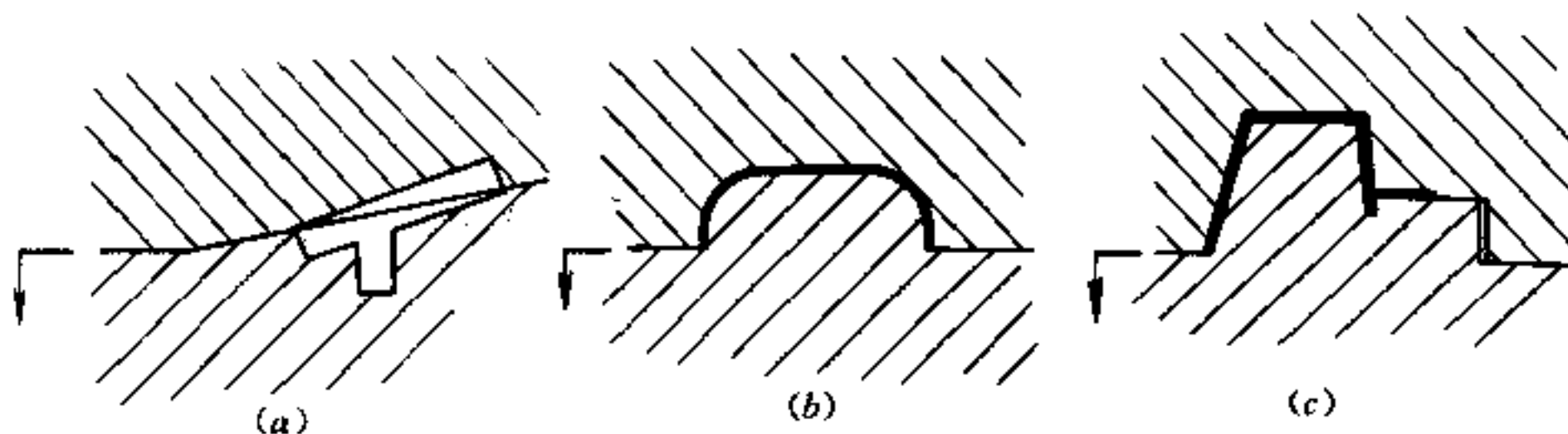


图 4.3-12 非平面的分型面

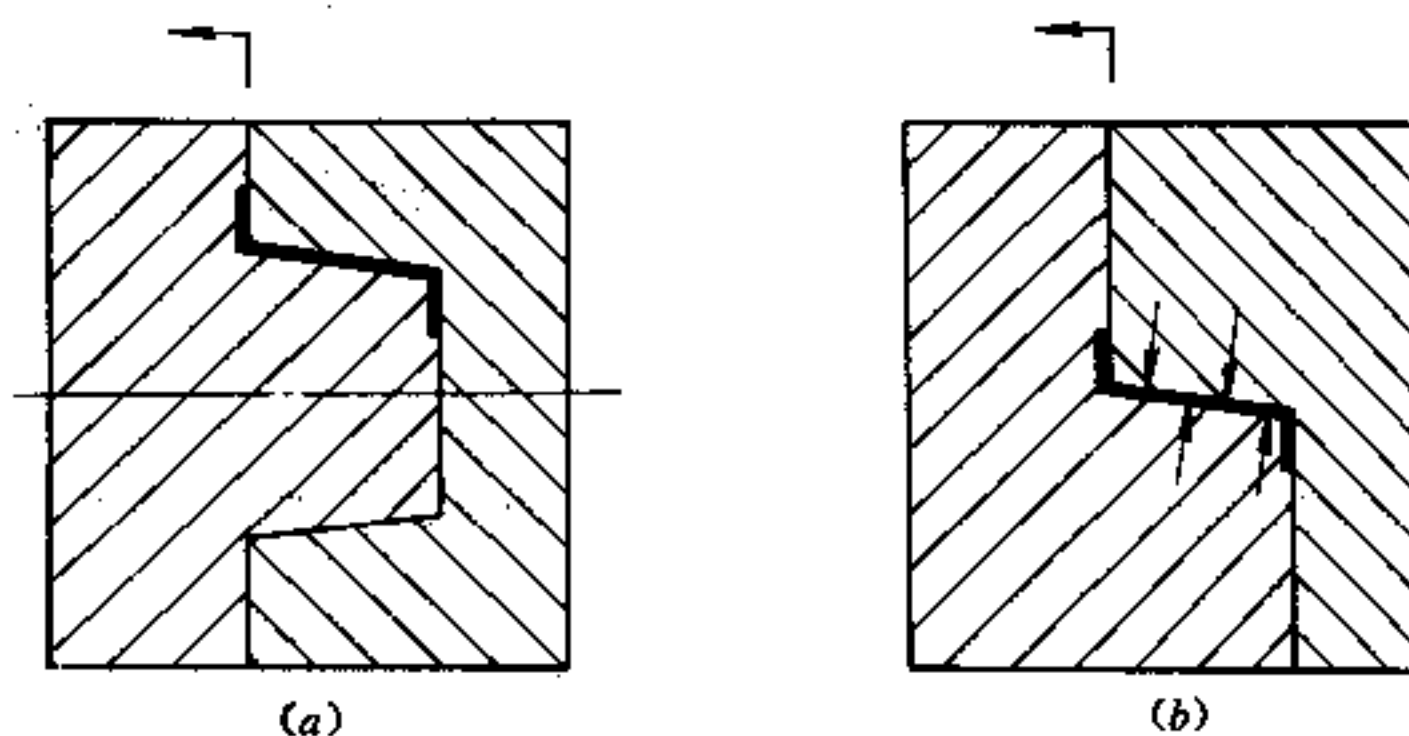


图 4.3-13 分型面上的力平衡

对于一些特殊塑件, 分型面设计是困难的技术问题。由于涉及制品的几何尺寸精度与质量, 分型面选择后应得到塑件设计人员的认可。

### 4.3.2 排气槽设计

从某种角度而言, 注塑模也是一种置换装置。即塑料熔体注入模腔同时, 必须置换出型腔内空气和从物料中逸出的挥发性气体。排气系统是注塑模设计的重要组成部分。

#### 一、排气不良的危害

排气和排气槽设计不合理将会产生下述的弊病。

- (1) 增加熔体充模流动的阻力, 使型腔不能充满, 会使塑件棱边不清;
- (2) 在制品上呈现明显可见的流动痕和熔合缝, 其力学性能降低;
- (3) 滞留气体使塑件产生银纹、气孔、剥层等表面质量缺陷;
- (4) 型腔内气体受到压缩后产生瞬时局部高温, 使塑料熔体分解变色, 甚至碳化烧焦;
- (5) 由于排气不良, 降低了充模速度, 增长了注塑成型周期。



## 二、排气系统设计方法

- (1) 利用分型面排气是最简便的方法，排气效果与分型面的接触精度有关。
- (2) 对于大型模具，可利用镶拼的成型零件的缝隙排气，如图 4.3-17 所示。
- (3) 利用顶杆与孔的配合间隙排气，必要时对顶杆作些排气的结构措施，如图 4.3-14 所示。
- (4) 利用球状合金颗粒烧结块渗导排气，如图 4.3-15 所示。烧结块应有足够的承压能力，设置在塑件隐蔽处，并须开设排气通道。
- (5) 在熔合缝位置开设冷料井，在贮留冷料前也滞留了少量气体。
- (6) 可靠有效的方法，是在分型面上开设专用排气槽，如图 4.3-16 所示，尤其大型注塑模必须如此。

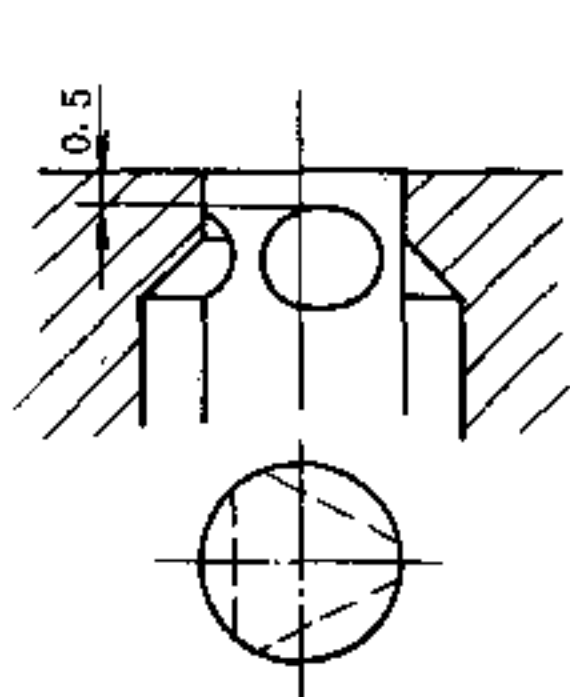


图 4.3-14 兼作排气的顶杆

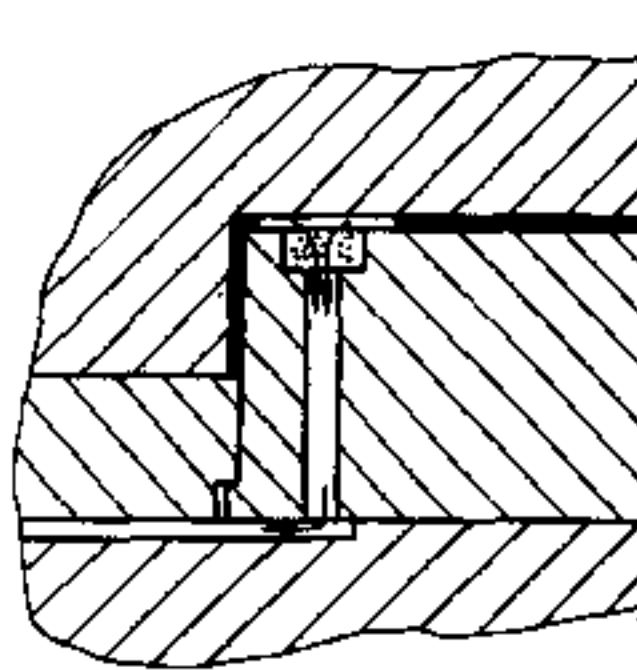


图 4.3-15 烧结金属块的排气

排气槽应开设在熔体最后充满的部位。图 4.3-17 为圆筒形塑件，在采用中心浇口时应在分型面的型腔周围均匀布置排气槽。图 4.3-16 为单个侧浇口的型腔，大致在浇口对面设排气槽。排气槽通常设在分型面的动模一侧。

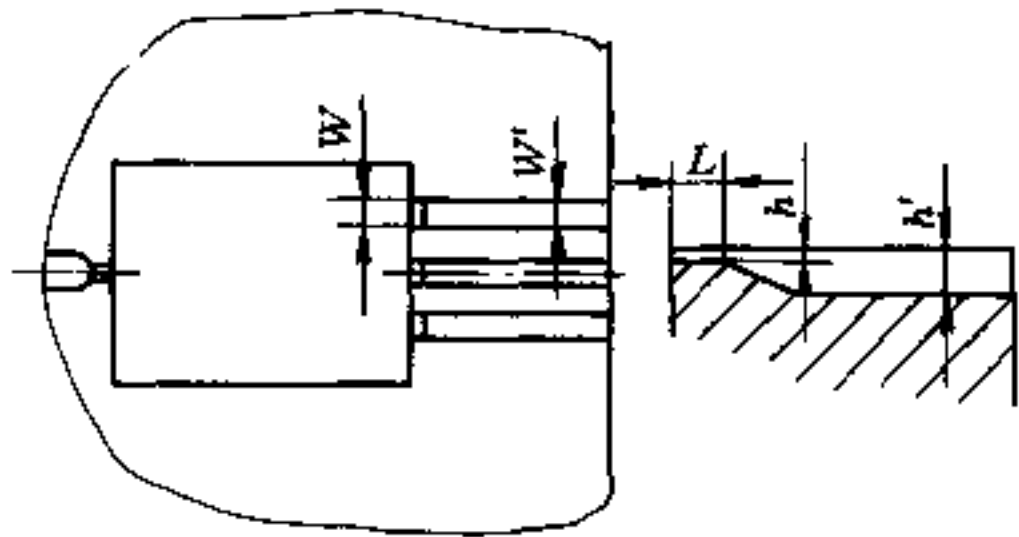


图 4.3-16 排气槽和导气沟

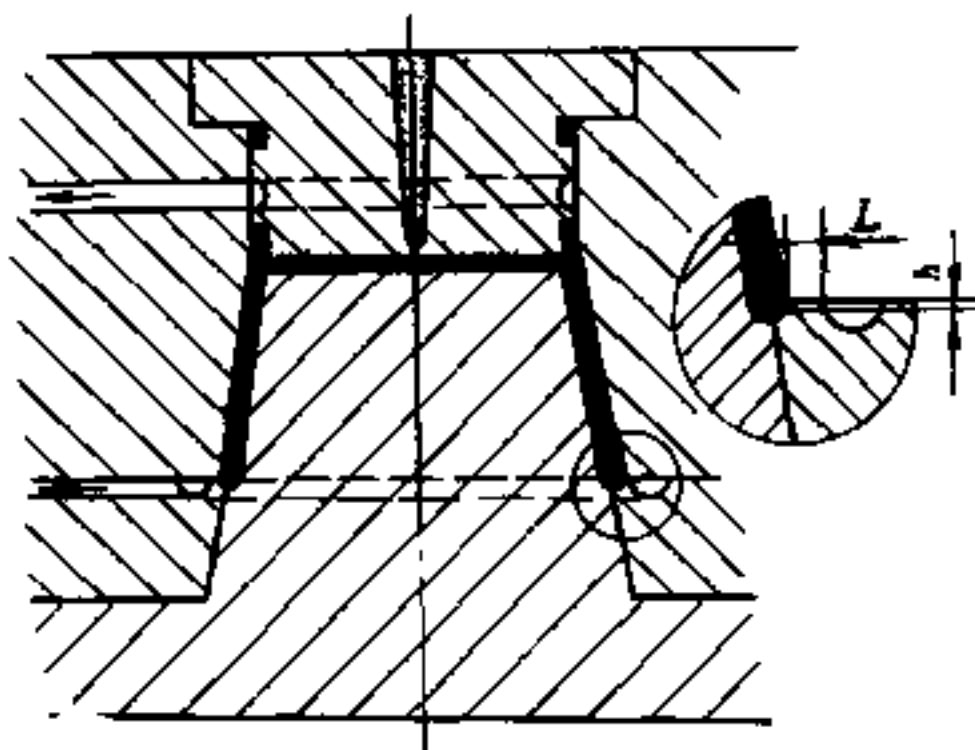


图 4.3-17 连续的排气槽和利用镶件排气

排气槽截面尺寸，以有利于排气，但又不溢料为原则。因此，对于粘度较低的塑料熔体应有较小的排气槽高度  $h$ ，见表 4.3-1。排气槽流通截面  $S$ ，应按所需排气量确定，然后计算得排气槽宽度  $W$ 。气流方向的排气槽长度  $L$ ，一般不超过 2mm。排气槽后续的导气沟应适当增大，以减小排气阻力。其高度  $h' = 0.8 \sim 1.6\text{mm}$ ，单个宽度  $W' \geq W = 3.2 \sim 5\text{mm}$ 。排气槽表面应以气流方向进行抛光。

表 4.3-1 常用的排气槽高度

塑料名称	排气槽高度 $h/\text{mm}$
聚酰胺类塑料	$\leq 0.015$
聚烯烃塑料	$\leq 0.02$
PS、ABS、AS、SAN、POM、PBT、PET、增强聚酰胺	$\leq 0.03$
PC、PSU、PVC、PPO、丙烯酸类塑料及其他增强塑料	$\leq 0.04$

### 三、排气槽截面尺寸计算

塑料熔体充模过程时间很短，可认为模内气体物理性质符合绝热条件。因此所需排气槽的截面面积

$$F = \frac{25 m_1 \sqrt{T_1}}{\theta P_0} \quad (4.3-1)$$

式中  $F$ ——排气槽截面面积 ( $\text{m}^2$ );

$m_1$ ——模具内气体质量 ( $\text{kg}$ );

$P_0$ ——模内气体的初始压力,  $P_0 = 0.1 \text{MPa}$ ;

$T_1$ ——模内被压缩气体的最终温度 ( $\text{K}$ );

$\theta$ ——充模时间 ( $\text{s}$ )。

模内气体质量, 按常压常温  $20^\circ\text{C}$  的氮气密度  $\rho_0 = 1.16 \text{kg}/\text{m}^3$  计算, 有

$$m_1 = \rho_0 V_0 \quad (4.3-2)$$

式中  $V_0$ ——模具型腔体积 ( $\text{m}^3$ )。

应用气体状态方程, 可求得式中被压缩气体的最终温度

$$T_1 = T_0 \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{0.1304} \quad (4.3-3)$$

式中,  $T_0$  为模内气体的初始温度,  $T_0 = 20 + 273 = 293 \text{K}$ 。

【例】 HDPE 注塑模内型腔体积  $V_0 = 100 \text{cm}^3 = 1 \times 10^{-4} \text{m}^3$ 。采用充模时间  $\theta = 1.5 \text{s}$ 。求排气槽截面积和尺寸。

【解】 被压缩气体最终排气压力  $P_1 = 20 \text{MPa}$ , 则该气体的最终温度, 由式 (4.3-3)

$$T_1 = T_0 \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{0.1304} = 293 \left( \frac{20}{0.1} \right)^{0.1304} = 585 \text{K}$$

模内气体质量

$$m_1 = V_0 \cdot \rho_0 = 1 \times 10^{-4} \times 1.16 = 1.16 \times 10^{-4} \text{kg}/\text{m}^3$$

代入式 (4.3-1) 得所需排气槽截面积

$$F = \frac{25 m_1 \sqrt{T_1}}{\theta P_0} = \frac{25 \times 1.16 \times 10^{-4} \times \sqrt{585}}{1.5 \times 0.1 \times 10^6} = 0.468 \text{mm}^2$$

由表 4.3-1 查得排气槽高度  $h = 0.02 \text{mm}$ , 因此排气槽总宽度

$$W = \frac{F}{h} = \frac{0.468}{0.02} = 23.4 \text{mm}$$

实际排气槽宽度应大于计算值。使用了一定期限的旧模具, 由于挥发性气体的积垢

使排气有效截面减小。若排气槽总宽度较大时,可采用多个、甚至连续宽度排气。如图4.3-17所示,在半个或整个型腔周边上排气。

随着高速注射的发展,真空排气系统将被采用。在图4.3-15中的烧结块后,配以真空抽气。有的甚至用负压的冷却剂辅助将气体携出。以上陈述的是热塑性塑料注射模的排气系统。热固性塑料注射模的排气系统更为重要。排出气体质量 $m_1$ 中须计入化学反应产生的气体质量。

## 4.4 成型零件设计

注射模具闭合时,成型零件构成了成型塑料制品的型腔。成型零件主要包括凹模、凸模、型芯、镶拼件,各种成型杆与成型环。成型零件承受高温高压塑料熔体的冲击和摩擦。在冷却固化中形成了塑件的形体、尺寸和表面。在开模和脱模时需克服与塑件的粘着力。在上万次、甚至几十万次的注射周期,成型零件的形状和尺寸精度、表面质量及其稳定性,决定了塑料制品的相对质量。成型零件在充模保压阶段承受很高的型腔压力,作为高压容器,它的强度和刚度必须在容许值之内。成型零件的结构,材料和热处理的选择及加工工艺性,是影响模具工作寿命的主要因素。

### 4.4.1 成型零件结构设计

成型零件的结构设计,当然是以成型符合质量要求的塑料制品为前提,但必须考虑金属零件的加工性及模具制造成本。成型零件成本高于模架的价格,随着型腔的复杂程度、精度等级和寿命要求的提高而增加。

#### 一、凹模结构设计

凹模是成型塑件外表面的成型零件。凹模的基本结构可分为整体式、整体嵌入式和组合式。采用镶拼结构的凹模,对于改善模具加工工艺性有明显好处。

##### 1. 整体式凹模

它在成型模具的凹模板上加工型腔,如图4.4-1所示。很显然,它有较强的强度和刚度,但加工较困难。需用电火花、立式铣床加工,仅适合于形状简单的中小型塑件。

##### 2. 整体嵌入式凹模

它适用于小型塑件的多型腔模。将多个一致性好的整体凹模,嵌入到凹模固定板中。嵌入的凹模,可用低碳钢或低碳合金钢,用一个冲模冷挤成多个,再渗碳淬火后抛光。也可用电铸法成型凹模型腔,即使用一般机加工方法加工各凹模,由于容易测量,也能保证一致性。整体嵌入式凹模结构能节约优质模具钢,嵌入模板后有足够强度与刚度,使用可靠且置换方便。

整体嵌入式凹模装在固定模板中,要防止嵌入件松动和旋转。要有防脱吊紧螺钉和防转销钉,如图4.4-2(a)、(b)所示。带肩的嵌入凹模能有效防止脱出固定板,但需底板压固,如图4.4-2(b)、(c)所示。采用过渡紧配合甚至过盈配合,可使嵌入件固定牢靠。

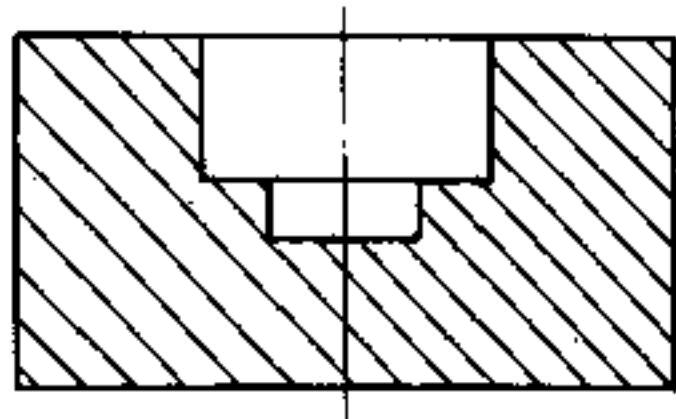


图4.4-1 整体式凹模结构

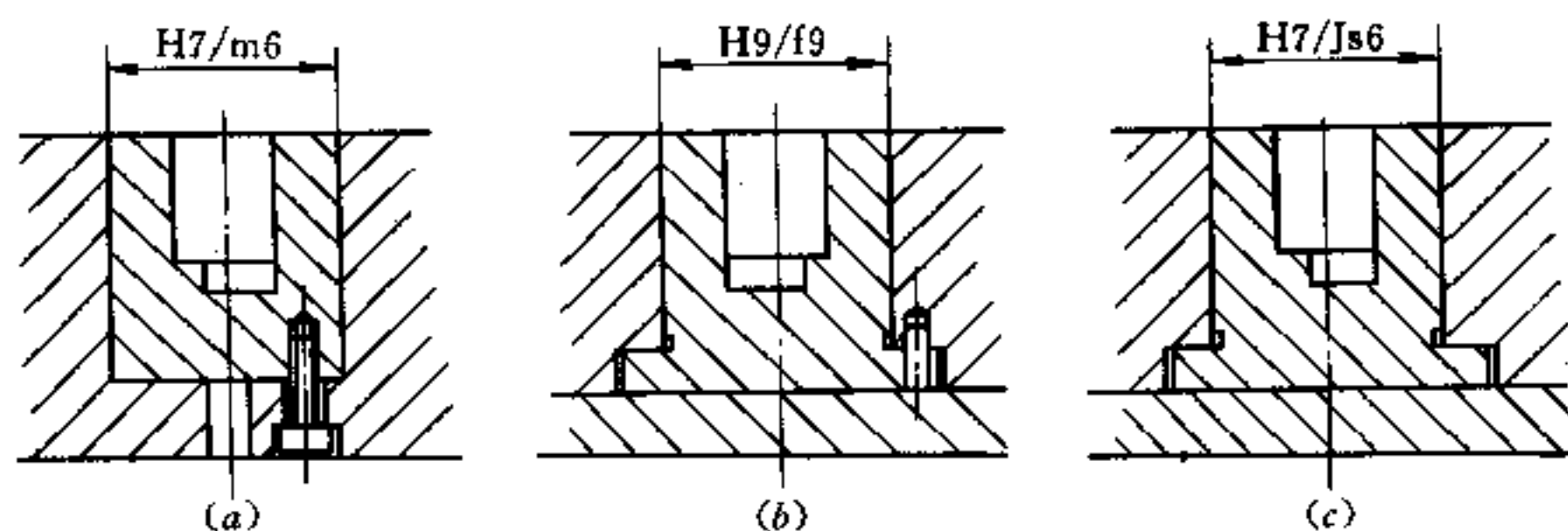


图 4.4-2 整体嵌入式凹模结构

### 3. 组合式凹模

通孔凹模在加工切削、线切割、磨削、抛光及热处理加工时较为方便。无底型腔加工后装上底板，构成凹模整体型腔，称之为组合式凹模。它是一种大面积的镶嵌。其底板面积或大于凹模型腔底面，或者就是凹模板，如图 4.4-3 所示。

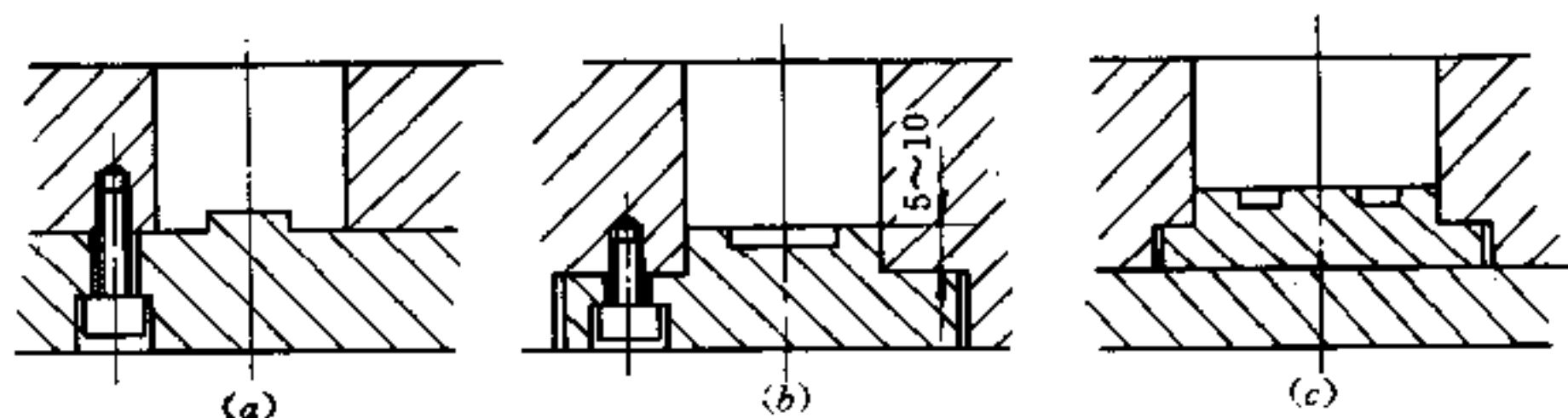


图 4.4-3 组合式凹模结构

组合式凹模的强度和刚度较差。在高压熔体作用下组合底板变形时，见图 4.4-3 (a)，熔体趁机侵入连接面，在塑件上造成飞边；造成脱模困难并损伤棱边。图 4.3-3 (b)、(c)，这两种组合结构，制造成本虽高些，但由于配合面密闭可靠，能防止熔体渗入。

### 4. 镶拼式凹模

各种结构的凹模，都可用镶件或拼块组成凹模的局部型腔。图 4.4-4 为局部镶拼的凹模，镶件可嵌拼在四壁，也可镶嵌在底部。也有凹模型腔的全部，由许多镶件拼合的全拼块式的结构，仅用于小型精密的注塑模。也有型腔四壁用拼块套箍在模板中的结构，如图 4.4-5 所示，尤适用于大型模具。但要注意拼缝位置的选择。

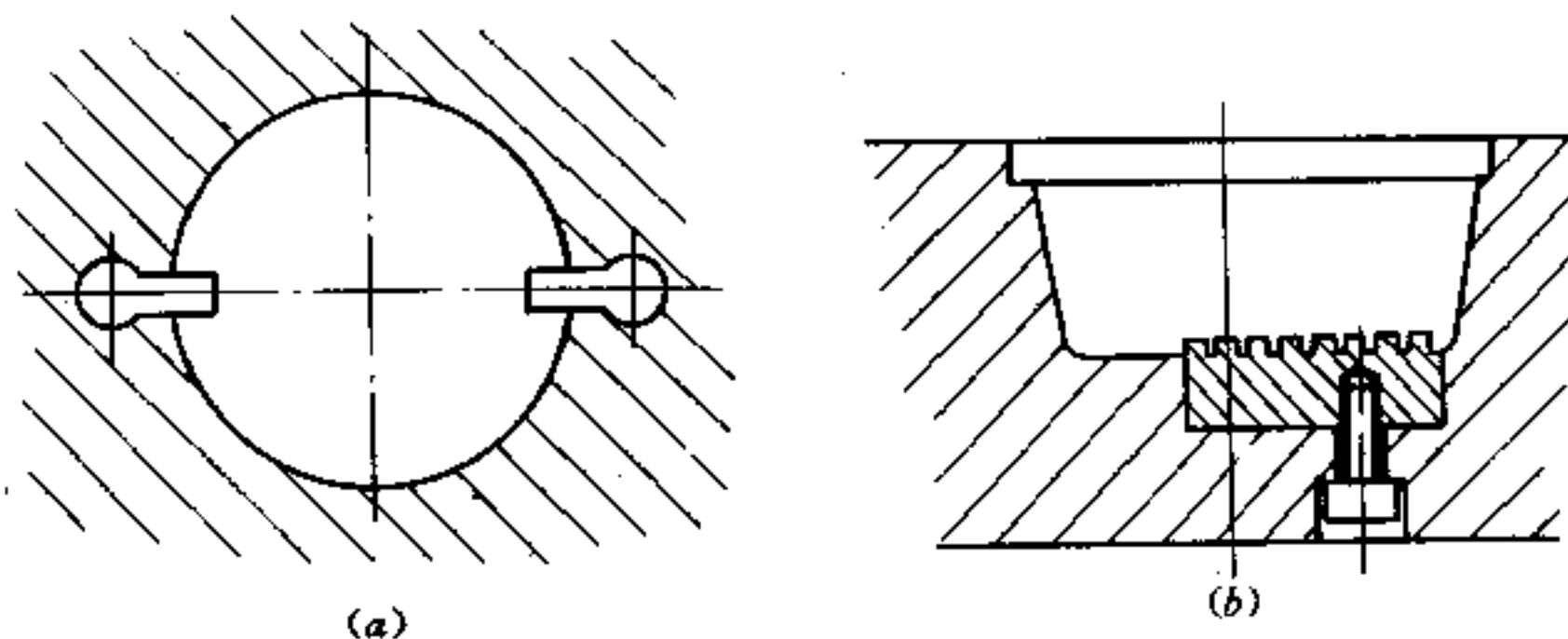


图 4.4-4 局部镶拼的凹模

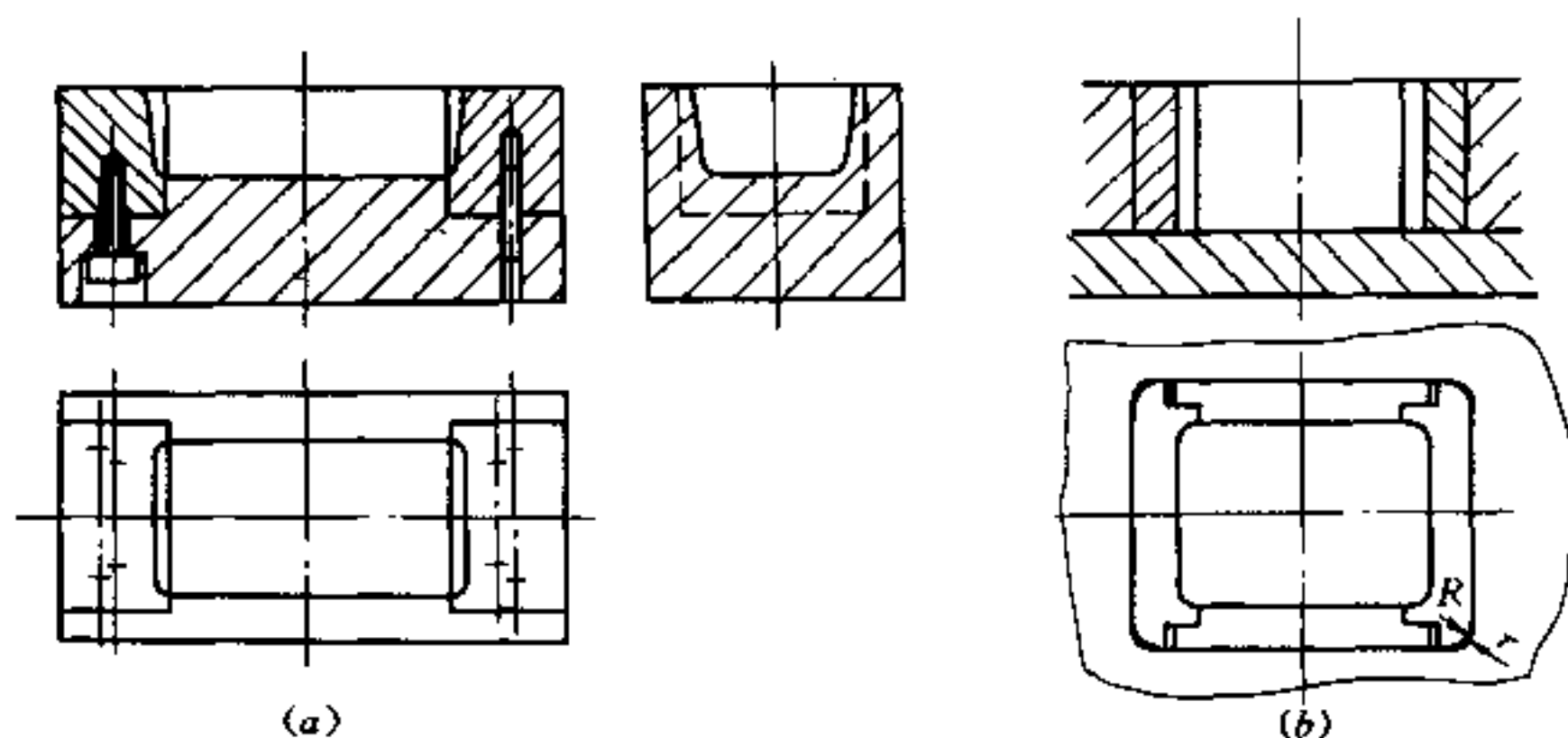


图 4.4-5 侧壁镶拼的凹模

在凹模的结构设计中,采用镶拼结构有如下好处:

(1) 简化凹模型腔加工,将复杂的凹模内形体的加工变成镶件的外形加工。降低了凹模整体的加工难度。

(2) 镶件可用高碳钢或高碳合金钢淬火。淬火后变形较小,可用专用磨床研磨复杂形状和曲面。凹模中使用镶件的局部型腔有较高精度,经久的耐磨性并可置换。

(3) 可节约优质塑料模具钢,尤其对于大型模具更是如此。

(4) 有利于排气系统和冷却系统的通道的设计和加工。

尽管如此,在结构设计中应注意以下几点:

(1) 凹模的强度和刚度因此有所削弱,故模框板应有足够的强度和刚度。

(2) 镶件之间、及其与模框之间尽量采用凹凸槽相互扣锁,以减小整体凹模在高压下的变形和镶件的位移。镶件必须准确定位,并有可靠紧固。

(3) 镶拼接缝必须配合紧密。转角和曲面处不能设置拼缝。拼缝线方向应与脱模方向一致。

(4) 镶拼件的结构应有利于加工、装配和调换。镶拼件的形状和尺寸精度应有利于凹模总体精度,并确保动模和定模的对中性,还应有避免误差累积的措施。

## 二、凸模和型芯结构设计

凸模和型芯都是用来成型塑料制品的内表面的成型零件。凸模也称主型芯,用来成型塑件整体的内部形状。小型芯也称成型杆,用来成型塑件的局部孔或槽。

### 1. 组合式凸模

图 4.4-6 所示为常用的组合式凸模结构。该结构节省了优质模具钢,便于机加工和热处理,也便于动模与定模对准。图 4.4-6 (a) 为轴肩连接,牢固可靠。图 4.4-6 (b) 为局部嵌入,用螺栓拉紧。尤其适用于大型注射模凸模结构,有利于凸模冷却和排气的实施。

### 2. 圆柱型芯结构

最常见的圆柱型芯结构,如图 4.4-7 (a) 所示。它采用轴肩与垫板的固定方法。定位配合部分长度为 3~5mm,用小间隙或过渡配合。非配合长度上扩孔后,有利于排气。有多个小型芯时,则可图 4.4-7 (b) 或 (c) 所示结构予以实施。型芯轴肩高度在

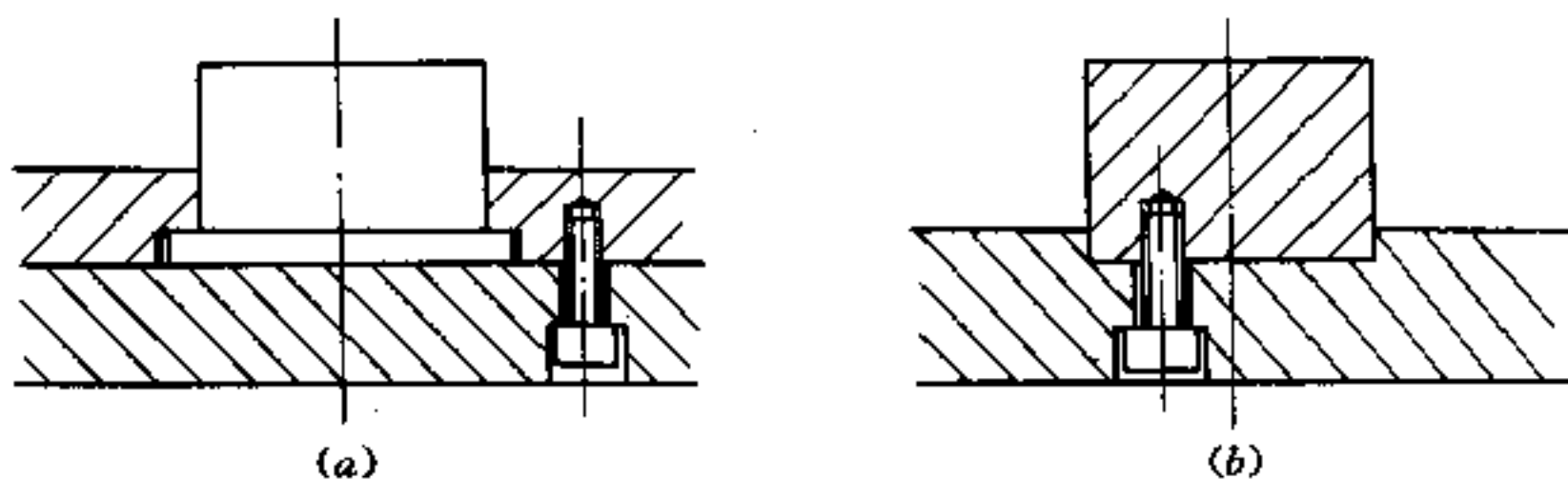


图 4.4-6 组合式凸模结构

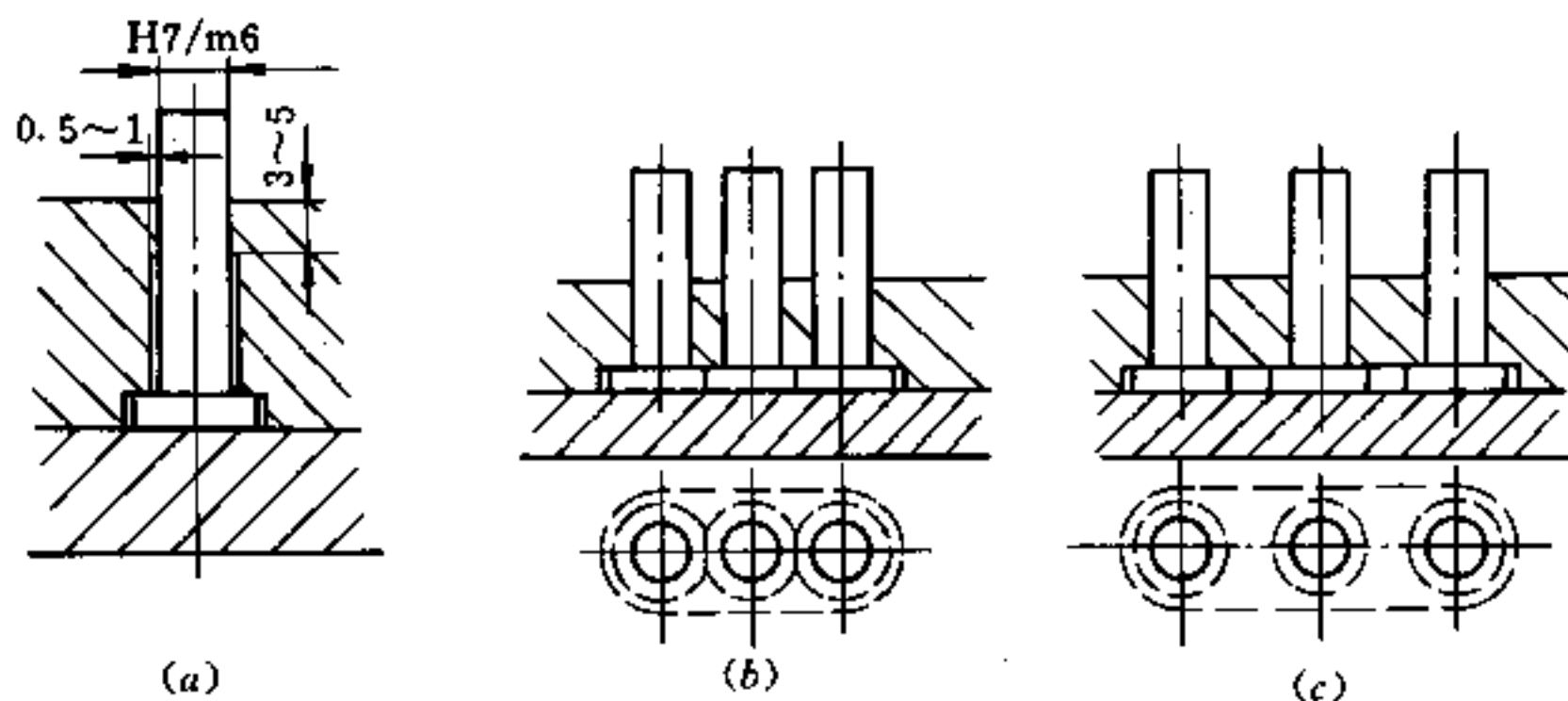


图 4.4-7 圆柱型芯的常用结构

嵌入后都必须高出模板装配平面，经研磨成同一平面后再与垫板连接。这种从模板背面压入型芯的方法，称之为反嵌法。

若模板较厚时，可采用图 4.4-8 (a)、(b) 的结构。倘若模板较薄，则用图 4.4-8 (c) 的结构。对于成型 3mm 以下的盲孔的圆柱型芯可采用正嵌法，将型芯从型腔表面压入。结构与配合要求如图 4.4-9 所示，须注意此方法的可靠性。

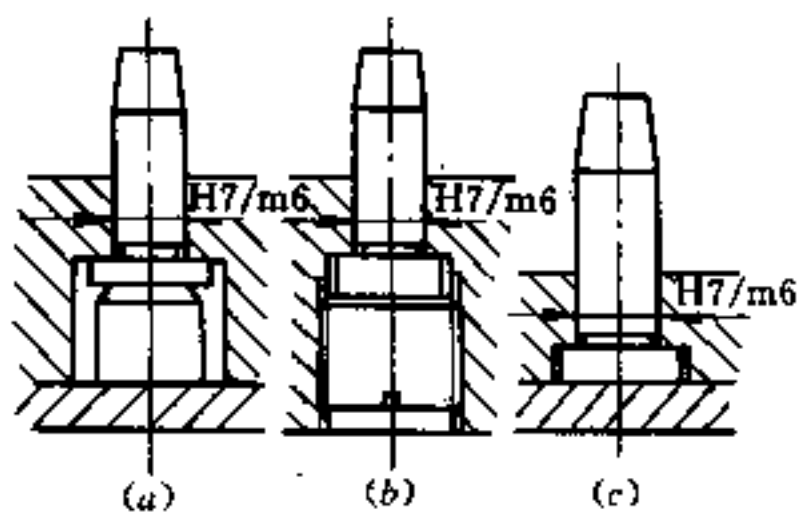


图 4.4-8 反嵌型芯结构

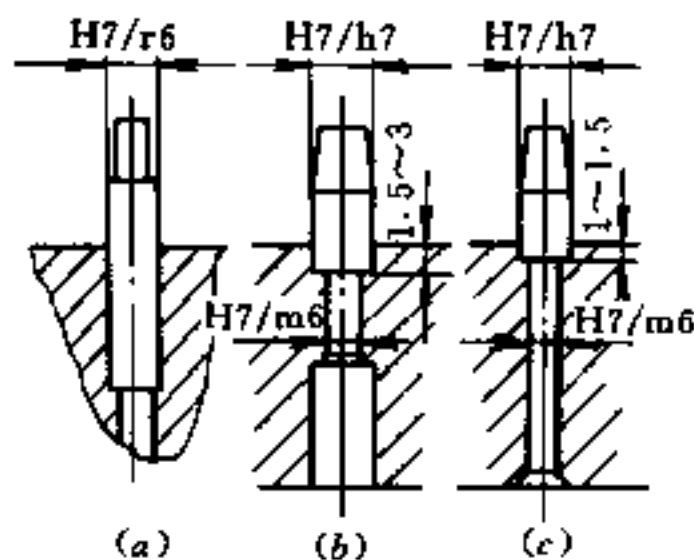


图 4.4-9 正嵌法型芯结构

### 3. 异形型芯结构

非圆的异形型芯大都采用反嵌法，如图 4.4-10 (a) 所示。在型腔板上加工出相配合的异形孔。但支承和轴肩部分均为圆柱体，以便于加工与装配。对径向尺寸较小的异形型芯可用正嵌法的结构，见图 4.4-10 (b)。实际应用中，反嵌法结构的工作性能比正嵌法可靠。

### 4. 镶拼型芯结构

形状复杂、精度高又有耐磨要求的型芯，用图 4.4-11 的镶拼结构，可大大改善加工和热处理的工艺性。

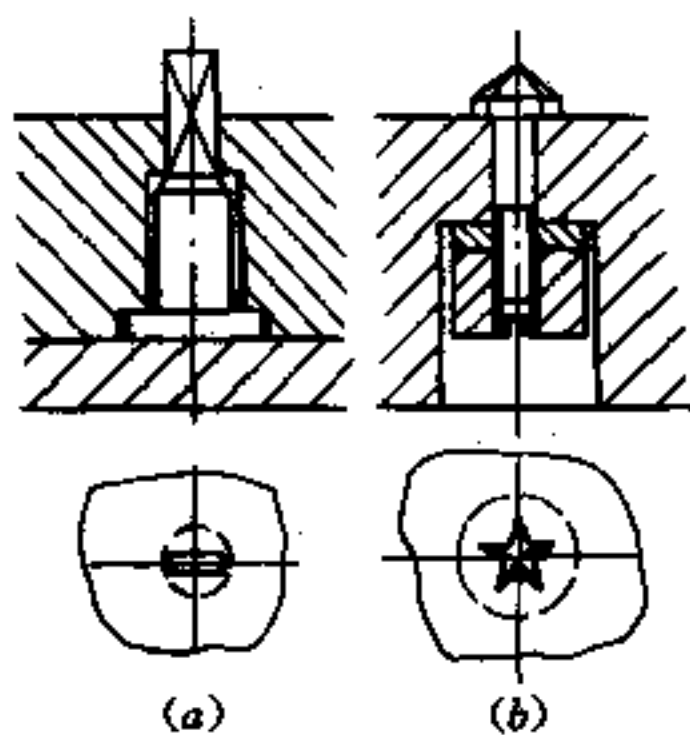


图 4.4-10 异形型芯的结构

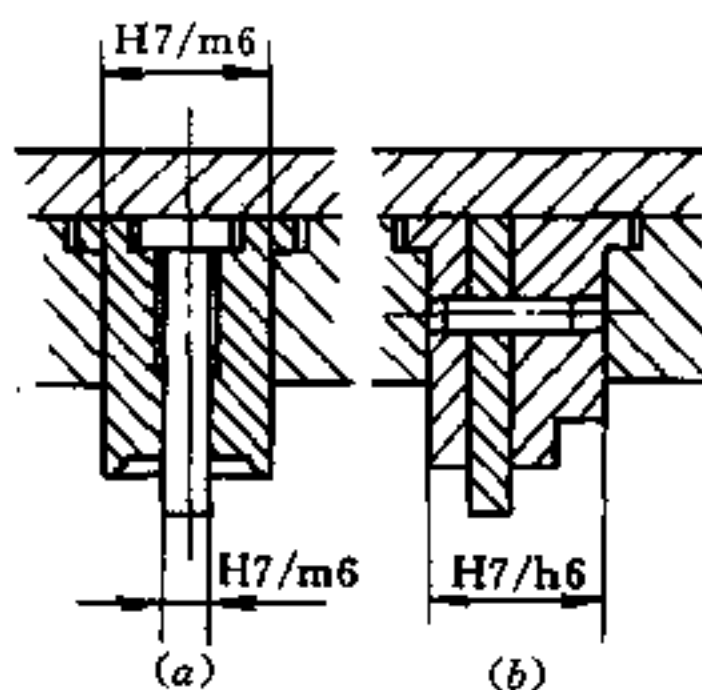


图 4.4-11 镶拼型芯的结构

### 三、螺纹成型零件结构设计

螺纹成型零件包括螺纹型芯和型环。前者用于成型塑件上内螺纹或安装有内螺纹的嵌件；后者用于成型塑件上的外螺纹。在注塑成型后，在模外将螺纹成型零件从塑件上旋出。螺纹型芯需要量较大，有标准化发展趋势。

#### 1. 螺纹型芯

螺纹型芯结构设计时，首先要考虑螺纹型芯在模具内的定位和固定。

(1) 用于下模的螺纹型芯。在立式注塑机的下模上安装螺纹型芯最为方便。图 4.4-12 是利用型芯重力安放在下模中的简易结构。图 4.4-12 (a) 用于成型塑件上螺纹孔，利用型芯端面定位；图 4.4-12 (b) 用于安放有内螺纹的金属嵌件。用嵌件端面作轴向方向定位。生产中也有将盲孔螺纹嵌件直接套在型芯杆上，如图 4.4-12 (c) 所示。

在高压熔体作用下，特别在塑料熔体粘度较低时，为防止熔体的挤入，可利用锥面或圆柱面的配合起密封作用，同时也起到了型芯的轴向定位作用，如图 4.4-13 所示。

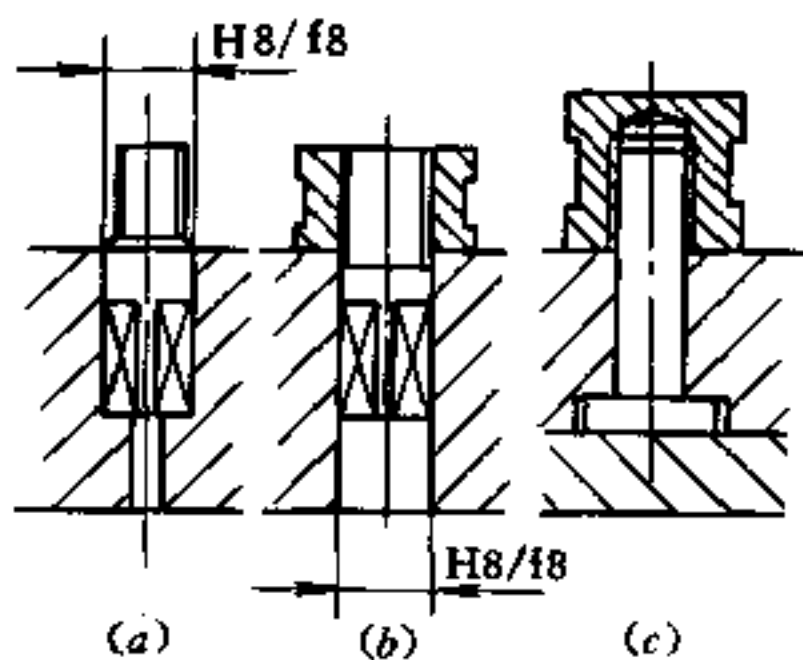


图 4.4-12 用于下模的螺纹型芯 (一)

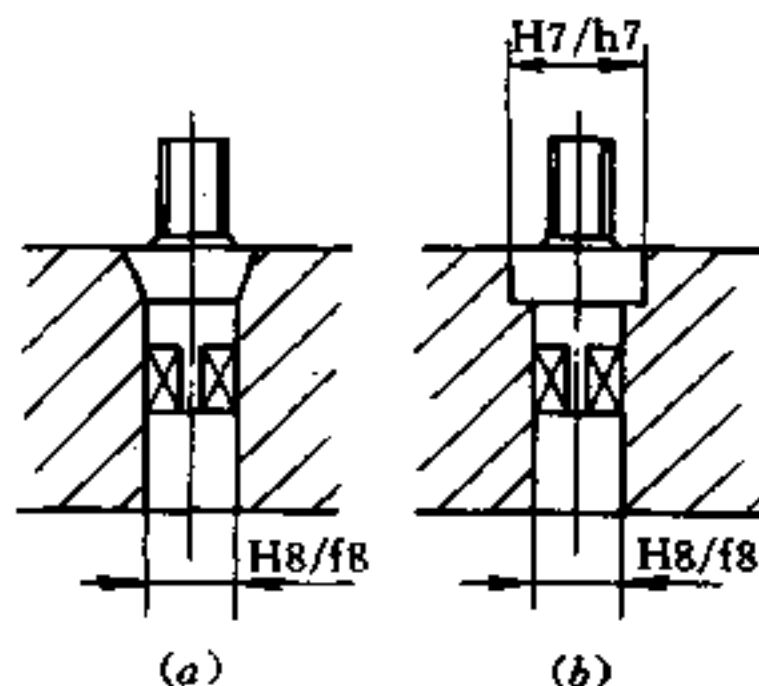


图 4.4-13 用于下模的螺纹型芯 (二)

#### (2) 弹性连接的螺纹型芯

在卧式注塑机的模具上，或立式注塑机的上模，必须采用弹性连接卡紧型芯，又能快装快卸。图 4.4-14 (a)，采用豁口柄弹性连接于定位孔内，适用于 8mm 以下的螺纹型芯，图 4.4-14 (b) 和 (c) 适用于 M3~M12 螺纹杆；图 4.4-14 (b) 中，利用弹簧钢丝压入孔中所储存弹性力卡滞型芯；图 4.4-14 (c) 中，型芯杆的圆周槽中嵌入 0.5mm 钢丝，利用 C 形钢丝的张开力卡于定位孔中。图 4.4-14 (d) 和 (e) 适用于更



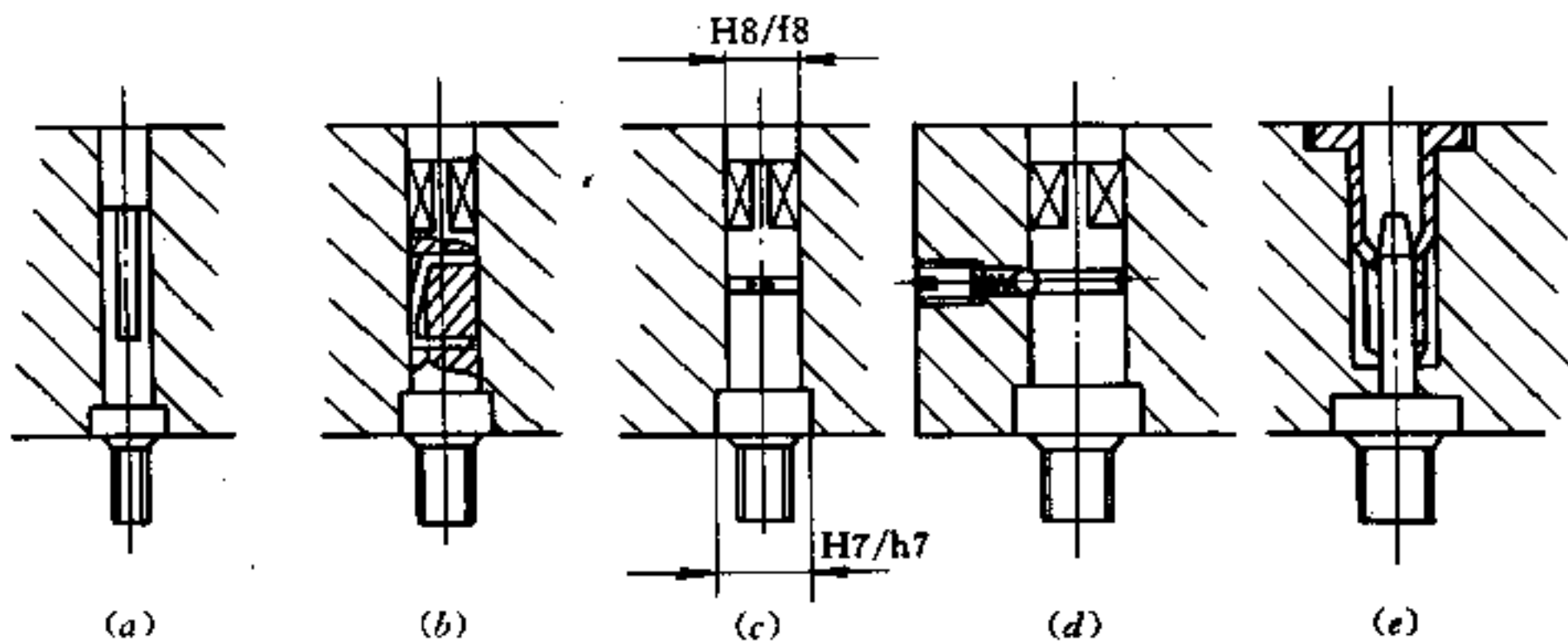


图 4.4-14 弹性连接的螺纹型芯

大直径的螺纹型芯。前者用压簧将钢珠弹压到沟槽内，夹固了型芯杆；后者为弹簧夹头连接的螺纹型芯，使用可靠，但制造复杂。

## 2. 螺纹型环

螺纹型环以小间隙配合装入模板的孔中。配合长度一般不超过 5mm，其余部分为  $3^\circ\sim 5^\circ$  锥面。便于快装，也便于与塑件从模具孔一起脱出。图 4.4-15 (a) 为整体型环，环外有扳手平面，可将螺纹型环从塑件上旋出。图 4.4-15 (b) 为剖分式型环，可用楔形槽使其撬开。螺纹塑件上会有熔合痕。复位时有两个小导销定位。

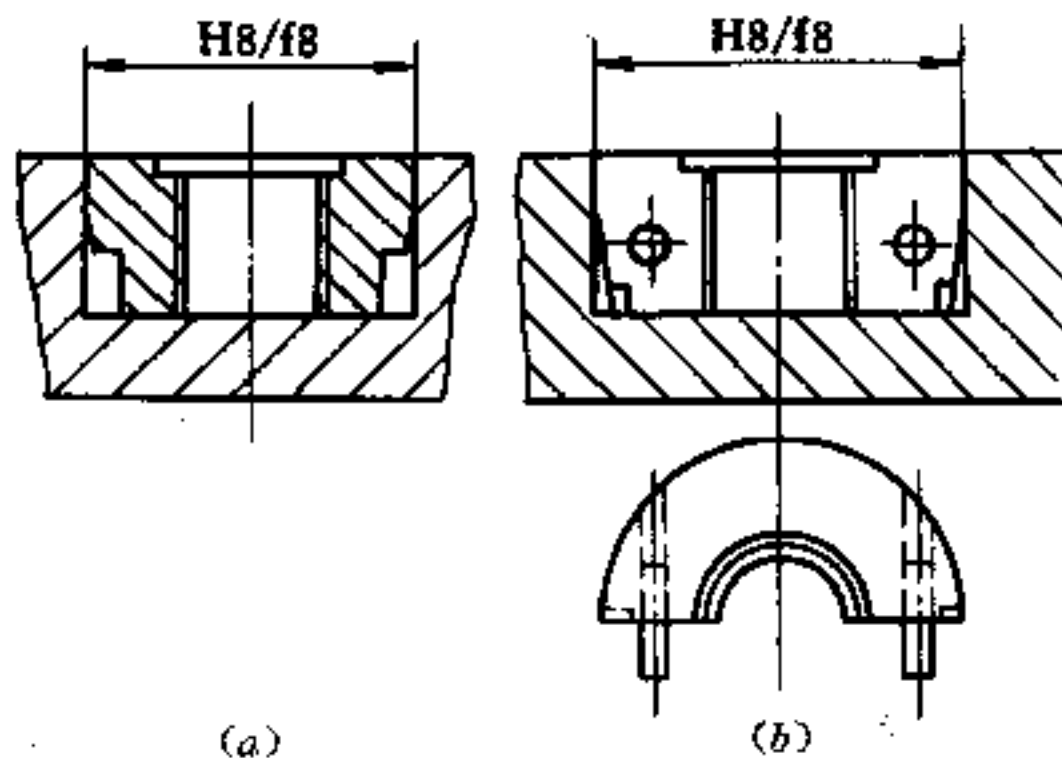


图 4.4-15 螺纹型环结构

## 四、成型零件钢材选用

### 1. 选用要求

(1) 机械加工性能良好。要选用易于切削，且在加工后能得到高精度零件的钢种。为此，以中碳钢与中碳合金钢最常用，这对大型模具尤其重要。对需电火花加工的零件，还要求该钢种的烧伤硬化层较薄。

(2) 抛光性能优良。注射模成型零件工作表面，多需抛光达到镜面， $R_a \leq 0.05\mu\text{m}$ 。要求钢材硬度 HRC35~40 为宜。过硬表面会使抛光困难。钢材的显微组织应均匀致密，极少杂质，无疵斑和针点。

(3) 耐磨性和抗疲劳性能好。注射模型腔不仅受高压塑料熔体冲刷，而且还受冷热温度交变的应力作用。一般的高碳合金钢，可经热处理获得高硬度，但韧性差易形成表

而裂纹，不宜采用。所选钢种应使注塑模能减少抛光修模的次数，能长期保持型腔的尺寸精度，达到所计划批量生产的使用寿命期限。这对 30 万以上注射次数，和玻璃纤维增强的塑料注塑生产尤其重要。

(4) 具有耐腐性能。对有些塑料品种，如聚氯乙烯和阻燃型塑料，必须考虑选用有耐腐性能的钢种。

## 2. 注塑模用钢种

热塑性注塑模的成型零件的毛坯，凹模和主型芯以板材和模块供应。常用 50 或 55 调质钢，HB250~280，易于切削加工，旧模修复时的焊接性能较好，但抛光性和耐磨性较差。

型芯和镶件常以棒材供应，采用淬火变形小、淬透性好的高碳合金钢，经热处理后在磨床上直接研磨至镜面。常用 9CrWMn、Cr12MoV 和 3Cr2W8V 等钢种。淬火后回火 HRC $\geq$ 55 有良好耐磨性。也有采用高速钢基体的 65Nb (65Cr4W3Mo2VNb) 新钢种。价廉但淬火性能差的 T8A、T10A 也可采用。

80 年代，我国开始引进国外生产钢种来制造注塑模。主要是美国 P 系列的塑料模钢种，和 H 系列的热锻模钢种，如 P20、H13、P20S、H13S。我国已生产专用的塑料模具用的钢种，并以模板和棒料供应。

### (1) 预硬钢

国产 P20 (3Cr2Mo) 钢材，将模板预硬化后以硬度 HRC36~38 供应，抗拉强度 1330N/mm<sup>2</sup>。模具制造中不必热处理。能保证加工后获得较高的形状和尺寸精度，也易于抛光，适用于中小型注塑模。

在预硬钢中加入硫，能改善切削性能，适合大型模具制造。国产 SM1 (55CrNiMnMoVS) 和 5NiSCa (5CrNiMnMoVSCa) 预硬后硬度 HRC35~45。但切削性能类似中碳调质钢。

### (2) 镜面钢

镜面钢多数是属于析出硬化钢，也称之为时效硬化钢，它用真空熔炼方法生产。国产 PMS (10Ni3CuAlVS)，供货硬度 HRC30，易于切削加工。而后在真空环境下经 500~550℃，以 5~10h 时效处理。钢材弥散析出复合合金化合物，使钢材硬化具有 HRC40~45，耐磨性好且处理过程变形小。由于材质纯净，可作镜面抛光。并能光腐蚀精细图案，还有较好电加工及抗锈蚀性能。工作温度达 300℃，抗拉强度 1400N/mm<sup>2</sup>。另一种析出硬化钢是 SM2 (20CrNi3AlMnMo)，预硬化后加工，再经时效硬化可达 HRC40~45。

还有两种镜面钢各有其特点。一种是高强度的 8CrMn (8Cr5MnWMoVS)，预硬 HRC33~35，易于切削。淬火时空冷，硬度可达 HRC42~60，抗拉强度达 3000N/mm<sup>2</sup>，可用于大型注塑模以减小模具体积。另一种是可氮化高硬度 25CrNi3MoAl，调质后硬度 HRC23~25，时效后硬度 HRC38~42，氮化处理后表层硬度可达 HRC70 以上。用于玻纤增强塑料的注塑模。

### (3) 耐腐蚀钢

国产 PCR (6Cr16Ni4Cu3Nb) 属于不锈钢类钢种。但比一般不锈钢有更高强度，更好切削性能和抛光性能，且热处理变形小。使用温度 < 400℃，空冷淬硬可达 HRC42~

53, 适用于含氯和阻燃剂的腐蚀性塑料。

选用钢种时应按塑料制品生产批量、塑料物料品种及塑件精度与表面质量要求确定, 见表 4.4-1。

表 4.4-1 注塑模具钢材选用

塑料与制品	型腔注射次数	适用钢种
PP、HDPE 等一般塑件	10 万次左右	50、55 正火
	20 万次左右	50、55 调质
	30 万次左右	P20
	50 万次以上	SM1、5NiSCa
工程塑料	10 万次左右	P20
精密塑件	20 万次以上	PMS、SM1、5NiSCa
玻纤增强塑料	10 万次左右	PMS、SM2
	20 万次以上	25CrNi3MoAl 氮化、H13 氮化
PC、PMMA、PS 透明塑料		PMS、SM2
PVC 和阻燃塑料		PCR

#### 4.4.2 成型零件工作尺寸计算

注塑模成型零件工作尺寸, 是指这些零件上直接成型塑件的型腔尺寸。由于塑件在高压和熔融温度下充模成型, 并在模具温度下冷却固化, 最终在室温下进行尺寸检测和使用。因此, 塑料制品的形状和尺寸精度的获得, 必须考虑物料的成型收缩率等众多因素的影响。由于塑件尺寸类型的多样性, 及其成型收缩的方向性和收缩率的不稳定性, 以及塑件和金属模的制造公差, 因此成型零件工作尺寸的计算, 一直是注塑加工中的重大课题。

##### 一、塑件尺寸和精度

成型零件的每个工作尺寸, 都要根据塑件尺寸和精度要求逐一计算。对塑件和模具成型零件, 掌握它们的尺寸和公差确定的公式与规则, 及其影响因素, 是十分必要的。

##### 1. 尺寸分类和规定

国家标准 GB/T14486-93 模塑件尺寸公差表, 见附录表 18.2-1。目前大多数企业仍应用 SJ1372-78 的塑料制品公差数值, 见表 3.11-2。本节中塑件的精度等级和尺寸公差仍以此标准述及。

如图 4.4-16 所示, 塑件尺寸一般可分为包容(孔类)尺寸、被包容(轴类)尺寸和中心距尺寸三大类。凸台和孔槽等一些局部结构的中心线到某一型面尺寸, 简称单边位置尺寸, 属第四类尺寸。该类尺寸也可近似作为中心距尺寸处理。这四类塑件尺寸的偏差标准有以下三个规定。

(1) 包容和被包容尺寸采用单向偏差制。

(2) 塑件上的包容尺寸均取正偏差, 即最小极限尺寸为基本尺寸; 塑件上的被包容尺寸均标以负偏差, 即最大极限尺寸为基本尺寸。

(3) 中心距尺寸和单边位置尺寸均取双向等值偏差。

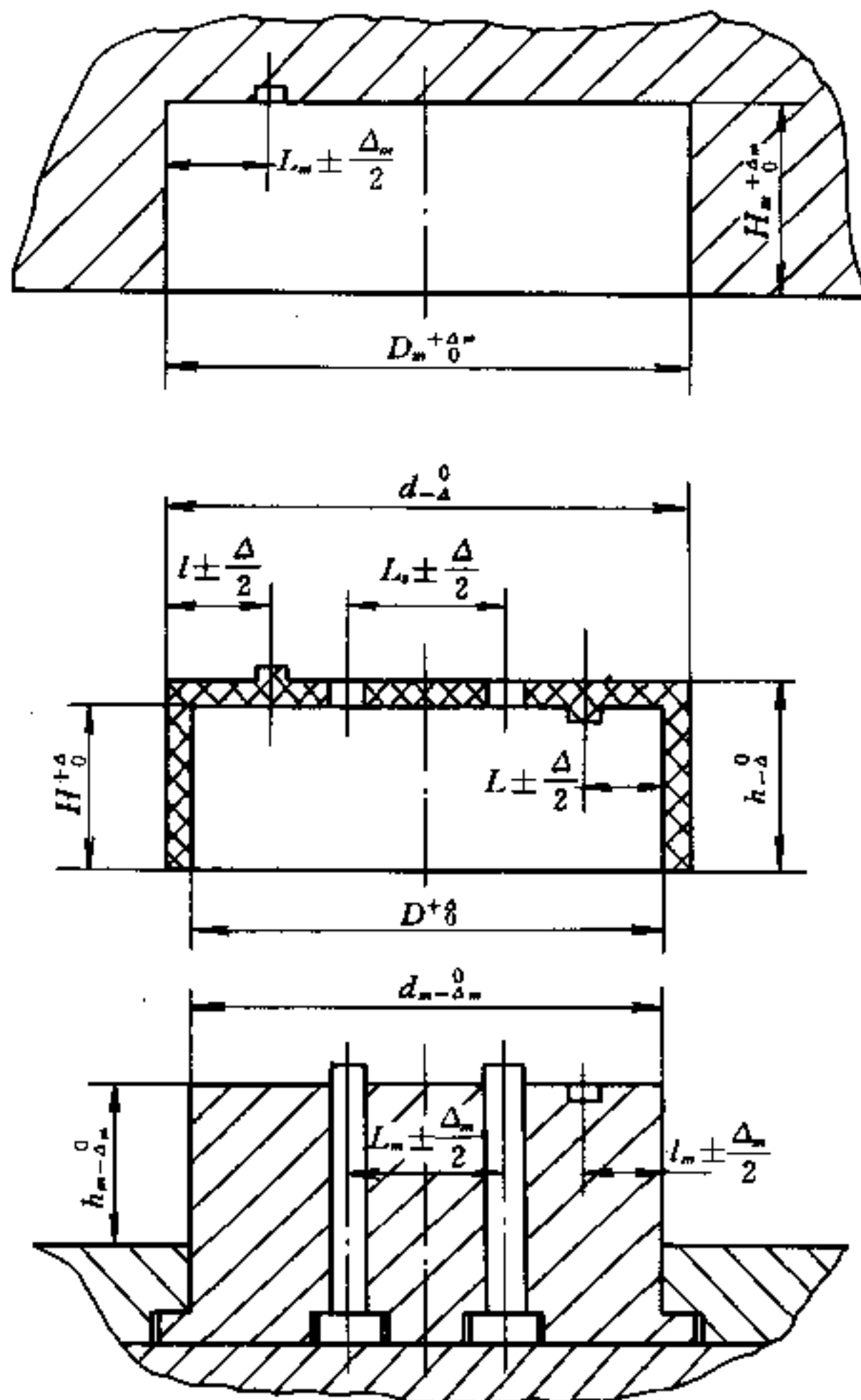


图 4.4-16 塑件尺寸和模具成型零件工作尺寸分类示意图

塑料制品图上凡不符合以上规定的尺寸和偏差，应按极限尺寸不变原则进行改造换算。对于未注偏差的自由尺寸，应按技术条件取低精度的公差值，按以上规定标注偏差。

模具成型零件工作尺寸，应按国家 GB1800—79 标准公差数值，用公差等级 IT6—IT10 确定偏差，并作相应规定：

- (1) 包容和被包容尺寸采用单向偏差制。
- (2) 模具上包容尺寸均取正偏差，即作为基孔制的孔；被包容尺寸均注负偏差，即作为基轴制的轴。
- (3) 对中心距和单向位置尺寸，均取双向等值偏差。

本节所采用的主要代号及其含义如下：

- $D$ 、 $d$ ——塑件的包容、被包容径向尺寸 (mm)；  
 $H$ 、 $h$ ——塑件的包容、被包容的深度、高度尺寸 (mm)；  
 $L$ 、 $l$ ——塑件的中心距与单边位置尺寸 (mm)；  
 $D_m$ 、 $d_m$ ——模具的包容、被包容径向尺寸 (mm)；

$H_m$ 、 $h_m$ ——模具的包容、被包容的深度、高度尺寸 (mm);

$L_m$ 、 $l_m$ ——模具的中心距、单边位置尺寸 (mm);

$\Delta$ ——塑料件尺寸公差, 按 SJ1372—78 或国标选定 (mm、 $\mu\text{m}$ );

$\Delta_m$ ——模具成型零件的制造公差, 按 GB1800—79 确定 (mm、 $\mu\text{m}$ );

$s_{\max}$ ——注射塑料物料的最大成型收缩率;

$s_{\min}$ ——注射塑料物料的最小成型收缩率;

$s_{cp}$ ——注射塑料物料的平均成型收缩率;

$\delta_c$ ——模具使用过程中的型腔表面磨损量 (mm)。

模具成型零件精度等级及公差, 应该与塑料制品的尺寸公差相对应, 见表 4.4-2 和表 4.4-3。

表 4.4-2 注塑模成型零件的制造精度

塑件精度	SJ1372—78	1	2	3	4	5	6	7	8
模具精度	GB1800—79	IT6	IT7	IT8	IT9	IT9	IT10	IT10	IT11

表 4.4-3 注塑模成型零件的标准公差数值 (摘自 GB1800—79)

基本尺寸/mm		公差等级/ $\mu\text{m}$					
		IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
大于	至						
—	3	6	10	14	25	40	60
3	6	8	12	18	30	48	75
6	10	9	15	22	36	58	90
10	18	11	18	27	43	70	110
18	30	13	21	33	52	84	130
30	50	16	25	39	62	100	160
50	80	19	30	46	74	120	190
80	120	22	35	54	87	140	220
120~180		25	40	63	100	160	250
180~250		29	46	72	115	185	290
250~315		32	52	81	130	210	320
315~400		36	57	89	140	230	360
400~500		40	63	97	155	250	400
500~630		44	70	110	175	280	440
630~800		50	80	125	200	320	500
800~1000		56	90	140	230	360	560
1000~1250		66	105	165	260	420	660
1250~1600		78	125	195	310	500	780
1600~2000		92	150	230	370	600	920
2000~2500		110	175	280	440	700	1100
2500~3150		135	210	330	540	860	1350

在确定了塑件的脱模方向后,成型零件的有关拔模斜度的尺寸,必须作工艺处理,如图4.4-17所示。在模具厂各有处理这类技术问题的约定规则,如电火花加工型腔,就有模板上下面装夹位置的工艺规定。

## 2. 影响塑件尺寸误差的因素

注塑生产中,成型收缩率的定义为

$$s = \frac{L_m - L}{L_m} \times 100\%$$

换算后得

$$L_m = \frac{L}{1 - s} \quad (4.4-1)$$

式中  $s$ ——计算的成型收缩率;

$L_m$ ——模具成型零件在室温下的实际尺寸 (mm);

$L$ ——塑件在室温下对应的实际尺寸 (mm)。

目前国内实际应用的成型收缩率的定义为

$$s = \frac{L - L_m}{L} \times 100\%$$

换算后得

$$L_m = L (1 + s) \quad (4.4-2)$$

从物理概念而言,前者  $s$  说明了收缩率是绝对收缩量对于收缩前的尺寸之比,比较确切。后者换算得式(4.4-2),对模具成型零件尺寸计算较为方便。将式(4.4-1)按二项式定理展开,可得到

$$L_m = \frac{L}{1 - s} = L (1 + s + s^2 + s^3 + \dots) \approx L (1 + s)$$

由于收缩率在  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  之间,后面的  $s^2 + s^3 + \dots$  可以略去。

成型塑件是批量生产制品。以足够多的塑件,测出尺寸的实际偏差确定塑件的尺寸误差。影响塑件尺寸误差因素是多方面的。塑件尺寸可能出现的误差  $\delta$ , 主要是四方面因素综合作用的结果。

$$\delta = \delta_m + \delta_s + \delta_c + \delta_j \quad (4.4-3)$$

(1)  $\delta_m$  为模具成型零件的制造偏差。各尺寸的实际偏差由模具制造精度控制在公差范围内,  $|\delta_m| \leq \Delta_m$ 。模具尺寸的公差,由表4.4-2和表4.4-3,以模具精度等级和尺寸分段决定。常用的模具制造精度 IT7 或 IT8, 尺寸愈大,其公差  $\Delta_m$  愈大,实际偏差  $|\delta_m|$  也愈大。它们与塑件尺寸公差  $\Delta$  的关系见表4.4-4。

(2)  $\delta_s$  是塑件的成型收缩引起制品尺寸误差。一方面是设计所用的计算收缩率与制品生产时的实际收缩率之间的误差所致;另一方面是由于成型过程中,收缩率在最大值与最小值之间波动。后者因为注塑工艺众多,温度、压力、时间参数、物料批号及预处理等条件变动,影响较为明显。 $\delta_s$  与塑件的基本尺寸成正比,

$$\delta_s = (s_{\max} - s_{\min}) L \quad (4.4-4)$$

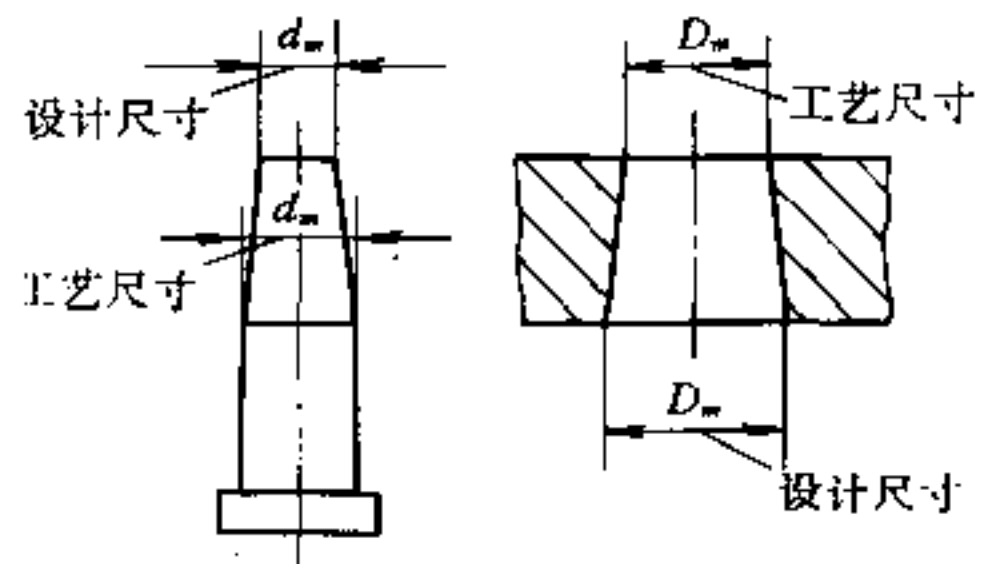


图4.4-17 脱模斜度对成型零件尺寸及公差标注要求

表 4.4-4 模具制造公差  $\Delta_m$  在塑件公差  $\Delta$  中所占比例

塑件基本尺寸 $L/\text{mm}$	$\Delta_m/\Delta$
0~50	$\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$
>50~140	$\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$
>140~250	$\frac{1}{5} \sim \frac{1}{6}$
>250~355	$\frac{1}{6} \sim \frac{1}{7}$
>355~500	$\frac{1}{7} \sim \frac{1}{9}$

目前注塑工程, 要求将成型收缩引起制品尺寸误差限制在  $\delta_s \leq \frac{\Delta}{3}$ 。

(3)  $\delta_c$  是成型零件的磨损影响制品的误差。已包括两个方面: 一是熔体的冲磨和塑件脱模的刮磨, 其中被刮磨的型芯径向表面有最大磨损; 二是旧模具的修磨抛光量。 $\delta_c$  与塑件基本尺寸大小无关, 而与塑件尺寸类型有关, 也与塑料的物理性能, 如与钢表面的摩擦系数有关。玻纤增强塑料使型腔表面有较快的磨损速率。注塑工程要求模具在使用期限内, 工作尺寸磨损量造成塑件误差限止在  $\delta_c \leq \frac{\Delta}{6}$  之内。这对于低精度大尺寸塑件, 由于  $\Delta$  值较大而容易达到要求。但对高精度小尺寸注塑制品, 必须采用镜面钢等耐磨钢种才能达到。生产中实际注射 25 万次, 型芯径向尺寸磨损量约为 0.02~0.04mm。

(4)  $\delta_j$  为模具运动零件的动配合表面间间隙变大, 而产生的塑制品的尺寸误差。模具导柱与导套间的间隙逐渐变大, 会引起塑件径向尺寸误差增加。模具分型面间隙增大, 会引起塑件深度尺寸误差增大。显然, 全新模具  $\delta_j$  应趋于零。

在模具成型零件工作尺寸计算时, 应预测到整个注塑期限内保证达到

$$\delta \leq \Delta$$

如图 4.4-18 所示, 根据  $\delta_s$ 、 $\delta_m$ 、 $\delta_c$  与塑件尺寸  $L$  的关系曲线。小型塑件的成型模具的制造误差  $\delta_m$ , 对塑件误差影响是主要的。因此小型模具必须有较高制造精度。影响大型塑件误差的主要因素是成型收缩误差  $\delta_s$ 。因此, 必须提高到大型塑件的注塑工艺的控制精度。

## 二、按平均收缩率计算

按平均收缩率  $s_{cp}$  方法可简捷地计算成型零件工作尺寸, 是国内应用最广泛的方法。具体计算公式见表 4.4-5。原理型计算公式应用时多有不便, 实际采用表中式 (4.4-5) 的①~⑤简化式。

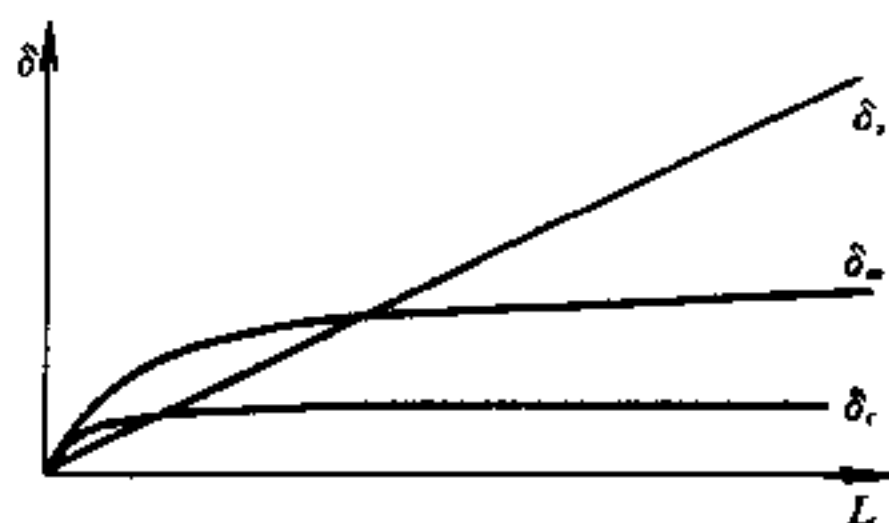


图 4.4-18 各种误差  $\delta_s$ 、 $\delta_m$  和  $\delta_c$  与塑件尺寸  $L$  关系的示意曲线

实际采用表中式 (4.4-5) 的①



表 4.4-5 按平均收缩率计算模具成型零件工作尺寸的公式表 (mm)

尺寸类型	原理型计算式	实用计算式 (4.4-5)	$x$ 值
型腔径向尺寸	$D_m = \left[ (1 + s_{cp}) d - \frac{1}{2} (\Delta + \Delta_m + \delta_c) \right]^{+\Delta_m}$	① $D_m = [ (1 + s_{cp}) d - x\Delta ]^{+\Delta_m}$	0.5~0.75
型芯径向尺寸	$d_m = \left[ (1 + s_{cp}) D + \frac{1}{2} (\Delta + \Delta_m + \delta_c) \right]_{-\Delta_m}$	② $d_m = [ (1 + s_{cp}) D - x\Delta ]_{-\Delta_m}$	
型腔深度尺寸	$H_m = \left[ (1 + s_{cp}) h - \frac{1}{2} (\Delta + \Delta_m) \right]^{+\Delta_m}$	③ $H_m = [ (1 + s_{cp}) h - x\Delta ]^{+\Delta_m}$	0.5~0.67
型芯高度尺寸	$h_m = \left[ (1 + s_{cp}) H + \frac{1}{2} (\Delta + \Delta_m) \right]_{-\Delta_m}$	④ $h_m = [ (1 + s_{cp}) H + x\Delta ]_{-\Delta_m}$	
中心距	$L_m = [ (1 + s_{cp}) L ] \pm \frac{\Delta_m}{2}$	⑤ $L_m = [ (1 + s_{cp}) L ] \pm \frac{\Delta_m}{2}$	
型腔内凸台或孔的中心线至侧壁距离	$L_m = \left[ (1 + s_{cp}) l - \frac{\delta_c}{4} \right] \pm \frac{\Delta_m}{2}$		
型芯上凸台或孔的中心线至侧壁距离	$l_m = \left[ (1 + s_{cp}) L + \frac{\delta_c}{4} \right] \pm \frac{\Delta_m}{2}$		

这五种一组的实用计算式 (4.4-5), 是将模具尺寸公差  $\Delta_m$  和型腔磨损  $\delta_c$  视为塑件尺寸公差  $\Delta$  的函数  $x\Delta$ 。在型腔和型芯的径向尺寸计算时,  $\Delta_m = \frac{\Delta}{3} \sim \frac{\Delta}{9}$ ,  $\delta_c = \frac{\Delta}{6} \sim \frac{\Delta}{10}$ , 所以  $x = \frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ 。在型腔深度和型芯高度尺寸计算时,  $\Delta_m = \frac{\Delta}{3} \sim \frac{\Delta}{9}$ ,  $\delta_c = 0$ , 所以  $x = \frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。

若已知塑件尺寸的  $\Delta$  值, 可根据 SJ1372—78 得知该  $\Delta$  值所属的精度等级, 再由表 4.4-2 可确定对应模具尺寸的经济精度等级。显然  $x = 0.5$ , 为大尺寸时采用。在塑件精度较高, 尺寸 50mm 以下, 取  $x$  为 0.75 或 0.67。但  $x$  值变化范围相当大, 倘若确定不当会使成型塑件尺寸超差。表 4.4-6 是根据塑件公差  $\Delta$  查取  $x$  值。该表  $x$  考虑到一些极端情况, 使用方便可靠。

表 4.4-6 按平均收缩率计算模具尺寸中系数  $x$  数值表

塑件尺寸公差 $\Delta$ /mm		型腔和型芯径向工作尺寸计算的 $x$ 值	型腔深度和型芯高度工作尺寸计算的 $x$ 值
大于	至		
—	0.1	0.80	0.65
0.1	0.2	0.75	0.63
0.2	0.3	0.70	0.60
0.3	0.4	0.65	0.58
0.4	0.5	0.60	0.56
0.5	0.7	0.58	0.55
0.7	1.0	0.56	0.54
1.0	2.0	0.54	0.53
2.0	—	0.53	0.52

模具成型零件尺寸计算是烦琐费时工作。上述计算过程用微型计算机运算则迅速且准确。现将笔算过程举例，如图 4.4-19 所示塑件。现选用 ABS 塑料，其平均成型收缩率  $s_{cp} = 0.55\% = 0.0055$ 。计算凹模和型芯的工作尺寸结果见表 4.4-7。

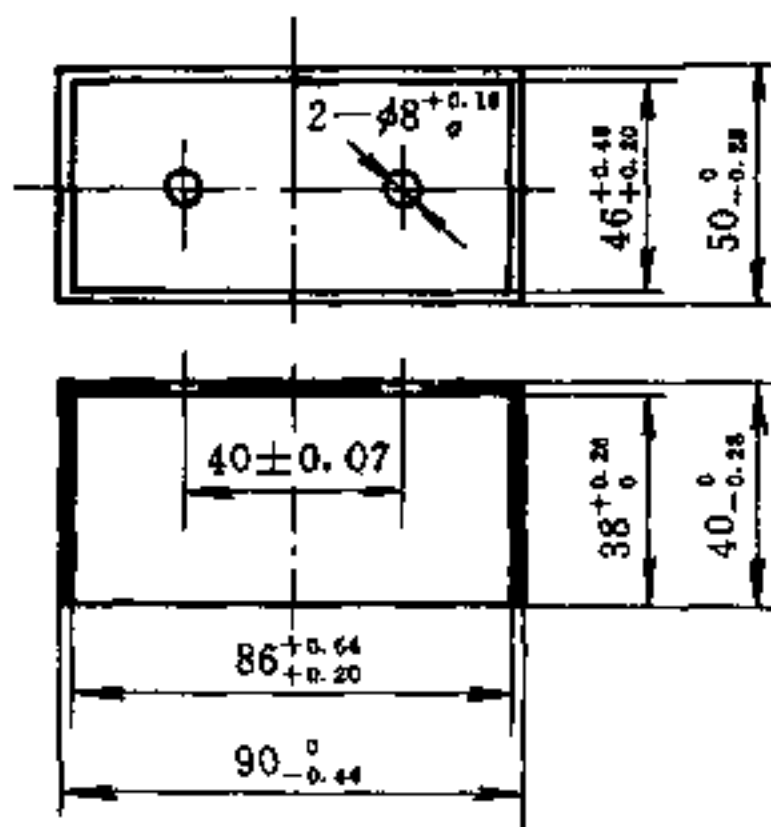


图 4.4-19 塑料制品图之一

表 4.4-7 塑件之一的成型零件工作尺寸计算 (mm)

塑件尺寸	塑件尺寸 规范化	塑件尺寸 公差 $\Delta$	塑件等级 SJ1372—78	模具等级 GB1800—79	模具尺寸 公差 $\Delta_m$	式(4.4-5) 表 4.4-5	系数 $x$ 表 4.4-5	模具尺寸 计算结果	模具尺寸 规范化
$90 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.44 \end{smallmatrix}$	$90 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.44 \end{smallmatrix}$	0.44	4	9	0.087	①	0.6	$90.231 \begin{smallmatrix} +0.087 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$90.3 \begin{smallmatrix} +0.018 \\ -0.069 \end{smallmatrix}$
$50 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.28 \end{smallmatrix}$	$50 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.28 \end{smallmatrix}$	0.28	4	9	0.074	①	0.7	$50.079 \begin{smallmatrix} +0.074 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$50.1 \begin{smallmatrix} +0.053 \\ -0.021 \end{smallmatrix}$
$40 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.28 \end{smallmatrix}$	$40 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.28 \end{smallmatrix}$	0.28	4	9	0.062	③	0.6	$40.052 \begin{smallmatrix} +0.062 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$40.1 \begin{smallmatrix} +0.014 \\ -0.048 \end{smallmatrix}$
$86 \begin{smallmatrix} +0.64 \\ +0.20 \end{smallmatrix}$	$86.2 \begin{smallmatrix} +0.44 \\ 0 \end{smallmatrix}$	0.44	4	9	0.087	②	0.6	$86.938 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.087 \end{smallmatrix}$	$86.9 \begin{smallmatrix} +0.038 \\ -0.049 \end{smallmatrix}$
$46 \begin{smallmatrix} +0.48 \\ +0.20 \end{smallmatrix}$	$46.2 \begin{smallmatrix} +0.28 \\ 0 \end{smallmatrix}$	0.28	4	9	0.062	②	0.7	$46.650 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.062 \end{smallmatrix}$	$46.6 \begin{smallmatrix} +0.050 \\ -0.012 \end{smallmatrix}$
$8 \begin{smallmatrix} +0.16 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +0.16 \\ 0 \end{smallmatrix}$	0.16	4	9	0.036	②	0.75	$8.164 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.036 \end{smallmatrix}$	$8.1 \begin{smallmatrix} +0.064 \\ +0.028 \end{smallmatrix}$
$38 \begin{smallmatrix} +0.26 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$38 \begin{smallmatrix} +0.26 \\ 0 \end{smallmatrix}$	0.26	4	9	0.062	④	0.6	$38.365 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.062 \end{smallmatrix}$	$38.3 \begin{smallmatrix} +0.065 \\ +0.003 \end{smallmatrix}$
$40 \pm 0.07$	$40 \pm 0.07$	0.14	2	8	0.039	⑤	/	$40.22 \pm 0.02$	$40.22 \pm 0.02$

通常，塑件中心距尺寸精度较高，而塑件在开模方向尺寸精度比径向尺寸要低 1~2 级。因此，模具各成型零件尺寸精度也有高低。经济精度考虑有利于降低模具成本。塑件的成型收缩率对各尺寸并非一致，这在高精度塑件的模具工作尺寸计算时尤需注意。将模具成型尺寸的计算结果作规范化换算，可便于测量。

### 三、按公差带计算

按公差带方法计算模具成型零件工作尺寸，是用最大和最小成型收缩率  $s_{max}$  和  $s_{min}$  计算。其理论推导的过程较严密，计算中可保证塑件尺寸不超差。也给新模具的成型尺寸留有充分的修磨余地，便于修模并延长了模具的使用寿命。对大型塑件和收缩率波动大的塑料有很好的实用意义。而且，公差带方法中的校验原理同样适用于按平均收缩率的计算过程，是防止塑件尺寸超差的手段。在应用公差带计算方法时，同样要遵循前述塑件和模具尺寸的公差和偏差的规则。特别需要强调的是，塑件尺寸精度等级确定，必须考虑塑料材料收缩率波动的程度。此种计算方法的八种设计公式及其对应的校核式，见表 4.4-8。

表 4.4-8 按公差带计算模具成型零件工作尺寸的公式表 (mm)

尺寸类型	设计计算式 (4.4-6A)	校核条件式 (4.4-6B)
型腔径向尺寸	① $D_m = [(1 + s_{\max}) d - \Delta]^+_{\Delta_m}$	① $d'_{\max} = D_m + \Delta_m + \delta_c - s_{\min} d \leq d$
型芯径向尺寸	② $d_m = [(1 + s_{\min}) D + \Delta]^-_{\Delta_m}$	② $D'_{\min} = d_m - \Delta_m - \delta_c - s_{\max} D \geq D$
型腔深度尺寸	③ $H_m = [(1 + s_{\min}) h - \Delta_m]^+_{\Delta_m}$	③ $h'_{\min} = H_m - s_{\max} h + \Delta \geq h$
易修高型芯高度	④ $h_m = [(1 + s_{\max}) H + \Delta_m]^-_{\Delta_m}$	④ $H'_{\max} = h_m - s_{\min} H - \Delta \leq H$
易修低型芯高度	⑤ $h_m = [(1 + s_{\min}) H + \Delta]^-_{\Delta_m}$	⑤ $H'_{\max} = h_m - s_{\max} H - \Delta_m \geq H$
中心距	⑥ $L_m = [(1 + s_{cp}) L] \pm \frac{\Delta_m}{2}$	⑥ $L'_{\max} = L_m + \frac{\Delta_m}{2} + \delta_j - s_{\min} L - \frac{\Delta}{2} \leq L$
型腔内凸台或孔的中心线至侧壁距离	⑦ $l_m = \left[ \left( l - \frac{\Delta}{2} \right) + s_{\max} l + \frac{\Delta_m}{2} \right] \pm \frac{\Delta_m}{2}$	⑦ $l'_{\max} = L_m + \frac{\Delta_m}{2} + \frac{\delta_c}{2} - \frac{\Delta}{2} - s_{\min} l \leq l$
型芯上凸台或孔的中心线至侧壁距离	⑧ $l_m = \left[ \left( L + \frac{\Delta}{2} \right) + s_{\min} L - \frac{\Delta_m}{2} \right] \pm \frac{\Delta_m}{2}$	⑧ $L'_{\min} = l_m - \frac{\Delta_m}{2} - \frac{\delta_c}{2} + \frac{\Delta}{2} - s_{\max} L \geq L$

注:  $d'_{\max}$ 、 $D'_{\min}$ 、 $h'_{\min}$ 、 $H'_{\max}$ 、 $L'_{\max}$ 、 $L'_{\min}$ 、 $l'_{\max}$ 均为实际尺寸;  $\delta_j$ 为二个型芯可能发生最大偏移的平均值,  
 $\delta_j = 0.5 (\delta_{j1} + \delta_{j2})$

在按式 (4.4-6B) 校核中出现超差时, 通常可提高模具制造精度, 减小  $\Delta_m$  值。也有缩短预期的模具使用寿命, 减小  $\delta_c$ 。甚至改换注塑物料, 采用  $s_{\max}$  与  $s_{\min}$  接近, 收缩率波动小的如玻纤增强塑料。必要和允许时, 可降低塑件尺寸精度即减小  $\Delta$  值。

如果要校核新模具的成型尺寸, 判断能否保证塑件尺寸不致于超差, 可用以下通式:

$$L'_{\max} = (1 - s_{\min}) L_{m\max} \leq L_{\max}$$

和

$$L'_{\min} = (1 - s_{\max}) L_{m\min} \geq L_{\min} \quad (4.4-7)$$

式中  $L'_{\max}$ 、 $L'_{\min}$ ——塑件的实际最大、最小尺寸 (mm);

$L_{\max}$ 、 $L_{\min}$ ——塑件的最大、最小极限尺寸 (mm);

$L_{m\max}$ 、 $L_{m\min}$ ——模具成型零件最大、最小极限尺寸 (mm)。

满足上式要求, 实际上  $L'_{\max} - L'_{\min} = \delta$ ,  $L_{\max} - L_{\min} = \Delta$ , 故达到  $\delta \leq \Delta$ , 但不考虑磨损量。所以, 在  $\delta_c = 0$  或较小时, 式 (4.4-7) 适用于平均收缩率和公差带两种方法的校核计算。

现有如图 4.4-20 所示 PC 料成型塑件, 其物料  $s_{\max} = 0.8\%$ 、 $s_{\min} = 0.5\%$ , 磨损量  $\delta_c = 0.02\text{mm}$ 。用公差带法计算模具成型零件工作尺寸, 并用新模具校核式验算是否超差, 见表 4.4-9。

#### 四、螺纹成型零件的工作尺寸计算

螺纹成型的型芯和型环, 一般都采用平均收缩率的工作尺寸计算方法。这里陈述的是  $60^\circ$  三角普通螺纹, 且假定成型中塑料收缩均匀, 牙尖角不变。

##### 1. 径向工作尺寸计算

螺纹型芯和型环径向尺寸计算方法与普通型芯和型环的计算原理相同, 但需适当放大螺纹型芯径向尺寸。适当缩小螺纹型环的径向尺寸, 以补偿各种成型误差改善旋入性。

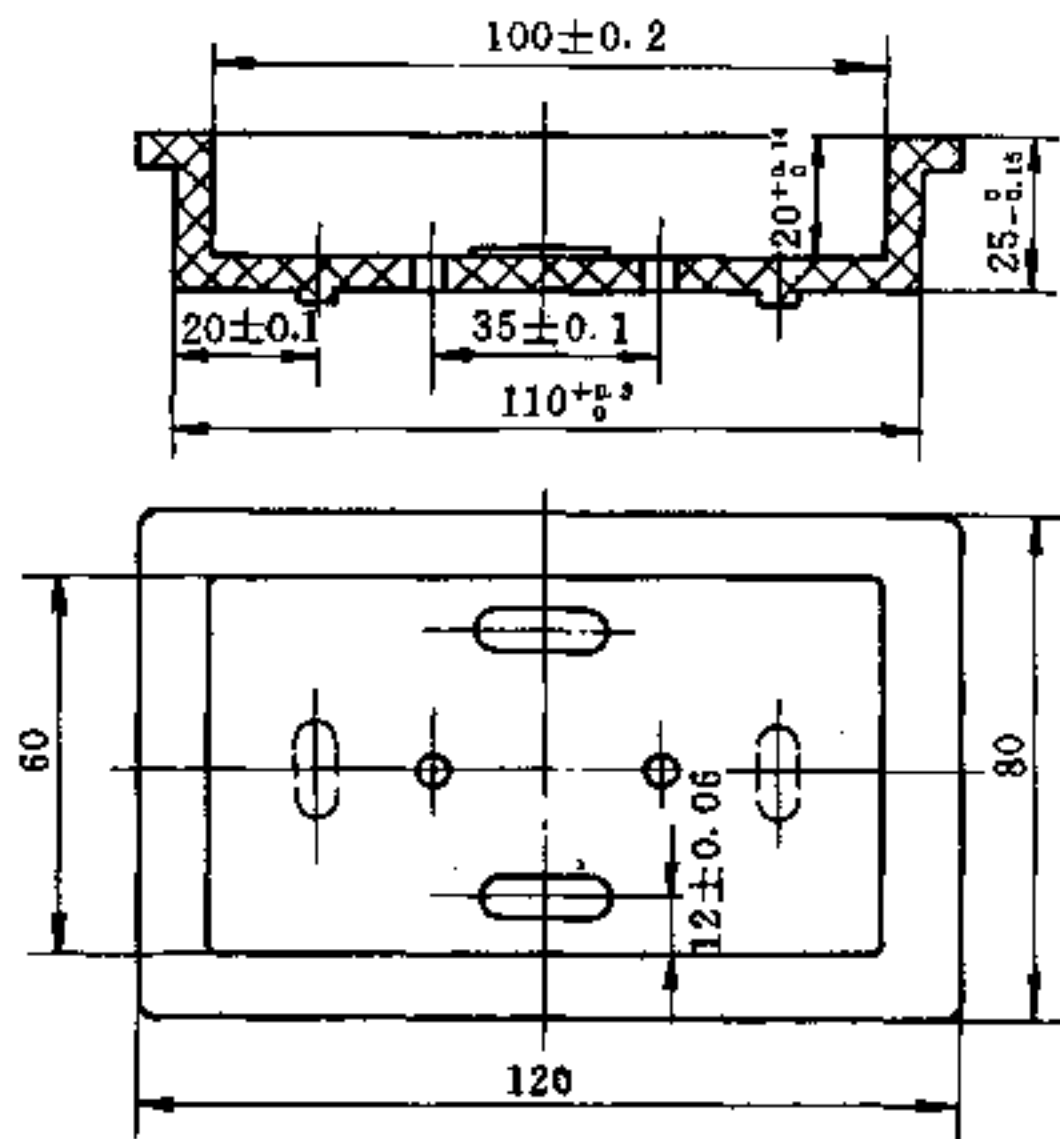


图 4.4-20 塑料制品图之二

表 4.4-9 示例塑件之二的成型零件尺寸计算(mm)

图 4.4-20 尺寸	塑件尺寸			模具尺寸			塑件尺寸,式(4.4-7)			校核 结论	
	规范化	$\Delta$	SJ1372-78	GB1800-79	$\Delta_m$	式(4.4-6A)	结果	$L'_{max}$	$L'_{min}$		$\delta$
$110^{+0.3}_0$	$110.3^{+0.3}_0$	0.3	3	8	0.054	①	$110.882^{+0.054}_0$	110.381	109.995	0.386	超差
改 $110^{+0.5}_0$	$110.5^{+0.5}_0$	0.5	4	8	0.054	①	$110.884^{+0.054}_0$	110.383	109.997	0.386	合格
$100 \pm 0.2$	$99.8^{+0.4}_0$	0.4	4	8	0.054	②	$100.699^{+0.054}_0$	100.196	99.840	0.356	合格
$25^{+0.15}_0$	$25^{+0.15}_0$	0.15	3	8	0.033	③	$25.092^{+0.033}_0$	25.000	24.891	0.109	合格
$20^{+0.14}_0$	$20^{+0.14}_0$	0.14	3	8	0.033	④	$20.193^{+0.033}_0$	20.092	20.000	0.092	合格
$35 \pm 0.10$	$35 \pm 0.10$	0.20	3	8	0.039	⑥	$35.228 \pm 0.020$	35.072	34.926	0.146	合格
$20 \pm 0.10$	$20 \pm 0.10$	0.20	4	8	0.033	⑦	$20.077 \pm 0.017$	19.994	19.900	0.094	合格
$12 \pm 0.06$	$12 \pm 0.06$	0.12	3	8	0.027	⑧	$12.106 \pm 0.014$	12.059	11.995	0.064	合格

## 螺纹型芯工作尺寸计算式

$$d_{m大} = [D_{大}(1 + s_{cp}) + \Delta_{中}] - \Delta_m \quad (4.4-8A)$$

$$d_{m中} = [D_{中}(1 + s_{cp}) + \Delta_{中}] - \Delta_m \quad (4.4-8B)$$

$$d_{m小} = [D_{小}(1 + s_{cp}) + \Delta_{中}] - \Delta_m \quad (4.4-8C)$$

式中  $d_{m大}$ 、 $d_{m中}$ 、 $d_{m小}$ ——分别为螺纹型芯的大、中、小径尺寸 (mm);

$D_{大}$ 、 $D_{中}$ 、 $D_{小}$ ——分别为塑件内螺纹的大、中、小径尺寸 (mm);

$\Delta_m$ ——螺纹型芯的制造公差,查表 4.4-10 (mm);

$\Delta_{中}$ ——塑件内螺纹的中径公差 (mm)。

$\Delta_{中}$ 可按金属件《普通螺纹 公差与配合》GB197-81,取 6~8 级精度。或者查表 4.4-10,取螺纹型芯中径制造公差  $\Delta_m$  的 5 倍。

## 螺纹型环工作尺寸计算式

$$D_{m大} = [d_{大}(1 + s_{cp}) - \Delta_{中}]^{+\Delta_m} \quad (4.4-9A)$$

$$D_{m中} = [d_{中}(1 + s_{cp}) - \Delta_{中}]^{+\Delta_m} \quad (4.4-9B)$$

$$D_{m小} = [d_{小}(1 + s_{cp}) - \Delta_{中}]^{+\Delta_m} \quad (4.4-9C)$$

式中  $D_{m大}$ 、 $D_{m中}$ 、 $D_{m小}$ ——分别为螺纹型环的大、中、小径尺寸 (mm);

$d_{大}$ 、 $d_{中}$ 、 $d_{小}$ ——分别为塑件外螺纹的大、中、小径尺寸 (mm);

$\Delta_{中}$ ——塑件外螺纹的中径公差 (mm)。

这里  $\Delta_{中}$  可按金属件螺纹 GB197—81, 取 7~9 级精度。或者查表 4.4-10, 取螺纹型环中径制造公差的  $5\Delta_m$ 。

表 4.4-10 普通螺纹的螺纹型芯和型环的制造公差  $\Delta_m$  (mm)

粗牙螺纹	螺纹大径	M3~M12	M14~M33	M36~M45	M48~M68
	中径制造公差 $\Delta_m$	0.02	0.03	0.04	0.05
	大、小径制造公差 $\Delta_m$	0.03	0.04	0.05	0.06
细牙螺纹	螺纹大径	M3~M22	M24~M52	M56~M68	
	中径制造公差 $\Delta_m$	0.02	0.03	0.04	
	大、小径制造公差 $\Delta_m$	0.03	0.04	0.05	

## 2. 螺距尺寸计算

塑件与塑件的内外螺纹配旋, 二者收缩率相同, 一般不考虑螺距的成型收缩。塑件螺纹与金属螺纹配旋时, 塑件螺纹要考虑螺距的成型收缩。模具上型芯或型环的螺距应加大, 是不规则小数, 因此加工困难。要在车床上配置特殊齿数的挂轮来车制螺纹。或者, 偏移车床上尾座, 并用斜置靠模上的移动车刀来切削。螺纹型芯或型环上的螺距尺寸计算式

$$p_m = [p(1 + s_{cp})] \pm \frac{\Delta_m}{2} \quad (4.4-10)$$

式中  $p_m$ ——螺纹型芯或型环上的螺距尺寸 (mm);

$p$ ——塑件上螺纹的螺距尺寸 (mm);

$\Delta_m$ ——螺纹型芯或型环上螺距的制造公差, 查表 4.4-11 (mm)。

表 4.4-11 螺纹型芯或型环螺距的制造公差 (mm)

螺纹公称直径	螺纹旋合长度	螺距制造公差 $\Delta_m$
M3~M10	~12	0.01~0.03
M12~M22	>12~20	0.02~0.04
M24~M68	>20	0.03~0.05

在塑件螺纹与金属螺纹的旋合长度较短时, 旋合少于 7~8 牙, 或旋合长度小于可补偿的极限长度  $L_{max}$ , 而且应用式 (4.4-8) 或式 (4.4-9), 加大了螺纹型芯或缩小了型环的径向尺寸, 可不考虑螺距收缩率。螺距为标准系列尺寸。  $L_{max}$  用塑料收缩率  $s$  和塑件螺纹的  $\Delta_{中}$  计算

$$L_{\max} = \frac{0.432 \Delta_{\text{中}}}{s} \quad (4.4-11)$$

### 4.4.3 型腔构件力学计算

凹模板和动模垫板是构成型腔的主要受力构件。在注射周期中，注射模的工作状态可视为型腔压力高达 100MPa 的耐高压容器。因此，对其进行强度和刚度的设计计算和校核必不可少。

#### 一、强度和刚度计算条件

##### 1. 型腔模型化

对多种式样的、型腔复杂的凹模板和垫板进行强度和刚度的高精度计算，需用计算机技术，以有限元和边界元的数值分析方法进行。本节介绍传统的力学方法，解决大量的一般性的型腔强刚度计算问题。为此，将多种多样型腔结构形式模型化。归类为圆形型腔和矩形型腔的整体式及组合式，共 4 种凹模结构，如图 4.4-21—图 4.4-24 所示。它们的几何参数规定如下：

$R$ ——模板外形半径，即矩形模板的外形最小尺寸 (mm)；

$r$ ——型腔内半径 (mm)；

$S$ ——型腔壁厚 (mm)；

$h$ ——型腔深度 (mm)；

$H$ ——模板高度 (mm)；

$T$ ——垫板厚度 (mm)；

$l$ ——矩形型腔长边长度 (mm)；

$b$ ——矩形型腔短边长度，或与支脚  $L_0$  方向垂直的型腔边长 (mm)；

$L$ ——模板的长边长度 (mm)；

$B$ ——模板的短边长度，或与支脚  $L_0$  方向垂直的模板边长 (mm)；

$L_0$ ——支脚间的间距 (mm)；

$S_l$ ——矩形型腔以长边为计算对象的壁厚 (mm)；

$S_h$ ——矩形型腔以短边为计算对象的壁厚 (mm)。

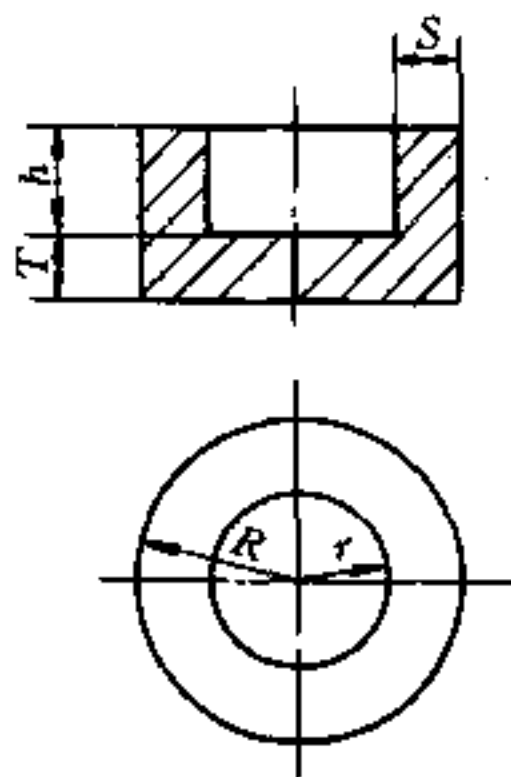


图 4.4-21 整体式圆筒形型腔

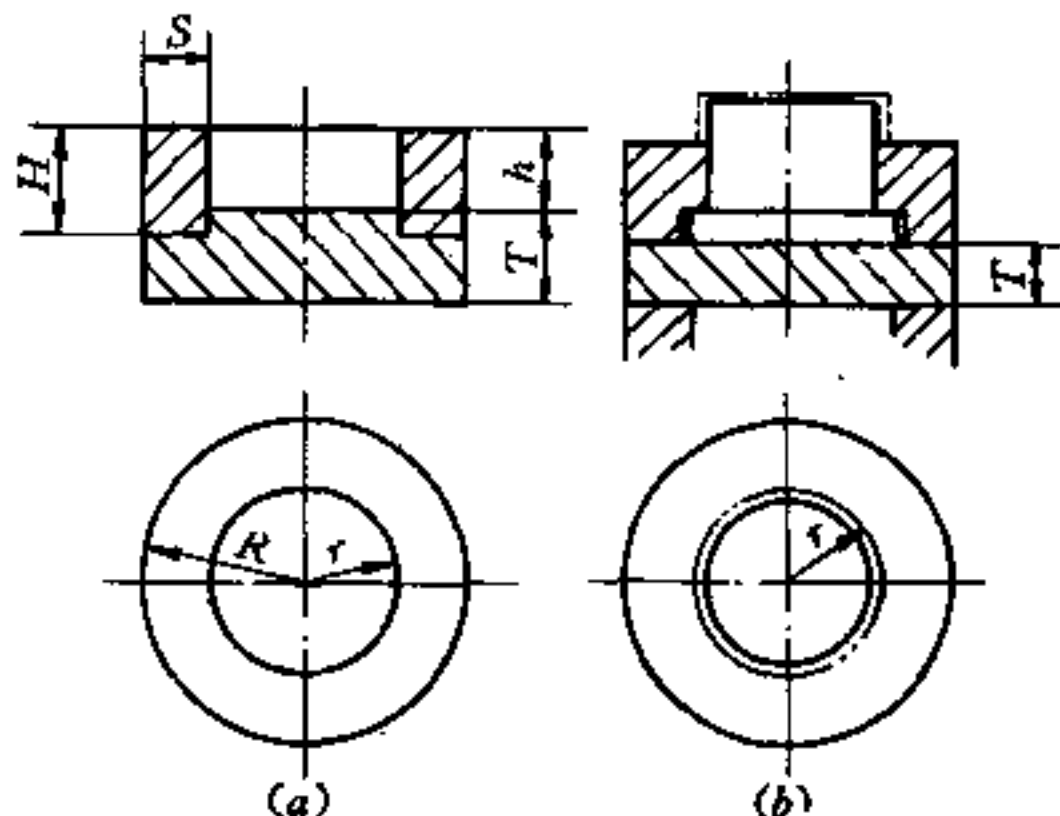


图 4.4-22 组合式圆筒形型腔

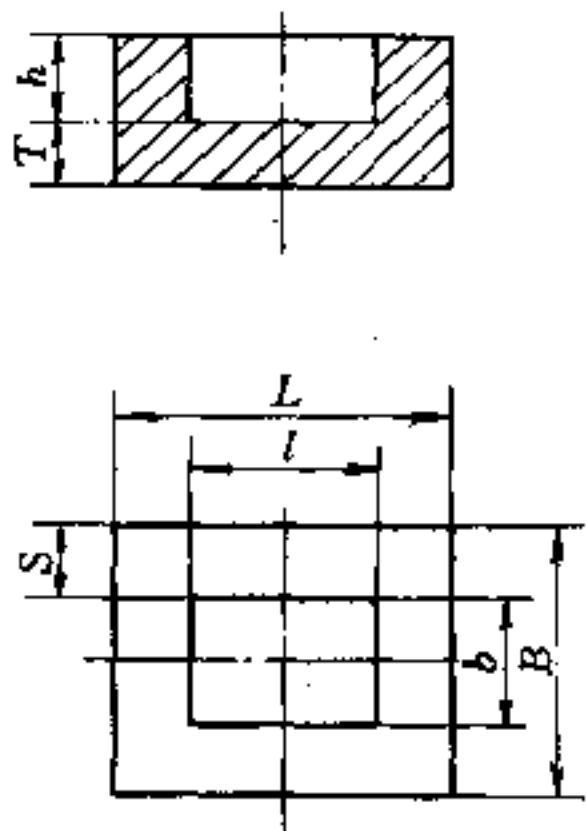


图 4.4-23 整体式矩形型腔

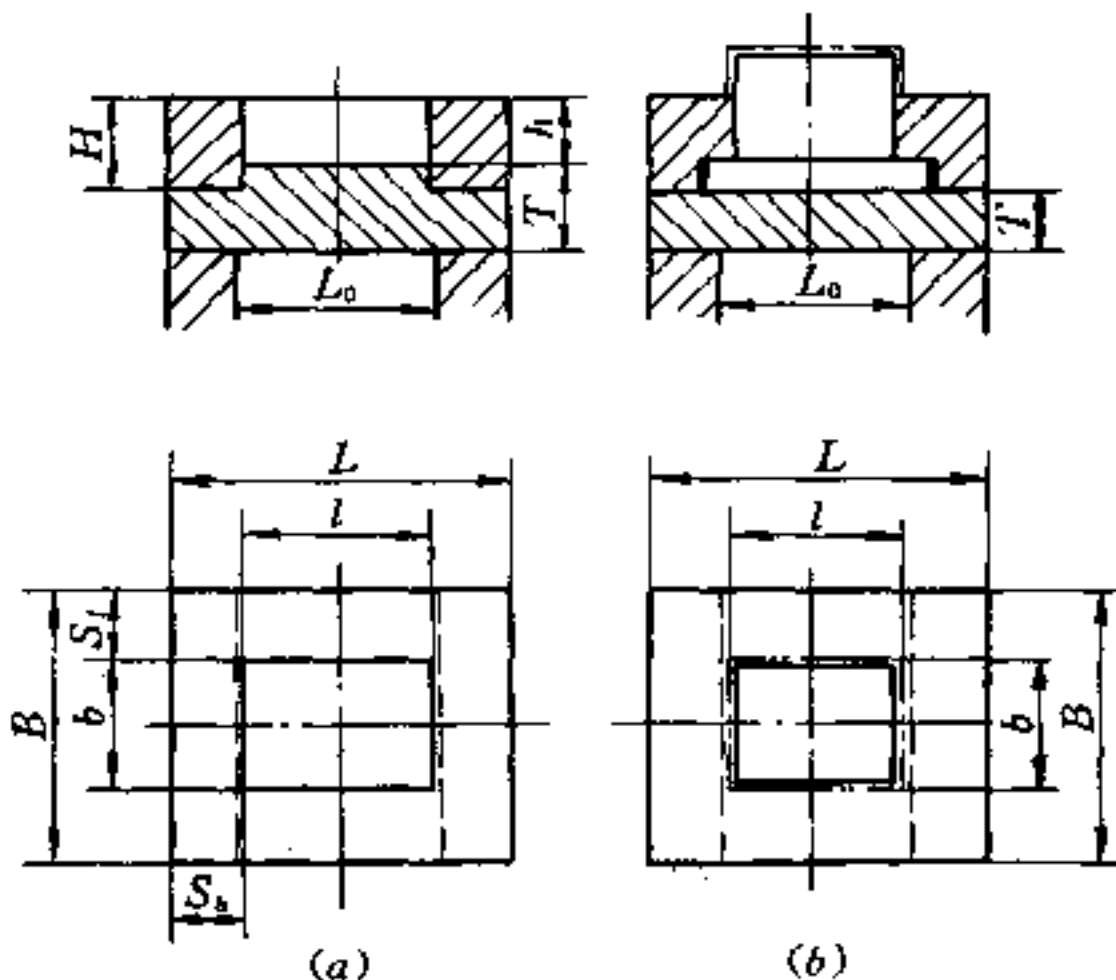


图 4.4-24 组合式矩形型腔

强刚度计算中的力学参量有

$P$ ——模腔内最大的熔体压力 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )；由 4.1.5 节和 4.2.5 节型腔压力推算方法确定，一般为  $30 \sim 50 \text{N}/\text{mm}^2$ ；

$E$ ——模具钢材的弹性模量 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )；一般中碳钢  $E = 2.1 \times 10^5 \text{N}/\text{mm}^2$ ，预硬化塑料模具钢  $E = 2.2 \times 10^5 \text{N}/\text{mm}^2$ ；

$[\sigma]$ ——模具强度计算的许用应力 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )；一般中碳钢  $[\sigma] = 160 \text{N}/\text{mm}^2$ ，是由屈服极限  $\sigma_s = 300 \text{N}/\text{mm}^2$  安全系数  $n = 1.875$  算出；预硬化塑料模具钢  $[\sigma] = 300 \text{N}/\text{mm}^2$ ；

$[\delta]$ ——模具刚度计算许用变形量 (mm)；主要根据表 4.4-13 计算式确定；

$\mu$ ——模具钢材的泊松比， $\mu = 0.25$ 。

由理论分析和生产实际证实，在塑料熔体的高压作用下，小尺寸模具主要是强度问题。首先要防止模具的塑性变形和断裂破坏。因此，用强度条件式进行凹模壁厚和底板厚度设计计算，再用刚度条件式进行校验。对于大尺寸模具主要存在刚度问题，要防止模具过大的弹性变形。因此，须先确定许用变形量  $[\delta]$ ，用刚度条件式进行壁厚和底板厚度设计计算，再用强度条件式进行校验。设计最终达到强度和刚度条件都能满足。

图 4.4-25 是组合式圆筒形型腔。当型腔压力  $P = 50 \text{N}/\text{mm}^2$ ，许用变形量  $[\delta] = 0.05 \text{mm}$ ，许用应力  $[\sigma] = 160 \text{N}/\text{mm}^2$ ，随着型腔基本尺寸  $r$  增大，分别按强刚度条件计算所得侧壁厚度的比较曲线。各种模型的回模结构，均有类似的厚度变化趋势。

型腔许用变形量  $[\delta]$  的确定通常从以下三方面考虑：

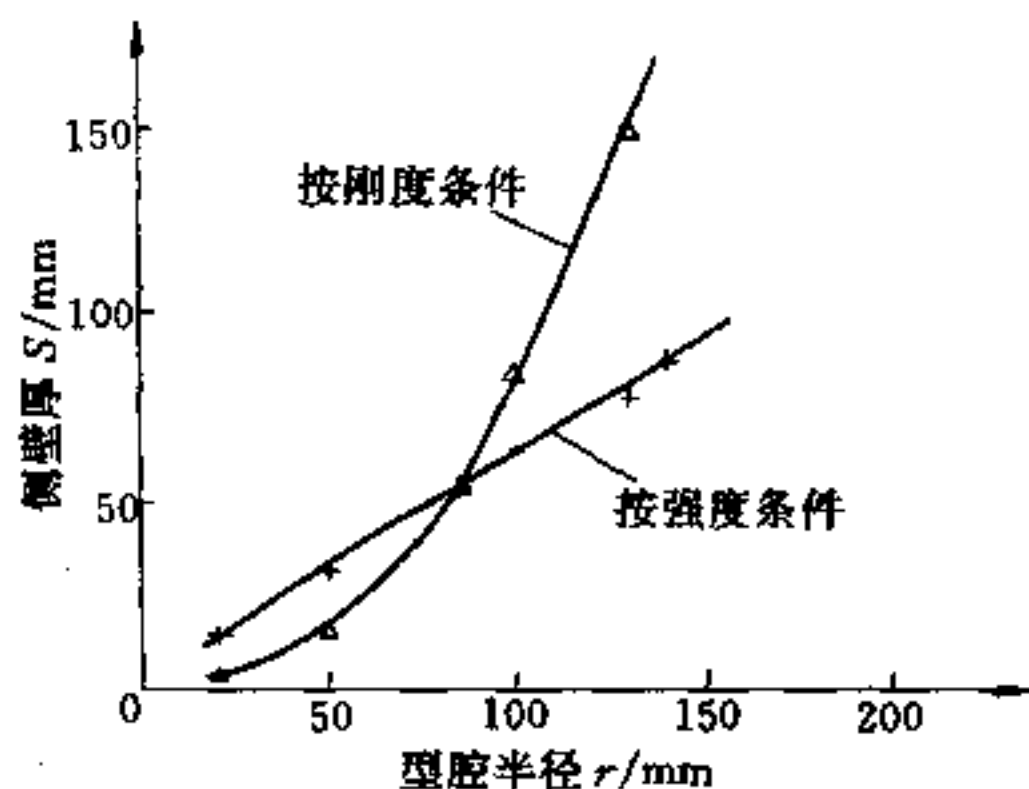


图 4.4-25 组合式圆筒形型腔壁厚随内半径的变化



(1) 从模具型腔不发生溢料考虑。非整体式型腔中的一些配合接触面, 当高压塑料熔体注入时会产生足以溢料的间隙。故由不同塑料的粘度特性, 决定许用变形量, 见表 4.4-12。

表 4.4-12 组合式型腔的刚度条件

粘度特性	塑料品种	许用变形量/mm
低粘度塑料	PA、PE、PP、POM	$\leq 0.025 \sim 0.04$
中粘度塑料	PS、ABS、PMMA	$\leq 0.05$
高粘度塑料	PC、PSF、PPO	$\leq 0.06 \sim 0.08$

(2) 从保证塑件尺寸精度考虑。模具型腔不能产生过大的、使塑件超差的变形量。型腔壁厚的许用变形量, 应为塑件尺寸及其公差  $\Delta$  的函数。而模具的尺寸精度又跟塑件精度有对应关系。对此, 表 4.4-13 提供了方便, 直接由尺寸  $W$  的关系式来计算  $[\delta]$  值。

表 4.4-13 注塑模刚度计算的许用变形量  $[\delta]$  计算式

塑制件精度 SJ1372—78		2~3 级	4~8 级
模具制造精度 GB1800—79		IT7~IT8	IT9~IT10
组合式型腔	低粘度塑料如 PE、PP、PA	$15i_1$	$25i_1$
	中等粘度塑料如 PS、ABS、PMMA	$15i_2$	$25i_2$
	高粘度塑料如 PC、PSF、PPO	$15i_3$	$25i_3$
整体式型腔		$15i_2$	$25i_2$

注:  $W$  应是影响模具变形的最大尺寸。若圆筒形是  $r$  或  $h$ , 若矩形是  $l$  或  $L_0$ 。 $W$  用 mm 代入,  $i$  单位为  $\mu\text{m}$   
 $i_1 = 0.35W^{1/5} + 0.001W$ ;  $i_2 = 0.45W^{1/5} + 0.001W$ ;  $i_3 = 0.55W^{1/5} + 0.001W$

例如有个 ABS 框形容器, 要求达到 SJ1372—78 的 3 级精度, 模具为 IT8 级精度, 且为组合式型腔结构。塑件尺寸为  $1220\text{mm} \times 300\text{mm} \times 50\text{mm}$ , 以长边  $W = l = 1220\text{mm}$  为计算尺寸查表 4.4-13, 代入得

$$\begin{aligned}
 [\delta] &= 15i_2 = 15 [0.45W^{1/5} + 0.001W] \\
 &= 15 \times [0.45 (1220)^{1/5} + 0.001 \times 1220] \\
 &= 46\mu\text{m} = 0.046\text{mm}
 \end{aligned}$$

(3) 从保证塑件顺利脱模考虑。当模腔的弹性变形量超过塑件的收缩值时, 则塑件的周边将被型腔紧紧包住而难以脱出。因此, 型腔的变形量应小于塑件壁厚  $t$  的收缩值, 即  $[\delta] \leq ts$ , 这里  $s$  为塑件材料的成型收缩率。一般情况下, 符合不溢料和精度要求的  $[\delta]$  值 (见表 4.4-13) 也能满足脱模要求。

## 二、刚度和强度条件计算公式

式 (4.4-12) ~ 式 (4.4-29) 对照图 4.4-21 ~ 4.4-24, 计算式如下:

### 1. 刚度条件计算式

#### (1) 组合式圆筒形型腔侧壁厚度

$$R = r \left( \frac{\frac{[\delta] E}{rP} + 1 - \mu}{\frac{[\delta] E}{rP} - 1 - \mu} \right)^{1/2} = r \left( \frac{[\delta] E + 0.75rP}{[\delta] E - 1.25rP} \right)^{1/2} \quad (4.4-12)$$

( [δ] 的计算尺寸  $W = r$  )

(2) 整体式圆筒形型腔侧壁厚度

$$S = \left( \frac{3Ph^4}{2E [\delta]} \right)^{1/3} = 1.14h \left( \frac{Ph}{E [\delta]} \right)^{1/3}_{(W=h)} \quad (4.4-13)$$

(3) 组合式矩形型腔侧壁厚度

$$S = \left( \frac{5Pl^4h}{32E [\delta] H} \right)^{1/3} = 0.54l \left( \frac{Plh}{E [\delta] H} \right)^{1/3}_{(W=l)} \quad (4.4-14)$$

(4) 整体式矩形型腔侧壁厚度

$$S = \left( \frac{CPh^4}{\phi_1 E [\delta]} \right)^{1/3} = h \left( \frac{CPh}{\phi_1 E [\delta]} \right)^{1/3}_{(W=l)} \quad (4.4-15)$$

其中  $C = \frac{3(l^4/h^4)}{2(l^4/h^4) + 96}$ ,  $\phi_1 = 0.6$  或由图 4.4-30 用  $\alpha = \frac{b}{l}$  查得

(5) 组合式圆筒形型腔底板厚度或动模垫板厚度

$$T = \left( 0.74 \frac{Pr^4}{E [\delta]} \right)^{1/3} = 0.91r \left( \frac{Pr}{E [\delta]} \right)^{1/3}_{(W=r)} \quad (4.4-16)$$

(6) 整体式圆筒形型腔底板厚度

$$T = \left( 0.175 \frac{Pr^4}{E [\delta]} \right)^{1/3} = 0.56r \left( \frac{Pr}{E [\delta]} \right)^{1/3}_{(W=r)} \quad (4.4-17)$$

(7) 组合式矩形型腔底板厚度或动模垫板厚度

$$T = \left( \frac{5PbL_0^4}{32E [\delta] B} \right)^{1/3} = 0.54L_0 \left( \frac{PbL_0}{E [\delta] B} \right)^{1/3}_{(W=L_0)} \quad (4.4-18)$$

(8) 整体式矩形型腔底板厚度

$$T = \left( \frac{C'Pb^4}{E [\delta]} \right)^{1/3} = b \left( \frac{C'Pb}{E [\delta]} \right)^{1/3}_{(W=l)} \quad (4.4-19)$$

其中  $C' = \frac{l^4/b^4}{32 [(l^4/b^4) + 1]}$

2. 强度条件计算式

(1) 组合式圆筒形型腔侧壁厚度

$$S = r \left[ \left( \frac{[\sigma]}{[\sigma] - 2P} \right)^{1/2} - 1 \right] \quad ([\sigma] > 2P) \quad (4.4-20)$$

(2) 整体式圆筒形型腔侧壁厚度

$$S = r \left[ \left( \frac{[\sigma]}{[\sigma] - 2P} \right)^{1/2} - 1 \right] \quad ([\sigma] > 2P) \quad (4.4-21)$$

(3) 组合式矩形型腔侧壁厚度以长边为计算对象

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{拉}} + \sigma_{\text{弯}} = \frac{Phb}{2HS_l} + \frac{Phl^2}{2HS_l^2} \leq [\sigma] \quad (4.4-22)$$

(4) 组合式矩形型腔侧壁厚度以短边为计算对象

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{弯}} + \sigma_{\text{拉}} = \frac{Phb^2}{2HS_b^2} + \frac{Phl}{2HS_b} \leq [\sigma] \quad (4.4-23)$$

(5) 整体式矩形型腔侧壁厚度

$$\begin{aligned} \frac{h}{l} \geq 0.41 \quad S &= \left( \frac{Pl^2}{2[\sigma]} \right)^{1/2} = 0.71l \left( \frac{P}{[\sigma]} \right)^{1/2} \\ \frac{h}{l} < 0.41 \quad S &= \left( \frac{3Ph^2}{[\sigma]} \right)^{1/2} = 1.73h \left( \frac{P}{[\sigma]} \right)^{1/2} \end{aligned} \quad (4.4-24)$$

(6) 组合式圆筒形型腔底板厚度或动模垫板厚度

$$T = \left( \frac{3(3+\mu)Pr^2}{8[\sigma]} \right)^{1/2} = 1.10r \left( \frac{P}{[\sigma]} \right)^{1/2} \quad (4.4-25)$$

(7) 整体式圆筒形型腔底板厚度

$$T = \left( \frac{3Pr^2}{4[\sigma]} \right)^{1/2} = 0.87r \left( \frac{P}{[\sigma]} \right)^{1/2} \quad (4.4-26)$$

(8) 组合式矩形型腔底板厚度或动模垫板厚度

$$T = \left( \frac{3Pbl^2}{4B[\sigma]} \right)^{1/2} = 0.87l \left( \frac{Pb}{B[\sigma]} \right)^{1/2} \quad (4.4-27)$$

$$T = \left( \frac{3PbL_0^2}{4B[\sigma]} \right)^{1/2} = 0.87L_0 \left( \frac{Pb}{B[\sigma]} \right)^{1/2} \quad (4.4-28)$$

(9) 整体式矩形型腔底板厚度

$$T = \left( \frac{Pb^2}{2[\sigma]} \right)^{1/2} = 0.71b \left( \frac{P}{[\sigma]} \right)^{1/2} \quad (4.4-29)$$

应用以上计算式, 可算得模板结构尺寸  $S$  或  $T$ , 应取刚度和强度计算值中的大值为计算结果。或者将以上各式变换成  $\delta \leq [\delta]$  和  $\sigma \leq [\sigma]$  的校核式, 二者均合格的  $S$  或  $T$  值, 才是计算的正确结果。

### 三、大型模具刚度计算

前已论及, 大尺寸模具的刚度十分重要。因此为保证大型模具有足够刚度, 应进行专门的结构设计。

#### 1. 镶底矩形型腔侧壁厚度的计算

镶底矩形型腔结构, 如图 4.4-26 所示, 可视为内表面受均布载荷的矩形框架模型。按刚度条件考虑, 得侧壁厚度的计算式为

$$S = l_1 \left( \frac{Pl_1 h \beta}{32H\varphi E [\delta]} \right)^{1/3} \quad (4.4-30)$$

最大应力发生在转角处, 强度条件校核式

$$\sigma_{\max} = \frac{Ph(l_1^2 \gamma + l_2 S)}{2S^2 H} \leq [\sigma] \quad (4.4-31)$$

以上二式中, 系数  $\beta$ 、 $\gamma$  和  $\varphi$  由  $\alpha = l_2/l_1$  查表 4.4-14 得出。

表 4.4-14 由矩形型腔边长比  $\alpha$  确定  $\beta$ 、 $\gamma$  和  $\varphi$  系数

$\alpha = l_2/l_1$	$\beta$	$\gamma$	$\varphi$	$\alpha = l_2/l_1$	$\beta$	$\gamma$	$\varphi$
0.1	1.36	0.91	0.91	0.6	1.96	0.76	0.72
0.2	1.64	0.84	0.87	0.7	1.84	0.79	0.67
0.3	1.84	0.79	0.83	0.8	1.64	0.84	0.61
0.4	1.96	0.76	0.79	0.9	1.36	0.91	0.54
0.5	2.00	0.75	0.76	1.0	1.00	1.00	0.44

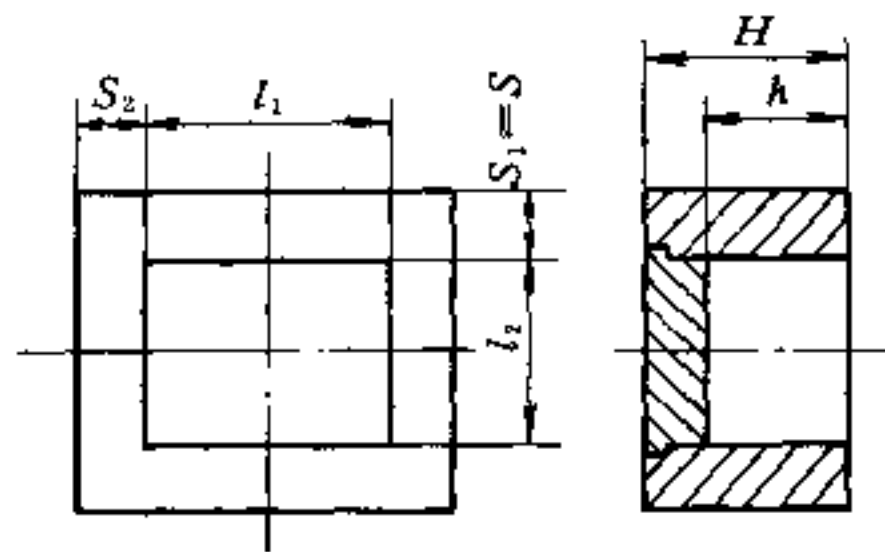


图 4.4-26 镶底矩形型腔结构

【例】 已知注塑模如图 4.4-26 所示，模板高度  $H = 250\text{mm}$ 。制品  $l_1 = 350\text{mm}$ ， $l_2 = 250\text{mm}$ ， $h = 150\text{mm}$ ，壁厚  $2.5\text{mm}$  为简单箱体。要求达到 SJ1372—78 的 4 级精度。制品材料为聚丙烯，型腔压力  $P = 32\text{N/mm}^2$ 。确定模框壁厚。

【解】 由组合式、低粘度和 4 级精度的条件，查表 4.4-13，以  $W = l = 350\text{mm}$  代入

$$[\delta] = 25i_1 = 25 \times [0.35 \times (350)^{1/5} + 0.001 \times 350] = 37\mu\text{m} = 0.037\text{mm}$$

再由表 4.4-14，由  $\alpha = l_2/l_1 = 250/350 \approx 0.7$  得  $\beta = 1.84$ ， $\gamma = 0.79$ ， $\varphi = 0.67$  代入式 (4.4-30)，有模框厚

$$S = 350 \times \left( \frac{32 \times 350 \times 150 \times 1.84}{32 \times 250 \times 0.67 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.037} \right)^{1/3} = 147\text{mm}$$

代入式 (4.4-31) 校核强度，其  $[\sigma] = 160\text{N/mm}^2$  而

$$\sigma_{\max} = \frac{32 \times 150 \times (350^2 \times 0.79 + 250 \times 147)}{2 \times 147^2 \times 250} = 59\text{N/mm}^2 < [\sigma]$$

以上的计算都是在型腔四壁厚度相等的条件下进行的。如果由于结构上需要， $S_2$  不等于  $S_1$  时，表 4.4-14 中的数值需要加以修正，方法如下：

当  $S_2 = nS_1$  时

$$\gamma_n = \frac{n^3 + \alpha^3}{n^3 + \alpha} \quad (4.4-32A)$$

$$\beta_n = 5 - 4\gamma_n \quad (4.4-32B)$$

$$\varphi_n = \frac{n - 1 + \varphi}{n} \quad (4.4-32C)$$

$\gamma_n$ 、 $\beta_n$  和  $\varphi_n$  为修正系数。例如，当  $S_2 = 1.5S_1$ ， $\alpha = 0.5$  时， $\gamma_n = 0.9$ ， $\beta_n = 1.4$ ， $\varphi_n = 0.84$ ，以修正系数代入式 (4.4-30) 和式 (4.4-31) 运算。

## 2. 带模框的镶底矩形型腔壁厚计算

这种结构更能节约贵重合金钢并便于加工，见图 4.4-27。在设计这类型结构时，通常先确定型腔镶件的壁厚  $S'$ ，然后根据刚性要求计算模框尺寸  $S$ ，再进行强度校核。

在型腔压力  $P$  的作用下，型腔侧壁变形膨胀，并将此压力传递给模框。刚度条件下模框壁厚

$$S = L_1 \left[ \frac{Phl_1}{32H\phi_2 E [\delta]} - \frac{1}{\beta} \left( \frac{S'}{l_1} \right)^3 \right]^{1/3} \quad (4.4-33)$$

式中  $\beta$  查表 4.4-14，而  $\phi_2$  见图 4.4-30。

由于此种型腔结构在工作时的受力状态与镶底矩形型腔相似，故其强度校核可借助于式 (4.4-31) 进行。但在该公式中的  $l_1$  须代以  $L_1$ ， $S$  须代以  $(S + S')$ 。

【例】 如图 4.4-27 所示，带框镶底结构的注塑模。用 ABS 成型正方形箱形制品，塑件壁厚  $2.5\text{mm}$ ，并要求以 SJ1372—78 的 4 级精度注塑。模腔边长  $l_1 = l_2 = 225\text{mm}$ ，模板厚  $H = 205\text{mm}$ ，模腔深  $h = 165\text{mm}$ 。现确定型腔镶件的壁厚  $S' = 35\text{mm}$ ，所以，模框内孔

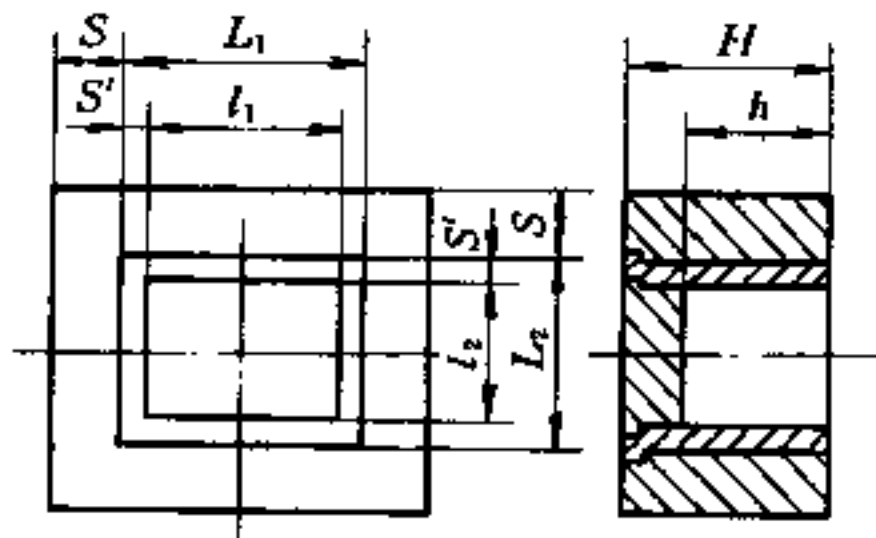


图 4.4-27 带模框的镶底矩形型腔结构

$L_1 = L_2 = 225 + 2 \times 35 = 295\text{mm}$ 。估算得型腔压力  $P = 40\text{N/mm}^2$ 。试求模框壁厚  $S$ 。

【解】 由  $\alpha = l_2/l_1 = 1$ ，从表 4.4-14 得  $\beta = 1.0$ 。由  $\alpha = 1$ ，由图 4.4-30 得  $\phi_2 = 0.70$ 。由表 4.4-13，根据组合式、中等粘度和 4 级精度， $W = L_1 = 295\text{mm}$ ，则有

$$[\delta] = 25i_2 = 25 \times [0.45 \times (295)^{1/5} + 0.001 \times 295] = 43\mu\text{m} = 0.043\text{mm}$$

将以上数值代入式 (4.4-33)

$$S = 295 \times \left[ \frac{40 \times 165 \times 225}{32 \times 205 \times 0.7 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.043} - \frac{1}{1.0} \left( \frac{35}{225} \right)^3 \right]^{1/3} = 94\text{mm}$$

强度校核运用式 (4.4-31)。由  $\alpha = l_2/l_1 = 1$ ，从表 4.4-14 得  $\gamma = 1$ ，有

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{40 \times 165 [295^2 \times 1.0 + 295 \times 194 + 35]}{2 \times (94 + 35)^2 \times 205} = 121\text{N/mm}^2 < [\sigma] \\ &= 160\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

符合强度条件，取模框壁厚至少 94mm。

### 3. 带模框的整体式矩形型腔侧壁厚度计算

图 4.4-28 是常见的带模框的整体式矩形型腔结构。可用与图 4.4-27 带模框的镶底矩形型腔结构相类似的方法予以计算。此类结构按刚度条件的模框厚度为

$$S = L_1 \left\{ \frac{l_1}{32H} \left[ \frac{Ph}{E\phi_3 [\delta]} - \frac{1}{C} \left( \frac{S'}{h} \right)^3 \right] \right\}^{1/3} \quad (4.4-34)$$

由于此种结构在工作时的受力状态与整体式矩形型腔相似，故其强度校核，可视  $h/L_1$  之值不同，由以下二式计算

当  $h/l_1 \geq 0.41$

$$\sigma_{\max} = \frac{Pl_1^2 (1 + \omega\alpha)}{2 (S + S')^2} \quad (4.4-35A)$$

当  $h/l_1 < 0.41$

$$\sigma_{\max} = \frac{3Ph^2 (1 + \omega\alpha)}{(S + S')^2} \quad (4.4-35B)$$

式中， $\alpha = l_2/l_1$ ，系数  $C$  和  $\omega$  见表 4.4-15。 $\phi_3$  见图 4.4-30。

表 4.4-15 系数  $C$  和  $\omega$

$h/l_1$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0
$C$	0.930	0.570	0.330	0.188	0.117	0.073	0.045	0.031	0.015	0.006	0.002
$\omega$	0.108	0.130	0.148	0.163	0.176	0.187	0.197	0.205	0.219	0.235	0.254

【例】 如图 4.4-28 所示，带框的整体式型腔结构注塑模。用 ABS 成型正方形箱形制件，要求以 SJ1372—78 的 4 级精度成型。模腔边长  $l_1 = l_2 = 225\text{mm}$ ，模腔深  $h = 165\text{mm}$ ，模板厚  $H = 205\text{mm}$ 。现确定整体式型腔镶件壁厚  $S' = 35\text{mm}$ ，所以模框内孔  $L_1 = L_2 = 225 + 2 \times 35 = 295\text{mm}$ 。估算得型腔压力  $P = 40\text{N/mm}^2$ ，试求模框壁厚  $S$ 。

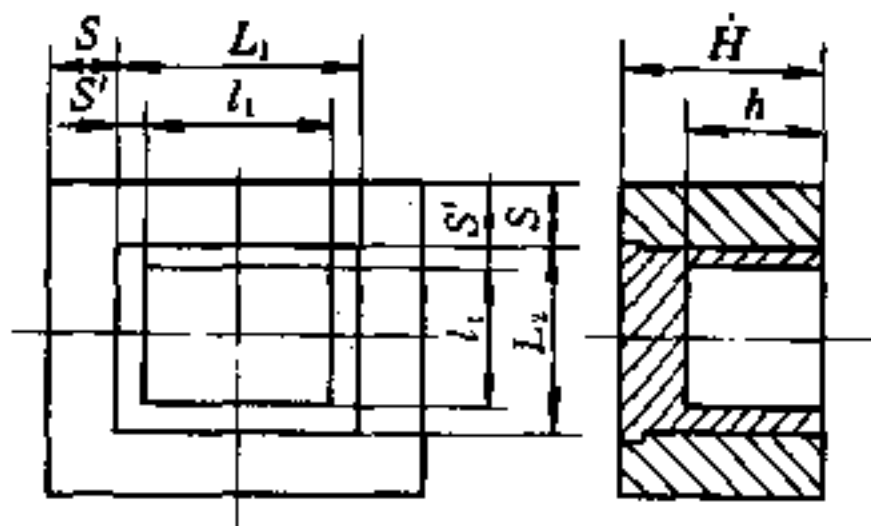


图 4.4-28 带模框的整体式矩形型腔结构

【解】 由  $\alpha = l_2/l_1 = 1.0$  从图 4.4-30 得  $\phi_3 = 0.8$ 。再由  $h/l_1 = 0.7$ ，由表 4.4-15 查得  $C = 0.117$ 、 $\omega = 0.176$ 。并由表 4.4-13，根据整体式 4 级精度，以  $W = L_1 = 295\text{mm}$  代入

$$[\delta] = 25i_2 = 25 \times [0.45 (295)^{1/5} + 0.001 \times 295] = 43\mu\text{m} = 0.043\text{mm}$$

将以上数值代入式 (4.4-34)

$$S = 295 \times \left\{ \frac{225}{32 \times 205} \left[ \frac{40 \times 165}{2.1 \times 10^5 \times 0.8 \times 0.043} - \frac{1}{0.117} \left( \frac{35}{165} \right)^3 \right] \right\}^{1/3} = 90\text{mm}$$

强度校核由  $h/L_1 = 165/295 = 0.56 > 0.41$ ，代入式 (4.4-35A)

$$\sigma_{\max} = \frac{40 \times 295^2 \times (1 + 0.176 \times 1)}{2 (35 + 90)^2} = 131\text{N/mm}^2 < [\sigma] = 160\text{N/mm}^2$$

符合强度要求，故  $S = 90\text{mm}$  即为所求。

#### 4. 双面止口矩形型腔侧壁厚度计算

图 4.4-29 是尺寸较大的箱体制品常用的型腔结构。其特点是设有止口，使型腔侧壁四边均受约束，从而减小变形量。此种结构型腔壁的工作状态，可视为两对边简支，另两边固定的矩形板承受均布载荷。型腔侧壁厚度  $S$  可用下式计算：

$$S = h \left( \frac{C_1 P h}{E \phi_2 [\delta]} \right)^{1/3} \quad (4.4-36)$$

$l_1$  边的中心有最大应力为

$$\sigma_{\max} = \frac{6C_2 P h^2}{S^2} \leq [\sigma] \quad (4.4-37)$$

式中  $\phi_2$ ——系数，从图 4.4-30 中得  $\alpha = l_2/l_1$  值由曲线  $\phi_2$  查得；

$C_1$ 、 $C_2$ ——系数，根据  $h/l_1$  或  $l_1/h$  值由表 4.4-14 查出。

当  $h > l_1$  时，式 (4.4-36) 和式 (4.4-37) 中的  $h$  均应置换成  $l_1$ 。

当在分型面上具有单止口的整体式矩形型腔，见下节图 4.5-9 所示结构，其侧壁厚度计算方法可与上述双面止口型腔相同。

【例】 某 PP 瓶壳注塑模如图 4.4-29 所示，为双斜面止口结构。制件的外形尺寸为  $l_1 = 350\text{mm}$ ， $l_2 = 250\text{mm}$ ， $h = 350\text{mm}$ ，壁厚  $2.5\text{mm}$ 。要求按 SJ1372—78 的 4 级精度成型，直浇口设在塑件底部中心。已估算得型腔压力  $P = 50\text{N/mm}^2$ ，试求其长边  $l_1$  处的侧壁厚度。

【解】 根据组合式、低粘度与 4 级精度，由表 4.4-13，取  $W = h = 350\text{mm}$ ，有

$$[\delta] = 25i_1 = 25 \times [0.35 \times (350)^{1/5} + 0.001 \times 350] = 37\mu\text{m} = 0.037\text{mm}$$

又由  $\alpha = l_2/l_1 = 250/350 = 0.7$ ，从图 4.4-30 得  $\phi_2 = 0.75$ 。再由  $h/l_1 = 1.0$ ，从表 4.4-16 查得  $C_1 = 0.0214$  和  $C_2 = 0.0698$ 。将已知数值代入式 (4.4-36)，得其侧壁厚为

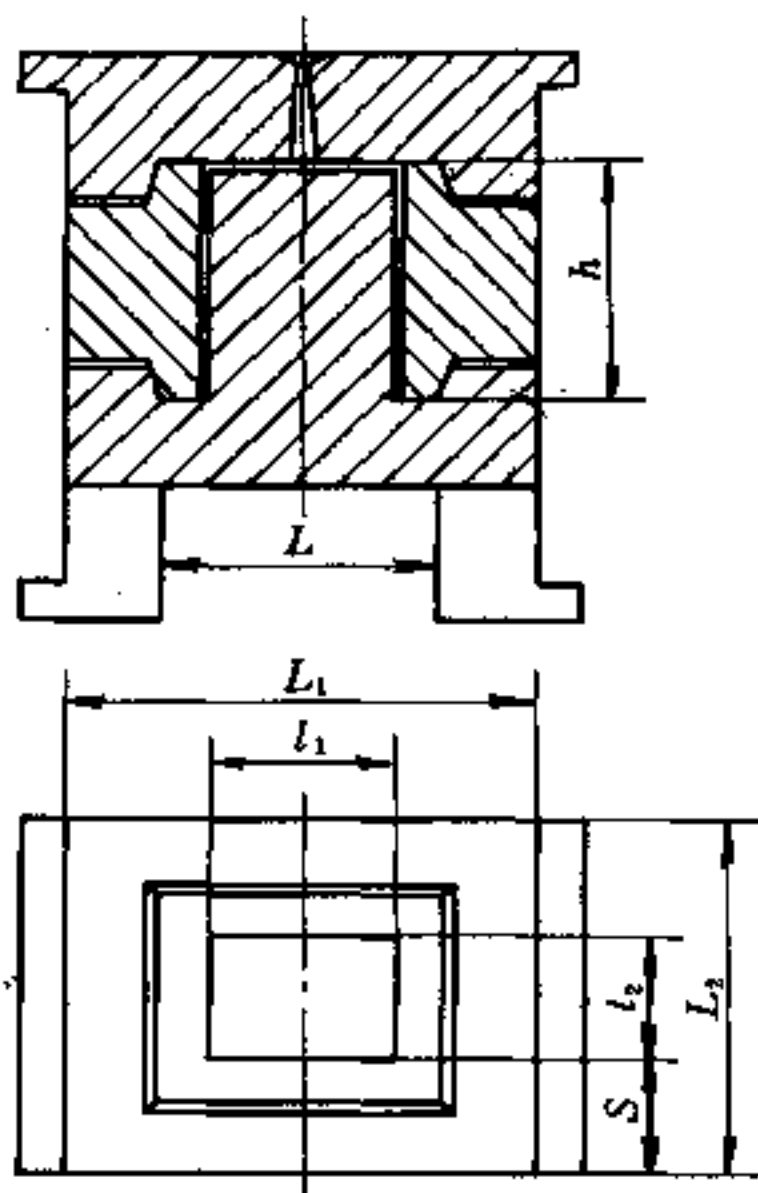


图 4.4-29 具有双面止口的型腔结构

$$S = 350 \times \left( \frac{0.0214 \times 50 \times 350}{2.1 \times 10^5 \times 0.75 \times 0.037} \right)^{\frac{1}{3}} = 140 \text{mm}$$

将  $S$  值代入式 (4.4-37) 进行强度校核有

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \times 0.0698 \times 50 \times 350^2}{140^2} = 131 \text{N/mm}^2 < [\sigma] = 160 \text{N/mm}^2$$

表 4.4-16 系数  $C_1$  及  $C_2$

$h/l_1$	2.0	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0				
$C_1$	0.0284	0.0270	0.0262	0.0255	0.0243	0.0228	0.0214				
$C_2$	0.0842	0.0829	0.0808	0.0793	0.0770	0.0739	0.0698				
$l_1/h$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0
$C_1$	0.0276	0.0349	0.0425	0.0504	0.0582	0.0658	0.0730	0.0799	0.0863	0.0987	0.1276
$C_2$	0.0788	0.0868	0.0938	0.0998	0.1049	0.1090	0.1124	0.1152	0.1173	0.1191	0.1246

### 5. 矩形型腔动模垫板支撑设计

矩形型腔动模垫板见图 4.4-31。其工作状态可视为受均布载荷的简支梁。此板刚度不足，会引起塑制件高度方向的尺寸超差，并引起溢料。最大变形挠度  $\delta$  发生在板的中央，即

$$\delta = \frac{5Pl_1l_2L^3}{32EL_1T^3} \leq [\delta]$$

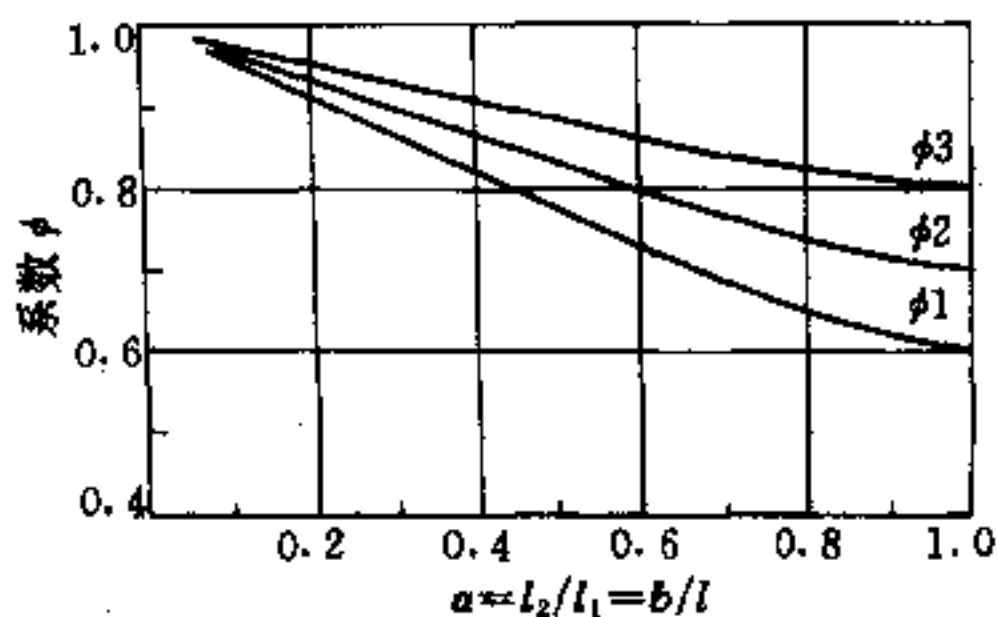


图 4.4-30 矩形型腔变形的比例关系

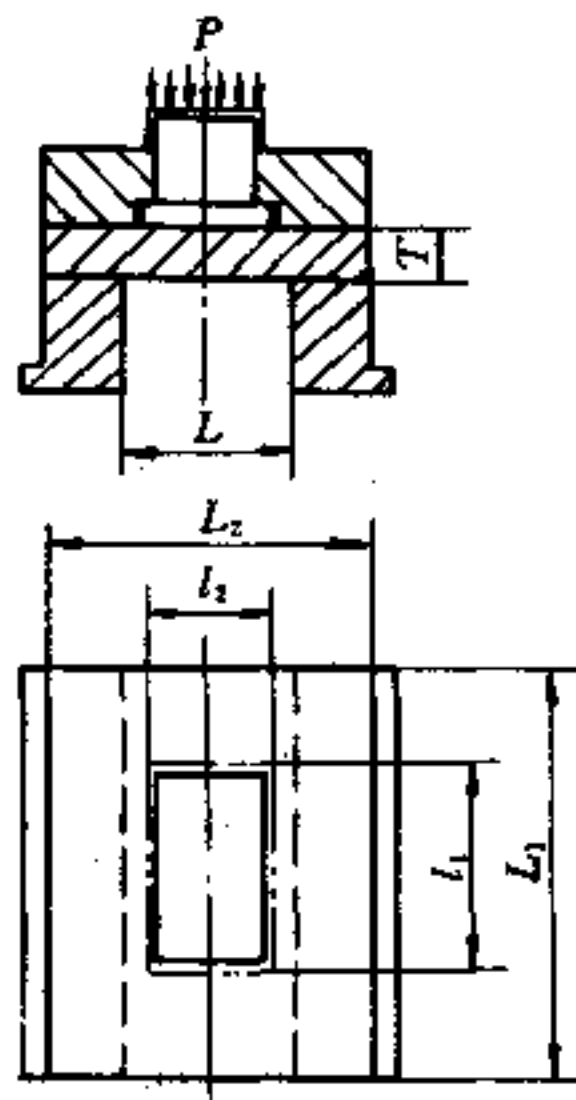


图 4.4-31 矩形型腔动模垫板

所以



$$T = L \left( \frac{5Pl_1l_2}{32EL_1[\delta]} \right)^{1/3} = 0.54L \left( \frac{Pl_1l_2}{EL_1[\delta]} \right)^{1/3} \quad (4.4-38)$$

最大应力发生在板的中心，强度校核式为

$$\sigma_{\max} = \frac{3Pl_1L^2}{4L_1T^2} \leq [\sigma] \quad (4.4-39)$$

当两模脚间的跨度  $L$  较大，算出的垫板厚度过大时，可在两模板的正中增设支撑块或支柱，如图 4.4-32 (a) 所示。如计算所得垫板仍过厚，可以设置两块纵向等距离支撑板或支柱，如图 4.4-32 (b) 所示。若设支撑块或支柱的排数为  $n$ ，图 4.4-32 (a) 上  $n=1$ ，图 4.4-32 (b) 上  $n=2$ ，则得垫板厚度及其校核通用公式分别为

$$T_n = 0.54L \left( \frac{1}{n+1} \right)^{4/3} \left( \frac{Pl_1l_2}{EL_1[\delta]} \right)^{1/3} = \left( \frac{1}{n+1} \right)^{4/3} T \quad (4.4-40)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{3Pl_1L^2}{4(n+1)^2L_1T_n^2} \leq [\sigma] \quad (4.4-41)$$

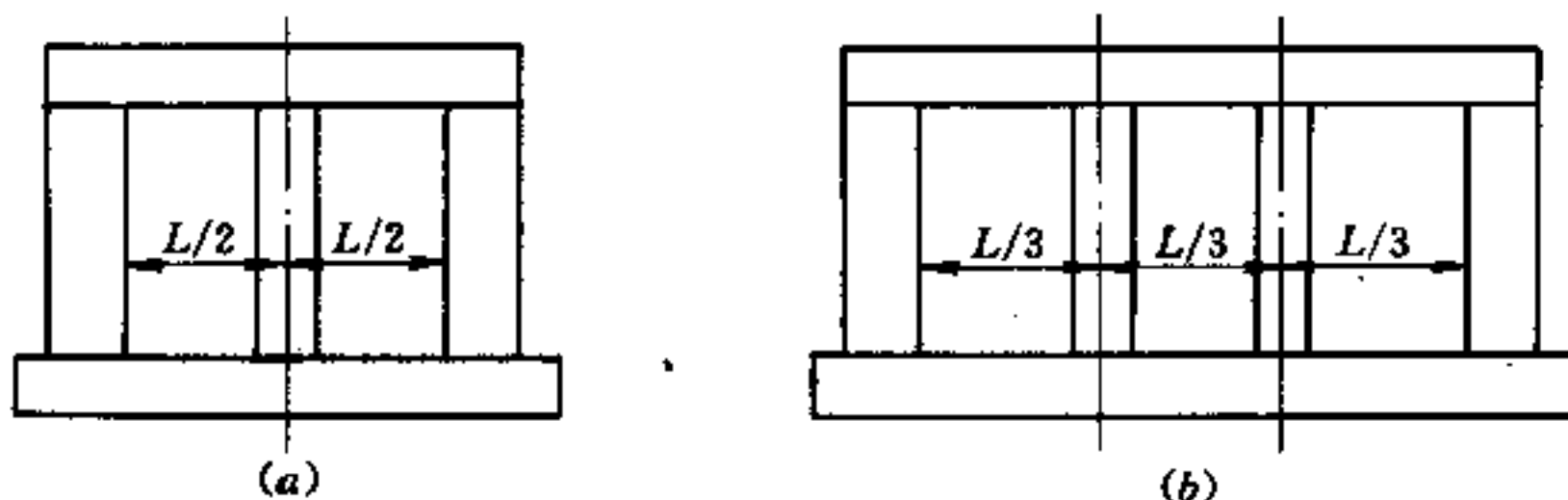


图 4.4-32 动模垫板的支撑结构

**【例】** 由中碳钢制造，成型 ABS 塑件的矩形型腔尺寸为  $l_1 = 420\text{mm}$ ， $l_2 = 390\text{mm}$ ， $h = 380\text{mm}$ ，模板  $L_1 = 750\text{mm}$ ，模脚间跨度  $L = 560\text{mm}$ ，参见图 4.4-31。要求塑件达到 SJ1372—78 的 4 级精度。经计算得知型腔压力  $P = 56\text{N/mm}^2$ ，试求动模垫板厚度。

**【解】** 由表 4.4-13，根据组合式结构、中等粘度物料、4 级精度、计算尺寸  $W = L = 560\text{mm}$ ，有

$$[\delta] = 25i_2 = 25 \times [0.45 \times (560)^{1/5} + 0.001 \times 560] = 53.9\mu\text{m} = 0.054\text{mm}$$

又由表 4.4-12，为防止溢料，现取  $[\delta] = 0.05\text{mm}$ 。将所有已知数值代入式(4.4-38)，有

$$T = 0.54 \times 560 \left( \frac{56 \times 420 \times 390}{2.1 \times 10^5 \times 750 \times 0.05} \right)^{1/3} = 317\text{mm}$$

此垫板太厚，故在其跨度中心增设一排支块，用 (4.4-40) 通式，则

$$T_n = \left( \frac{1}{1+1} \right)^{4/3} \times 317 = 126\text{mm}$$

再用式 (4.4-41)，校核强度

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \times 56 \times 420 \times 560^2}{4(1+1)^2 \times 750 \times 126^2} = 116\text{N/mm}^2 < [\sigma] = 160\text{N/mm}^2$$

符合要求。增设中间支脚的垫板厚度减薄了 191mm，效果显著。

#### 4.4.4 型芯偏移量计算

在高压熔体的作用下，整个型芯长度上产生的压力分布，造成了型芯的变形和偏移。致使被成型塑件的内孔与外轮廓偏心，壁厚不均，甚至尺寸超差，也会产生脱模困难。本节介绍的计算式和线图可供定性分析和估测型芯的实际偏移量。

##### 一、实际偏移量组成

在模具型腔的充填过程中，型芯的实际偏移量  $f_a$  由两部分叠加而成。即型芯在刚性固定下的最大变形量  $f_t$  与型芯装配部位的偏移量  $f_e$  之和。

$$f_a = f_t + f_e \quad (4.4-42)$$

其中，装配偏移  $f_e$  又可分为刚体型芯整体位移  $f_{es}$ ，和整个型芯的倾侧偏移量  $f_{em}$ 。所以实际偏移量由三部分组成，见图 4.4-33，有

$$f_a = f_t + f_{es} + f_{em} \quad (4.4-43)$$

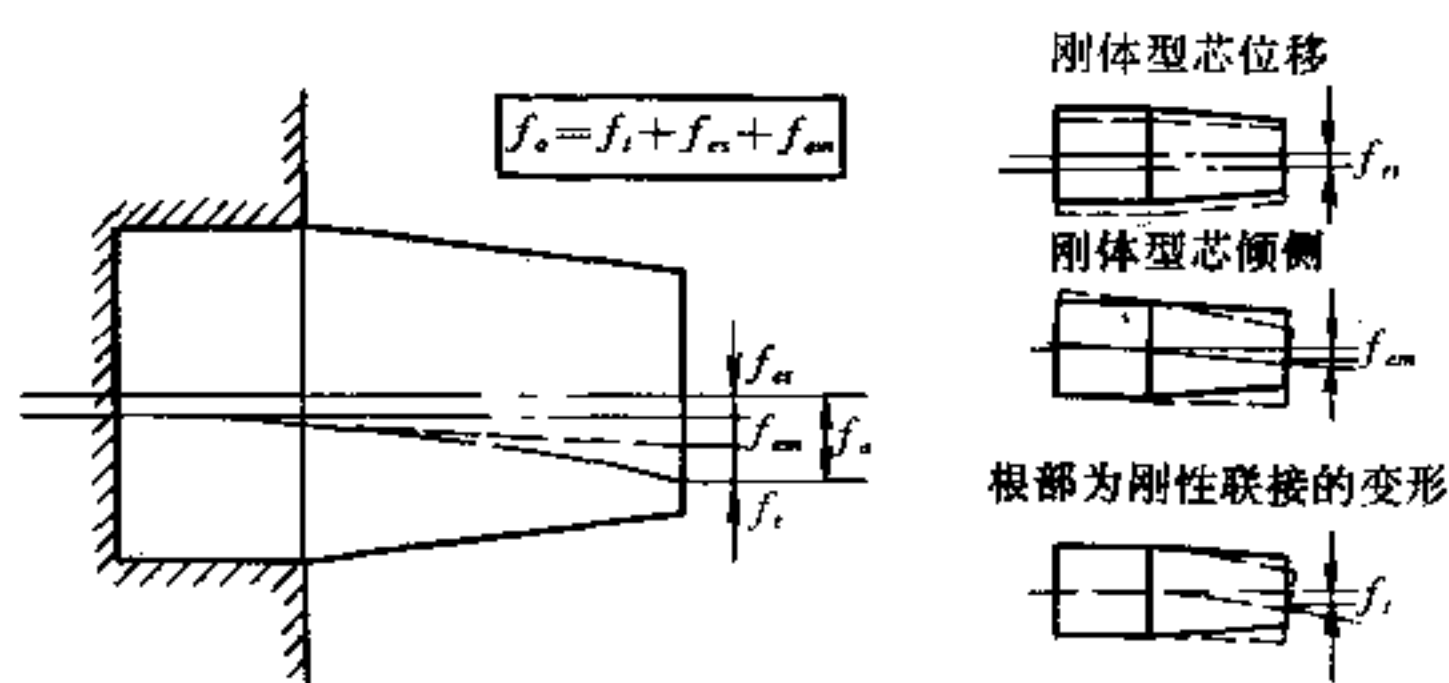


图 4.4-33 型芯实际偏移量的组成

##### 1. 型芯受载类型

在实际工作状态中，型芯受载情况可分为三种类型，如图 4.4-34 所示。图 4.4-34 (a) 所示为型芯根部进料的压力分布；图 4.4-34 (b) 为型芯顶部进料；图 4.4-34 (c) 为沿型芯长度方向压力保持大致相同，这主要发生在侧边浇口进料场合。很明显，图 4.4-34 (b) 的受载情况，会使型芯产生颇大的偏移量  $f_a$ 。

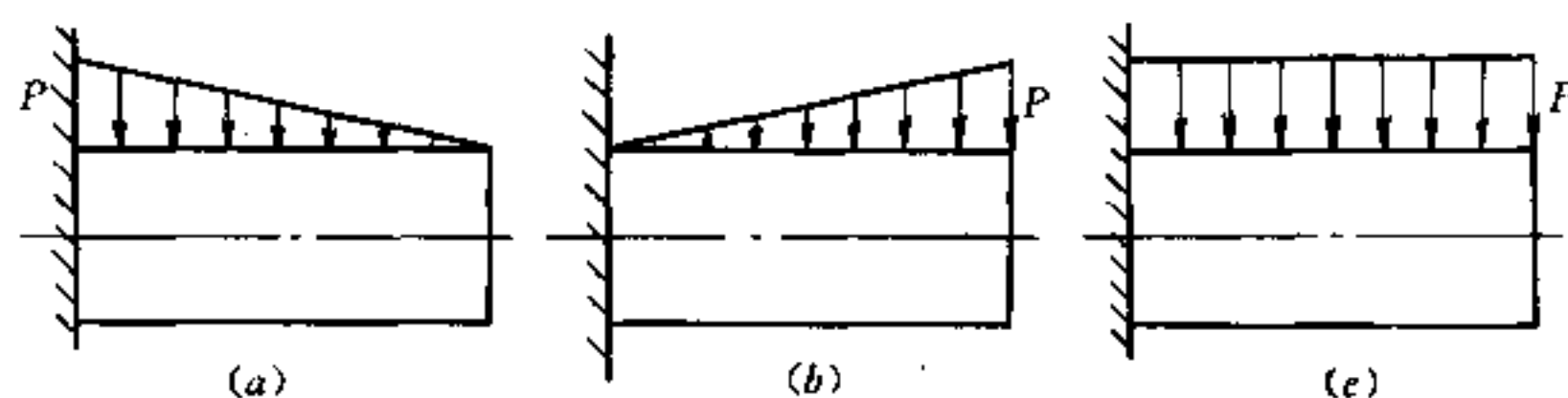


图 4.4-34 型芯各种受载分布

##### 2. 型芯几何形状简化

型芯几何体可简化成圆柱体和矩形柱体两大类。型芯一般有冷却用圆孔通道。矩形截面的型芯有矩形也会有圆形的冷却管道，见图 4.4-35。型芯通常均有脱模斜度，计算时用平均尺寸。

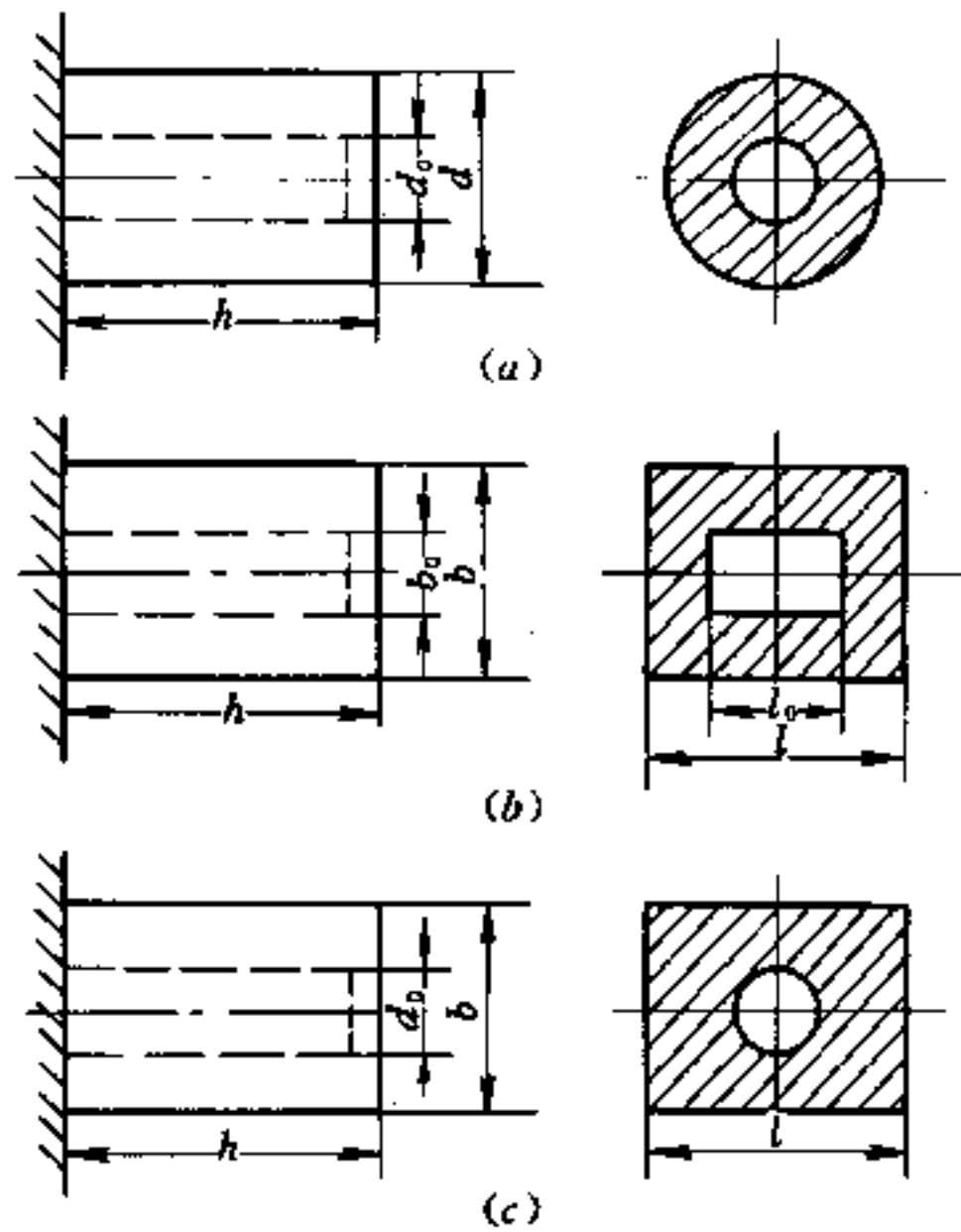


图 4.4-35 各种不同种类的类型芯

## 二、型芯的最大变形量

从安全角度考虑，应计算充模初期单向压力作用下型芯实际偏移量。若作用型芯上的压力呈线性分布，型腔的计算压力  $P$  应为三角形压力分布的最大值。并假定型腔的间隙在充模前是均匀的。

这里仅介绍，从型芯根部进料，圆孔冷却的圆柱型芯的最大变形量  $f_t$ 。它是弯矩引起的变形  $f_b$ ，和剪切力引起的变形  $f_s$  之和。

$$f_t = f_b + f_s$$

由弹性弯曲的微分方程，可得到圆柱型芯的挠曲变形量

$$f_b = \frac{32Pdh^4}{15\pi E (d^4 - d_0^4)} \quad (4.4-44)$$

式中  $P$ ——型腔压力，三角形分布的最大值 ( $\text{N/mm}^2$ )；

$E$ ——型芯材料的弹性模量 ( $\text{N/mm}^2$ )；

$h$ ——型芯高度 (mm)；

$d$ ——型芯平均外径 (mm)；

$d_0$ ——冷却水孔直径 (mm)。

在型芯顶端，由剪切力引起的最大变形量可由下式计算

$$f_s = C_1 \frac{10.4Pdh^2}{3\pi E (d^2 - d_0^2)} \quad (4.4-45)$$

在  $2 \leq W \leq 10$  时

$$C_1 = \frac{\left[ \frac{2d}{(d - d_0)} \right] + 4.4}{14.4}$$

$$W > 10$$

$$C_1 = 1$$

型芯厚度比  $W$  的定义是

$$W = \frac{2d}{d - d_0}$$

这样, 可得总变形量为

$$f_t = \frac{Ph^2d}{\pi E (d^2 - d_0^2)} \left[ \frac{2.1h^2}{(d^2 + d_0^2)} + 3.5C_1 \right] \quad (4.4-46)$$

式(4.4-44)、式(4.4-45)和式(4.4-46)说明了总变形量  $f_t$  跟几何与物理参量之间的关系, 是基于受一般载荷的横梁推导的。注塑模内, 高压熔体作用下的型芯的实际总变形量比“理论值”更大些。图 4.4-36~图 4.4-40 给出了型芯在型腔压力  $P = 10\text{N/mm}^2$  作用下, 最大实际变形量  $f_t$  的线图, 使用时须根据实际型腔压力和塑件壁厚等因素作修正。

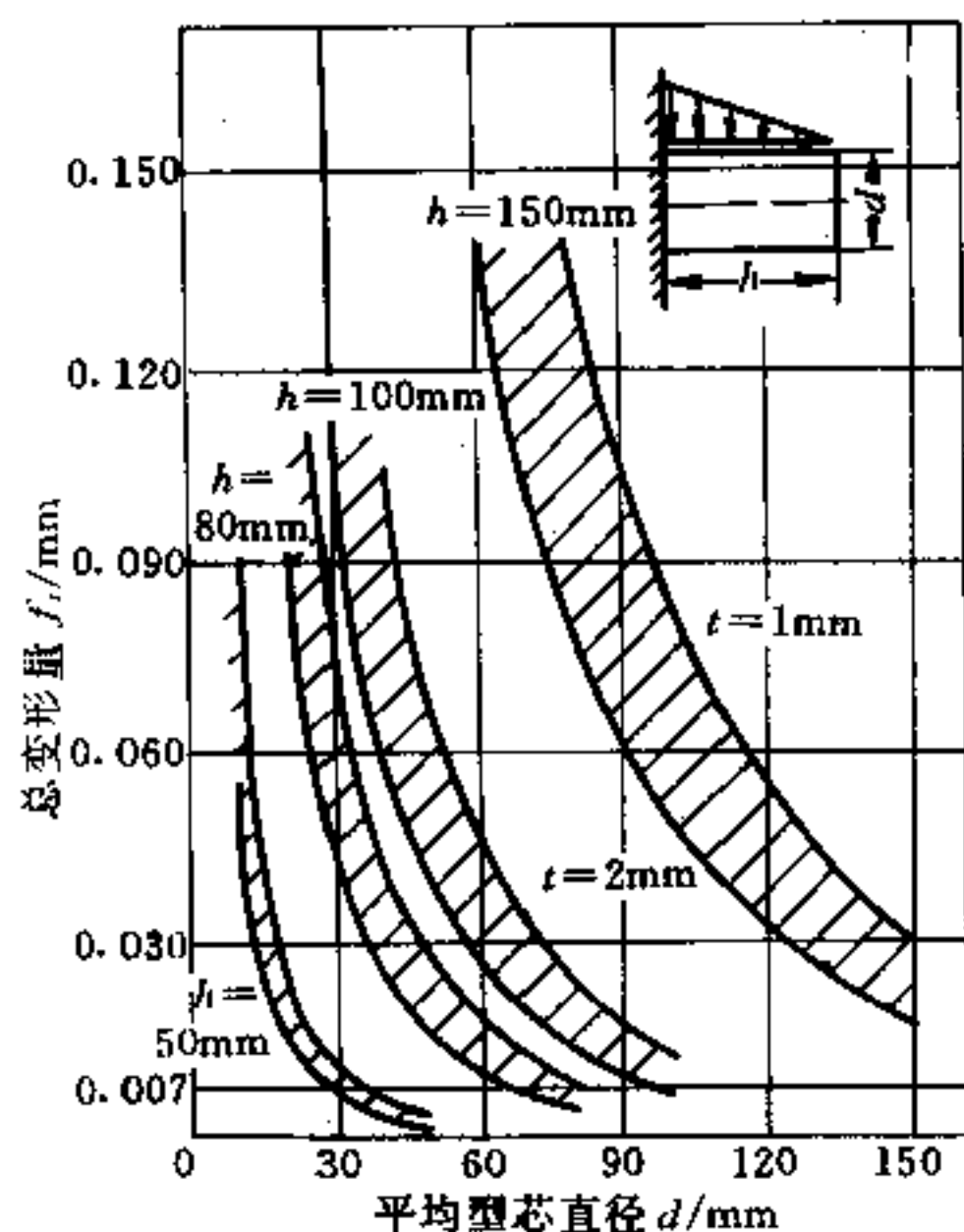


图 4.4-36 截面为圆形的型芯变形

PS 熔体  $236^\circ\text{C}$ , 模温  $40^\circ\text{C}$ ,  $Q = 50\text{cm}^3/\text{s}$ , 塑件壁厚  $t = 1 \sim 2\text{mm}$ 。

### 三、型芯装配偏移量

如前所述, 型芯装配偏移量  $f_e$ , 包括整个型芯的倾斜偏移  $f_{em}$  和刚性型芯的位移  $f_{es}$ 。在熔体于型芯根部进料时, 在最大压力  $P_{\max}$  作用下, 型芯装配部位受到弯矩而产生的最大接触压力  $P_m$ , 如图 4.4-41 所示, 有

$$P_m = \frac{P_{\max} h (2h_x + H)}{2dH} (3d - 2h \operatorname{tga}) \quad (4.4-47)$$

其中

$$h_x = \frac{h (d - h \operatorname{tga})}{3d - 2h \operatorname{tga}}$$

该部位由剪切力产生的最大接触压力为

$$P_s = \frac{P_{\max} h}{6dH} (3d - 2h \operatorname{tga}) \quad (4.4-48)$$

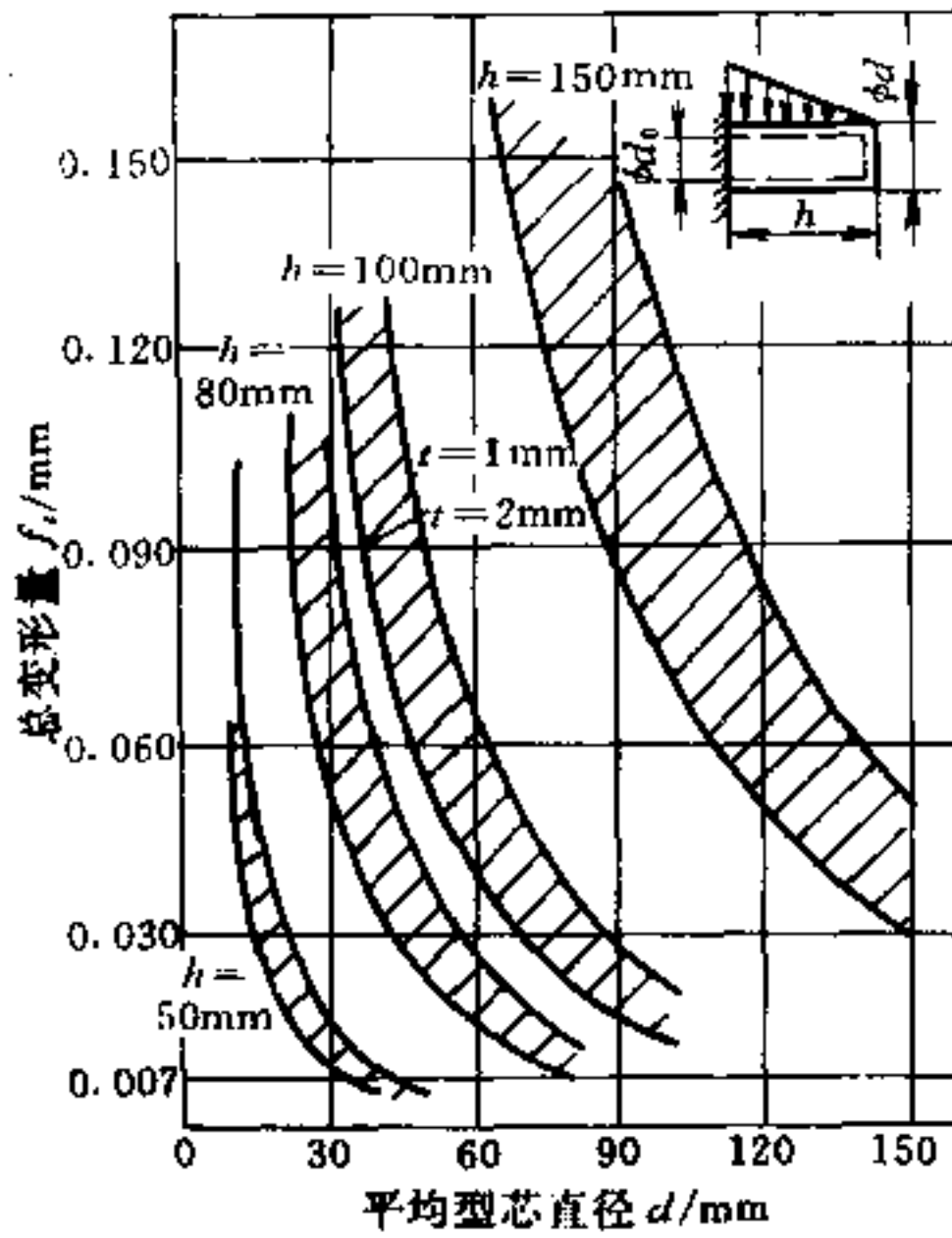


图 4.4-37 环形截面型芯的变形  
PS 熔体 236℃, 模温 40℃,  $Q = 50\text{cm}^3/\text{s}$ ,  
塑件壁厚  $t = 1\sim 2\text{mm}$ ,  $d_0 = 0.6d$ 。

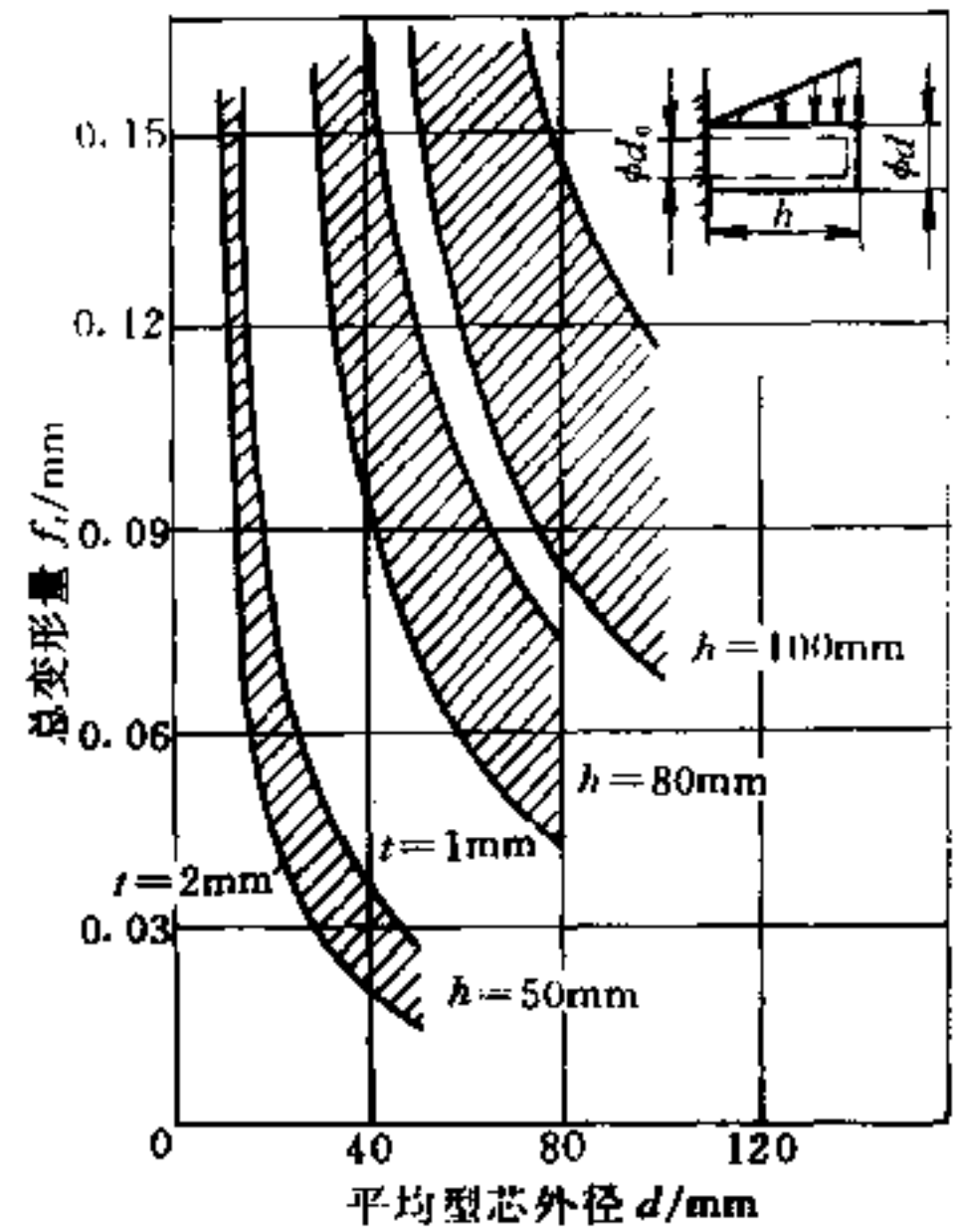


图 4.4-38 环形截面型芯的变形 (型芯顶部进料)  
PS 熔体 236℃, 模温 40℃,  $Q = 50\text{cm}^3/\text{s}$ ,  
塑件壁厚  $t = 1\sim 2\text{mm}$ ,  $d_0 = 0.6d$ 。

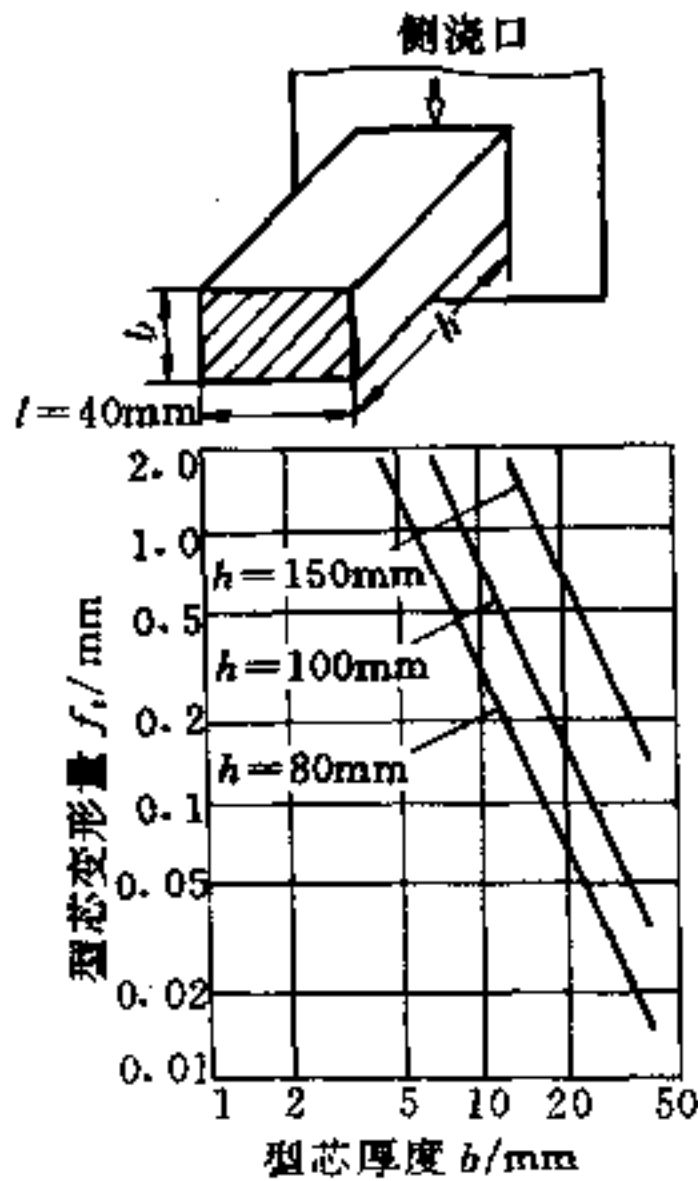


图 4.4-39 长方形截面的型芯变形  
PS 熔体 236℃, 模温 60℃,  $l = 40\text{mm}$ ,  
塑件壁厚  $t = 2\text{mm}$ ,  $Q = 50\text{cm}^3/\text{s}$ 。

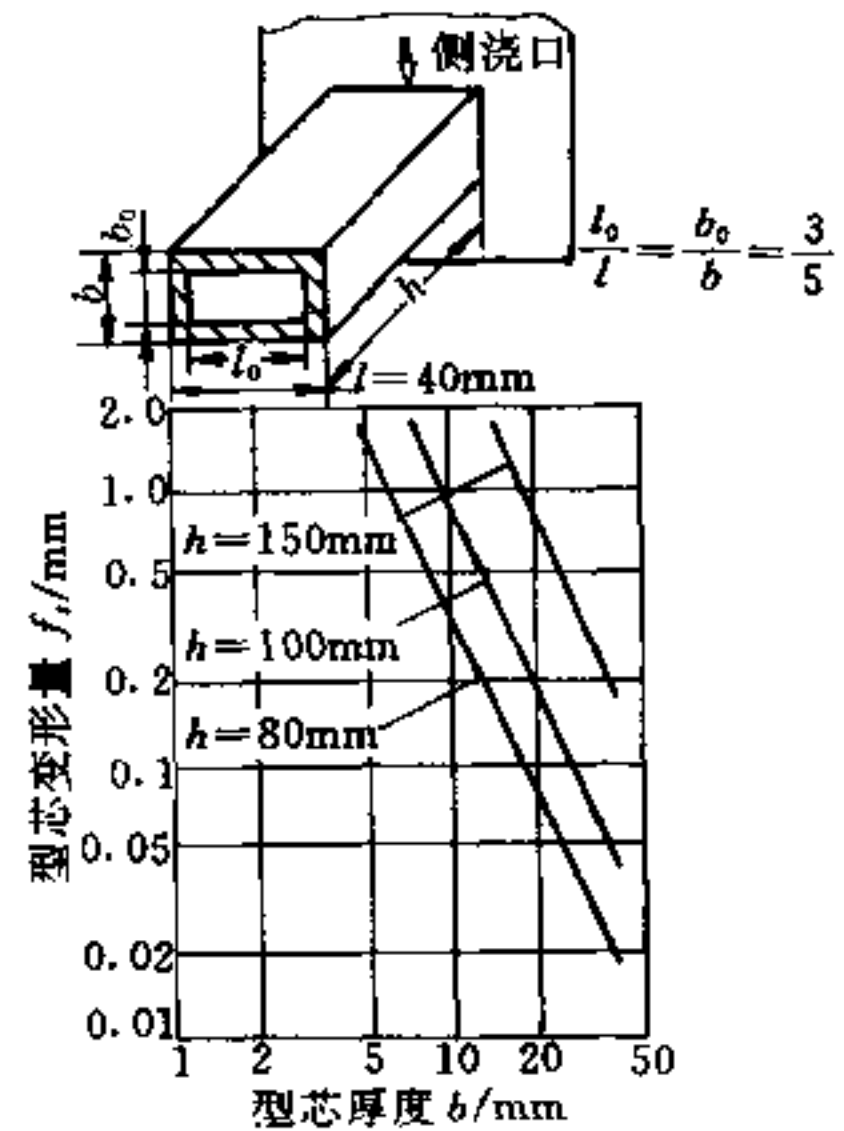


图 4.4-40 中空长方形截面型芯变形  
PS 熔体 236℃, 模温 60℃,  $l = 40\text{mm}$ ,  
塑件壁厚  $t = 2\text{mm}$ ,  $Q = 50\text{cm}^3/\text{s}$ 。

式中  $H$ ——型芯固定部分高度；

$\alpha$ ——型芯脱模斜度；

$L$ ——型芯安装位置的距离， $L_{\max} = 3d$ 。若是矩形型芯，以矩形截面长边  $l$  替代  $d$ 。从以上两式的  $P_m$  和  $P_s$ ，可得上述两种偏移量：

$$f_{em} = \frac{P_m L (2h + H)}{E H} \quad (4.4-49)$$

$$f_{es} = \frac{P_s L}{E} \quad (4.4-50)$$

由以上各计算式和线图可知：

(1) 型芯长径比是决定型芯变形量  $f_t$  的主要因素。存在极限长径比  $\left(\frac{h}{d}\right)_{\lim}$ ，超过此极限值，型芯变形量急剧上升。因此有：

盘形浇口  $(h/d)_{\lim} \approx 5$

浇口设置在型芯根部  $(h/d)_{\lim} \approx 2.5$

浇口设置在型芯顶部  $(h/d)_{\lim} \approx 1.6$

倘若超过此极限值，型芯另一端也要精确固定。

(2) 型芯的装配偏移量  $f_s$  取决于安装固定高度  $H$ ，图 4.4-42 是一个典型的例子。

(3) 采用盘形浇口替代单浇口，或使用对称的两个或多个浇口替代单个浇口，会减小型芯变形量。

(4) 冷却孔直径要小。

(5) 提高型芯固定精度，可减小装配偏移。

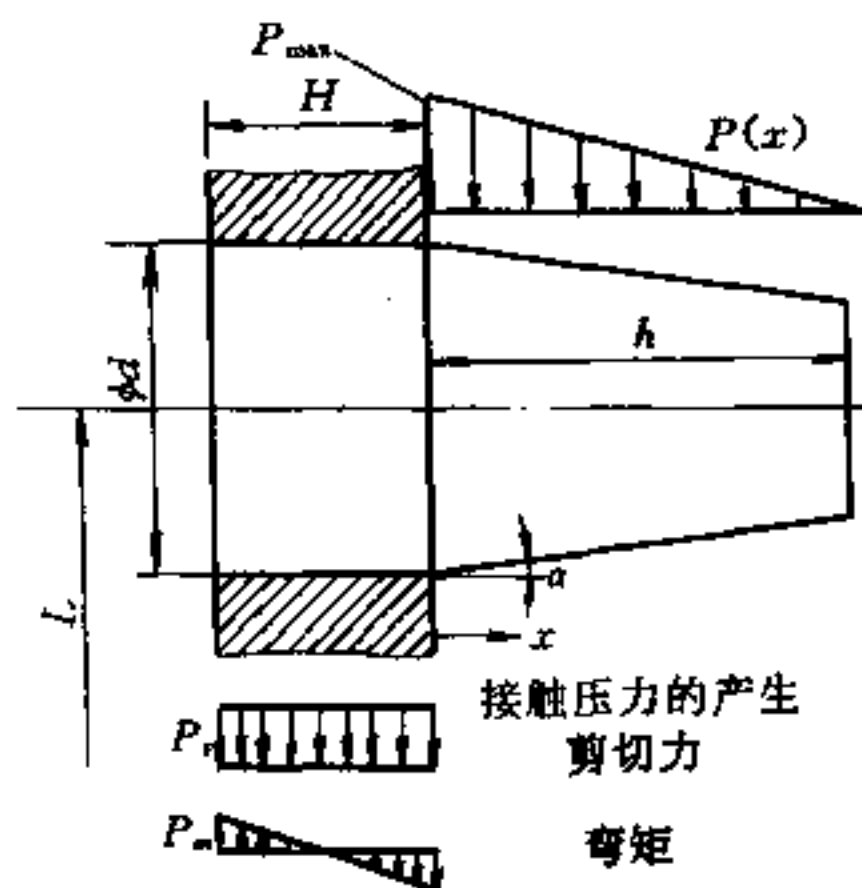


图 4.4-41 端部固定型芯装配部位的受力情况

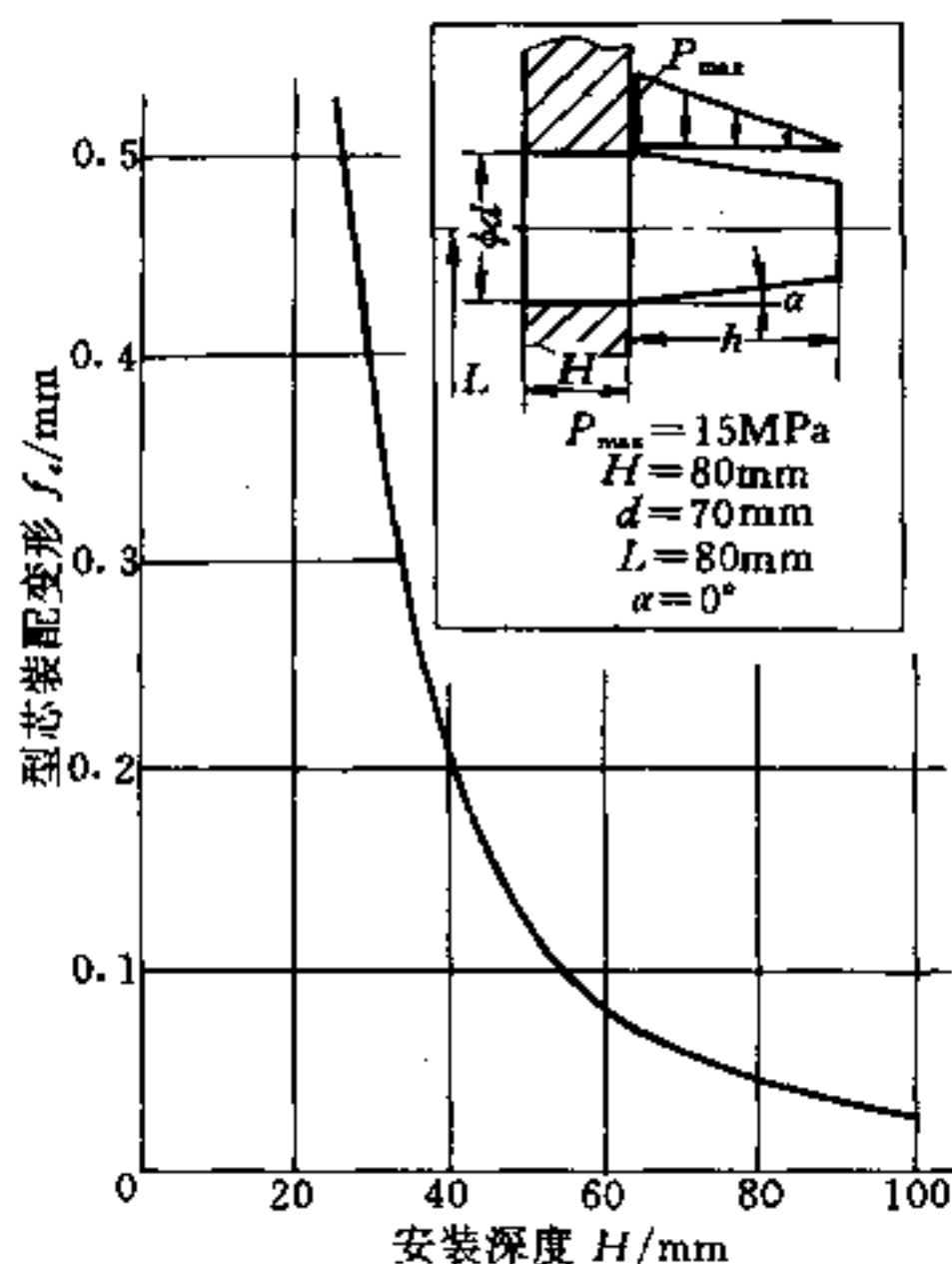


图 4.4-42 型芯安装固定高度  $H$  与型芯装配偏移  $f_s$  关系

## 4.5 合模导向机构设计

模具闭合时要求有准确的方向和位置。具有一定精度的合模导向机构，是注射模设计不可缺少的组成部分。

### 4.5.1 导向机构的功用

在注射模中，指引动模与定模之间按一定的方向闭合和定位的装置，称之为合模导向机构。此外，在卧式注塑机上的注塑模，其脱模机构也需设置导向机构，见图 4.5-1。

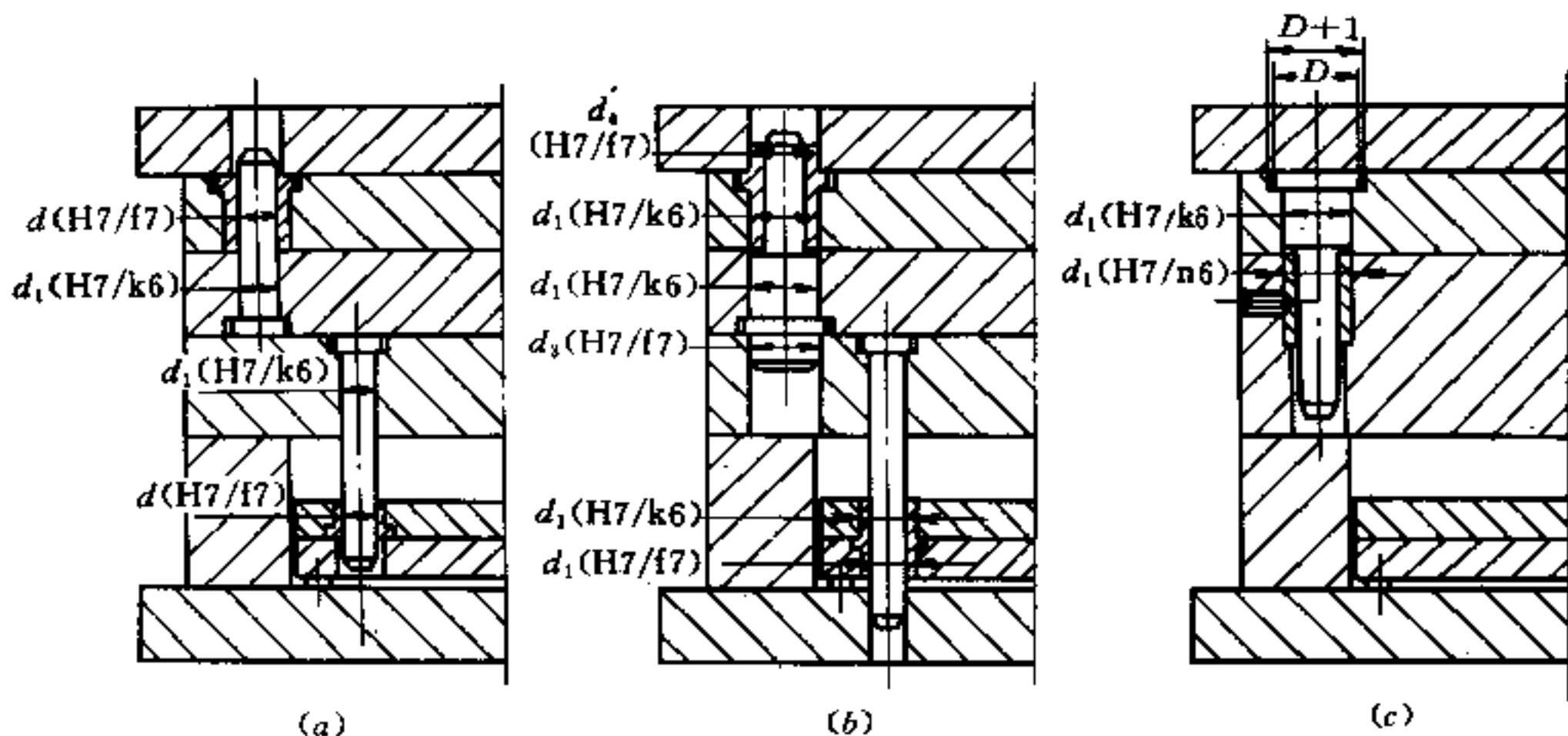


图 4.5-1 导柱导向机构

因此，导向机构的功能有：

(1) 定位作用。为避免模具在装配时，因方向搞错而损坏成型零件，并在模具闭合后，使型腔在工作过程中能保持正确形状和位置；确保塑件壁厚的均匀性。

(2) 导向作用。在动模向定模闭合行进中，导向机构应首先接触，引导动、定模沿准确方向和位置闭合，避免凸模首先进入型腔而发生损伤事故。为此，导柱必须比凸模端面高出 6~8mm，如图 4.5-2(b) 所示；反之，图 4.4-2(a) 属不合理设计。

(3) 承受一定侧压力。高压塑料熔体注入型腔时，会产生单向侧压力。或由于型腔侧面不对称；或由于模具的重心与分型面上成型的几何中心不一致，会产生较大的侧压力，均须由合模导向机构来承担。但当单向侧压力过大时，需增设锥面定位机构来承担。

(4) 支承定模型腔板或动模推件板。对于双分型面注射模，导柱还需支承定模型腔板的重力，也对此板导向和定位。对于脱模机构中设置的导柱，也有此种功能。

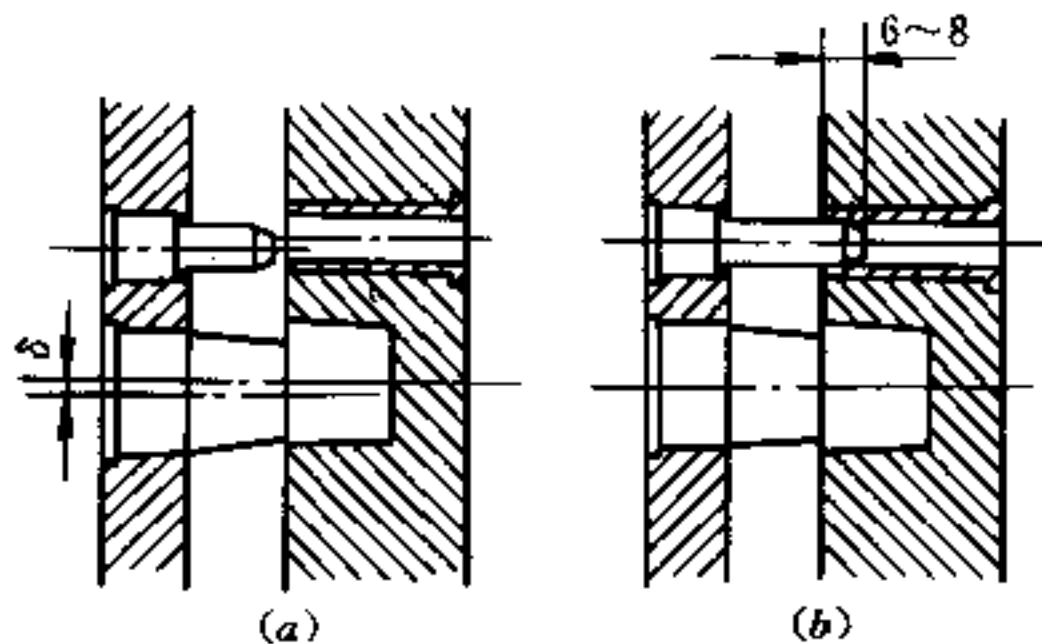


图 4.5-2 导柱的导向作用  
(a)短导柱引起凸模错位；(b)长导柱导向。



### 4.5.2 导柱导向机构

导柱导向机构，包括导柱和导套两个主要零件，分别安装在动、定模两边。

#### 一、导柱和导套设计

导柱的基本结构形式有两种。一种是除安装部分的凸肩外，长度的其余部分直径相同，称带头导柱 GB4169.4—84，见图 4.5-3。另一种是除安装部分的凸肩外，使安装的配合部分直径比外伸的工作部分直径大，称有肩导柱 GB4169.5—84，如图 4.5-4 所示。带头导柱用于生产批量不大的模具，可以不用导套。有肩导柱用于采用导套的大批量生产并高精度导向的模具。装在模具另一边的导套安装孔，可以和导柱安装孔以同一尺寸一次加工而成，保证了同轴度。导柱前端均须有锥形引导部分，并可割有储油槽。导柱直径尺寸随模具模板外形尺寸而定，见表 4.5-1。模板尺寸愈大，导柱间的中心距应愈大，所选导柱直径也应愈大。以下计算式是以型腔板的重量来确定导柱直径，可供设计三板模导向导柱时参考

$$d = 1.6 \left( \frac{WL^3}{En [\delta]} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4.5-1)$$

式中  $d$ ——导柱导向段的直径 (mm)；

$W$ ——型腔板重力 (N)；

$L$ ——导柱导向段的长度 (mm)；

$n$ ——导柱数目；

$E$ ——钢的弹性模量， $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；

$[\delta]$ ——导柱允许的变形量，建议用  $[\delta] = f7$  的公差 (mm)。

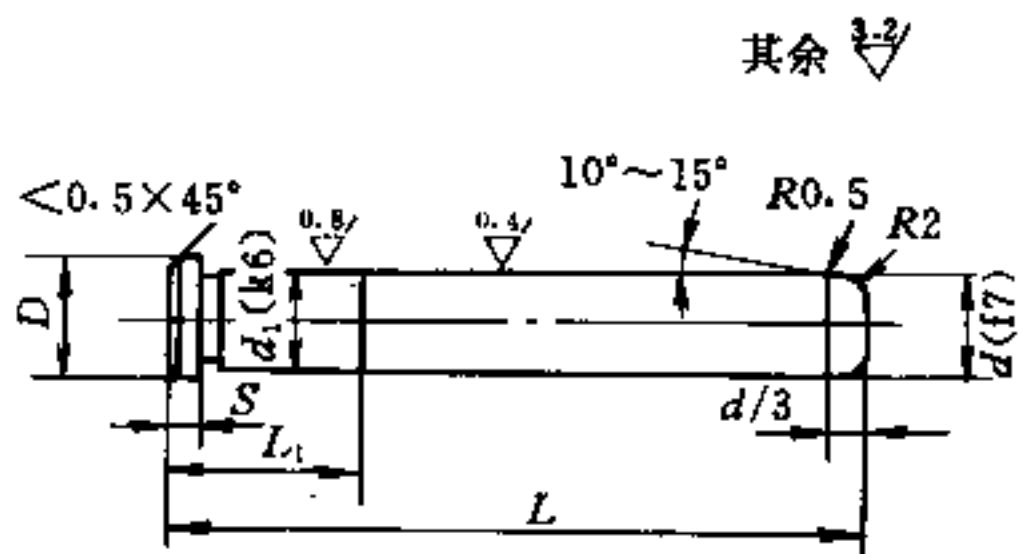


图 4.5-3 带头导柱

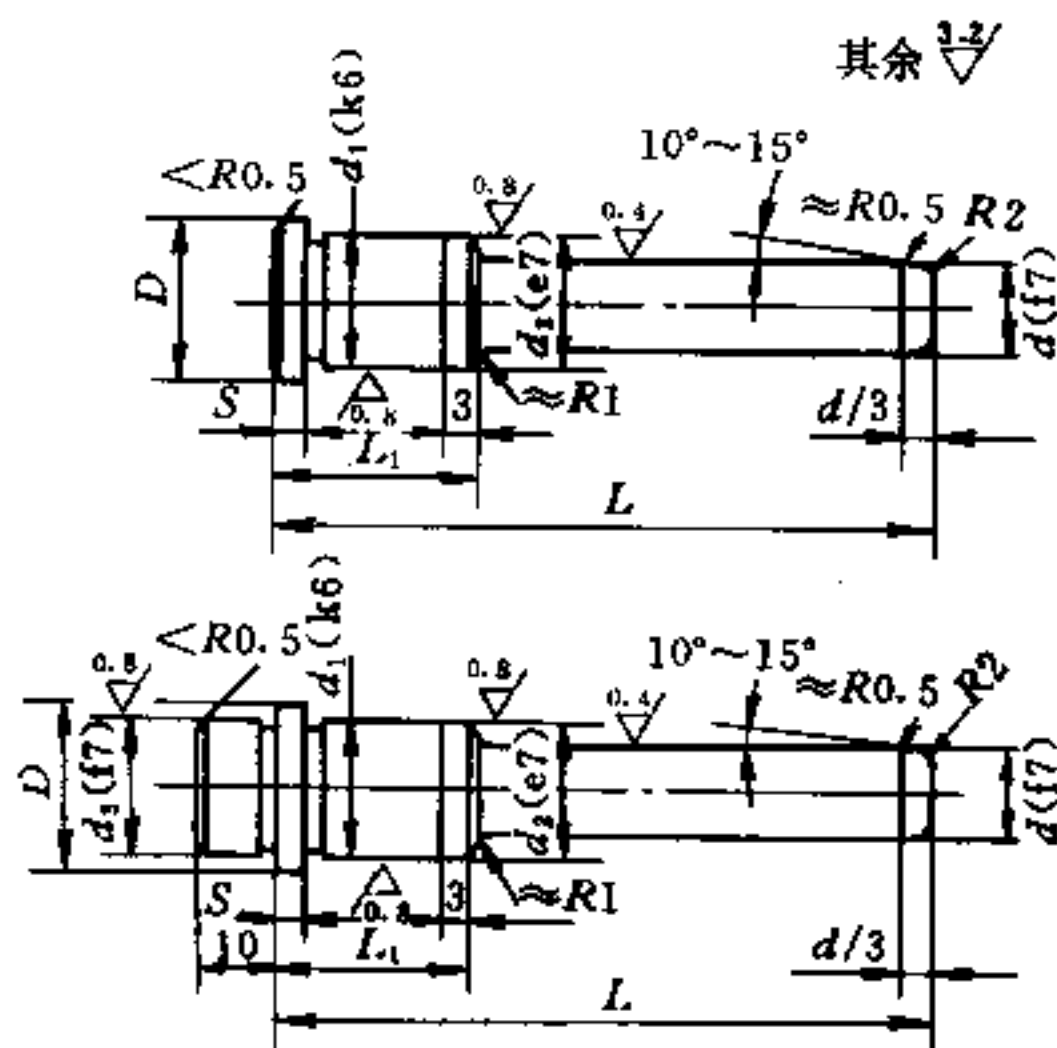


图 4.5-4 有肩导柱

表 4.5-1 导柱直径  $d$  与模板外形尺寸关系 (mm)

模板外形尺寸	$\leq 150$	$> 150 \sim 200$	$> 200 \sim 250$	$> 250 \sim 300$	$> 300 \sim 400$
导柱直径 $d$	$\leq 16$	16~18	18~20	20~25	25~30
模板外形尺寸	$> 400 \sim 500$	$> 500 \sim 600$	$> 600 \sim 800$	$> 800 \sim 1000$	$> 1000$
导柱直径 $d$	30~35	35~40	40~50	60	$\geq 60$

无论带导套或不带导套的导向孔，都应设计为通孔，或专门设计排气槽，以避免模具闭合时空气阻力。导套常用的结构形式也有两种，一种是直导套 GB4169.2—84，见图 4.5-5。直导套常用于厚模板的导向，需与模板上导向孔有较紧配合，防止被导柱拖出，应该有紧定螺钉固定，如图 4.5-1 (c) 所示，导套上有沉坑，也有加工侧向小孔或环形凹槽。另一种是带头导套 GB4169.3—84，见图 4.5-6。带头导套安装需要复以垫板。这种导套长度取决于模板厚度。这两种导套中，孔的工作部分长度一般是孔径的 1~1.5 倍。

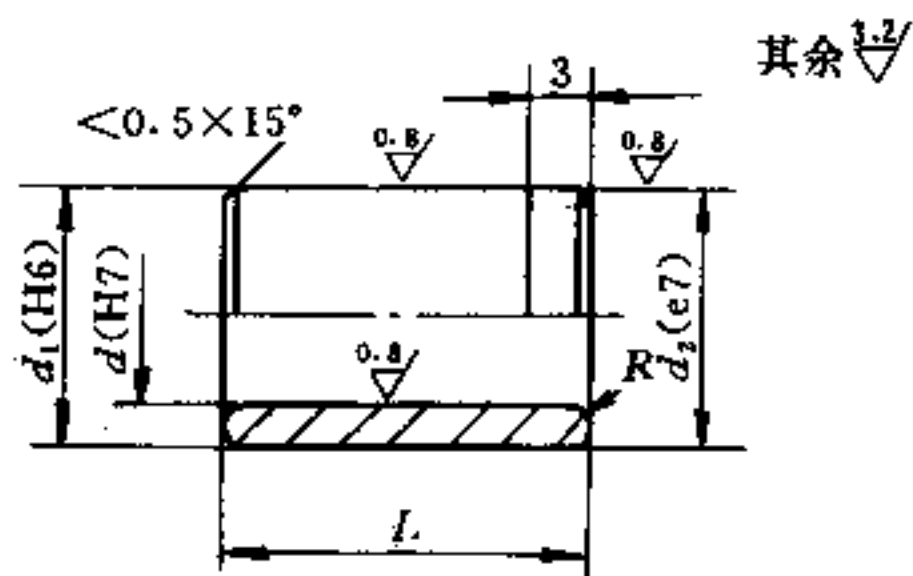


图 4.5-5 直导套

图 4.5-1 为导柱与导套组合实例，导柱与导套孔之间采用 H7/f7 间隙配合；导柱和导套与模板的固定段采用过渡配合 H7/k6 或 H7/n6。

导柱、导套的材料为 T8A 淬硬到 HRC50~55；或用 20 钢渗碳 0.5~0.8mm 厚，淬硬到 HRC56~60。

在装合动模与定模时，为方便，四根导柱布置并非对模板中心对称，其中有一根有 2mm 的偏置。导柱可以安装在动模，也可固定在定模。倘若导柱安装在定模，于动模一边取塑件放嵌件，无导柱妨碍较为方便。一些精密的小模具，为了修磨方便，将导柱设计成用螺钉吊紧端面的易拆结构。

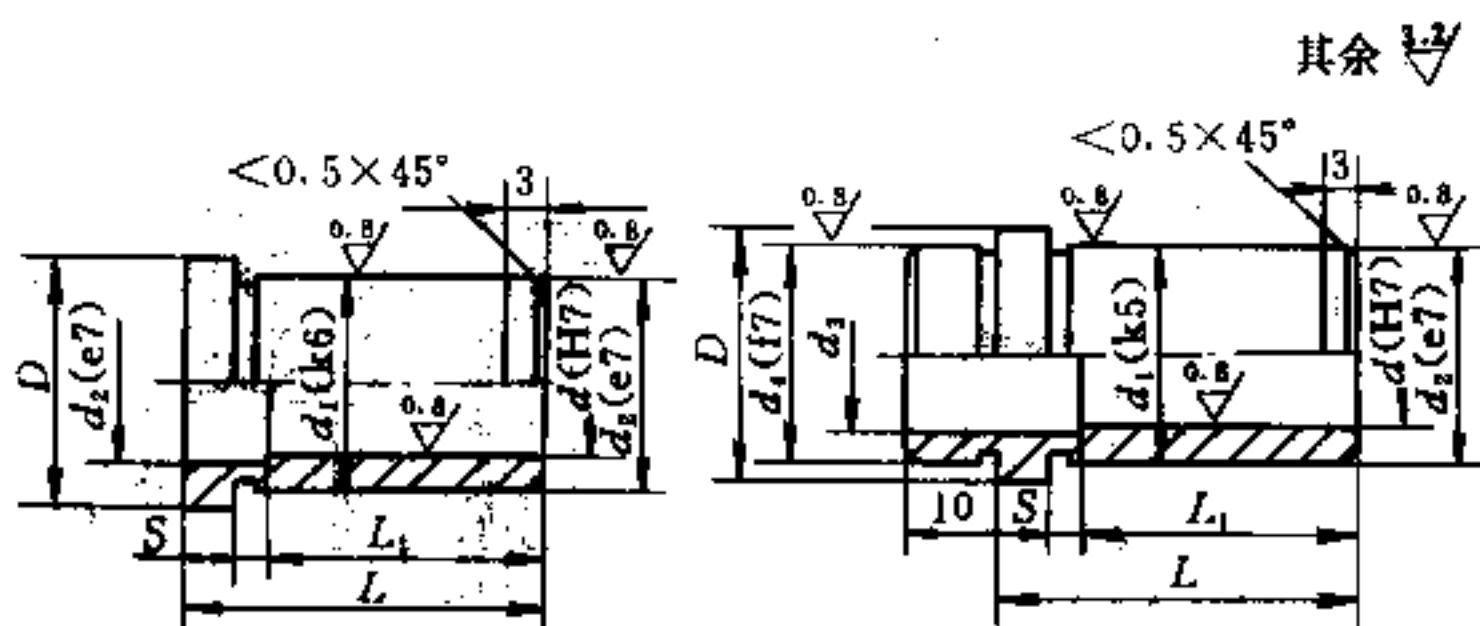


图 4.5-6 带头导套

## 二、导柱与导套的应用实例

根据使用目的和条件，分别配套使用导柱与导套。现参照图 4.5-7，介绍各种应用实例。

图 4.5-7(a) 是对导柱不使用导套的实例。采用这种结构时，定模与动模两块板能同时加工导柱配合孔。由于没有导套，滑动配合孔会很快磨损，因而精密模具不能采用这种结构。图 4.5-7(b) 是带头导柱与带头导套相配的图例。图 4.5-7(c) 是带头导柱配直导套的图例。图 4.5-7(d) 图是带肩导柱配直导套图例。图 4.5-7(e) 图是带肩导柱配带头导套的图例。图 4.5-7(d)、(e) 的实例，也具有两块模板孔能同时加工的优点。

### 4.5.3 锥面定位机构

锥面定位机构多用于大型、深腔和精度要求高的塑件，特别是薄壁易偏心的容器。

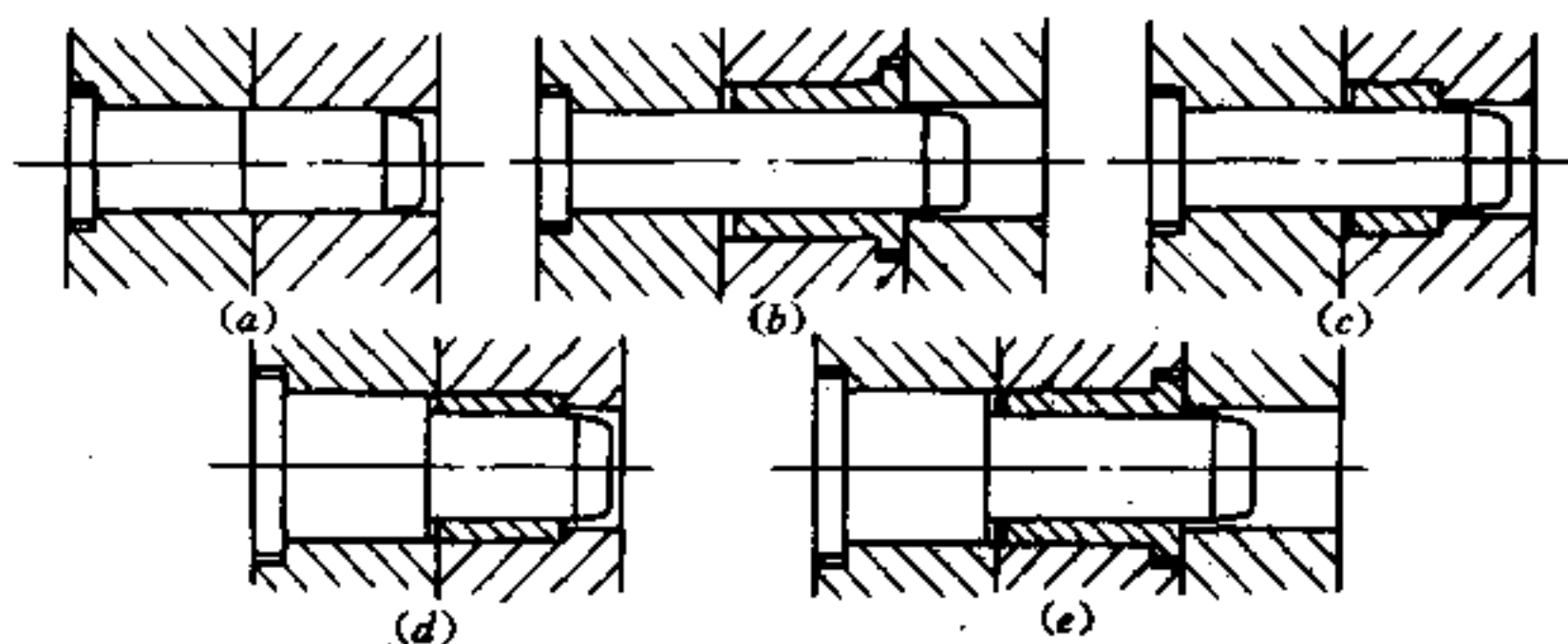


图 4.5-7 导柱与导套的应用实例。

大尺寸制件在注射时，成型压力会使型芯与型腔偏移。侧向压力会使导柱导向过早失去对合精度。过大侧压力不能让导柱单独承受，因此，要用锥面定位，锥面定位同时也提高了模具的刚性。

图 4.5-8 为双锥面定位机构的模具，常用于圆筒类塑件。必须保留导柱导向机构。导柱前部的辅助长度，还有定模板上的导销，均在锥面接触定位前起导向作用。锥面斜角  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，高度在 10mm 以上，两锥面都要淬火处理。图 4.5-9 为单锥面定位机构，常用于矩形型腔的模具。用四条淬硬的斜面镶条，安装在模板上。这种结构加工简单，通过对镶条斜面调整可对塑件壁厚进行修正，磨损后镶条又便于更换。须注意，锥面斜向应该在型腔压力下接触贴合更紧。图 4.5-10 是两种锥面定位的结构。双锥面和单锥面模具的型腔壁厚设计计算，见式 (4.4-36) 和式 (4.4-37)。

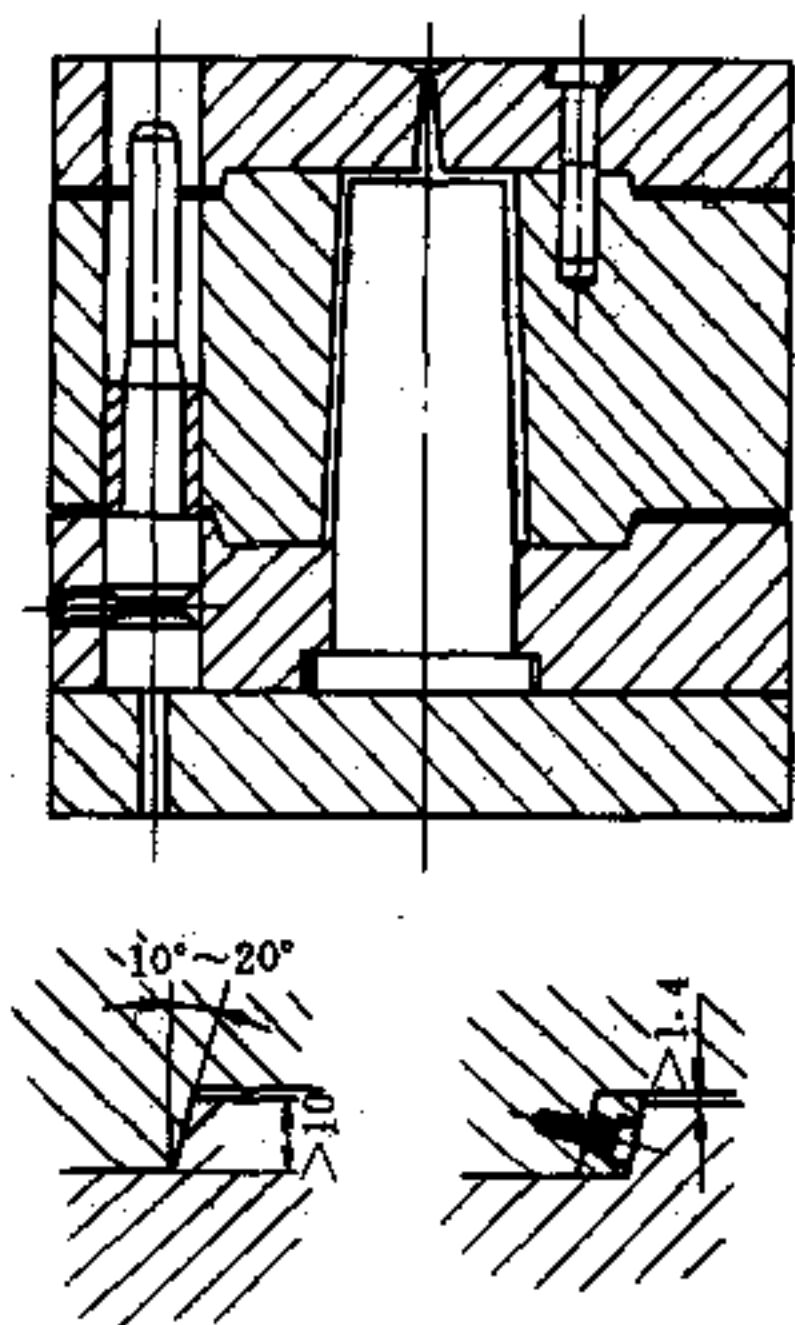


图 4.5-8 双锥面定位机构的注塑模

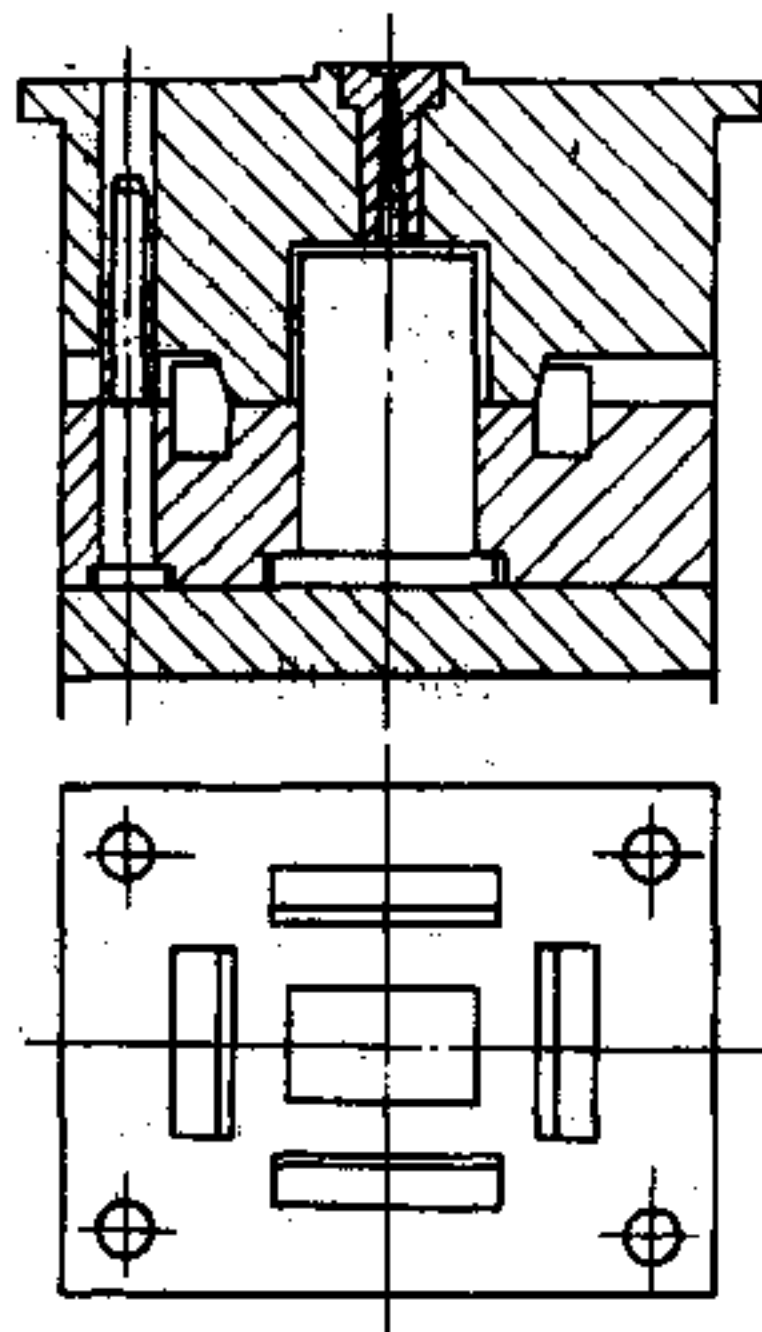


图 4.5-9 单锥面定位机构的注塑模

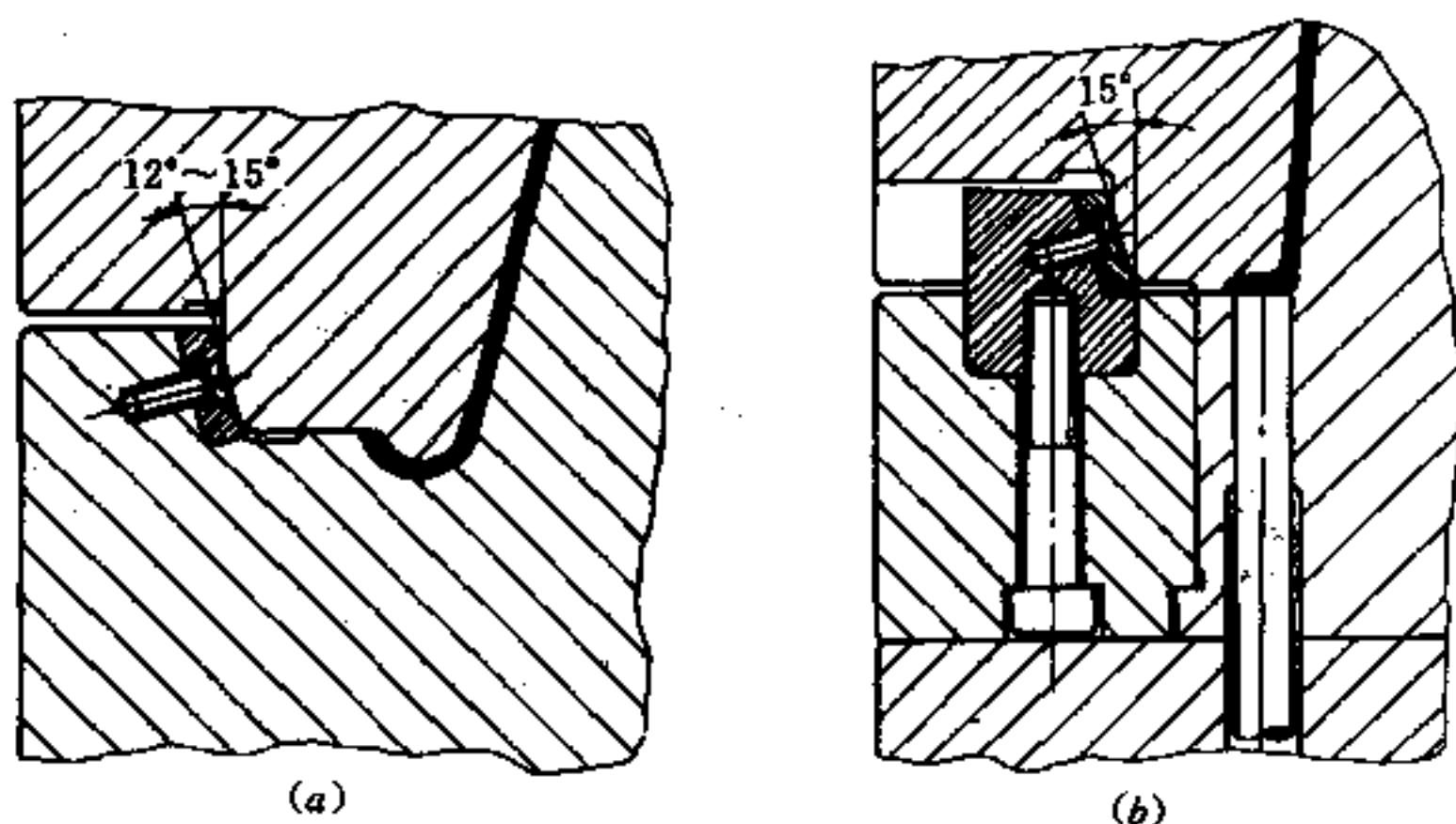


图 4.5-10 锥面定位结构

## 4.6 脱模机构设计

可靠地脱模，让固化的成型塑件完好地从模具中顶出，取决于脱模机构合理设计。

### 4.6.1 开模与脱模

注射模成型过程中的开模力和脱模力，都是由于型腔残余压力使塑料件与型腔和型芯之间产生了接触压力。需要足够的开模力和脱模力，才能让塑件脱离模具。

#### 一、开模过程和开模力

在开模的瞬时，尽管由开模力引起的故障不多，但为把模具设计得完美无瑕，必须了解开模过程并进行开模力的估算。

在开模方向，须克服塑件与型腔壁之间的附着力，称为直接开模力  $F_0$ 。侧向分型开模力和侧向抽拔力，会经斜导柱等零件传递给开模方向，称之为间接开模力，也应该计入总开模力中。本节所讨论的开模力是指直接开模力。

在模具的冷却作用下，塑件在等于或略高于模具温度时开模和脱模的。塑件的体积在收缩之中，与型腔和型芯表面之间存在接触压力。在开模后达到  $10^2 \text{kPa}$  前，塑件处于高压状态，致使塑件与型腔壁之间存在正压力。又由于型腔压力使型腔壁厚和型芯产生弹性变形，也加剧了塑件与模具之间的接触压力。如图 4.6-1 所示，不同刚性的模具对型腔中  $P-V-T$  的影响。

因此，开模力  $F_0$  的计算式为

$$F_0 = fp_r A_r \quad (4.6-1)$$

式中  $f$ ——塑件与模具表面间的静摩擦系数；

$p_r$ ——开模瞬时塑件与模具接触表面间的接触压力；

$A_r$ ——塑件和模壁间的接触面积。

图 4.6-1 上  $P-V-T$  曲线，开模时的残余压力  $P_r$  与接触压力  $p_r$  间存在  $p_r = P_r - 10^5 \text{Pa}$ 。

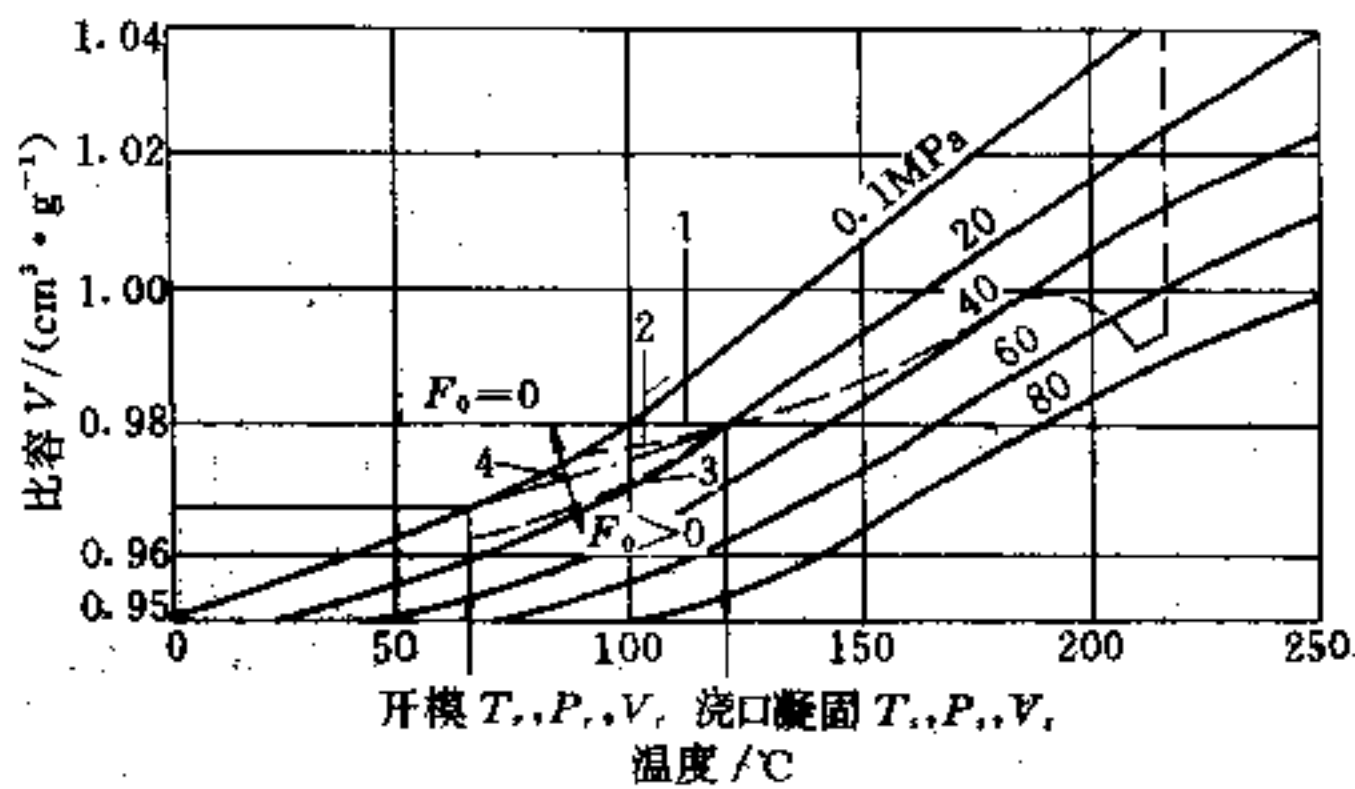


图 4.6-1 不同刚性模具对型腔中  $P-V-T$  的影响

1—理想的刚性模具；2—模具弹性变形下的实际状态曲线；  
3—低刚性模具；4—开模力  $F_0 > 0$  和  $F_0 = 0$  状态界限线。

如图 4.6-2 所示，由  $x$  方向刚度条件得

$$\Delta X_s = \delta_f + \delta_c \quad (4.6-2)$$

式中  $\Delta X_s$ ——浇口凝固时  $x$  方向模具型腔的变形量；

$\delta_f$ ——浇口凝固时  $x$  方向型腔壁的变形量；

$\delta_c$ ——浇口凝固时  $x$  方向型芯的变形量。

由型腔中塑件的相对体积关系

$$\frac{\Delta V}{V_s} = \frac{V_s - V_r}{V_s} \quad (4.6-3)$$

式中  $V_s$ ——塑件在浇口凝固时体积；

$V_r$ ——塑件在开模时体积。

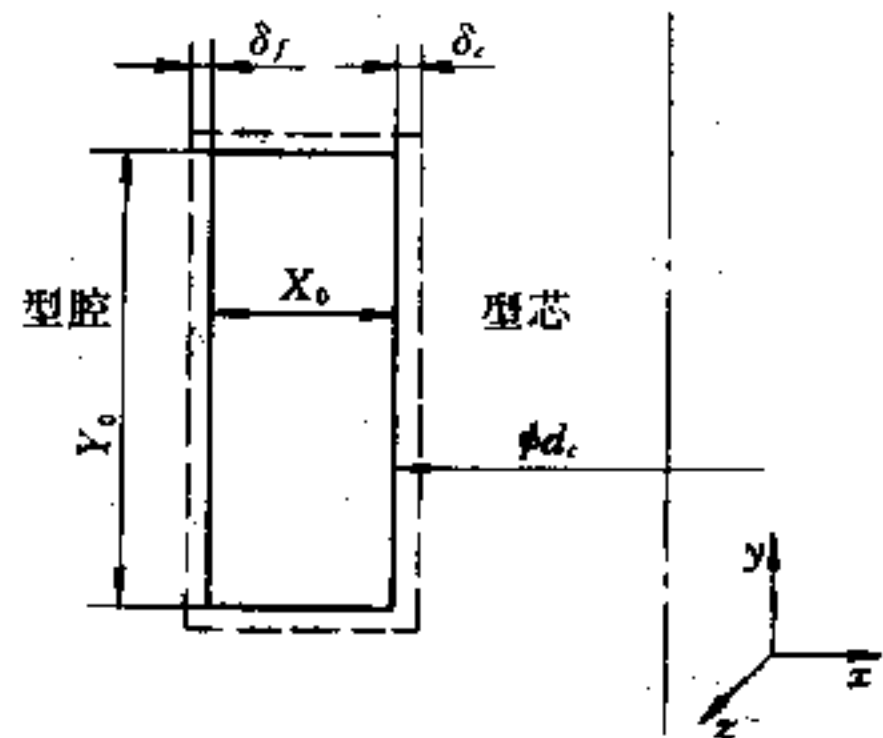


图 4.6-2 型腔的变形状态

如图 4.6-2 所示，在浇口凝固时，三维薄壳塑件的体积是

$$V_s = (X_0 + \Delta X_s) (Y_0 + \Delta Y_s) (Z_0 + \Delta Z_s) \quad (4.6-4)$$

$X_0$ 、 $Y_0$  和  $Z_0$  为开模时大气压下塑件尺寸。 $X_0 + \Delta X_s$ 、 $Y_0 + \Delta Y_s$  和  $Z_0 + \Delta Z_s$  为浇口凝固时塑件尺寸。对这二个状态，塑件体积变量为

$$\Delta V = \Delta V_x + \Delta V_y + \Delta V_z$$

塑件为圆筒形。在圆周切向  $\Delta V_x = 0$ ，在深度  $y$  方向受到固化表层的摩擦限制  $\Delta V_y < \Delta V_x$ 。所以  $\Delta V_x > 0.5\Delta V$ ，从安全考虑  $\Delta V_x = 0.5\Delta V$ ，由此得

$$\Delta V = 2\Delta V_x = 2(\Delta X_s - \Delta X_r)(Y_0 + \Delta Y_s)(Z_0 + \Delta Z_s) \quad (4.6-5)$$

式中， $\Delta X_r$ ——开模时  $x$  方向模具型腔变形量。将式 (4.6-4) 和式 (4.6-5) 代入式 (4.6-3) 得

$$\frac{2(\Delta X_s - \Delta X_r)}{X_0 + \Delta X_s} = \frac{V_s - V_r}{V_s} \quad (4.6-6)$$

再由胡克定律

$$\frac{P_r}{P_s} = \frac{\Delta X_r}{\Delta X_s} \quad (4.6-7)$$

式中,  $P_s$ ——浇口凝固时模具型腔压力。

$P_s$  值可由压力传感器实测。将 (4.6-7) 式代入 (4.6-6) 式, 则开模时残余压力

$$P_r = P_s \left( 1 - \frac{V_s - V_r}{2V_s} - \frac{(V_s - V_r) X_0}{2V_s \Delta X_s} \right) \quad (4.6-8)$$

塑件质量  $m$  为定值, 图 4.6-1 上比容  $V$  与上述各体积成正比。因此对照分析可知, 开模力的大小由下述因素决定:

(1) 浇口冻结时的型腔压力  $P_s$  和开模时间决定了开模时型腔的残余压力  $P_r$ 。因此, 过大的保压压力, 过早开模会使开模时塑件与模具表面间的接触压力  $p_r$  过大。

(2) 模具的刚性, 包括型腔壁厚和型芯的刚度不足, 会使接触压力  $P_r$  增大。

(3) 在一定的型腔体积下, 型腔间隙  $X_0$  即塑件壁厚愈大, 相比之下接触压力  $P_r$  愈小。

(4) 开模力  $F_0$  随接触压力  $P_r$ 、接触面积  $A_r$  和静摩擦系数  $f$  的增加而增大。

## 二、脱模机构的设计要求

脱模在开模的后期, 常见脱模过程是塑件滞留在动模边, 通过脱模机构的顶出动作, 将塑件从主型芯上脱出。

### 1. 脱模机构的组成

图 4.6-3 为典型脱模机构顶出的位置。它主要由八种零件组成。图示顶出零件是顶杆, 直接与塑件接触。顶杆由顶出固定板和顶出板经螺栓连接后被夹固。注射机上顶柱作用在顶出板上, 经顶杆传递脱模力将塑件从型芯上推出。为使顶出平稳, 减小顶出零件变形, 避免卡滞和过分磨损, 应设置导柱导套实施导向。勾料杆在开模瞬间勾住浇注系统的凝料, 使其随同塑件留在动模, 脱模时再将凝料顶出。在合模时回程杆被定模分型面撞击, 使整个脱模机构复位。有的模具装有挡销。调整挡销的厚度可控制顶杆的位置。在立式注射机上, 挡销所形成空隙可避免废杂物影响。

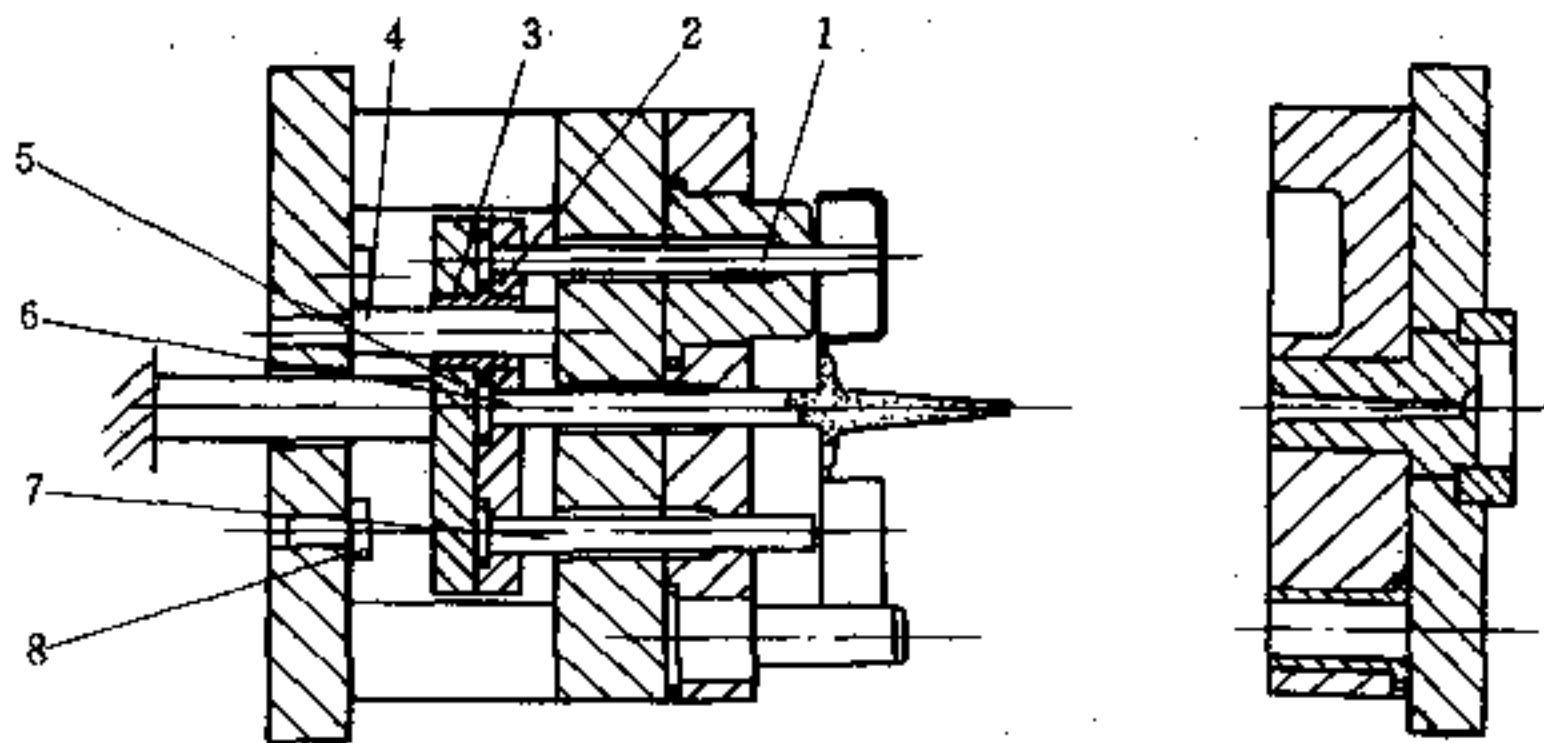


图 4.6-3 顶出位置的脱模机构

1—顶杆; 2—顶出固定板; 3—导柱; 4—导套; 5—顶出板; 6—勾料杆; 7—回程杆; 8—挡销。

## 2. 设计要求

- (1) 尽可能让塑件留在动模, 使脱模机构易于实现;
- (2) 不损坏塑件, 不因脱模而使塑件质量不合格;
- (3) 塑件被顶出位置应尽量在塑件内侧, 以免损伤塑件外观;
- (4) 脱模零件配合间隙合适, 无溢料现象;
- (5) 脱模零件应有足够的强度和刚度;
- (6) 脱模机构要工作可靠, 运动灵活, 制造容易, 配换方便。

为实现注塑生产的自动化, 必要时不但塑件要实现自动坠落, 还要使浇注系统凝料能脱出并自动坠落。优秀的设计还应以简单易行结构达到以上要求。

## 三、脱模机构分类

### 1. 按动力来源分类

(1) 手工脱模 当模具分型后, 用人工操纵脱模。用于产量很少的小型塑件, 或从无脱模机构的定模一边脱模。

(2) 机动脱模 依靠注射机的开模动作, 用固定的顶柱驱动动模边脱模机构。若要在定模边实现机动脱模, 须移动的动模经拉杆或链条牵引定模边的脱模机构。

(3) 液压脱模 用注射机上液压顶出油缸, 或专门在模具上设置液压油缸。由液压系统控制, 油缸的柱塞驱动脱模。液压脱模动力大, 传动平稳, 在大型模具上使用广泛。

(4) 气动脱模 利用压缩空气将塑件推出。

### 2. 按结构分类

由于塑件的形状结构多样, 脱模机构有众多类型。形状简单的塑件只需一个动作就可脱出, 称为简单脱模机构。形状复杂的塑件需要有两个脱模动作, 因此有双向脱模机构、顺序脱模机构、二级脱模机构浇注系统凝料的脱出和自动坠落机构。

## 4.6.2 脱模力计算

将注塑件从型芯上脱出, 是注射成型的最后环节。为使脱模可靠, 不损坏制件和模具, 进而实现自动脱模, 就必须计算脱模力作为注塑模脱模机构的设计依据。

脱模力是注塑件通常从动模边的主型芯上分离时所需施加的外力。它包括型芯包紧力、真空吸力、粘附力和脱模机构本身的运动阻力。包紧力是指塑件在冷却固化中, 因体积收缩而产生的对型芯的包紧。真空吸力是指闭式壳类塑件, 脱模中塑件与型芯间形成真空腔, 与大气压的压差产生的阻力。粘附力是指脱模时, 塑料件表面与模具钢材表面的吸附。

因为脱模力的计算理论和测量较为复杂, 这里分别阐述简单估算法和分析计算法。

### 一、简单估算法

脱模力  $Q_c$  由两部分组成, 即

$$Q_c = Q_c + Q_b \quad (4.6-9)$$

式中  $Q_c$ ——克服塑件对型芯包紧的脱模阻力 (N);

$Q_b$ ——一端封闭壳体需克服的真空吸力 (N)。

其中

$$Q_b = 1\text{bar} \cdot A_b = 0.1\text{MPa} \cdot A_b$$

式中  $A_b$ ——型芯的横断面面积 ( $\text{mm}^2$ )。



在脱模力计算中  $t/d_{cp} \leq \frac{1}{20}$ , 即  $\lambda = \frac{r_{cp}}{t} \geq 10$  为薄壁塑件。反之, 为厚壁塑件。如图 4.6-4 所示,  $t$  为塑件壁厚 (mm);  $d_{cp}$  和  $r_{cp}$  为型芯的平均直径和半径 (mm)。有克服包紧脱模阻力计算式:

薄壁圆筒塑件

$$Q_c = \frac{2\pi E s t h K_f}{1 - \mu} \quad (4.6-10)$$

厚壁圆筒塑件

$$Q_c = \frac{2\pi r_{cp} E s h K_f}{(1 + \mu + K_\lambda) \cos \beta} \quad (4.6-11)$$

薄壁矩形塑件

$$Q_c = \frac{8 + E s h K_f}{1 - \mu} \quad (4.6-12)$$

厚壁矩形塑件

$$Q_c = \frac{2(l+b) E s h K_f}{(1 + \mu + K_\lambda) \cos \beta} \quad (4.6-13)$$

式中  $E$ ——塑料材料的拉伸弹性模量 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ), 参考表 18.1-4;

$s$ ——塑料的平均成型收缩率, 见表 18.1-4;

$\mu$ ——塑料材料的泊松比, 见表 18.1-4;

$\beta$ ——型芯的脱模斜度;

$h$ ——型芯脱模方向高度 (mm);

$l$ 、 $b$ ——矩形型芯断面的二边长度 (mm)。

计算中, 将  $r_{cp} = \frac{l+b}{\pi}$  作为矩形型芯的折算半径。上式中,  $K_f$  为脱模斜度修正系数。其计算式为

$$K_f = \frac{f \cos \beta - \sin \beta}{1 + f \sin \beta \cos \beta} \quad (4.6-14)$$

式中  $f$ ——塑件与钢表面之间的静摩擦系数, 见表 18.1-4。

式 (4.6-11) 和式 (4.6-13) 中,  $K_\lambda$  为厚壁塑件的计算因子

$$K_\lambda = \frac{2\lambda^2}{\cos \beta + 2\lambda \cos \beta} \quad (4.6-15)$$

【例】ABS 圆管塑件, 内径 10mm, 壁厚 2mm, 高 35mm, 脱模斜度很小。求脱模力。

【解】 $r = 5\text{mm}$ ,  $t = 2\text{mm}$ ,  $h = 35\text{mm}$ ,  $\beta = 0$ 。由表 18.1-4 查得  $E = 2 \times 10^3 \text{N}/\text{mm}^2$ ,  $s = 0.006$ ,  $f = 0.4$ ,  $\mu = 0.3$ 。又  $Q_b = 0$ 。 $\lambda = \frac{r}{t} = \frac{5}{2} < 10$  为厚壁圆筒塑件。

由式 (4.6-14)

$$K_f = \frac{0.4}{1+0} = 0.4$$

由式 (4.6-15)

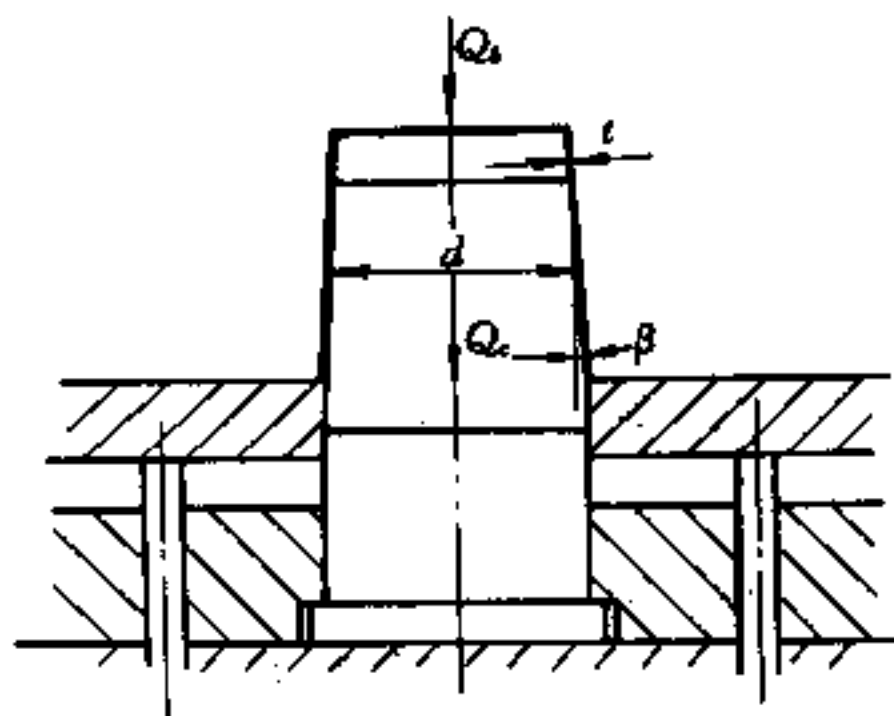
$$K_\lambda = \frac{2 \times 2.5^2}{1 + 2 \times 2.5} = 2.08$$


图 4.6-4 脱模力组成示意图

$$\text{由式 (4.6-11) } Q_e = Q_c = \frac{2\pi \times 5 \times 2 \times 10^3 \times 0.006 \times 35 \times 0.4}{1 + 0.3 + 2.08} = 1562\text{N}$$

在塑料的泊松比无法查找时, 允许以  $\mu \approx 0.35$  代入。简单计算法的特点是, 应用室温下的材料性能数据, 这些数据大都容易获得。但它属于经验计算, 与实验结果比较, 除了薄壁圆筒塑件的脱模力较相符合外, 其他情况下的脱模力数值均偏大。这是因为这些计算公式没有考虑注塑工艺条件和塑件的几何因素。

## 二、薄壁塑件脱模力计算

现代的脱模力计算已应用计算机程序, 依靠塑料材料性能数据库进行。

### 1. 薄壁圆筒制件的脱模力

应先求出制件包紧型芯的表面正压力, 称为表面接触压力或脱模应力  $p_c$  ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )。可按二向应力状态, 作为薄壁圆筒进行力学分析, 可得塑件壁内周向应力

$$\sigma_r = \frac{p_c d}{2t} \quad (4.6-16)$$

因冷却收缩, 圆筒轴线方向所需脱模力为

$$Q_c = f_c p_c A_c \quad (4.6-17)$$

式中,  $A_c$  为决定脱模力的几何因素, 指塑件包紧型芯的有效面积 ( $\text{mm}$ )。圆筒塑件有  $A_c = \pi dh$ 。  $f_c$  是塑件与钢型芯表面间的脱模系数, 它是注塑件在脱模温度下的一种静摩擦系数。它受高分子熔体经高压在钢表面固化中粘附的影响。

薄壁圆筒塑件在模内冷却过程中, 存在周向应力  $\sigma_r$ , 径向薄壁收缩应力可略而不计。塑件沿脱模方向的轴向应力  $\sigma_z$ , 处于半自由状态, 故  $\sigma_z = 0.5\sigma_r$ 。根据广义胡克定律, 周向收缩变形会被轴向收缩抵消一部分。因此, 总的周向变形是

$$\epsilon_r = \frac{\sigma_r}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} = \frac{\sigma_r}{E} (1 - 0.5\mu)$$

式中,  $E$  和  $\mu$  为塑料材料在脱模温度下的抗拉弹性模量和泊松比。由此得周向应力

$$\sigma_r = \frac{E\epsilon_r}{1 - 0.5\mu} \quad (4.6-18)$$

$\epsilon_r$  也是周向的单位收缩量, 其热收缩计算式

$$\epsilon_r = \alpha (T_{P=1} - T_j)$$

式中,  $\alpha$  是该塑料的线膨胀系数 ( $1/^\circ\text{C}$ );  $T_{P=1}$  是假设模腔压力降到大气压时, 模内塑件开始收缩的温度, 可理解为最大热应力温度。温度  $T_{P=1}$  需专门实验测定, 工程计算中可用热变形温度近似替代。施力  $0.46\text{N}/\text{mm}^2$  的热变形温度  $T_f$  ( $^\circ\text{C}$ ) 与该温度更为接近。将此  $T_f$  称为软化温度。  $T_j$  是脱模顶出时的塑件温度 ( $^\circ\text{C}$ )。所以有

$$\epsilon_r = \alpha (T_f - T_j) \quad (4.6-19)$$

在现代计算机计算时, 用型腔的  $P$ - $V$ - $T$  状态方程求出体积收缩率

$$S_V = \frac{V_{(T_{P=1})} - V_{(T_j)}}{V_{(T_{P=1})}} \quad (4.6-20)$$

再由

$$k = \frac{\epsilon_r}{S_V}$$

有 ABS 其  $k \approx 0.43$ , PS 的  $k \approx 0.7$ , PP 的  $k \approx 0.6$ 。由周向收缩和体积收缩比值  $k$  可得周向收缩

$$\varepsilon_r = kS_V \quad (4.6-21)$$

将式 (4.6-19) 代入式 (4.6-18), 再代入 (4.6-16) 式和 (4.6-17) 式, 可得薄壁圆筒塑件的收缩脱模力计算式

$$Q_c = \frac{2\pi K f_c \alpha E (T_f - T_j) t h}{1 - 0.5\mu} \quad (4.6-22)$$

式中, 物理参量  $f_c$ 、 $\alpha$ 、 $E$ 、 $T_f$ 、 $T_j$  和  $\mu$  可查表 4.6-1; 斜度修正系数  $K$  见式 (4.6-24) 或查图 4.6-6。

大部分塑料的泊松比  $\mu$  在 0.3~0.4 之间, 现取  $\mu = 0.35$ 。脱模力还受到注射工艺参数诸因素的影响。据实验资料分析, 大致有 10%~40% 的影响程度。因此乘上工艺影响系数 1.25, 可得薄圆筒塑件收缩脱模力实用计算式

$$Q_c = 10K f_c \alpha E (T_f - T_j) t h \quad (4.6-23)$$

## 2. 型芯具有斜度的脱模力计算

见图 4.6-5, 在脱模斜度  $\beta \neq 0$ , 有收缩脱模力

$$Q_c = q A_{c\beta}$$

$q$  为单位面积的抽拔力, 与脱模方向相反。 $A_{c\beta}$  为型芯圆台的表面积

$$A_{c\beta} = \frac{2\pi r_{cp} h}{\cos\beta} = \frac{A_c}{\cos\beta}$$

假定塑件不动, 视型芯为研究对象并抽出脱离。于塑件平均内径  $r_{cp}$  处的微小单元上,  $F$  是脱模时的单位摩擦力。 $p_{c\beta}$  是  $\beta \neq 0$  时, 塑件与型芯间表面接触应力

$$p_{c\beta} = p_c \cos\beta$$

在抽拔时, 在  $q$  作用下接触应力  $p_{c\beta}$  降低了  $q \sin\beta$ , 故有

$$F = f_c (p_{c\beta} - q \sin\beta)$$

由轴线方向列出平衡方程式,  $\sum F_x = 0$

$$F \cos\beta = q + p_{c\beta} \sin\beta$$

该二式联立后得

$$q = \frac{p_{c\beta} (f_c \cos\beta - \sin\beta)}{1 + f_c \sin\beta \cdot \cos\beta}$$

由此, 可推导得脱模斜度系数

$$K = \frac{f_c \cos\beta - \sin\beta}{f_c (1 + f_c \sin\beta \cdot \cos\beta)} \quad (4.6-24)$$

若  $\beta = 0$ ,  $K = 1$ ;  $\beta > 0$ ,  $K < 1$ 。  $K$  值不但随  $\beta$  增大而减小, 而且还随  $f_c$  的增大而增加, 见图 4.6-6 的估算线。由前关系式, 收缩脱模力

$$Q_c = q \cdot A_{c\beta} = f_c p_{c\beta} A_{c\beta} K = f_c p_c A_c K$$

式中  $A_c$  在  $\beta \neq 0$  时, 为平均  $r_{cp}$  所构成的假想圆柱表面积。因此对圆筒塑件

$$A_c = 2\pi r_{cp} h$$

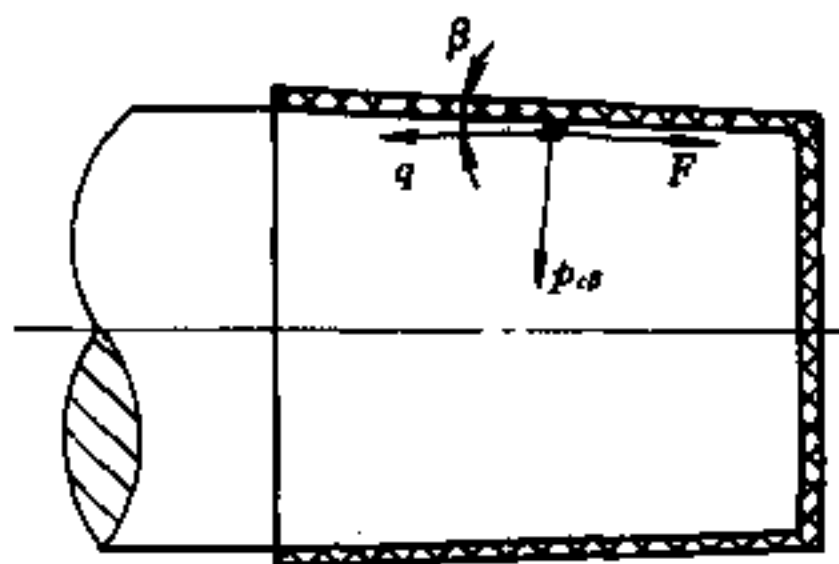


图 4.6-5 收缩脱模力分析

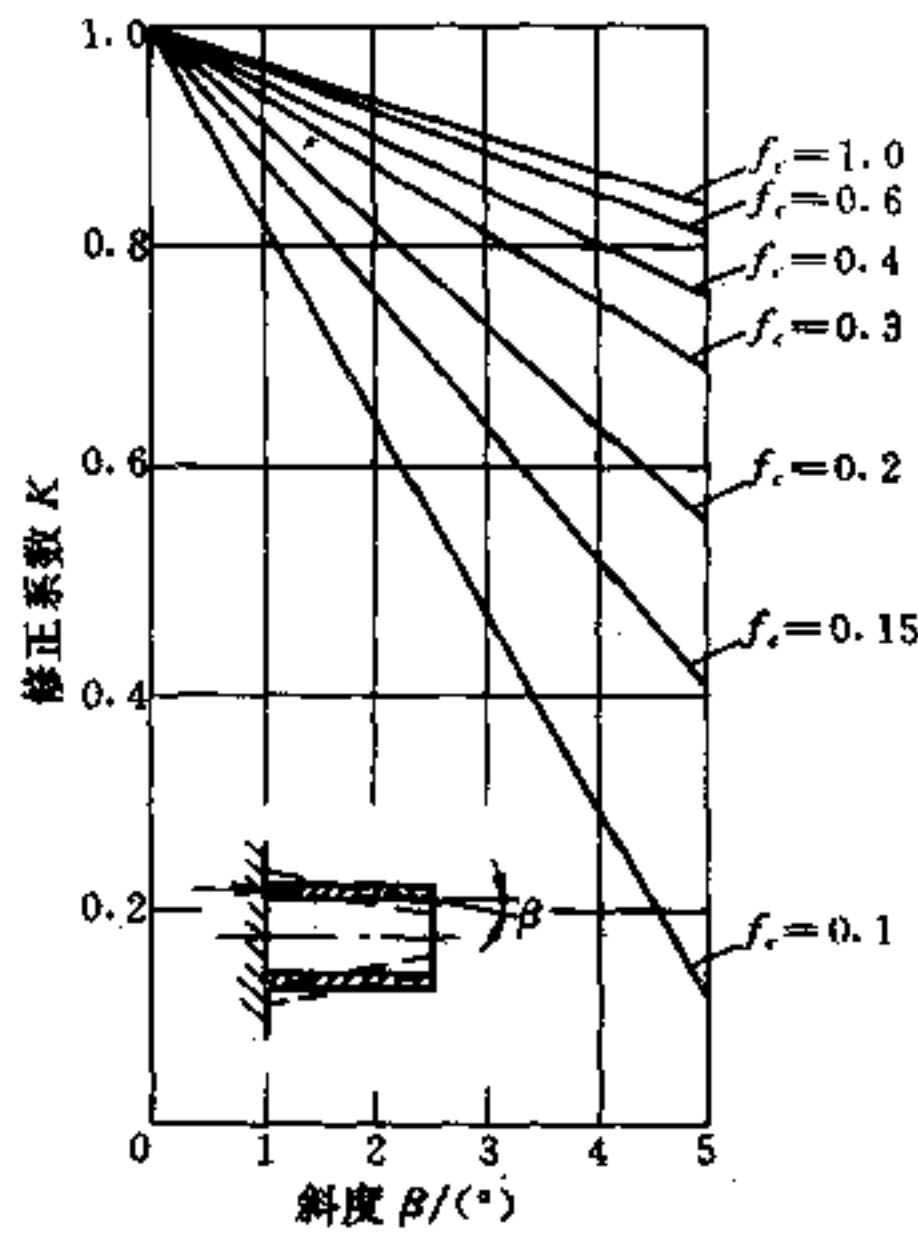


图 4.6-6  $\beta < 5^\circ$  的脱模斜度修正系数  $K$  的线图

3. 薄壁矩形塑件盒的脱模力计算

$l$ 、 $b$  分别为矩形塑件内壁长度、宽度， $h$  为脱模方向型芯高。仍按二向应力状态进行分析。如图 4.6-7 所示，以矩形断面的对称剖面作为坐标轴，在包含  $x$  轴坐标的轴平面截取。

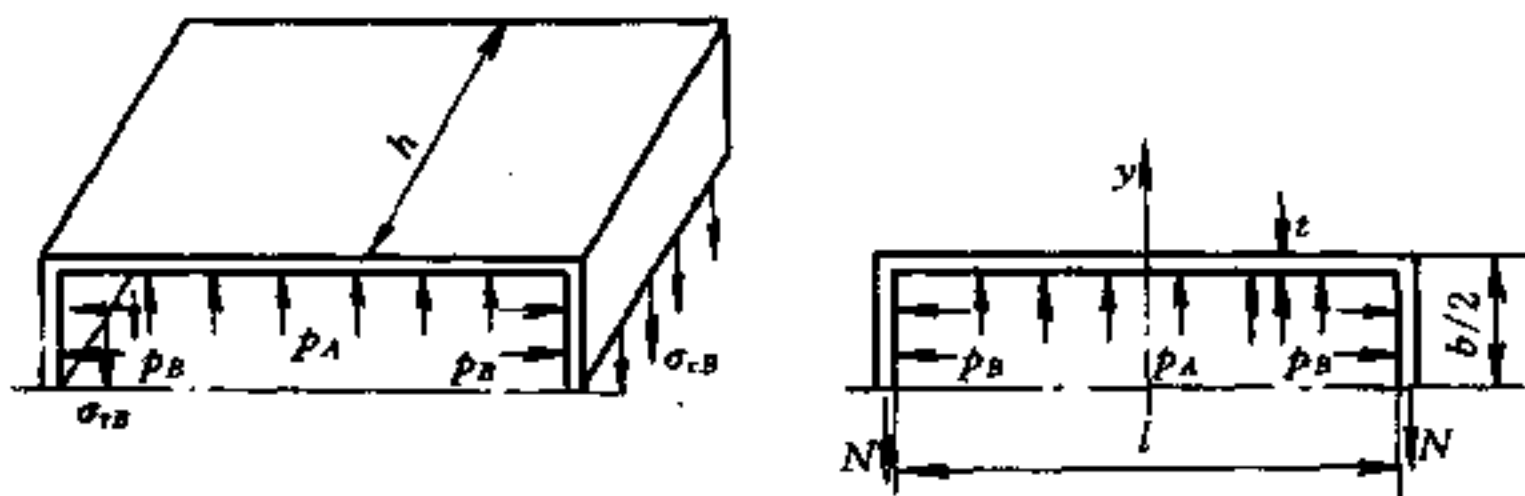


图 4.6-7 薄壁矩形盒的应力分析之一

由平衡条件  $\sum y = 0$ ，得

$$2\sigma_{rB}t h - p_A l h = 0$$

可得接触压力

$$p_A = \frac{2t\sigma_{rB}}{l} \quad (4.6-25A)$$

再以包含  $y$  轴坐标的轴平面截取，如图 4.6-8 所示。由平衡条件  $\sum X = 0$ ，得

$$2\sigma_{rA}t h - p_B b h = 0$$

有接触压力

$$p_B = \frac{2t\sigma_{rA}}{b} \quad (4.6-25B)$$

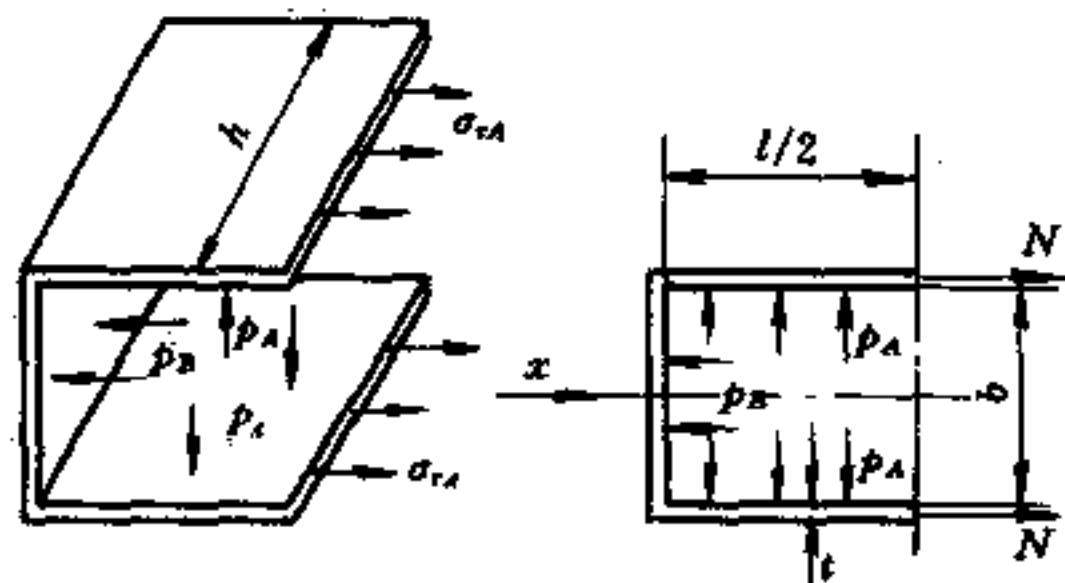


图 4.6-8 薄壁矩形盒的应力分析之二

假设塑件壁为连续弹性体，壁内周向应力相同，即

$$\sigma_r = \sigma_{rA} = \sigma_{rB}$$

代入式 (4.6-25A) 和式 (4.6-25B) 后得

$$p_A = \frac{2t\sigma_r}{l} \text{ 和 } p_B = \frac{2t\sigma_r}{b}$$

$p_A$  并不等于  $p_B$ 。对于两个长边和短边，分别计算收缩脱模力  $Q_A$  和  $Q_B$ 。对应的侧向接触面积分别为  $A' = 2lh$  和  $B' = 2bh$ 。因而可得

$$Q_A = f_c p_A A' = f_c (4t) \sigma_r h$$

和

$$Q_B = f_c p_B B' = f_c (4t) \sigma_r h$$

所以，可得收缩脱模力是

$$Q_c = Q_A + Q_B = 8f_c t \sigma_r h \quad (4.6-25C)$$

塑件在型芯高度方向轴向应力  $\sigma_z$ ，由于收缩处于半自由状态， $\sigma_z = 0.5\sigma_r$ 。薄壁壳体的径向应力  $\sigma_r = 0$ 。代入广义胡克定律得

$$\sigma_r = \frac{E \epsilon_r}{1 - 0.5\mu}$$

将此代入式 (4.6-25C)，并计入脱模斜度，得薄壁矩形盒的收缩脱模力计算式

$$Q_c = \frac{8Kf_c \alpha E (T_f - T_j) th}{1 - 0.5\mu} \quad (4.6-25D)$$

取  $\mu = 0.35$ ，再乘工艺系数 1.25，得薄壁矩形盒塑件脱模力的实用计算式

$$Q_c = 12Kf_c \alpha E (T_f - T_j) th \quad (4.6-26)$$

式中，物理参量  $f_c$ 、 $\alpha$ 、 $E$ 、 $T_f$ 、 $T_j$  和  $\mu$  可查表； $K$  见式 (4.6-24) 或图 4.6-6。

将矩形盒的脱模几何因素折算成圆筒塑件的几何因素，常用来推导矩形盒的脱模力计算公式；并以折算直径  $d_k$  来判断矩形盒是否为薄壁。将式 (4.6-16) 与式 (4.6-25C) 联立，有

$$p_c A_c = \frac{2t\sigma_r}{d_k} A_c = 8\sigma_r th$$

可得  $\frac{A_c}{d_k} = 4h$ ，又矩形盒  $A_c = 2(l+b)h$ ，所以折算直径应为

$$d_k = \frac{l+b}{2} \quad (4.6-27)$$

#### 4. 脱模力计算参量确定和计算实例

脱模力计算中物理参量的正确确定是困难的。塑料的抗拉弹性模量  $E$ ，随着温度上升而下降；而热膨胀系数  $\alpha$  却随温度升高而增大。这对聚酰胺类塑料较明显，因此表 4.6-1 中三种聚酰胺的  $E$  值为室温时的四分之三。

其中脱模系数  $f_c$  的确定最为复杂。表 4.6-1 所列  $f_c$  大于钢与塑料滑动系数的 2 倍以上。脱模系数与模壁温度、保压压力、冷却时间、开模时型腔压力，以及顶杆速度等工艺条件有关。脱模系数还与模具型芯的表面粗糙度有关，其数值有较大离散性，见表 4.6-2。

表 4.6-1 塑件脱模力计算参量

品种	$E/$ ( $10^3 \times \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ )	$f_c$	$T_f$ / $^{\circ}\text{C}$	$T_j$ $^{\circ}\text{C}$	$\alpha/$ ( $10^{-5} \text{C}^{-1}$ )	$[\sigma] /$ ( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ )	$\mu$
HDPE	0.84~0.95	0.35~0.5	65~82	50~60	11~13	7~13	0.38
PP	1.1~1.6	0.4~0.5	102~115	55~65	7.8	12	0.33
PMMA	3.16	0.44~0.55	80~109	50~70	5~9	25	
硬 PVC	2.4~4.2	0.45~0.6	70~82	45~60	5~18.5	12~16	
PS	2.2~3.2	0.4~0.5	82~104	50~70	6~8	8.2~18.6	0.32
HIPS	1.8~2.4	0.45~0.55	82~104	50~70	7~9	5~10	
ABS	1.8~2.6	0.35~0.55	90~108	50~70	7~10	11.7~16.7	
PC	2.2	0.5~0.75	132~140	90~110	6	26	0.38
30%玻纤 PC	10	0.5~0.75	150~155	95~115	2.5~5	28~40	
共 POM	2.5~2.9	0.3~0.4	158~174	90~120	8.5~10.7	23	
PSF	2.5	0.7~0.9	182	130~150	3.1	28	
PPO	2.5	0.65~0.75	180~204	110~150	5.2~6.6	29	
Noryl	2.1	0.65~0.75	120~160	110~150	2.5~5.9	27	
PBT	2.2	0.3~0.4	150~165	60~80	4~7	22	
30%玻纤 PBT	9.8	0.3~0.4	225	70~90	2.5~4	42	
PA1010	1.2~1.35	0.3~0.5	148	40~60	10~14	20	0.33
PA6	1.95	0.35~0.45	140~176	60~90	8	23	
PA66	0.98~2.18	0.35~0.45	150~180	60~90	9	29	

表 4.6-2 取决于模具表面粗糙度的脱模系数  $f_c$ 

材料	$R_a = 1\mu\text{m}$ 沿脱模方向抛光	$R_a = 6\mu\text{m}$ 垂直于脱模方向抛光	$R_a = 20\mu\text{m}$ 电脉冲机床加工
PE	0.38	0.52	0.70
PP	0.47	0.5	0.84
PS	0.37	0.52	1.82
ABS	0.35	0.46	1.33
PC	0.47	0.68	1.6

塑件被顶接触面上的压力过大, 会留下较大内应力而发白, 甚至使塑料制品产生塑性变形而损伤开裂。经一些先进模具的脱模机构验算, 顶出件作用在塑件表面上的接触许用压力, 大致是该种塑料常温下抗拉屈服应力的三分之一, 此许用压力  $[\sigma]$  见表 4.6-1。显然, 根据许用压力, 可计算所需的顶出接触面积, 顶杆根数。许多塑料壳体形状虽然复杂, 但在型芯上的筋槽、沟坑和桩头等, 由于塑料向自身收缩, 脱模力可以不计。

**【例】** 有个 PC 塑料的闭式套筒, 壁厚  $t = 3.5\text{mm}$ , 内径  $d = 70\text{mm}$ , 高度  $h = 70\text{mm}$ 。计算脱模力及估算所需的顶出接触面积。

**【解】** 由表 4.6-1 决定有关参数: 弹性模量  $E = 2.2 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ ; 线胀系数  $\alpha = 6 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ ; 软化温度  $T_f = 135^{\circ}\text{C}$ ; 脱模温度  $T_j = 100^{\circ}\text{C}$ ; 脱模系数  $f_c = 0.65$ ; 顶出塑件许用压力  $[\sigma] = 26 \text{N/mm}^2$ 。

$t/d = 3.5/70 = 1/20$  属薄壁塑件; 又脱模斜度  $\beta = 0$ , 故修正系数  $K = 1$ 。由式 (4.6-23)

$$\begin{aligned}
 Q_c &= 10Kf_c\alpha E (T_f - T_j) th \\
 &= 10 \times 1 \times 0.65 \times 6 \times 10^{-5} \times 2.2 \times 10^3 \times (135 - 100) \times 3.5 \times 70 = 7357 \text{N}
 \end{aligned}$$

需克服的真空吸力

$$Q_b = 0.1A_b = 0.1 \times \pi \times 70^2 \times \frac{1}{4} = 385\text{N}$$

该闭式圆筒制件的脱模力

$$Q_e = Q_c + Q_b = 7357 + 385 = 7742\text{N}$$

塑件端面环形接触面积

$$a = \pi (R^2 - r^2) = \pi [(35 + 3.5)^2 - 35^2] = 808\text{mm}^2$$

若用套筒顶出, 接触面上压力

$$\sigma = \frac{Q_e}{a} = \frac{7742}{808} = 9.58\text{N/mm}^2 < [\sigma] = 26\text{N/mm}^2$$

若用顶杆, 所需接触面积

$$a' = \frac{Q_e}{[\sigma]} = \frac{7742}{26} = 298\text{mm}^2$$

**[例]** 某收录机中框, 内壁大端尺寸  $l'b'h = 372 \times 196 \times 133\text{mm}$ 。根据模具结构, 布置  $\phi 8\text{mm}$  顶杆 17 根,  $\phi 6.5\text{mm}$  顶杆 5 根,  $\phi 6\text{mm}$  顶杆 4 根,  $\phi 5\text{mm}$  顶杆 7 根。型芯斜度为  $1.5^\circ$ , 该塑壳的壁厚  $t = 2\text{mm}$ , 用 ABS 注塑。试校核顶杆总顶出面积是否合理。

**[解]** 由表 4.6-1 确定有关参数:  $E = 2.2 \times 10^3\text{N/mm}^2$ 、 $\alpha = 8.5 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 、 $T_f = 100^\circ\text{C}$ 、 $T_j = 60^\circ\text{C}$ 、 $f_c = 0.5$ 、 $[\sigma] = 13.5\text{N/mm}^2$ 。由图 4.6-6, 在  $\beta = 1.5^\circ$  得  $K = 0.92$ 。由结构可知  $Q_b = 0$ 。

矩形边长平均值  $l = l' - h \text{tg}\beta = 372 - 133\text{tg}1.5^\circ = 368\text{mm}$

$$b = b' - h \text{tg}\beta = 196 - 133\text{tg}1.5^\circ = 192\text{mm}$$

当量折算直径  $d_k = \frac{1}{2}(l + b) = 0.5 \times (368 + 192) = 280\text{mm}$

$t/d_k = 2/280 < 1/20$  属薄壁矩形盒。由式 (4.6-26)

$$\begin{aligned} Q_e = Q_c &= 12Kf_c\alpha E (T_f - T_j) th \\ &= 12 \times 0.92 \times 0.5 \times 8.5 \times 10^{-5} \times 2.2 \times 10^3 \times (100 - 60) \times 2 \times 133 \\ &= 10983\text{N} \end{aligned}$$

顶杆接触总面积

$$a' = \frac{\pi}{4} \sum d_i^2 n_i = \frac{\pi}{4} (8^2 \times 17 + 6.5^2 \times 5 + 6^2 \times 4 + 5^2 \times 7) = 1270\text{mm}^2$$

接触压力校核

$$\sigma = \frac{Q_e}{a'} = \frac{10983}{1270} = 8.65\text{N/mm}^2 < [\sigma] = 13.5\text{N/mm}^2$$

该模具顶杆的顶出总面积是可行的。

### 三、厚壁塑件的脱模力计算

$t > d/20$  的厚壁塑件脱模力受到材料向壁厚中性层冷却收缩的影响。可用弹性力学的有关厚壁圆筒的理论进行分析计算。若脱模斜度  $\beta = 0$ , 筒体周向应力为

$$\sigma_r = p_c \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2}$$

式中,  $R$  与  $r$  是圆筒外圆与内孔的半径;  $p_c$  是塑件收缩后垂直于轴线的与型芯间单位



接触压力。

因为是厚壁塑件，其径向收缩是较大正应力， $\sigma_r = -p_c$ 。圆筒的轴线方向应力，相比之下是较小的， $\sigma_3 = 0$ 。根据广义胡克定律，周向应变为

$$\epsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \mu (\sigma_r + \sigma_3)] = \frac{p_c}{E} \left( \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \mu \right)$$

从冷却过程的周向线性收缩计算的收缩率为

$$\epsilon_r = \alpha (T_f - T_j)$$

以上两式中， $E$ 、 $\mu$ 、 $\alpha$ 、 $T_f$  和  $T_j$  含义如前所述。将此二式联立，乘以工艺系数 1.25 后得

$$p_c = \frac{1.25\alpha E (T_f - T_j)}{\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \mu} \quad (4.6-28)$$

由带有脱模斜度的收缩脱模力  $Q_c = Kf_c p_c A_c$ ，可得厚壁圆筒和矩形盒的计算通式

$$Q_c = \frac{1.25Kf_c\alpha E (T_f - T_j) A_c}{\frac{(d_k + 2t)^2 + d_k^2}{(d_k + 2t)^2 - d_k^2} + \mu} \quad (4.6-29)$$

式中，对于圆筒塑件： $d_k = d = 2r$ ， $A_c = 2\pi r h$ ；

对于矩形盒塑件： $d_k = \frac{l+b}{2}$ ， $A_c = 2(l+b)h$ 。

#### 四、具有侧凹塑件的脱模力计算

系指类似图 4.6-9 所示线圈骨架塑件，在侧向滑块进行抽芯或分型时，其侧向抽拔力是估算斜导柱直径的依据。

侧向抽拔阻力来自塑件收缩对滑块的夹紧力  $p$ 。塑件为薄壁，径向应力很小  $\sigma_r = 0$ 。塑件的周向收缩被型芯限制，周向应力为  $\sigma_r$ 。而侧滑块限制了塑件的轴线方向收缩，存在轴向应力  $\sigma_z$ 。由广义胡克定律

$$\epsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \mu (\sigma_r + \sigma_z)] = \frac{1}{E} (\sigma_r - \mu\sigma_z)$$

同理有

$$\epsilon_z = \frac{1}{E} (\sigma_z - \mu\sigma_r)$$

因为

$$\epsilon_r = \epsilon_z = \epsilon$$

所以

$$\sigma_r = \sigma_z = \sigma$$

由此得塑件冷却收缩所产生内应力，并取  $\mu = 0.35$ ，再乘 1.25 工艺系数，有

$$\sigma = \frac{E\epsilon}{1-\mu} = 2\alpha E (T_f - T_j) \quad (4.6-30A)$$

进而得轴向夹紧力

$$p = \sigma A \quad (4.6-30B)$$

式中， $A$  为产生轴向收缩包紧的结构部分投影面积。如图 4.6-9 所示，圆环面积为  $A = \pi (R^2 - r^2)$ 。 $R$  和  $r$  为骨架柱体的外圆和内孔半径。

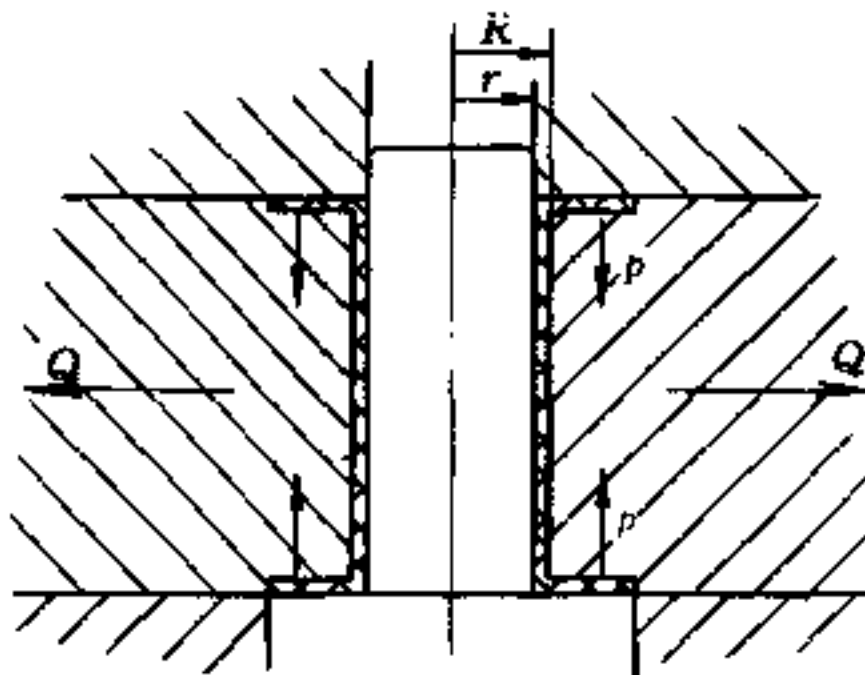


图 4.6-9 侧凹塑件的收缩夹紧力

如图 4.6-9 所示侧向抽拔力  $Q$ ，因侧滑块受到塑件两端隔圈片的成对夹紧力，为  $2p$ 。侧滑块是  $n$  个，故

$$Q = \frac{f_c (2p)}{n} = \frac{4\pi f_c \alpha E (T_f - T_j) (R^2 - r^2)}{n} \quad (4.6-31)$$

该  $Q$  是每个侧滑块应克服的抽拔阻力。式中  $f_c E$ 、 $\alpha$ 、 $T_f$  和  $T_j$  见表 4.6-1。

### 4.6.3 简单脱模机构

简单脱模机构有推杆机构、推管机构、推件板机构，及这些机构的组合。

#### 一、推杆机构

用推杆推顶塑制件是最简单，也是应用最广泛的脱模机构。由于推杆位置设置有较大自由度，因而用于推顶箱体等异型制品，以及塑件局部需较大脱模力的场合。常用推杆为圆形截面，也有半圆和矩形等。圆柱推杆和相配的孔，容易加工到较高精度。且圆柱推杆已有国家标准，更换方便。但是，推杆的作用面积小，塑件表面有凹坑痕迹，使用不当，会引起推顶发白和裂纹等弊病。推杆与孔长期过度磨损，会造成溢料。

#### 1. 推杆结构

(1) 单节式推杆，如图 4.6-10(a) 所示。除头部带凸肩供安装外，全长直径为  $d(f_6)$ 。这种推杆已有 GB4169.1—84 标准，系列直径从 6mm 至 32mm，长度为 100~630mm。

(2) 台阶式推杆，如图 4.6-10(b) 所示。顶杆切削加工成台阶，改善了稳定性。最细的工作段长度，应等于配合长度与脱模行程之和，再附加 5~6mm。

(3) 嵌入式台阶推杆，如图 4.6-10(c) 所示。推杆工作段细径  $d$  为 1~4mm，插入后用钎焊连接。插入部分长度 6~15mm 或  $(4-5)d$ 。

(4) 异形推杆，见图 4.6-10(d)、(e)。推杆的工作段断面是非圆形，但其余安装支承部分仍是圆形。图 4.6-10(d) 为整体式异形推杆，工作断面为半圆形，可增大与塑件的接触面积。图 4.6-10(e) 为插入后铆接的推杆，工作断面是矩形。

(5) 锥形顶杆，见图 4.6-10(f)，也称阀式推杆。推杆的工作部分为倒锥形。它与型芯或模板以锥孔相配合，无间隙地贴合。推顶后无摩擦卡滞，并有引气作用，可降低脱模力。

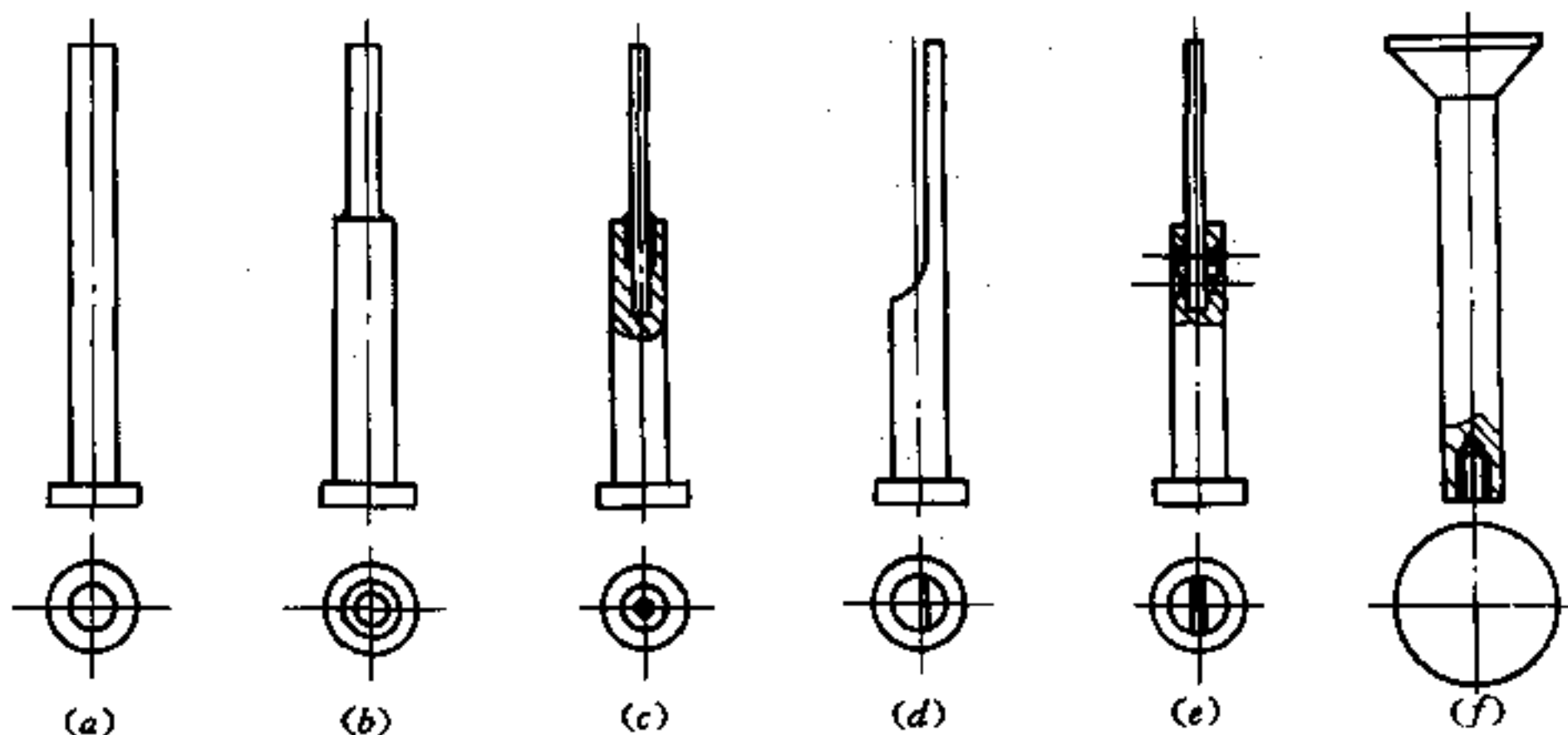


图 4.6-10 顶杆的各种结构

推杆用 T8A、T10A，也有用 65Mn 和中碳钢制造。整体淬火或工作段局部淬火 HRC50~55。淬火长度应是配合长度加上 1.5 倍脱模行程，以防止与孔咬合。

## 2. 推杆的安装和布置

如图 4.6-11 (a) 所示，通常用凸肩沉压在推出固定板的凹坑和推出板之间。两块板用螺钉紧固。所有推杆，还有回程杆的凸肩高度均对沉坑深度放出余量。在固定板上插入推杆与回程杆后，应将它们搁起与该板磨出一个平面。图 4.6-11 (b) 是用顶出板与固定板的平面夹固顶杆凸肩，避免了沉孔加工。图 4.6-11 (c) 是用螺钉吊紧顶杆，但有松动的可能。

为防止塑料熔体的渗漏，顶杆的工作段有配合要求，常用 H7/f7。对于低粘度熔体和直径较大顶杆采用 H7/g6。工作段长度一般不应小于 12mm，或为  $(1.5 \sim 2)d$ 。对于非圆顶杆则需  $\geq 20\text{mm}$ 。

顶杆的非工作段与孔均要有 0.5~1mm 的双边间隙，以减小摩擦，而且有浮动和自行调整位置的作用。还有，顶杆边缘离型芯壁至少有 0.12mm 间距，以防干涉。

顶杆的工作端面与塑件表面的平齐是难以达到的。允许顶杆侵入塑件表面不超过 0.1mm。一般不允许顶杆端面低于塑件成型表面。

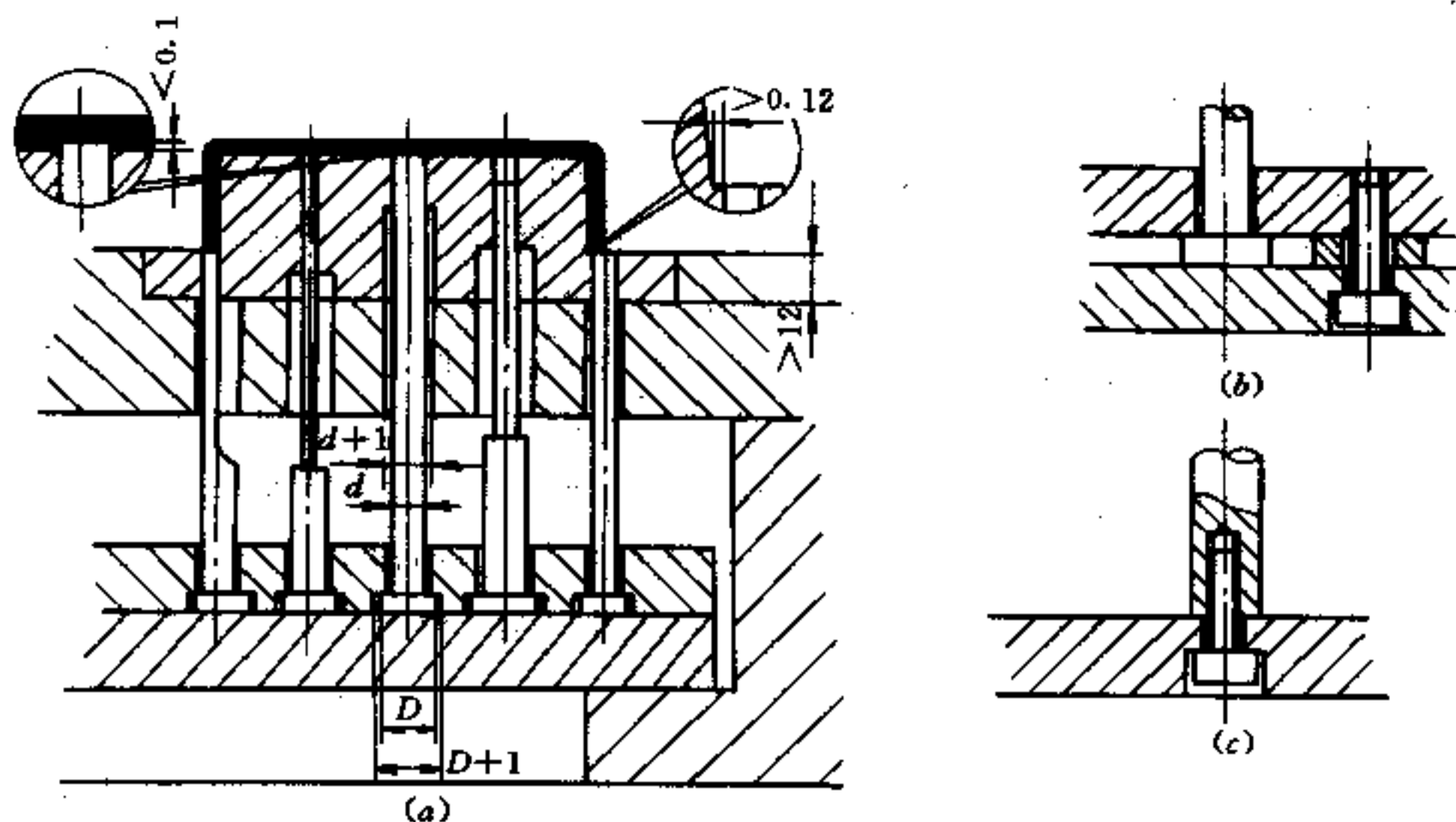


图 4.6-11 推杆安装

在布置顶杆时应遵循以下原则：

- (1) 考虑脱模力的平衡，尽量避免产生附加倾侧力矩。在筋、凸台处多设推杆。
- (2) 不要让浇口对准推杆端面。过高压力会损伤推杆。
- (3) 推杆应该设在排气困难的位置。
- (4) 只要不损伤塑件表面，尽可能地多设顶杆，以减轻塑件的脱模接触应力。

## 3. 推杆稳定性计算

注塑模细长推杆的破损是常见的事故。除了工作端面的破损直接影响塑件质量外，推杆柱体的变形甚至弯折断裂还会损伤模具。

生产中出现推杆破损折断现象，是属于细长压杆的稳定性问题。应该用欧拉公式进

行校核或计算。影响压杆稳定性因素有：压杆截面形状、压杆长度、约束条件和材料性能。保持压杆稳定顶端的临界压力计算式为

$$P_j = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2} \quad (\text{N}) \quad (4.6-32)$$

式中  $E$ ——顶杆钢材的弹性模量， $2.1 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ；

$l$ ——压杆的长度 (mm)；

$J$ ——压杆截面的轴惯性矩 ( $\text{mm}^4$ )；

$\mu$ ——压杆的长度系数，取决于压杆的约束条件，见表 4.6-3 和图 4.6-12。

在压杆稳定性计算中，需校核柔度  $\lambda$ 。有

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} \quad (4.6-33)$$

其中

$$i = \sqrt{\frac{J}{A}}$$

式中  $i$ ——压杆截面的最小惯性半径 (mm)；

$A$ ——压杆截面的面积 ( $\text{mm}^2$ )。

表 4.6-3 压杆长度系数  $\mu$  与顶杆工作状态

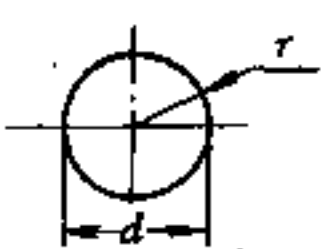
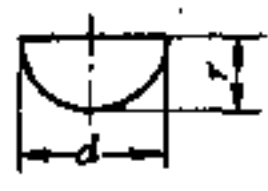

约束条件	顶杆工作状态		长度系数 $\mu$
	固定方式	顶出端	
两端铰支	圆锥头铆接或浮动	动配合	1
一端固定，另一端自由	凸肩压固	脱模行程大，伸出长度为压杆长 $l$	2
一端固定，另一端铰支	凸肩压固	动配合，压杆长 $l$ 见图 4.6-13	0.707
两端固定	凸肩压固	与推板或推块用螺纹联接	0.5

对细长推杆的稳定性计算，首先限制压杆柔度。其计算的极限柔度应为

$$\lambda_j = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_p}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^5}{200}} = 100 \quad (4.6-34)$$

式中，用中碳钢的比例极限  $\sigma_p = 200 \text{N/mm}^2$ ，可得极限柔度  $\lambda_j = 100$ 。注塑模常见的圆截面、半圆截面和矩形扁截面推杆的  $J$ 、 $i$  和  $\lambda$  的计算式见表 4.6-4。

表 4.6-4 轴惯性矩  $J$ 、最小惯性半径  $i$  和柔度  $\lambda$  的计算式

截面	$J$	$i$	$\lambda$
	$\frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$	$\frac{d}{4} = \frac{r}{2}$	$\frac{4\mu l}{d}$
	$\frac{\pi d^4}{128} = \frac{\pi r^4}{8}$	$\frac{d}{5.64}$	$\frac{5.66\mu l}{d}$
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{h}{\sqrt{12}} = 0.289h$	$\frac{3.46\mu l}{h}$

在柔度  $\lambda \leq 100$  的校核中, 推杆计算用压杆长度  $l$ , 可参考图 4.6-13 确定。台阶式推杆可减小压杆计算长度  $l$ 。见图 4.6-13 (c), 在推杆中间位置设置与其为动配合的护套, 可限制顶杆弯曲振晃, 计算长度  $l$  可缩小一半; 临界压力  $P_c$  是原来的 4 倍。大型模具的细长顶杆大多采用这种护套结构。

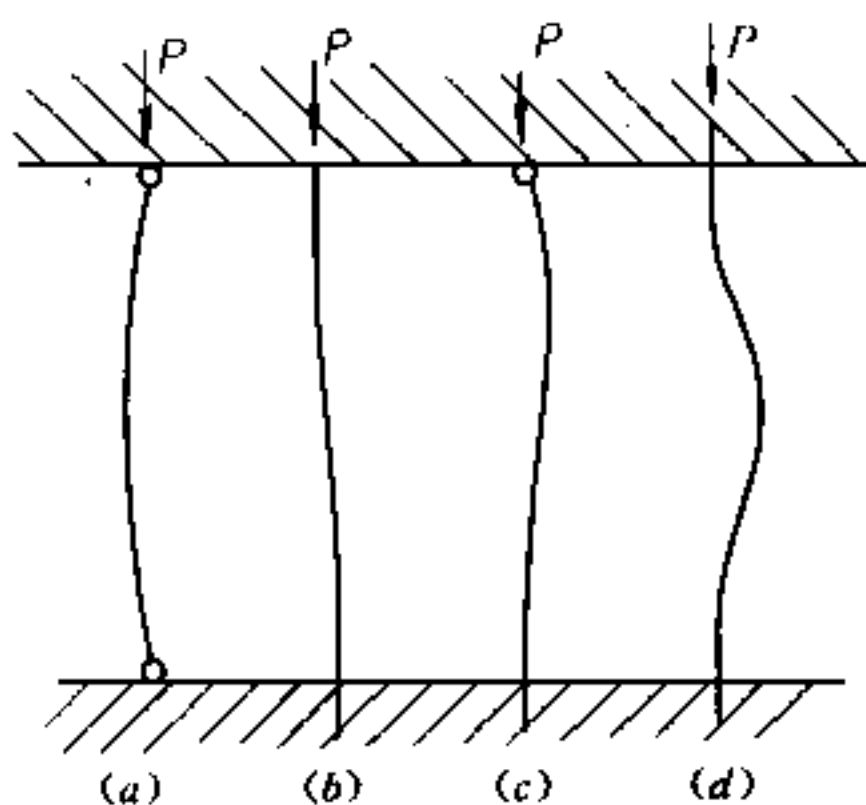


图 4.6-12 压杆约束类型

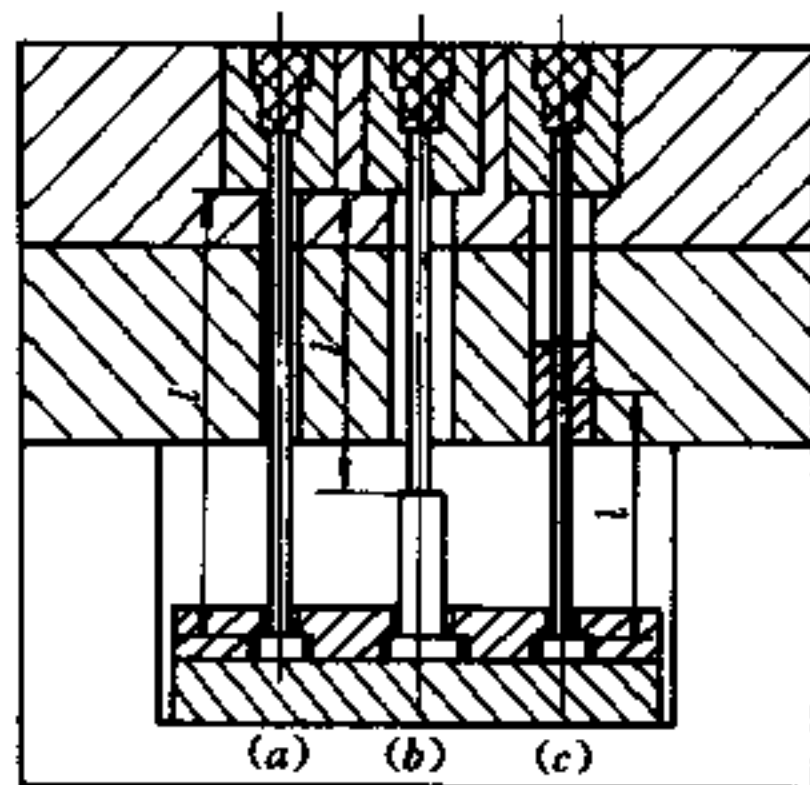


图 4.6-13 顶杆的计算长度  $l$  和约束条件

还有一种圆截面推杆直径设计公式

$$d \geq K \left( \frac{64 Q_e (\mu l)^2}{n E \pi^3} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{mm}) \quad (4.6-35)$$

式中  $Q_e$ ——前述的脱模力 (N);

$n$ ——顶杆数目;

$K$ ——安全系数,  $K = 2$ 。

## 二、推管脱模

推管脱模常用于圆筒状塑件推出。它提供了均匀脱模力, 用于一模多腔成型更为有利。将型腔和型芯均设计在动模, 可保证制件孔与其外圆的同心度。对于台阶筒体和锥形筒体, 如图 4.6-14 (a)、(b) 所示, 只能用推管脱模。

要求推管内外表面都能顺利滑动。推管材料与推杆相同。其滑动长度的淬火硬度为 HRC50 左右, 且等于脱模行程与配合长度之和, 再加上 5~6mm 余量。非配合长度均应用 0.5~1mm 的双向间隙。

推管在推出位置与型芯应有 8~10mm 的配合长度, 推管壁厚应在 1.5mm 以上。必要时采用阶梯推管, 见图 4.6-14 (a)。

推管脱模机构有三类形式:

(1) 长型芯。型芯紧固在模具底板上, 见图 4.6-14 (a)。结构可靠, 但底板加厚, 型芯延长, 只用于脱模行程不大的场合。

(2) 中长型芯。推管用推杆推拉, 见图 4.6-14 (b)。该结构的型芯和推管可较短些, 但动模板因容纳脱模行程而增厚。

(3) 短型芯。见图 4.6-14 (c)。这种结构使用较多。为避免型芯固定凸肩与运动推管相干涉, 型芯凸肩须有缺口, 或用键固定, 致使型芯固定不可靠, 且推管必须开窗, 或剖切成 (2~3) 个脚, 致使推管被削弱, 制造亦困难。

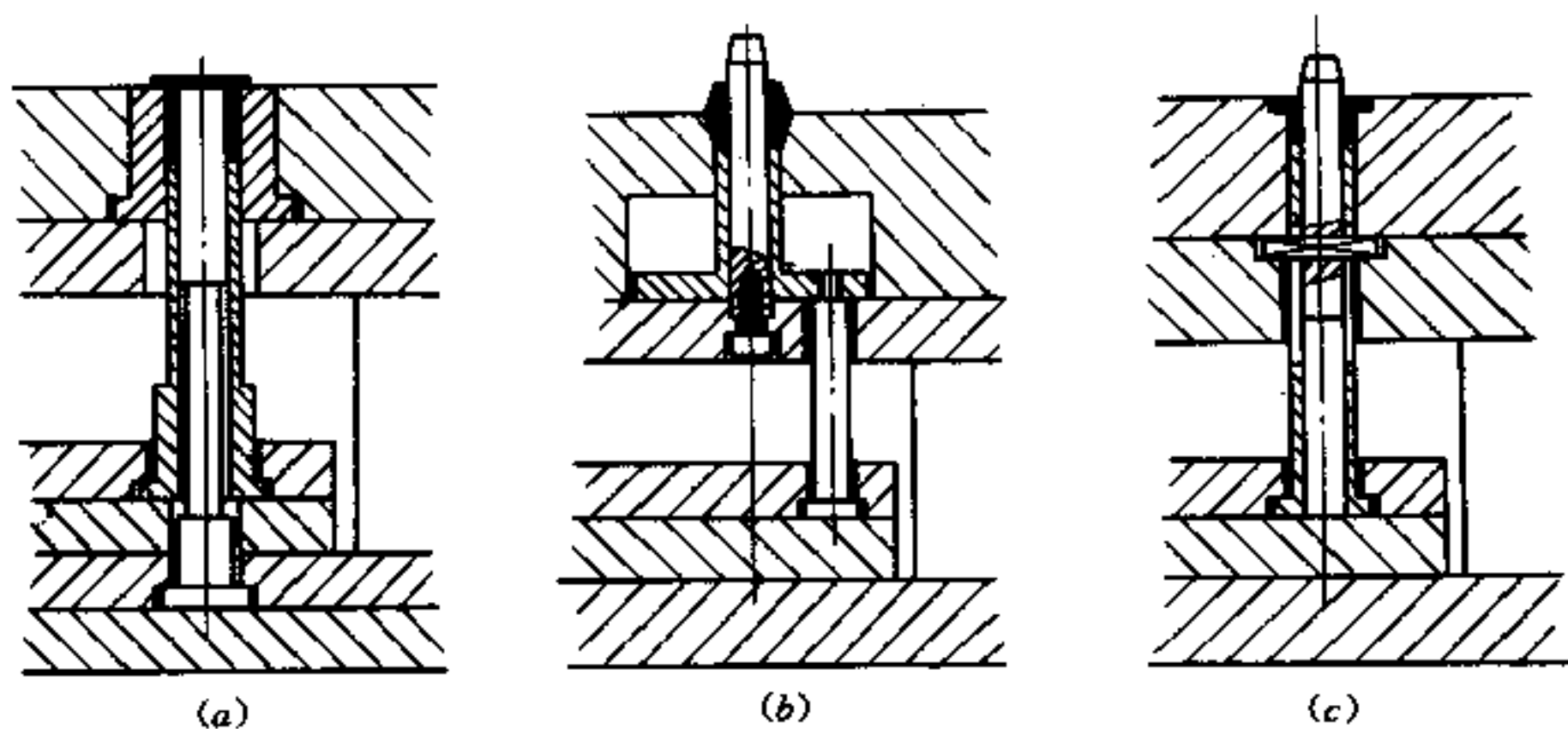


图 4.6-14 顶管脱模的结构类型

### 三、推板脱模

推板也称脱模板或推件板。在分型面处从壳体塑件的周边推出，推出力大且均匀。对侧壁脱模阻力较大的薄壁箱体或圆筒制品，推出后外观上几乎不留痕迹。这对透明塑件尤为重要。

#### 1. 推板结构

推板脱模机构不需要回程杆复位。推板应由模具的导柱导向机构导向定位，以防止推板孔与型芯间的过度磨损和偏移。为防止推杆与推板分离，推板滑出导柱，推杆与推板用螺纹联接，见图 4.6-15 (a)。应注意，该种结构在合模时，顶出板与模具底脚之间应留  $S=2\sim 3\text{mm}$  的间隙。当导柱足够长时，推杆与推板也可不作联接，见图 4.6-15 (b)。对于有多个圆柱型芯相配的推件板，大多镶上淬火套与型芯相配，便于加工和调换，见图 4.6-15 (a)。图 4.6-15 (c) 的结构适用于两侧具有顶出杆的注射机，模具结构可简化，但推板要增大并加厚。

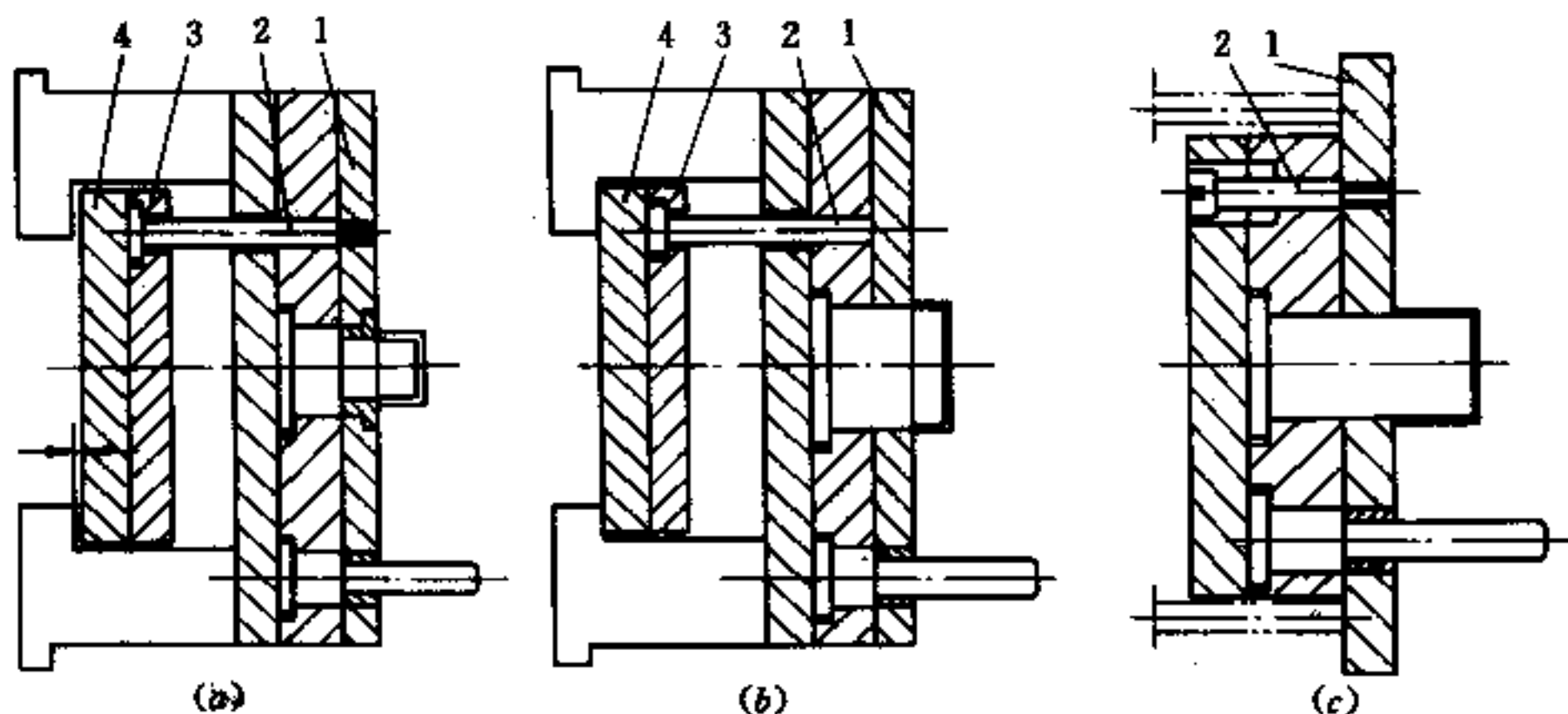


图 4.6-15 推板脱模机构

1—推板；2—顶杆；3—顶出固定板；4—顶出板。

推板与型芯之间要有高精度的间隙、均匀的动配合。要使推板灵活脱模和回复，又不能有塑料熔体溢料，最大单向间隙应限制在0.05mm以下。对低粘度的如PA等，不超过0.01mm。为防止过度磨损和咬合发生，推板孔与型芯应作淬火处理。推板脱模的分型面应尽可能为简单无曲折的平面。

在一些场合，如图4.6-16所示，在推板与型芯间留有单边0.2mm左右间距，避免两者之间接触。并又有锥形配合面起辅助定位作用，可防止推板孔偏心而引起溢料，其斜度为10°左右。

对于大型深腔容器，特别是软质塑料，为防止过大脱模力使制品壁产生皱折，应该给成型时所形成的真空腔引气，图4.6-17就是这种装置。开模时大气克服弹簧力将菌型推杆抬起而进气。当然也可将菌型推杆与顶出板相连，同步推顶进气。

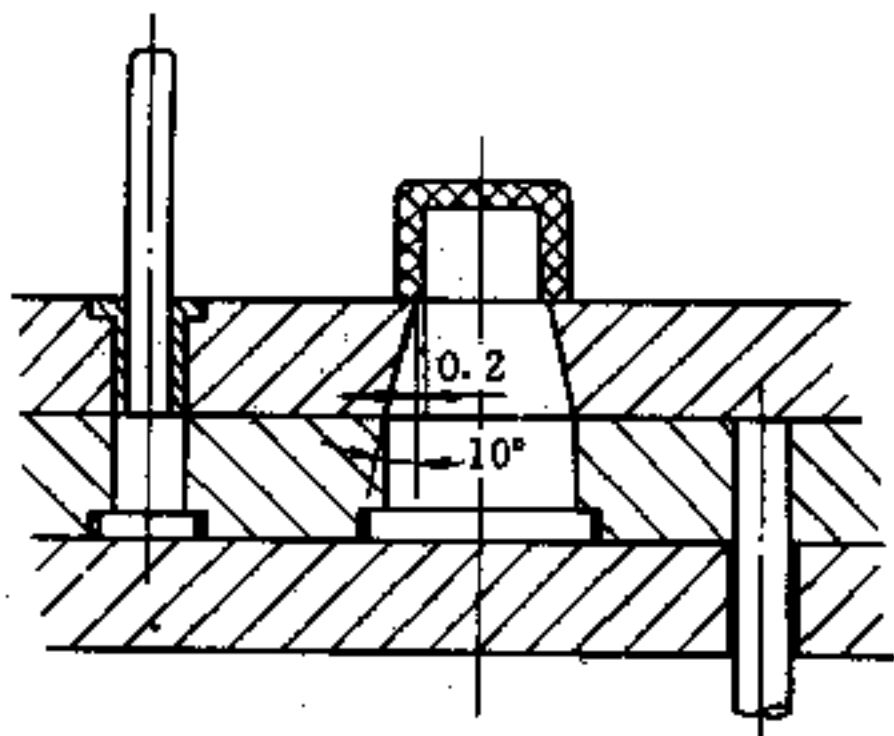


图4.6-16 有周边间距和锥形配合面的脱模板

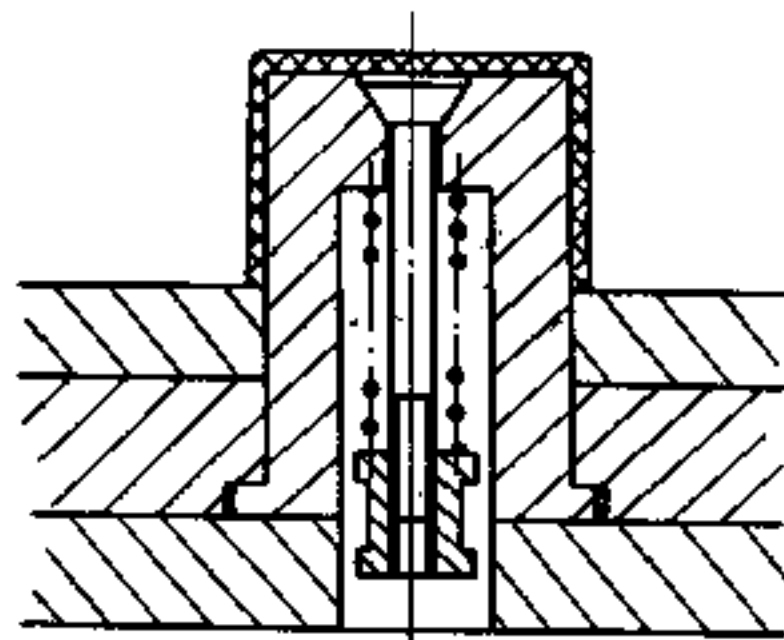


图4.6-17 有进气装置的推板脱模  
1—顶板；2—锥面顶杆；3—压缩弹簧。

## 2. 推板厚度计算

推件板会由于刚度不足引起挠曲变形，影响塑件尺寸精度。因此，应按刚度条件计算推板厚度。

### (1) 圆筒形塑件用推板

这种推板一般采用同心圆周分布的数根推杆推动，如图4.6-18所示。脱模时的受力状况，可视为环形板受集中载荷  $Q_c$  的力学模型，最大挠度产生在板的中央。其厚度计算式

$$T_s \geq \left( \frac{CQ_c R^2}{E [\delta]} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{mm}) \quad (4.6-36)$$

式中  $R$ ——推杆轴线到推件板中心距离 (mm)；

$Q_c$ ——脱模阻力 (N)；

$E$ ——推板钢材弹性模量， $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；

$[\delta]$ ——推件板允许变形量，可取塑制品高度尺寸公差的  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5}$  (mm)；

$C$ —— $R/r$  比值关系数，从表4.6-5中查取；

$r$ ——型芯的半径 (mm)。



表 4.6-5 圆筒塑件推件板计算系数 C

R/r	1.25	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00
C	0.0051	0.0249	0.0877	0.2090	0.2930	0.3500

### (2) 矩形塑件用推板

该种推件板所用推杆分布如图 4.6-19 所示。顶出时推板受力情况，可近似看作受集中载荷的简支梁模型，最大挠度产生在板中央。推件板厚度计算式为

$$T_s \geq 0.54l \left( \frac{Q_c}{BE [\delta]} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{mm}) \quad (4.6-37)$$

式中 B——推件板宽度 (mm)；

l——推件板长度方向顶杆之间距离 (mm)；

[ $\delta$ ]——推件板允许变形量，可取塑件高度尺寸公差的  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5}$  (mm)。

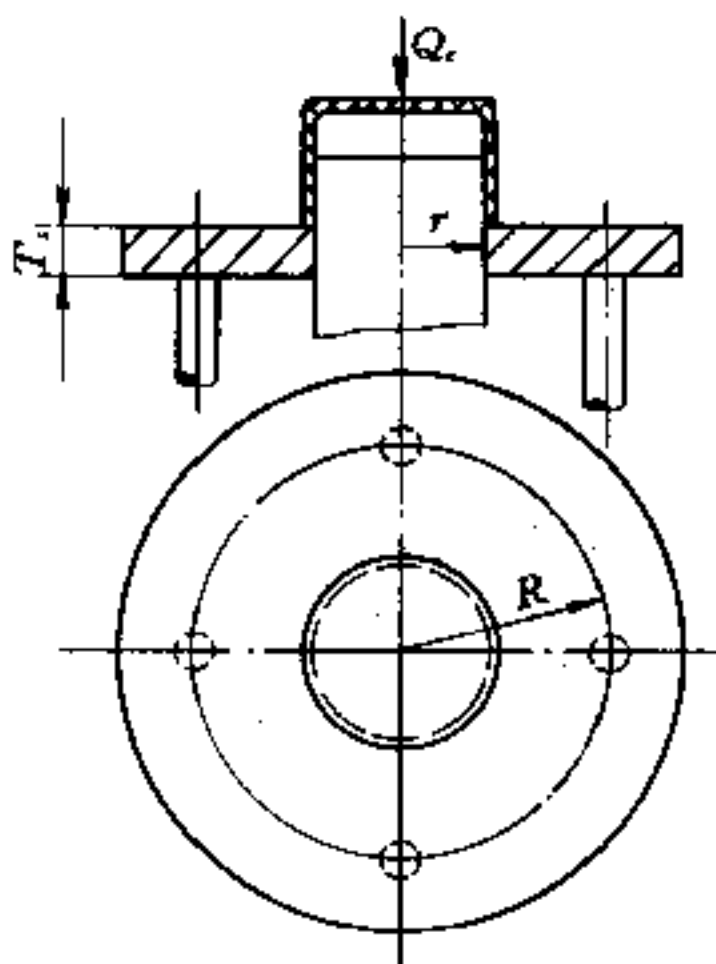


图 4.6-18 圆筒塑件推件板推出

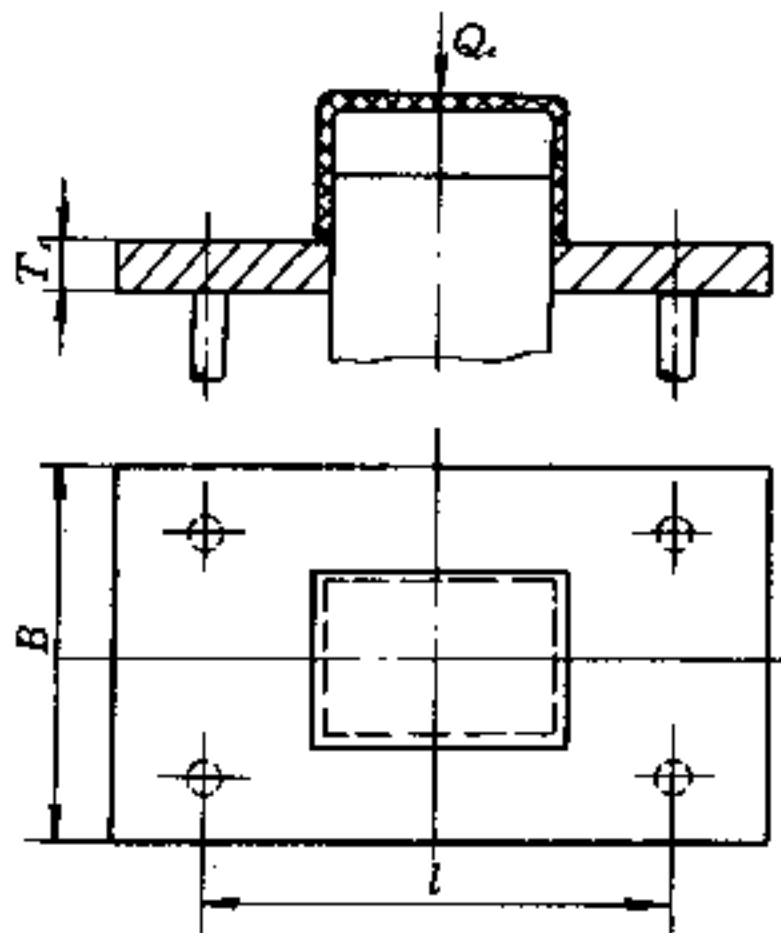


图 4.6-19 矩形盒塑件的推件板顶出

### 四、多种元件组合脱模

倘若遇到一些形体复杂的塑件，如薄壁壳体带有凸台和筋，并与圆筒体组合。这就需要两种或两种以上的多元件组合的脱模机构。如图 4.6-20 (a) 所示，以推板脱出壳体，局部深腔处的挂脚用推杆辅助推出，以防止挂脚产生断裂。图 4.6-20 (b) 塑件外周壳体用推板脱模，中心管状结构用推管推出。图 4.6-20 (c) 塑件，中央用推管，而外周壳体用多根推杆脱模。这种推杆可兼作回程杆用。多元件组合时，各种推杆、推管、推板，还包括装嵌件的推杆，应该同步动作，如图 4.6-21 所示。

### 五、导向和复位

对大尺寸的顶出板，为防止脱模过程中出现歪斜倾侧，须附设导向机构。大中型注射模的此种导柱，可兼起支承柱作用，以减小动模垫板的挠曲变形，如图 4.6-22 所示。只有在生产塑件批量较少时，才不设导套。也有用回程杆兼起导向作用。这就要加粗回程杆，并加长配合长度。

模具闭合时，整个脱模机构依靠回程杆碰及定模而复位。回程杆与推杆材料相同且

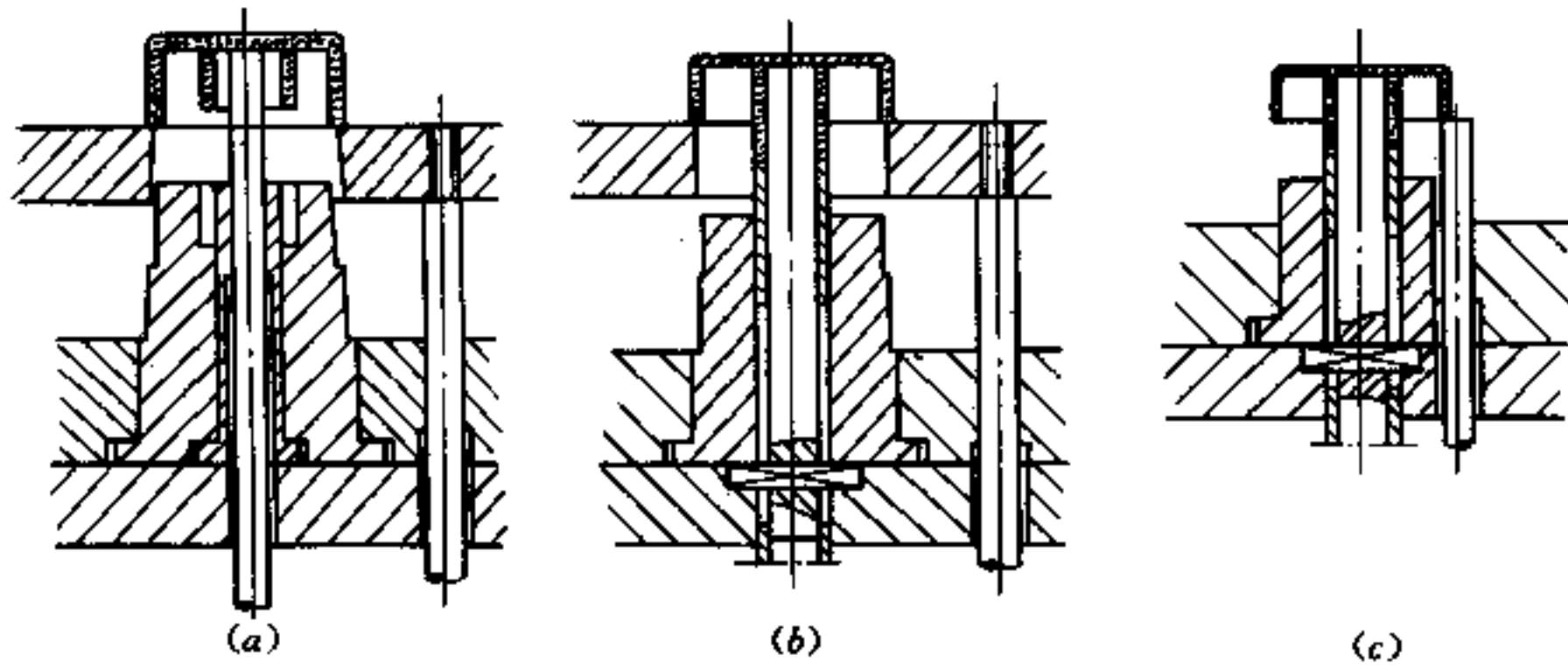


图 4.6-20 多种元件组合脱模

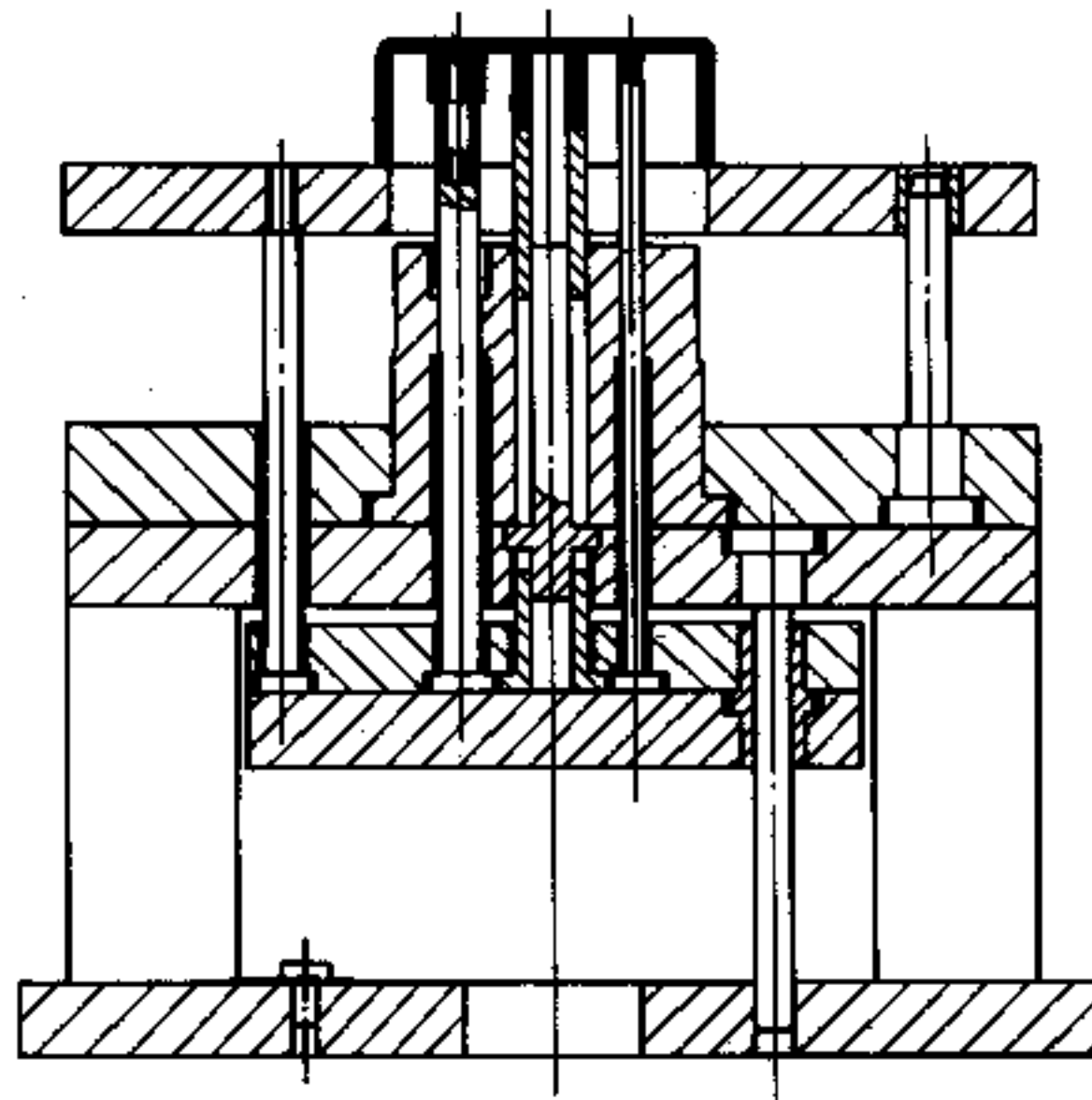


图 4.6-21 多种元件组合的脱模机构

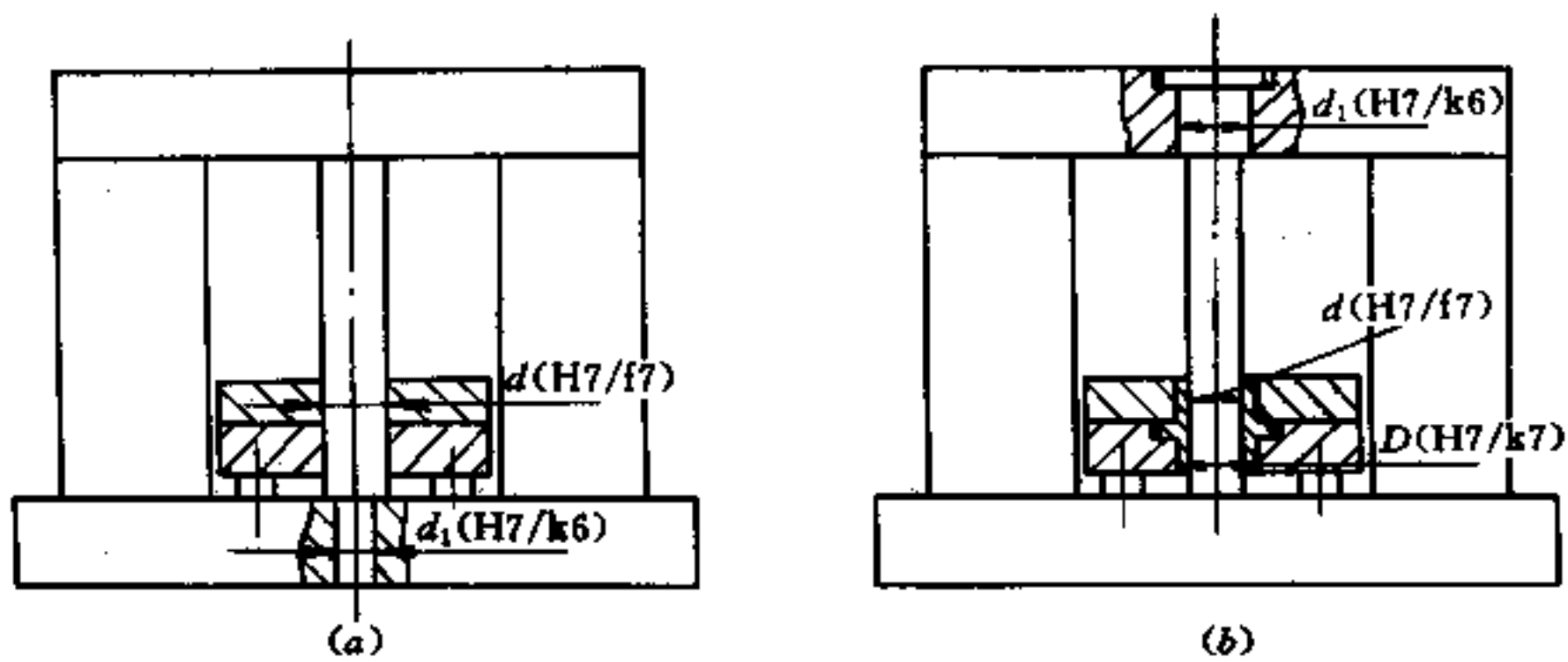


图 4.6-22 脱模机构的导向并兼起支承的结构

端部淬火。常用2~4根并以最大间距均匀布置，其结构与安装见图4.6-23。回程杆顶端应与分型面平齐，仅允许稍低0.05mm。生产中常有回程杆挤压定模表面而出现凹痕，必要时需对该部位作局部淬火或镶嵌淬火块。有时可用推杆或者推管作辅助复位元件，见图4.6-20(c)。小型模具可利用压缩弹簧，并将其套在推杆上。单独用弹簧复位可靠性差，多数场合以采用弹簧与复位杆联合作用为好。

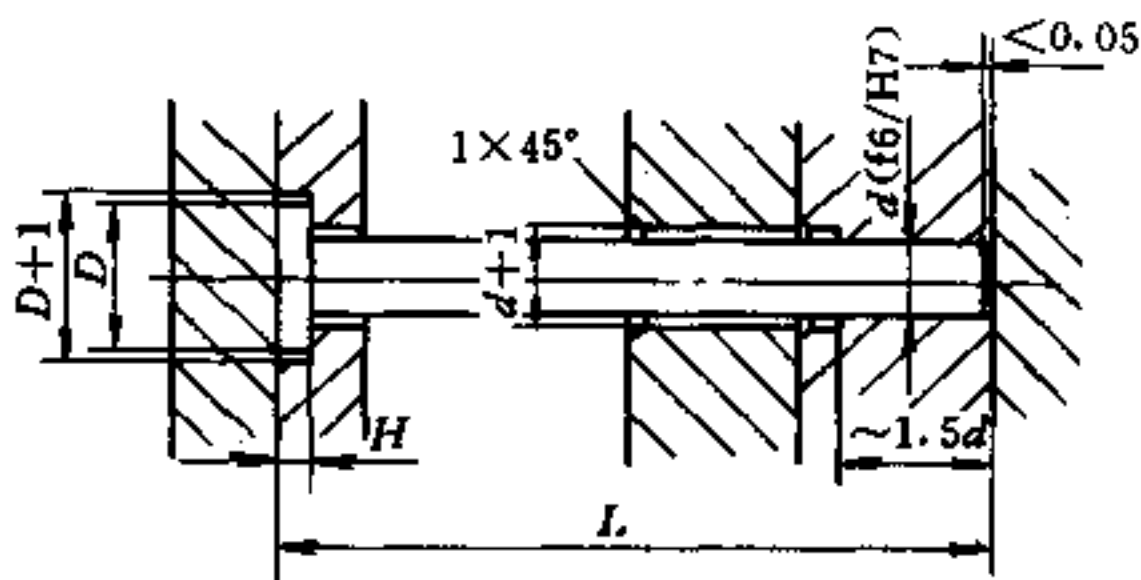


图 4.6-23 回程杆的结构和安装设计

#### 4.6.4 定模脱模机构

有时因塑件形状特殊，或为了让浇口处于塑件内侧，有意将模具设计成使塑件留在定模边的结构。定模脱模机构的特点，是利用开模运动牵引定模上的脱模机构。因此，有效脱模行程较大，牵引行程也较长。常用牵引机构有链条、拉钩、拉板和齿轮齿条等。

图4.6-24是用链条牵引定模边推板使塑件脱模的机构。所需链条为2根或4根，每根链条受力要均衡。另外，还要设联接座，保证合模时链条不被卡住。开模行程等于 $L_1 + L_3$ 。考虑到注射机的开模行程误差较大，故脱模行程 $L_2 = L_1 + (10 \sim 20) \text{ mm}$ 。

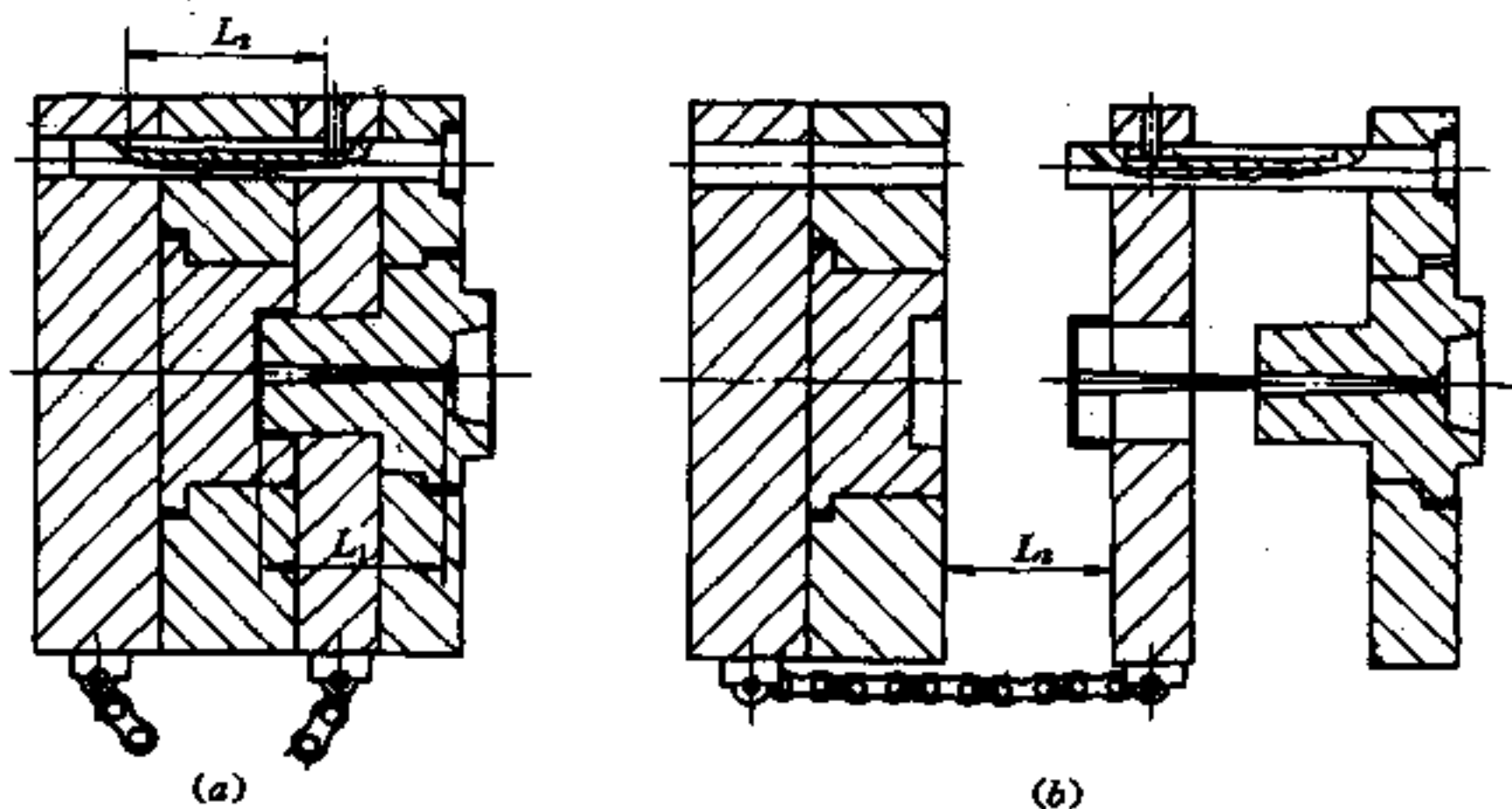


图 4.6-24 链条牵引定模脱模机构

(a) 合模；(b) 开模和脱模。

如图4.6-25所示，为拉钩牵引的定模脱模机构。开模时，动模先分开距离 $L$ 。该 $L$ 应略大于所需的脱模高度。而后，动模经拉钩与定模上钩脚接触，牵引定模边的推

出板，从定模型芯上脱出塑件。由于楔形板作用使推出板止动后，拉钩被强制转动，迫使钩脚脱开，而动模继续运动。

#### 4.6.5 双脱模与顺序脱模机构

双脱模机构与顺序脱模机构关系密切，但又有区别。

塑件留在定模和动模可能性都存在；或者塑件留在定模但取件不方便，需在定模上设置脱模元件迫使塑件滞留在动模一侧，再用动模边的脱模元件使塑件脱出，如图 4.6-26、图 4.6-27 和图 4.6-28 均为双脱模机构。

顺序脱模机构应用于双分型面的模具。它让定模先分型，再使动模与定模分型。在定模分型的过程中，将塑件从定模边的型芯上脱开，迫使其滞留在动模。如图 4.6-27 和图 4.6-28 所示，它们既是顺序脱模，也是双脱模机构。但顺序脱模机构在许多场合，如图 4.6-29 和图 4.1-2 所示，为了取出具有点浇口的浇注系统凝料，并非实行双脱模的动作要求。

双脱模机构有时不需从定模上整块模板分型，只局部实现定模边的推顶动作，如图 4.6-26 上的两种双脱模机构。采用了弹簧

力和杠杆作用力推动顶杆，迫使塑件在开模时滞留在动模上。考虑塑件在模具中的位置时，应使定模边的脱模力较小并且脱模行程较短；而动模一侧的脱模力较大且行程长。

图 4.6-27 所示机构，是利用弹簧推力和拉板定距进行定模边脱模，先让塑件滞留在动模型腔内。而后，动模脱模顶杆作长行程推顶，取件颇方便。如果在定模边直接脱模，要求定模上的硬弹簧工作行程很长，设计困难。如图 4.6-28 所示，需脱出一塑料盆，其底部有若干加强筋。开模时，塑件在动、定模两边去留不定。该机构利用拉钩和限位螺钉先进行定模型芯脱模，让塑料盆滞留在定模型腔板内。当拉钩尾端与滚轮接触后，动、定模分型。此时塑件包紧在动模型芯上。最后，由动模边的推板将塑料盆脱出型芯。这两个机构实现了双脱模的动作要求，又有先后顺序分型过程。

顺序脱模机构有先后二次分型。图 4.6-28 上的拉钩滚轮机构，是用垂直模具侧表面的拉钩转动实现的。拉钩的转动平面也可平行模具的侧面。如图 4.6-27 和图 4.1-2 所示，是用弹簧力和拉板定距实现先后二次分型。这些顺序脱模机构一般用于卧式注射机上。图 4.6-29 所示，是立式注射机上常用的顺序脱模机构。它以弹簧力与拉杆的定距进行二次分型。甚至还利用模板重力，辅以小弹簧的推力，这种点浇口的多板模架已经标准化。

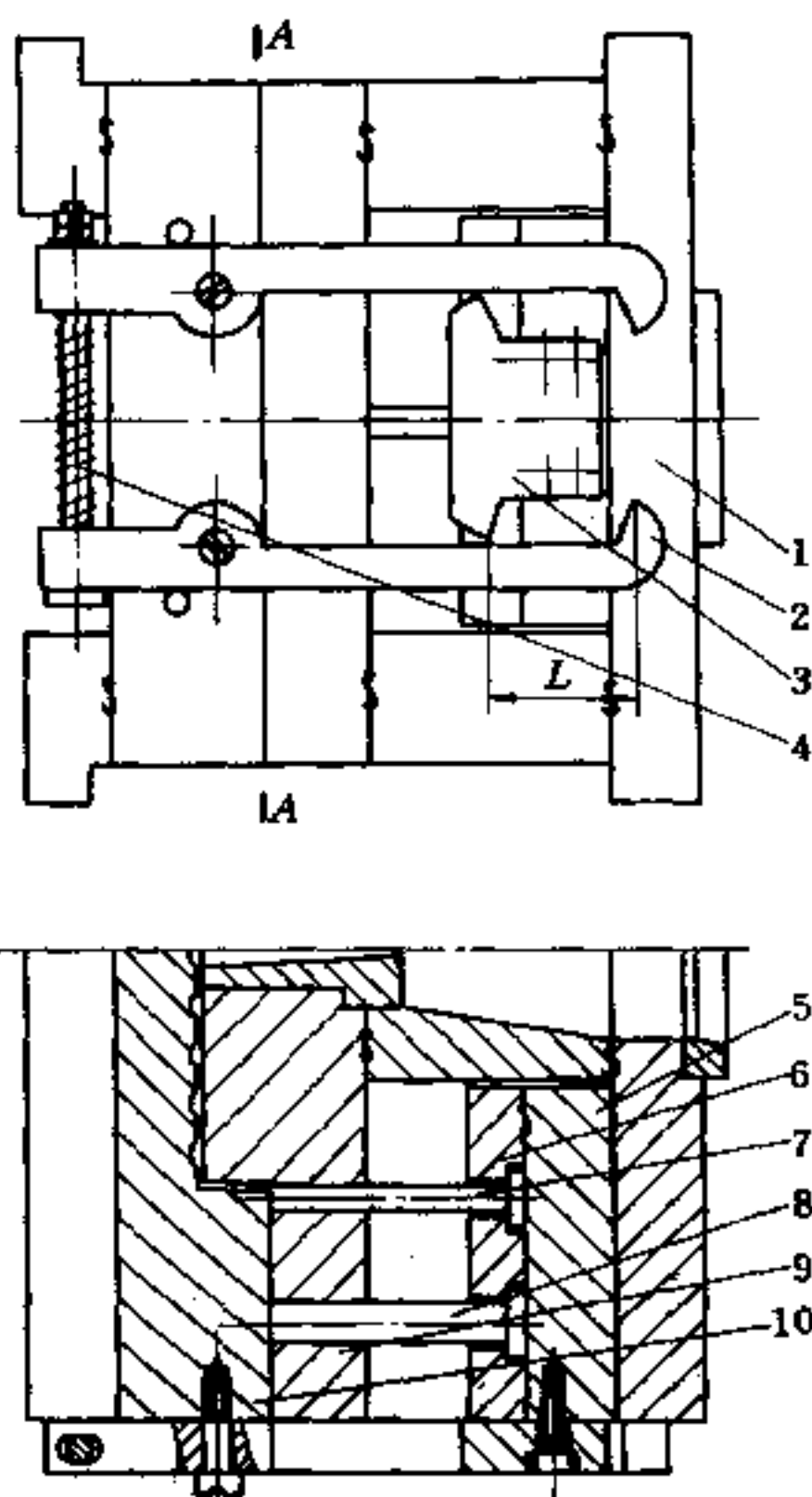


图 4.6-25 拉钩牵引定模脱模机构

- 1—定模固定板；2—拉钩；3—钩脚；4—支承杆；  
5—顶出板；6—顶出固定板；7—顶杆；  
8—回程杆；9—定模；10—动模。

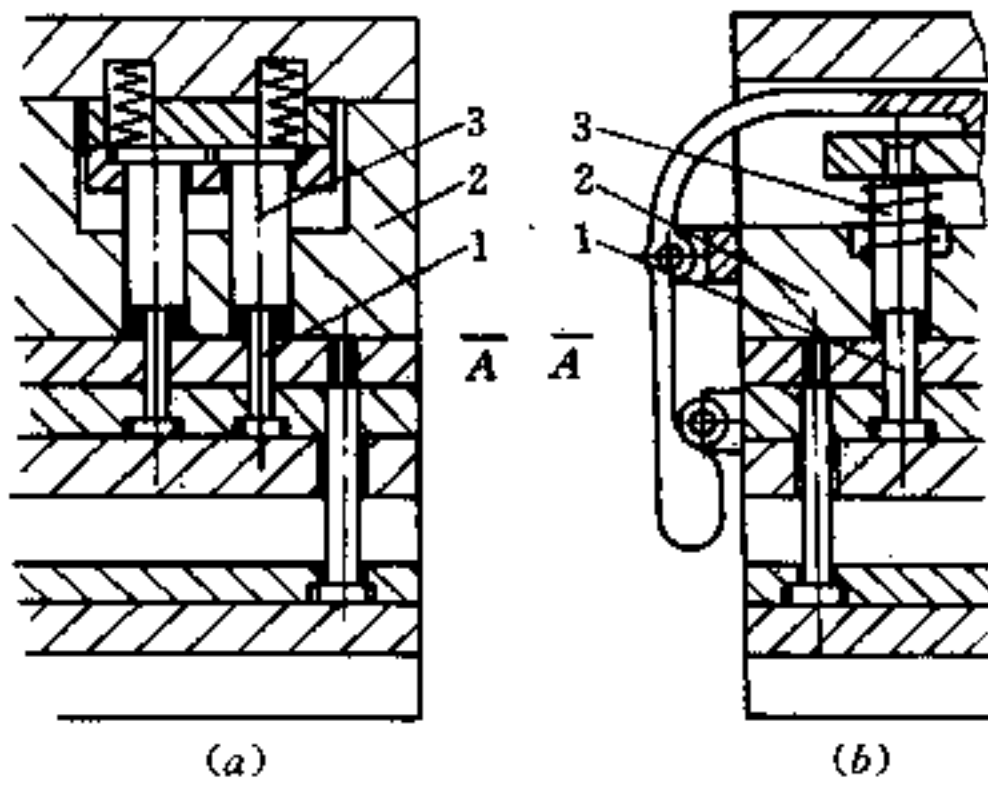


图 4.6-26 双脱模机构

(a)利用弹簧力;(b)利用杠杆作用力。

1—型芯;2—定模型腔;3—顶杆。

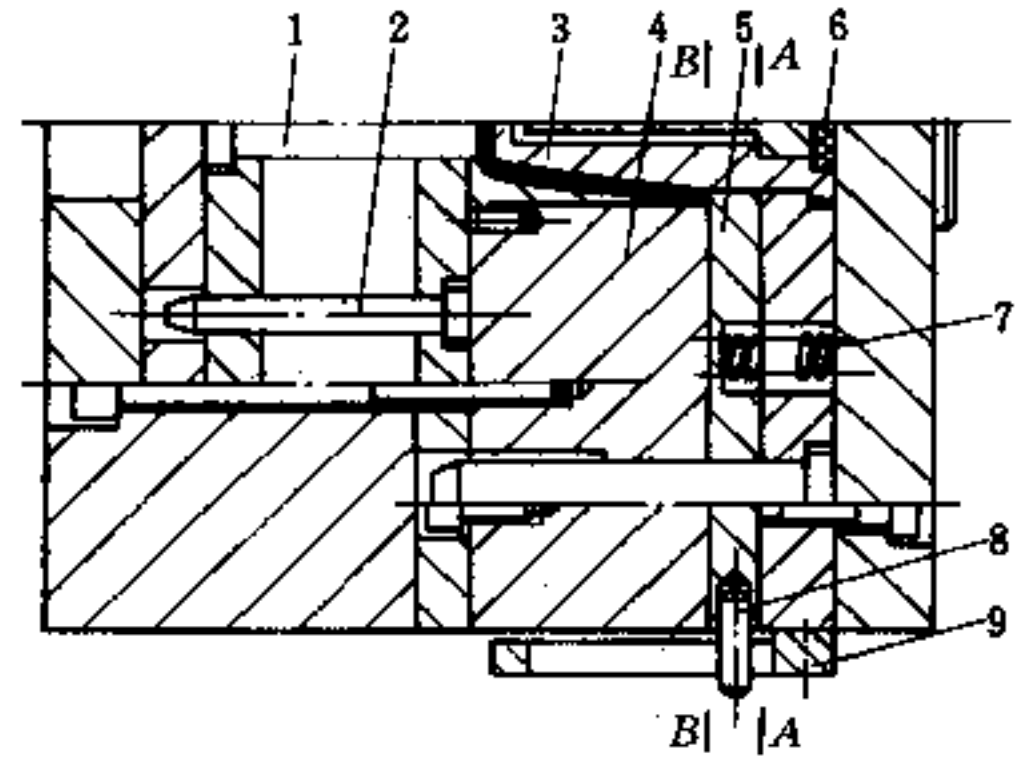


图 4.6-27 弹簧式双脱模(顺序脱模)机构

1—顶杆;2—导柱;3—型芯;4—动模;

5—推件板;6—密封垫;7—弹簧;

8—止动圆柱销;9—定距拉板。

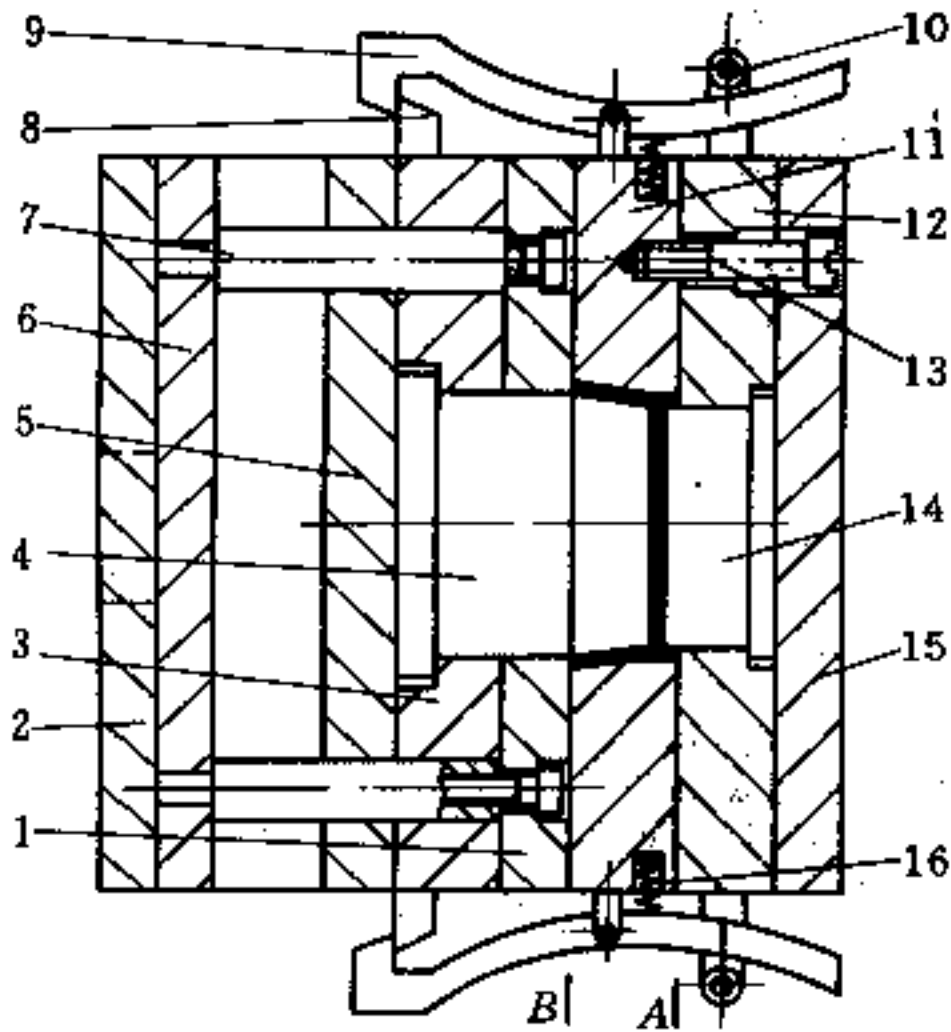


图 4.6-28 拉钩滚轮式双脱模(顺序脱模)机构

1—推件板;2—动模座;3—动模型芯固定板;

4—动模型芯;5—动模垫板;6—顶出板;7—推杆;

8—挡块;9—拉钩;10—滚轮;11—定模型腔板;

12—型芯固定板;13—限位螺钉;14—定模型芯;

15—定模底板;16—压缩弹簧。

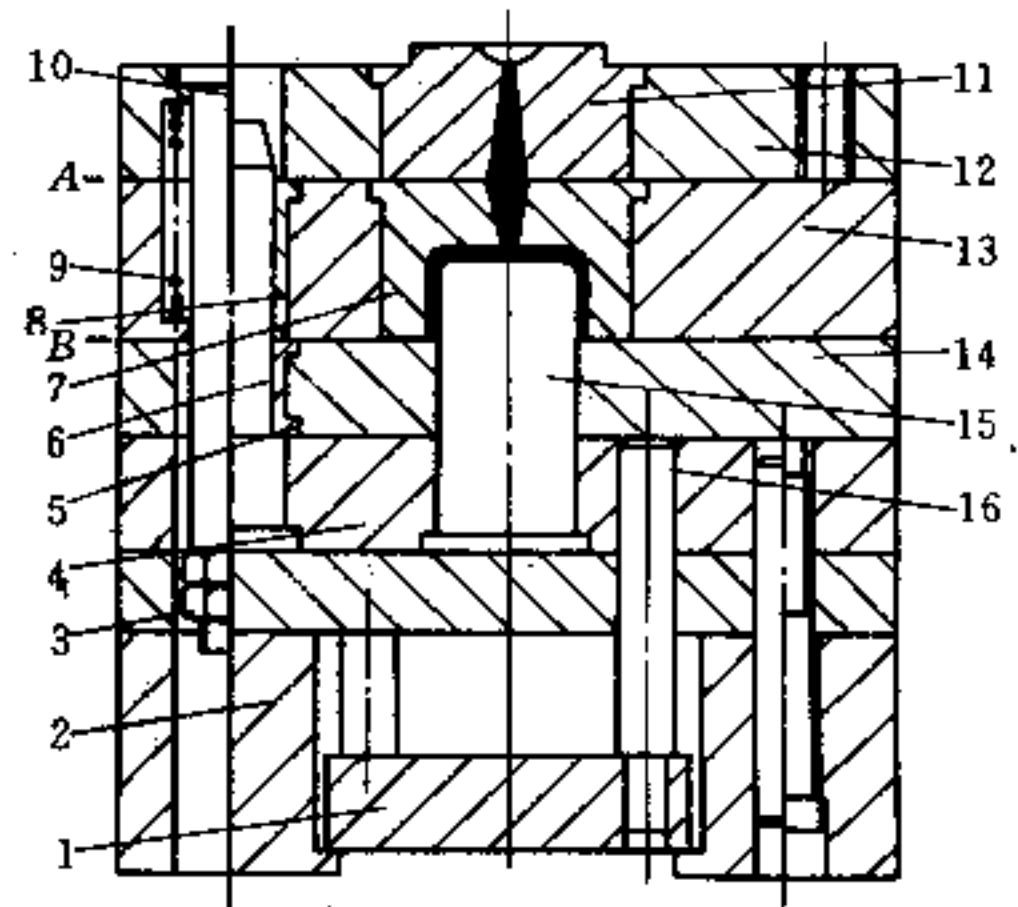


图 4.6-29 立式顺序脱模机构

1—推杆底板;2—动模座;3—螺母;

4—型芯固定板;5—导套;6—导柱;7—凹模;

8—导套;9—弹簧;10—限位拉杆;11—主流道衬套;

12—定模底板;13—中间板;14—脱模板;

15—型芯;16—动模垫板。

#### 4.6.6 二级脱模机构

由于塑件的特殊形状或生产自动化的需要,在一次脱模后塑件仍然难以从型腔中取出或不能自动坠落。此时,必须增加一次脱模动作。有时为避免使塑件受脱模力过大,产生变形或破裂,采用二次脱模分散脱模力以保证塑件质量。这类在动模边进行二次脱模动作的机构,称二级脱模机构。这类机构的形式很多,可分成两种。一种是单顶出板

的二级脱模机构；另一种是双顶出板的二级脱模机构。

### 一、单顶板二级脱模机构

如图 4.6-30 所示，为带有斜楔结构的二级顶出脱模机构。开模一定距离后，注射机的推顶装置通过顶杆底板 12 同时驱动顶杆 9 和凹模型腔板 7 移动，使制品与凸模 8 脱离，实现第一次顶出动作。在这次顶出中，斜楔 6 推动滑块 4 向模具中心移动。但由于此时滑块 4 与推杆 2 还存在平面接触，推杆 2 保持 3 与顶杆 9 与型腔板 7 同步运动。一旦一次顶出结束，推杆 2 会坠落在滑块 4 的圆孔中，这样凹模型腔板 7 便停止运动。而顶杆 9 在继续运动，直到把制品从凹模型腔板中脱出，实现第二次顶出。顶出行程与制品高度的关系为

$$l_1 \geq h_1; l_2 \geq h_2; L = l_1 + l_2$$

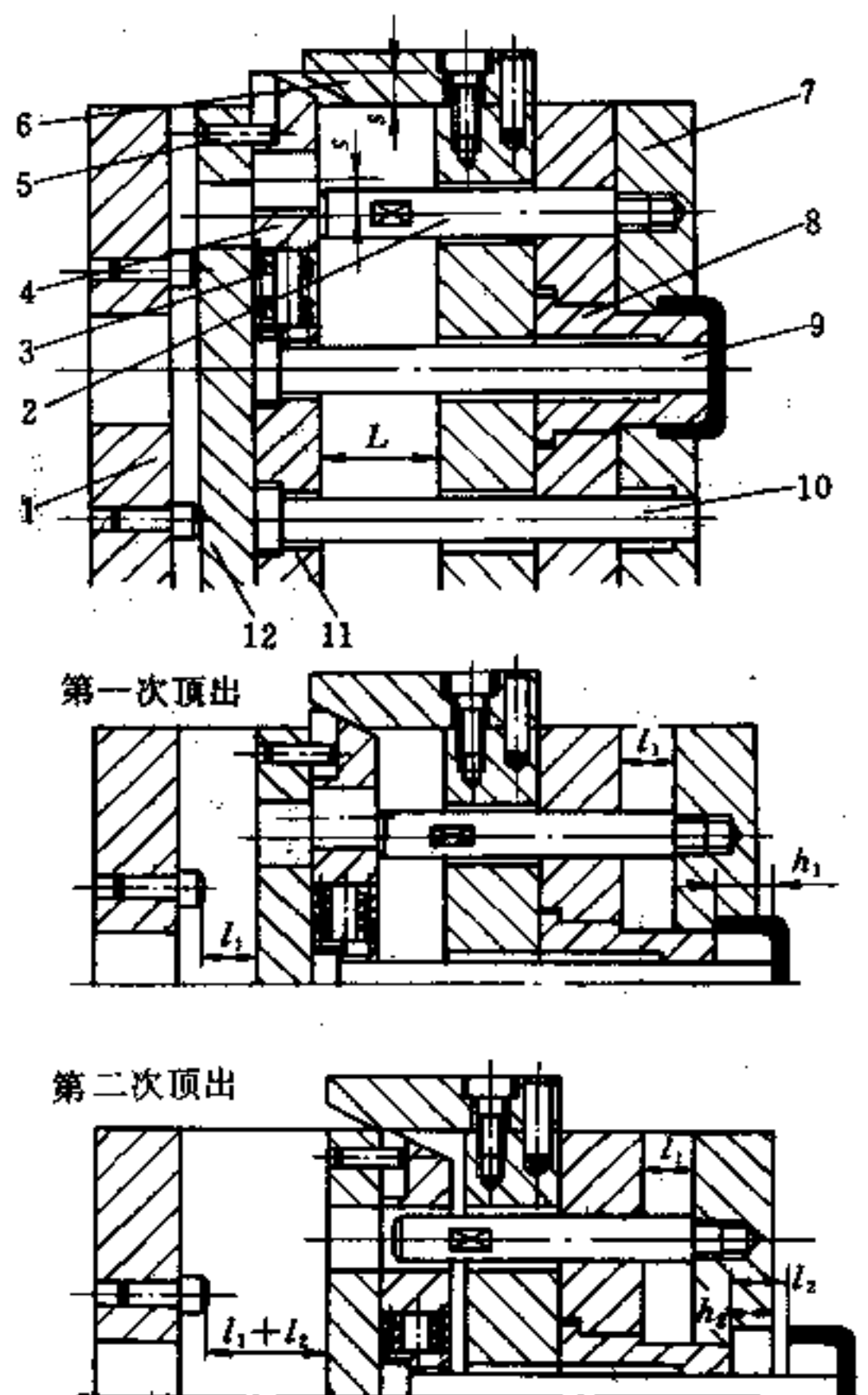


图 4.6-30 斜楔滑块式单顶板二级脱模机构

1—动模座；2—推杆；3—压缩弹簧；4—滑块；5—限位销；6—斜楔；

7—凹模型腔板；8—凸模；9—顶杆；10—复位杆；11—顶杆固定板；12—顶杆底板。

图 4.6-31 是带有 U 形限制架和两个对称摆杆结构的二级推出脱模机构。两个对称摆杆 5 和 14 用转动销轴 1 固定在顶杆底板 3 上，并受固定在动模座 16 上的 U 形架 15 约束。开模后，摆杆夹紧固定在凹模型腔板 9 上的柱销 12，推动该型腔板移动距离  $l_1$ ，使制品与凸模 10 脱离，实现第一次顶出动作。在此过程中，顶杆 11 与摆杆同步运动，同时发挥推顶作用。一次顶出结束之时，拉板 8 通过限位螺钉 7 阻止型腔板 9 运动。与

此同时，摆杆脱出 U 形架的约束在柱销 12 作用下朝外侧张开。在型腔板停止状态下，顶杆 11 继续推顶制品，完成从型腔板中脱出的二次顶出。该机构的二个对称摆杆在合模过程中，依靠拉簧 13 复位。顶出行程与制品高度的关系为

$$l_1 \geq h_1; l_1 \geq l; L - l_1 \geq h_2$$

从以上两副单顶板二级脱模机构可知，被脱塑件先从动模边的凸模上分离，但留在动模型腔板上，称作第一次脱模。在此过程中，该动模型腔板起推件板作用。第二次脱模常用推杆为脱模元件，将塑件从动模型腔板上推出，使其自动坠落。机构设计时应掌握，第一次推顶的脱模力大，应不使制品损伤；而第二次脱模应有较大的行程，保证制品自动坠落。机构的动作顺序安排应注意，第一次脱模时，二级脱模机构所有元件应同步推进。在一次脱模结束后，一次脱模的元件静止不动；而二次脱模元件沿原脱模方向继续运动，直至将塑件完全脱出。为此，一次脱模元件在推顶中，要用上述滑块让位和摆杆外摆，将其与顶出板的运动脱开。也有用斜导柱拨动滑块，或用钢球打滑等方法。最简易方法是用弹簧推动动模型腔板，实现第一次脱模。用限位螺钉使型腔板中止运动。而推杆的继续推顶实现了二次脱模。但这种弹簧式单顶出板的二级脱模，需较硬的弹簧，工作不可靠。也有用定模上的拉板或拉杆等拉曳动模型腔板，完成第一次脱模。但由于动、定模之间开档距离大，且有碍塑件的坠落，应用较少。

## 二、双顶板二级脱模机构

如图 4.6-32 所示，为八字形摆杆式双顶出板二级脱模机构。它有两个对称的呈八字状的摆杆 11。并有两块顶出板，一次顶出板 10 和二次顶出板 2。凹模型腔板 7 将制品从凸模 6 上脱出，该型腔板经推杆 9 与一次顶出板 10 相连。顶杆 5 将制品从凹模型腔板推出，该顶杆与二次顶出板 2 相连。两块顶出板之间有一定距块 1，使顶杆 5 在一次顶出时能与型腔板同步。开模后，注射机推顶一次顶出板 10，经推杆 9 带动型腔板移动距离  $s_1$ ，实现塑件与凸模的一次顶出动作。在此过程中，由于定距块 1 的传力作用，二次顶出板 2 和顶杆 5 均与型腔板同步。一次顶出完成后，摆杆 11 在一次顶出板 10 作用下，转过一定角度和二次顶出板 2 接触。继续开模时，一次顶出板 10 经摆杆 11

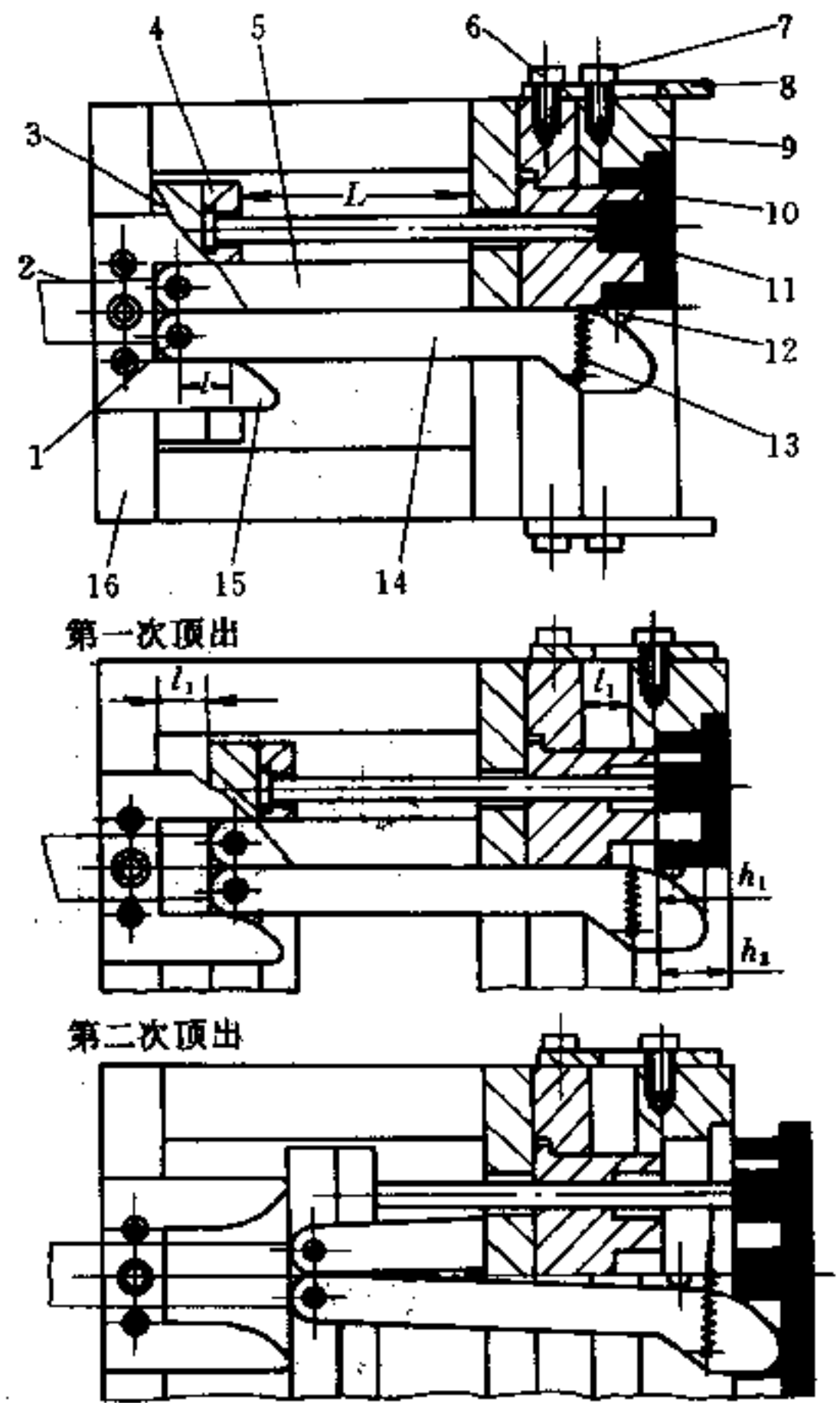


图 4.6-31 U 形限制架式单顶板二级脱模机构

- 1—销轴；2—注射机上顶杆；3—顶出板；  
4—顶杆固定板；5、14—摆杆；6—紧定螺钉；  
7—限位螺钉；8—拉板；9—凹模型腔板；  
10—凸模；11—顶杆；12—柱销；  
13—拉簧；15—U 形限制架；16—动模。



迫使二次顶出板 2 和顶杆 5 产生超前顶出动作, 使制品在顶杆 5 作用下从凹模型腔板中脱出  $s_4$  距离, 实现了二次顶出。该机构的顶出行程、制品高度和其他有关几何要素之间关系如下: 摆杆转角  $\alpha$  一般可取  $45^\circ$ ; 并  $s_1 + s_2 \geq h_1$ ;  $s_1 + s_2 = s_3 = l_1 \sin \alpha + s_0$ ; 超前量  $s_4 \geq h_2$ ;  $s_4 \approx l_2 \sin \alpha - s_0$ ;  $s_0 = l_2 \sin \beta$ ;  $l_2 = \frac{s_0 + s_4}{\sin \alpha}$ 。

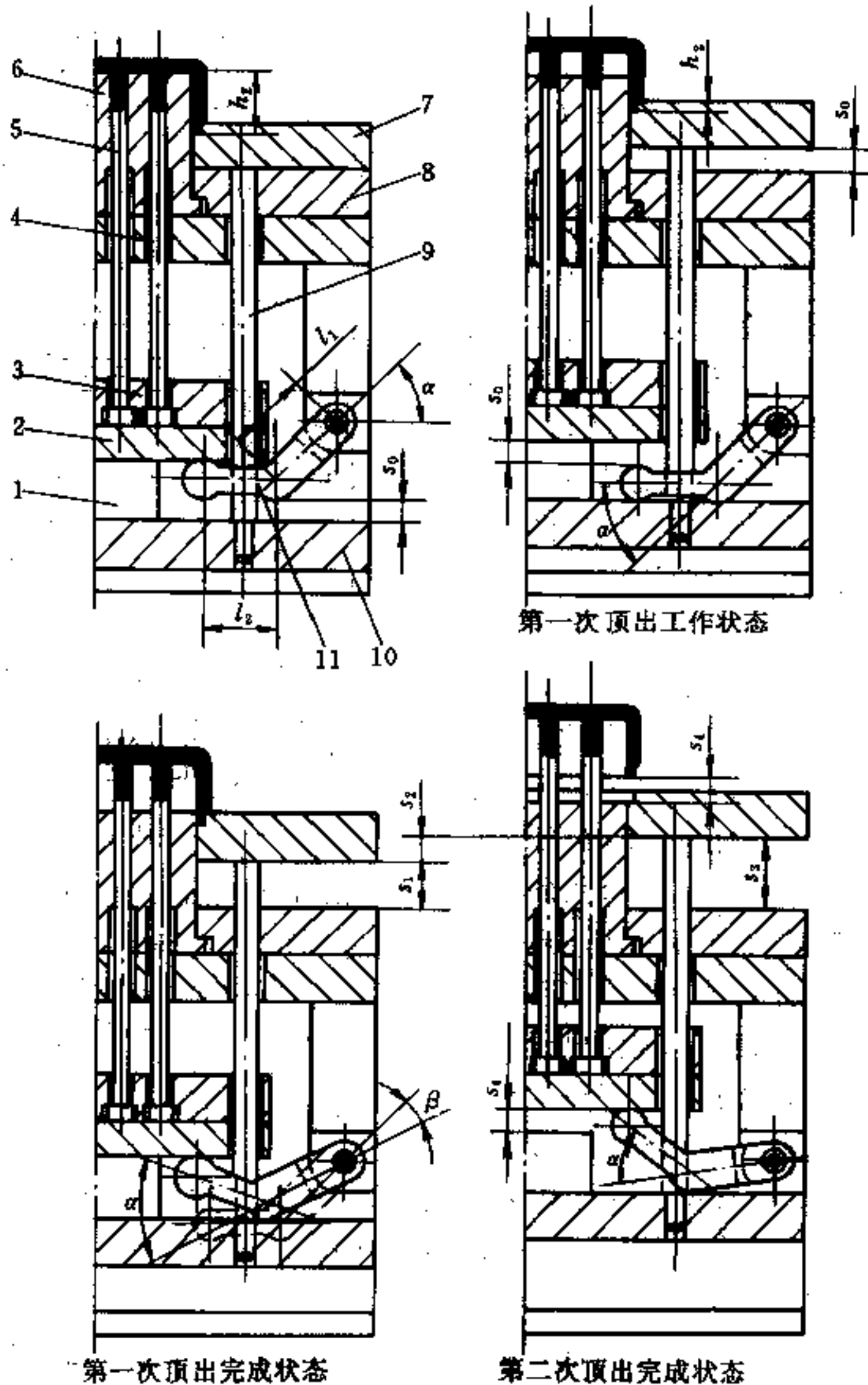


图 4.6-32 八字摆杆式双顶板二级脱模机构

1—定距块; 2—二次顶出板; 3—顶杆固定板; 4—动模垫板; 5—顶杆;

6—凸模; 7—凹模型腔板; 8—凸模固定板; 9—推杆; 10—一次顶出板; 11—摆杆。

图 4.6-33 为斜楔拉钩式双顶板二级脱模机构。拉钩 6 在合模状态下和二次顶出动作开始之前, 经柱销 7 将二次顶出板 2 和一次顶出板 3 拉合在一起。开模后, 注射机顶柱推动二次顶出板 2 和顶杆 15 推顶塑件。与此同时, 一次顶出板 3 经推杆 10 驱使凹模

型腔板 11 与其同步运动。于是，塑件在凹模型腔板 11 与顶杆 11 的共同作用下脱离型芯 13，实现第一次脱模。继续开模中，安装在型芯固定板 14 上的斜楔 12，迫使两个拉钩张开，致使一次和二次顶出板相互脱开。再继续开模，一次顶出板 3 和凹模型腔板停止运动。由继续运动的二次顶出板 2 和顶杆 15，将制品从型腔板中脱出，完成二次脱模。在合模时，回程杆将二次顶出板先行推回，拉簧使拉钩勾住一次顶出板上柱销，二者恢复连接。该机构中，顶出行程与塑件高度的关系： $l_1 \geq h_1$ ； $l_2 \geq h_2$ ； $L = l_1 + l_2$ 。

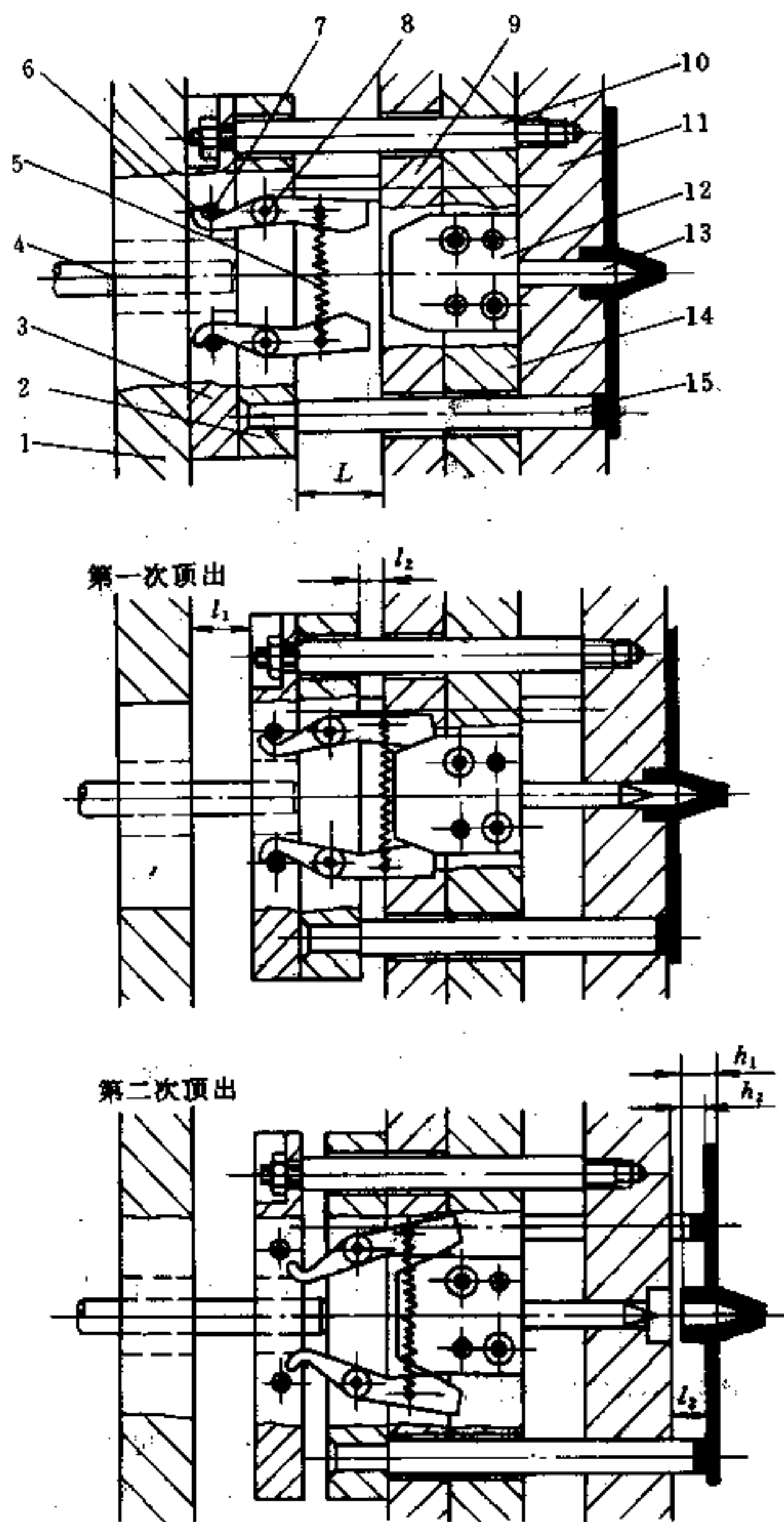


图 4.6-33 斜楔拉钩式双顶板二级脱模机构

1—动模座；2—二次顶出板；3—一次顶出板；4—注射机顶柱；5—拉伸弹簧；6—拉钩；7—柱销；  
8—芯轴；9—动模垫板；10—推杆；11—凹模型腔板；12—斜楔；13—型芯；14—型芯固定板；15—顶杆。

双顶板二级脱模机构，应保持一二次顶出板在第一次脱模时二者同步。设计时必须保证两顶出板关系和位置的复原。可实现该动作循环过程的双顶出板二级脱模机构还有多种。

#### 4.6.7 浇注系统凝料脱出机构

采用点浇口或潜伏式浇口，应该而且可以把制品和浇注系统的凝料在模内分离。然后，脱模机构驱使两者分别脱模并自动坠落，从而实现自动化注塑成型生产。

##### 一、顺序脱模机构浇道凝料的脱出

这类机构可以实现浇道凝料的脱模。见图 4.6-34，就是利用分流道末端斜孔凝料，在开模瞬时拉断点浇口。浇道凝料被定模边的拉料杆上球头滞留，在动模与型腔板分型

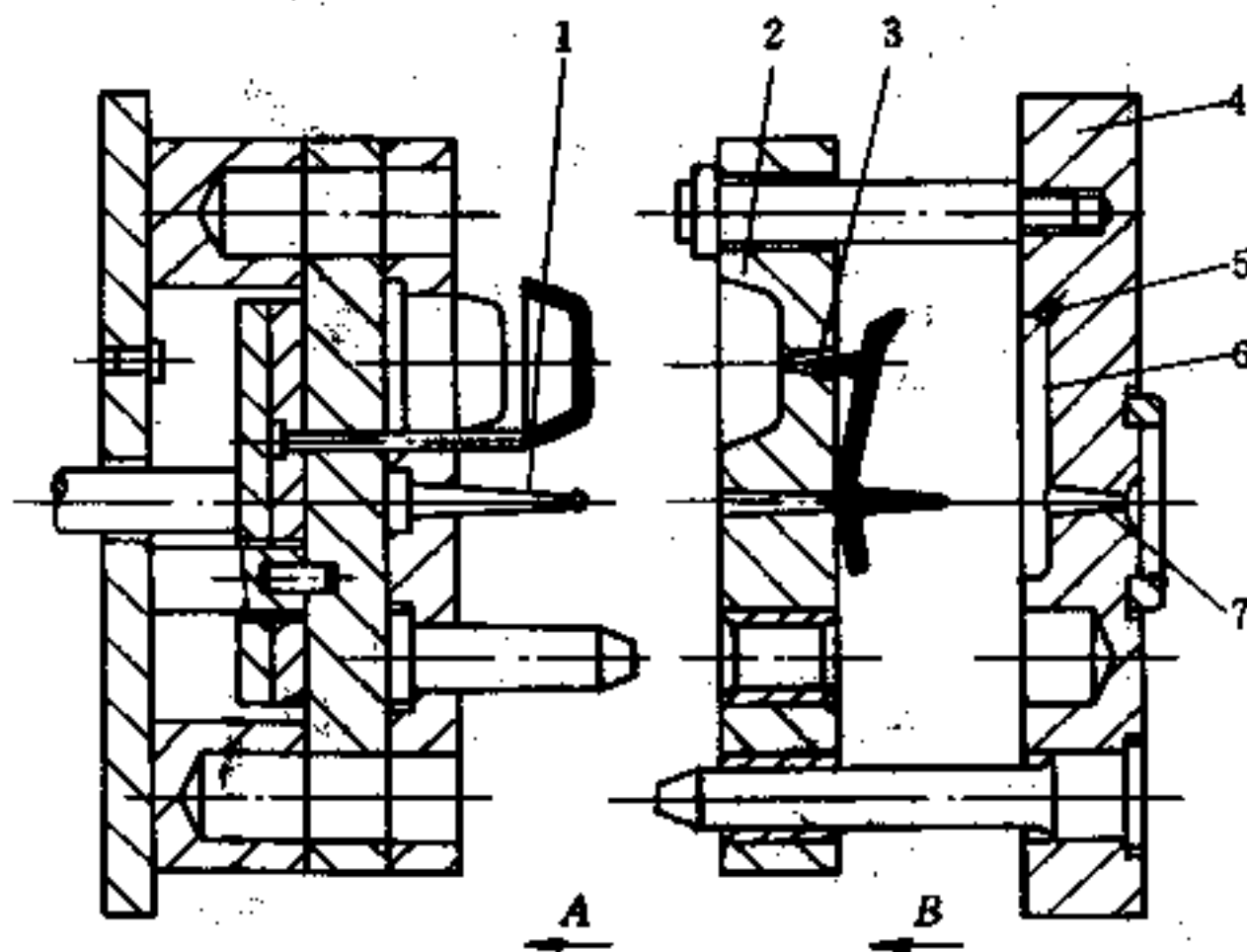


图 4.6-34 用分流道斜孔和主流道拉料杆脱卸浇道凝料

1—主流道拉料杆；2—型腔板；3—点浇口凝料；4—定模底板；5—分流道斜孔；6—分流道；7—主流道。

时才能脱开，但由于飞边和粘模往往不能落下。如图 4.6-35 所示，也同样利用斜孔凝料拉断点浇口。它用主流道末端冷料井，将流道凝料滞留在型腔板上。而后由主流道顶杆脱卸浇道凝料，能保证自动坠落。主流道顶杆下部伸出定模底座，因此注射机的定模板应有孔来容纳此顶杆。它有比顶出板更长的行程，用套在杆上弹簧保证复位。分流道上斜孔的结构可参考图 4.6-36。

再介绍一种设置在型腔板内的浇道凝料脱模机构。塑制细长制品的型腔板很厚，可充分利用板内空间，如图 4.6-37 所示。用定模板上的拉杆，拉动浇道凝料顶出板及其顶杆，将滞留在型腔板上的浇道凝料推出。

##### 二、利用分流道推板浇道凝料的脱出

在定模边设置一块分流道推板，使浇注系统凝料可靠地脱卸，并保证其自动坠落。根据流道凝料粘留在定模板还是滞留在型腔板上，可分为以下两种脱模机构。

##### 1. 定模板上将浇道凝料脱出

由于动模与型腔板首先分型，然后是型腔板与定模板分型；由于主流道和分流道凝料的脱模阻力；再加上在定模板上设置拉料销，使浇道凝料被粘留在定模的分流道推板上，如图 4.6-38 所示的多型腔模。后退中的动模，由拉板经型腔板上拉杆，拉动分流

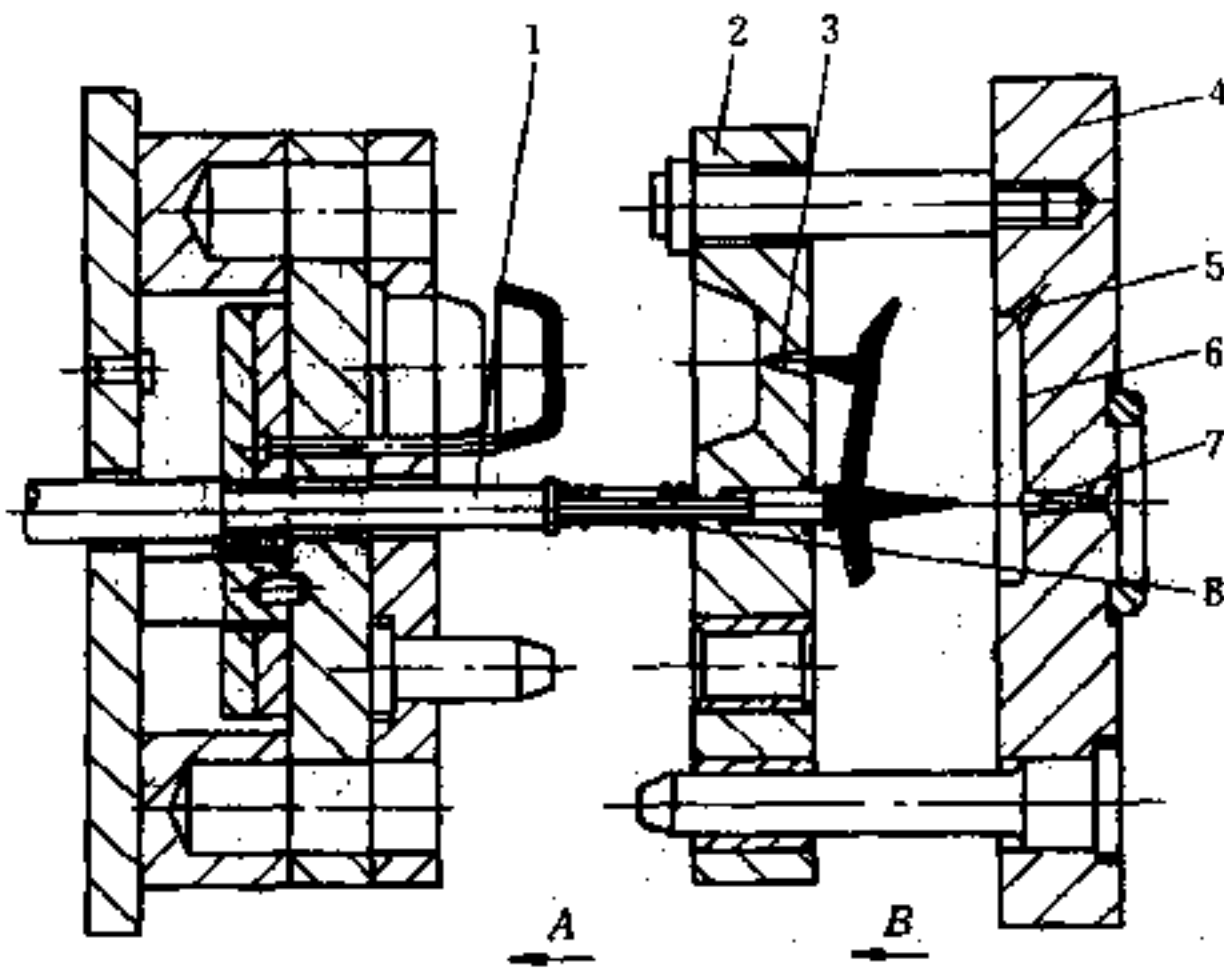


图 4.6-35 用分流道斜孔和主流道推料杆脱卸浇道凝料  
1—主流道推杆；2—型腔板；3—点浇口引导倒锥；4—定模底板；  
5—分流道斜孔；6—分流道；7—主流道；8—压缩弹簧。

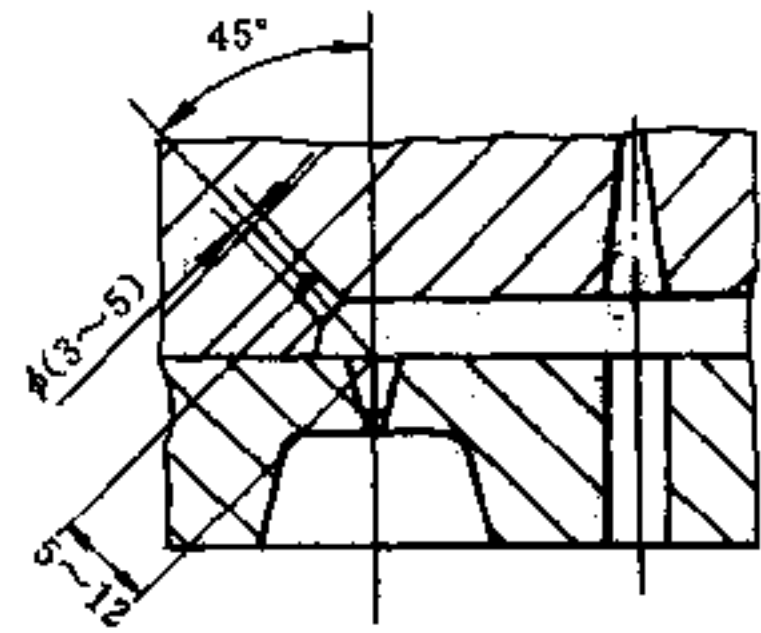


图 4.6-36 分流道上斜孔

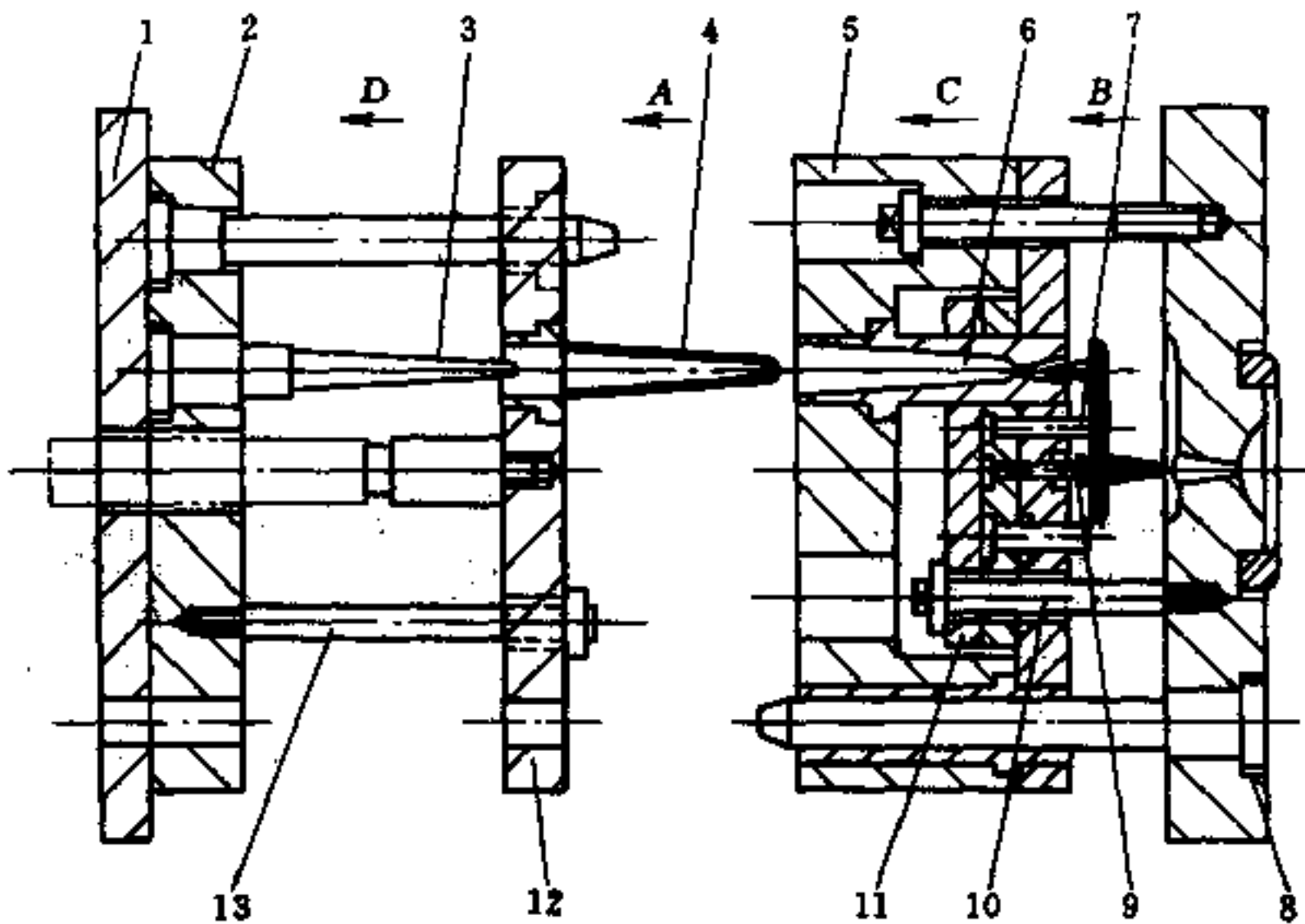


图 4.6-37 型腔板内设置浇道凝料脱模机构

1—动模座；2—型芯固定板；3—型芯；4—制品；5—型腔板；6—凹模；  
7—顶杆；8—定模板；9—主流道顶杆；10—拉杆；11—浇道凝料顶出板；12—推板；13—拉杆。

道推板，使凝料脱出主流道孔和拉料销，让其依靠自重而坠落。对于聚苯乙烯等一些塑料，其主流道凝料与喷嘴脱离时经常有拉丝现象，妨碍浇道凝料坠落。于图 4.6-38 的 A 视图中，建议增设弹簧顶销，可把细丝拉断。

可有若干个分流道拉料销将浇道凝料拉附在定模板上。拉料销的结构形式、尺寸和公差见表 4.6-6。拉料头的  $(d_2 - d_3)$  之差在 0.5~1.0mm。对于脆性塑料尤其要有圆角过渡和低的粗糙度 ( $< R_a 3.2$ )。拉料销的锥形段与分流道推板的孔密配。

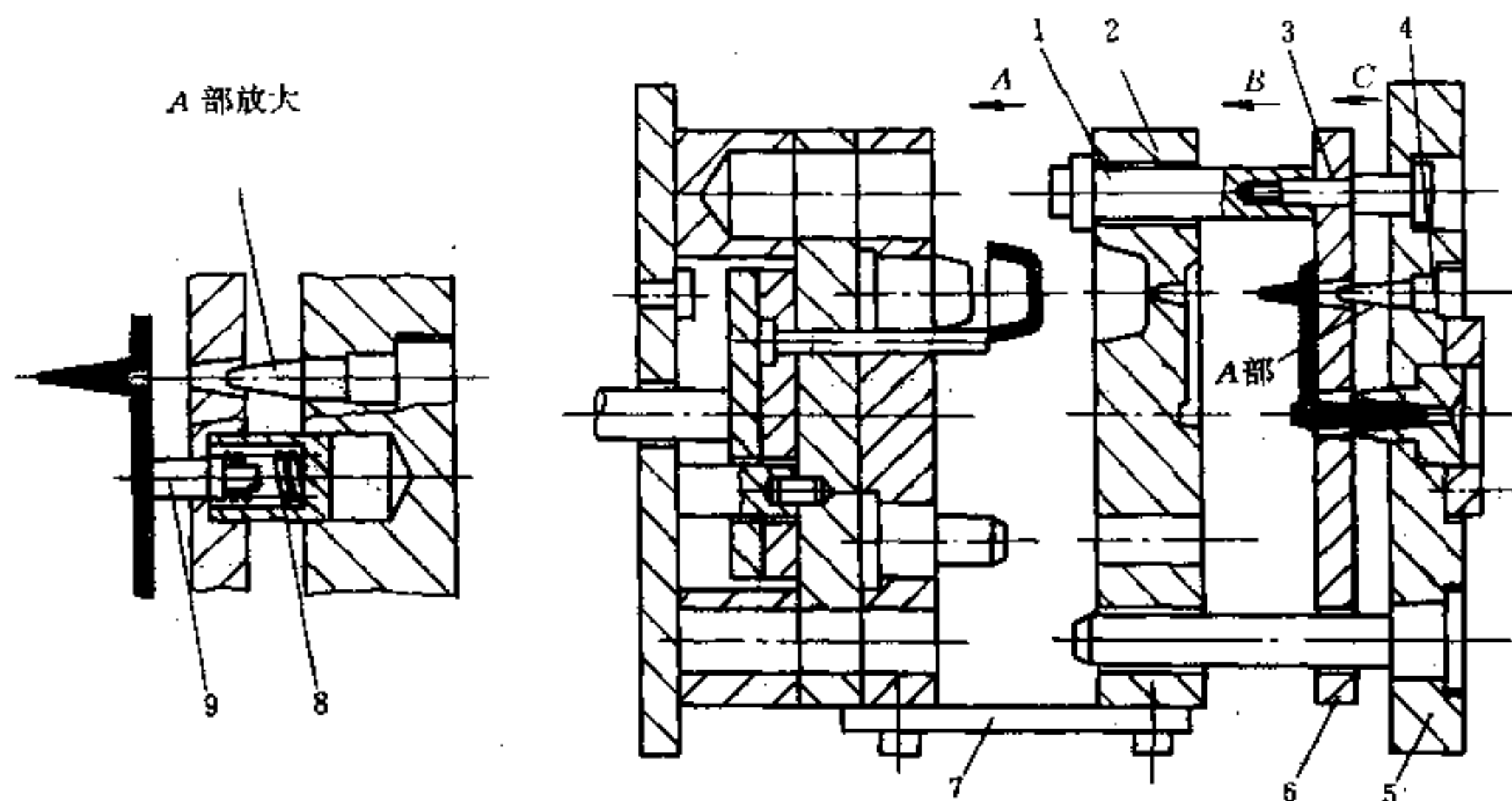


图 4.6-38 用分流道推板脱卸浇道凝料的多型腔模

1—拉杆；2—型腔板；3—限位螺钉；4—分流道拉料销；5—定模底板；

6—分流道推板；7—拉板；8—压缩弹簧；9—顶销。

表 4.6-6 分流道拉料销的种类和尺寸 (mm)

基本尺寸 $d$	公差	A 型		B 型		C 型		$h$	$m$	$\theta^\circ$
		$0$	$H^-$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$h$			
4.0		8.0		3.0	2.8	2.3	2.5	5.0		
5.0	+0.012 +0.004	9.0	6.0	3.5	3.3	2.8	3.0	5.0	10°	
6.0		10.0		4.0	3.8	3.0	3.0	7.0		
8.0	+0.015 +0.006	13.0		5.0	4.8	4.0	4.0	7.0		
10.0		15.0	8.0	6.0	5.8	4.8	5.0	7.0	20°	
12.0	+0.018 +0.007	17.0		8.0	7.2	6.2	5.0	7.0		

图 4.6-39 是单型腔模具，用分流道推板脱出浇道凝料的机构。由于动模与型腔板首先分型，塑件包紧在型芯上，点浇口被拉断。当链条被拉紧后，型腔板与分流道推板分型，点浇口凝料被粘留在主流道孔中。限位螺钉拉动分流道推板时，浇口凝料被拖出并靠自重坠落。从模具的开模状态可知，链条长度和定距螺钉长度之和应与开模行程相适应，否则会将链条拉断或者浇口凝料脱不出来。

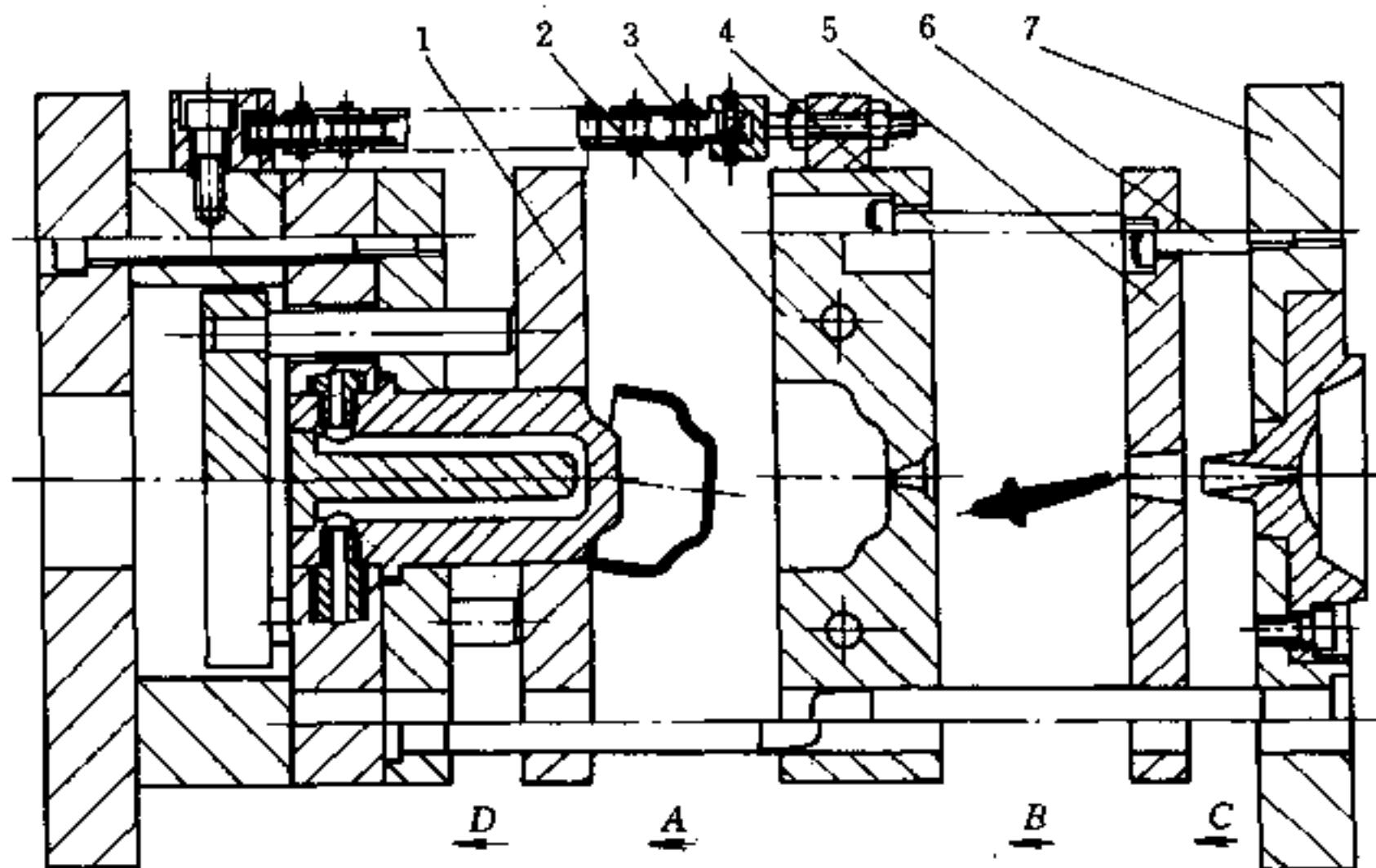


图 4.6-39 用分流道推板脱卸浇道凝料的单型腔模

1—动模推件板；2—型腔板；3—链条；4—定距拉杆；5—分流道推板；6—限位螺钉；7—定模板。

## 2. 型腔板上将浇道凝料脱出

与上述过程相反，由于分流道推板首先跟定模板分型；由于型腔板上主流道冷料并凝料的拉力，使浇道凝料脱离定模板。图 4.6-40 为多型腔模，浇道凝料就这样被粘留在型腔板上。在其后，分流道推板与型腔板分型中将点浇口拉断，使浇道凝料从型腔板上脱离并靠自重坠落。动模退至终点时，动模上从动齿轮被注塑机上驱动齿轮啮合传动，带动各螺纹芯环转动。由于固定型芯上有止转花纹，带内螺纹的制品在旋转中退出型芯。

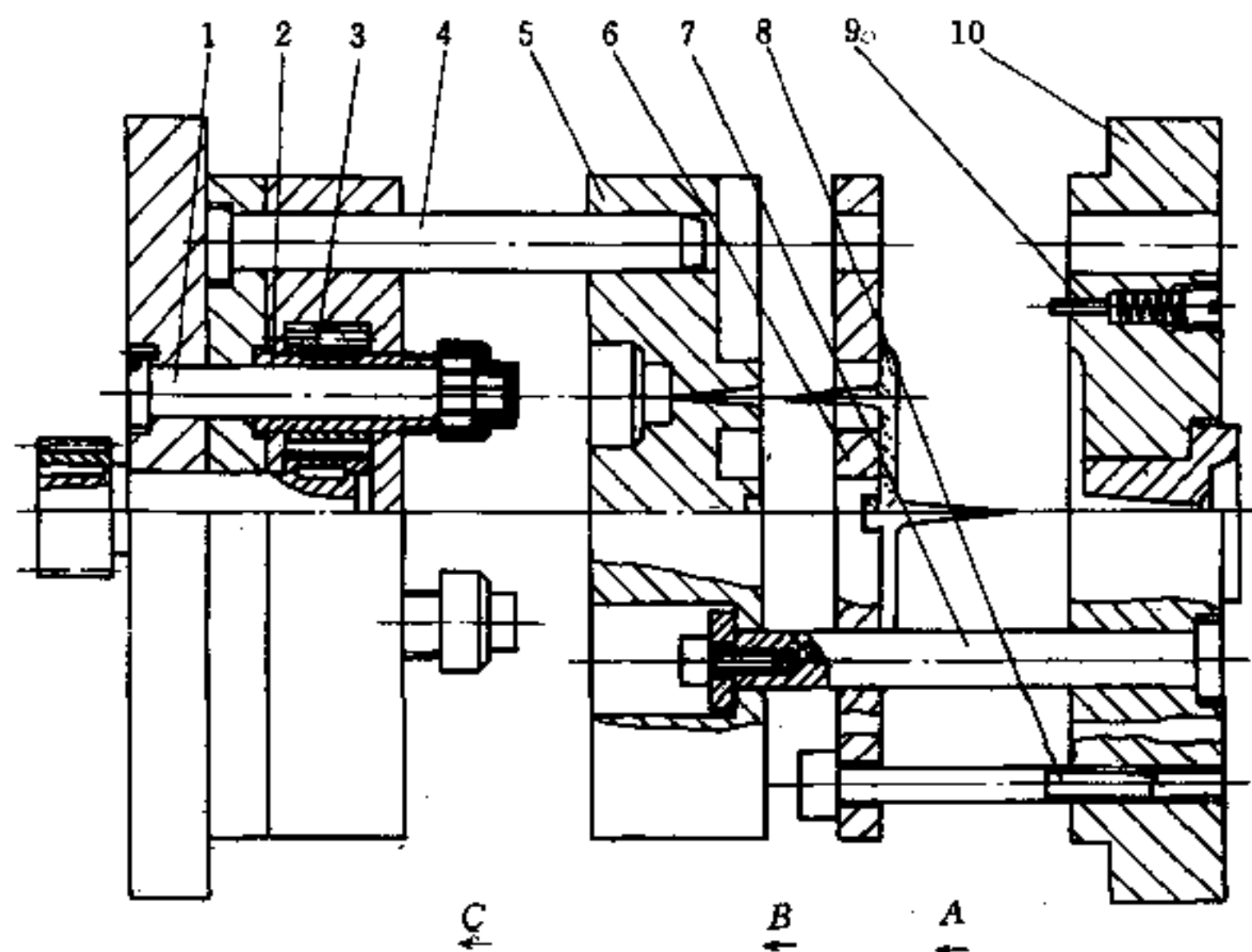


图 4.6-40 用分流道推板反向脱卸浇道凝料的多型腔模

1—固定型芯；2—螺纹芯环；3—齿轮；4—导柱；5—型腔板；  
6—分流道推板；7—限位拉杆；8—限位螺钉；9—弹簧顶销；10—定模板。

用拉杆牵引这类分流道推板或动模边推板，是脱模机构中常用的方法，有如图 4.6-41 所示两种结构。第一种可使推板开档距离达  $x+y$ 。若该行程不能满足深腔制品要求，可用第二种伸缩式拉杆结构。可得到  $x+y+z$  的较大行程。但需注意拉杆设置不能妨碍制品自由坠落。

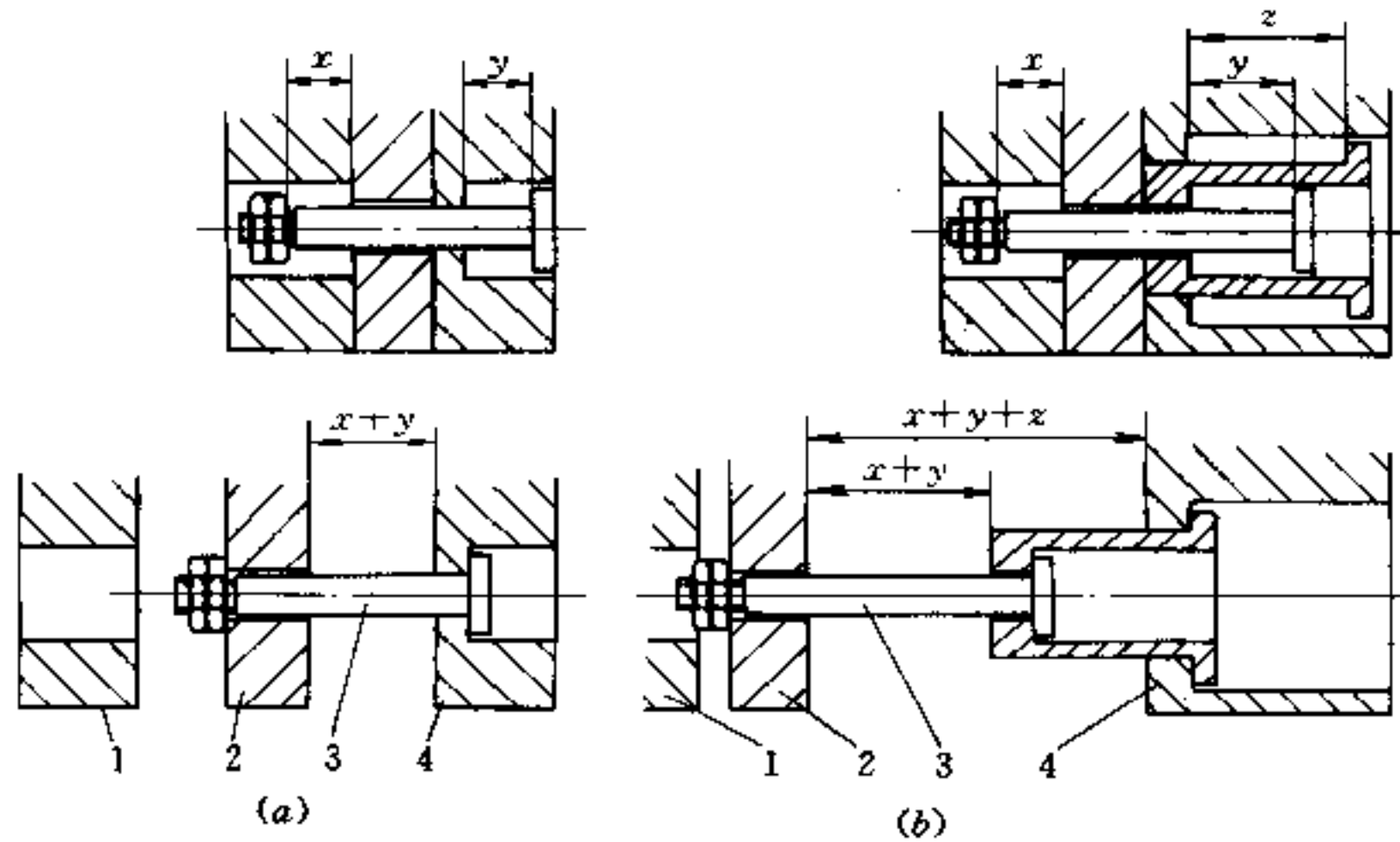


图 4.6-41 拉杆牵引推板推出

(a) 单式；(b) 伸缩式。

1—动模；2—推板；3—拉杆；4—定模。

图 4.6-42 是单型腔注塑模，从型腔板上用分流道推板将浇道凝料自动脱落的机构。图 4.6-42 (a) 是闭模注射状态，注射机喷嘴压紧主流道衬套；图 4.6-42 (b) 是保压后喷嘴后退，主流道衬套在弹簧作用下与主流道凝料脱离；图 4.6-42 (c) 是开模状态。分流道推板与定模板首先分型。由于主流道凝料已经脱模，流道凝料滞留在型腔板上。分流道推板被限位螺钉停住后，型腔板被动模牵引继续后退。在此分型过程中，点浇口被拉断，流道凝料被推出坠落。

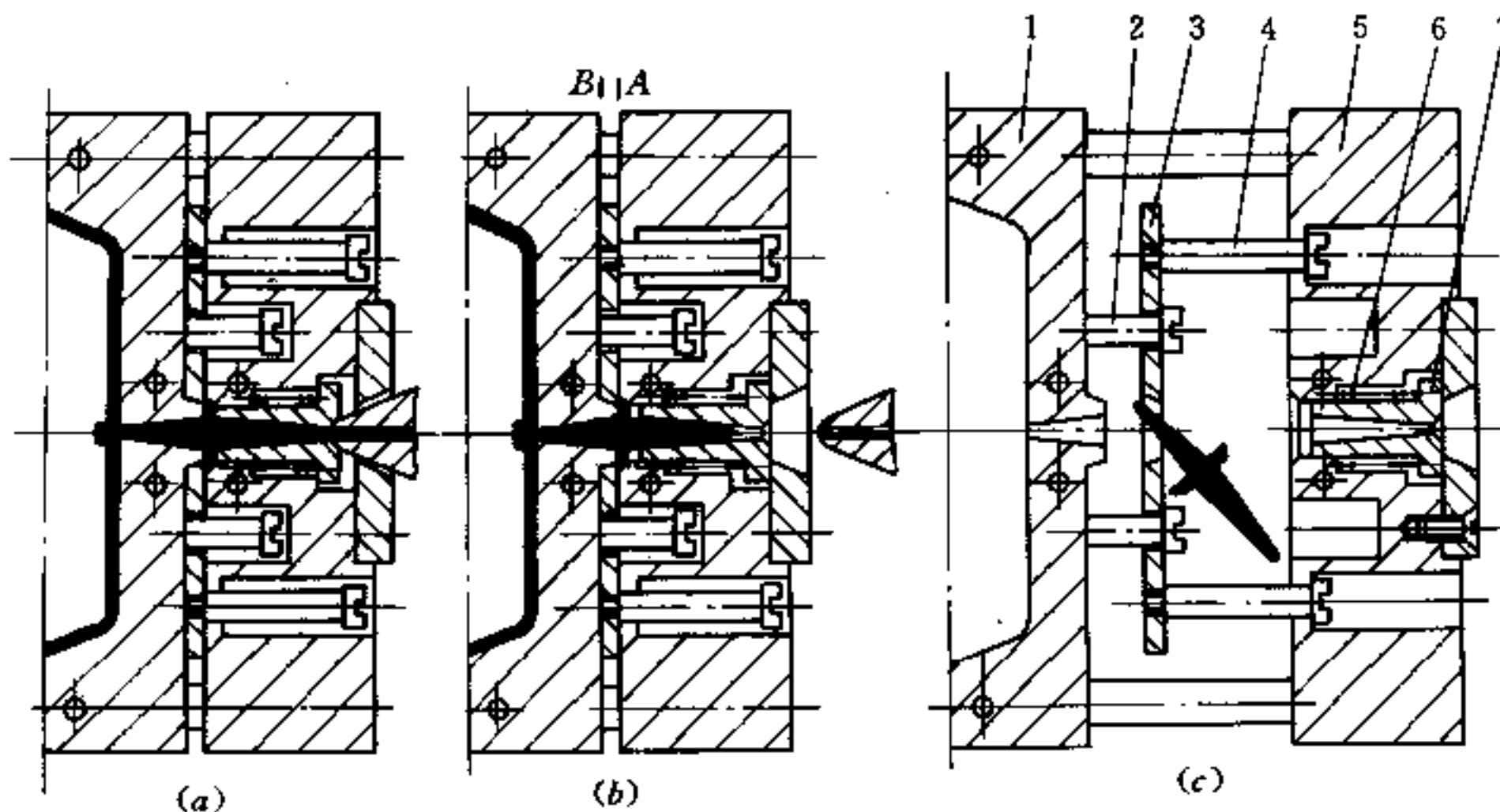


图 4.6-42 型腔板上用分流道推板将流道凝料脱出

1—型腔板；2—限位螺钉；3—分流道推板；4—限位螺钉；5—定模板；6—压缩弹簧；7—主流道衬套。



### 三、利用二级脱模机构脱出潜伏式浇口的流道凝料

图 4.6-43 为二级脱模机构。在第一次脱模中，由制品顶杆将塑件推出，而凝料顶杆与顶出板之间有空档，静止不动，这样潜伏式浇口被剪断。在二次脱模中，顶出固定板与凝料顶杆上的台肩接触。整个脱模机构同步动作，凝料顶杆推出流道凝料；制品被进一步顶出。

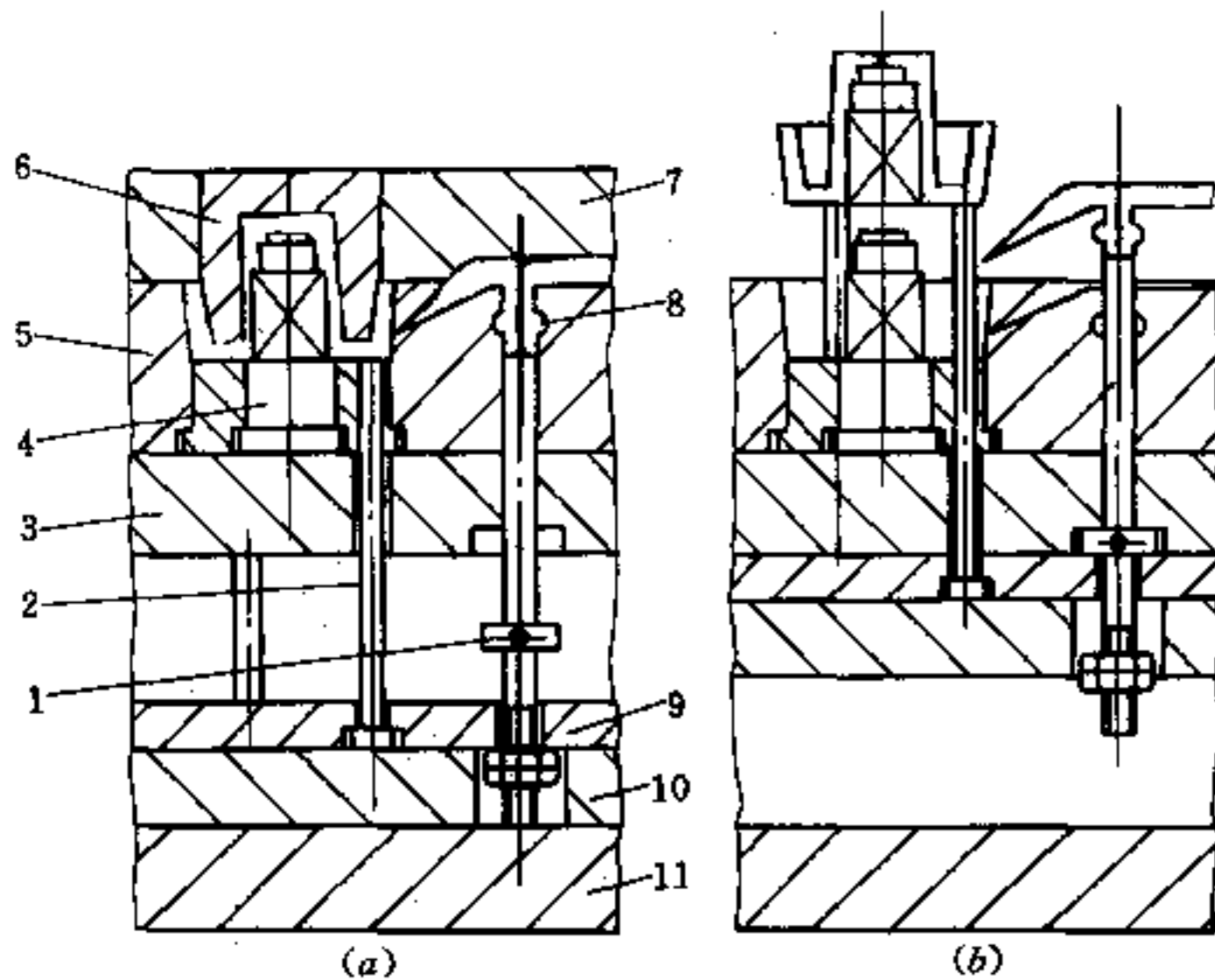


图 4.6-43 二级脱模机构将潜伏式浇口流道凝料脱出

1—凝料顶杆；2—制品顶杆；3—动模垫板；4—型芯；5—凹模板；  
6—凹凸模；7—定模板；8—冷料井；9—顶出固定板；10—顶出板；11—动模座。

## 4.7 侧向分型与抽芯机构设计

侧向分型与抽芯机构简称为侧抽机构，用来成型具有外侧凸起、凹槽和孔的塑件；成型壳体制品内侧的局部凸起、凹槽和盲孔。侧抽机构必须在开模方向塑件脱模之前完成抽拔动作，还必须在闭模过程中让机构复位。具有侧抽机构的注塑模，其可动零件多，动作复杂。故设计可靠、灵活和高效的侧抽机构较为困难。侧抽机构的种类很多，按驱动类型，可分为手动、弹簧力、开合模的机械力、液压与气动四大类型。本节着重描述斜导柱、斜滑块和齿轮与齿条三种机动侧抽机构的设计。

### 4.7.1 设计原理

设计者首先必须从塑件形体和尺寸分析着手，确定合理的侧向分型或抽芯方案。要进行必要的运动学分析，考虑机构零件的几何要求。还要确定抽拔距、抽拔力。

#### 一、外侧分型

外侧分型注塑模是以两个对合滑块，来成型塑件整个侧向外形，也称为瓣合模。图 4.7-1 是一组外侧分型塑造的典型制品。

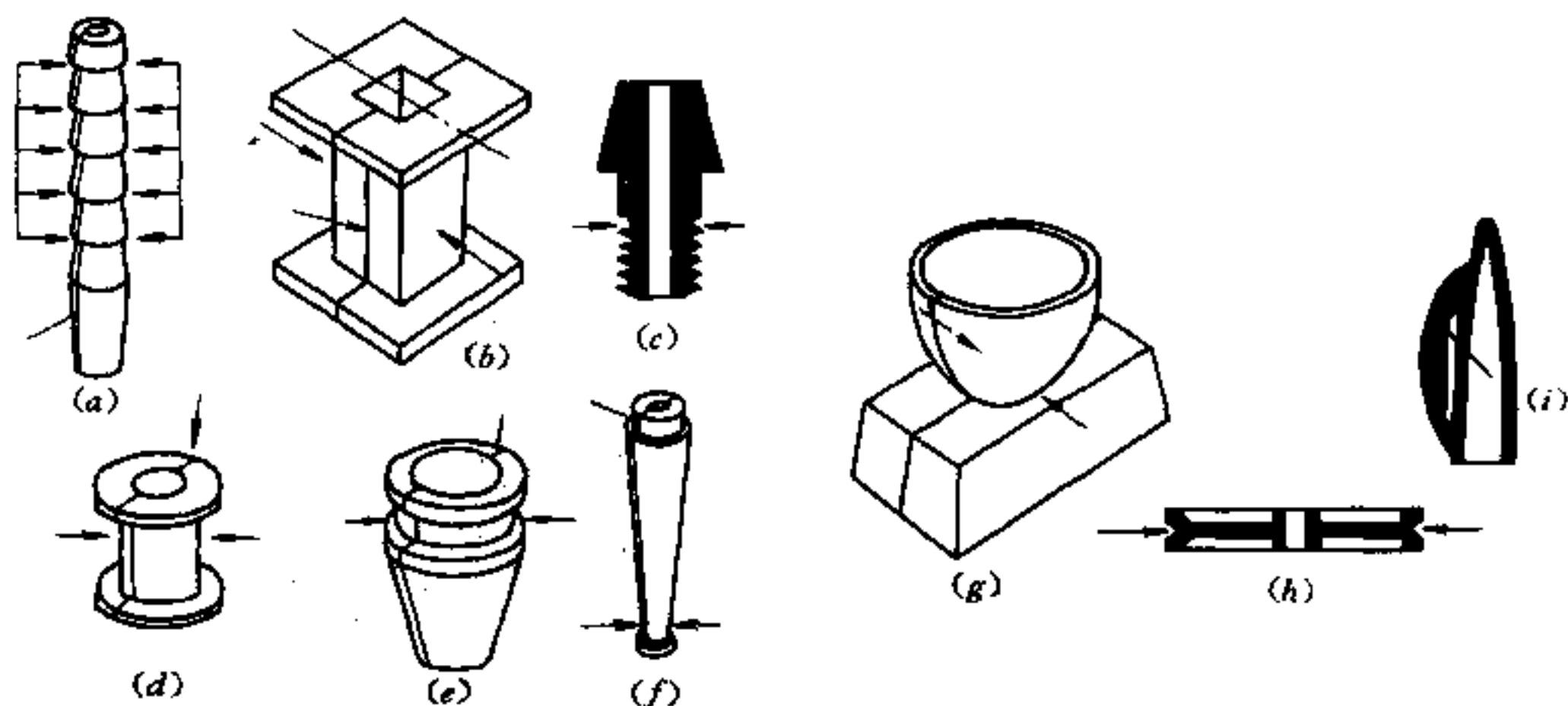


图 4.7-1 需外侧分型的塑件

(a) 管接头; (b) 方形骨架; (c) 螺纹管接头; (d) 圆筒骨架;  
(e) 接头; (f) 管轴杆; (g) 蛋杯; (h) 带轮; (i) 笔套。

图上外形对称的塑件,如图 4.7-1 (a)、(b) 所示,侧向分型面必须经过中心线。瓣合模成型的塑件在外形上会留下拼合缝。因此在模具的使用期内,应保持侧滑块的拼合精度和足够的侧向压力。对螺纹接头,明显的拼合缝会影响旋合连接功能。对笔套类塑件,唯一可取的侧向分型面必须设在弹性夹头的最高凸起处。

如图 4.7-2 所示,侧滑块的抽拔距是指从成型位置起始,将滑块移到不妨碍塑件脱模顶出的位置。临界抽拔距  $s_c$  定义为:侧滑块与塑件外形在模板上的投影不相重合的移动距离。而设计抽拔距  $s$ ,应计入安全余量和误差补偿量 2~3mm。故有

$$s = s_c + (2 \sim 3) \text{ mm} \quad (4.7-1)$$

临界抽拔距或临界抽芯距一般等于侧凹、侧凸或侧孔的深度。但遇到回旋体外形,如图 4.7-1 (d) 圆筒形线圈骨架类塑件时,应用下式计算

$$s_c = \sqrt{R^2 - r^2} \quad (4.7-2)$$

式中  $R$ ——塑件侧向最大外形的半径;

$r$ ——塑件侧向最小内凹槽柱面半径。

对图 4.7-1 (g) 蛋杯塑制件,侧向分型面设置在矩形底座长边的纵向,则侧向抽拔距就可短些。

如图 4.7-2 所示,斜导柱侧向分型机构由斜导柱、滑块、导滑槽、定位装置和锁紧楔组成。在动模一侧的成型滑块,装在动模板上的导滑槽内,滑块上的导轨在导滑槽内可精确地往复运动。在定模边固定有与开模方向成倾角  $\alpha$  的斜导柱,它与滑块上的斜孔成大间隙动配合。开模时滑块在斜导柱上滑动,由侧向分力驱动滑块进行侧向分型。滑块脱离斜导柱后,定位装置起对滑块的定位和固定作用,以使斜导柱在合模时能再次对准插入。在合模中,斜导柱有一与前相反的复位分力驱使滑块回复。斜导柱与斜孔有较大间隙,使滑块复位精度差,会产生溢料。另外,斜导柱不能承受熔体充模时很大的侧压力。故要用锁紧楔紧压滑块于成型位置,保证塑件的尺寸精度。

在开模时,滑块运动速度  $V$  沿斜导柱轴线方向。它是动模于开模方向的牵连运动

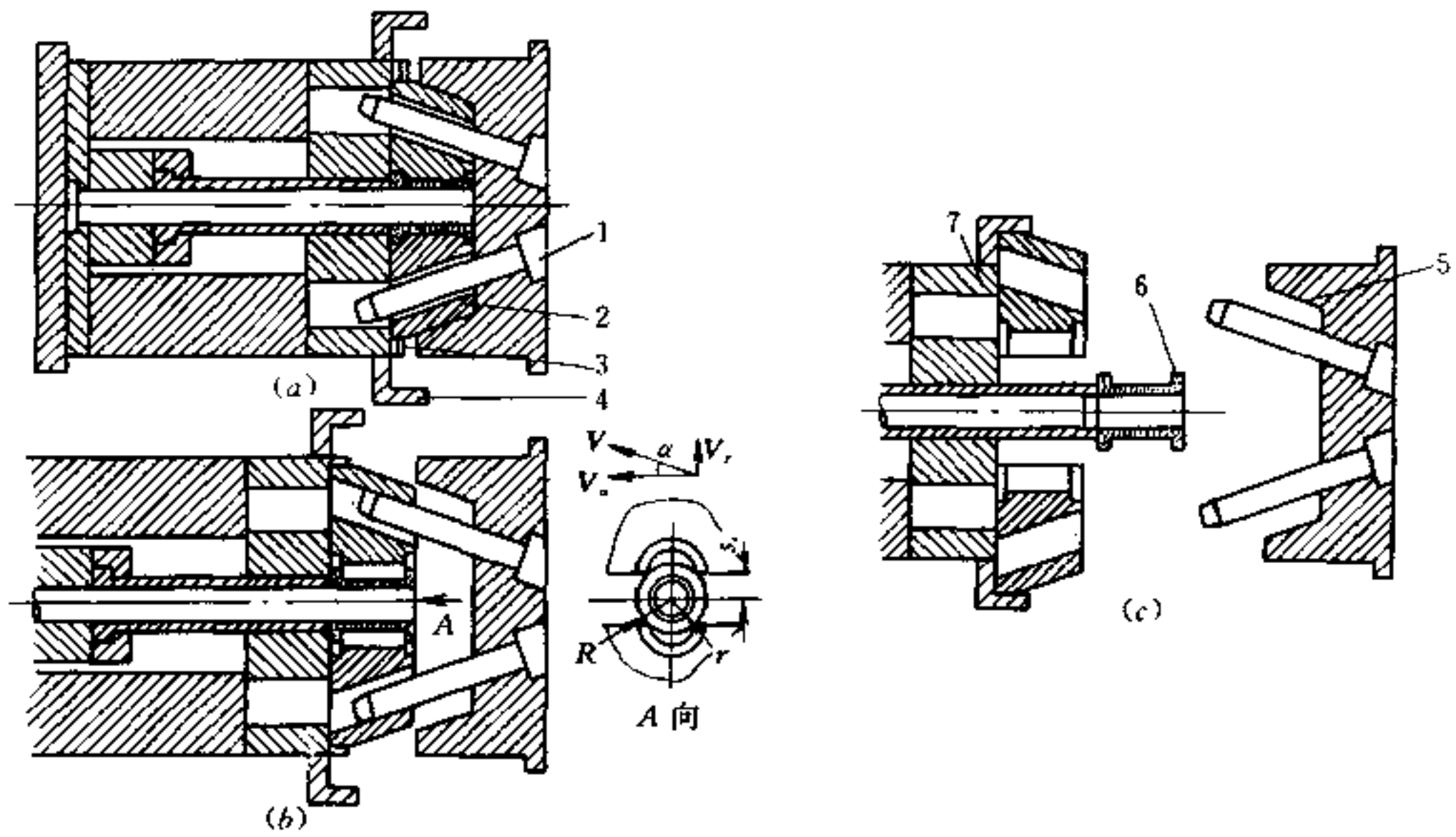


图 4.7-2 斜导柱驱动的圆筒骨架瓣合模示意图

(a) 合模状态; (b) 开模过程; (c) 开模终止。

1—斜导柱; 2—侧向成型滑块; 3—导滑槽; 4—定位装置; 5—锁紧楔; 6—圆筒骨架注塑件; 7—动模。

$V_a$  和滑块在动模导滑槽中相对运动  $V_r$  的合速度, 如图 4.7-2 (b) 所示。其  $V$  和  $V_a$  速度矢量的夹角为斜导柱的安装倾角  $\alpha$ , 故滑块侧向抽拔速度是

$$V_r = V_a \operatorname{tg} \alpha \quad (4.7-3)$$

应注意到过大的安装倾角  $\alpha$ , 过快的侧抽速度, 会损伤塑件。

图 4.7-3 所示, 为斜导柱侧抽机构主要部位的几何关系。滑块工作行程  $s$  和斜导柱有效长度  $L_c$ , 在有间隙  $c$  存在时的计算式为

$$s = L_c \sin \alpha - \frac{c}{\cos \alpha} \quad (4.7-4)$$

$$L_c = \frac{s}{\sin \alpha} + \frac{2c}{\sin 2\alpha} \quad (4.7-5)$$

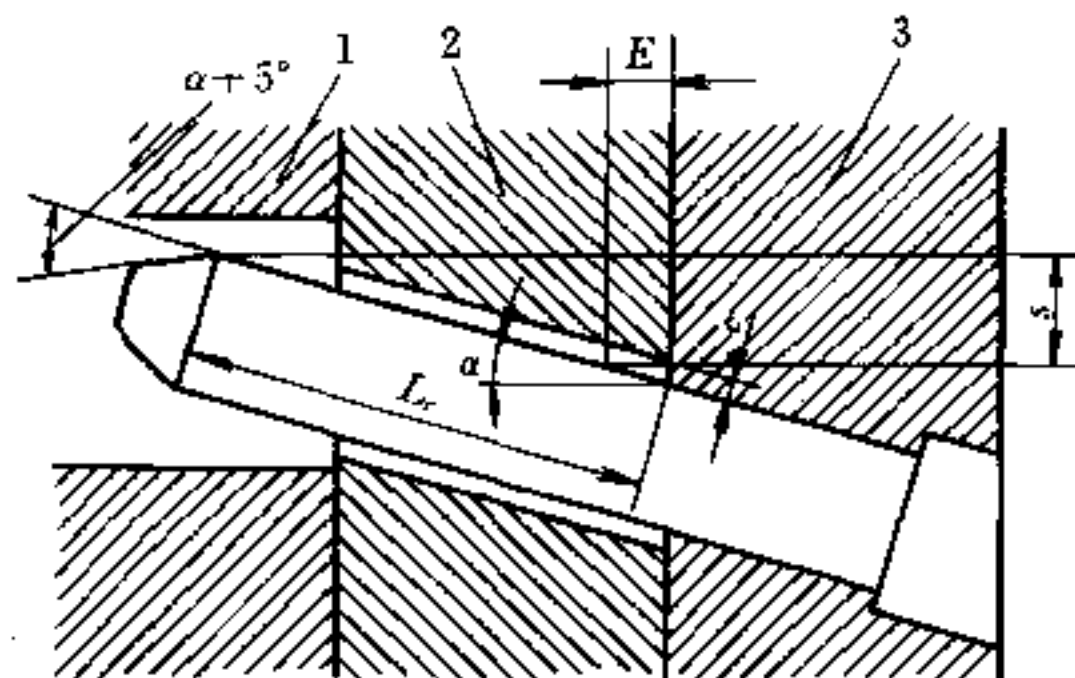


图 4.7-3 斜导柱侧抽机构主要部位的几何关系  
1—定模; 2—滑块; 3—动模。

式中  $s$ ——滑块侧向抽拔距离 (mm);  
 $L_c$ ——斜导柱的有效长度 (mm);  
 $\alpha$ ——斜导柱的安装倾角;  
 $c$ ——斜导柱与滑块斜孔之间单向间隙 (mm)。

间隙  $c$  的作用是减少作用于斜导柱上的注塑成型压力; 并使开模时滑块的侧向运动滞后。单向间隙使滑块在开模方向延滞距离是

$$E = \frac{c}{\sin\alpha} \quad (4.7-6)$$

单向间隙  $c$  一般为  $0.25 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。安装倾角  $\alpha = 12^\circ \sim 25^\circ$ 。斜导柱前端的引导段的斜角  $\varphi = \alpha + 5^\circ$ 。斜导柱工作段直径在  $12 \text{ mm}$  以上。锁紧楔角  $\alpha'$  必须比斜导柱安装倾角大,  $\alpha' = \alpha + (2^\circ \sim 5^\circ)$ 。以免在开模瞬时锁紧楔妨碍斜导柱的驱动, 让其迅速脱离滑块的斜面。

由斜导柱侧抽机构演化而来的弯销侧抽机构如图 4.7-4 所示。弯销的矩形断面有良好的抗弯强度, 具有较大抽拔力。弯销的工作面相当于凸轮轮廓表面。工作斜角  $\alpha$  可按设计要求, 获得所需的侧向抽拔速度和加速度的运动规律。 $\alpha$  是开模位移  $x$  的函数  $\alpha = f(x)$ 。可以实行侧滑块的连续变化的运动规律, 可确保塑件在侧抽中不受损伤。如实现延时  $\alpha = 0$ ; 后慢速  $\alpha = 10^\circ \sim 20^\circ$ ; 再快速  $\alpha = 20^\circ \sim 40^\circ$ 。慢速小位移时具有较大抽拔力。

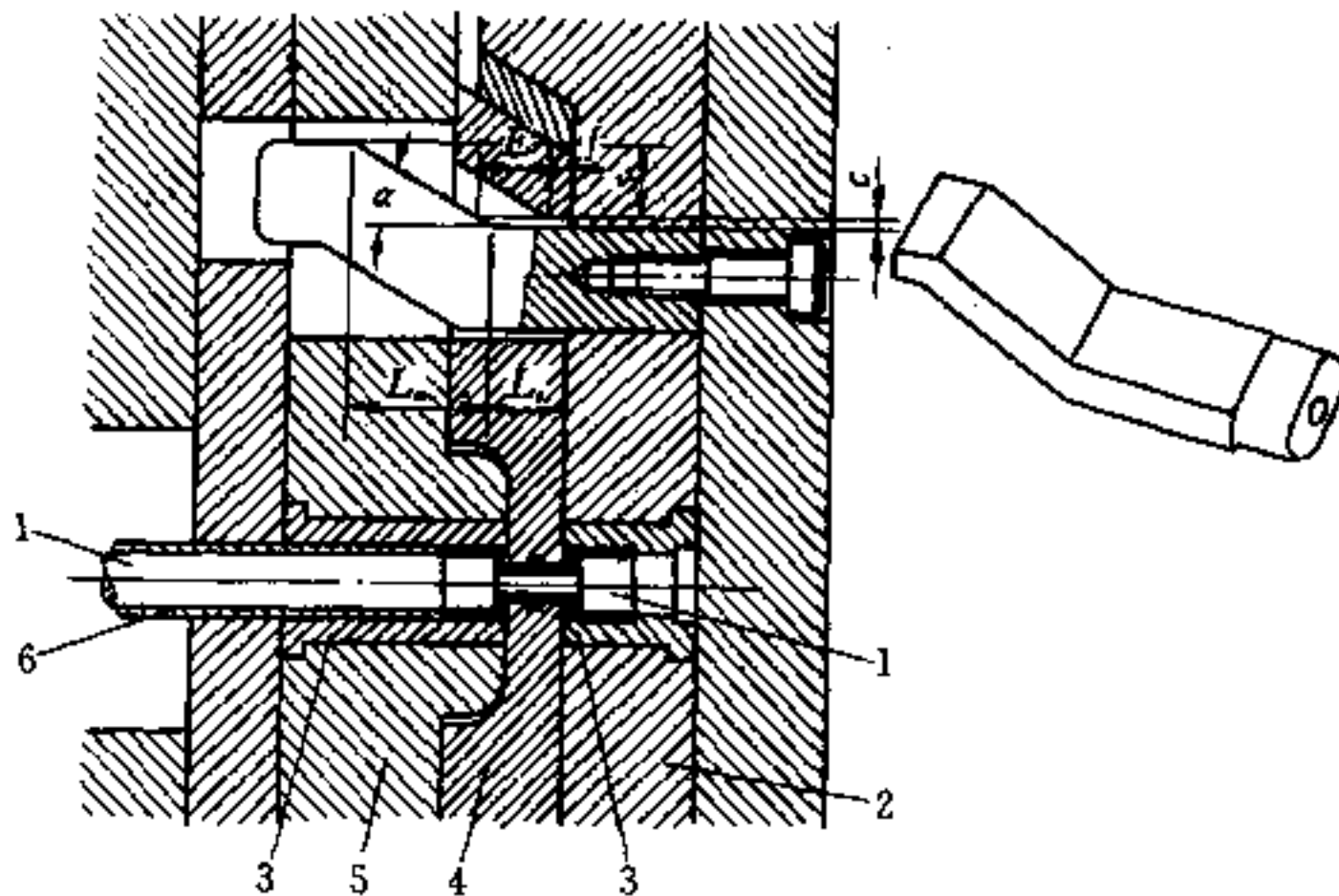


图 4.7-4 弯销侧抽机构主要部位的几何关系

1—型芯; 2—定模; 3—型腔嵌件; 4—成型滑块; 5—动模; 6—顶管。

滑块上弯销孔与弯销之间存在间隙  $c$  时, 侧抽行程  $s$ , 弯销的工作长度  $L_a$  和延迟距离  $E$  的几何关系如下:

$$s = L_a \operatorname{tg}\alpha - c \quad (4.7-7)$$

$$L_a = \frac{s + c}{\operatorname{tg}\alpha} \quad (4.7-8)$$

$$E = (L_s - f) + \frac{c}{\operatorname{tg}\alpha} \quad (4.7-9)$$

式中  $s$ ——滑块的侧向抽拔距离 (mm);

- $L_a$ ——弯销倾斜工作面沿开模方向的长度 (mm);  
 $L_s$ ——弯销直线部分的长度 (mm);  
 $E$ ——单向间隙使滑块在开模方向延迟距离 (mm);  
 $f$ ——滑块孔的直线部分长度 (mm);  
 $\alpha$ ——弯销工作面与开模方向间的倾斜角;  
 $c$ ——弯销与滑块孔的直线部分的单向间隙 (mm)。

矩形弯销断面通常有  $h = \frac{2}{3}b$  的关系,  $b \times h > (18 \times 12)$  mm。单向间隙  $c = 0.4 \sim 0.8$  mm。弯销和弯销孔的引导部分应有较大的圆角或倒角。

弯销侧抽机构可以设计在模外, 能有效地减小模具整体体积。弯销也可以驱动壳体塑件中央的内侧滑块。但是弯销孔加工较困难。

从弯销侧抽机构演化而来的斜导槽侧抽机构, 如图 4.7-5 所示。机构的导槽板固定在定模侧壁, 并与动模侧面间留  $1.5 \sim 2$  mm 间隙。开模中滑块上圆销驱使其按斜导槽轨迹作侧抽运动。图示结构适用侧向分型的瓣合模, 抽拔距大并使大宽度的滑块运动平稳可靠。另一种如图 4.7-7 (c) 所示, 导槽板垂直模具侧壁, 圆销安装在滑块后部。悬臂导槽板的抽拔距较小, 适用于侧向抽芯或局部成型。

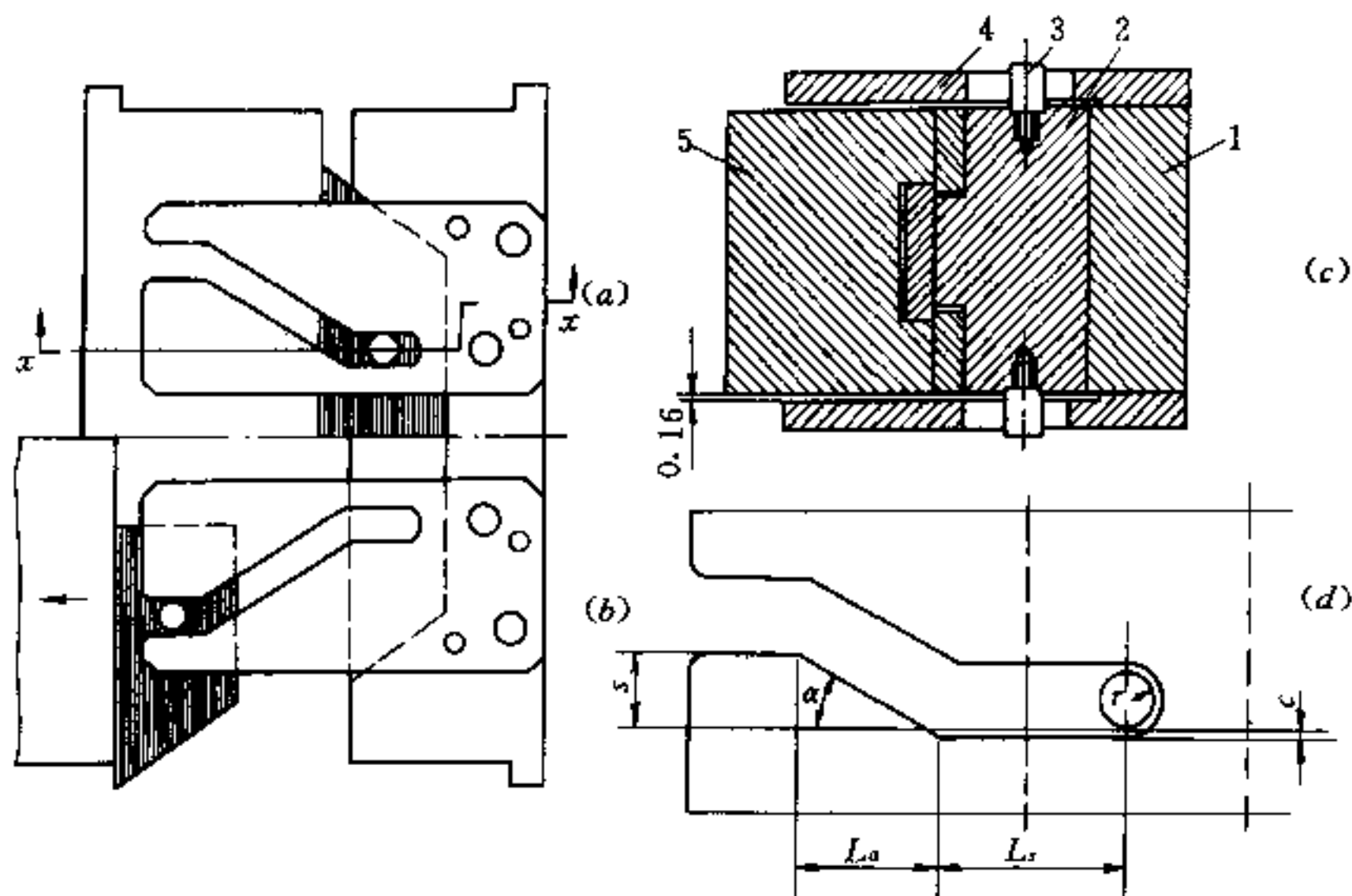


图 4.7-5 斜导槽侧抽机构示意图

(a) 合模; (b) 开模; (c) 合模的剖视; (d) 主要部位几何关系。

1—定模板; 2—滑块; 3—圆柱销; 4—导槽板; 5—动模。

见图 4.7-5 (d), 抽拔距  $s$ 、对应开模行程  $L$  和延时距离  $E$  的计算式分别为

$$s = L_a \operatorname{tg} \alpha - c \quad (4.7-10)$$

$$L = \frac{s + c}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (4.7-11)$$

$$E = L_s + \frac{c}{\operatorname{tg} \alpha} + r \left( \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{1}{\sin \alpha} \right) \quad (4.7-12)$$

式中  $r$ ——圆柱销半径 (mm)。

侧向分型的注塑模，通常有较大的侧抽行程，需较大的滑块锁紧力。只有充分注意组成零件的刚性，才能保证导滑运动和合模的精度。有外凹槽的塑件，其侧向分型抽拔力可用式(4.6-31)计算。

## 二、外侧抽芯和局部型腔成型

图4.7-6上具有侧面有孔、凸起或凹槽的各种塑件，其中图4.7-6(a)~(f)塑料制品必须从侧向抽出成型型芯。其临界抽拔距 $s_c$ 等于孔的深度。其侧向抽拔力可用4.6节薄壁或厚壁塑件脱模力计算式求得。图4.7-6(f)塑件侧面凸起数字和图4.7-6(g)塑件侧向凹槽，必须用侧滑块从外侧局部成型。其 $s_c$ 等于凸起高度或槽的深度。

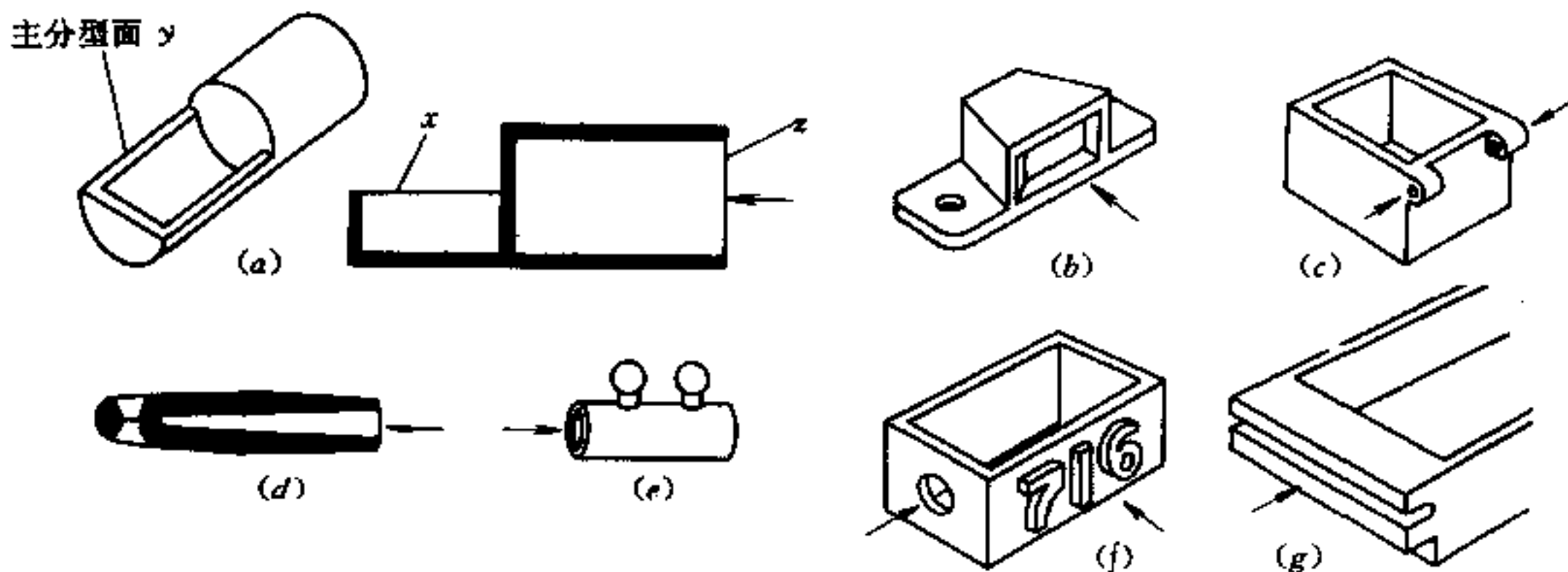


图4.7-6 需外侧抽芯和局部型腔成型的塑件

在确定侧向局部型腔成型时，需对侧向凹凸形体作分析。如图4.7-7(a)所示塑件的侧向凸起，可以用阶梯式主分型面塑造。而图4.7-7(b)所示塑件只能侧向成型其两个凸条。利用凹模与凸模的拼合；利用侧滑块与凸模的拼合，可形成壳体塑件上各种形状的孔，如图4.7-8上的A和B处。

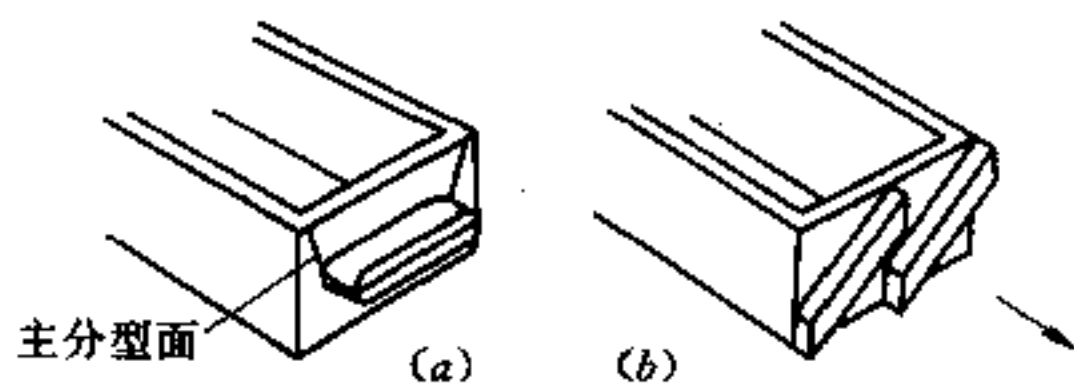


图4.7-7 阶梯式主分型面和侧向局部型腔成型的塑件

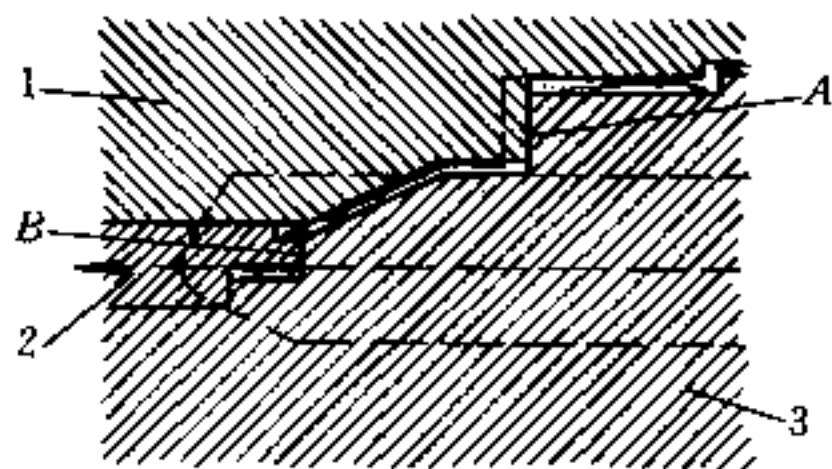


图4.7-8 凹模与凸模、侧滑块与凸模拼合成型塑件壁上孔  
1—凹模；2—侧滑块；3—凸模。

成型细长孔时，若用图4.7-9(a)所示侧分型瓣合模，会使细长型芯悬臂外露，易受损伤。而且使侧滑块高度和脱模行程过大。采用图4.7-9(b)和(c)结构，在主分型面上侧向抽拔型芯，则长型芯受到保护。图4.7-9(b)是用斜导柱侧抽型芯。这种穿过模具型腔壁的类型芯，可使滑块受到的侧压力最小。图4.7-9(c)是用斜导槽侧向抽芯，用两根心轴作为侧滑块的导向，结构紧凑。

图4.7-10是充模熔体对侧型芯的作用力分析。图4.7-10(a)里等直径型芯被两

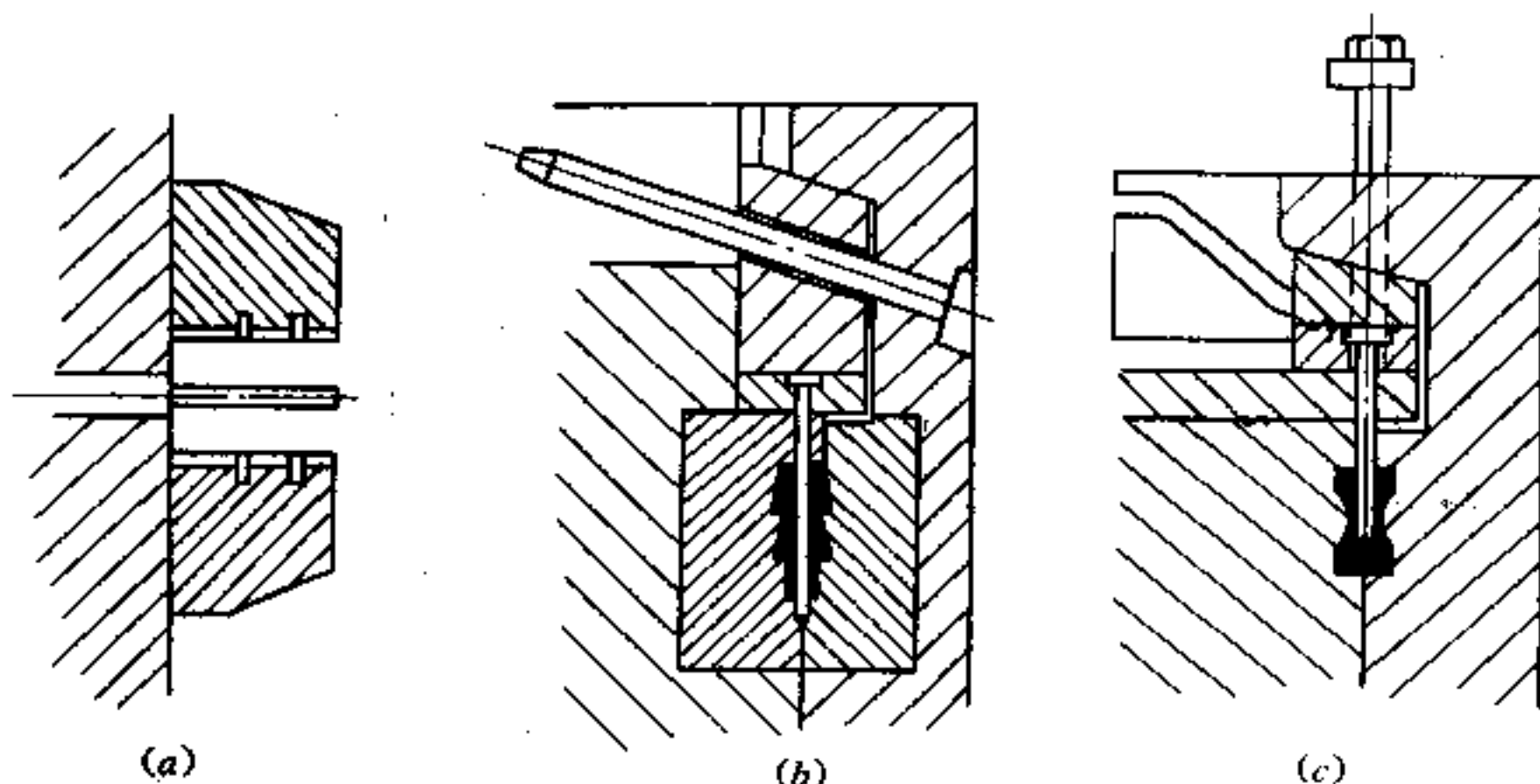


图 4.7-9 细长孔的侧向型芯

(a) 侧向分型瓣合模开模时；(b) 斜导柱侧抽芯；(c) 斜导槽侧抽芯。

端支承，型芯没受到侧压力， $F=0$ 。图 4.7-10 (b)，台阶型芯被两端支承，型芯受到侧压力为

$$F = \frac{\pi P_c (D^2 - d^2)}{4}$$

图 4.7-10 (c) 中，一端支承的悬臂型芯受到侧压力

$$F = \frac{\pi P_c D^2}{4} \quad (4.7-13)$$

以上两式中， $P_c$  为型腔压力 ( $\text{N/mm}^2$ )； $d$  和  $D$  为图示型芯直径 (mm)。

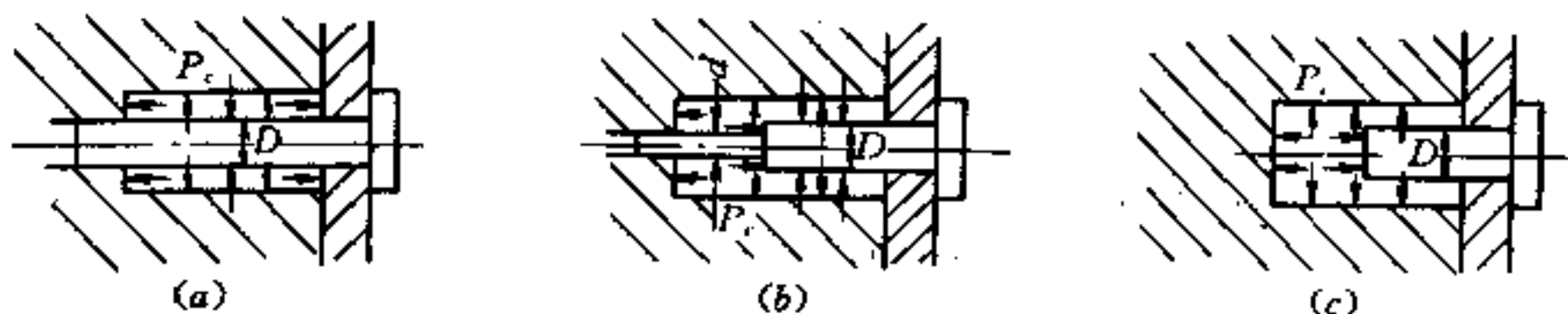


图 4.7-10 各种侧向型芯所受侧压力分析

很明显，侧向局部型腔成型的滑块所承受的侧压力应力

$$F = P_c A \quad (4.7-14)$$

式中， $A$  是实际成型型腔的侧向投影面积 ( $\text{mm}^2$ )。

侧向成型滑块设计时，须注意可能出现的飞边方向。如图 4.7-11 (a) 所示的滑块，在侧抽方向容易出现飞边并且影响抽拔。图 4.7-11 (b) 所示侧滑块的止口面选择可有效阻止飞边出现。

图 4.7-12 为倾斜侧抽机构，滑块在动模板上的相对速度  $V_r$  与主分型面成  $\beta$  角。滑块成型了塑件上的斜面和斜向孔，但不是所有斜孔均需倾斜侧抽芯。图 4.7-13 上塑件， $Z-Z$  轴线为开模方向。图 4.7-13 (a) 上孔廓线  $x-y$  与  $Z-Z$  线为锐角时，无需倾斜侧抽芯成型该孔。而图 4.7-13 (b) 上孔廓线  $x-y$  与  $Z-Z$  线为钝角，才必须



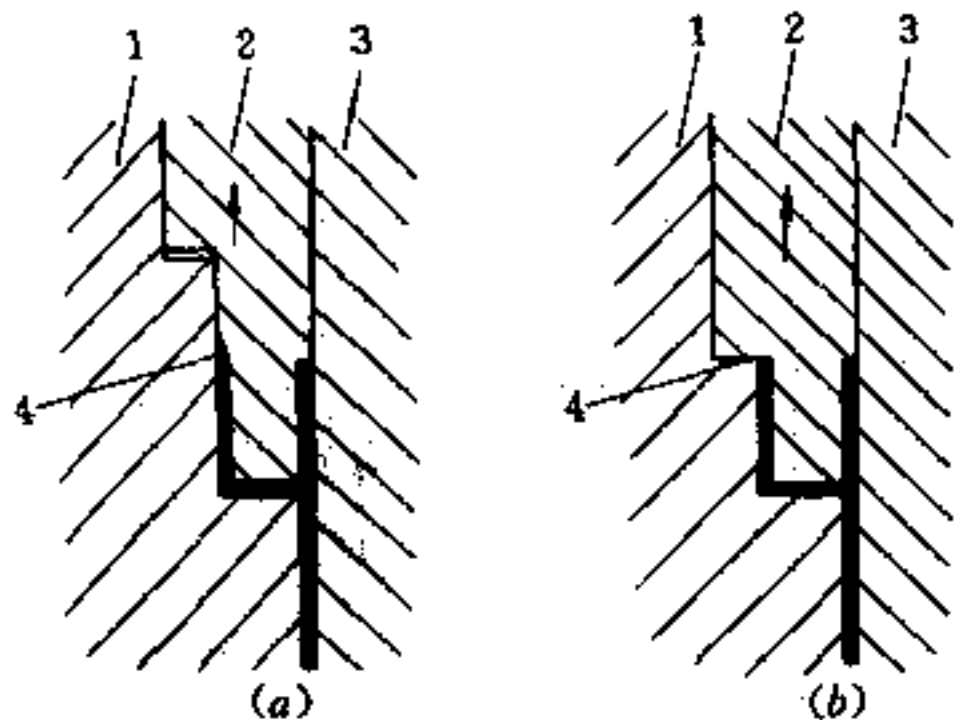
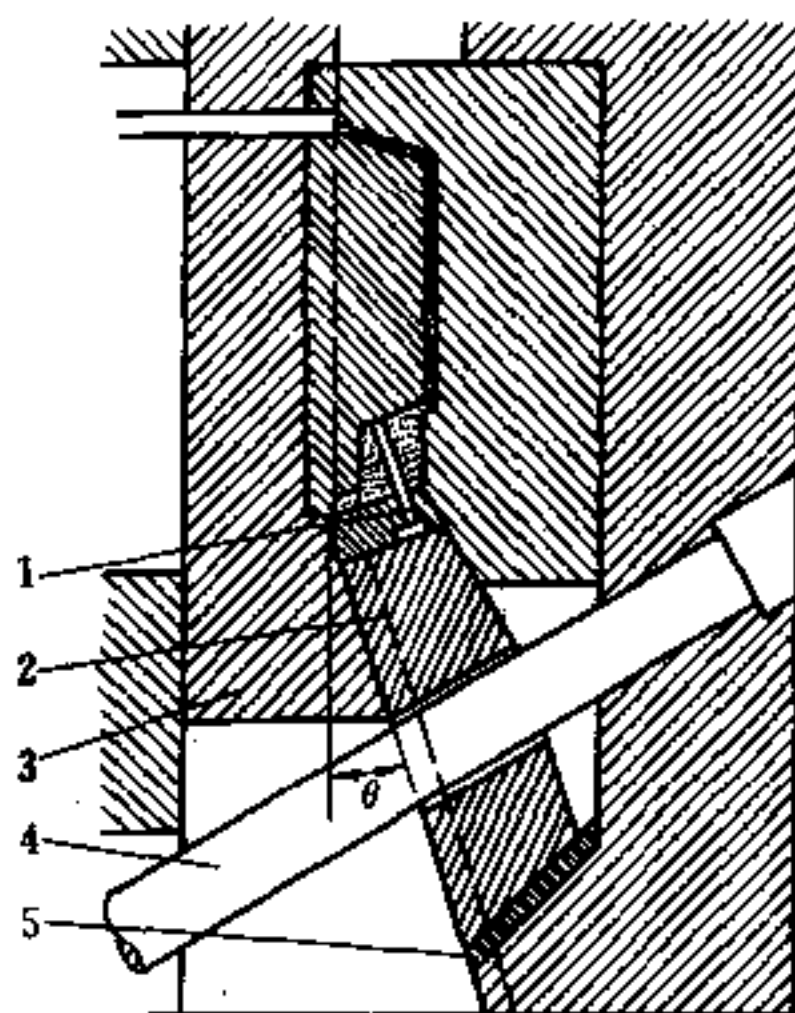


图 4.7-11 成型侧滑块的设计

(a) 错误; (b) 正确。

1—动模型腔; 2—滑块;

3—定模; 4—飞边。

图 4.7-12 倾斜的侧向抽芯  
与局部型腔成型机构

1—侧型芯; 2—滑块;

3—动模型芯固定板; 4—斜导柱; 5—锁紧楔。

倾斜侧抽芯。不过，图示  $Z-Z$  线和  $A-A$  线在分型面上，只需在过  $A-A$  中心线的开模面上布置斜导柱与导滑槽，无需倾斜侧抽。

### 三、内侧局部型腔成型

塑件内表面上的凸起、凹槽和盲孔，依靠向内侧抽拔的滑销或滑块成型。它们是成型型芯的一部分，但其运动受到空间条件限制。如下述可分成两种侧抽运动方式。

第一种是直线机动顶出塑件而后由人工侧拉脱模，如图 4.7-14 所示。这种侧向抽拔，只适用于内侧表面有单向的局部成型要求。图 4.7-14 (a) 为内滑销成型，在制品的内侧面上有拼合缝。图 4.7-14 (b) 为用内滑块成型单侧内表面凹凸槽全长，拼合缝在另外两个内侧面上。

第二种是双边都有内侧成型，必须用作倾斜运动的滑销或滑块来实现完全机动的侧向抽拔，如图 4.7-15 和图 4.7-16 所示。

图 4.7-15 为倾斜滑销的内侧抽机构。滑销在与开模方向成  $\varphi$  角的运动中，实现对塑件顶出中的侧抽。顶出板作机动脱模时，滑销向里侧运动。内侧抽拔距  $s$  为

$$s = l \operatorname{tg} \varphi \quad (4.7-15)$$

式中  $l$ ——脱模顶出行程 (mm);

$\varphi$ ——内滑销的倾斜角。

图 4.7-15 (a) 的圆柱滑销必须给以止转措施。并设置压缩弹簧使滑销与顶出板保持接触；且滑销与顶出板接触处应该耐磨。图 4.7-15 (b) 为改进后结构。斜滑销底部有导轨，其在设置导滑槽的顶出板上作侧向运动。

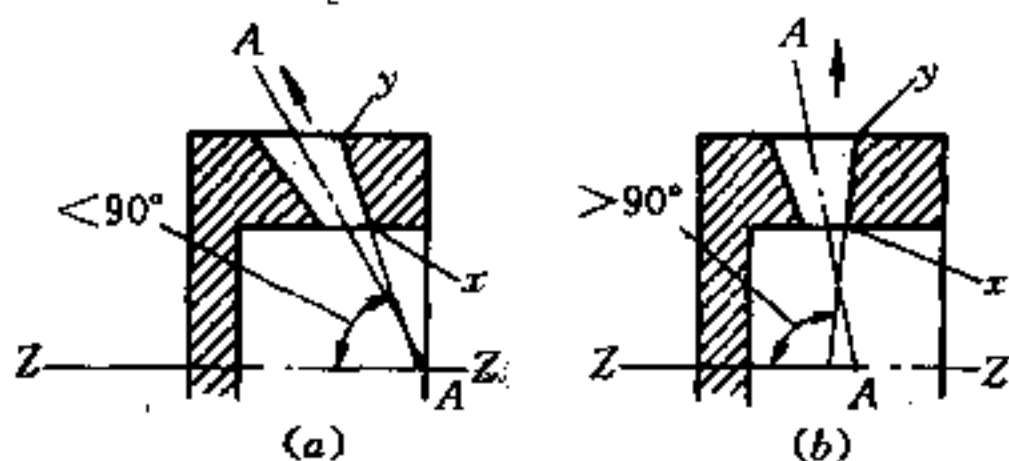


图 4.7-13 倾斜的侧向抽芯几何条件分析

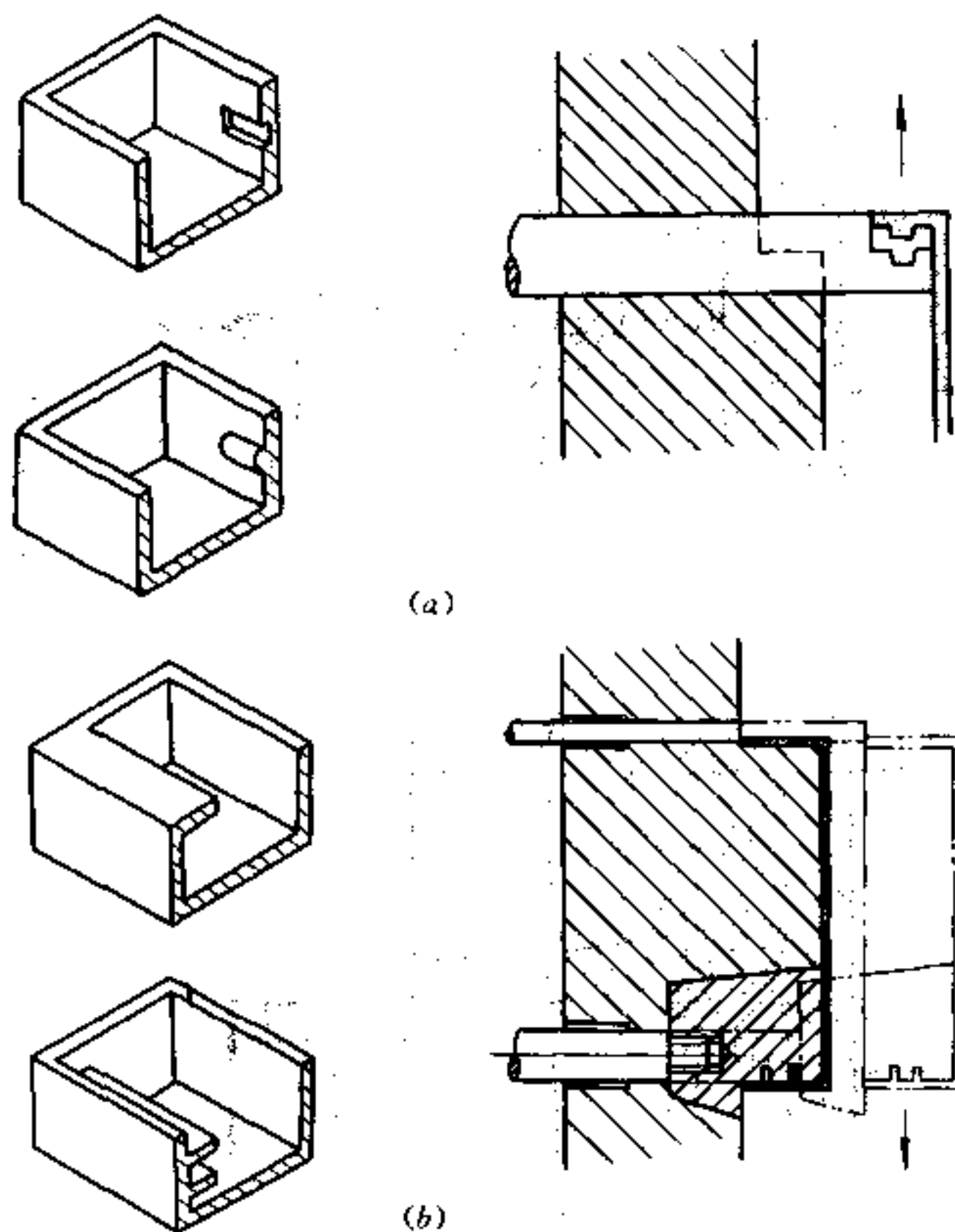


图 4.7-14 机动顶出后人工侧拉  
(a) 滑销内侧成型; (b) 滑块内侧成型。

图 4.7-16 为倾斜滑块的内侧抽机构, 其中, 图 (a) 结构简易, 须注意导杆的安装斜角  $\varphi$  要小于主型芯接触面倾角  $\beta$ ; 图 (b) 结构是用斜导杆导向, 用顶杆驱动斜滑块, 顶杆端面与滑块间有侧向相对运动; 图 (c) 所示对边均有内侧抽时, 双滑块的顶出极限位置有

$$G = 2l \operatorname{tg} \varphi \quad (4.7-16)$$

其中,  $G$  为主型芯上二滑块间的最小距离;  $l$  及  $\varphi$  如前所述。

对于塑件圆孔中整个周边均有凸或凹槽时, 在设计塑件时就应考虑强制脱模, 因为这类塑件不能内侧抽。

#### 4.7.2 分类与结构

本小节陈述除机动侧抽机构之外, 手动、弹簧力驱动、气动或液压侧抽机构的结构。

##### 一、手动侧抽机构

塑料制品在试制或小批量生产时, 采用人工手动侧抽机构可简化模具。该机构可分为模内和模外两种。

图 4.7-17 为模内手动侧抽机构。在模具尚未开启前, 人工驱动传动机构将侧型芯或滑块抽出, 使之与塑件分离。在其后的脱模过程中, 将拼块连同塑件一起顶出, 在模

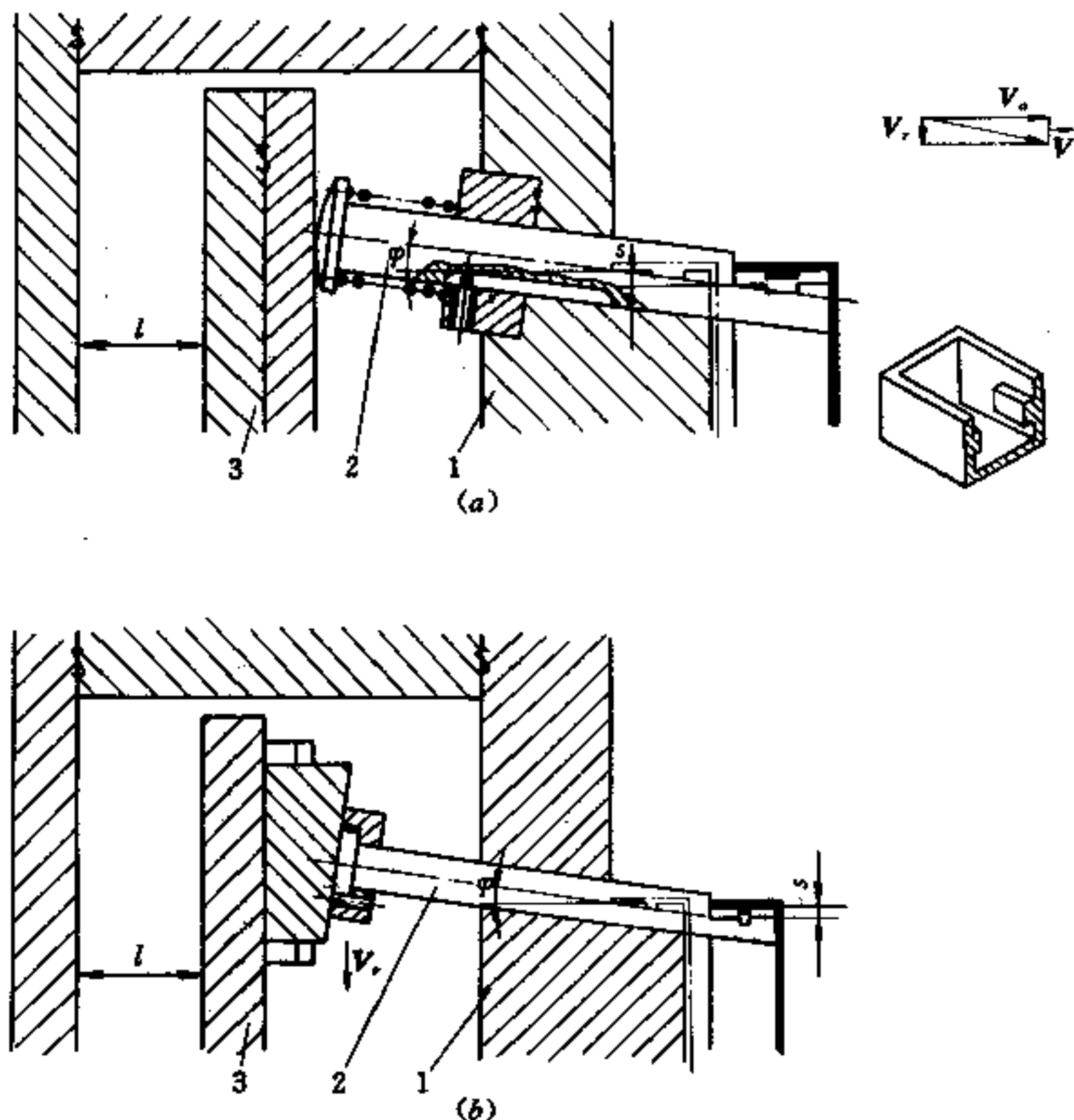


图 4.7-15 斜滑销的内侧抽机构

(a) 简易式; (b) 导滑式。

1—主型芯; 2—斜滑销; 3—顶出板。

外取下塑件后再将拼块装回模具。其拼块是主型芯的组成部分。图 4.7-17 (a) 为圆型芯, 直接由螺纹传动将其退出。图 4.7-17 (b) 和 (c) 所示结构, 转动手柄时侧型芯平移, 可用于非圆侧孔成型。图 4.7-17 (a) 为同时抽动几个圆型芯的结构; 图 4.7-17 (c) 为平移抽出非圆槽的成型侧滑块。当侧滑块受到较大型腔压力时, 需用图 4.7-17 (f) 所示锁紧楔或锁紧锥销, 防止滑块退让。

模内侧抽机构可应用在一些特殊场合。如需作圆弧运动的抽芯; 或需很长抽拔距; 或对多个型芯抽拔, 则可在模内用蜗轮蜗杆传动、齿轮齿条传动、多个斜槽的滑板等机构来实现。

图 4.7-18 为模外手动侧抽机构, 图示活动拼块在模外与塑件分离。拼块在模内必须要有可靠定位和有效的紧固。图 4.7-18 (a), 双拼块由圆销定位合拢, 并有圆锥面紧固。图 4.7-18 (b) 上拼块由顶杆定位, 并有定模上型芯压固。图 4.7-18 (c) 除顶杆定位外, 侧向有弹簧销定位和压紧。图 4.7-19 为两种结构, 还辅以机动侧向定位, 有效防止拼块走动。图 4.7-19 (a) 为结构用弹簧和斜楔, 拔出和压入侧定位销。图 4.7-19 (b), 用斜导柱驱动侧定位销往复运动。

## 二、弹簧侧抽机构

见图 4.7-20 所示弹簧侧抽机构。合模力迫使压缩弹簧贮存势能。开模时弹簧驱动

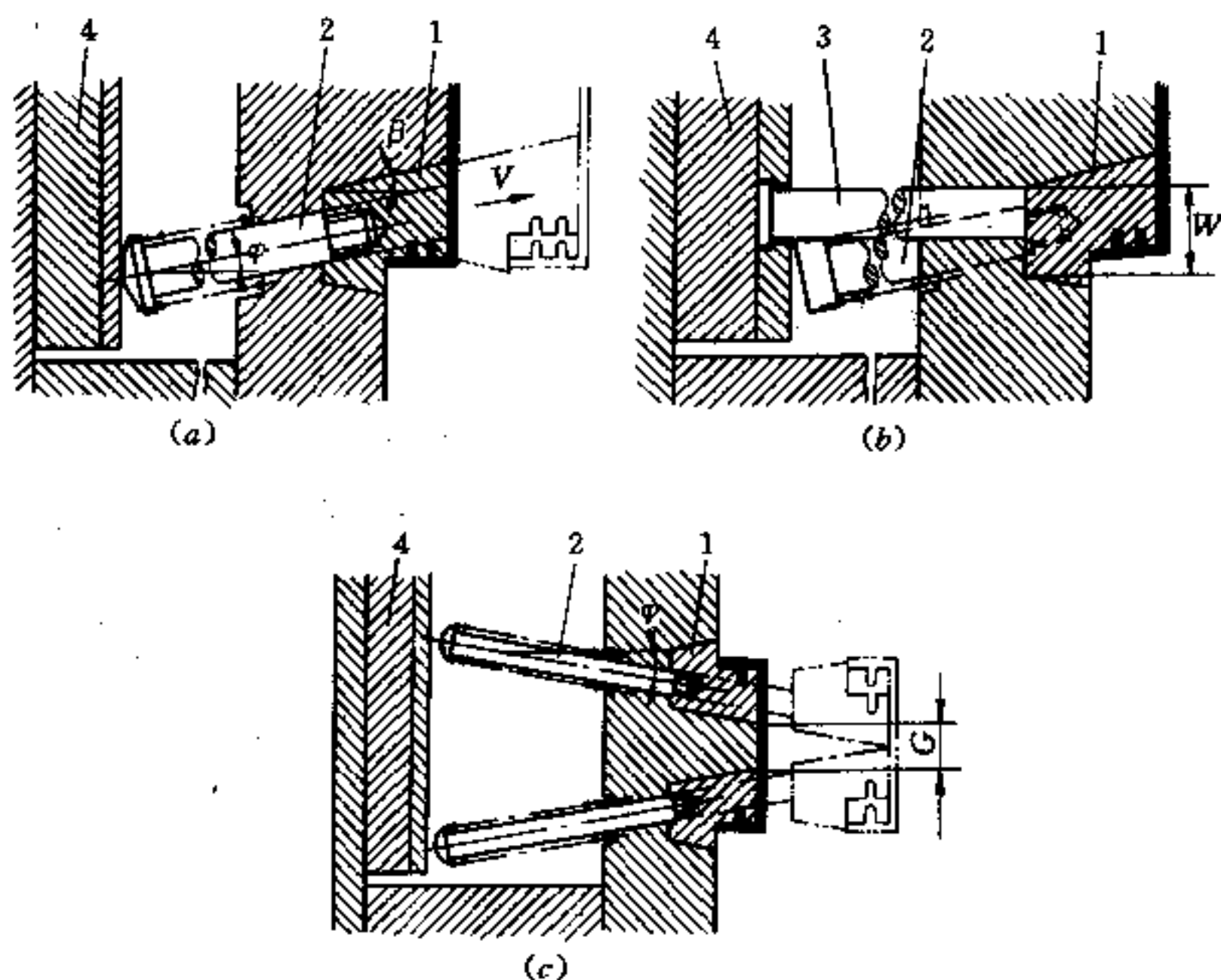


图 4.7-16 斜滑块的内侧抽机构  
 (a) 导杆式; (b) 顶杆式; (c) 双导杆。  
 1—斜滑块; 2—斜导杆; 3—顶杆; 4—顶出板。

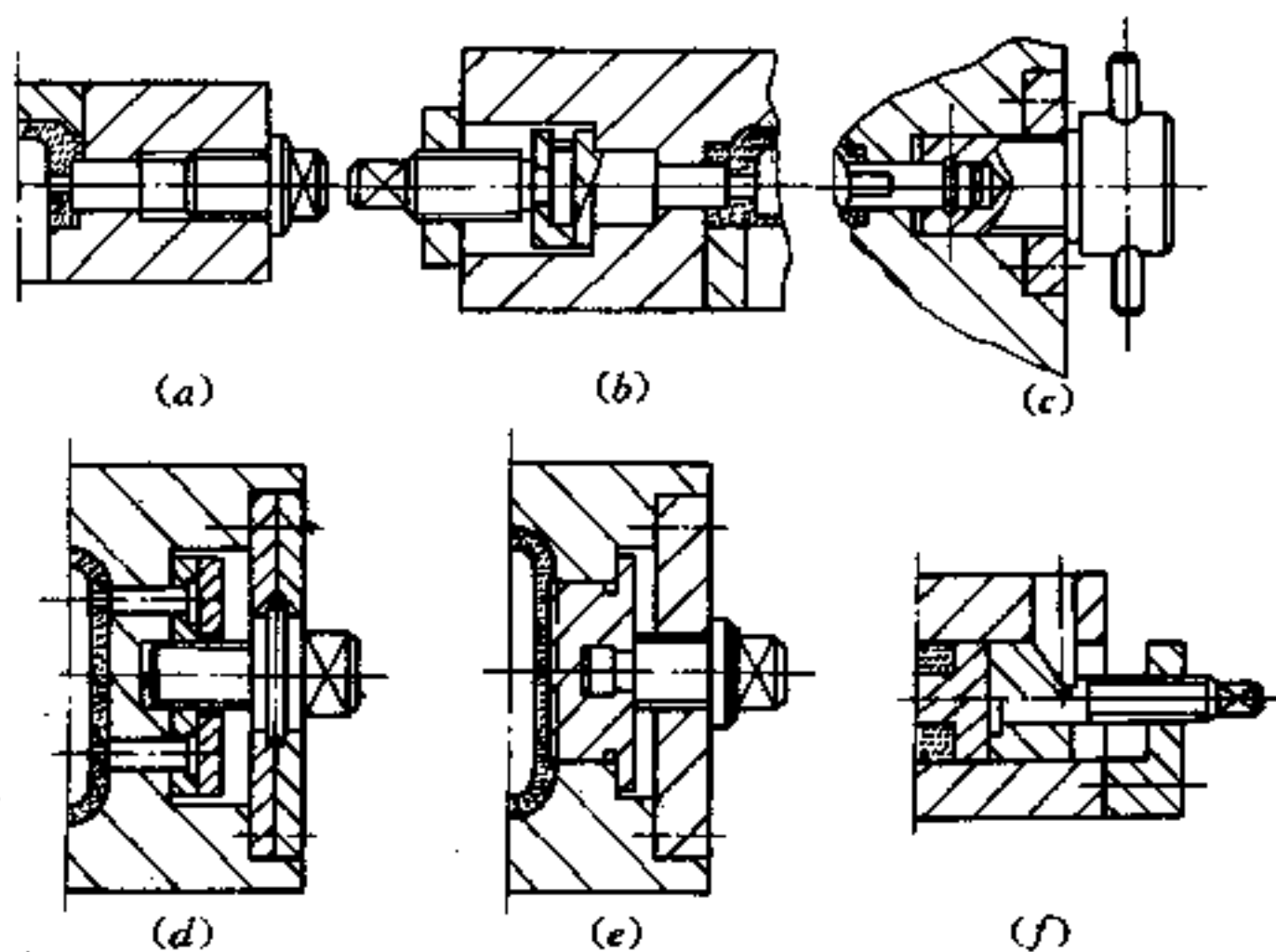


图 4.7-17 模内手动侧抽机构

侧滑块或侧型芯与塑件分离, 直至被止动。其滑块的锁紧斜面角  $\varphi = 20^\circ \sim 25^\circ$ 。作用斜面与抽拔距有如下限制

$$L \leq \frac{1}{2} H \operatorname{tg} \varphi \quad (4.7-17)$$

式中  $L$ ——每个滑块的移动距离;  
 $2L$ ——开模后二侧滑块分型面间距离;

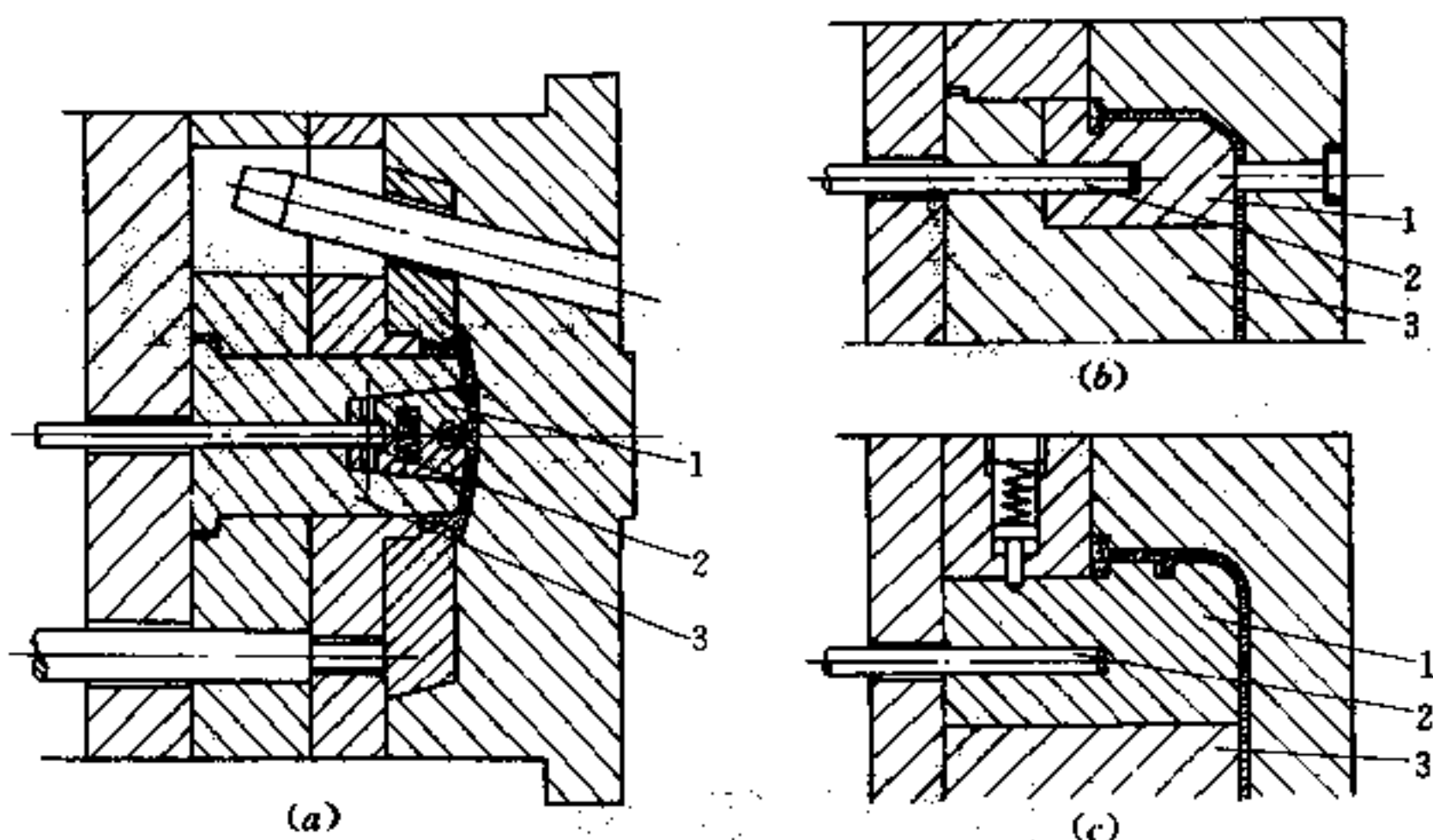


图 4.7-18 模外手动侧抽机构

1—拼块；2—顶杆；3—型芯。

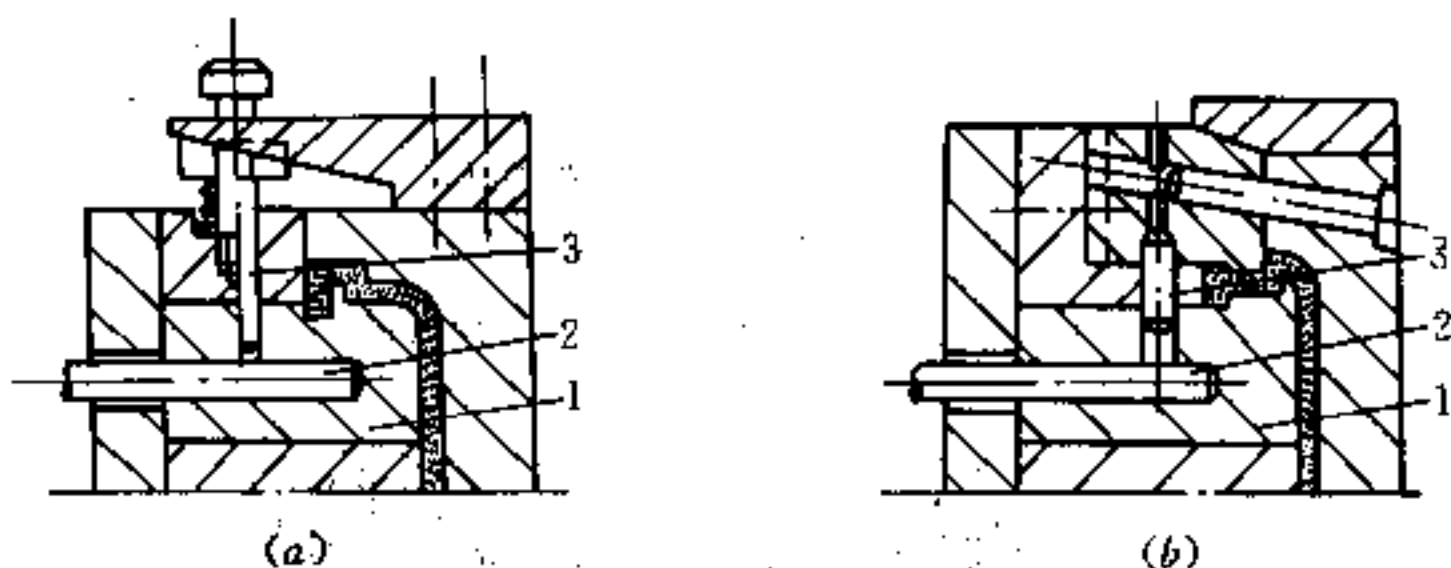


图 4.7-19 辅助机动定位的模外手动侧抽机构

1—拼块；2—顶杆；3—侧向定位销。

 $H$ ——锁紧斜面高度。

弹簧侧抽机构特点是抽拔距短，抽拔力小。由于结构简单常被巧妙运用。图 4.7-21 是顺序开模的模具，塑壳上有小方孔需侧抽。在 A 面开模分型时锁紧楔松开，侧型芯被弹簧力推出，由销钉止动。图 4.7-22 所示注塑壳体有内侧凹槽。在顺序开模过程中，型腔板与动模在 B 面分型，大锥销上侧斜面将小横销推动，借助弹簧力将侧滑块向里退出。合模时，大锥销压紧滑块上锥孔将其复位。此种机构要用优质弹簧，并需进行强刚度和疲劳强度校核。

### 三、液压与气动侧抽机构

以液压油为动力驱动执行油缸的活塞杆往复运动，进行长行程的侧向抽芯或分型有

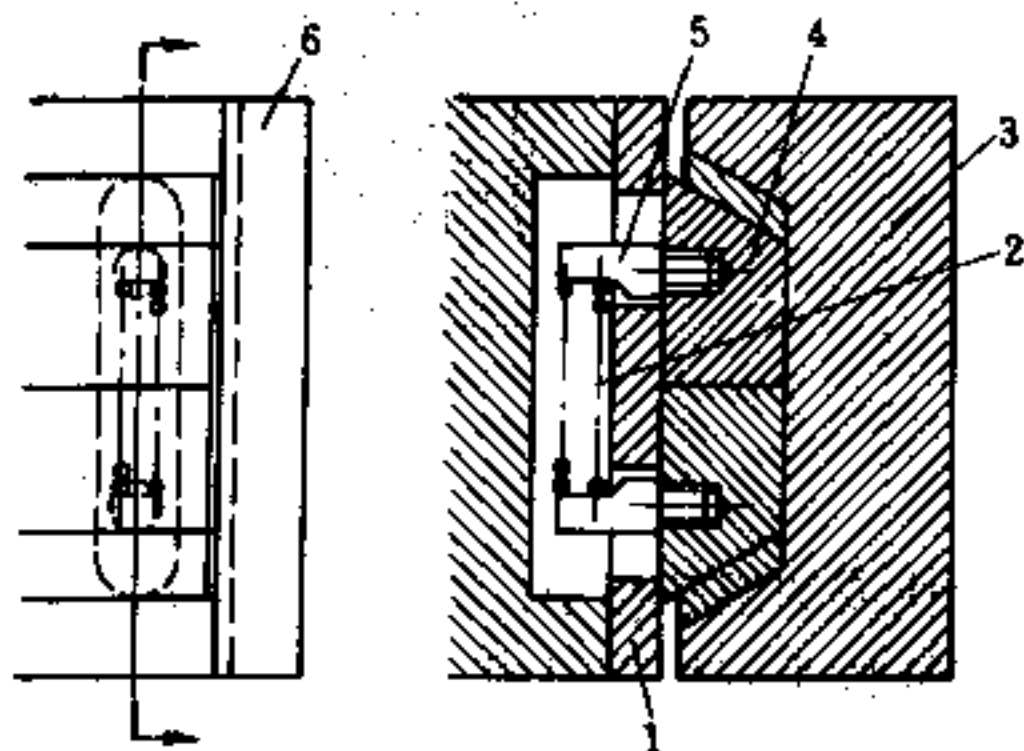


图 4.7-20 弹簧侧抽机构示意图

1—动模板；2—压缩弹簧；3—定模；4—滑块；5—弹簧撑销；6—导向板。

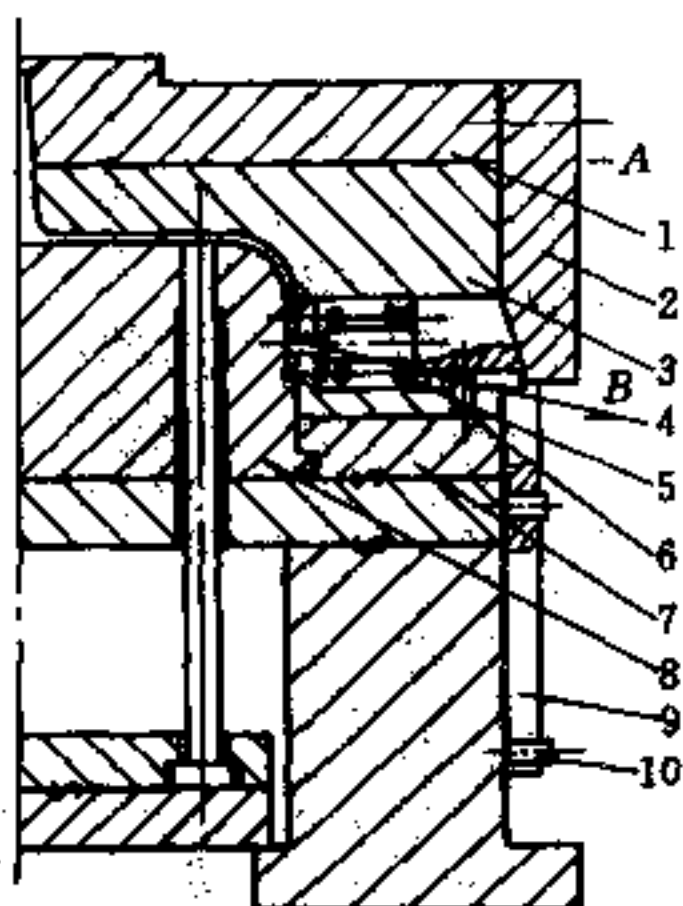


图 4.7-21 弹簧侧抽机构

1—定模板；2—锁紧楔；3—型腔板；  
4—侧型芯；5—压缩弹簧；6—止动销；  
7—动模；8—主型芯；9—拉钩；10—圆销。

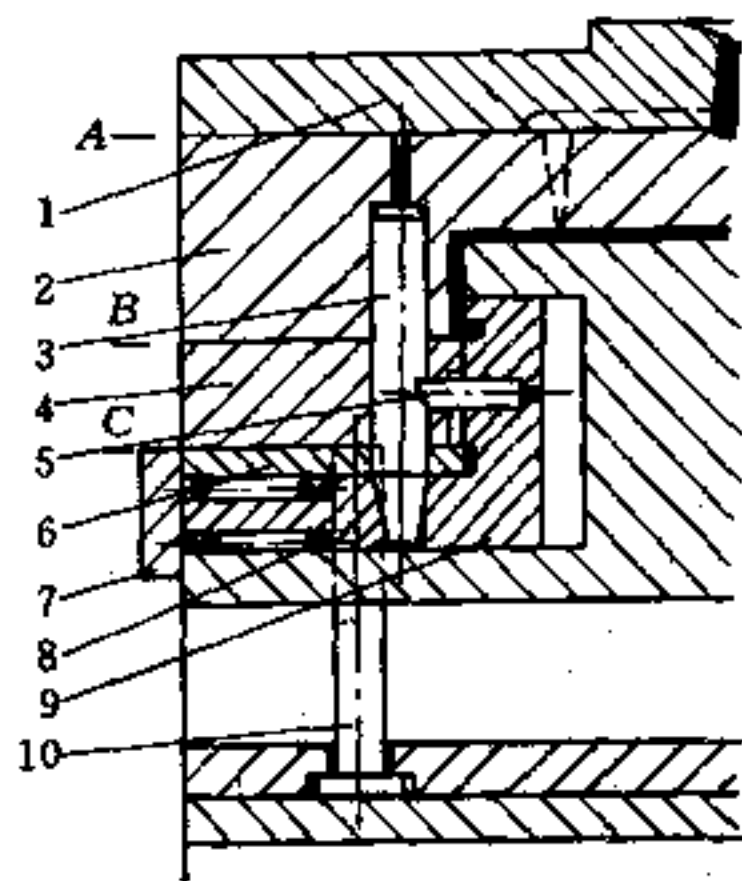


图 4.7-22 弹簧内侧抽机构

1—定模板；2—型腔板；3—大锥销；4—推板；  
5—小横销；6—压板；7—挡板；  
8—压缩弹簧；9—侧滑块；10—顶杆。

其独特优点。不仅在长距离抽拔运动中速度平稳，抽拔力大，而且侧抽动作控制与模具开闭的控制电气系统可方便衔接，可实现联锁的顺序动作。况且压力油可由注塑机供给。液压侧抽机构在大型注塑模中应用普遍。图 4.7-23 所示塑料管接头生产也常用液压侧抽芯机构，它用两个成角度的斜交型芯成型弯头管件的内壁。开模后液压抽出长型芯，再由顶杆脱出弯管接头。型芯复位后必须由锁紧楔压紧。活塞杆与型芯套用十字联轴节相连。型芯套后部为梯形截面，用 T 形导轨在动模上导向滑动。油缸用悬臂支架固定在动模侧面。至于压缩空气驱动气缸进行侧抽，由于需要气源，抽拔力不大，采用很少。

### 4.7.3 斜导柱侧抽机构

斜导柱驱动的侧向分型或抽芯机构应用最广。它不但可以向外侧，也可用来向里侧抽。

#### 一、侧抽所需斜导柱长度和开模距

##### 1. 滑块在动模平面内

侧滑块在与模具开模方向垂直的动模平面上作分型或抽芯的相对运动，简称平面侧抽。此情况下，斜导柱总长度参见图 4.7-24。

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$$

$$= \frac{D}{2} \operatorname{tg} \alpha + \frac{h}{\cos \alpha} + \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha + \frac{s}{\sin \alpha} + (10 \sim 15) \text{ mm} \quad (4.7-18)$$

式中  $D$ ——斜导柱固定部分大端直径；

$h$ ——斜导柱固定板厚度；

$d$ ——斜导柱直径；

其中， $L_c = L_4 = \frac{s}{\sin \alpha}$  是对应侧向抽拔距  $s$  的有效长度。完成侧抽所必须的开模行程

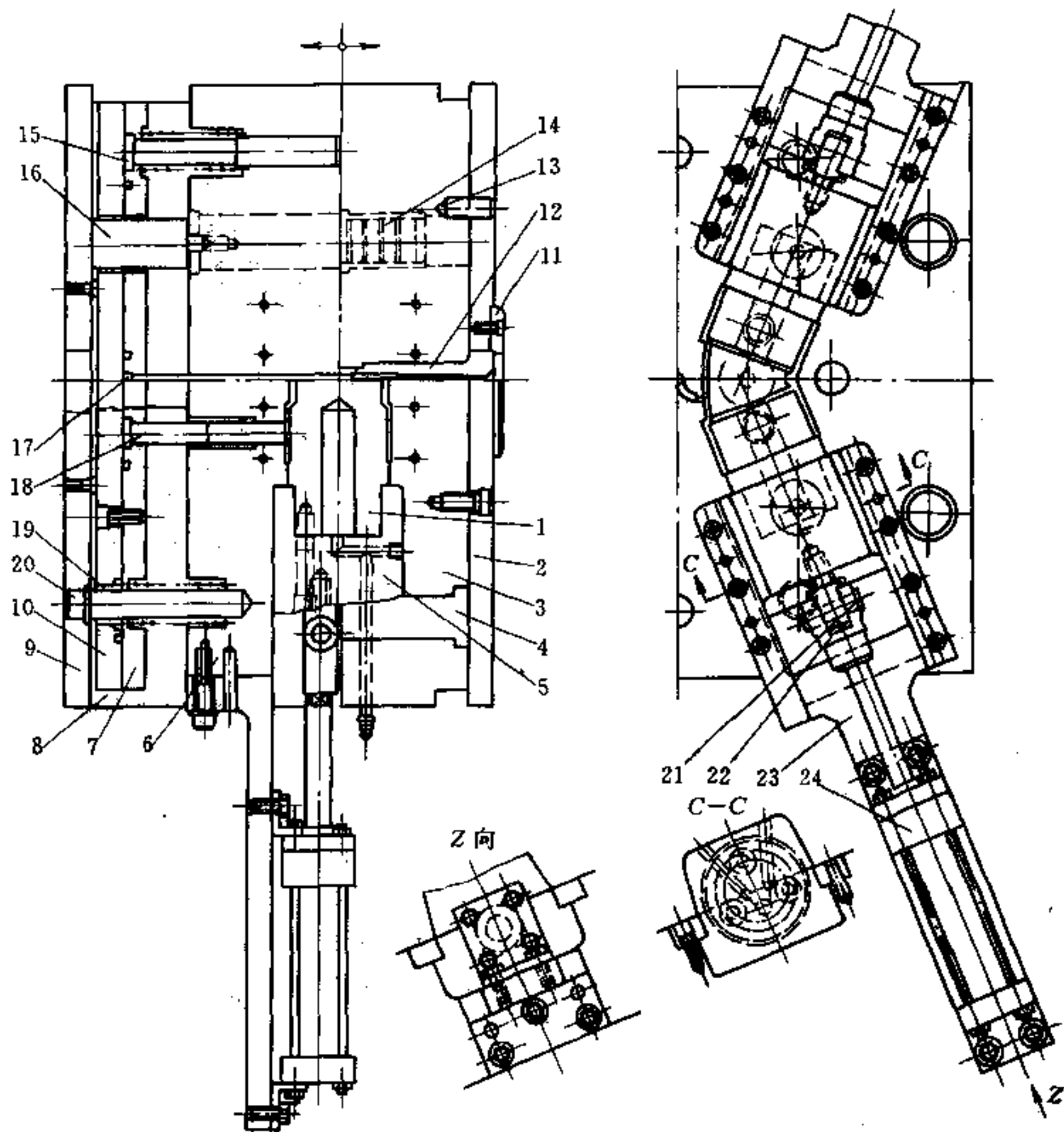


图 4.7-23 弯管接头的液压侧抽机构

- 1—型芯；2—定模固定板；3—型腔板；4—锁紧楔；5—型芯套；  
 6—动模板；7—顶杆固定板；8—垫铁；9—动模底板；10—顶出板；  
 11—定位圈；12—浇口套；13—导套；14—导柱；15—复位杆；  
 16—支承柱；17—拉料杆；18—推杆；19—顶出板导套；20—顶出板导柱；  
 21—定位销；22—油缸活塞杆接头；23—油缸安装架；24—油缸。

$$H = L_c \cos \alpha = s \cot \alpha \quad (4.7-19)$$

如前所述，斜导柱与孔之间的单向间隙  $C$  会延滞开模，见图 4.7-3。因而在设计时应使斜导有效长度有所增加，并使开模行程也增大些。

## 2. 滑块倾斜

倾斜侧抽是指由于侧孔或侧凹凸的方向与塑件主轴线不垂直，侧抽滑块的相对运动与模具主分型面呈夹角  $\theta$ 。此状态又可分为滑块的后端斜向动模一侧，和斜向定模一侧两种情况。

### (1) 斜向动模一侧

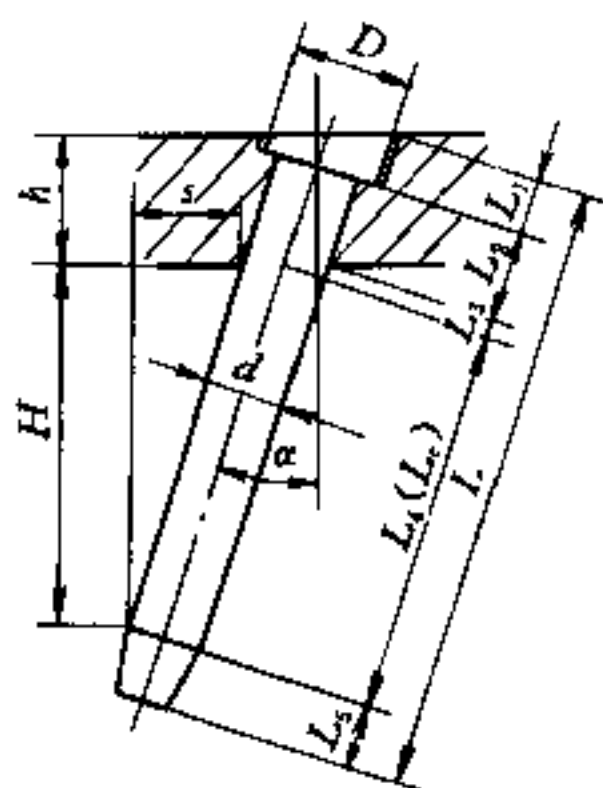


图 4.7-24 平面侧抽时斜

导柱总长和开模行程

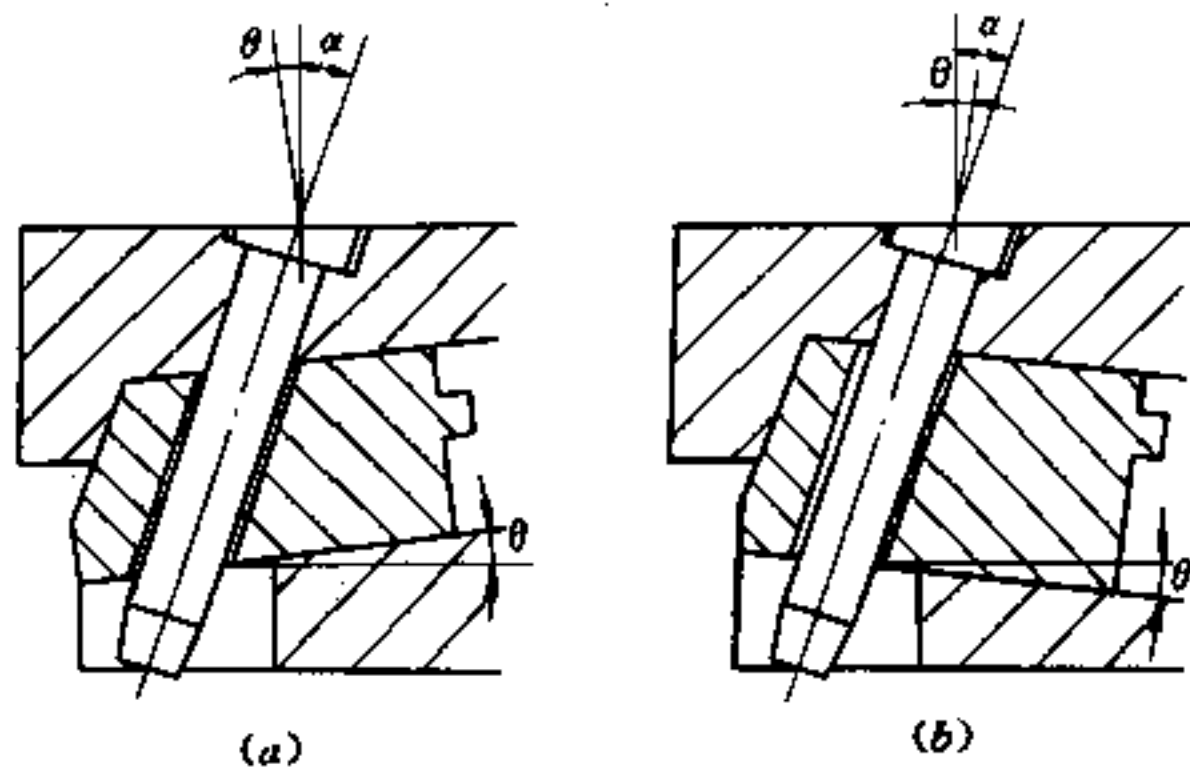


图 4.7-25 滑块倾斜的侧抽

(a) 斜向动模一侧; (b) 斜向定模一侧。

斜向动模边的几何关系如图 4.7-26 (a) 所示。在同样开模行程  $H = AD$  内, 完成的抽拔距  $s = AC$ , 比滑块未倾斜时抽拔距  $AB$  增大了; 对应斜导柱的有效长度  $L_c = CD$ , 也比平面侧抽时有效长度  $BD$  增加了。在  $\triangle ACD$  中有

$$\frac{AC}{\sin \alpha} = \frac{CD}{\sin (90^\circ + \theta)} = \frac{AD}{\sin [180^\circ - (90^\circ + \theta) - \alpha]}$$

由此可得

$$L_c = \frac{s}{\sin \alpha} \cos \theta \quad (4.7-20)$$

$$H = \frac{s}{\sin \alpha} \cos (\alpha + \theta) \quad (4.7-21)$$

事实上, 这时有效的斜导柱的安装倾角已由  $\alpha$  增加为  $(\alpha + \theta)$ 。

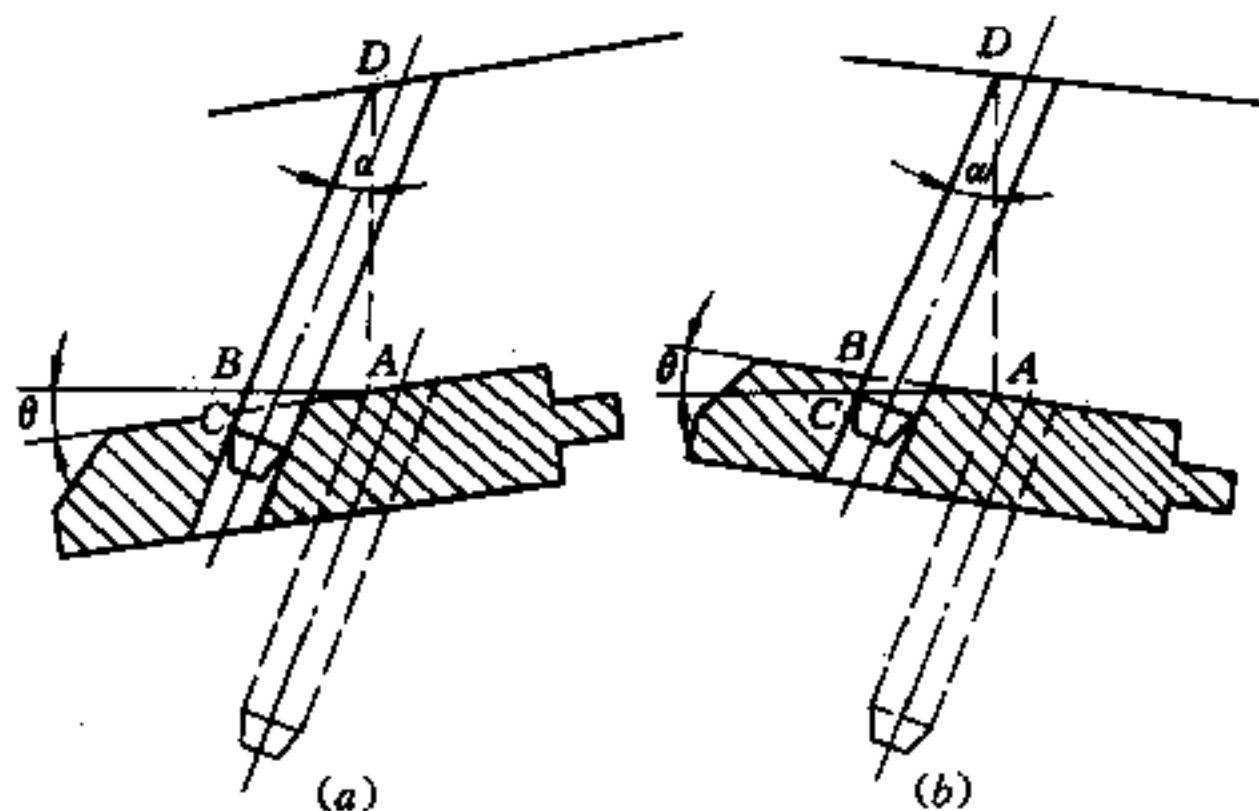


图 4.7-26 倾斜侧抽时的几何关系

(a) 斜向动模一侧; (b) 斜向定模一侧。

## (2) 斜向定模一侧

斜向定模边的几何关系如图 4.7-26 (b) 所示。在同样的开模行程  $H = AD$  内, 完成的抽拔距  $s = AB$ , 比滑块未倾斜时抽拔距  $AC$  小; 对应斜导柱的有效长度  $L_c = BD$ , 也比平面侧抽时有效长度  $CD$  小。在  $\triangle ABD$  中有



$$\frac{AB}{\sin \alpha} = \frac{BD}{\sin (90^\circ - \theta)} = \frac{AD}{\sin [180^\circ - \alpha - (90^\circ - \theta)]}$$

由此可得

$$L_c = \frac{s}{\sin \alpha} \cos \theta \quad (4.7-22)$$

$$H = \frac{s}{\sin \alpha} \cos (\alpha - \theta) \quad (4.7-23)$$

事实上, 这时有效的斜导柱的安装倾角已由  $\alpha$  减小为  $(\alpha - \theta)$ 。

## 二、斜导柱机构受力和斜导柱强度

### 1. 受力分析

#### (1) 滑块在动模平面内

图 4.7-27 (a)、(b) 分别为斜导柱和滑块的力分析图。侧滑块在开模时受到注塑机开模力  $P$  的作用。它是动模上导滑槽施于滑块的正压力。这时, 斜导柱驱动着滑块克服塑件的抽拔阻力  $Q$ , 和导滑槽接触面的摩擦阻力  $F_f$ 。斜导柱与滑块斜孔的接触表面, 相互作用着法向压力  $N$  和摩擦阻力  $F_x$ 。

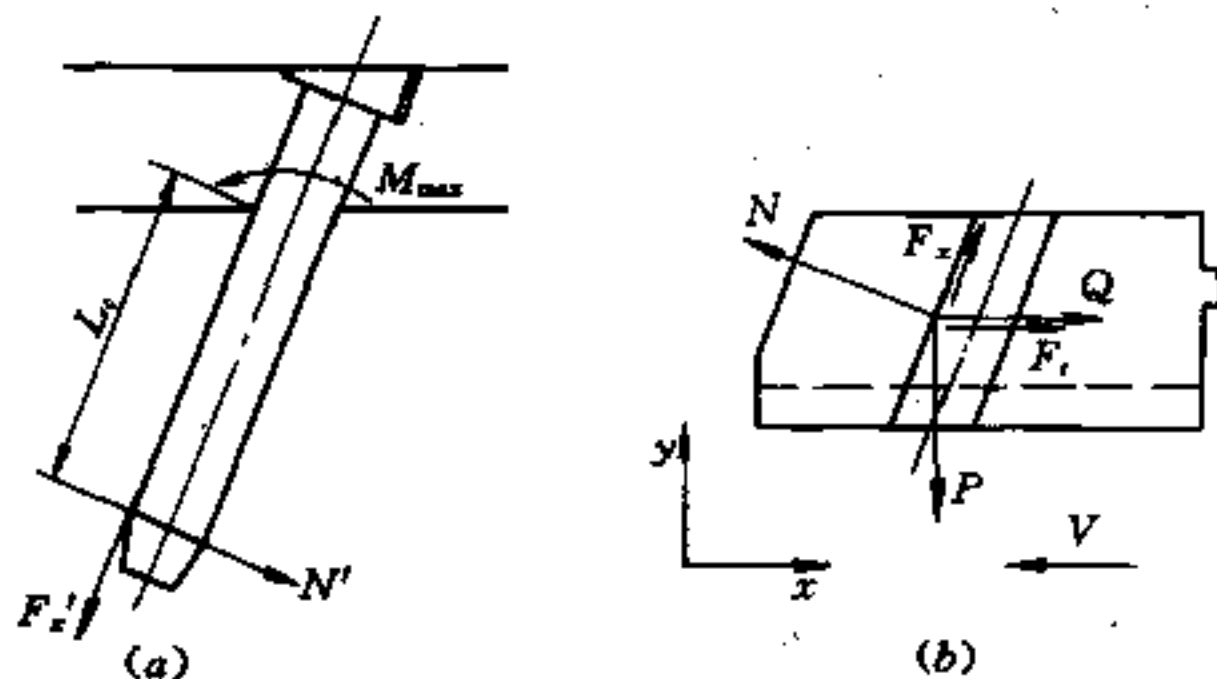


图 4.7-27 斜导柱机构的受力分析

(a) 斜导柱; (b) 滑块。

汇交力系在直角坐标系中,  $\sum F_x = 0$  得

$$Q + F_f - F_x \sin \alpha - N \cos \alpha = 0$$

又有

$$F_f = P \cdot f \quad \text{和} \quad F_x = N \cdot f$$

式中,  $f$  是滑块与斜导柱, 和滑块与导滑槽之间的摩擦系数。

代入简化后

$$N = \frac{Q + Pf}{\cos \alpha - f \sin \alpha} \quad (4.7-24)$$

由  $\sum F_y = 0$  得

$$N \sin \alpha + F_x \cos \alpha - P = 0$$

代入简化后

$$N = \frac{P}{\sin \alpha + f \cos \alpha} \quad (4.7-25)$$

将式 (4.7-25) 和式 (4.7-24) 联立解得

$$P = \frac{Q(f' + \operatorname{tg}\alpha)}{1 - 2f'\operatorname{tg}\alpha - f'^2} \quad (4.7-26)$$

将摩擦系数  $f'$  用  $\operatorname{tg}\phi$  替代, 上式可变换成

$$P = \frac{Q \sin(\alpha + \phi) \cdot \cos\phi}{\cos(\alpha + 2\phi)} \quad (4.7-27)$$

将  $f' = \operatorname{tg}\phi$  和式 (4.7-27) 代入式 (4.7-25), 可得

$$N = \frac{Q \cos^2\phi}{\cos(\alpha + 2\phi)} \quad (4.7-28)$$

由式 (4.7-27) 和式 (4.7-28) 函数关系可知, 随着安装倾角  $\alpha$  增大, 所需开模力  $P$  和斜导柱受到的法向力  $N$  随之增加。当  $\alpha$  增大到  $(90^\circ - 2\phi)$  时,  $P$  和  $N$  趋向于无穷大。其结果将使模具无法开启, 或斜导柱折断。钢与钢表面间摩擦系数  $f' = 0.08 \sim 0.12$ , 对应摩擦角  $\phi$  约为  $4.5^\circ \sim 6.8^\circ$ 。因此,  $\alpha$  角达到  $80^\circ$  左右就出现危险状态。在  $\alpha > 25^\circ$  时, 由于  $P$  和  $N$  力较大, 侧抽机构的摩擦表面间的摩擦力  $F_t$  和  $F_x$  过大, 磨损过于剧烈。但如果  $\alpha$  角过小,  $\alpha < \phi$  时会使机构处于自锁状态, 也不能开模。所以生产中,  $\alpha$  在  $12^\circ \sim 25^\circ$  范围内比较适宜。

## (2) 滑块倾斜

经推导, 滑块斜向动模一侧时, 斜导柱所受到的法向压力  $N$  和滑块所需开模力  $P$  分别是

$$N = \frac{Q \cos^2\phi}{\cos(\alpha + \beta + 2\phi)} \quad (4.7-29)$$

$$P = \frac{Q \sin(\alpha + \beta + \phi) \cos\phi}{\cos(\alpha + \beta + 2\phi)} \quad (4.7-30)$$

此二式与式 (4.7-28) 和式 (4.7-27) 相比, 同样的安装倾角  $\alpha$  下,  $N$  和  $P$  力都比平面侧抽时增大。

对于滑块斜向定模一侧, 斜导柱受到的法向压力  $N$  和滑块所需开模力  $P$  分别是

$$N = \frac{Q \cos^2\phi}{\cos(\alpha - \beta + 2\phi)} \quad (4.7-31)$$

$$P = \frac{Q \sin(\alpha - \beta + \phi) \cos\phi}{\cos(\alpha - \beta + 2\phi)} \quad (4.7-32)$$

此二式与式 (4.7-28) 和式 (4.7-27) 相比, 在安装倾角  $\alpha$  不变情况下,  $N$  和  $P$  力都比平面侧抽时减小。

## 2. 斜导柱和弯销强度计算

见图 4.7-27 (a), 斜导柱驱动滑块从塑件中抽拔时, 法向力  $N$  使斜导柱受到力臂为  $L_c$  的弯曲力矩。固定端的最大弯矩  $M_{\max} = NL_c$ , 在危险截面上的最大弯曲应力

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{\bar{W}_Z}$$

式中,  $\bar{W}_Z$  为斜导柱的抗弯截面模量, 对圆截面  $\bar{W}_Z = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0.1d^3$ 。斜导柱的强度条件式

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{\bar{W}_Z} = \frac{NL_c}{0.1d^3} \leq [\sigma]_b$$

得斜导柱直径设计式

$$d = \left( \frac{10NL_c}{[\sigma]_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.7-33)$$

式中  $[\sigma]_b$  为许用弯曲应力。对于 T8 或 T8A 其 HRC50~55, 则  $[\sigma]_b = 140\text{N/mm}^2$ 。对 T10 或 T10A, HRC54~58, 则  $[\sigma]_b = 155\text{N/mm}^2$ 。它们的安全系数是 1.4。

对于矩形弯销, 其抗弯截面模量  $W_z = \frac{bh^2}{6}$ 。按常见的  $b = \frac{2}{3}h$  代入后得  $W_z = h^3/9$ 。

9. 矩形弯销的强度条件式

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} = \frac{9NL_c}{h^3} \leq [\sigma]_b$$

得弯销的长边设计式

$$h = \left( \frac{9NL_c}{[\sigma]_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.7-34)$$

在平面侧抽时, 斜导柱的弯曲作用力  $N$ , 可将式 (4.7-26) 代入到式 (4.7-25), 用抽拔力  $Q$  直接由下式求得

$$N = \frac{Q}{(1 - 2f' \operatorname{tg} \alpha - f'^2) \cos \alpha} \quad (4.7-35)$$

[例] 侧型芯成型一个小端直径 20mm 盲孔, 孔深 8mm, 锥度  $2\beta = 2^\circ$ , 孔壁厚  $t = 2\text{mm}$ , 斜导柱安装倾角  $\alpha = 20^\circ$ , 用 PP 成型。求所需抽拔力  $Q$ , 最小开模行程  $H$ , 及斜导柱直径  $d$  和总长度  $L$ 。

[解] (1) 成型盲孔型芯所需抽拔力  $Q$

$$r_2 = r_1 + h \operatorname{tg} \beta = 10 + 8 \times \operatorname{tg} 1^\circ = 10.14\text{mm}$$

$$r_{cp} = 0.5 (r_1 + r_2) = 0.5 (10 + 10.14) = 10.07\text{mm}$$

$$A_b = \pi r_{cp}^2 = \pi \times (10.07)^2 = 319\text{mm}^2$$

$\lambda = r_{cp}/t = 10.07/2 = 5.035 < 10$ , 属厚壁件。现由表 18.1-4 查得  $E = 1.35 \times 10^3\text{N/mm}^2$ ,  $\mu = 0.33$ ,  $f = 0.39$ ,  $s = 0.02$ 。由式 (4.6-11) 求脱模阻力

$$Q_c = \frac{2\pi r_{cp} E s h K_f}{(1 + \mu + K_\lambda) \cos \beta}$$

其中  $K_f$  由式 (4.6-14) 有

$$K_f = \frac{f \cos \beta - \sin \beta}{1 + f \sin \beta \cdot \cos \beta} = \frac{0.39 \times \cos 1^\circ - \sin 1^\circ}{1 + 0.39 \times \sin 1^\circ \times \cos 1^\circ} = 0.3699$$

其中  $K_\lambda$  由式 (4.6-15) 有

$$K_\lambda = \frac{2\lambda^2}{\cos \beta + 2\lambda \cos \beta} = \frac{2 \times (5.035)^2}{\cos 1^\circ + 2 \times 5.035 \times \cos 1^\circ} = 4.5808$$

所以

$$Q_c = \frac{2 \times 3.1415 \times 10.07 \times 1.35 \times 10^3 \times 0.02 \times 8 \times 0.3699}{(1 + 0.33 + 4.5808) \times \cos 1^\circ} = 855\text{N}$$

真空吸力  $Q_b = 0.1A_b = 0.1 \times 319 = 32\text{N}$

抽拔力  $Q = Q_c + Q_b = 855 + 32 = 887\text{N}$

(2) 最小开模行程  $H$ 

$$s = s_c + 2 = 8 + 2 = 10\text{mm}$$

$$H = s \cdot \cot\alpha = 10 \cot 20^\circ = 28\text{mm}$$

(3) 斜导柱直径  $d$ 

取钢零件间摩擦系数  $f' = 0.1$ 。斜导柱用 T8A 制造  $[\sigma]_b = 140\text{N/mm}^2$ ，弯曲作用力由式 (4.7-35)

$$N = \frac{Q}{(1 - 2f' \operatorname{tg}\alpha - f'^2) \cos\alpha} = \frac{887}{[1 - 2 \times 0.1 \operatorname{tg} 20^\circ - (0.1)^2] \cos 20^\circ} = 1029\text{N}$$

有效长度  $L_c = \frac{s}{\sin\alpha} = \frac{10}{\sin 20^\circ} = 29.2\text{mm}$

得  $d = \left( \frac{10NL_c}{[\sigma]_b} \right)^{1/3} = \left( \frac{10 \times 1029 \times 29.2}{140} \right)^{1/3} = 12.9\text{mm}$

取斜导柱直径  $d = 14\text{mm}$ 。

(4) 斜导柱总长  $L$ 

取固定凸肩  $D = 1.8d$ ，安装斜导柱的定模板厚  $h = 20\text{mm}$ ，由式 (4.7-18)

$$\begin{aligned} L &= \frac{(D+d)}{2} \operatorname{tg}\alpha + \frac{h}{\cos\alpha} + \frac{s}{\sin\alpha} + 12 \\ &= \frac{1}{2} (1.8+1) \times 14 \times \operatorname{tg} 20^\circ + \frac{20}{\cos 20^\circ} + \frac{10}{\sin 20^\circ} + 12 \\ &= 69.6\text{mm} \end{aligned}$$

取斜导柱总长  $L = 70\text{mm}$ 。

## 三、机构零件设计

## 1. 锁紧楔

锁紧楔又称压紧楔，它在注射过程中使侧滑块紧密闭合，所以要求有足够的刚性。

## (1) 整体式

如图 4.7-28 所示，是利用定模板直接加工出锁紧楔。锁紧工作面大，能承受较大侧压力，锁紧可靠刚性好。但需大面积模板，切削耗钢多。由于定模板为中碳钢，故要在斜面上镶上淬硬垫片，减少磨损，也易更换。整体式锁紧楔的布置除常用外侧卡紧外，有的也将压紧斜面置于斜导柱的里侧。

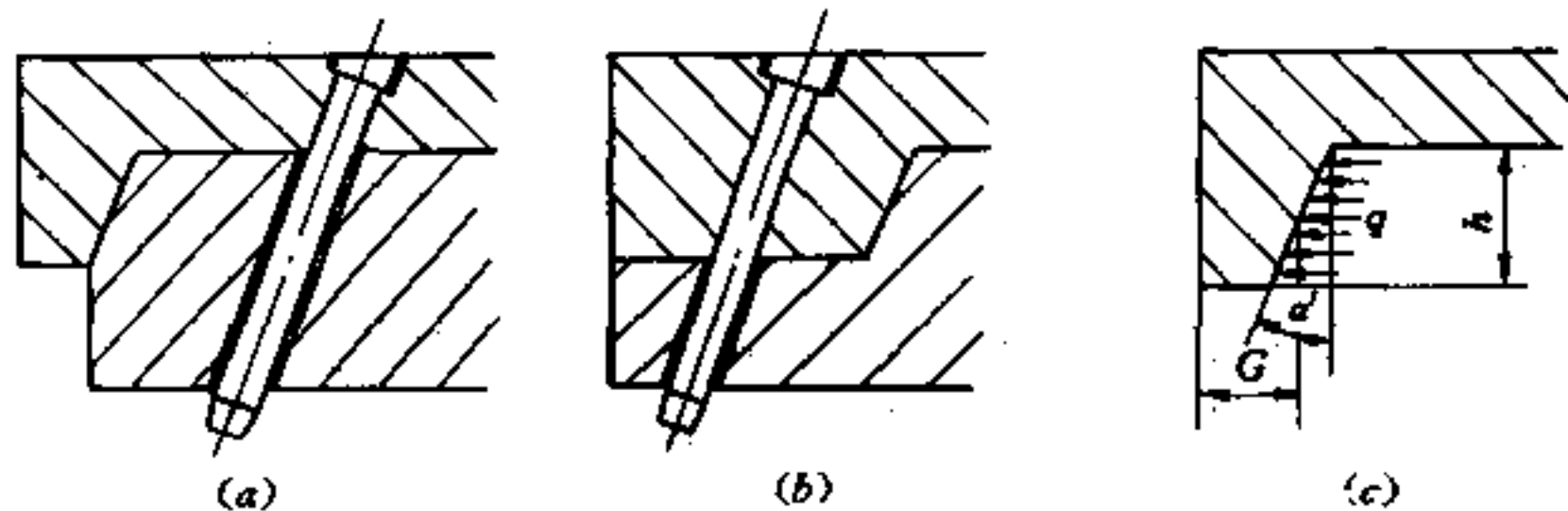


图 4.7-28 整体式锁紧楔

(a) 外侧卡紧；(b) 里侧卡紧；(c) 原理分析。

见图 4.2-28 (c)，锁紧楔角  $\alpha'$  应大于斜导柱的安装倾角  $\alpha$ ，以使在开模瞬时锁紧楔能领先脱离侧滑块。在复位时，由于斜导柱与滑块斜孔间为大间隙，侧滑块有滞后现

象。为避免闭合时锁紧楔与滑块斜面的干涉撞击， $\alpha'$ 应有下面关系式：

$$\operatorname{tg}\alpha' \geq \operatorname{tg}\alpha + \frac{2C}{h \cos\alpha} \quad (4.7-36)$$

式中， $C$ 为图4.7-3所示的斜导柱与孔之间的单向间隙； $h$ 是锁紧楔的工作高度。由此式计算， $\alpha'$ 大于 $\alpha$ 角约 $2^\circ \sim 5^\circ$ 。间隙 $C$ 愈大，高度 $h$ 较小时应取大值。但是楔角 $\alpha'$ 过大，将使有效压紧力减小。

见图4.7-28(c)，整体式锁紧楔经刚度条件推导得受力中点厚度 $G$ 计算式

$$G \geq \left( \frac{3Ph^3}{2EB[\delta]} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{mm}) \quad (4.7-37)$$

式中  $B$ ——锁紧楔宽度 (mm)；

$E$ ——钢的弹性模量， $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；

$[\delta]$ ——锁紧楔的许用变形量，常取 $0.05 \text{ mm}$ ；

$P$ ——锁紧楔所受侧压力 (N)， $P = qh = P_c A$ ， $P_c$ 为最高型腔压力 ( $\text{N/mm}^2$ )，

$A$ 为熔体对滑块的作用面积 ( $\text{mm}^2$ )。

### (2) 镶嵌式

如图4.7-29所示，这种锁紧楔可减少定模板厚度，结构紧凑且牢靠，刚性也好。应该用淬硬钢制造。见图4.7-29(a)，在定模板面积较大时可用中间镶嵌结构。见图4.7-29(b)，定模板面积较小时可用T形槽式镶嵌结构。其刚度计算参照整体式锁紧楔。

### (3) 装配式

对于小型模具，模板面积小侧压力又不大时可用装配式锁紧楔，如图4.7-30所示。其加工和修配容易，但刚性差易松动。依靠螺钉和定位销固定，螺钉承受很大拉力。为此，有时采用里外双重锁紧来保证刚性。

根据图4.7-30(a)上定义的几何参数，锁紧楔中点的厚度是

$$G \geq \left[ \frac{2Pa^3}{EB[\delta]} \left( \frac{3l}{a} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{mm}) \quad (4.7-38)$$

式中  $l$ ——螺钉中心到锁紧楔底面距离 (mm)；

$a$ ——螺钉中心到锁紧楔斜面受力中心的距离 (mm)；

$P$ 、 $E$ 、 $B$ 和 $[\delta]$ 如前所述。

依据图4.7-30(b)上的力分析，求出作用于螺钉的总拉力

$$R_n = \frac{P [b + (b-H) \operatorname{tg}^2 \alpha']}{a'} \quad (\text{N}) \quad (4.7-39)$$

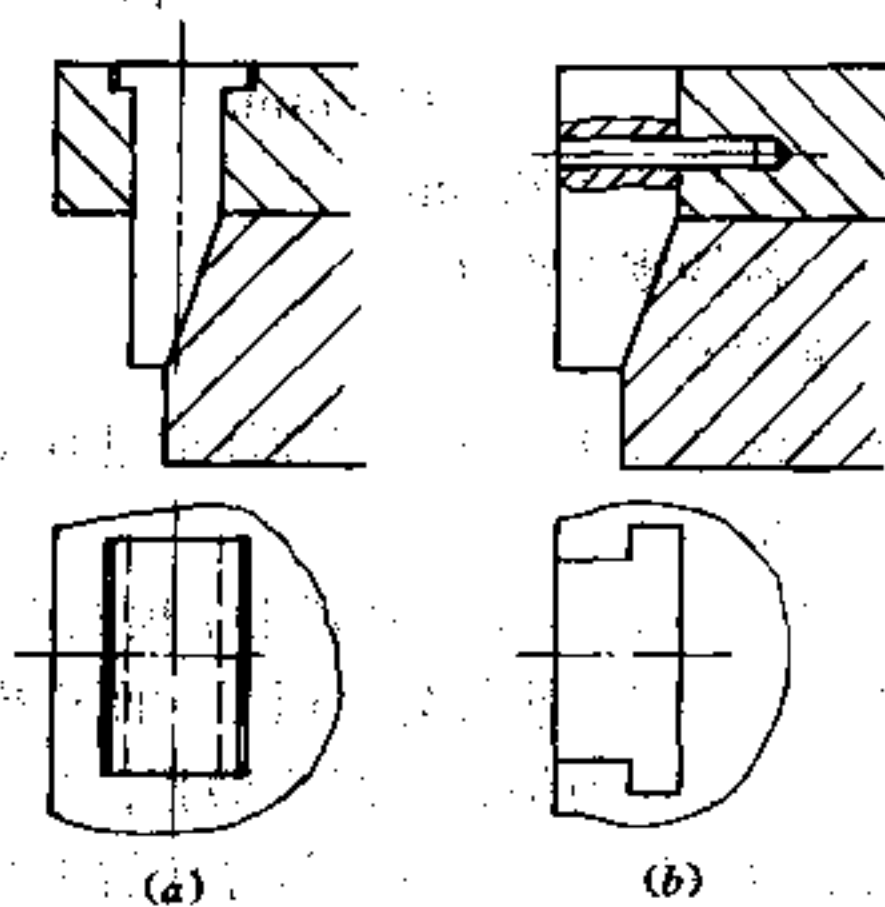


图4.7-29 镶嵌式锁紧楔  
(a) 中间镶嵌；(b) T形镶嵌。

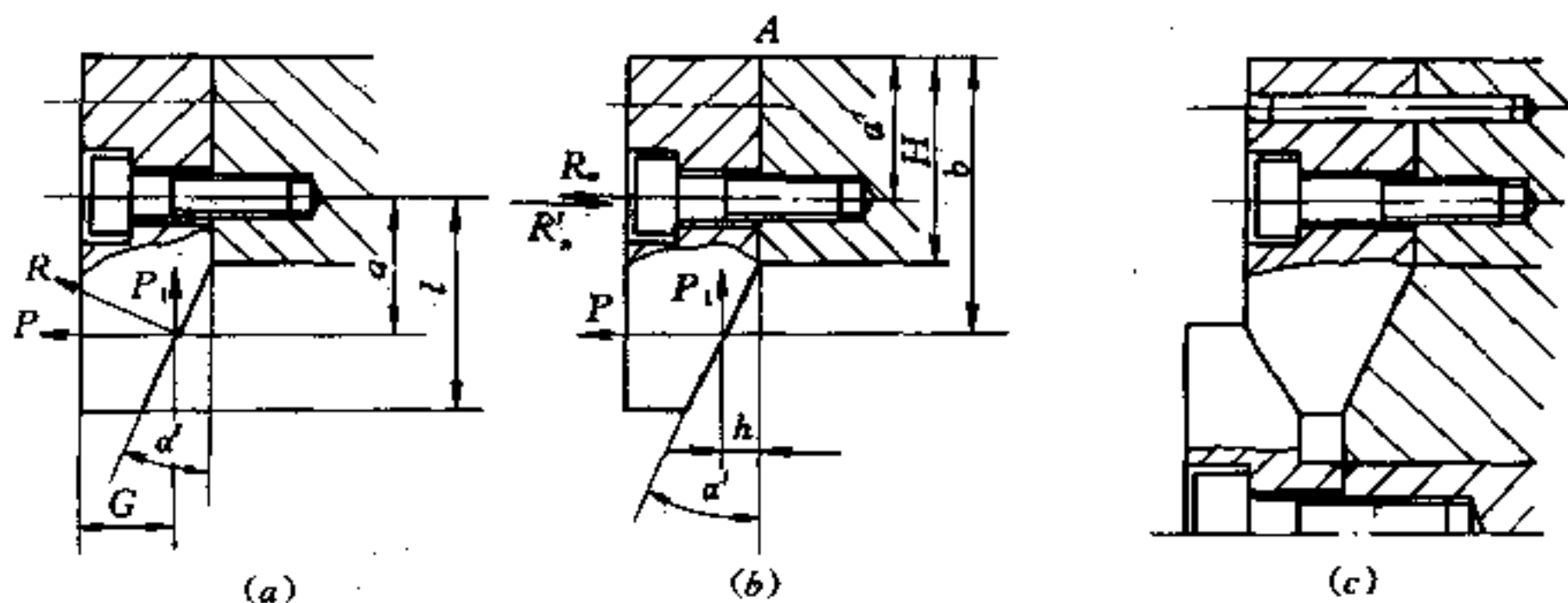


图 4.7-30 装配式锁紧楔

(a) 锁紧楔的刚性计算; (b) 螺钉直径计算; (c) 双重锁紧。

此力图是以 A 点为回转支点,  $a'$ 、 $b'$  和  $h$  为力臂,  $h = (b - H) \operatorname{tg} \alpha'$ , 其中  $a' = \frac{2}{3} H$  为好。根据螺钉数  $n$ , 求出其直径

$$d = \sqrt{\frac{4R_n}{\pi [\sigma]_t n}} \quad (\text{mm}) \quad (4.7-40)$$

$[\sigma]_t$  是螺钉许用拉应力。常用 35 钢制螺钉  $[\sigma]_t = 150 \sim 200 \text{N/mm}^2$ 。

## 2. 滑块和导滑槽

滑块上的成型表面是型腔的组成部分, 应该用优质塑料模具钢制成并经抛光。小型滑块可采用整体式; 但较大滑块大多用组合式结构。

滑块常用 T 型槽导向, 加工方便且刚性好。见图 4.7-31 上导向结构, 上下与左右方向只能有一个动配合尺寸, 其余均为 0.75mm 左右的大间隙。构成导滑槽的压板或导轨以采用组合式为佳, 这样便于用高硬度淬火钢。摩擦表面应有 HRC40 以上硬度, 并让易换零件的硬度比耐磨零件低一些。滑块的导轨和导滑槽应有足够的制造精度, 保证滑块在使用期限内运动平稳, 无上下窜动和卡滞现象。

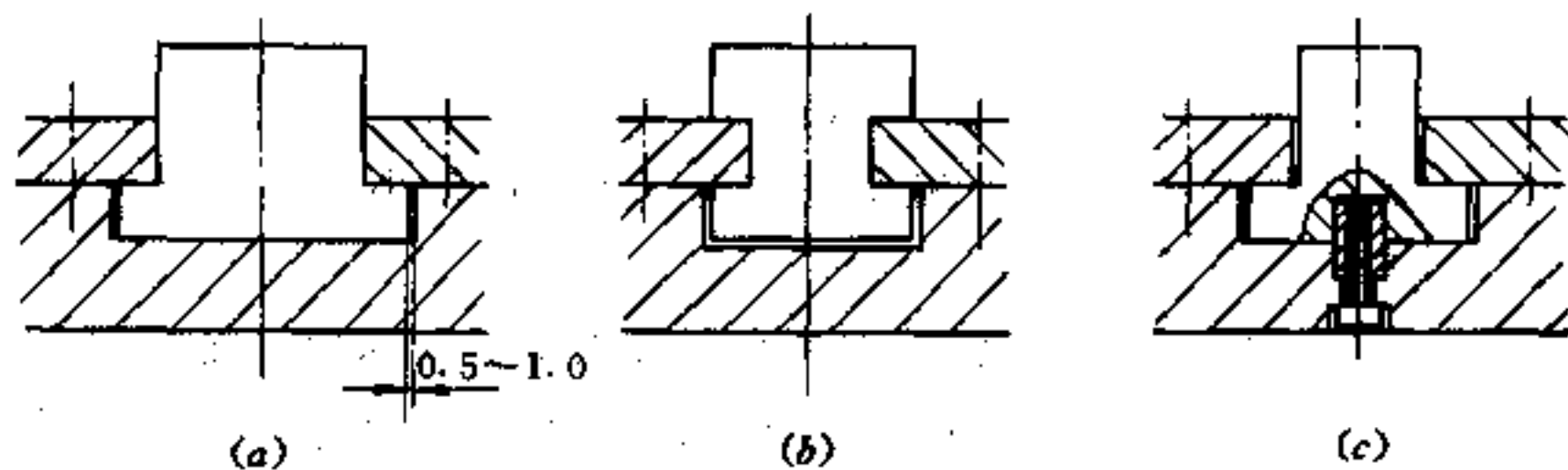


图 4.7-31 T 型导滑槽的结构

滑块整体高度  $H$  不能大于导滑长度  $L$ , 如图 4.7-32 (b) 所示, 否则在侧抽中会产生过大倾侧力矩, 使导滑面过早磨损, 造成运动失稳。倘若需要较高的滑块, 可用图 4.7-28 (b) 结构, 让锁紧楔在斜导柱的里侧。滑块在抽拔后, 滑块外伸于导滑槽外过长会因自重产生歪斜, 影响闭模时斜导柱插入。如图 4.7-32 (c) 所示, 滑块停留在导

滑槽内的长度  $l' > \frac{2}{3}L$ 。必要时导滑槽可悬臂伸出模板外。

### 3. 定位装置

为保证滑块在抽拔后停留在准确的位置上，机构必须要有定位装置。如图 4.7-32 所示，常用挡块、钢珠或球头柱销定位。定位后还需用弹簧或自重来固定滑块，图示方法各适用于滑块所处的三种不同位置。定位表面应有较高硬度和精度。

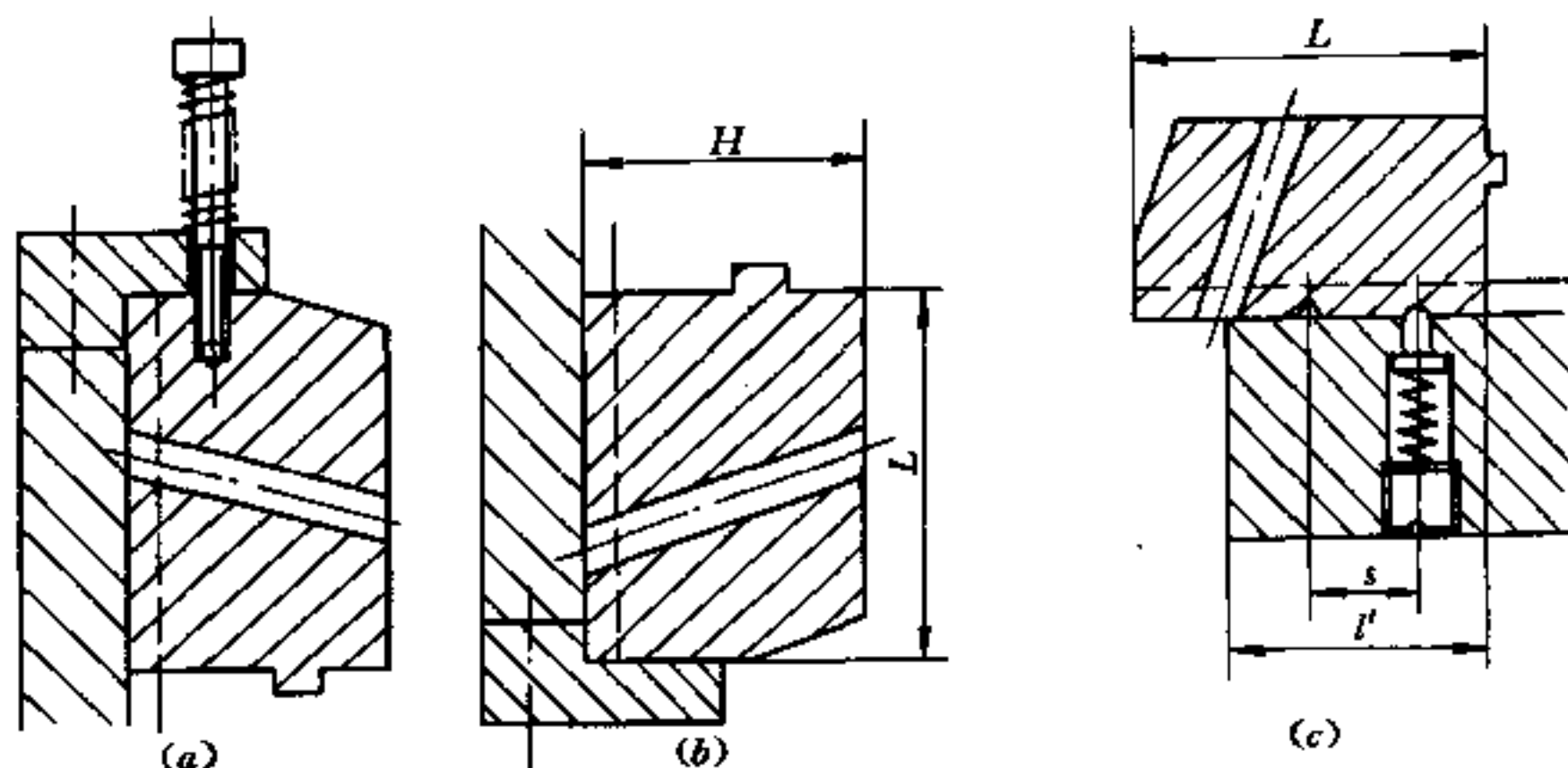


图 4.7-32 三种定位装置结构

(a) 滑块处于向上位置；(b) 滑块处于向下位置；(c) 滑块处于水平位置。

## 四、结构形式

斜导柱分型与抽芯机构，按斜导柱和滑块的安装位置大致可分成四种结构类型。

### 1. 斜导柱在定模、滑块在动模

如图 4.7-33 所示，是最常见的基本结构形式，前已作详细介绍。这种模具的侧滑块在领先复位过程中，顶杆或顶管还尚未退到闭模位置，以致滑块与它们相撞产生干涉现象。当然，可让顶出零件安排在不干涉的位置。但有时无法避免二者在主分型面上投影的重合。由图 4.7-34 所示的复位位置， $\Delta l$  为侧型芯与顶杆在主分型面上重合的侧向距离； $\Delta h$  是顶杆端面与侧型芯在开模方向的最远距离。当

$$\Delta l < \Delta h \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (4.7-41)$$

会产生干涉。二者重合距离  $\Delta l$  过大；侧型芯过低，即  $\Delta h$  较小，愈容易发生干涉。在判断有干涉时，则须采用先复位机构。

(1) 弹簧式先复位机构 将压缩弹簧安装在顶杆固定板和动模底面之间。顶出塑件时弹簧受压。一旦合模，在弹簧力作用下脱模机构立即复位，避免了顶杆与侧向型芯的干涉。但是弹簧力有限，且可靠性差。仅适用于立式和小型注塑模。

(2) 铰链式先复位机构 如图 4.7-35 所示，在开始闭模时固装在定模的楔板作用于双连杆的中间铰链。迫使双连杆迅速张开伸直，驱使脱模机构复位，避免受侧型芯干涉。复位行程  $\Delta L$  与连杆长  $l$  有如下几何关系

$$\Delta L = L - L_0 = 2 (\sqrt{l^2 - E^2} - \sqrt{l^2 - G^2}) \quad (4.7-42)$$

其中，楔板有效厚度  $2e = 2(E - G)$

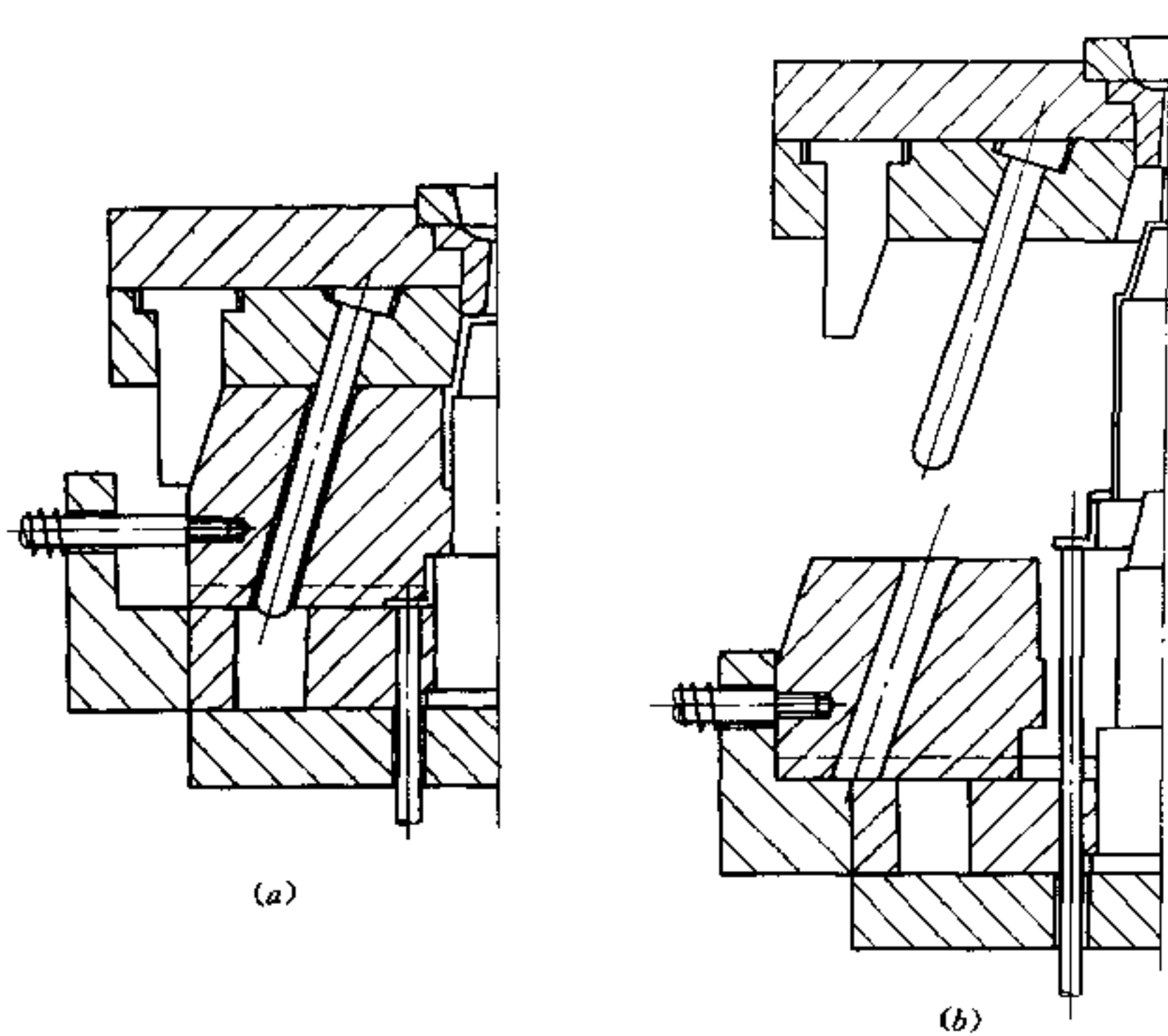


图 4.7-33 斜导柱固装在定模、滑块在动模的结构

(3) 杠杆式先复位机构 如图 4.7-36 所示, 固定于定模的楔杆, 在闭模初就推动杠杆转过有效角度  $(\varphi - \varphi_0)$ 。驱使杠杆的另一端, 从动模底面上撑开一个顶杆的回复行程  $\Delta L$ 。杠杆的转动支承在顶出板上, 回复动作超前于侧型芯的复位。其杠杆转角  $\varphi$  和力臂  $l$ , 与行程  $\Delta L$  关系为

$$\Delta L = l \cos \varphi - l \cos \varphi_0 \quad (4.7-43)$$

(4) 三角滑块式复位机构 如图 4.7-37 所示, 合模初顶出板上三角滑块首先与楔杆接触, 压迫脱模机构迅速返回, 避免了顶管与侧型芯干涉。三角滑块同时在顶出板的导滑槽中向里侧运动。待下次顶出塑件时, 再由动模上的斜面反推到工作位置。当图示  $\gamma = \beta = 45^\circ$  时

$$L = H + H_1 + B + B_1 + s_c - 2h_c - l_1 \quad (4.7-44)$$

有多种先复位机构, 动作过程相同。由于启动时存在较大摩擦等阻力, 经常加装弹簧辅助复位。又由于机构各运动零件存在磨损和各种间隙, 顶杆或顶管的回复位置误差颇大, 故通常又同时使用回程杆。

## 2. 斜导柱和滑块都在定模

见图 4.7-38 和图 4.7-39, 斜导柱固装在定模板上; 滑块设置在定模边的型腔板上, 型腔板上制有导滑槽。因此定模板必须与型腔板首先分型。由型腔板的开模力驱使

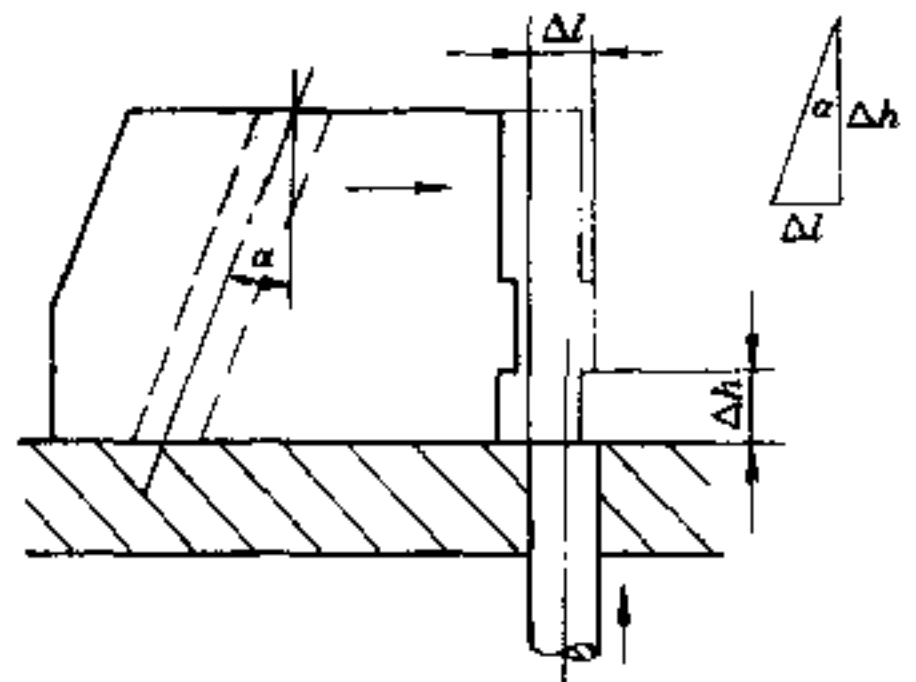


图 4.7-34 产生干涉的几何条件



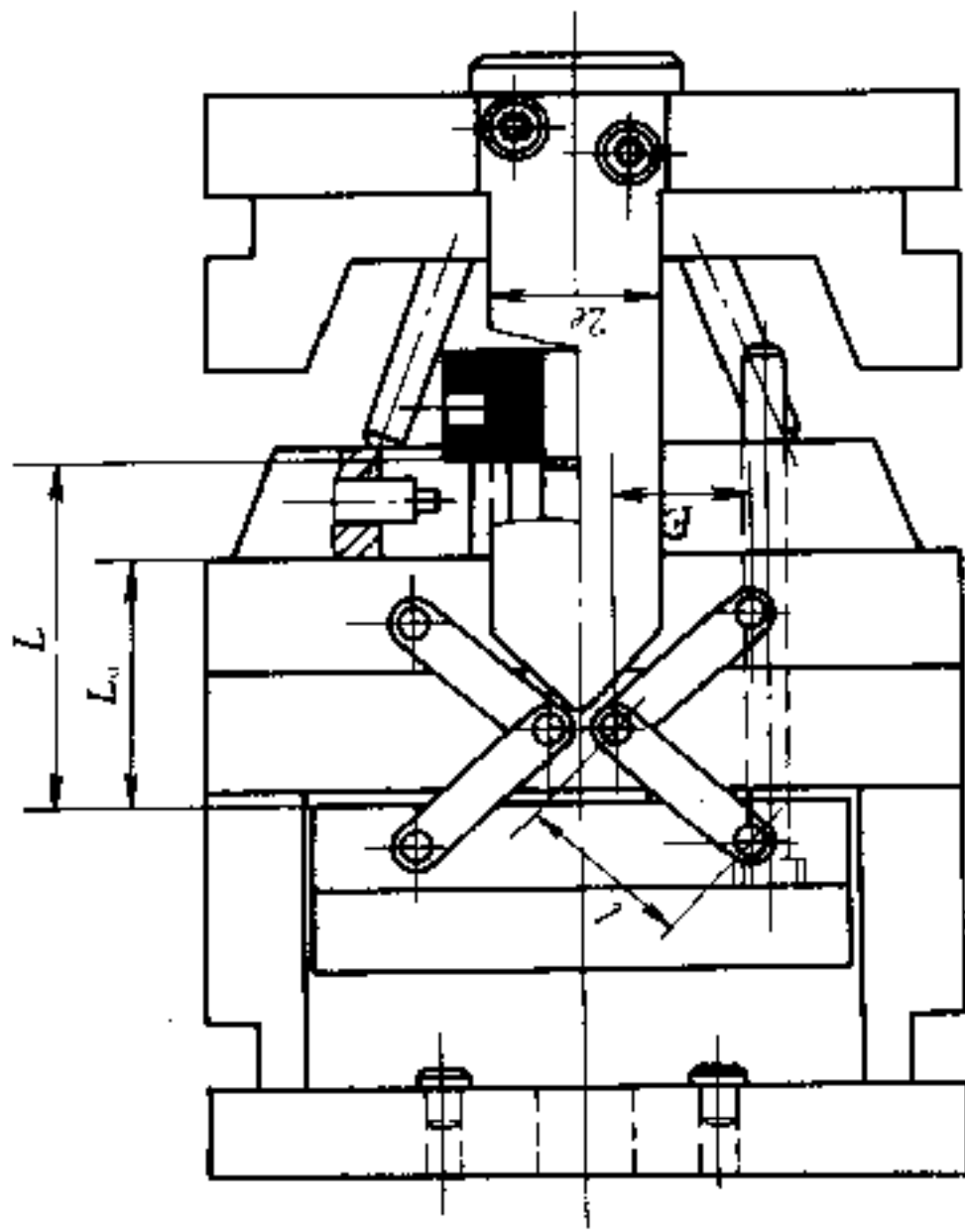


图 4.7-35 铰链式先复位机构

1—侧型芯；2—楔板；3—连杆；4—回程杆；5—顶杆；6—顶出板。

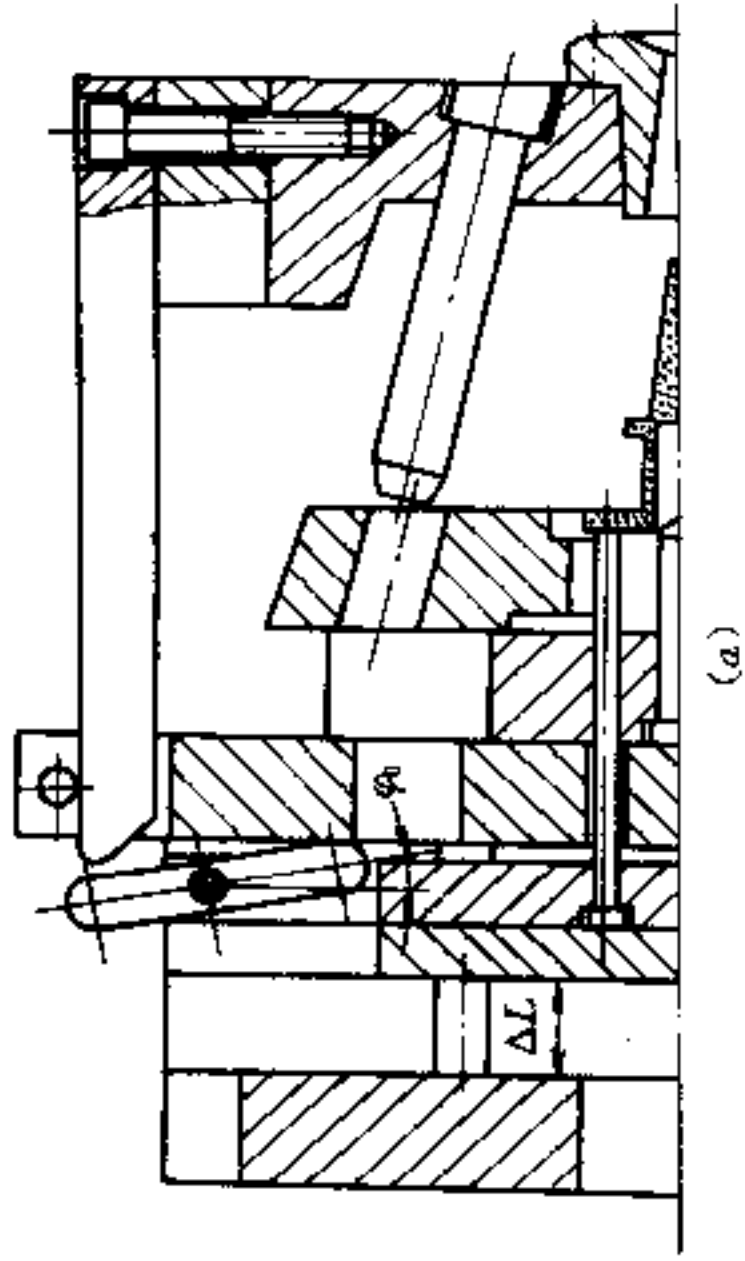


图 4.7-36 杠杆式先复位机构

1—导向滚轮；2—滑块；3—斜导柱；4—顶杆；5—型芯；6—顶出板；7—动模垫板；8—杠杆；9—回转支承；10—楔杆。

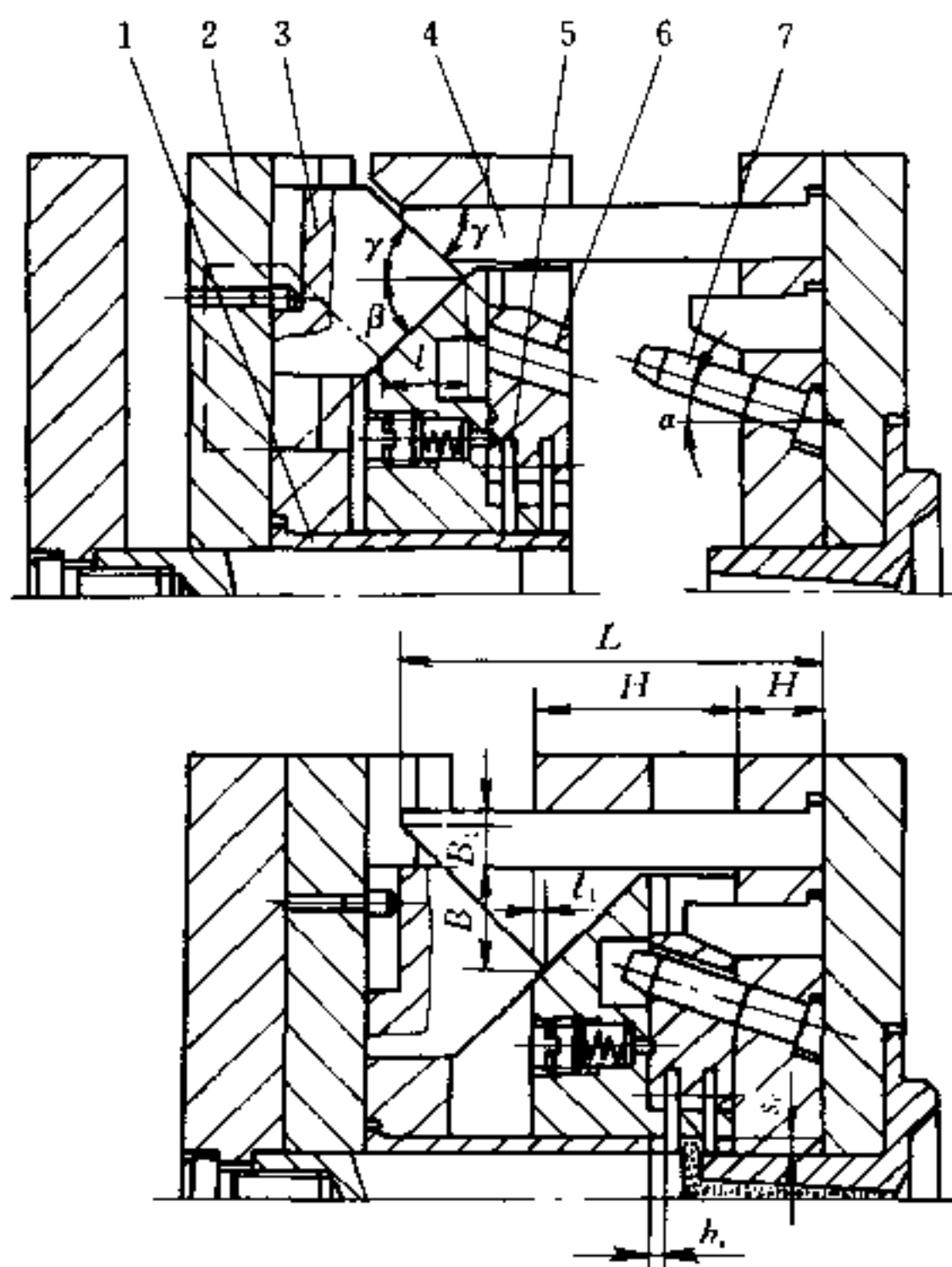


图 4.7-37 三角滑块式先复位机构

1—顶管；2—顶管底板；3—三角滑块；4—楔杆；5—侧向型芯；6—侧滑块；7—斜导柱。

滑块在斜导柱的作用下，于型腔板上作侧抽运动。此时须确保型腔板与动模锁紧。在侧抽完成后，型腔板才与动模分型，然后塑件从动模主型芯上顶出。这种模具是顺序脱模机构的特例，它又具有斜导柱侧抽机构，称为定距分型拉紧机构。倘若动模与型腔板之间拉紧不可靠，则会造成塑件和侧型芯损伤。

定距拉紧机构适用于点浇口的浇注系统，如图 4.7-38 所示。第一次分型不但满足斜导柱侧抽所需最小开模距离，还须使该距离足以取出浇注系统凝料。该种机构也用于主流道型浇口、轮辐式浇口等场合，如图 4.7-39 所示。第一次分型产生侧抽同时，仅将主流道凝料从孔中脱出。待主分型面打开后，塑件和浇道凝料被一起顶出。

图 4.7-38 为摆钩式定距拉紧机构，用支承在型腔板上的摆钩拉紧动模板上的挡钩。设计时，要保证摆钩一端的弹簧有足够的弹力；要注意摆钩的两侧应有合理力臂长度，以防止意外脱钩。延长压杆的长度，将其顶压在摆钩后背上可防止脱钩。只有在脱钩后，定距螺钉才起作用。摆钩式顺序脱模机构有多种形式，图 4.6-28 也是一例。图 4.7-29 是滑板式定距拉紧机构，由于是拉钩与滑板以平面接触钩压，较为有效。第一次分型后，压杆的作用面将滑板推入，脱钩后，定距螺钉将型腔板制动。此时压杆继续在推压滑板，直至合模中动模上的拉钩到达。其他还有弹簧螺钉式和导柱式定距拉紧机构，此两种机构的结构简单，定距小，拉紧力不大，只适用于小型模具。

### 3. 斜导柱在动模、滑块在定模

应用这种模具结构是有条件的。塑件对型芯有足够包紧力，型芯在初始开模时，能

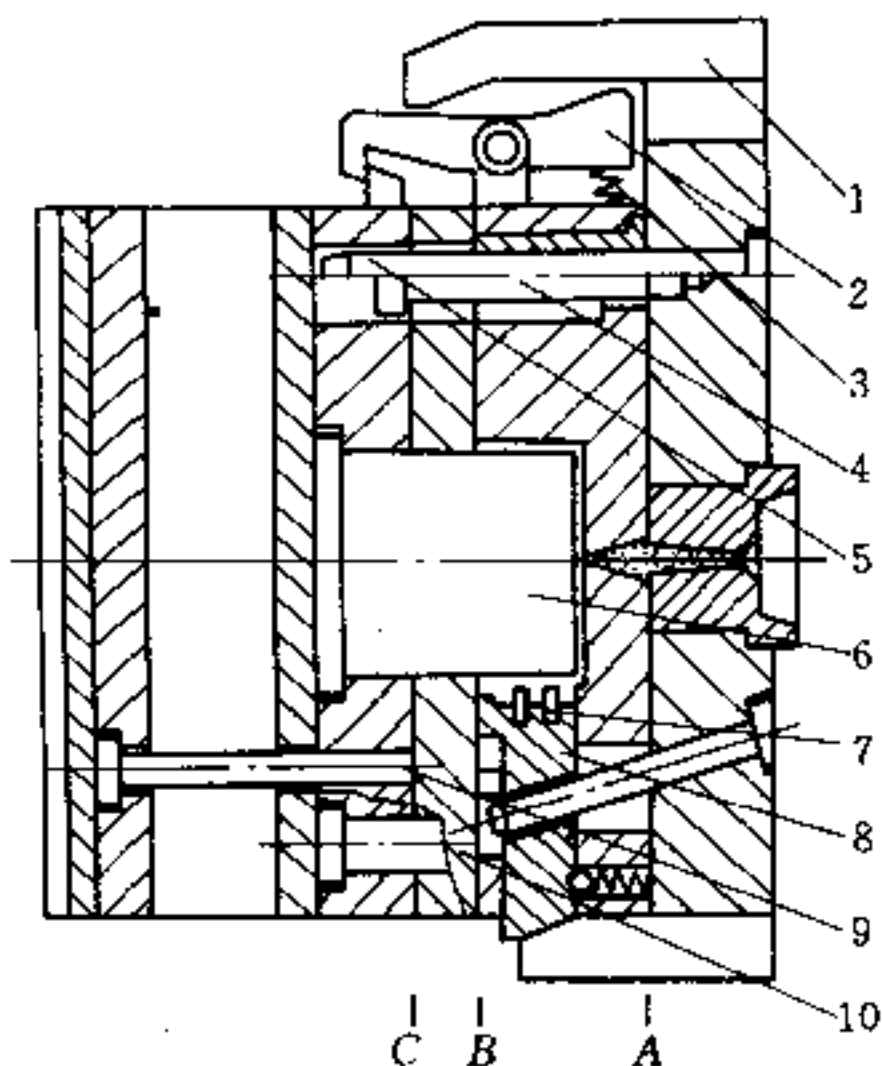


图 4.7-38 摆钩式定距拉紧机构

1—压杆；2—摆钩；3—弹簧；4—定距螺钉；  
5—导柱；6—主型芯；7—侧型芯；  
8—侧滑块；9—顶杆；10—推板。

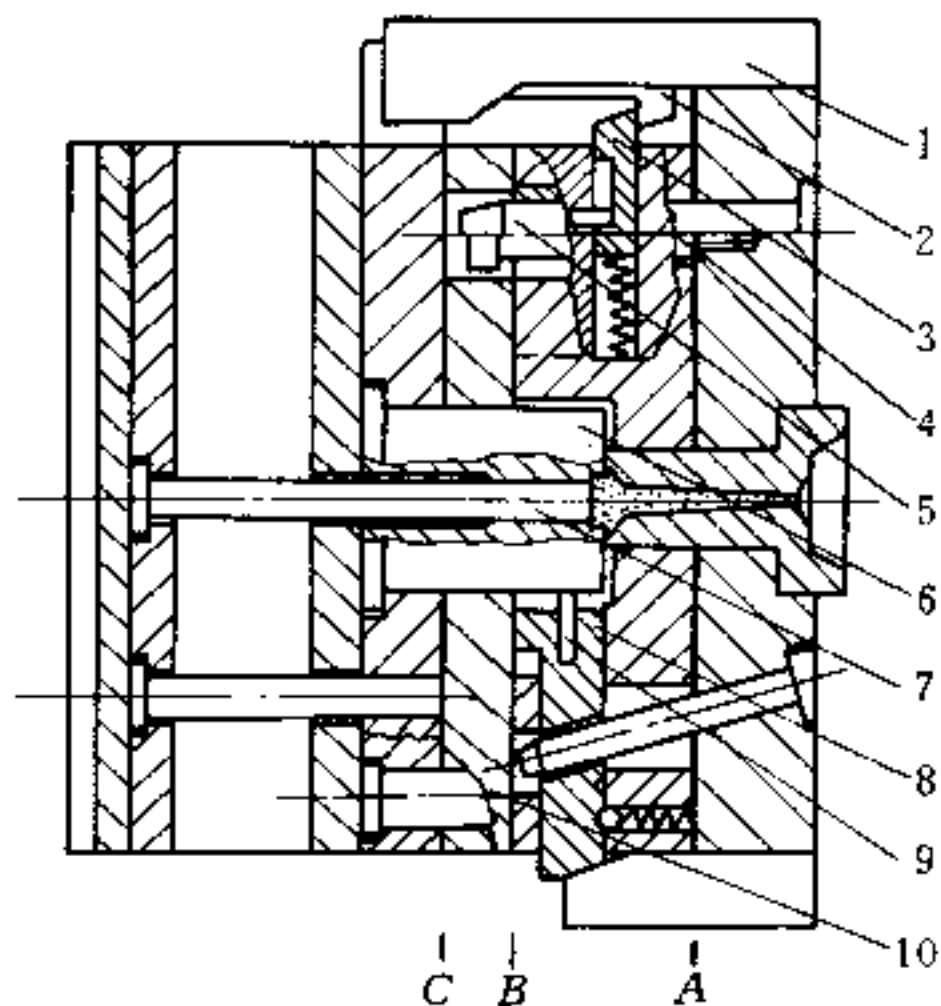


图 4.7-39 滑板式定距拉紧机构

1—压杆；2—拉钩；3—滑板；4—定距螺钉；  
5—导柱；6—主型芯；7—顶杆；  
8—侧滑块；9—侧型芯；10—推板。

沿开模轴线方向运动。必须保证推板与动模板在开模时首先分型，故需在推板下装弹簧顶销。而且侧向抽拔距较小。如图 4.7-40 所示，A 面分型时构成型腔凹凸模处于闭合状态。开模力使侧滑块抽拔的同时，使主型芯随推板一起浮动。主型芯的位移足以完成侧抽所需的开模高度。在侧抽完成后，主分型 B 面打开时，塑件留在主型芯上，直至推板将其脱出。

#### 4. 斜导柱和滑块都在动模

这种机构常用于侧向分型，也称瓣合凹模，如图 4.7-41 所示。由两个或多个侧滑块组成凹模，被定模楔压锁紧。动模与定模首先分型，待动模带着闭合型腔退至脱模位置时，推板将塑件脱离主型芯。与此同时，在斜导柱作用下进行侧向分型。由于滑块始终不脱离斜导柱，不需对其设置定位装置。该脱模机构需同时克服主型芯脱模和侧向分型两方面的阻力。

### 4.7.4 斜滑块侧抽机构

斜滑块侧抽机构大多用于抽拔距不大的侧向分型。模具结构简单紧凑，能承受较大的侧压力，避免了塑件与顶杆接触。但是在设计时有较多限制条件。

#### 一、动作过程和受力分析

图 4.7-42 是用斜滑块侧向分型成型线圈骨架的注塑模，在分型后，动模上顶杆将一对斜滑块推出模套。斜滑块沿着模套上斜向导滑槽滑动过程中，使斜滑块侧向分型的同时带动塑件沿主型芯轴线脱模。因此，塑件必须有足够长的中心孔，并要有足够强度的台肩或翼片。合模中定模与斜滑块碰击后，斜滑块与脱模机构一起复位。在塑件孔对型芯有足够大的包紧力时，斜滑块和模套也可以设计在定模，主型芯和脱模机构在动模。

图 4.7-43 为单个斜滑块的力分析图。在顶杆作用力  $P$  的推动下，斜滑块克服对主

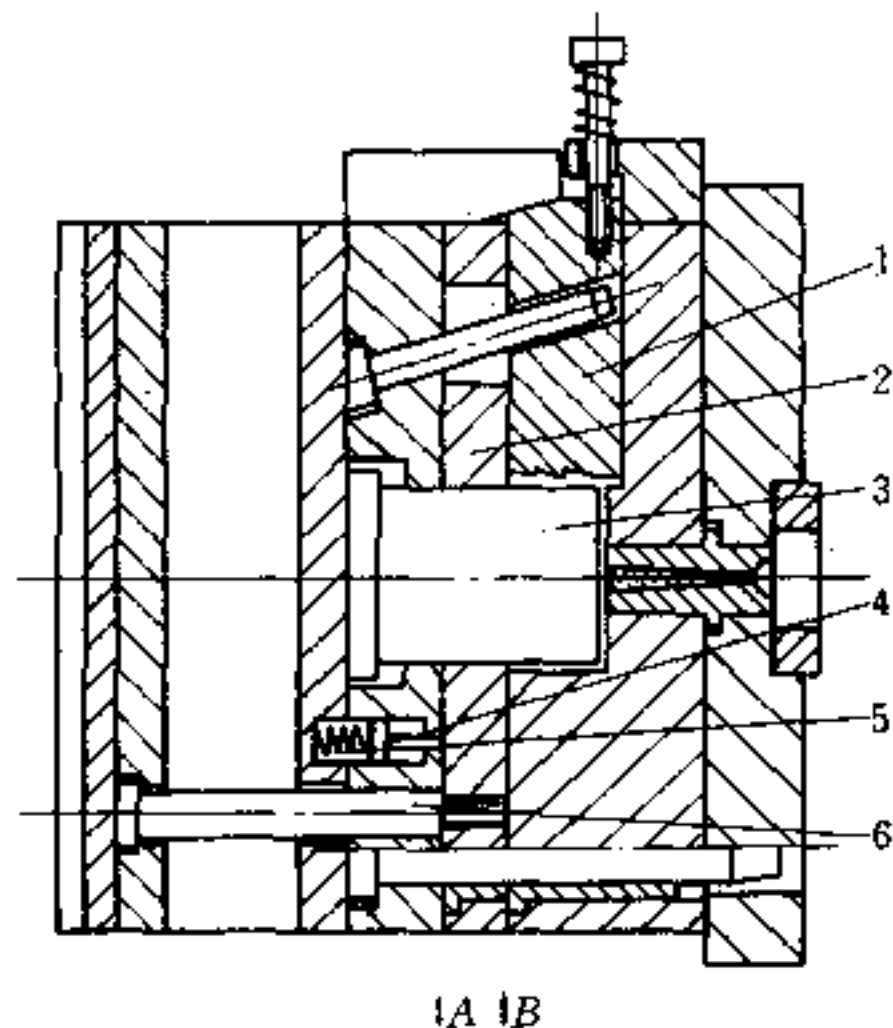


图 4.7-40 斜导柱在动模、滑块在定模的侧抽机构

1—滑块；2—推板；3—主型芯；  
4—顶销；5—弹簧；6—顶杆。

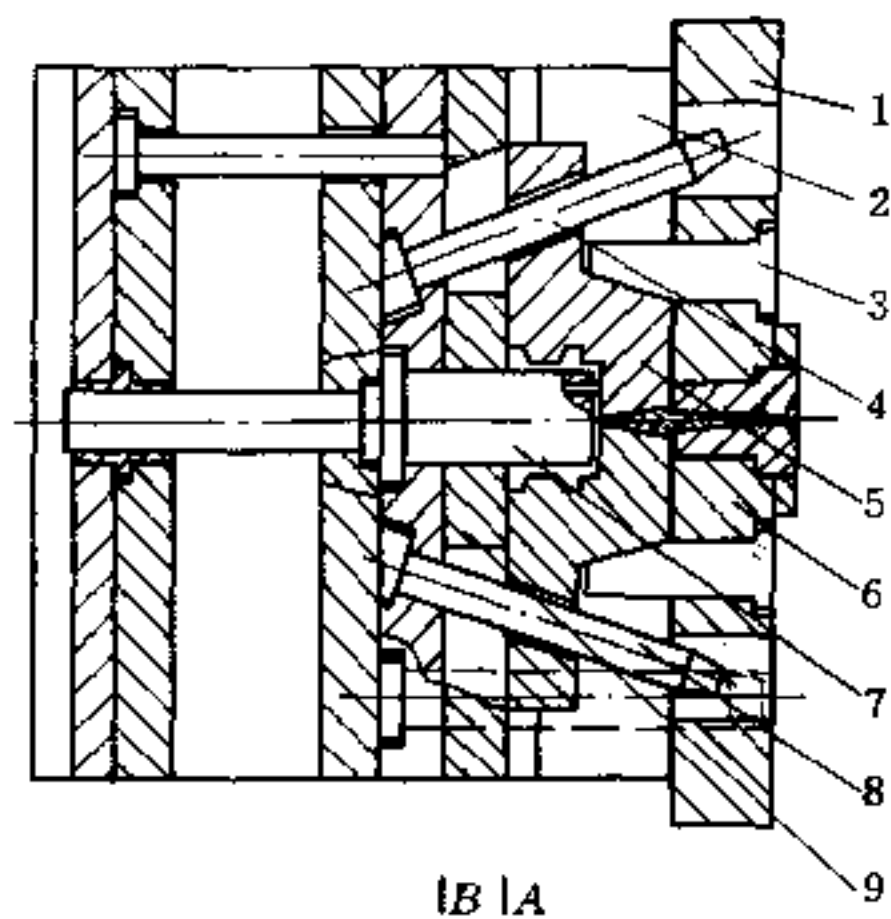


图 4.7-41 斜导柱和滑块都在动模的侧向分型机构

1—定模固定板；2—定模板；3—锁紧楔；4—顶杆；  
5—瓣合凹模；6—小型芯；7—主型芯；8—斜导柱；9—推板。

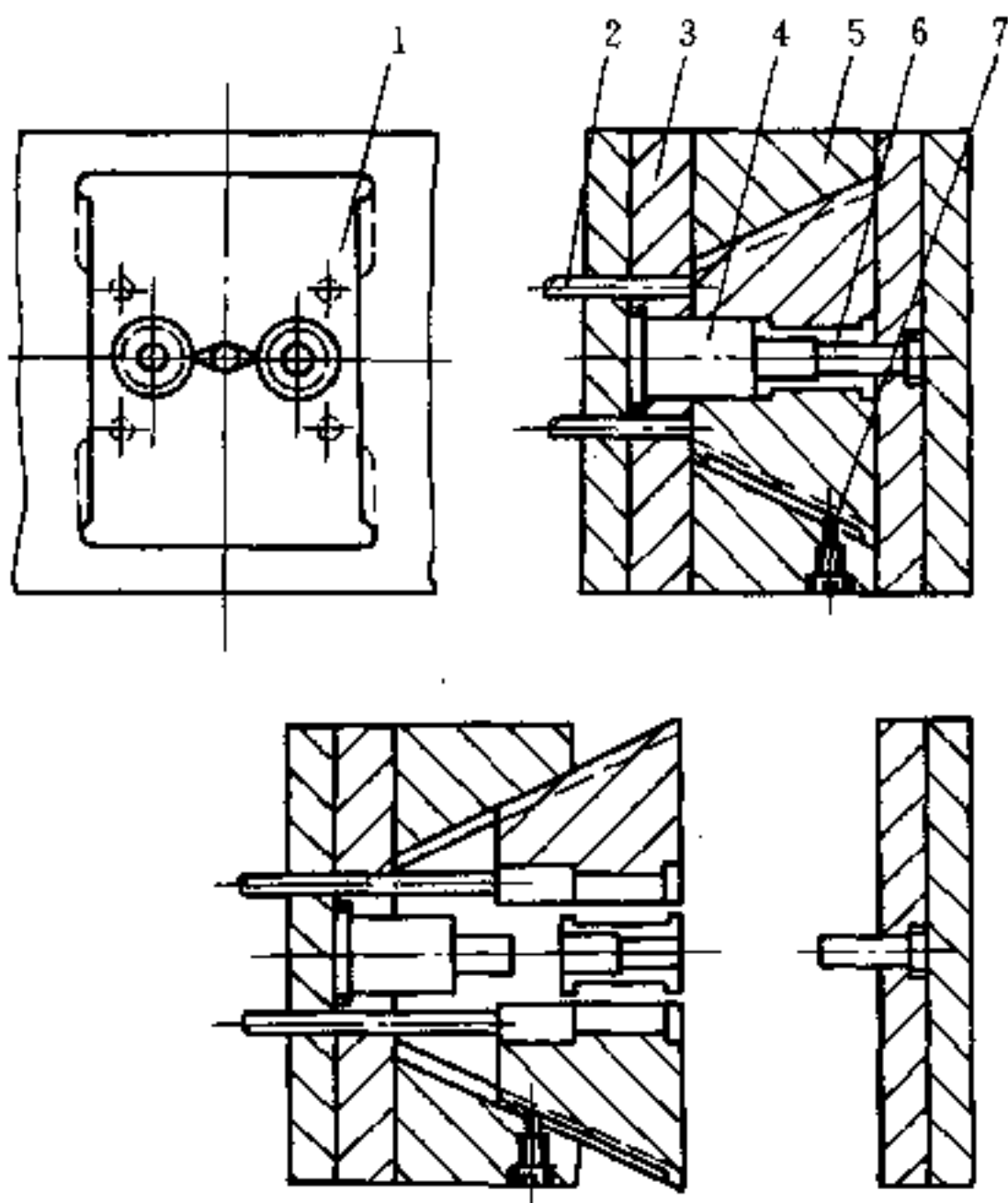


图 4.7-42 斜滑块外侧分型机构简图

1—斜滑块；2—顶杆；3—主型芯固定板；  
4—主型芯；5—模套；6—定模型芯；7—限位螺钉。

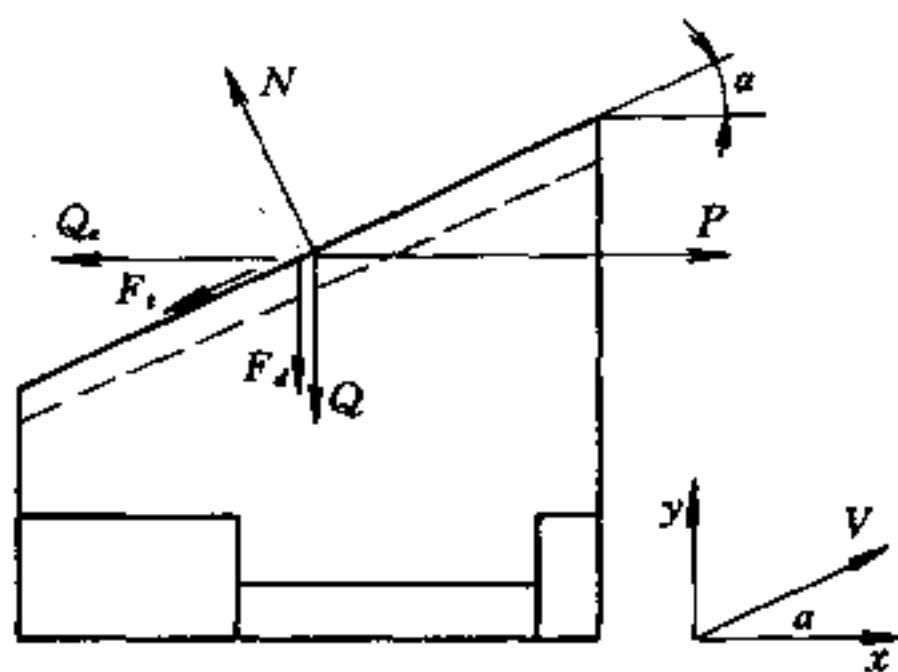


图 4.7-43 斜滑块的受力分析

型芯的脱模力  $Q_e$  和侧向分型抽拔力。在二瓣分型时，图示  $Q_e$  应为整个塑件孔脱模力的一半；其  $Q$  按式 (4.6-31) 侧凹抽拔力计算。导滑槽与滑块导轨间存在正压力  $N$  和摩擦阻力  $F_f$ 。顶杆和滑块之间存在摩擦力  $F_d$ 。滑块导滑倾角为  $\alpha$  时，可作下述力分析。

$$\sum F_y = 0$$

$$N \cos \alpha - F_t \sin \alpha - Q - F_d = 0$$

其中  $F_t = N f'$ ;  $F_d = P f'$

$f'$  是钢与钢零件间的滑动摩擦系数,  $f' = 0.08 \sim 0.12$ , 可得

$$N = \frac{Q + P f'}{\cos \alpha - f' \sin \alpha} \quad (4.7-45)$$

$$\sum F_x = 0$$

$$P - N \sin \alpha - F_t \cos \alpha - Q_e = 0$$

可得  $P = N (\sin \alpha + f' \cos \alpha) + Q_e$  (4.7-46)

将式 (4.7-45) 代入式 (4.7-46), 可近似得到顶出力  $P$ , 与脱模力  $Q_e$  及抽拔力  $Q$  的关系

$$P \approx \frac{(\sin \alpha + f' \cos \alpha)}{(\cos \alpha - f' \sin \alpha)} Q + Q_e = KQ + Q_e \quad (4.7-47)$$

设  $f' = 0.1$ , 在  $\alpha = 12^\circ$  时系数  $K = 0.319$ ; 在  $\alpha = 40^\circ$  时系数  $K = 1.025$ 。由此可知, 当  $\alpha > 40^\circ$ ,  $K > 1$ , 脱模机构承受过大顶出力; 摩擦力  $F_t$  和  $F_d$  过大, 摩擦表面磨损严重。当  $\alpha < 12^\circ$ , 接近斜面的自锁角, 侧抽距过小。故  $12^\circ < \alpha < 40^\circ$ , 常用  $20^\circ$  左右。

## 二、设计要点

### 1. 导滑槽设计

模套上的导滑槽常用 T 型, 见图 4.7-44 (a) 和 (b)。前者是整体式, 因热处理困难适用于小批量生产小型模具。后者为镶拼式, 各装配件分别淬硬磨削, 精度和耐磨性好。图 4.7-44 (c) 是在斜滑块上开斜槽导滑, 以模套上螺销为支点, 结构简单, 但螺销易磨损。图 4.7-44 (d) 是用淬硬圆导柱拼成导滑槽。应用图 4.7-44 (c) 和 (d) 的导滑槽设计时, 斜槽和圆导柱的倾角要小于模套斜面的斜角。图 4.7-44 (e) 为四个斜滑块组合的分型, 用锥槽导向其结构紧凑。不过众多斜滑块组合时, 应考虑使塑件上少留飞边痕迹。图 4.7-44 (f) 是用型芯拼块为滑块导向, 对圆筒塑件内孔的局部成型或抽芯。

斜滑块一般为整体淬火钢, 和模套拼合在一起加工。精度易保证。滑块推出模套的高度, 立式模具不超过其高度  $1/2$ ; 卧式模具不大于斜滑块高度  $1/3$ 。用于卧式模具时, 斜滑块上须开长槽, 模套上有螺销定距止动, 如图 4.7-41 所示。必要时可加长斜滑块导向部分的导轨长度, 见图 4.7-45 (b)。

### 2. 斜滑块推出

在斜滑块侧向抽拔距较大时, 应避免滑块移出顶杆的推顶位置。图 4.7-45 所示有两种防止滑脱的方法: 增加一块小推板; 用矩形推块替代顶杆。这两种结构也避免了各滑块受到的顶杆推力不均匀的现象。

### 3. 主型芯导向

若主型芯设置在定模或主型芯高度不足时, 如图 4.7-46 所示, 将会使塑件粘附于某个斜滑块上。

### 4. 斜滑块止动

倘若塑件对定模型芯包紧力大于对动模型芯的包紧力, 在开模瞬时会导致制品和斜滑块一起不待顶杆作用就被定模带出模套。将会引起塑件损坏或滞留在定模而无法脱

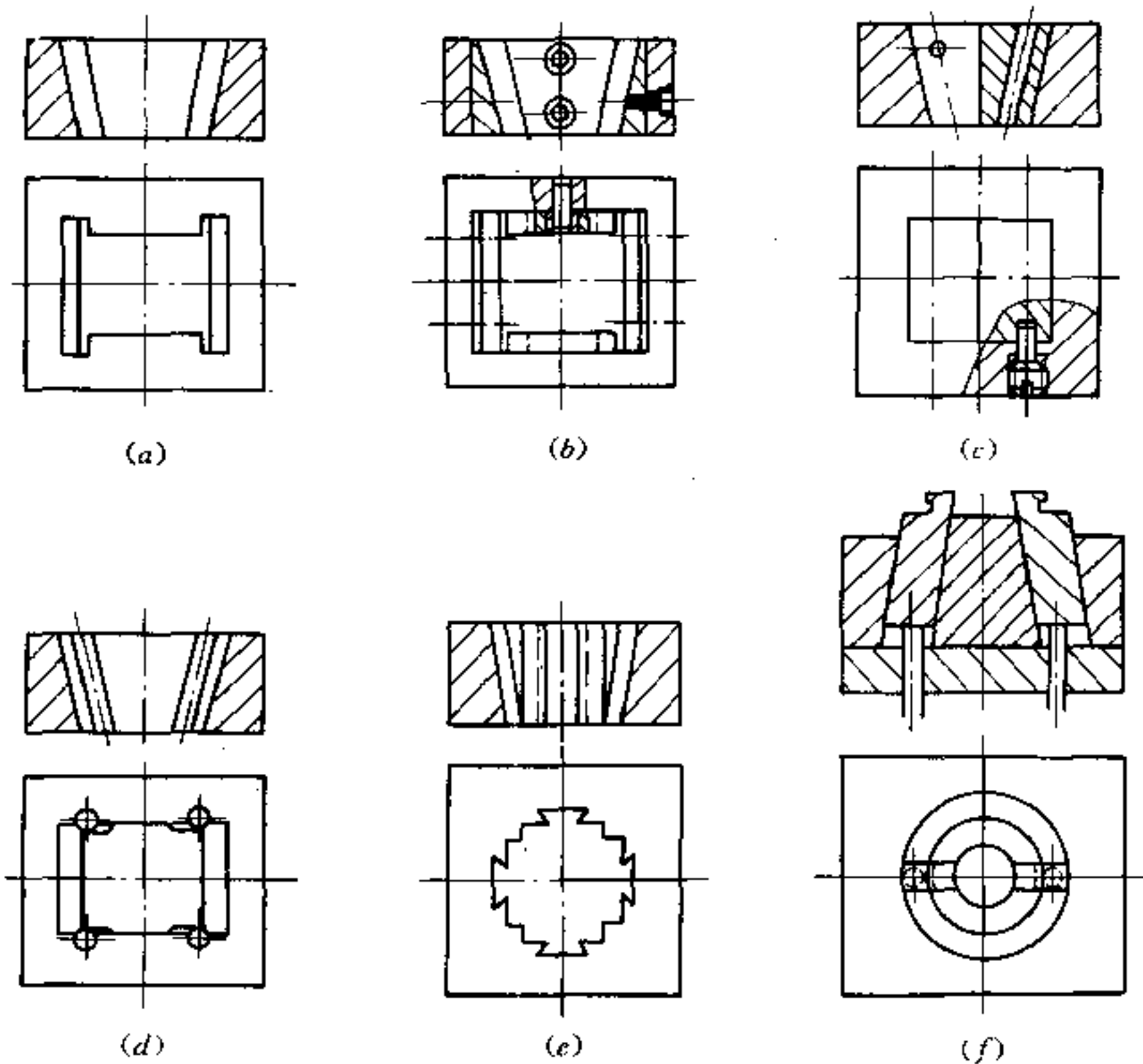


图 4.7-44 模套上的导滑槽结构

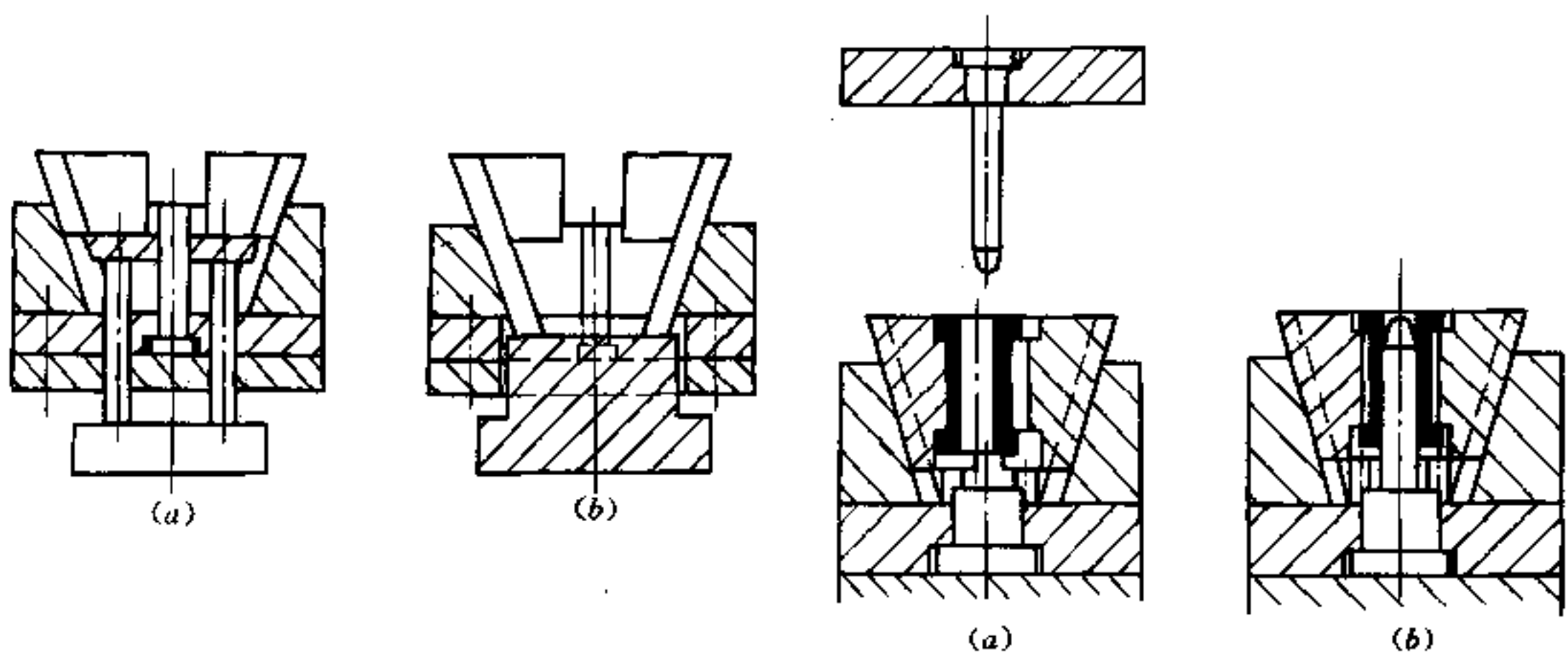


图 4.7-45 斜滑块推出的形式

图 4.7-46 主型芯的导向作用

模。为此，可设置弹簧止动销于定模，如图 4.7-47 (a) 所示。也可采用图 4.7-47 (b) 所示的止动导销。刚开模时由于导销的约束，使斜滑块不能侧向运动而呆滞在模套内。

### 5. 斜滑块楔紧

为使斜滑块间的侧分型面楔紧密合。如图 4.7-48 (a) 所示，在滑块底面留 0.2~0.5mm 间隙。又在滑块外端面与模套表面间也留 0.2~1.0mm 间隙。这样动模与定模

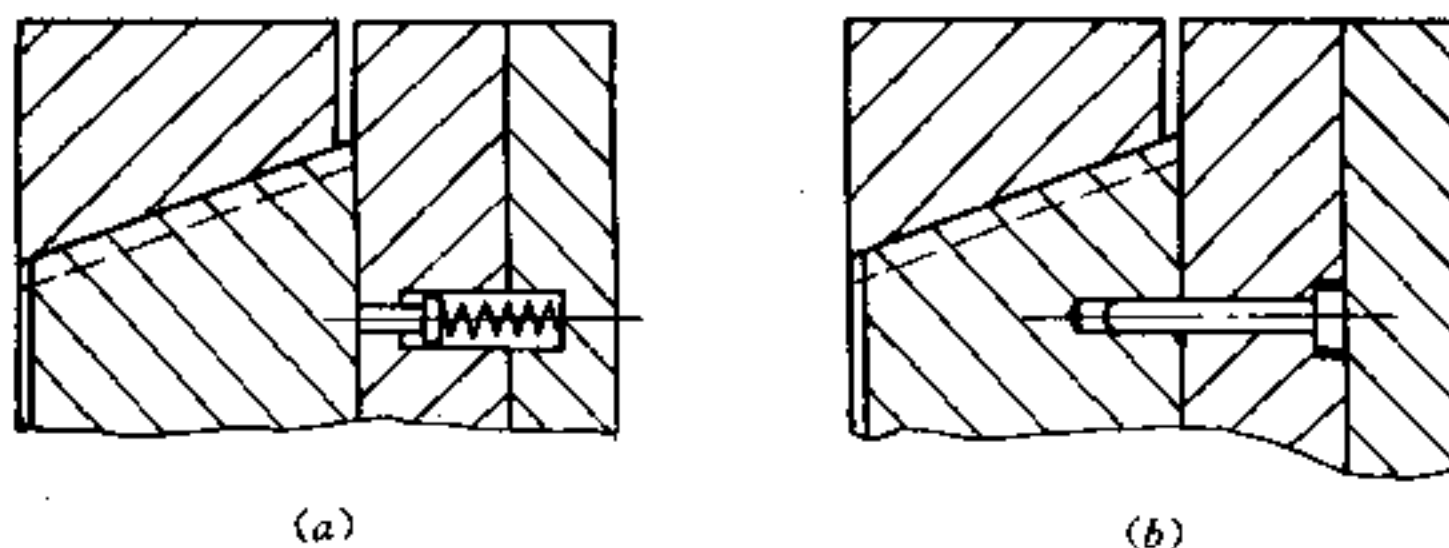


图 4.7-47 斜滑块的止动措施

间的锁模力经侧向分型面传递。为此，如图 4.7-48 (b) 那样斜滑块底面作分型面就很少采用。而且密闭和滑块底面调整困难。因此，大多应用图 4.7-48 (c) 结构，主型芯与斜滑块间成型面应高于滑块底面。

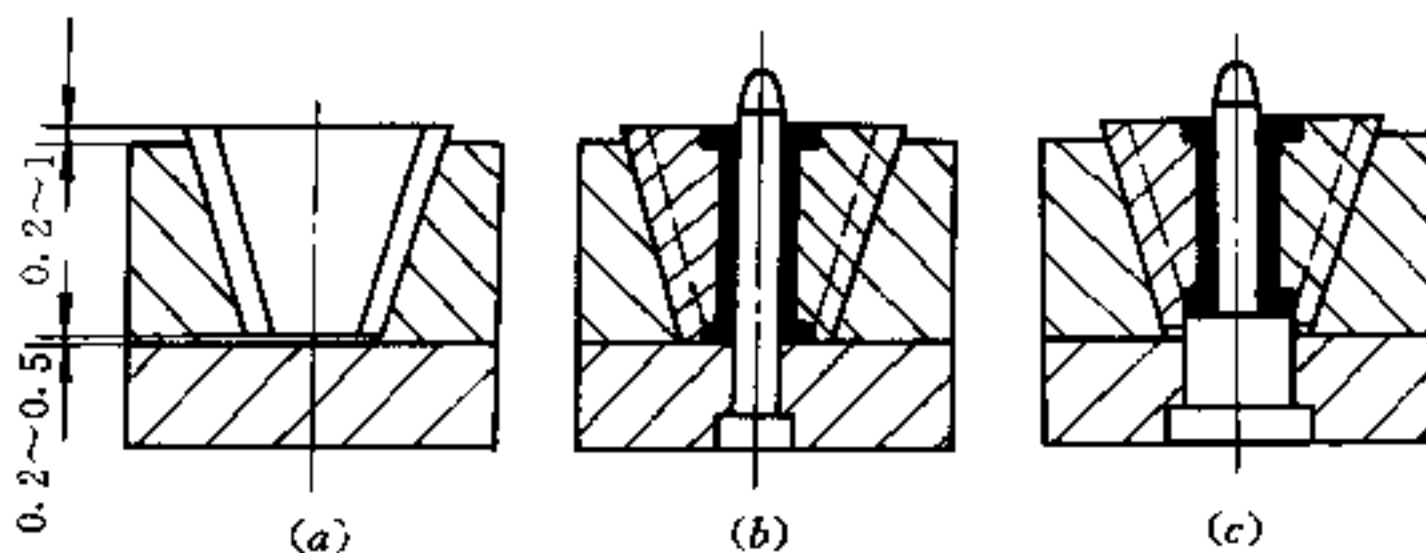


图 4.7-48 斜滑块的楔紧

#### 4.7.5 齿轮齿条侧抽机构

该机构将开模或顶出的直线位移，用齿轮传动获得任意斜向或圆弧的侧抽运动。可利用齿轮传动比来增大抽拔距，抽拔力也较大。尽管机构复杂，在许多特殊场合特别在螺纹脱模机构中获得应用。设计时须保证塑件在脱模顶出前，齿轮传动就应完成侧抽运动。下面用三个典型例子作具体说明。

图 4.7-49 所示机构是利用开模力，由固定在定模上齿条驱动小齿轮，再传动带有型芯的齿条实现斜向侧抽。开模至后期阶段，定模上齿条与动模中小齿轮脱开。为保证合模中斜向型芯的准确复位，对与小齿轮相连的圆柱面设有弹簧销定位。

图 4.7-50 的机构是利用脱模顶出力，由固定在顶出板上齿条驱动小齿轮，再传动带有齿条的斜向型芯实现侧抽。在开模后期阶段，先推动齿条顶出板完成型芯抽拔后，再推动装顶杆的脱模顶出板。由于齿轮和齿条均在动模没有脱离啮合，不需定位装置。

图 4.7-51 是利用内齿轮转动作圆弧抽芯机构，塑件为弯柄的电话筒。开模时，固定在定模上齿条 1 驱动动模边的直齿轮 2。经过互成直角的一对螺旋齿轮转向后，由直齿轮 3 传动内齿轮和弧形型芯 4 作圆周抽芯运动。与此同时，固装在定模上的斜导柱驱使一对滑块 5 侧抽。开模后期，塑件由顶杆顶出。齿轮传动比使这种机构的抽芯距可以很大。

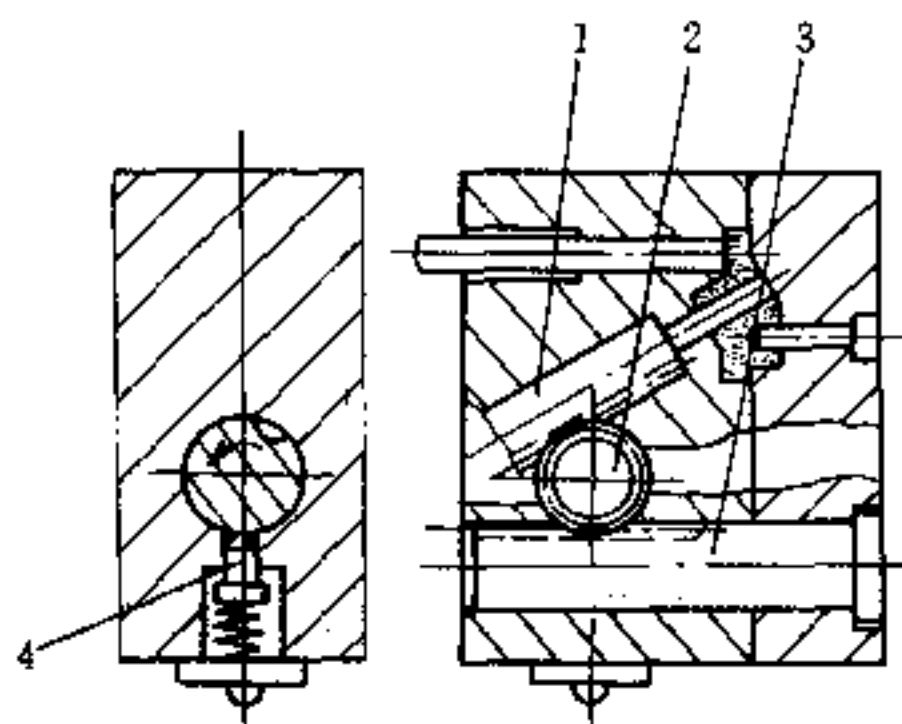


图 4.7-49 传动齿条固定在定模的斜向抽芯机构

1—带有齿条的斜向型芯；2—小齿轮；  
3—齿条；4—弹簧销。

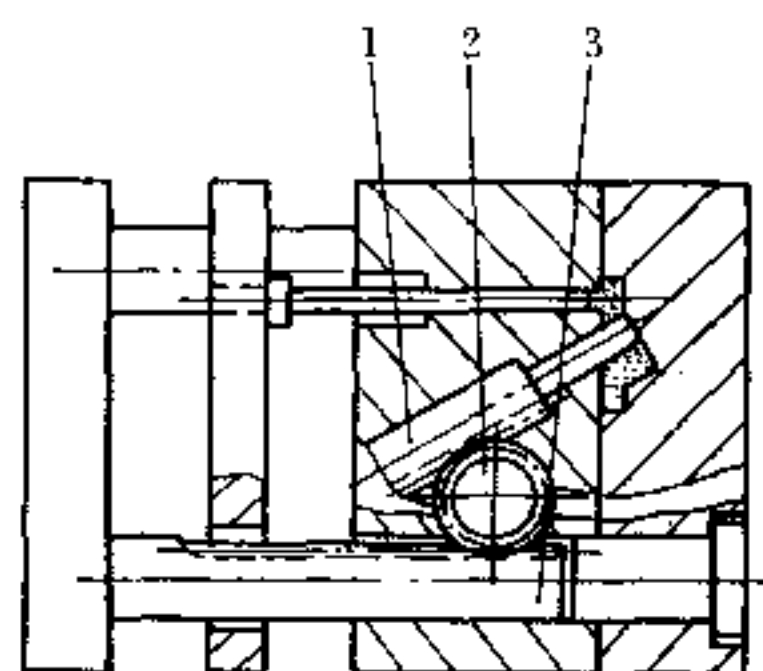


图 4.7-50 传动齿条固定在顶出板的斜向抽芯机构

1—带有齿条的斜向型芯；  
2—小齿轮；3—齿条。

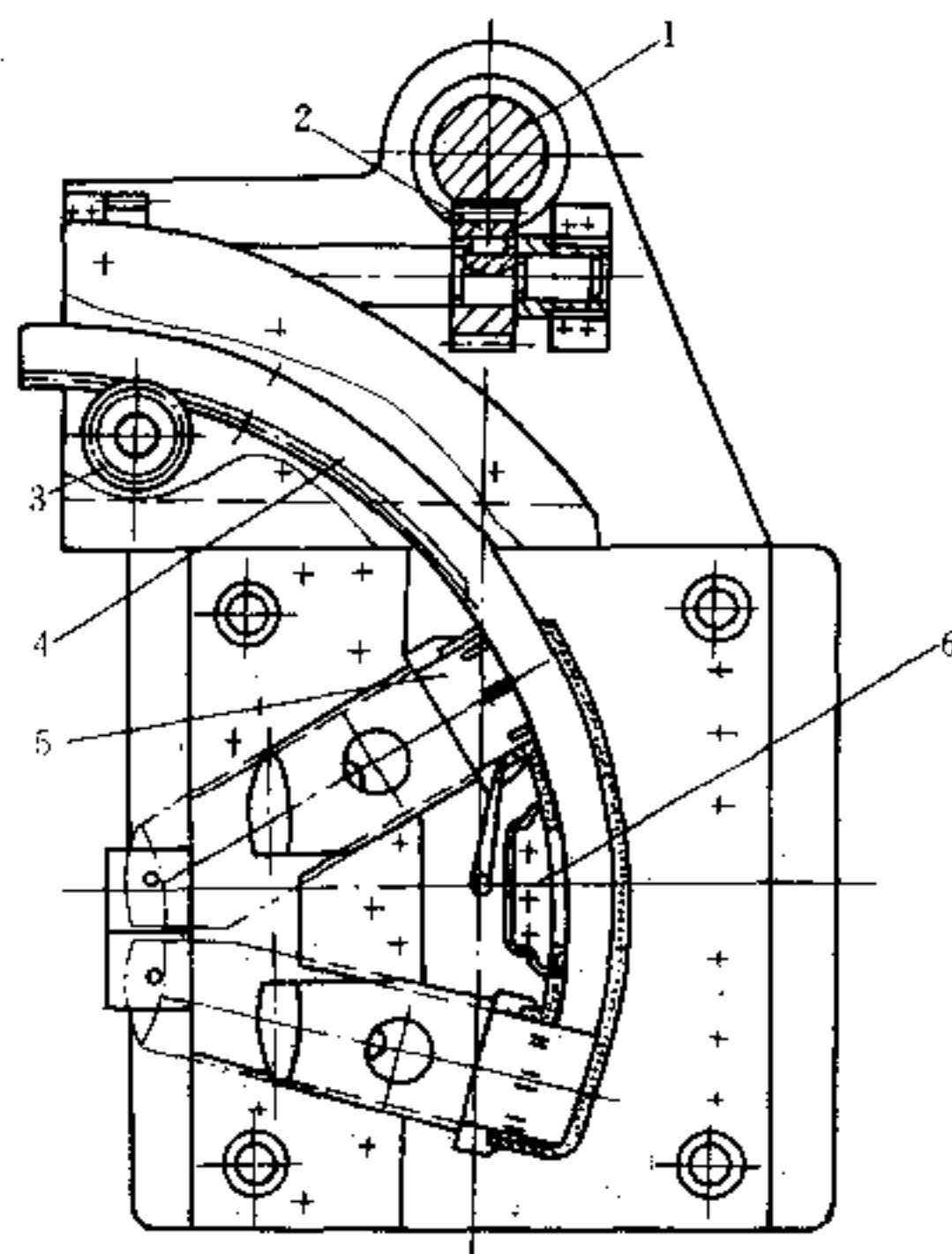


图 4.7-51 内齿轮传动的弯型芯圆弧抽芯机构

1—固装在定模的齿条；2—齿轮；3—齿轮；  
4—内齿轮和弯型芯；5—侧滑块；6—型芯。

## 4.8 螺纹塑件脱模机构设计

成型螺纹制品的注射模，可以是非旋转的简单模具。其结构与外侧分型、内侧局部成型有类同之处。也可以由模具外动力旋转脱模；更多的是利用开模力的机动旋转脱模。该种自动脱螺纹机构较为复杂，尤其是一模多腔的旋转自动脱模。合理确定模具结



构方案的前提是塑件上螺纹的类型：外螺纹还是内螺纹，螺牙的形状及参数，螺距、直径和头数等；还有螺纹是否间断，同一制品上是否有多种螺纹。要考虑对分型飞边要求，螺牙强度，螺纹精度，生产批量和效率。

### 4.8.1 非旋转脱模

#### 一、强制脱螺纹

实现强制脱螺纹对象是聚烯烃类柔性塑料；并且是内螺纹。螺牙大多设计成半圆形的粗牙。螺牙高度  $h$  小于螺纹外径  $d$  的 2.5%。制品必须要有足够厚度和吸收弹性变形能。如图 4.8-1 所示，通常用推板强制推顶，塑件被推顶的应是平面。型芯外圆和推板孔应有  $3^\circ \sim 5^\circ$  斜度，单面间隙最大为 0.05mm。

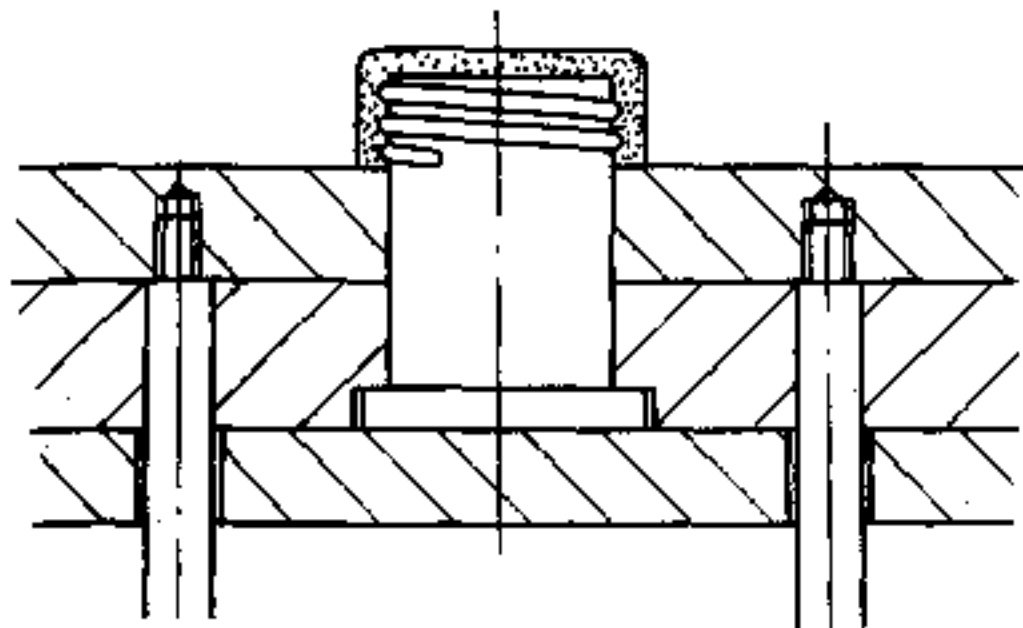


图 4.8-1 强制脱螺纹结构

#### 二、外螺纹侧向分型脱模

一般也用于柔性塑料制品，并允许外螺纹的轴线方向有飞边。如图 4.8-2 所示，用斜导柱侧抽分型；也可用斜滑块侧抽分型。侧滑块磨损后，飞边扩大会影响螺纹旋合。倘若采用图 4.8-2 (b) 所示的间断外螺纹，出现在小平面上的飞边不影响旋合。

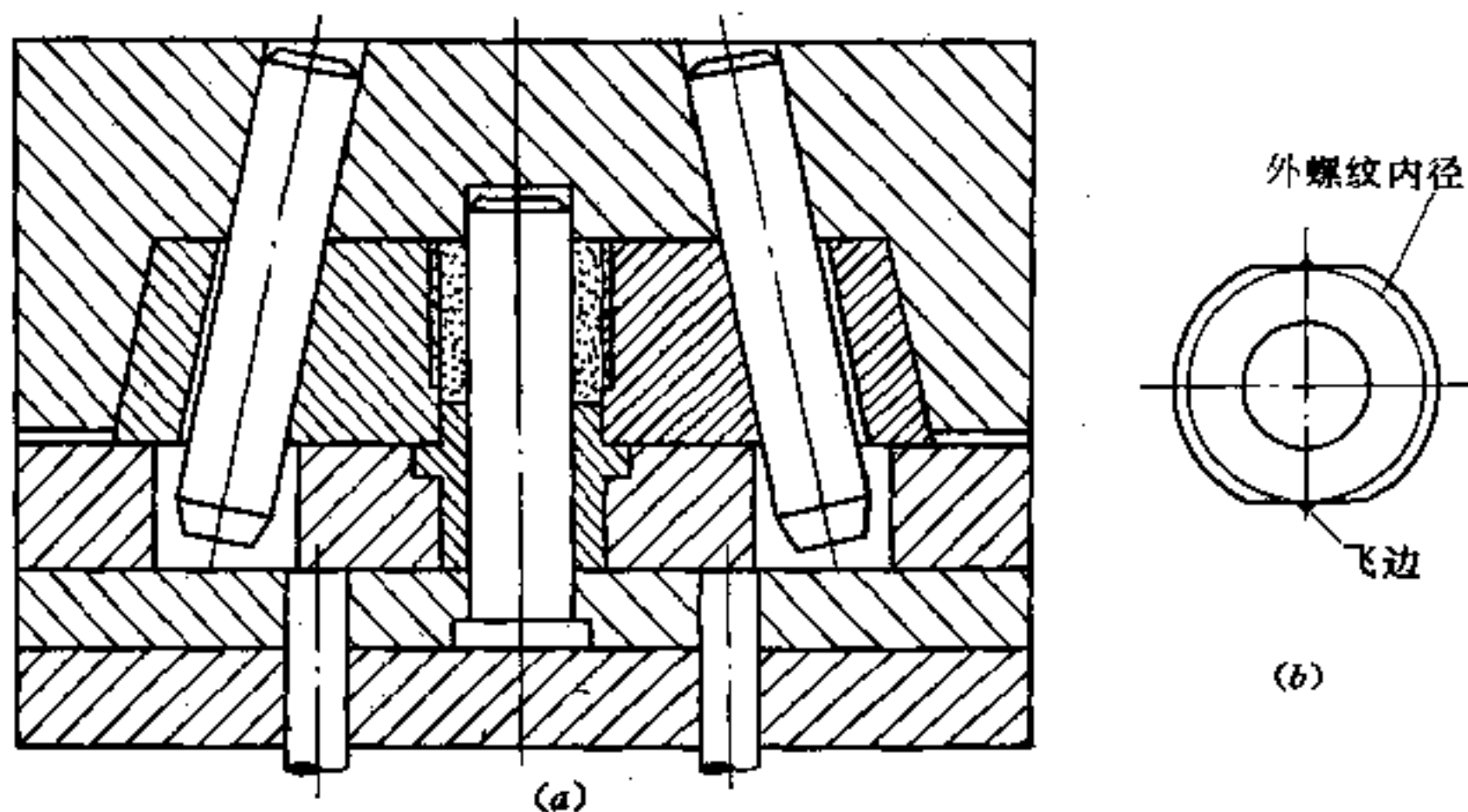


图 4.8-2 外螺纹侧向分型脱模

#### 三、间断内螺纹的侧抽脱模

如图 4.8-3 所示，塑件的内螺纹在圆周面上为三个局部段，对应模具上制成三个内侧抽的滑块。图示模具在角式注射机上成型。在动、定模分型后，动模上两块联接的推件板在推出塑件的同时，又迫使三块成型螺纹滑块沿 T 形槽移出，产生向心的收拢运动。这些滑块最终不脱离主型芯。该主型芯要有足够大的直径，以容纳螺纹滑块或滑

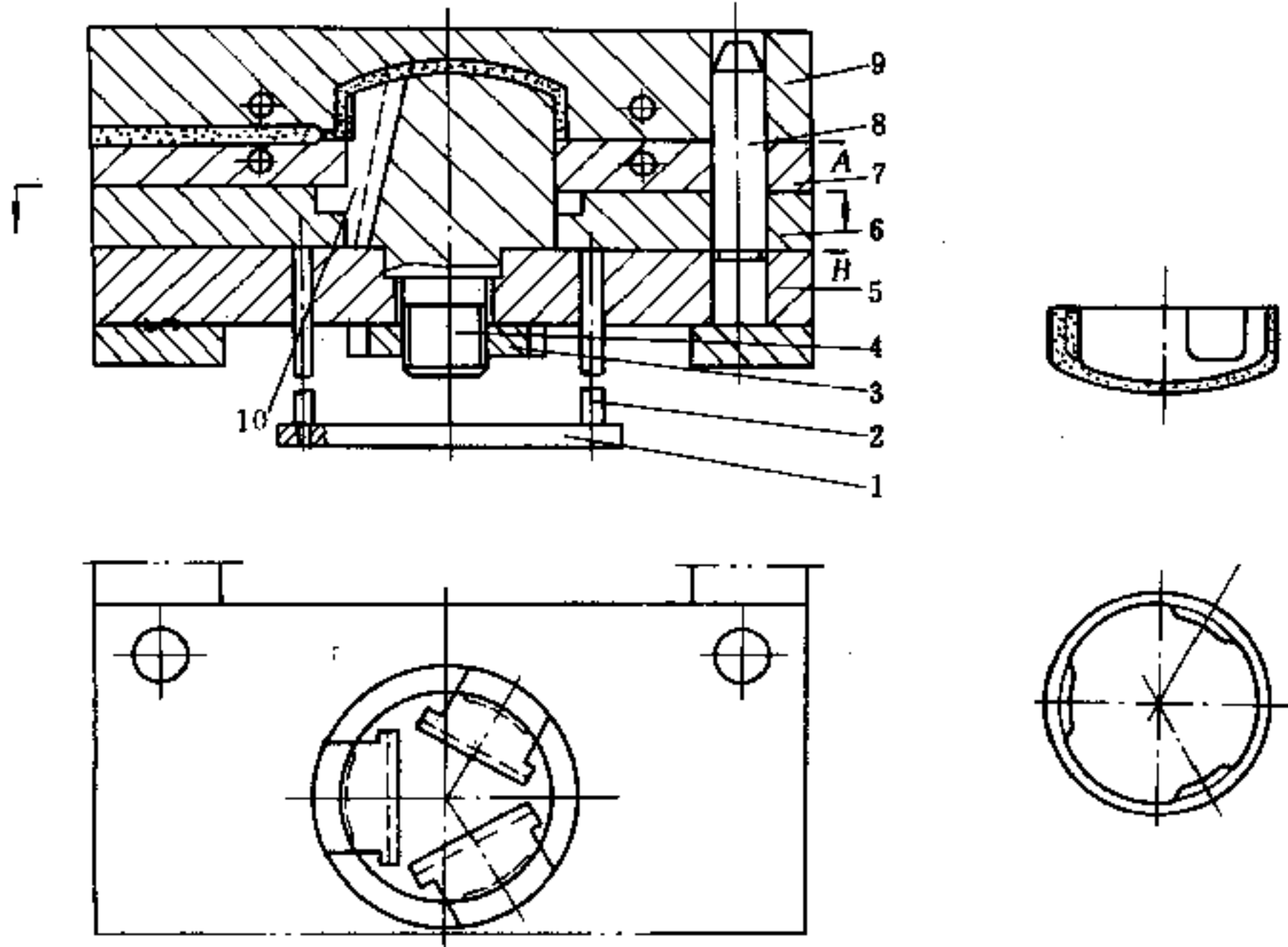


图 4.8-3 间断内螺纹的侧抽脱模

1—顶出板；2—顶杆；3—并紧螺母；4—主型芯；5—动模垫板；  
6—推件板；7—推件板；8—导柱；9—定模板；10—螺纹滑块。

杆。

#### 四、径向张缩螺纹型芯

对连续内螺纹注塑有两种方法。一种是用径向张缩的螺纹型芯钢套，如图 4.8-4 所

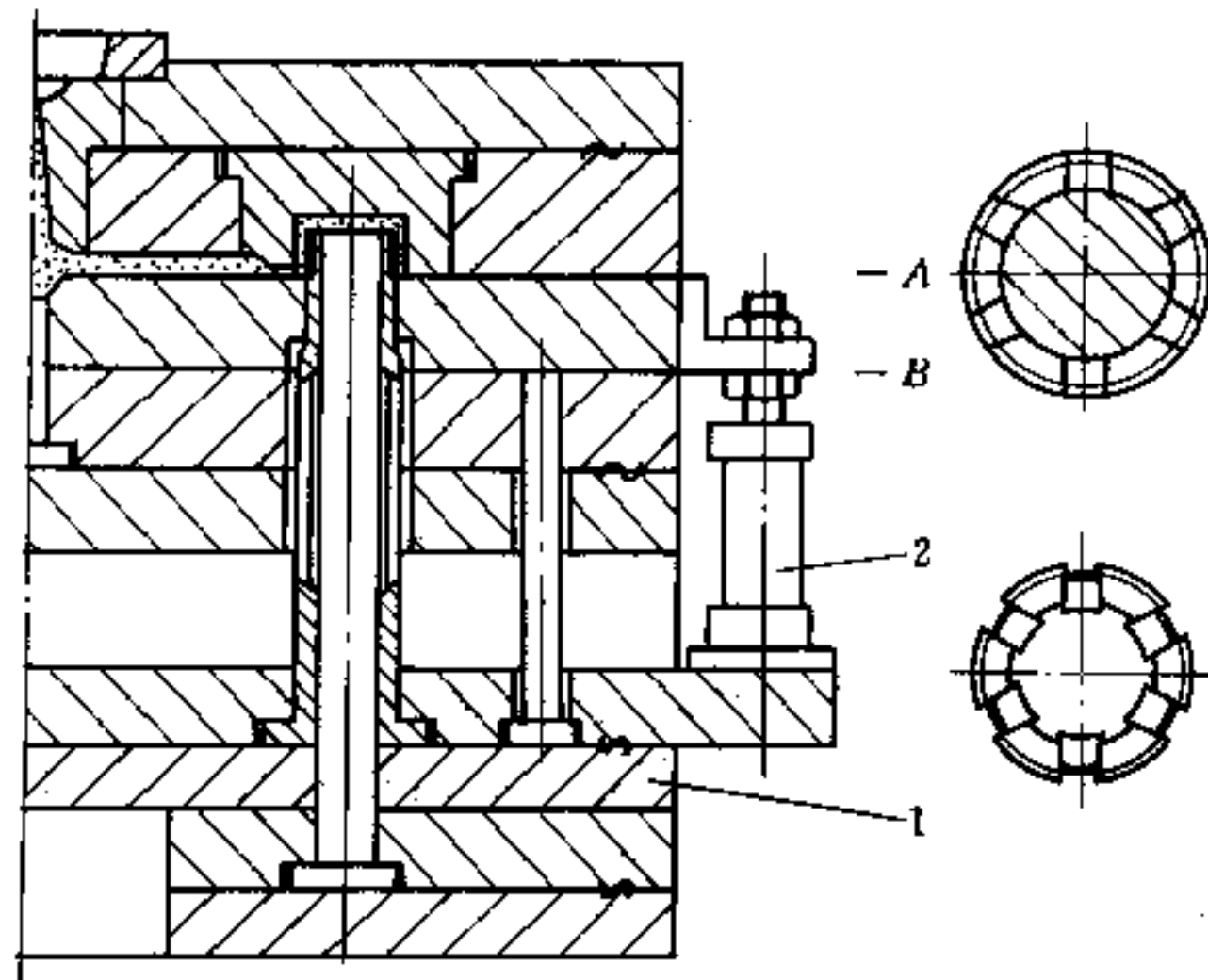


图 4.8-4 径向张缩的螺纹型芯

1—一级顶出板；2—二级气缸顶出。

示。螺纹钢套的成型部分被切成纵向条片，富有弹性而能自行收缩。当支承心棒充塞时，张开的钢套成型完整的内螺纹。心棒退出后，螺纹钢套收缩，而后用推板顶出塑件

及浇注系统。另一种是用硅橡胶制成螺纹型芯套。在注射时支承心棒以塞橡胶套的内孔。成型内螺纹后退出支承棒。待硅橡胶芯套收缩后用推板顶出塑件。这两种方法均需设计成二级脱模机构。将支承棒固定在动模底座上；螺纹芯套固装在顶出板上。

### 4.8.2 模外动力旋转脱模

生产中常用模具外的人力或电机-减速器拖动，旋转螺纹型芯或型环实现螺纹塑件的脱模。但是螺纹塑件不能跟随成型零件一起转动，一定要有止转措施。为此，在螺纹塑件的内表面，或外表面，或者在端面上设计凹凸花纹，如图 4.8-5 所示。

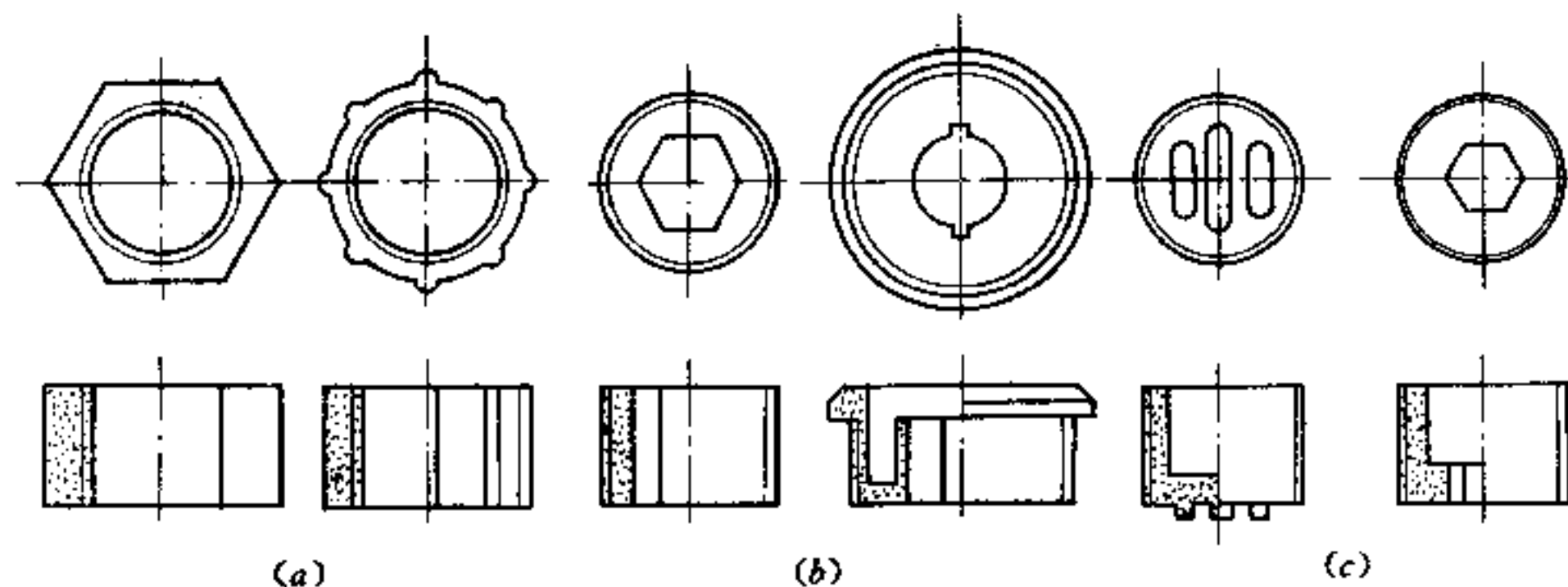


图 4.8-5 螺纹塑件上的止转花纹  
(a) 外表面；(b) 内表面；(c) 端面。

#### 一、手工旋退脱模

在制品生产批量较少时可简化模具，用人工旋转并退出螺纹型芯或型环。

##### 1. 模具内旋退

见图 4.8-6 上的螺纹型芯，须在开模前人工旋退。其传动螺纹必须与成型螺纹的旋向相同且螺距相等。图 4.8-7 所示是角式注塑模。当人工经手柄摇动斜齿轮时，与它啮合的斜齿轮通过键的作用带动螺纹型芯旋转。螺纹型芯在顶板中后退，从塑件螺纹里脱出。当螺纹型芯台肩退至 A 面时，再继续摇动手柄。螺纹型芯的反作用迫使顶板移动，顶脱塑件直至被定距螺钉限位。

##### 2. 模具外旋退

如图 4.8-8 所示，螺纹型芯或型环制成可装卸的成型零件。开模后它们随塑件一起脱模取出。在模具外用手工或专门夹具旋退塑件。螺纹型芯的旋退力矩因收缩包紧而较大。一般备有数个供循环使用，必要时还要预热。活动成型件装入模内必须有可靠定位。此种方法比模具内旋退，生产效率要高些。

#### 二、动力旋退脱模

采用电机动力旋退塑件螺纹，减小了劳动强度提高效率，适用大批量生产。这在角式注射机上实现更为方便。角式注射机上的动模板的开闭是由螺杆传动的。它是带有左右旋螺纹的螺杆，在其一端有个方孔。如图 4.8-9 所示，模具上主动齿轮的一端插入其中。开模时，该螺杆在电机驱动的带轮传动下，经螺母将动模拖动后退。同时又经模内齿轮传动，驱使各螺纹型芯转动。由于定模型腔板与定模板之间的弹簧作用，定模边型

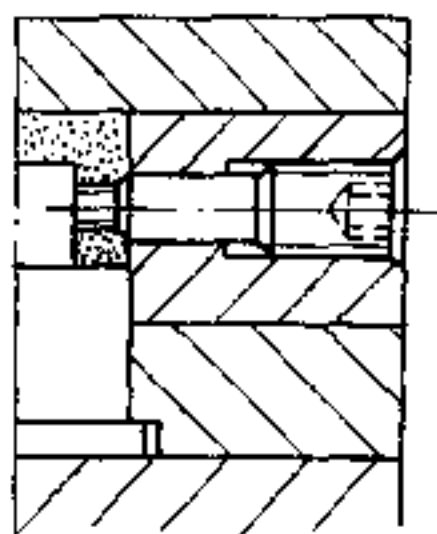


图 4.8-6 模具内手工  
旋退螺纹型芯

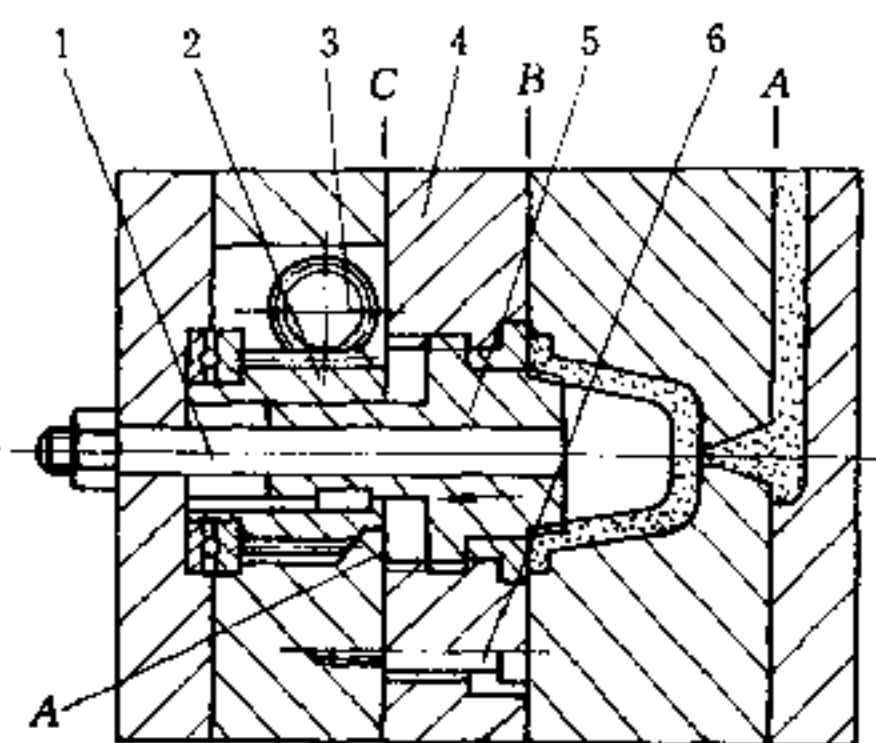


图 4.8-7 手工旋退模内螺纹型芯的传动机构  
1—型芯；2—主动斜齿轮；3—斜齿轮套；  
4—顶板；4—螺纹型芯；6—定距螺钉。

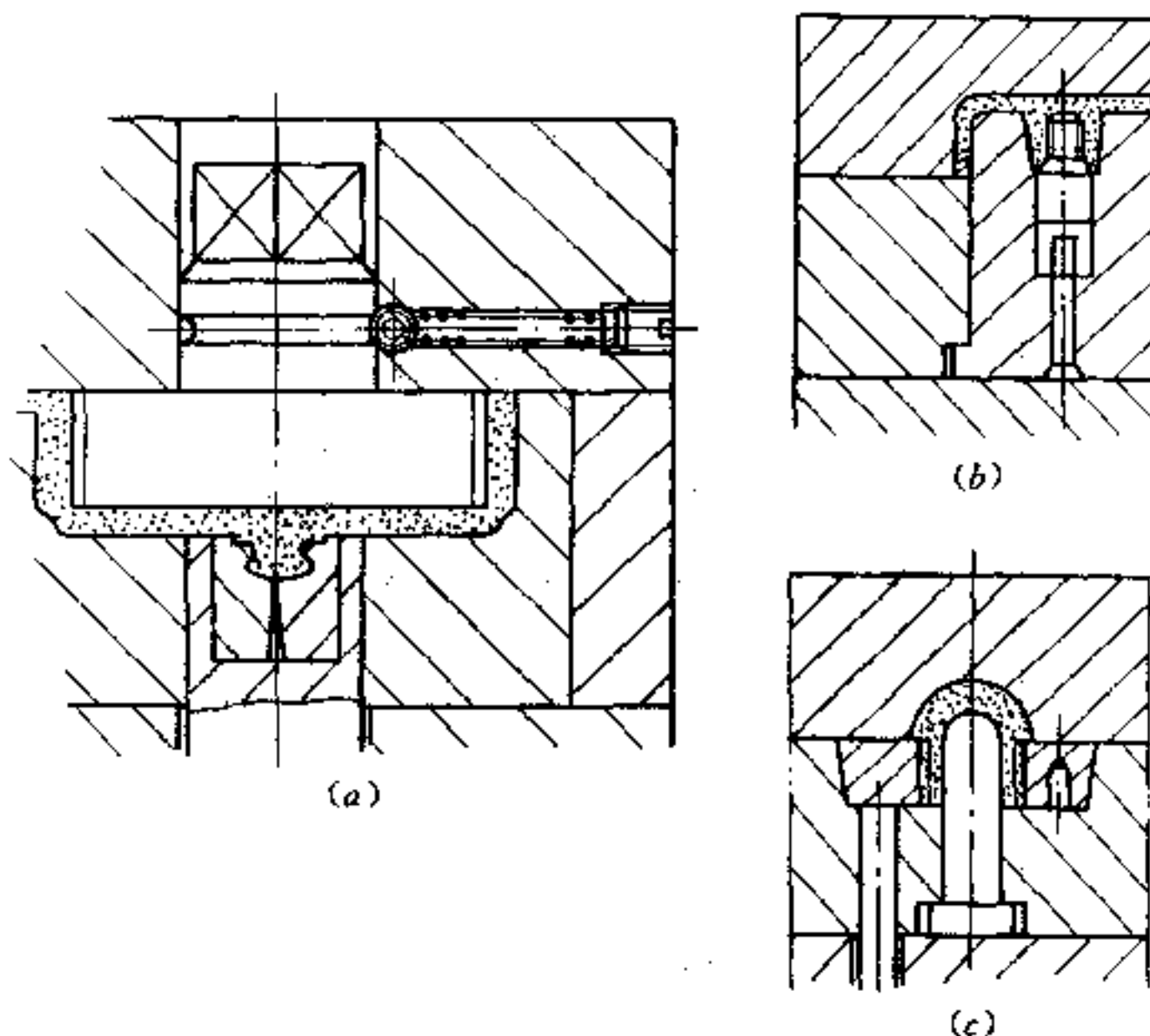


图 4.8-8 模具外旋退的活动螺纹型芯和型环  
(a) 活动螺纹型芯并有瓣合块；(b) 活动螺纹型芯；(c) 活动螺纹型环。

腔跟随动模移动而止转了塑件。待定距螺钉止动定模型腔板时，螺纹型芯上恰好还有塑件的一个螺距没有脱出，在继续分型中将制品从型腔中带出。

图 4.8-10 为一模六腔的电机拖动的脱螺纹机构。开模后，蜗杆传动蜗轮再经直齿轮带动各螺纹型芯转动。各塑件端面上有四个止转针销。它们在弹簧力作用下随托板一起移动，直至型芯上螺纹退完为止。合模时回程杆将托板和针销推回原处。由于端面止转有跟随作用，无需顶出机构。

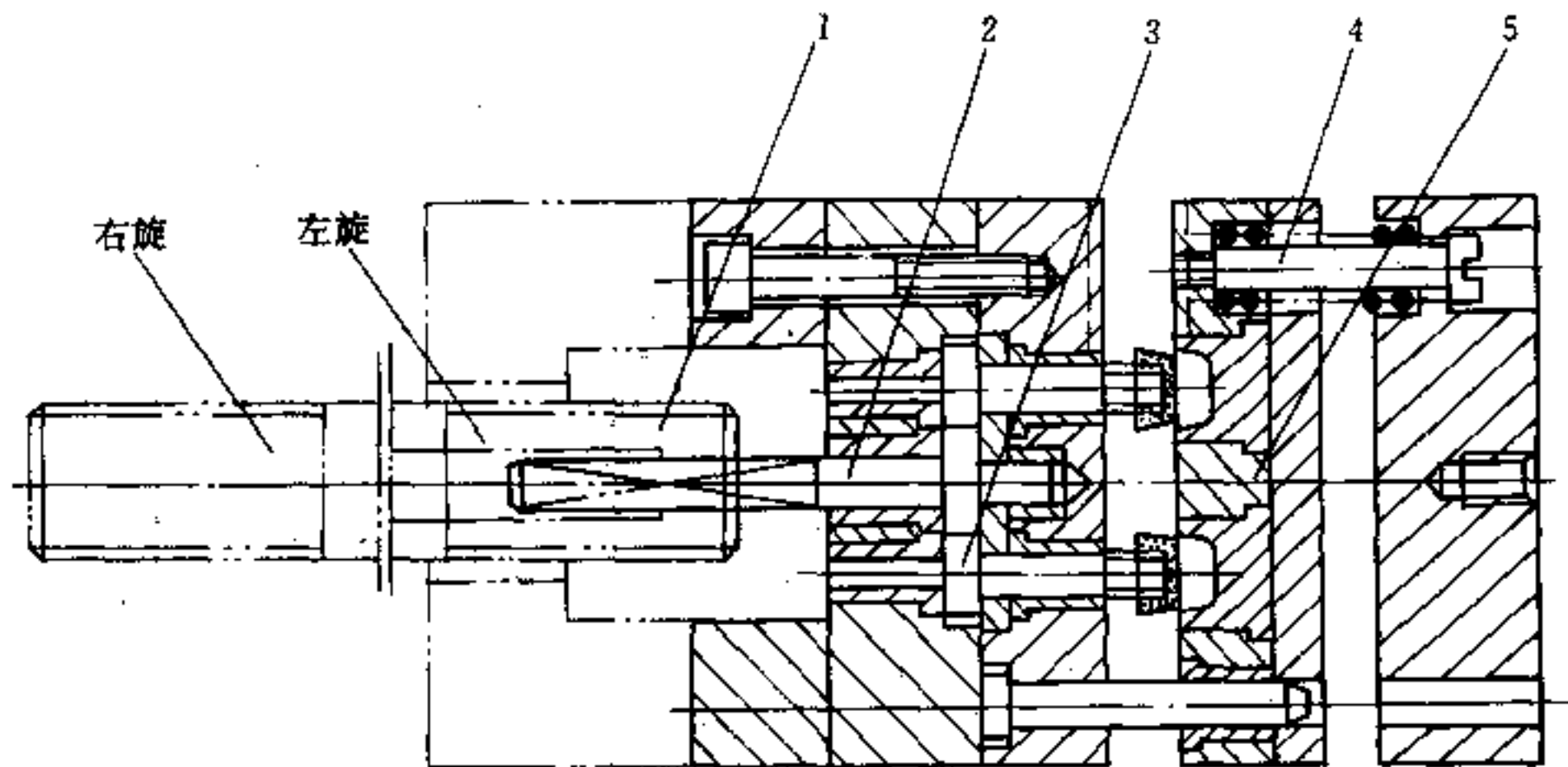


图 4.8-9 在角式注射机上旋退螺纹的模具

- 1—注射机上锁模螺杆；2—主动齿轮；  
3—螺纹型芯；4—限位螺钉；5—定模型腔板。

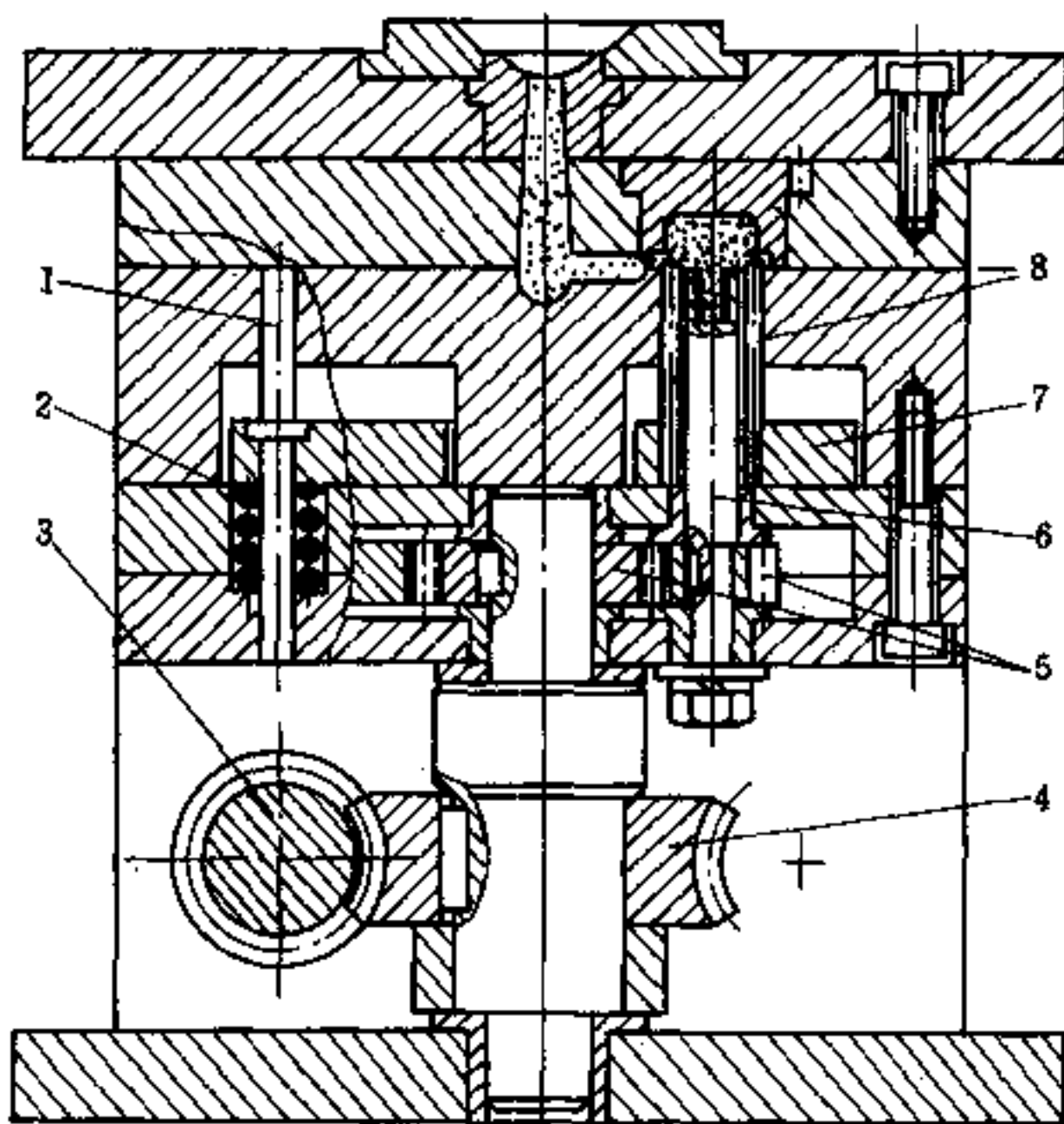


图 4.8-10 蜗轮蜗杆传动的旋退螺纹模具

- 1—回程杆；2—弹簧；3—蜗杆；4—蜗轮；  
5—直齿轮；6—螺纹型环；7—托板；8—止转针销。

### 4.8.3 开模力驱动旋转脱模

利用开模力和开模方向的直线运动实现螺纹塑件的旋退，模内结构虽然复杂，但效率高，并可实现自动化生产，应用较普遍。

此类脱模都有一根固定在定模的齿条导柱。如果成型螺纹的旋转轴线垂直开模方

向，用有齿轮的螺纹型芯就可实现，如图 4.8-11 所示。该成型螺纹与另一端的传动螺纹的螺距和旋向相同。型芯轴上齿轮的宽度应保证在其进退的工作行程中，保持与齿条啮合。套筒螺母用来调节螺纹型芯的位置。

如果成型螺纹的轴线与开模方向一致，则要在齿轮齿条传动后，再用圆锥齿轮或螺旋斜齿轮来改变方向。此种模具一般一模多件，由行星齿轮机构驱动各螺纹型芯或型环转动。例如图 4.8-12 所示，它是用圆锥齿轮传动模具中央有螺纹牙的拉料杆。各成型螺纹的旋向与拉料杆上螺纹旋向相反。开模后主流道凝料被螺牙拉至动模上。开模中，由于浇道凝料的止转，各螺纹塑件和流道凝料都被旋退。

此种单分型面的螺纹脱模机构，其旋转机构和止转措施设计在动模一侧，止转花纹长度等于成型螺纹高度。若止转花纹长度大于成型螺纹高度，则有加设顶出机构的必要。反之，若止转花纹长度小于成型螺纹高度，则止转零件必须跟随塑件运动直到旋完螺纹。

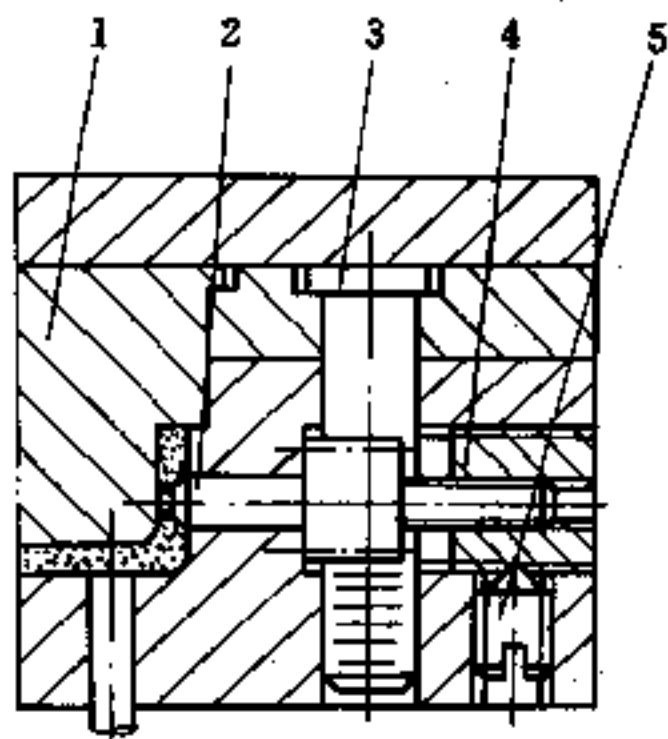


图 4.8-11 成型侧向螺纹的齿轮旋退机构

1—凸模；2—螺纹型芯齿轮轴；  
3—齿条导柱；4—套筒螺母；  
5—紧定螺钉。

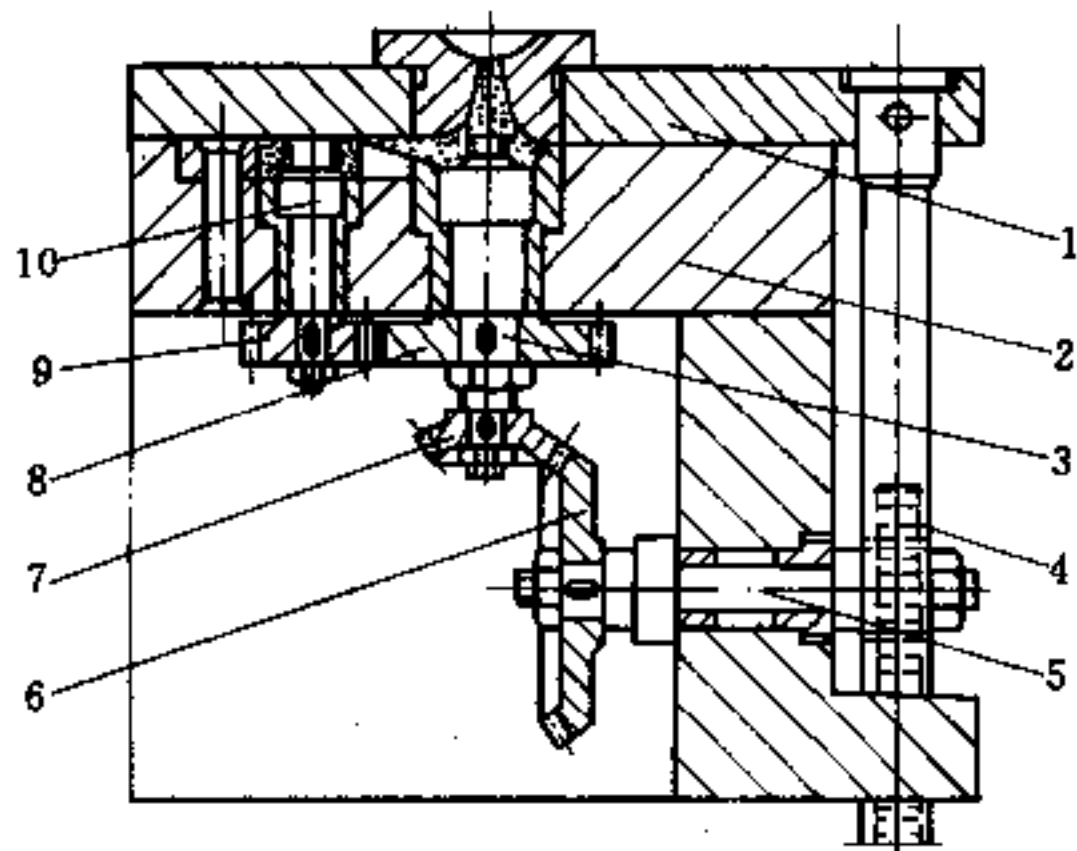


图 4.8-12 圆锥齿轮的螺纹旋退机构

1—定模板；2—动模板；3—螺纹拉料杆；  
4—齿条导柱；5—传动轴；6、7—圆锥齿轮；  
8、9—直齿轮；10—螺纹型芯。

图 4.8-13 所示是双分型面的一模四腔螺纹盖帽注塑模。由于止转措施和旋转机构分别在定模与动模两侧。定模型腔板 4 在弹簧作用下跟随动模运动，保证塑件外表面的止转作用。在定模边 A 面分型后，主流道凝料被拉下。此时经一对斜齿轮 13 和 24 将旋转运动轴线转向，带动各螺纹型芯转动。动模继续后退，在型腔板 4 被定距螺钉 17 止动时，盖帽被旋出螺纹型芯。最后，四个盖帽与浇道凝料相互牵制着浮粘在动模上。较长的齿条轴必须支承于动模垫板 15 中防止变形。此模具只需更换 16、18 和 20 成型零件可注塑同类的不同规格的制品。

#### 4.8.4 螺纹脱模力矩计算

有内螺纹的塑件要计算螺纹型芯旋出的力矩，以确定所需动力作为设计机械传动装置的依据。

如图 4.8-14 所示，塑件对螺纹型芯的总包紧力  $p_s$ ，假设作用在螺纹中径的圆柱面

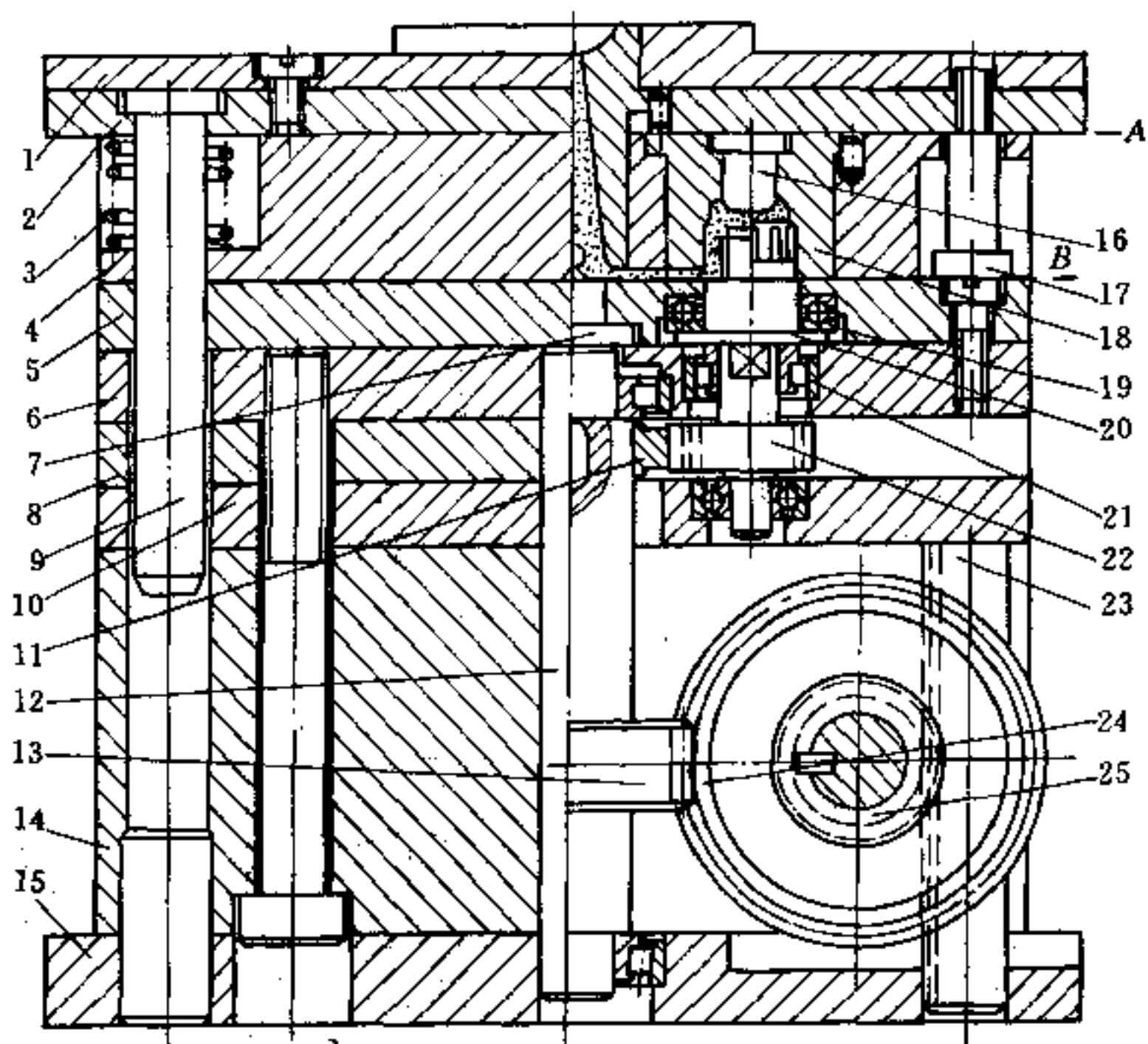


图 4.8-13 双分型面的一模四腔螺纹盖帽注射模

- 1—定模垫板；2—定模板；3—压缩弹簧；4—定模型腔板；  
 5—动模型芯固定板；6—动模板；7—拉料杆；8—垫板；9—导柱；  
 10—动模垫板；11—圆柱齿轮；12—圆柱销；13—斜齿轮；14—动模座；  
 15—动模垫板；16—型芯；17—定距螺钉；18—凹模；19—止退轴承；  
 20—螺纹型芯；21—轴承；22—圆柱齿轮；23—齿条轴；24—斜齿轮；25—直齿轮。

上。由此可得所需型芯或塑件旋转的脱模力矩

$$M = f_c p_s r_2 = f_c (p_1 + p_2) r_2 \quad (4.8-1)$$

式中， $r_2$  为螺纹中径的半径值； $f_c$  为 4.6.2 节所述塑件与钢表面间的脱模系数，可由表 4.6-1 查得。

该总包紧力由两部分组成， $p_s = p_1 + p_2$ 。其中  $p_1$  是以中径圆柱体作为内表面的厚壁或薄壁的圆筒塑件的包紧力。

当圆筒塑件壁厚  $t \leq d_2/20$ ， $d_2$  为中径。由式 (4.6-16)、式 (4.6-18) 和式 (4.6-19)，可得

$$p_1 = \frac{1.5\alpha E (T_f - T_j) t}{r_2} A_c \quad (4.8-2)$$

当圆筒壁厚  $t > d_2/20$ ，由 (4.6-29) 式可得

$$p_1 = \frac{1.25\alpha E (T_f - T_j) t}{\frac{R^2 + r_2^2}{R^2 - r_2^2} + \mu} \cdot A_c \quad (4.8-3)$$

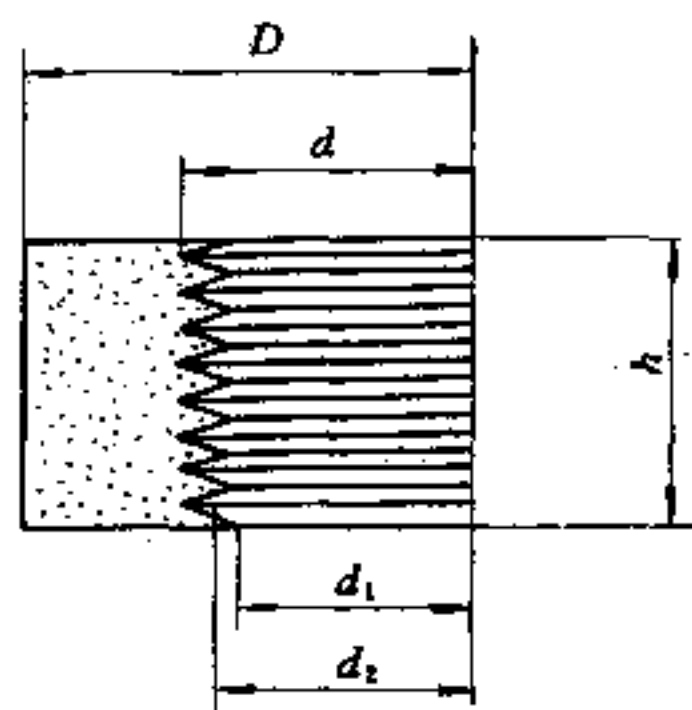


图 4.8-14 内螺纹塑件的几何尺寸

以上二式中,  $\alpha$ 、 $E$ 、 $T_f$ 、 $T_j$ 、 $\mu$  的含义见 §4.6 及表 4.6-1。R 为塑件外圆半径。包紧有效面积  $A_c = 2\pi r_2 h = \pi d_2 h$ ,  $h$  为螺纹部分长度。

$p_2$  是塑件内螺纹齿形对钢型芯牙形的轴向包紧力, 可视为具有凹槽塑件的夹紧力。由前式 (4.6-30) 和式 (4.6-31) 得

$$p_2 = 1.5\alpha E (T_f - T_j) (d^2 - d_1^2) \quad (4.8-4)$$

式中,  $d$  为螺纹外径,  $d_1$  是螺纹内径。相邻螺纹牙齿间的夹紧力会相互抵消。螺纹升角影响很小, 而牙形一般是对称的。

对于外螺纹塑件的脱模力矩, 建议  $M = f_c \bar{p} r_2 = f_c p_2 r_2$ 。

[例] 某 PA1010 农药喷雾器筒, 其端部有普通公制内螺纹 M20, 有效螺纹长度 20mm, 筒体外径 28mm。求螺纹型芯旋退时的脱模力矩。

[解] 由《机械零件手册》及表 4.6-1 确定有关参数: M20 普通粗牙螺纹, 中径  $d_2 = 18.376\text{mm}$ ,  $r = 9.188\text{mm}$ 。内径  $d_1 = 17.294\text{mm}$ , 外径  $d = 20\text{mm}$ 。PA1010,  $E = 1.35 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ ,  $\alpha = 12 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ,  $f_c = 0.4$ ,  $T_f = 148^\circ\text{C}$ ,  $T_j = 50^\circ\text{C}$ ,  $\mu = 0.33$ 。由已知条件  $R = 14\text{mm}$ ,  $h = 20\text{mm}$ 。

$$t = R - r_2 = 14 - 9.188 = 4.812\text{mm}$$

$$\frac{t}{d_2} = \frac{4.812}{18.374} = \frac{1}{3.82} > \frac{1}{20} \text{ 为厚壁}$$

$$p_1 = \frac{1.25\alpha E (T_f - T_j)}{\frac{R^2 + r_2^2}{R^2 - r_2^2} + \mu} \cdot A_c$$

$$= \frac{1.25 \times 12 \times 10^{-5} \times 1.35 \times 10^3 \times (148 - 50)}{\frac{14^2 + 9.188^2}{14^2 - 9.188^2} + 0.33} \times \pi \times 18.376 \times 20$$

$$= 8068\text{N}$$

$$p_2 = 1.5\alpha E (T_f - T_j) (d^2 - d_1^2)$$

$$= 1.5 \times 12 \times 10^{-5} \times 1.35 \times 10^3 \times (145 - 50) \times (20^2 - 17.294^2)$$

$$= 2208\text{N}$$

$$p = p_1 + p_2 = 8068 + 2208 = 10276\text{N}$$

$$M = f_c p r_2 = 0.4 \times 10276 \times 0.009188 = 37.76\text{N}\cdot\text{m}$$

## 4.9 模温调节系统设计

注塑模不仅是塑料熔体的成型设备, 而且还是热交换器。模温 (模具温度) 调节系统直接关系塑件的质量和生产效率, 是注塑模设计的核心内容之一。大型注塑模具的冷却系统设计尤其重要, 计算也较为复杂。对于大多数较低模温的塑料, 仅设置模具冷却系统。但对于模温超过  $80^\circ\text{C}$  的塑料, 以及大型模具需要设置加热装置。

### 4.9.1 温度调节系统的功用

高温塑料熔体在模腔内凝固将释放热量, 注塑模存在一个合适的模具温度。模温调



节系统是使整个成型型腔，在整个批量生产中保持这个合适温度。

### 一、对制品质量的影响

模温的波动及分布不均匀，和模温的不合适这两方面会使塑料制品质量变坏。

模温直接关系制品的成型收缩率。模温波动会使批量生产制品尺寸不稳定，从而降低制品尺寸精度，甚至出现尺寸误差过大的废品。这对成型收缩率较大的结晶型塑料影响更为明显。

模具型腔温度分布的不均匀，如模具型芯壁和型腔壁有明显的过大温差，会导致塑件厚度截面上残余应力分布的不均匀，固化后塑件会出现变形翘曲。塑件中局部范围残余应力过大会引起裂纹和开裂。这对刚硬的聚碳酸酯等物料制品尤为重要。

提高模温能改善制品表面的粗糙度，使轮廓清晰，熔合缝不显现。提高模温有利于结晶型聚合物的结晶过程，有利于高粘度熔体的充模流动，也有利于减小制品中残余应力。但是会延长冷却时间和注塑周期，也会使脱模温度过高，使塑件在脱模中受到损伤。

### 二、对生产效率的影响

冷却时间在整个注塑周期中占 50% ~ 80% 的时间。在保证塑件质量前提下，限制和缩短冷却时间是提高生产效率的关键。让高温熔体尽快降温固化，模温调节系统应有较高的冷却效率。注入模具的塑料熔体所具有热量，由模具传导、对流和辐射散传于大气和注射机仅占 5% ~ 30%，热量大部分由冷却水携走。缩短冷却时间途径有三个方面。

(1) 让冷却水处于湍流状态 模具冷却管道中冷却水应处于高速湍流状态，流速  $v = 0.5 \sim 1.5 \text{m/s}$ ，甚至更高。雷诺数  $Re > 4000$ 。使冷却管道孔壁与冷却介质之间的传热系数  $\alpha$  提高。资料表明，无规则的湍流流体在  $Re > 10^4$  时，其传热能力比层流高 10 ~ 20 倍。

(2) 扩大模具与冷却水的温差 在模温一定时，采用低温的冷却水。但倘若设计不当，会加剧模温分布的不均匀。采用低于室温的冷却水时，有可能使型腔表面凝聚大气中的水分。

(3) 增大冷却介质的传热面积 也就是尽量增大管道孔径和增加孔数。但是受模具结构，如脱模零件、镶块接缝的限制。要防止型腔压力过大时，型腔壁压塌的现象。

对于大型注塑模，为提高制件的合格率，在开机前必需将模具预热到适宜温度。例如要把 5 吨重的模具从室温 20℃，升高到合适的模温 60℃。对于碳钢模具，比热容为 0.46kJ/kg·℃，所需热量

$$Q_m = 0.46 \times 5000 \times (60 - 20) = 92000 \text{kJ}$$

倘若  $Q_m$  热量不是由预热获得，而是由注射到型腔内的 ABS 熔体传给。由表 4.9-1，ABS 熔体凝固放热热量  $\Delta_i = 300 \sim 400 \text{kJ/kg}$ 。设该模具每小时注入塑料熔体 60kg，则 ABS 熔体传递给模具热量

$$Q_p = 60 \times 350 = 21000 \text{kJ}$$

这就需要连续注塑

$$Q_m / Q_p = 92000 / 21000 = 4.38 \text{h}$$

在此期间的制品，由于模温太低而报废。在达到合适模温后，由于熔融塑料进入模腔量

大, 积聚热量增多, 为保持模温需要对模具维持冷却。

#### 4.9.2 冷却系统的简略计算

对于大多数中小型注塑模具的水冷却系统, 必需计算冷却传热面积, 确定冷却水温度和流量。尽管作了一些简略的计算处理, 但由于遵循了模具注塑过程热平衡和冷却水湍流流动的两大原则, 计算方法和结果是可行的。

##### 一、热平衡计算

进行注射过程热平衡计算, 就是计算单位时间内熔体固化放出热量等于冷却水所携走的热量

$$Q_{in} = \Delta_i m_p = \Delta_i n G \quad (4.9-1)$$

其中,  $Q_{in}$  为塑料熔体每小时冷却固化所放出的热量 (kJ/h);  $\Delta_i$  为每千克塑料熔体凝固时放出热焓量 (kJ/kg), 由表 4.9-1 查得;  $n$  为每小时注射次数;  $G$  为每次注射的塑料用量 (kg);  $m_p$  为每小时注射的塑料量 (kg)。

表 4.9-1 常用塑料熔体凝固时放出热焓量

塑料品种	$\Delta_i/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	塑料品种	$\Delta_i/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	塑料品种	$\Delta_i/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
ABS	300~400	CAB	270	PP	590
AS	335	PA66	650~750	PA6	500~600
POM	420	丙烯酸塑料	290	PS	270
PVAC	290	LDPE	500~690	PTFE	500
PMMA	210	HDPE	550~750	PVC	170~360
CA	290	PC	290	SAN	270~360

$$Q_{out} = m_w C_w (t_{out} - t_{in}) \quad (4.9-2)$$

其中,  $Q_{out}$  为冷却水每小时从模具携走热量 (kJ/h);  $m_w$  为冷却水每小时用量 (kg/h);  $C_w$  为冷却水比热容,  $4.187\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{C}$ ;  $t_{out}$  为模具的出水温度 ( $\text{C}$ );  $t_{in}$  为进入模具的冷却水温度 ( $\text{C}$ )。由热平衡条件  $Q_{out} = Q_{in}$  可得

$$m_w = \frac{\Delta_i m_p}{C_w (t_{out} - t_{in})} = \frac{\Delta_i n G}{C_w (t_{out} - t_{in})} \quad (4.9-3)$$

##### 二、湍流计算

经计算保证冷却水在管道中处于湍流状态, 从而获得冷却水的体积流量  $V$ , 并确定相应的管径  $d$ 。

由水的密度  $\rho = 1000\text{kg}/\text{m}^3$  和每小时用水量  $m_w$ , 可换算得冷却水的体积流量

$$V = \frac{m_w}{60\rho} = 0.398 \times 10^{-5} \frac{\Delta_i n G}{t_{out} - t_{in}} \quad (\text{m}^3/\text{min}) \quad (4.9-4)$$

圆管中湍流的雷诺数  $Re$  的计算式

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \geq 10^4$$

式中,  $v$  为管中的最低流速;  $\mu$  为粘度。可由式 (4.9-4) 计算得  $V$  后, 直接查表 4.9-2, 得温度  $10^\circ\text{C}$  时保证雷诺数  $Re = 10^4$  以上的管道直径  $d$ 。

表 4.9-2 冷却圆管中水的湍流流量  $V$  和管道直径  $d$  ( $Re = 10^4, 10^\circ\text{C}$ )

流量 $V/(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$	$5.0 \times 10^{-3}$	$6.2 \times 10^{-3}$	$7.4 \times 10^{-3}$	$9.2 \times 10^{-3}$	$12.4 \times 10^{-3}$	$15.5 \times 10^{-3}$	$18.7 \times 10^{-3}$
直径 $d/\text{m}$	$8 \times 10^{-3}$	$10 \times 10^{-3}$	$12 \times 10^{-3}$	$15 \times 10^{-3}$	$20 \times 10^{-3}$	$25 \times 10^{-3}$	$30 \times 10^{-3}$

在确定实际冷却管道的直径后, 可求得在  $V$  ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) 和  $d$  ( $\text{m}$ ) 下的冷却水流速

$$v = \frac{4V}{60\pi d^2} = 0.0202 \frac{V}{d^2} \quad (\text{m/s}) \quad (4.9-5)$$

### 三、冷却面积计算

进一步确定能保证冷却效率的冷却管道长度和孔数。

由冷却定律, 冷却水从模具中带走热量

$$Q_{\text{out}} = \alpha \Delta t \Phi \quad (\text{kJ/h}) \quad (4.9-6)$$

$$\Delta t = t_m - t_{cp} = t_m - 0.5(t_{\text{out}} + t_{\text{in}})$$

其中,  $t_m$  为模具温度 ( $^\circ\text{C}$ );  $t_{cp}$  为冷却水的平均温度 ( $^\circ\text{C}$ );  $\Delta t$  为模具与冷却水的平均温度差 ( $^\circ\text{C}$ );  $\alpha$  为冷却水的管壁传热系数 ( $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ );  $\phi$  为管道的有效冷却面积 ( $\text{m}^2$ )。

长径比  $L/d > 50$  的细长冷却管道, 载热模具管壁对冷却水的传热系数

$$\alpha = 3.6A_0 \frac{(\rho v)^{0.8}}{d^{0.2}} \quad (4.9-7)$$

式中,  $\rho$  为冷却水密度; 流速  $v$  的单位  $\text{m/s}$ ; 管径  $d$  单位是  $\text{m}$ 。  $A_0$  是冷却水物理性质参量的函数

$$A_0 = 0.023 \frac{\lambda^{0.6} C_w^{0.4}}{\mu^{0.4}}$$

水的导热系数  $\lambda$ , 比热容  $C_w$  及粘度  $\mu$  均是水温的函数。现将模具冷却水的平均温度  $t_{cp}$  下的  $\lambda$ ,  $C_w$  及  $\mu$  计算得  $A_0$ , 列于表 4.9-3 中。

表 4.9-3  $A_0$  与平均水温的关系

平均水温 $t_{cp}/^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35
$A_0$ 值	5.74	6.18	6.63	7.06	7.51	7.93	8.35	8.79
平均水温 $t_{cp}/^\circ\text{C}$	40	45	50	55	60	65	70	75
$A_0$ 值	9.22	9.61	10.02	10.40	10.76	11.15	11.53	11.88

最后, 可由下式求出管长  $l$  或孔数  $n$

$$\phi = n\pi dl \quad (4.9-8)$$

[例] 注射成型 ABS 塑件, 产量为  $30\text{kg/h}$ 。用  $22^\circ\text{C}$  的常温水作冷却液, 模具出口的水温  $28^\circ\text{C}$ , 要求模具温度  $50^\circ\text{C}$ , 由结构设计获知冷却水管长度  $200\text{mm}$ 。求冷却水管直径及模具上应开设的水管孔数。

[解] 由题意  $m_p = nG = 30\text{kg/h}$ ,  $t_{\text{out}} = 28^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{in}} = 22^\circ\text{C}$  得  $t_{cp} = 25^\circ\text{C}$ 。  $t_m = 50^\circ\text{C}$ ,

得  $\Delta t = t_m - t_{cp} = 50 - 25 = 25^\circ\text{C}$ 。

(1) 计算产生湍流的冷却水流量, 相应的管径及流速

查表 4.9-1 得 ABS 的  $\Delta_i = 350\text{kJ/kg}$ 。由式 (4.9-4)

$$V = 0.398 \times 10^{-5} \frac{\Delta_i m_p}{t_{\text{out}} - t_{\text{in}}} = 0.398 \times 10^{-5} \frac{350 \times 30}{28 - 22} = 0.00697\text{m}^3/\text{min}$$

查表 4.9-2 取  $d = 10 \times 10^{-3}\text{m}$ , 代入式 (4.9-5)

$$v = 0.0202 \frac{\bar{V}}{d^2} = 0.0202 \frac{0.00697}{(10^{-2})^2} = 1.41\text{m/s}$$

(2) 计算所需冷却面积及孔数

以  $t_{cp} = 25^\circ\text{C}$  查表 4.9-3 得  $A_0 = 7.93$ 。由式 (4.9-7)

$$\alpha = 3.6 A_0 \frac{(\rho v)^{0.8}}{d^{0.2}} = 3.6 \times 7.93 \frac{(1000 \times 1.41)^{0.8}}{(10^{-2})^{0.2}} = 23711\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

用式 (4.9-6) 计算所需冷却面积

$$\Phi = \frac{\Delta_i m_p}{\alpha \cdot \Delta t} = \frac{350 \times 30}{23711 \times 25} = 0.01771\text{m}^2$$

由式 (4.9-8) 得管道  $L = 200\text{mm}$  的孔数

$$n = \frac{\Phi}{\pi d l} = \frac{0.01771}{3.14 \times 10^{-2} \times 0.2} = 2.82$$

圆整后, 取长 200mm 孔径 10mm 的圆管道 3 根。

### 4.9.3 冷却系统设计

为了提高冷却效率和争取型腔表面温度的均匀与稳定, 在系统的综合设计中应遵守生产中的约定准则。在管道回路布置时, 还需进一步考虑型腔的形状和尺寸, 并使加工方便和密封效果良好。

#### 一、设计准则

(1) 要优先考虑冷却管道的位置, 而后综合处理脱模机构零件布置和镶块结构。并要首先保证型芯的冷却。通常对凹模和型芯采用两条回路。减小型芯壁和型腔壁之间的温度差是很重要的, 特别是大型模具。使用模温调节装置, 可有效保证模温控制质量。在通常注射成型生产中, 模温波动不超过  $\pm 2.5^\circ\text{C}$ 。精密注射时模温误差在  $\pm 1^\circ\text{C}$  之内, 并采用缓冷方法, 保证制品尺寸精度和质量。

(2) 要保证实现管道冷却水湍流状态的流速和流量, 还要保证足够的水压。冷却管道总长总在 15m 以下; 弯头数目不要超过 15 个。出水温度与进水温度相差愈大, 说明模具内温度愈不均匀。精密注射的模具, 此二者温度差限制在  $2^\circ\text{C}$  之内。一般模具也应在  $5^\circ\text{C}$  左右。如图 4.9-3 所示, 管道作串联布置, 特别是从模具外用管接头和水管连接, 加工维修方便, 但由于流程长使冷却水的压力降和进出温差大。多路并联冷却, 冷却效果好, 但需控制好各路的流量和水温的一致性。

(3) 管道直径经湍流计算确定, 一般取  $d = 8 \sim 25\text{mm}$ 。管道过细, 加工和清理困难。水垢和铁锈会使冷却效率变坏一个数量级。因此需定期清理, 或用软水也可对孔壁作磷化处理。较大管道孔径和根数能增加有效冷却面积。只要不妨碍模具总体结构, 愈

大愈多为好。水管接头孔径应与管道孔径一致。进水和出水接头尽可能在模具一侧，并置于不妨碍注塑操作的方向。

(4) 冷却管道布置应以均匀为前提。见图 4.9-1，孔壁与型腔壁通常的间距  $h = (1.5 \sim 3)d$ ，孔壁之间间距  $b = (2.5 \sim 4)d$ 。均匀布置后，按需要作局部调整。过大间距会使模温不均匀；过小的间距孔壁承受型腔高压后，由于弯曲应力和剪切应力及其综合变形作用，在孔的中央部位会产生型腔壁的压塌现象。如图 4.9-2 所示，矩形管道孔上壁厚为架空梁，其固定端的最大正应力

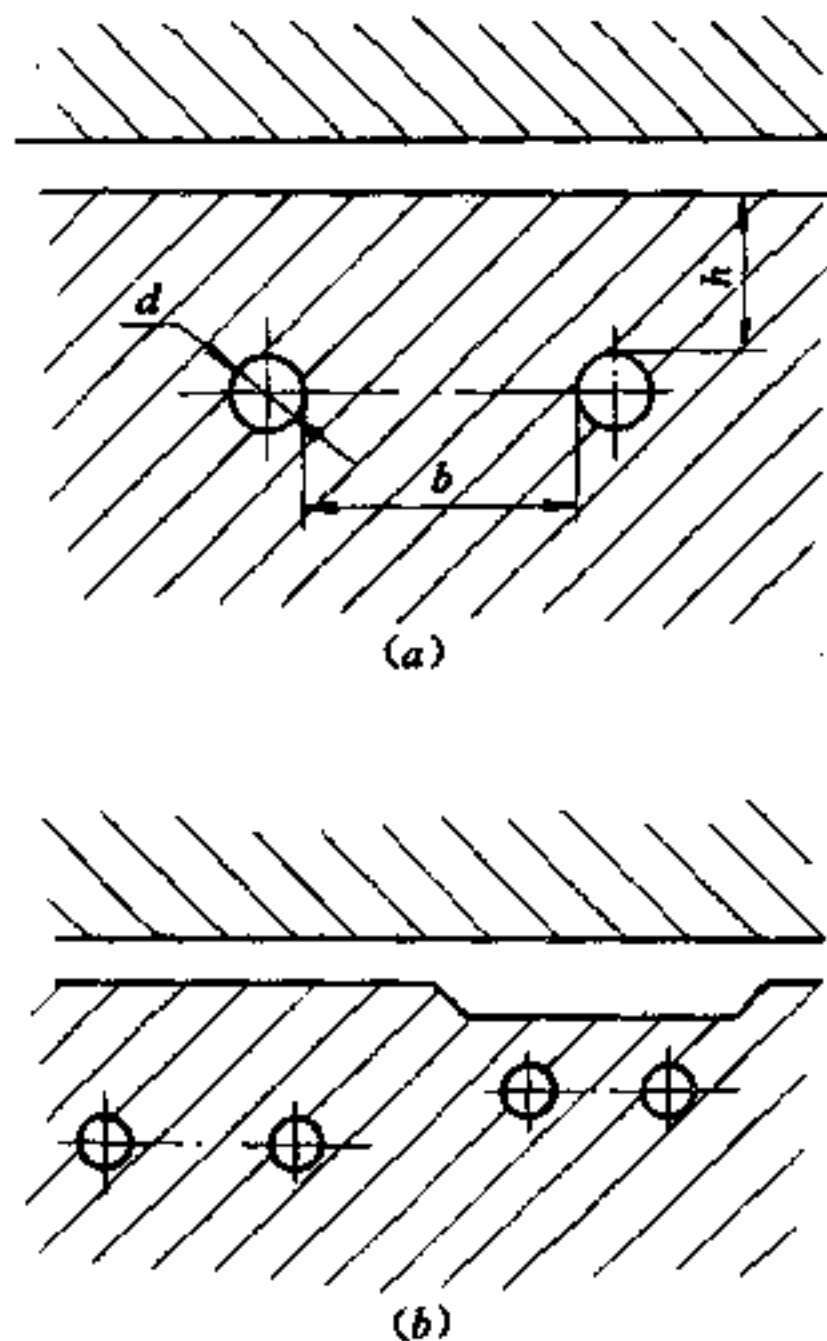


图 4.9-1 冷却孔的分布  
(a) 冷却孔径与位置；(b) 局部强化冷却。

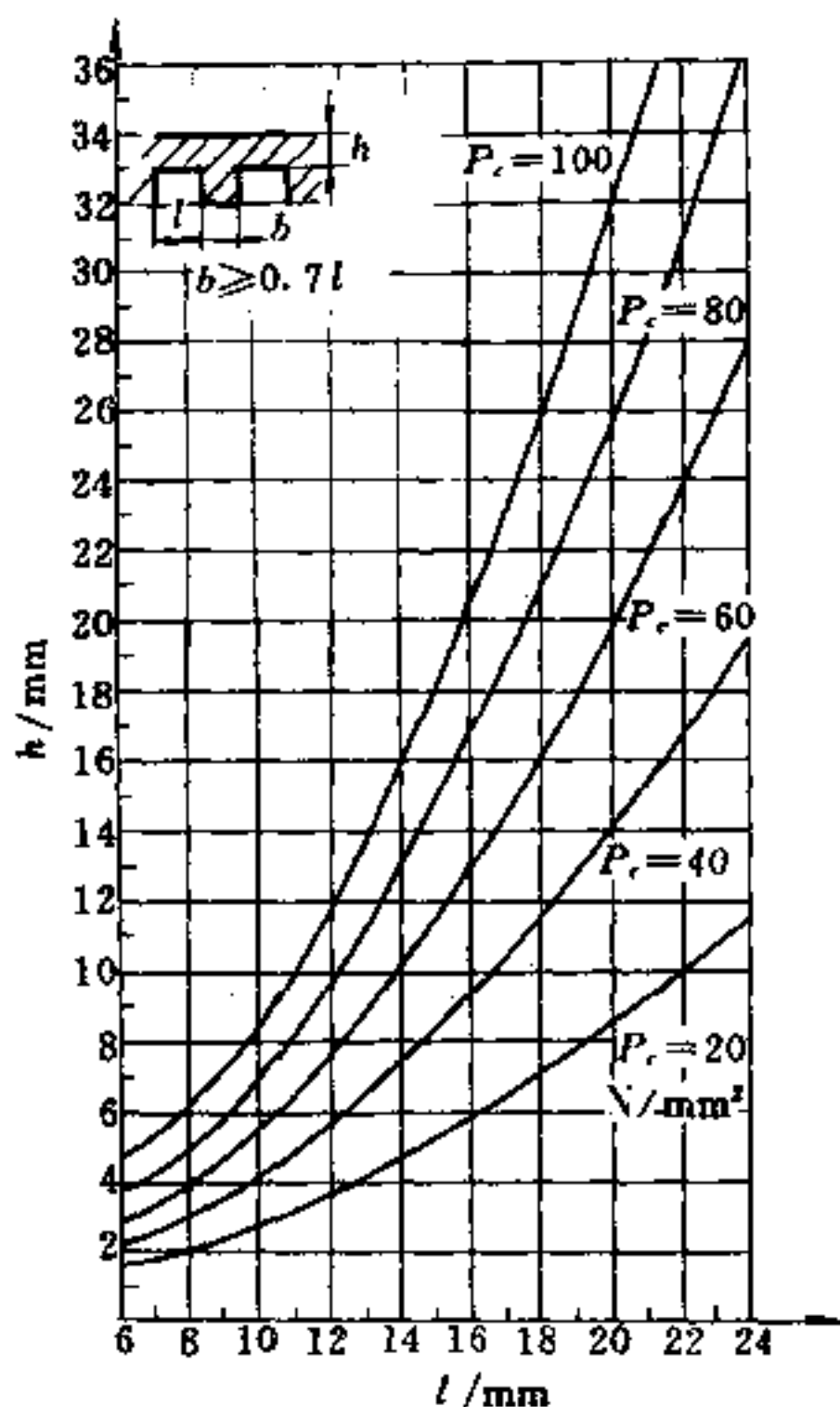


图 4.9-2 中碳钢模具矩形冷却  
水孔至型腔壁面的最小距离  $h$  (圆孔  $h' = 0.8h$ )

$$\sigma_{\max} = 0.5 \frac{P_c l^2}{h^2} \leq [\sigma] \quad (4.9-9)$$

由于梁的跨度很短，在梁的中性层上最大剪切应力

$$\tau_{\max} = 0.75 \frac{P_c l}{h} \leq [\tau] \quad (4.9-10)$$

弯曲变形和剪切变形在二孔间中点的型腔下陷量

$$f_{\max} = \frac{P_c l^2}{h} \left( \frac{l^2}{32Eh^2} + \frac{0.1875}{G} \right) \quad (4.9-11)$$

以上三式中，型腔压力  $P_c$  视实际注射条件，大致为  $20 \sim 60 \text{ N/mm}^2$ ； $h$  为冷却孔处模具壁厚 (mm)； $l$  是矩形孔的宽度 (mm)，若用圆孔直径代入，计算结果偏安全。55 钢弹性模量  $E = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ，剪切模量  $G = 0.8 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ，许用弯曲应力  $[\sigma] =$

150N/mm<sup>2</sup>, 许用剪切应力  $[\tau] = 95\text{N/mm}^2$ , 允许的下陷量  $[f] = 0.003\text{mm}$ , 可得到图 4.9-2 的应用曲线。在孔间间距  $b \geq 0.7l$  条件下, 从该图曲线可查得中碳钢模具, 矩形孔宽  $l$  的对应型腔壁厚的最小  $h$  值。按资料分析, 倘若是圆孔, 直径  $d = l$  时将查得壁厚乘上 0.8。

(5) 注塑模的浇注系统, 如主流道的末端等处需加强冷却, 可利用较冷的进水。塑料制品局部的厚壁及转角等处, 需减小间距  $h$  和  $b$ , 如图 4.9-1 (b) 强化冷却。在塑料熔流末端, 特别是熔合缝的汇合处, 冷却孔道应远离。

(6) 从冷却效果来选取模具材料。见表 4.9-4, 常用模具钢的导热系数均较低。含碳量和含铬量越高的钢种导热性愈差。不锈钢相比之下可视为绝热材料。普通钢传热性差, 且热稳定性不好, 还导致了型腔表面硬度下降。铍铜合金导热性和热稳定性好, 且可获得较高硬度。如我国铍铜 QBe2 (铍 1.9% ~ 2.2%, 镍 0.2% ~ 0.5%, 其余为铜) 经固溶时效处理后, 硬度可达 HRC49。铍铜比热容是 1.89kJ/(kg·°C)。

表 4.9-4 一些模具材料的导热系数 (W/m·°C = 3.6kJ/m·h·°C)

模具材料	$\lambda / (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1})$	模具材料	$\lambda / (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1})$
纯铜	386	P20	36.5
铍青铜(20°C)	121~151	碳素钢(C1.5%)	36
铍青铜(275°C)	109	SKD61	34
铝青铜	81	H13	29.5
纯铝	175	不锈钢(SUS304)	16
硬铝(Al95%, Cu4%, Mg0.5%)	164	不锈钢(Cr12%)	26
铸铝(Al87%, Cu13%)	164	铬钢(Cr1%)	60
碳素钢(C0.5%)	53	锌合金(Al4%, Cu3%)	109
碳素钢(C1%)	43	铸铁(C4%)	52

## 二、管道回路的布置

### 1. 凹模管道回路

#### (1) 外接直通式

图 4.9-3 是最简单的外部连接的直通管道布置。用水管接头和橡塑管将模内管道连接成单路或多路循环。管道加工方便, 适合于浅的矩形型腔。但是外接部分容易损坏。

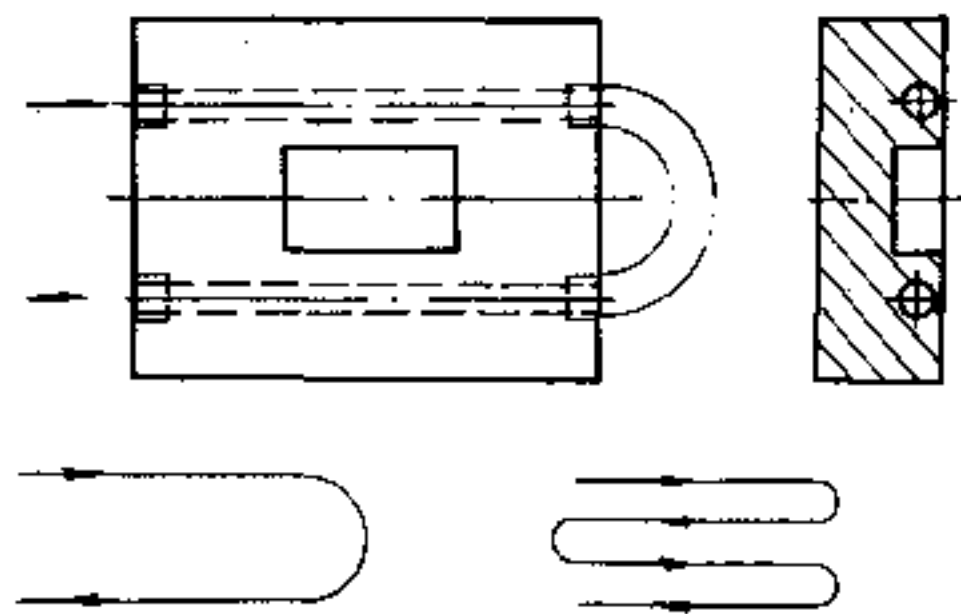


图 4.9-3 外接直通式回路

### (2) 平面回路式

图 4.9-4 所示是凹模板的内平面上的管道整体布置。管道加工后必须用孔塞和挡板来控制冷却液流动。它适合各种较浅的，特别是圆形的型腔，见图 4.9-4 (a)。对长宽比很大的矩形型腔，也可采用如图 4.9-4 (b) 所示左右二回路的平衡布置。挡板的安装应便于从模外直接拆卸，修理更换方便。

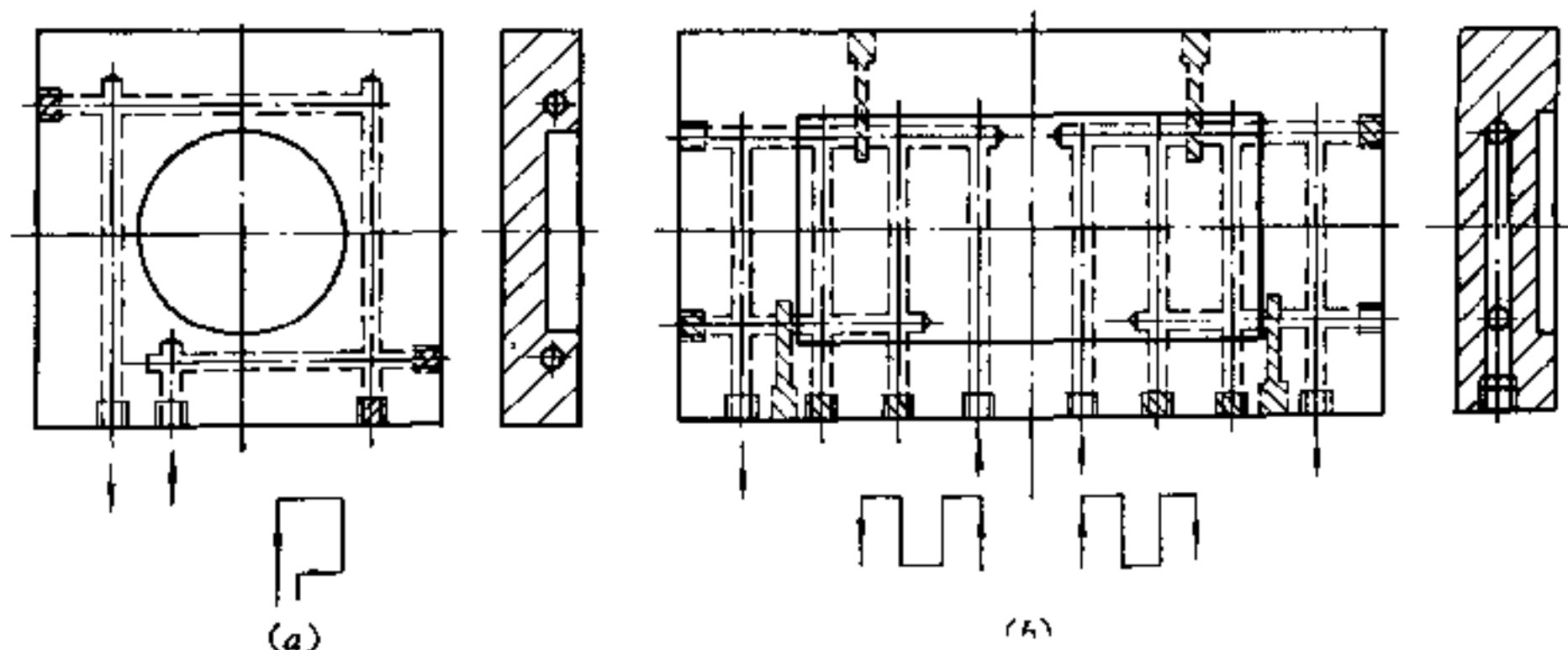


图 4.9-4 模板内平面回路

### (3) 多层回路式

如图 4.9-5 所示，对深腔的凹模，冷却管道应采用多层的立体布置。布置成曲折的 Y 形，是为了对主流道和型腔底部进行冷却。型腔四周可采用各平面的单独整体回路，但这样会使模外管接头多，各回路冷却参量平衡较难。若将各层回路在深度方向连成一体，对大型模具会造成流程过长而冷却不均匀。还有一种带有密封环的冷却板，板上铣有冷却槽，用四块紧固于模具侧面，每板均有一对出入口，检修很方便，但成本较高。

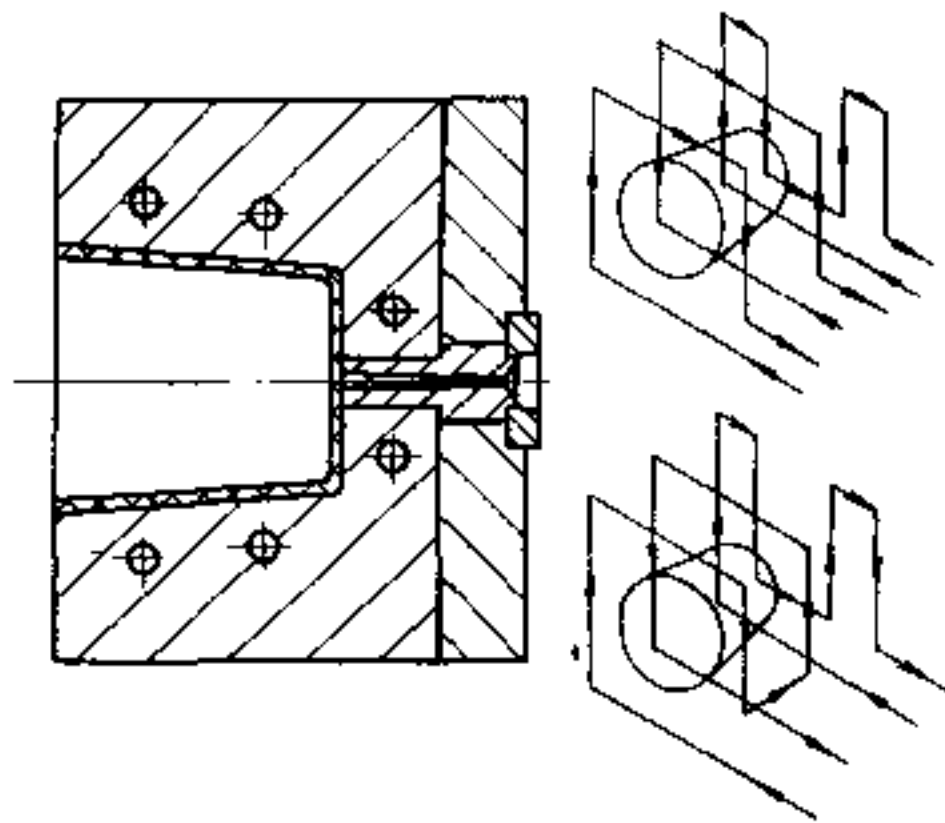


图 4.9-5 多层回路

### (4) 凹模嵌入式

需要注意嵌入凹模与模板间的冷却水泄漏和管道加工难度。

a. 矩形嵌入凹模，先对嵌入凹模作单层或多层回路布置，尽可能只有一对出入口，如图 4.9-6 (a) 所示。然后设计水源的连接。图 4.9-6 (b) 是用延伸式管接头，穿过模板直接连接在嵌入凹模上。该嵌入凹模倘若拆卸，会损伤接头。图 4.9-6 (c) 是在分型面上开沟槽来容纳延伸式接头。注射中如有溢料，去除较麻烦。图 4.9-6 (d) 是用冷却孔直接从嵌件底部对接，但必须有 O 形圈密封。也有将圆铜管埋在嵌件与模板之间。为保证嵌件凹模与铜管间有效接触面积，可用低熔点合金把铜管四周空隙填满。

b. 圆柱嵌入凹模 如图 4.9-7 (a) 所示，可利用圆柱体上开出的环形沟槽，嵌入模板后形成矩形冷却管道。必须在沟槽的上下方装入 O 形圈密封。见图 4.9-7 (b)，一模多腔的模具中，直线布置的型腔可通过设在模板上的孔道相连。多个嵌件的冷却沟相连有困难时，可在模板上开沟槽，如图 4.9-7 (c) 所示。但其冷却效果不如前者。见



图 4.9-7 (d), 应注意沟槽之间连接和间隔  $x$ 。要在节圆中计入间隔  $x$ , 并需加强模板的刚性。必要时在嵌入凹模和模板之间再增设开沟槽的冷却套。

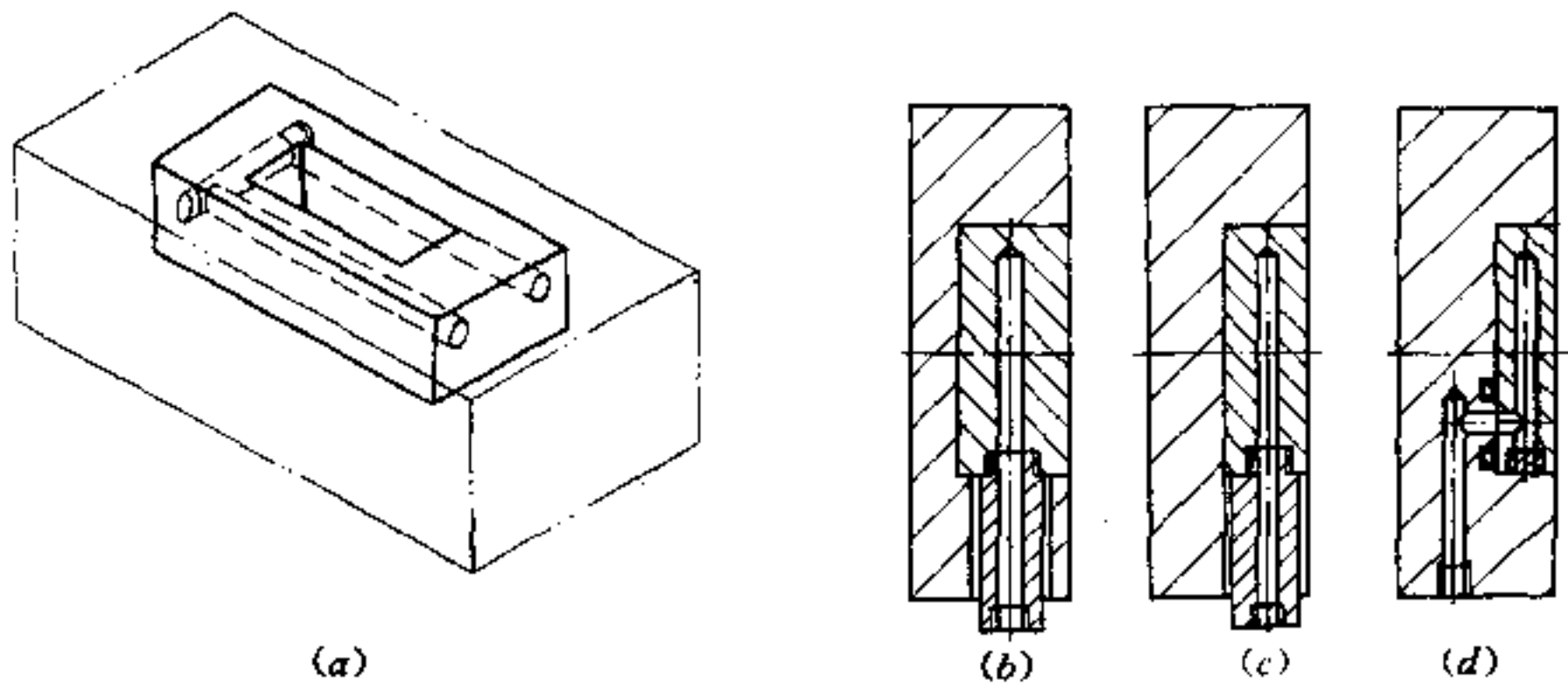


图 4.9-6 矩形嵌入凹模的冷却回路

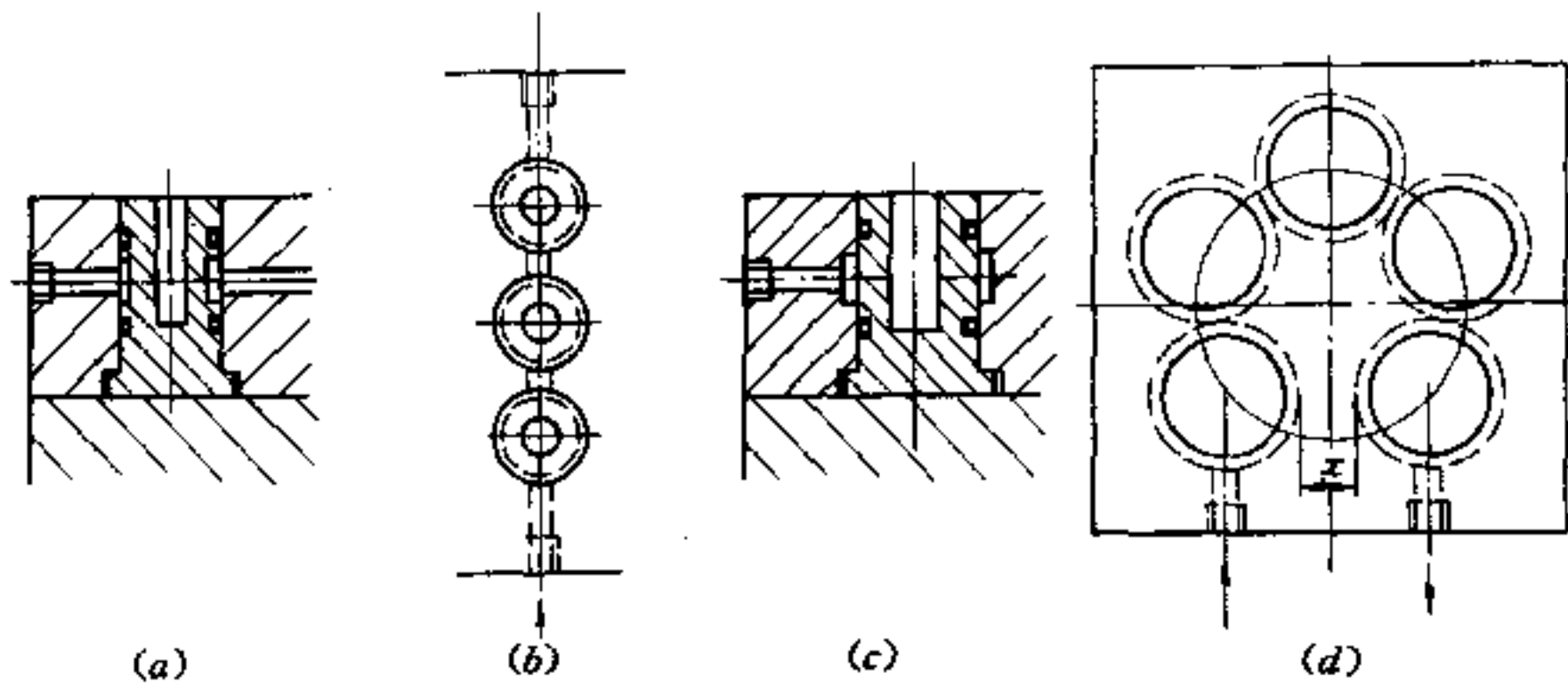


图 4.9-7 圆柱嵌入凹模的冷却回路

## 2. 型芯管道回路

对于很浅的型芯, 可直接将平面回路开设在型芯下部。对于中等高度型芯, 可在型芯的底端面上开设矩形冷却水槽回路。对圆柱型芯作如图 4.9-8 所示环形布置, 再加工横沟, 安上挡板和防漏橡胶圈。对矩形型芯则铣出相通的矩形布置沟槽。

对于较高的型芯, 倘若沿型芯深度方向开设管道, 就不得不在型芯的侧表面打孔以相互沟通。虽然用孔塞封住, 但型芯侧表面质量难以保证。因此对于高型芯, 常用以下三种内循环管道流动方法。

### (1) 隔板式

如图 4.9-9 (a) 所示方法用于单个圆柱高型芯。在型芯的直管道中设置隔板, 进

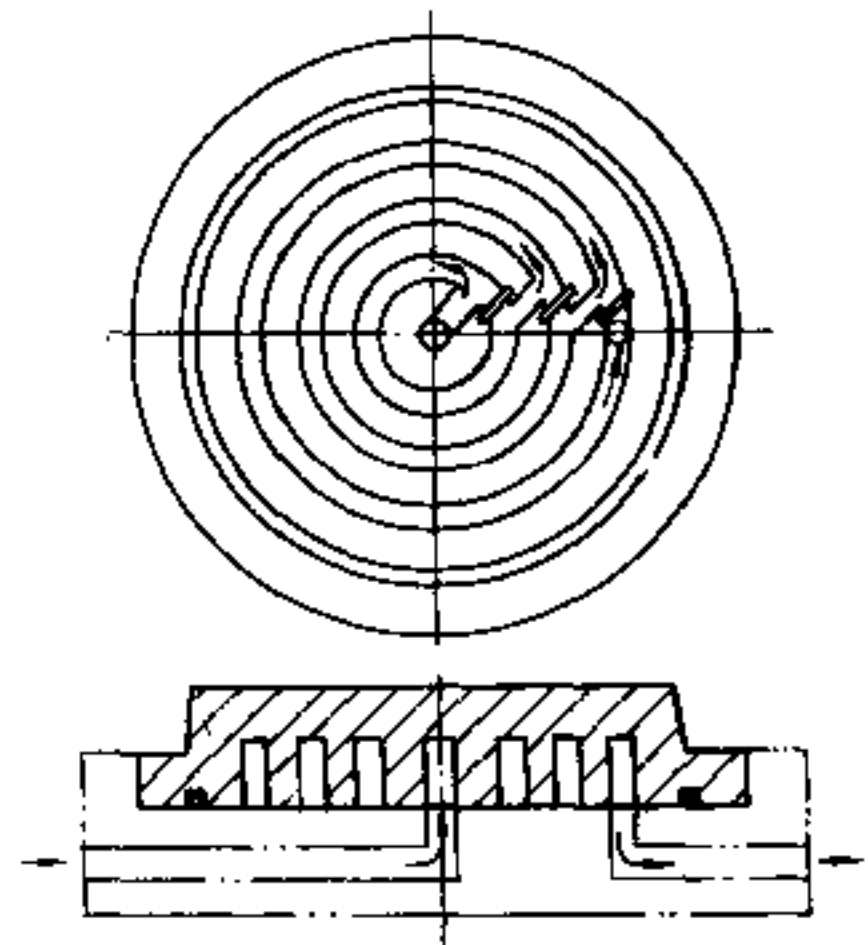


图 4.9-8 中等高度型芯的冷却回路



水和出水与模内横向管道形成冷却回路。此方法也可用于多个小直径的圆柱型芯，见图 4.9-9 (b)。用串接管路方法，可适用于窄长的矩形高型芯，见图 4.9-9 (c)。也有用于大直径的高型芯，如图 4.9-9 (d) 所示。

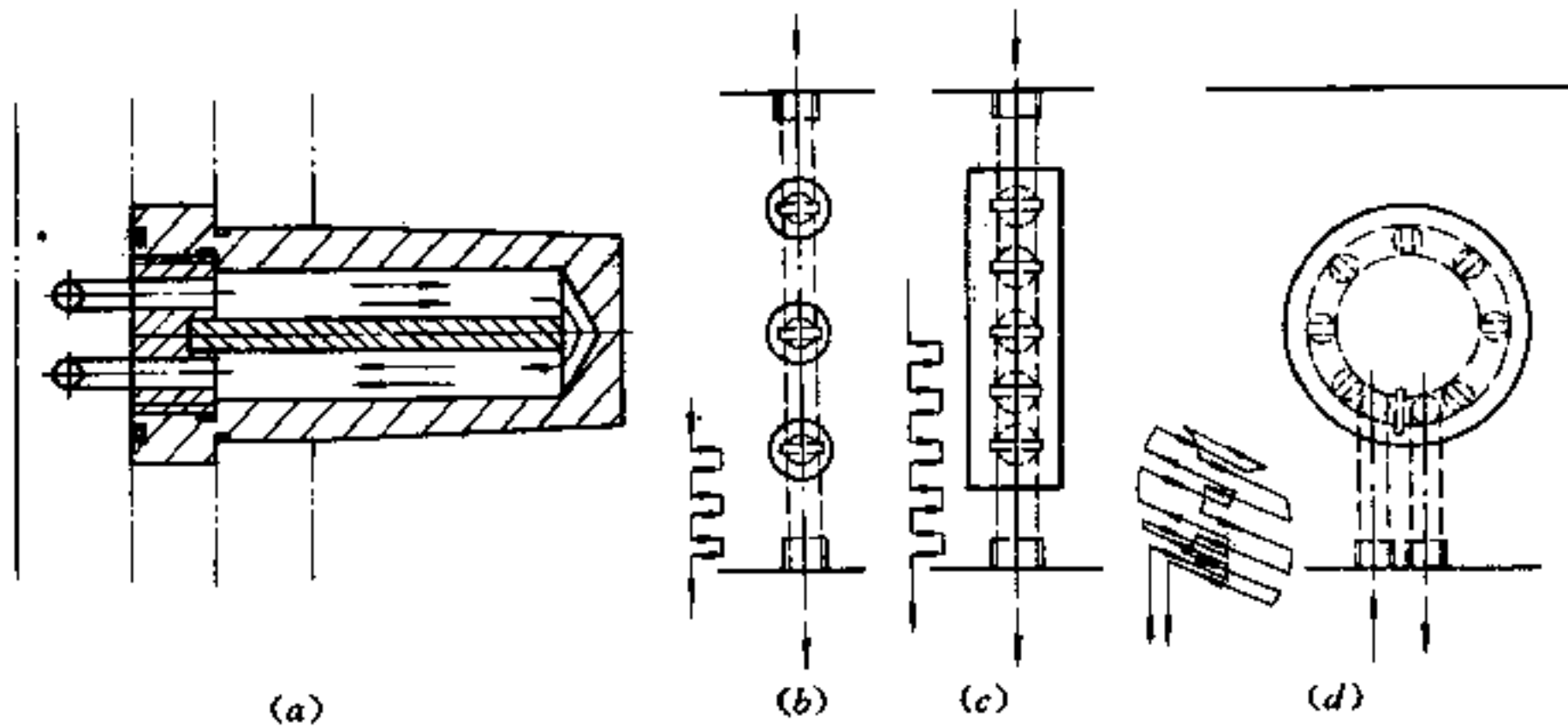


图 4.9-9 隔板式冷却回路

### (2) 喷流式

在型芯中间装一个喷水管，进水从管中喷出后再向四周冲刷型芯内壁，如图 4.9-10 所示。低温的进水直接作用于型芯的最高部位。对于位于中心的浇口，冷却效果好。喷流式可用于单个小直径型芯；也可用于多个小直径型芯的并联冷却，此时底部进水和出水管应相互错开。

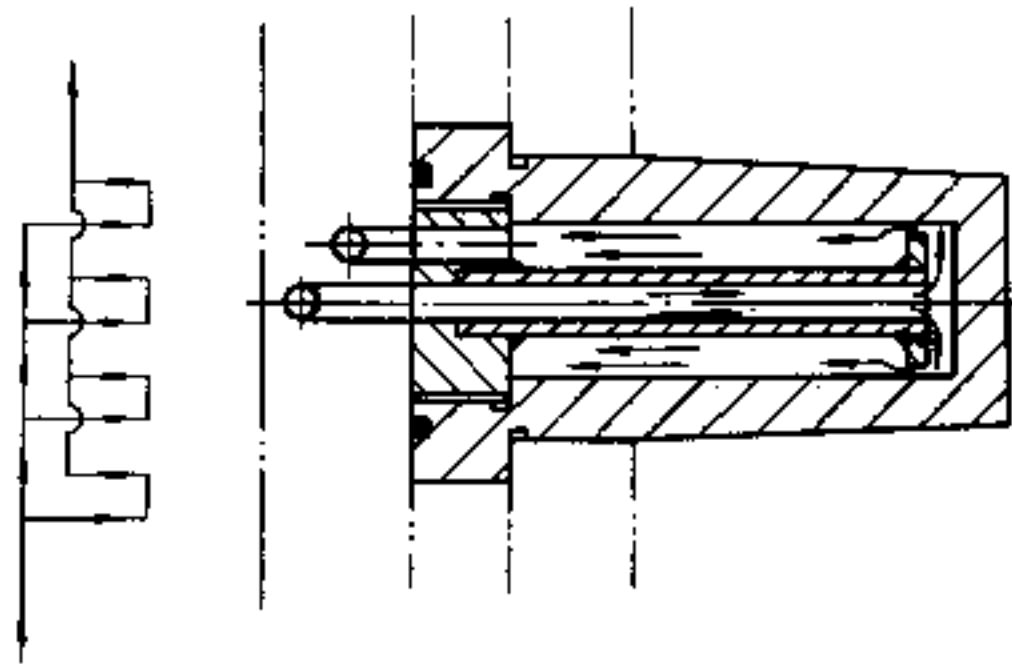


图 4.9-10 喷流式冷却回路

### (3) 螺旋式

如图 4.9-11 所示，大直径的圆柱高型芯，在心柱表面车制螺旋沟槽，压入型芯的内孔中。冷却水从中心孔引向心柱顶端，经螺旋回路从底部流出。心柱使型芯有较好刚性；较薄的型芯壁改善了冷却效果，只是加工较复杂。

对于直径 5mm 左右的细长型芯，可用紫铜或铍铜芯棒压配在型芯的中央小孔中。用冷却水冲冷该导热芯棒的根部。如今，用铍铜制造小型芯，改善型芯导热已经常采用。

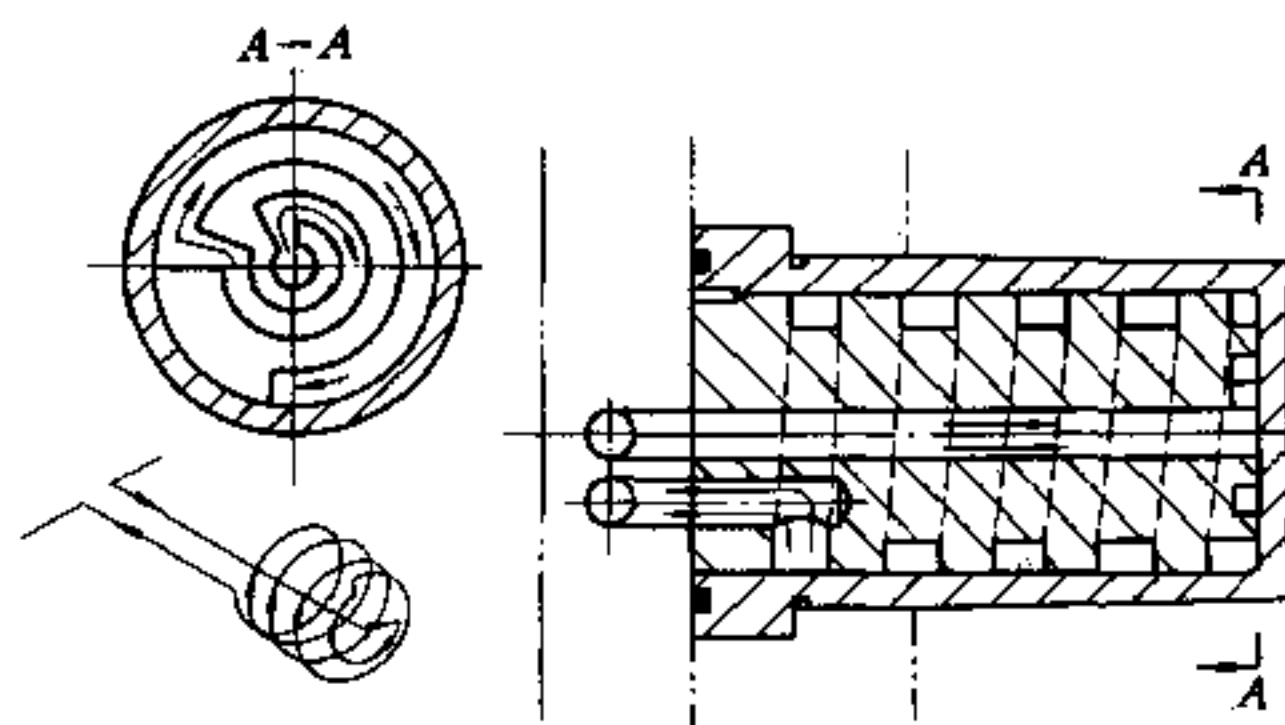


图 4.9-11 螺旋式冷却回路

#### 4.9.4 冷却系统计算

传热学的原理与计算公式应用到注塑模的冷却系统的计算，需了解塑料材料和金属材料的热性能，需结合注塑工艺和模具结构，经过一些具体且可行的方法，才能获得工程应用所允许的近似计算结果。应用计算机和冷却系统软件作模具冷却的模拟，可获得较为精确的计算结果。传统的计算方法，包括注塑冷却时间计算，模具系统热平衡计算和冷却回路计算三部分。

##### 一、冷却时间计算

注塑过程中塑件熔体冷却时间，通常是指塑料熔体从充满模具型腔起，到可以开模取出塑件为止的时间。可以开模取出塑件的时间，常以塑件已充分凝固，具有一定强度和刚度为准，用塑件厚度计算冷却时间计算式，按无定形和结晶型塑料分为两类。

##### 1. 无定形塑料

##### (1) 薄壁塑件

无定形塑件的壁厚相对流程较小的薄壁制品，则通常按塑件断面的平均温度  $t_x$ ，来计算冷却到该温度的时间

$$\theta = \frac{H^2}{\pi^2 k} \ln \left[ \frac{8 (t_c - t_m)}{\pi^2 (t_x - t_m)} \right] \quad (\text{s}) \quad (4.9-12)$$

式中  $k$ ——塑料的热扩散系数 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )，可查表 4.9-5；

$H$ ——塑件的厚度 (mm)；

$t_c$ ——注射塑料熔体的初始温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，可参考表 4.9-5；

$t_m$ ——模具温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，可参考表 4.9-5；

$t_x$ ——塑件的平均脱模温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，可参考表 4.9-5。

表 4.9-5 部分塑料注塑冷却时间计算的参考数值

材 料 名 称	热扩散系数 $k/(\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	初始温度 $t_c/^{\circ}\text{C}$	模具温度 $t_m/^{\circ}\text{C}$	塑件平均脱模温度 $t_x/^{\circ}\text{C}$	断面中心层脱模温度 $t_y/^{\circ}\text{C}$
PC	0.105	230~290	80~100	90~110	132~140
CA	0.085	150~200	40~70	50~75	70~88
CAB	0.085	190~250	50~70	60~110	75~126

(续)

材 料 名 称	热扩散系数 $k / (\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	初始温度 $t_c / ^\circ\text{C}$	模具温度 $t_m / ^\circ\text{C}$	塑件平均脱模温度 $t_x / ^\circ\text{C}$	断面中心层脱模温度 $t_y / ^\circ\text{C}$
PS	0.080	150~190	20~70	50~70	82~104
SAN (AS)	0.080	220~250	50~80	85~90	90~110
ABS	0.08~0.10	190~240	40~70	50~70	90~108
PMMA	0.075	180~230	40~60	50~70	80~109
R-PVC	0.070	150~200	15~60	45~60	70~82
PSF	0.110	280~330	130~150	135~155	182
GF-PBT	0.090	240~260	60~80	65~85	150~165
PA66	0.085	250~280	50~80	60~90	150~180
PA6	0.070	210~240	50~80	60~90	140~176
PP	0.065	170~220	50~60	55~70	102~115
LDPE	0.090 模温 35°C	140~200	35~60	50~60	50~60
	0.075 模温 60°C				
HDPE	0.095 模温 35°C	150~230	35~60	50~60	65~82
	0.055 模温 60°C				
POM	0.065 模温 50°C	180~220	50~90	90~120	158~174
	0.050 模温 90°C				

$t_x$  应低于塑料材料的热变形温度。

## (2) 厚壁制品

厚壁塑件最厚部位的中心层温度大致在该物料的热变形温度附近，只要该制品厚度的两表面皮层有足够刚性就可脱模。可用塑料的热变形温度或略低于该温度作为脱模温度  $t_y$ ，来计算冷却到该温度的时间。

$$\theta = \frac{H^2}{\pi^2 k} \ln \left[ \frac{4(t_c - t_m)}{\pi^2(t_y - t_m)} \right] \quad (4.9-13)$$

其中， $t_y$  为制品最厚部位中心层达到的脱模温度 ( $^\circ\text{C}$ )，可参考表 4.9-5； $H$ 、 $k$ 、 $t_c$  和  $t_m$  含义同上。

在使用了式 (4.9-13) 后，要进一步校验塑件上各皮层所达到的温度，以判断凝固程度。制品厚度方向的温度以中心层为对称轴，呈抛物线分布规律。定义  $x$  变量为距中心层的位置，则有

$$t_{(x)} = t_m + (t_c - t_m) \cos\left(\frac{\pi x}{H}\right) \cdot \frac{4}{\pi} \exp\left(-\frac{\pi^2 k t_y}{H^2}\right) \quad (4.9-14)$$

其中， $t_{(x)}$  为塑件脱模时，距中心层  $x$  的断面层的温度 ( $^\circ\text{C}$ )； $x$  为距塑件厚度中心层的任意断面距离 (mm)； $t_c$ 、 $t_m$ 、 $k$ 、 $H$  和  $t_y$  含义同前。

使用此式前提是制品厚度两侧模具型腔壁温度  $t_m$  相等。若有温差，则温度分布抛物线不对中心层对称。

以上两种公式，在推导过程中基于如下假设，故存在与实际的偏差。

a. 假定充模熔料温度是均一的；

- b. 假设塑件在模内冷却过程中, 始终与型腔壁紧密接触;  
 c. 在冷却过程中, 假设模具型腔表面的温度均匀, 且始终保持均一;  
 d. 按二平行的大平面壁的塑件来推导, 忽略成型件侧面的冷却作用;  
 e. 塑料的热扩散系数随着温度而变化, 结晶型塑料的这种情况比较明显。

所以以上计算式对结晶型塑料不能有效适用。倘若对 HDPE、POM 等结晶型塑料使用以上公式计算时, 对于较高的模具温度, 需用较小的热扩散系数  $k$  代入。

## 2. 结晶型塑料

以下是三种结晶型塑料的冷却时间的经验公式:

(1) 聚乙烯 ( $\rho = 0.945\text{g/cm}^3$ ), 适用范围  $t_c = (193.3 \sim 248.9)^\circ\text{C}$ ,  $t_m = (4.4 \sim 79.4)^\circ\text{C}$ 。

$$\text{棒: } \theta = 1.2396R^2 \left( \frac{t_c + 28.9}{185.6 - t_m} \right) \quad (4.9-15)$$

$$\text{板: } \theta = 0.7998H^2 \left( \frac{t_c + 28.9}{185.6 - t_m} \right) \quad (4.9-16)$$

(2) 聚丙烯, 适用范围  $t_c = (232.2 \sim 282, 2)^\circ\text{C}$ ,  $t_m = (4.4 \sim 79.4)^\circ\text{C}$ 。

$$\text{棒: } \theta = 0.6566R^2 \left( \frac{t_c + 490}{223.9 - t_m} \right) \quad (4.9-17)$$

$$\text{板: } \theta = 0.3785H^2 \left( \frac{t_c + 490}{223.9 - t_m} \right) \quad (4.9-18)$$

(3) 聚甲醛, 适用范围  $t_c > 190^\circ\text{C}$ ,  $t_m < 125^\circ\text{C}$ 。

$$\text{棒: } \theta = 0.7161R^2 \left( \frac{t_c + 157.8}{157.8 - t_m} \right) \quad (4.9-19)$$

$$\text{板: } \theta = 0.3627H^2 \left( \frac{t_c + 157.8}{157.8 - t_m} \right) \quad (4.9-20)$$

以上各式中,  $R$  为棒状塑件半径 (mm);  $H$  为板状塑件厚度 (mm)。

## 二、模具系统热平衡计算

系统热平衡计算是单位时间里对模具的热量注入和输出的计算, 目的是获知单位时间里需要冷却剂携走的热量。

### 1. 被传导进模具的总热量

模具热量是伴随塑料熔体注射而进入, 又在固化中释放。少量是注射机的钢喷嘴传导给予的。

(1) 由熔体注入的热量  $Q_i$

$$Q_i = nG\Delta_i = nG [C_p (t_{1\max} - t_{1\min}) + L_E] \quad (\text{kJ/h}) \quad (4.9-21)$$

其中,  $n$  为每小时注射次数;  $G$  为每次注射量 (kg);  $\Delta_i$  为每千克塑料熔体凝固时放出热量 (kJ/kg), 由表 4.9-1 查得, 或由类似图 4.9-12 上查得, 或者由塑料比热容的关系式求得;  $C_p$  为塑料比热容 (kJ/kg·°C), 可参考表 4.9-6;  $t_{1\max}$  为塑料熔体进入模腔时温度 (°C);  $t_{1\min}$  为塑件冷却固化结束时温度 (°C);  $L_E$  为结晶型塑料的熔化潜热 (kJ/kg), 可参考表 4.9-6。

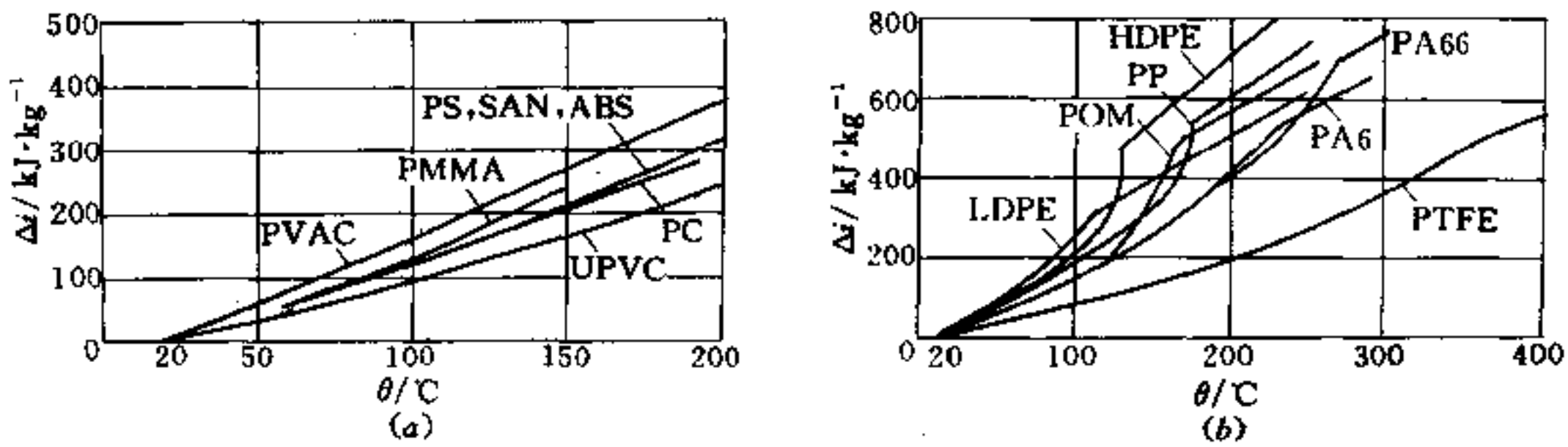


图 4.9-12 无定形和结晶型塑料的热焓量与温度的关系

(a) 无定形塑料; (b) 结晶型塑料。

表 4.9-6 塑料密度、比热容、导热系数和潜热 (平均值)

材 料	密 度 $\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	比热容 $C_p / (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1})$	导热系数 $\lambda / (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{C}^{-1})$	潜 热 $L_E / (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
ABS	1040	1.47	0.22	
PS	1050	1.40	0.15	
CA	1290	1.51	0.15	
POM	1415	1.47	0.18	163
PMMA	1185	1.44	0.17	
PA66	1140	1.67	0.21	130
PA12	1015	1.26	0.21	130
PC	1175	1.21	0.17	
LDPE	920	2.09	0.34	130
HDPE	950	2.20	0.35	243
PP	905	1.90	0.18	180
PSF	1240	1.30	0.23	
R-PVC	1400	1.18	0.17	
PA66 + 30% GF	1380	1.26	0.50	

(2) 喷嘴传给模具的热量  $Q_z$ 

$$Q_z = 3.60 F_0 \beta (t_{1\max} - t_{2m}) k_c \quad (\text{kJ/h}) \quad (4.9-22)$$

其中,  $t_{2m}$  为模具的平均温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\beta$  为钢的传热系数,  $\beta = 139.56 \text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;  $k_c$  为加料方式系数, 固定加料  $k_c = 1$ , 前加料  $k_c = 0.6$ , 后加料  $k_c = 0.4$ ;  $F_0$  为喷嘴与模具的接触面积 ( $\text{m}^2$ ), 建议 2kg 注射机, 接触面半径  $r = 4 \times 10^{-2} \text{m}$ , 125g 为  $r = 2 \times 10^{-2} \text{m}$ , 10g 为  $r = 2 \times 10^{-3} \text{m}$ 。

## 2. 自然冷却散失的热量

(1) 模具由于空气对流所散发的热量  $Q_c$

$$Q_C = 4.1868 \left( 0.25 + \frac{360}{t_{2m} + 300} \right) (F + F_i \tau) (t_{2m} - t_0)^{4/3} \quad (\text{kJ/h}) \quad (4.9-23)$$

其中,  $t_0$  为车间室温 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $F$  为模具的四个侧面积 ( $\text{m}^2$ );  $F_i$  为模具的两个对合面积 ( $\text{m}^2$ );  $\tau$  为开模率。

$$\tau = \frac{\theta_e - \theta_{\infty}}{\theta_e} \quad (4.9-24)$$

其中,  $\theta_e$  为注塑周期;  $\theta_{\infty}$  是模具闭合时间, 等于前述塑件冷却时间  $\theta$  和充模时间之和。

(2) 模具由于热辐射所散发的热量  $Q_R$

$$Q_R = 20.767 F \epsilon \left[ \left( \frac{273 + t_{2m}}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right] \quad (\text{kJ/h}) \quad (4.9-25)$$

式中,  $F$  为模具的四个辐射侧面 ( $\text{m}^2$ );  $\epsilon$  为辐射率, 模具表面磨光  $\epsilon = 0.04 \sim 0.05$ , 模具表面为机加工  $\epsilon = 0.50 \sim 0.80$ , 表面发黑  $\epsilon = 0.9$ 。

(3) 模具传导给注塑机台面的热量  $Q_L$

$$Q_L = 3.60 \beta F_l (t_{2m} - t_0) \quad (\text{kJ/h}) \quad (4.9-26)$$

其中,  $F_l$  为模具与注塑机台面的两个接触底面积 ( $\text{m}^2$ );  $t_0$  为注塑机的台面温度, 等于或略高于车间室温 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\beta$  为传热系数 ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ), 普通钢  $\beta = 140$ , 合金钢  $\beta = 105$ , 铜合金  $\beta = 163$ 。

当模具与注塑机台面使用隔热垫, 则用  $\beta'$  代入上式, 其

$$\beta' = \frac{\beta}{1 + \frac{\delta_s \lambda_m}{L_m \lambda_s}} \quad (4.9-27)$$

其中,  $\beta$  为模具材料传热系数 ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ );  $\delta_s$  为隔热材料厚度 ( $\text{m}$ );  $\lambda_s$  为隔热材料的导热系数 ( $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ), 石棉  $\lambda_s = 0.16 \sim 0.9$ , 硬橡皮  $\lambda_s = 0.15$ ;  $L_m$  为模具总高度的一半 ( $\text{m}$ );  $\lambda_m$  为模具材料的导热系数 ( $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ), 见表 4.9-4。

### 3. 应从模具携走的热量

从以上分析可知, 冷却液应从模具中携走的热量为

$$Q = (Q_i + Q_x) - (Q_c + Q_R + Q_L) \quad (4.9-28)$$

根据模具的工作实际,  $Q$  应由凹模冷却系统携走热量  $Q_G$  和凸模冷却液携走热量  $Q_K$  所组成

$$Q = Q_G + Q_K$$

至于  $Q_G$  和  $Q_K$  分配, 理论上则需以塑件壁厚的中性面作为凹模和凸模分界面, 分别计算凹模和凸模所承担固化的塑料重量, 从而计算出传导进凹、凸模的热量。又根据塑件对凹模与凸模的接触面, 分别计算自然散失的热量。如果塑件结构较为复杂, 有加强筋或凸起部分, 应酌情分配。但此方法较为繁琐。在工程实际中认为, 凸模储存热量较多且散热条件差, 凸模需强化冷却, 因此近似处理为:

$$Q_G = 0.4Q \quad Q_K = 0.6Q \quad (4.9-29)$$

### 三、冷却回路计算

与前述简化计算的区别在于考虑到模具金属材料的热阻, 冷却水孔壁的传热系数, 冷却水的流动状态和水压的校核。这对于大型注塑模设计计算尤其必要。

## 1. 模具热阻计算

由于在金属材料中存在有热阻  $R$ ，模具型腔壁的平均温度  $t_{3m}$  高于水孔管壁的平均温度  $t_{4m}$ 。对照图 4.9-13，尺寸  $A$  和  $B$  组成的管道有效面积为具有温度  $t_{4m}$  的冷表面。尺寸  $a$  和  $b$  所围是对应的被冷却的型腔壁，为具有温度  $t_{3m}$  的热表面。两表面之间距离为  $h$ 。该模型热阻的计算式为

$$R = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{2.3h}{(A-a)b - (B-b)a} \right] \lg \left( \frac{A}{a} \right) \left( \frac{b}{B} \right) \quad (\text{℃/W}) \quad (4.9-30)$$

具有  $A/B = a/b$  或近似有这种位置关系，故有

$$R = \frac{2.3h}{\lambda a B} \quad (4.9-31)$$

对于圆柱高型芯，采用中央孔壁冷却，则有

$$R = \frac{2.3}{2\pi\lambda L_c} \lg \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \quad (4.9-32)$$

其中  $L_c$  是型芯长度 (m)； $d_1$  为型芯内径 (m)； $d_2$  为型芯外径 (m)。以上三式中  $\lambda$  为模具材料的导热系数 ( $\text{W/m}\cdot\text{℃}$ )，可查表 4.9-4。

对于注塑模的实际冷却系统，常用若干个冷却管道与型腔壁相互作用，则由每个冷却孔与对应型腔壁的单个热阻  $R_i$ ，按并联原则计算总热阻

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i} \quad (4.9-33)$$

已知冷却水应携走热量  $Q$  和热阻  $R$ ，可得冷热表面之间温差。在冷却系统计算中，已知型腔壁  $t_{3m}$  来获得冷却管壁  $t_{4m}$ ，又有  $W = 3.6\text{kJ/h}$ 。故有换算关系

$$t_{4m} = t_{3m} - Q (0.278R) \quad (4.9-34)$$

在冷却过程中塑件温度  $t_1$  和模具型腔壁的温度  $t_3$  是变量，这是因为注射过程的周期性。每周期中的各时间  $\theta$  的  $(t_1 - t_3)$  的差值是不相等的，因此必须用  $(t_1 - t_3)_m$ ，即这些  $(t_1 - t_3)$  温度差的平均值来表征塑件与型腔壁间的温度差的程度。冷却过程中，冷却水携走热量  $Q$  与这个温差  $(t_1 - t_3)_m$  有如下关系

$$Q = 3.6\alpha' f \tau' (t_1 - t_3)_m \quad (4.9-35)$$

式中  $f$ ——塑件与型腔壁的接触面积 ( $\text{m}^2$ )，对应上述  $Q_G$  和  $Q_K$  有  $f_G$  和  $f_K$ ，分别为成型件与凹模和凸模型腔壁的接触面积；

$\tau'$ ——闭模传热率，对注塑周期  $\theta_c$ 、充模时间  $\theta'$  和冷却时间  $\theta$  有

$$\tau' = \frac{\theta' + \theta}{\theta_c} \quad (4.9-36)$$

$\alpha'$ ——塑料件与模具型腔壁之间的传热系数，取  $\alpha' = 430\text{W/m}^2\cdot\text{℃}$ 。

据传热学原理，由平均温差  $(t_1 - t_3)_m$  可求得模具型腔壁的平均温度  $t_{3m}$  (见图 4.9-14)。一个高温物体与另一个低温物体进行热交换时，可以应用对应温度平均值求得平均的温度差

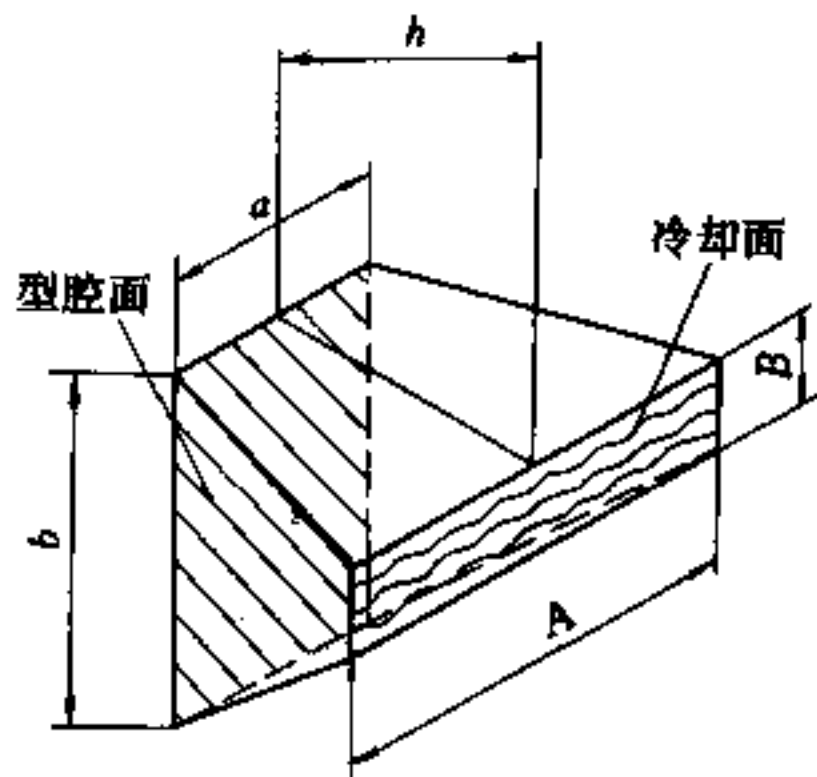


图 4.9-13 型腔面与冷却面间热阻抗示意图

$$(t_1 - t_3)_m = \frac{0.4343 [(t_{1\max} - t_{3\min}) - (t_{1\min} - t_{3\max})]}{\lg \left( \frac{t_{1\max} - t_{3\min}}{t_{1\min} - t_{3\max}} \right)} \quad (4.9-37)$$

详见图 4.9-15 中冷却系统计算中的各种温度的关系示意图。 $t_{1\max}$  和  $t_{1\min}$  为塑件的最高和最低温度。 $t_{3\max}$  和  $t_{3\min}$  为在一个注塑周期中型腔壁的最高和最低温度。可由图 4.9-14 中的纵轴  $(t_{1\max} - t_{3\min})$  和横轴  $(t_1 - t_3)_m$  的交点，找到差值  $t_{1\min} - t_{3\max}$ 。在设定温度时，必须使  $t_{1\min} > t_{3\max}$ 。由图 4.9-14 上获知  $t_{3\max}$ ，计算得  $t_{3m}$  代入式 (4.9-34) 可得管壁  $t_{4m}$ 。

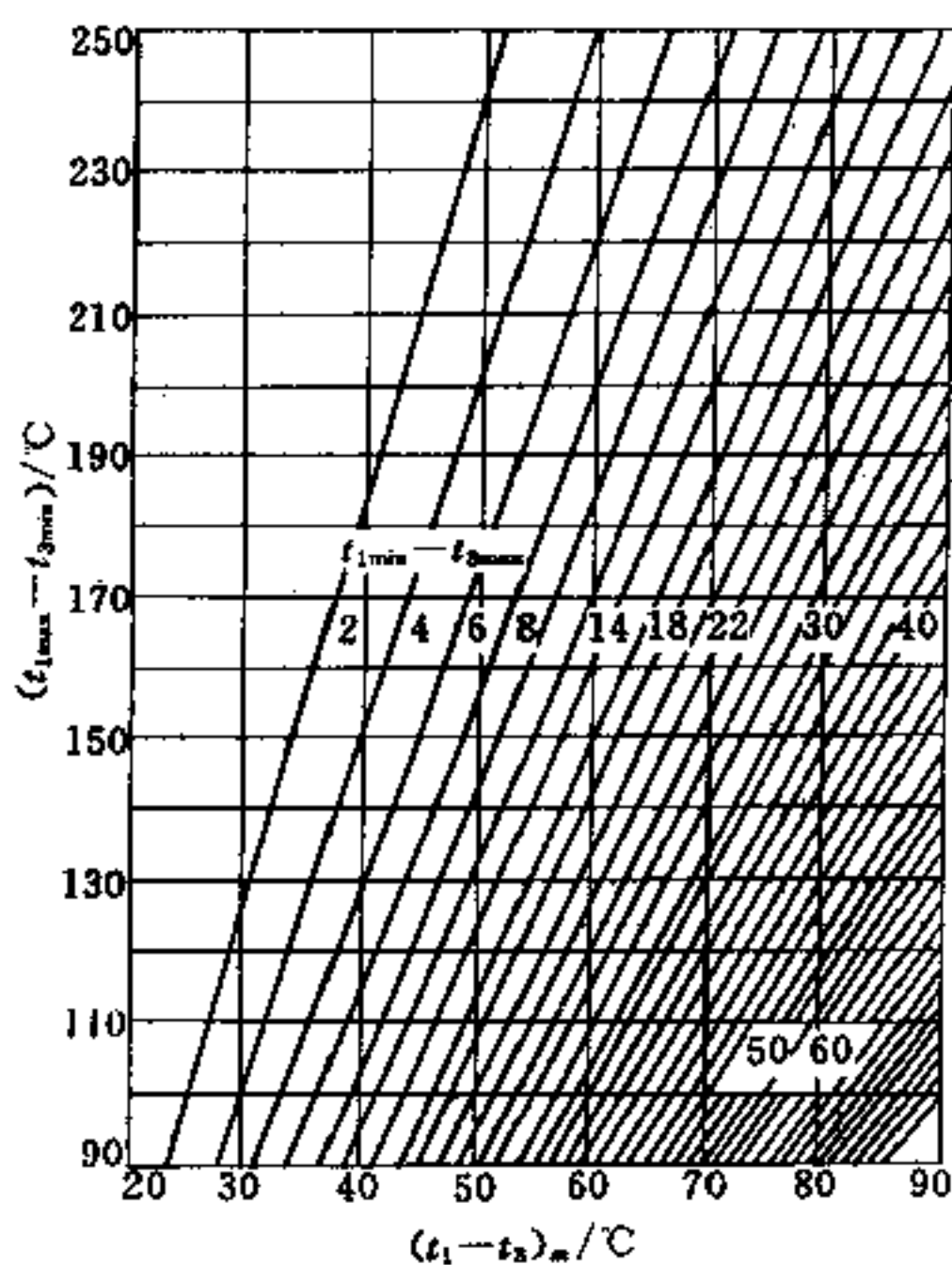


图 4.9-14 确定温差  
( $t_{1\min} - t_{3\max}$ ) 线图

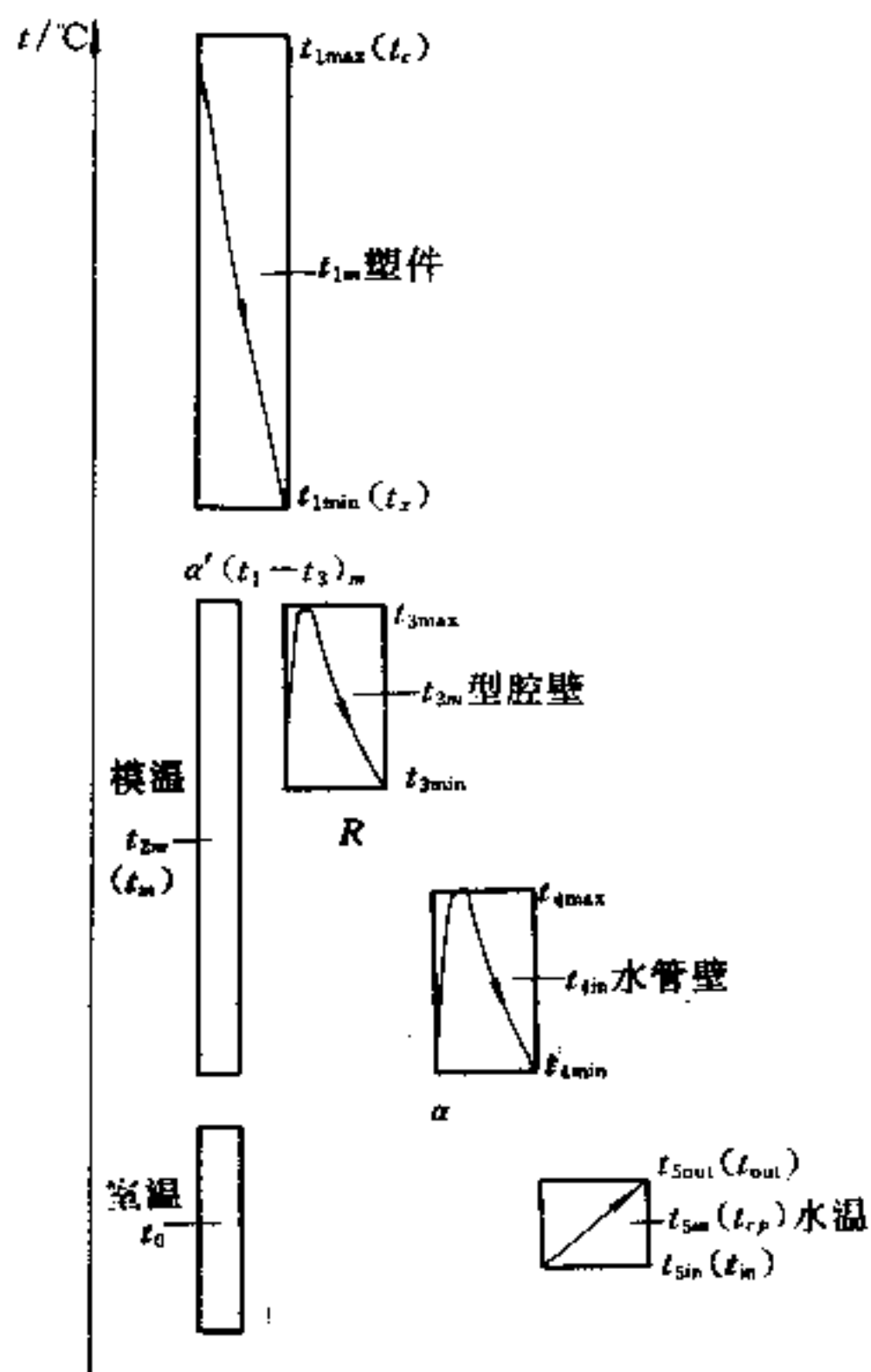


图 4.9-15 冷却系统计算  
中各种温度关系示意图

## 2. 传热系数计算

冷却水孔壁与冷却水界面热对流的传热系数  $\alpha$ ，可根据化工原理中低粘度流体的强制湍流状态计算

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} \left( \frac{v\rho d}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{C_P \mu}{\lambda} \right)^{0.4} = 0.023 \frac{\lambda}{d} Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (4.9-38)$$

其中， $\alpha$  为冷却水界面传热系数 ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )； $\rho$  为冷却水在一定温度下的密度 ( $kg/m^3$ )； $v$  为冷却水流速 ( $m/s$ )； $\lambda$  为冷却水在一定温度下的导热系数 ( $W/m \cdot ^\circ C$ )； $C_P$  为冷却水在一定温度下的比热容 ( $J/kg \cdot ^\circ C$ )； $\mu$  为冷却水在一定温度下的粘度 ( $N \cdot s/m^2$ )； $Pr$  为普兰特准数，表征物理性能影响； $Re$  为雷诺准数，确定流动状态。



由于  $\rho$ 、 $\lambda$ 、 $C_p$ 、 $\mu$  和  $P_r$  均为温度的函数，定性温度取冷却液进出口温度的算术平均值，在常温常压下可查表 4.9-7。

表 4.9-7 水的物理性质

温度 $t/^\circ\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	比热容 $C_p/(\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1})$	粘度 $\mu/(\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2})$	导热系数 $\lambda/(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1})$	$P_r$
0	999.9	4225	0.001790	0.558	13.55
5	1000.0	4206	0.001519	0.568	11.25
10	999.7	4194	0.001305	0.577	9.49
15	999.1	4186	0.001140	0.587	8.13
20	998.2	4181	0.001001	0.597	7.01
25	997.1	4178	0.000894	0.606	6.16
30	995.7	4176	0.000801	0.615	5.44
35	994.1	4175	0.000723	0.625	4.83
40	992.2	4175	0.000653	0.633	4.31
45	990.2	4176	0.000599	0.640	3.91
50	998.1	4177	0.000549	0.647	3.54
55	985.7	4178	0.000506	0.652	3.24
60	983.2	4177	0.000471	0.658	2.99
65	980.6	4175	0.000436	0.663	2.75
70	977.8	4186	0.000406	0.668	2.54
75	974.9	4189	0.000380	0.671	2.37

对于非圆形断面水孔，可以当量半径计算

$$d_e = \frac{4S}{C} \quad (\text{m}) \quad (4.9-39)$$

式中  $S$ ——冷却水孔截面积 ( $\text{m}^2$ );

$C$ ——冷却水孔周长 (m)。

### 3. 冷却水孔表面积计算

由牛顿冷却定律可知，单位时间内模具给予冷却水的热量

$$Q = 3.6\alpha\phi (t_{4m} - t_{5m}) \quad (\text{kJ/h}) \quad (4.9-40)$$

式中  $\phi$ ——所需冷却水管表面积，指有效传热面积 ( $\text{m}^2$ );

$t_{4m}$ ——冷却孔壁的平均温度 ( $^\circ\text{C}$ );

$t_{5m}$ ——冷却水的平均温度 ( $^\circ\text{C}$ );

$\alpha$ ——传热系数 ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ )。

携走热量  $Q$  在许多模具中分别对凹模  $Q_G$  和凸模  $Q_K$  计算。对多数圆孔管道的传热面积

$$\phi = \pi dl$$

所以，用式 (4.9-40) 和式 (4.9-41) 可求得冷却管道的长度  $l$  (m)。

冷却水的平均温度  $t_{5m}$ ，由进水温度  $t_{5in}$  和出水温度  $t_{5out}$  确定， $t_{5m} = 0.5 (t_{5in} + t_{5out})$ 。

进水温度由工艺控制要求设定， $(t_{5out} - t_{5in})$  值必须作限制，并用来计算所需冷却水流量。因此，由传热学理论

$$Q = 3600 \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) v C_{p\rho} (t_{5out} - t_{5in}) \quad (\text{kJ/h})$$

得到温差

$$t_{5out} - t_{5in} = \frac{Q}{900\pi d^2 C_{p\rho} v} \quad (4.9-41)$$

式中， $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ )、 $C_p$  ( $\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ ) 应根据平均水温  $t_{5m}$  查表 4.9-7 代入。 $v$  为管中冷却水流速 ( $\text{m/s}$ )， $Q$  以 ( $\text{kJ/h}$ ) 单位代入。相对应的体积流量

$$V = \frac{Q}{C_{p\rho} (t_{5out} - t_{5in})} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (4.9-42)$$

#### 4. 冷却参数校核计算

##### (1) 湍流校核

$$Re = \frac{vd\rho}{\mu} \geq (6000 \sim 10000)$$

该雷诺准数  $Re$ ，用平均水温  $t_{5m}$  查表 4.9-7，以流速  $v$  ( $\text{m/s}$ )；管径  $d$  ( $\text{m}$ )；密度  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ )；粘度  $\mu$  ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ) 计算之。尚须分别对凹模和凸模的冷却系统流动状态分别校核。

##### (2) 模内冷却水压降校核

工艺控制的进水压力必须保证高于管道内水压降  $\Delta P$ 。 $\Delta P$  可根据流体力学公式计算

$$\Delta P = 32\mu v (l + l') d^{-2} \quad (\text{Pa}) \quad (4.9-43)$$

式中， $\mu$  ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ) 为  $t_{5m}$  下的粘度，查表 4.9-7。管长  $l$  ( $\text{m}$ ) 和管径  $d$  ( $\text{m}$ ) 及流速  $v$  ( $\text{m/s}$ ) 为已知。 $l'$  是冷却回路孔径变化或改向，引起局部阻力的当量长度 ( $\text{m}$ )。其值由表 4.9-8 中的管径  $d$  的倍数折算得。

表 4.9-8 当量长度  $l'$

湍流状态	45°转弯	90°转弯	180°U形弯头	三通改向
$l'/\text{m}$	15d	30d	60d	(60-90)d

**【例】** 有一用 HDPE 生产筐篓的注塑模。其制品尺寸与结构如图 4.9-16 所示。已知制品壁厚为 2mm，且四侧面均有 30% 的网孔。试设计该模具的冷却系统，分别求出所需冷却孔直径  $d$ ，传热面积  $\phi$ ，冷却回路长度  $l$ 。并校验该冷却回路是否处于湍流状态？

**【解】** 该注塑模冷却系统设计有以下结果。

##### a. 塑件重量和注射周期计算

$$\text{大侧面积} \quad 2 \times 42.5 \times 20 = 1700\text{cm}^2$$

$$\text{小侧面积} \quad 2 \times 27.5 \times 20 = 1100\text{cm}^2$$

$$\text{底面积} \quad 40 \times 25 = 1000\text{cm}^2$$

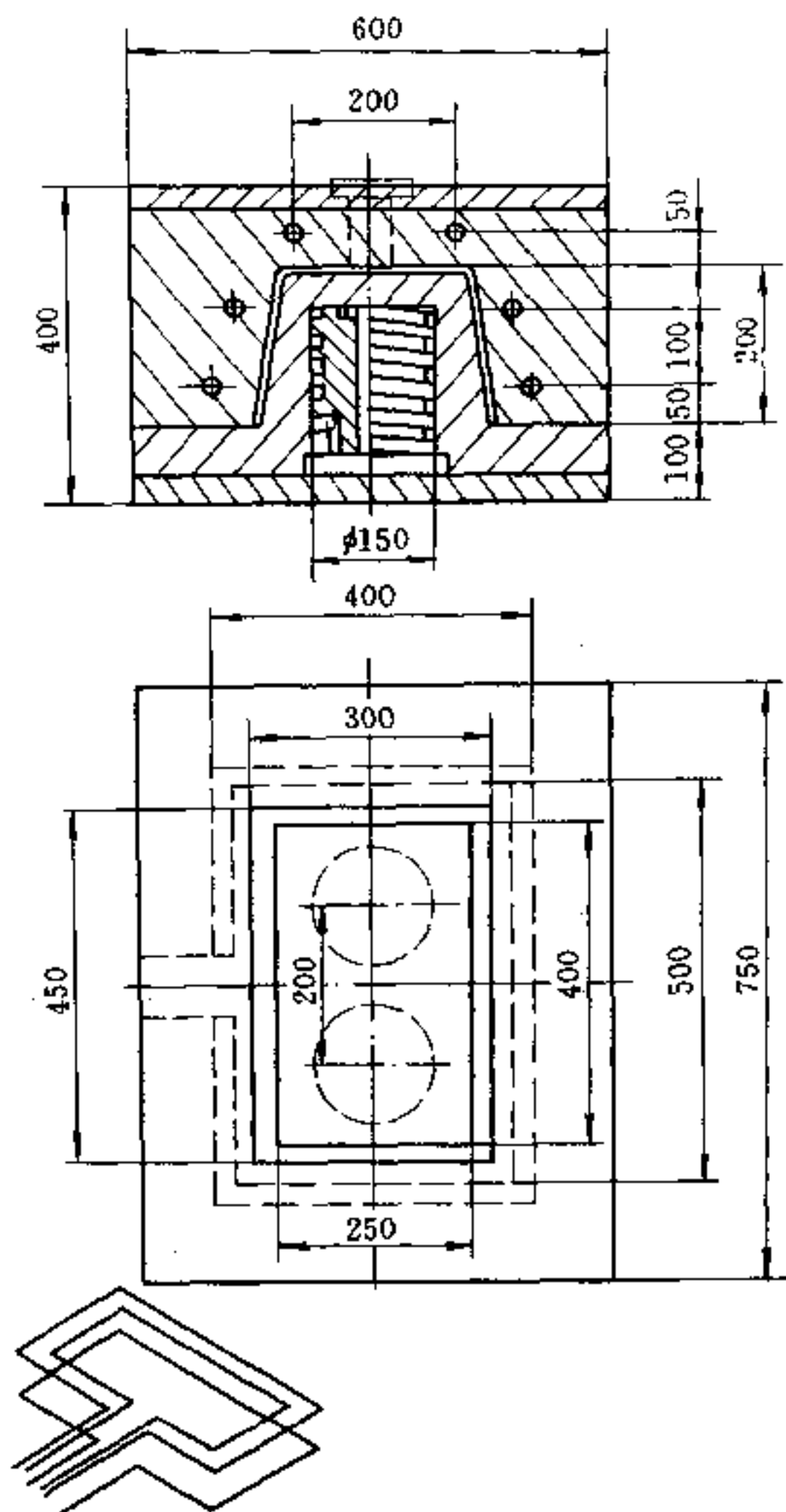


图 4.9-16 筐篓注塑模

由此得制品重量  $[(1-0.3)(1700+1100)+1000] \times 0.2 \times 0.96 = 568\text{g}$  加上浇注系统凝料, 每次注射量  $G = 0.65\text{kg}$ 。

所需冷却时间由式 (4.9-16), 板件  $H = 2\text{mm}$ ,  $t_c = 230^\circ\text{C}$ ,  $t_m = 60^\circ\text{C}$ 。得

$$\theta = 0.7998 \times 2^2 \left( \frac{230 + 28.9}{185.6 - 60} \right) = 6.6\text{s}$$

取冷却时间  $\theta = 8\text{s}$ , 充模时间  $\theta' = 5\text{s}$ , 模具闭合时间  $\theta_{\text{co}} = 13\text{s}$ , 注塑周期  $\theta_e = 20\text{s}$ 。

由此得每小时注射次数  $n = \frac{3600}{20} = 180$ 。

b. 确定凹模和凸模冷却系统各需携出热量

由式 (4.9-21) 和表 4.9-6,  $C_p = 2.2\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $L_E = 243\text{kJ}/\text{kg}$ 。拟定  $t_{1\text{max}} = t_c = 230^\circ\text{C}$ ,  $t_{1\text{min}} > t_m$ ,  $t_{1\text{min}} = 76^\circ\text{C}$ 。有

$$Q = 180 \times 0.65 [2.2 (230 - 76) + 243] = 68070\text{kJ}/\text{h}$$

由图 4.9-16 得模具四侧面积  $F = 1.08\text{m}^2$ , 两对合面积  $F_i = 0.9\text{m}^2$ 。又  $\theta_e = 20\text{s}$ ,  $\theta_{co} = 13\text{s}$ , 代入式 (4.9-24) 得开模率  $\tau = \frac{20-13}{20} = 0.35$ 。

由式 (4.9-23), 代入模具平均温度  $t_{2m} = t_m = 60^\circ\text{C}$ , 室温  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ 。得空气对流所散发的热量

$$Q_c = 4.1868 \left( 0.25 + \frac{360}{60+300} \right) (1.08 + 0.9 \times 0.35) (60 - 20)^{\frac{4}{3}} = 1000\text{kJ/h}$$

由式 (4.9-25) 得模具辐射所散发热量

$$Q_R = 20.767 \times 1.08 \times 0.05 \left[ \left( \frac{273+60}{100} \right)^4 - \left( \frac{273+20}{100} \right)^4 \right] = 55\text{kJ/h}$$

再由模具两个底面积  $F_i = 0.9\text{m}^2$ , 钢模具传热系数  $\beta = 140\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ , 代入式 (4.9-26) 得模具向注塑机台面传热量

$$Q_L = 3.6 \times 140 \times 0.9 (60 - 20) = 18144\text{kJ/h}$$

略去喷嘴向模具的传热, 由式 (4.9-28) 可得冷却液应从模具中携走热量

$$Q = 68070 - (1000 + 55 + 18144) = 48871\text{kJ/h}$$

由于此塑件轮廓简单, 按式 (4.9-29) 近似处理为凹模与凸模所携走热量分别

$$Q_G = 0.4 \times 48871 = 19600\text{kJ/h}$$

$$Q_k = 0.6 \times 48871 = 29300\text{kJ/h}$$

c. 冷却回路计算

先计算凹模的冷却系统, 凹模上冷却孔位置和孔径初定后, 由式 (4.9-33) 得

$$\frac{1}{R_G} = 4 \left( \frac{\lambda}{1.15} + \frac{\lambda}{1.44} \right) + 2 \left( \frac{\lambda}{0.92} \right) = 8.43\lambda$$

此三项热阻抗分别用式 (4.9-31) 计算, 其中  $h = 0.05\text{m}$ 。第一项为大侧面  $B = 0.5\text{m}$ ,  $a = 0.2\text{m}$ , 得  $R_1 = 1.15^\circ\text{C/W}$ 。小侧面  $B = 0.4\text{m}$ ,  $a = 0.2\text{m}$ , 得  $R_2 = 1.44^\circ\text{C/W}$ 。顶面  $B = 0.5\text{m}$ ,  $a = 0.25\text{m}$ , 得  $R_3 = 0.92^\circ\text{C/W}$ 。再将钢的导热系数  $\lambda = 48\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$  代入, 得凹模热阻抗  $R_G = 2.47 \times 10^{-3}^\circ\text{C/W}$ 。

用式 (4.9-35) 计算塑件与型腔间温差平均值。由式 (4.9-36) 得闭模传热率  $\tau' = (5+8)/20 = 0.65$ 。塑件与凹模型腔的接触面积  $f_G = (0.17 + 0.11 + 0.10) = 0.38\text{m}^2$ 。给热系数  $\alpha' = 430\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ 。得凹模温差平均值

$$(t_1 - t_3)_{mG} = \frac{Q_G}{3.6\alpha'f_G\tau'} = \frac{19600}{3.6 \times 430 \times 0.38 \times 0.65} = 51^\circ\text{C}$$

HDPE 熔体最高温度  $t_{1\max} = 230^\circ\text{C}$ 。设模具  $t_{3\max} = 70^\circ\text{C}$ 、 $t_{3\min} = 50^\circ\text{C}$ 。则  $t_{1\max} - t_{3\min} = 230 - 50 = 180^\circ\text{C}$ , 与上面解得  $(t_1 - t_3)_{mG} = 51^\circ\text{C}$  去查图 4.9-14, 得到  $t_{1\min} - t_{3\max} = 6^\circ\text{C}$ , 由此得知  $t_{1\min} = 76^\circ\text{C}$ 。由上  $t_{3\max}$  和  $t_{3\min}$ , 得模具平均温度  $t_{3m} = 0.5 (70 + 50) = 60^\circ\text{C}$ 。

根据  $t_{3m}$  可求得水孔壁的平均温度, 由式 (4.9-34)

$$t_{4m} = t_{3m} - Q_G (0.278R_G) = 60 - 19600 (0.278 \times 2.47 \times 10^{-3}) = 46.5^\circ\text{C}$$

按生产时季节和进水的工艺控制条件, 设定进水温度  $t_{5in} = 18^\circ\text{C}$ , 温差控制在  $5^\circ\text{C}$  左右, 出水  $t_{5out} = 23^\circ\text{C}$ , 则平均水温  $t_{5m} = 20.5^\circ\text{C}$ 。由此温度, 查表 4.9-7 得  $C_p =$

4.181kJ/(kg·°C),  $\rho = 998.2\text{kg/m}^3$ 。由式 (4.9-42) 得凹模所需冷却水体积流量

$$V_G = \frac{19600}{4.181 \times 998.2 (23 - 18)} = 0.939\text{m}^3/\text{h} = 0.0157\text{m}^3/\text{min}$$

查表 4.9-2, 由  $\bar{V}_G$  得管道直径  $d = 25\text{mm}$ 。可代入式 (4.9-5) 计算得管内冷却水流速

$$v = 0.0202 \left( \frac{0.0157}{0.025^2} \right) = 0.51\text{m/s}$$

计算冷却管壁的给热系数, 从表 4.9-7 中查得  $\lambda = 0.597\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\mu = 0.001001\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ , 由式 (4.9-38) 得

$$\begin{aligned} \alpha &= 0.023 \frac{0.597}{0.025} \left( \frac{0.51 \times 998.2 \times 0.025}{0.001001} \right)^{0.8} \left( \frac{4181 \times 0.001001}{0.597} \right)^{0.4} \\ &= 0.5492 (12714)^{0.8} (7.01)^{0.4} = 2299\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

即可由  $Q_G$  求出所需冷却水孔表面积  $\phi$ , 将式 (4.9-40) 变换成

$$\phi_G = \frac{Q_G}{3.6\alpha (t_{4m} - t_{5m})} = \frac{19600}{3.6 \times 2299 (46.5 - 20.5)} = 0.0911\text{m}^2$$

由此得圆管道长度

$$l_G = \frac{\phi}{\pi d} = \frac{0.0911}{3.14 \times 0.025} = 1.161\text{m}$$

见图 4.9-16 模具的冷却水管有三层, 总长约 4.6m, 能满足要求。

#### d. 校核计算

从以上计算,  $t_{5m} = 20.5^\circ\text{C}$  的冷却水雷诺数  $Re = 12714 \geq 10^4$ , 属稳定的湍流状态。

由图 4.9-16 可知, 管道有 12 次  $90^\circ$  转弯。从表 4.9-8 得当量长度  $l' = 12 \times 30d = 9\text{m}$ 。再按式 (4.9-43) 代入

$$\Delta P = 32 \times 0.001001 \times 0.51 (1.161 + 9) \times 0.025^{-2} = 265.6\text{Pa}$$

远小于常用自来水压力。

以相同的方法可计算出凸模冷却系统回路。考虑到需从凸模中带走  $Q_K = 29300\text{kJ}/\text{h}$ , 及装有螺旋式冷却回路的情况。当  $\lambda = 48\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ,  $L_c = 0.25\text{m}$ ,  $d_2 = 0.25\text{m}$ ,  $d_1 = 0.15\text{m}$ , 代入式 (4.9-32) 及式 (4.9-33) 得凸模热阻抗  $R_K = 3.36^\circ\text{C}/\text{W}$ 。冷却水孔壁  $t_{4m} = 60 - 29300 \times 0.278 \times 3.36 \times 10^{-3} = 32.6^\circ\text{C}$ 。凸模所需冷却水流量  $V_K = 14.5 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{min}$ 。由此得  $d = 25\text{mm}$  和  $v = 0.53\text{m/s}$ 。根据式 (4.9-40) 算得所需传热面积  $\phi_K = 0.33\text{m}^2$ 。由此计算得  $l_K = 4.16\text{m}$ , 现螺旋长度 4.7m, 符合使用要求。校核计算得雷诺准数  $Re = 13250 > 10^4$ ; 凸模回路中水压降  $\Delta P = 208\text{Pa}$ , 均符合要求。

## 4.9.5 加热功率计算

### 一、加热装置设计

注塑模的加热装置通常采用以下两种形式。

(1) 热水或过热水加热 其结构和设计原则与冷却水管道设计无异, 只不过将冷却水改为热水或过热水。这对于开车前需要加热、正常生产一段时间后又需要冷却的大型注塑模来说尤其方便。模温要求在  $80^\circ\text{C}$  以上时, 最好使用过热水。热水和过热水加热, 可使整个模温分布较均匀, 有利于制品质量的提高, 但模温调节的滞后期较长。

(2) 电热棒加热 可在模具上的适当部位钻孔, 将电热棒插入。并接入热电偶, 可方便地与温度调节器相连进行温度自动控制。也有与调压变压器相连进行人工温度调节。这种加热系统的结构简单使用方便, 且热损失少, 使用普遍。但电热棒加热易产生局部过热现象, 在加热装置设计时应充分注意。

## 二、加热功率

### 1. 电加热模具或流道板所需总功率

可按下式计算

$$W = \frac{GC_P (t_m - t_0)}{3600 \eta \tau} \quad (\text{kW}) \quad (4.9-44)$$

其中,  $G$  为模具重量 (kg);  $C_P$  为模具材料比热容, 碳钢为  $0.46 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $t_m$  为所要求的模具温度 ( $^\circ\text{C}$ );  $t_0$  为室温 ( $^\circ\text{C}$ );  $\eta$  为加热器效率,  $\eta = 0.3 \sim 0.5$ ;  $\tau$  为加热升温时间 (h)。

### 2. 电加热模具所需总功率的检验式

$$W \geq 0.24G (t_m - t_0) \quad (\text{W}) \quad (4.9-45)$$

### 3. 电加热模具所需总功率的经验式

$$W = G \cdot q \quad (\text{W}) \quad (4.9-46)$$

式中,  $q$  ( $\text{W}/\text{kg}$ ) 是加热单位重量模具至所需温度的电功率, 其值可由表 4.9-9 选取。

表 4.9-9 不同类型模具  $q$  值

模具类型	$q$ 值/ ( $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
	采用加热棒	采用电热圈
小型	25	40
中型	30	50
大型	35	60

### 4. 所需电热棒根数

$$n = \frac{W}{P_e} \quad (4.9-47)$$

式中  $P_e$ ——电热棒额定功率 (W)。

电热棒的额定功率及其名义尺寸, 可根据模具结构及其所允许的钻孔位置, 由表 4.9-10 选取。

表 4.9-10 电热棒外形尺寸与功率

名义直径 $d_1/\text{mm}$	13 16		18 20 25			32 40 50		
允许误差/mm	$\pm 0.1$		$\pm 0.12$			$\pm 0.2 \pm 0.3$		
盖板 $d_2/\text{mm}$	8 11.5		13.5 14.5 18			26 34 44		
槽深 $a/\text{mm}$	1.5 2		3			5		
长度 $L/\text{mm}$	功率/W							
$60_{-0.3}^0$	60	80	90	100	120			
$80_{-0.3}^0$	80	100	110	125	160			

(续)

100 - $\frac{0}{3}$	100	125	140	160	200	250		
125 - $\frac{0}{4}$	125	160	175	200	250	320		
160 - $\frac{0}{4}$	160	200	225	250	320	400	500	
200 - $\frac{0}{4}$	200	250	280	320	400	500	600	800
250 - $\frac{0}{5}$	250	320	350	400	500	600	800	1000
300 - $\frac{0}{5}$	300	375	420	480	600	750	1000	1250
400 - $\frac{0}{5}$		500	550	630	800	1000	1250	1600
500 - $\frac{0}{5}$			700	800	1000	1250	1600	2000
650 - $\frac{0}{6}$				900	1250	1600	2000	2500
800 - $\frac{0}{8}$					1600	2000	2500	3200
1000 - $\frac{0}{10}$					2000	2500	3200	4000
1200 - $\frac{0}{10}$						3000	3800	4750

## 4.10 注射模与注射机的关系

注射机由塑化装置、合模部件和控制系统三部分组成。

### 4.10.1 注射机技术参数

伴随着注塑工艺发展,注射机向大型化、微型化、高速、高度自动化和专用化方向发展。

#### 一、注射机种类

注射机的注射装置有柱塞式和螺杆式两种。柱塞式注射装置的塑化质量差;料筒内压力损失为注射压力 30% ~ 50%;注射速度先慢后快;大多用于小注射量的立式注射机。螺杆式注射装置配有适用各种塑料熔体的螺杆 2~3 根。有的配有新型螺杆,也已有专用的排气螺杆。注射装置的机座可以前后移动。按注射工艺要求实现固定加料,前加料或后加料。注塑装置的喷嘴是与模具直接作用的部件,喷嘴的结构形式很多,可分成直通式和自锁式两类。始终敞开的直通式喷嘴,对于各种粘度物料,为适应各模具的型腔厚度和流程比,满足补缩等工艺,需要有多种结构形式。自锁式喷嘴的喷孔,除了注射和保压两个阶段打开外,其余时间是关闭的。喷嘴的外球面和孔径,必须与模具主流道杯上凹球坑和孔径相吻合。模具上的定位圈必须与注塑机定模板的中心孔密配。

注塑机的合模部件有液压机械式和全液压两类。液压机械式是由油缸的活塞杆驱动单肘或双肘机构,以肘机构实现运动特性和增力作用,且有自锁能力。其较小行程是定值,需要调模机构适应模具高度小范围变化,并调整锁模力。它用于中小型注射机。大型注射机采用全液压合模装置,所需运动和力学特性由复杂的液压系统实现,其行程大且可调节。塑机的动模板可在任意位置停留,直接由油路压力获得锁模力。

尽管卧式注射机占大多数,但也有立式注射机在生产中应用。两者区别对模具设计

关系重大,如脱模机构和型腔板等零部件的自重,塑件和浇道凝料的坠落或取出,嵌件的装固等。因此,要作不同的处置。

通用注塑机按加工能力、注射装置和合模部件的结构及控制系统分类,见表 4.10-1 和图 4.10-1。

表 4.10-1 按注射机成型能力分类

类 型	锁模力/kN	理论注射容积/cm <sup>3</sup>
超小型	160 以下	16 以下
小 型	160~2000	16~630
中 型	2500~4000	800~3150
大 型	5000~12500	4000~10000
超大型	16000 以上	16000 以上

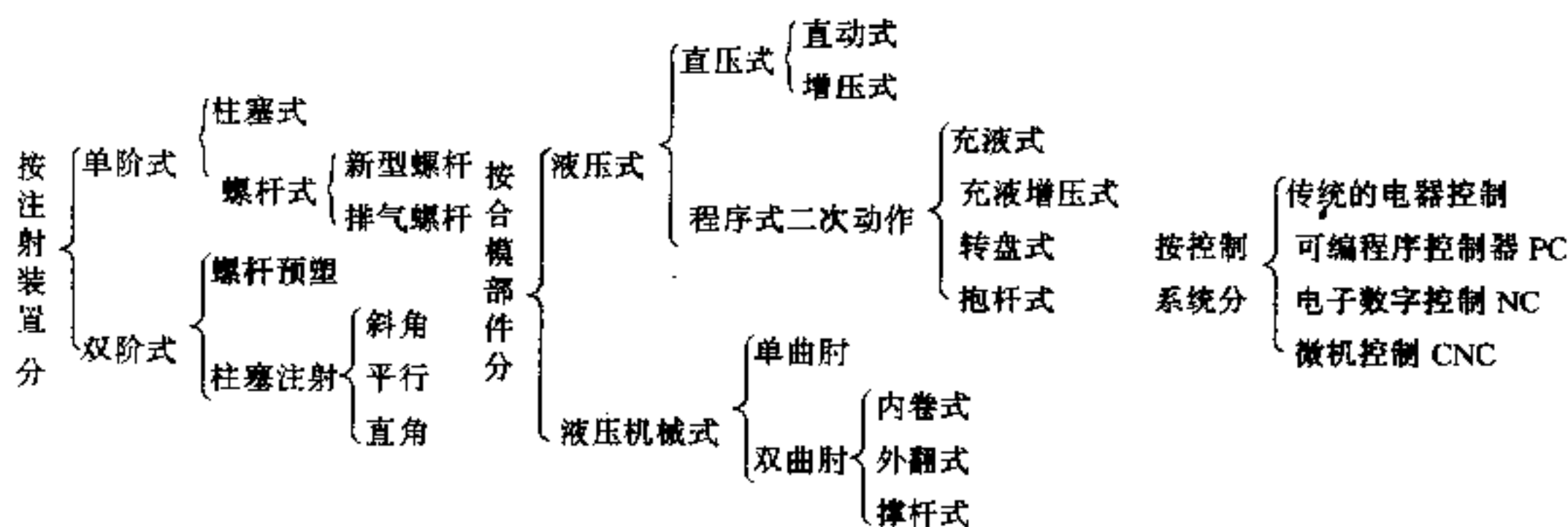


图 4.10-1 注射机的分类

随着现代电子技术发展,注射机控制系统升级换代较快。微型计算机或单板机控制的注射机已较常见。其控制系统由 CPU、存储器、显示器等组成。并有初始化和调试、注射和模具动作、压力和速度控制、数字 PID 调节、油路和诊断等功能软件。注射机工艺参数控制精度高,产品质量及一致性好。电子计时精度 0.1s 之内,制品重量误差在 0.2% 以下。塑件尺寸误差在  $\pm 0.03\% \sim \pm 0.05\%$  以下。温度和压力精度在  $2 \sim 5^\circ\text{C}$  和  $1 \times 10^5 \text{Pa}$  之内。微机控制注射机可集中监控,也可显示和存储几十种工艺参数。采用比例电磁阀等液压元件,实现了连续平滑控制,避免了零部件的冲击,延长了使用寿命。而且控制系统工作可靠。配置了精密注射模后可实现高精度塑件的注塑。

## 二、注塑机的技术参数

近年来我国引进注塑机的机型很多,国内注塑机生产厂的新机型也日益增多。掌握使用设备的技术参数是模具设计和生产必需的技术准备。

### 1. 注塑装置技术参数

(1) 螺杆直径 螺杆的外径尺寸 (mm), 以  $D$  表示;

(2) 螺杆有效长度 螺杆上有螺纹部分的长度 (mm), 以  $L$  表示;

(3) 螺杆长径比  $L/D$ ;

(4) 螺杆压缩比, 螺杆加料段第一个螺槽容积  $V_2$  与计量段最末一螺槽容积  $\bar{V}_1$  之比,  $V_2/V_1$ ;



- (5) 注射行程 螺杆注射移动最大距离, 也即螺杆计量时后退最大距离 (cm);
- (6) 理论注射容积 螺杆 (或柱塞) 头部截面积与最大注射行程的乘积 ( $\text{cm}^3$ );
- (7) 注射量 螺杆 (或柱塞) 一次注射 PS 的最大质量 (g), 或注射的最大容积 ( $\text{cm}^3$ );
- (8) 注射压力 注射时螺杆 (或柱塞) 头部给预塑料的最大压力 ( $\text{N}/\text{m}^2$ );
- (9) 注射速度 注射时螺杆 (或柱塞) 移动的最大速度 (mm/s);
- (10) 注射时间 注射时螺杆 (或柱塞) 走完注射行程的最短时间 (s);
- (11) 注射速率 单位时间内注射的理论容积, 螺杆 (或柱塞) 截面积乘以螺杆 (或柱塞) 的最大速度 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ );
- (12) 螺杆转速 物料塑化时螺杆最低与最高转速 (r/min);
- (13) 塑化能力 单位时间内可塑化 PS 物料的最大质量 (kg/h);
- (14) 螺杆扭矩 物料塑化时驱动螺杆的最大扭矩 ( $\text{N}\cdot\text{m}$ );
- (15) 螺杆驱动功率 物料塑化时驱动螺杆的最大功率 (kW);
- (16) 喷嘴接触力 喷嘴与模具的最大接触力, 即注射座推力 (kN);
- (17) 喷嘴伸出量 喷嘴伸出前模板即模具安装面的长度 (mm);
- (18) 料筒加热功率 料筒和喷嘴加热总功率 (kW); 此外, 还有料筒和喷嘴加热方式和加热分段; 螺杆驱动方式; 螺杆头和喷嘴结构; 喷嘴孔径和球面半径等。

## 2. 合模部件技术参数

- (1) 锁模力 为克服塑料熔体涨模, 给模具的最大锁模力 (kN);
- (2) 成型面积 在一定的型腔压力下, 与锁模力对应的在分型面上最大的型腔投影面积 ( $\text{cm}^2$ );
- (3) 开模力 模具具有的开启力 (kN);
- (4) 开模行程 模具的动模可移动的最大距离 (mm);
- (5) 开模 (合模) 速度 开模 (合模) 时动模板移动的最高速度 (m/s);
- (6) 模板尺寸 定模板和动模板的安装平面的外形尺寸 (mm);
- (7) 模具最大尺寸 注塑机上能安装模具的最大外形尺寸 (mm);
- (8) 模具最大 (最小) 厚度 注塑机上能安装闭合模具的最大 (最小) 厚度 (mm);
- (9) 模板最大 (最小) 开距 定模板与动模板之间的最大 (最小) 间距 (mm);
- (10) 拉杆间距 注塑机拉杆的水平方向和垂直方向内侧的间距 (mm);
- (11) 顶出行程 顶出装置顶出时的最大位移 (mm);
- (12) 顶出力 顶出装置顶出时的最大推力 (kN)。

此外, 还有合模方式, 顶出方式和调模方式等。

## 3. 整机性能参数

- (1) 泵电机的额定功率 (kW);
- (2) 单耗 单位时间耗能 (kW/h);
- (3) 空循环周期或空循环次数 注塑机在不加入塑料物料时一次循环的最短时间或每小时循环次数;
- (4) 料斗容量 料斗内贮料的有效容积 ( $\text{dm}^3$ );

(5) 油箱容量 ( $\text{m}^3$ );

(6) 体积 整机外形长 (m)  $\times$  宽 (m)  $\times$  高 (m)。

此外, 模具温度控制装置, 也称模具恒温器, 是精密注射不可少的附属装置。它通过插入模具的热电偶, 进行模具温度的检测。对进入模具的冷却水按设定的水温要求, 进行加热或冷却, 且可保证进水的压力和流量, 对动模和定模两套模温控制系统尤其适用。

#### 4.10.2 工艺参数校核

在模具设计前, 应对注射机的注射量、注射压力和锁模力等工艺参数进行校核。

##### 一、注射量校核

(1) 注射量以容积表示

$$\begin{aligned} \text{最大注射容积} & V_{\max} = \alpha V \\ \text{可得最大注射质量} & G_{\max} = \rho V_{\max} = \alpha \rho V \end{aligned} \quad (4.10-1)$$

(2) 注射量以质量表示

$$\begin{aligned} \text{最大注射容积} & V_{\max} = \frac{\alpha G}{\rho_{\text{PS}}} \\ \text{可得最大注射质量} & G_{\max} = \frac{\alpha \rho G}{\rho_{\text{PS}}} \end{aligned} \quad (4.10-2)$$

其中,  $V_{\max}$  为模具型腔和浇道的最大容积 ( $\text{cm}^3$ );  $G_{\max}$  为模具中塑件和浇注系统凝料的最大质量 (g);  $V$  为注射机型号规格的容积注射量 ( $\text{cm}^3$ ), 等于螺杆头面积乘上注射行程;  $G$  为注射机型号规格的质量注射量 (g), 等于对空注射 PS 熔料的最大质量;  $\rho$  为注射塑料的固态密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $\rho_{\text{PS}}$  为 PS 的固态密度,  $1.05\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $\alpha$  为注射系数, 取  $0.75 \sim 0.85$ , 无定形塑料可取  $0.85$ , 结晶型塑料可取  $0.75$ 。

注射系数  $\alpha$  是因液态塑料密度比固态塑料低。一些结晶型塑料大致低  $15\%$ ; 无定形塑料大约低  $7\%$  左右。如 PS 熔体密度是  $0.97\text{g}/\text{cm}^3$ , 加压后熔体密度  $1.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。即液态塑料的比容比固态大。还需考虑到注射中, 料筒壁与螺杆间间隙处的回流。低粘度物料回流略大些, 并且还有保压补缩的需要。

倘若实际注射量过小, 注射机的塑化能力得不到发挥, 塑料在料筒中停留时间就过长。所以最小注射量  $V_{\min} = 0.25V$ ,  $G_{\min} = 0.25G$ 。故每次注射的实际容积注射量  $V$  或质量  $G'$  应满足

$$\begin{aligned} & V_{\min} < V' < V_{\max} \\ \text{或} & G_{\min} < G' < G_{\max} \end{aligned} \quad (4.10-3)$$

##### 二、锁模力校核

高压塑料熔体刚充满模具型腔时会产生沿开模方向的涨模力。该涨模力大小等于塑件和浇注系统在分型面上投影面积, 乘以分型面上模腔的平均计算压力  $q$ 。模具锁模力必须大于涨模力, 才能防止分型面上产生溢边, 保证塑件在深度方向的尺寸精度, 见图 4.10-2。因此

$$F \geq KAq \quad (4.10-4)$$

其中,  $F$  为注射机的额定锁模力 (kN);  $A$  为塑件与浇注系统在分型面上的总投影面积

( $\text{cm}^2$ );  $q$  为分型面上模腔的计算压力 ( $\text{N}/\text{cm}^2$ );  $K$  为安全系数, 通常取 1.1~1.2。

模腔计算压力  $q$ , 应由本章 4.1.5 节和 4.2.5 节的计算方法进行测算。如图 4.1-9 所示, 模腔最大压力  $q_{\max}$  为主流道末端压力  $P_A$ ; 最低压力  $q_{\min}$  为型腔末端压力  $P_c$ 。模腔计算压力  $q$  常取此两者的平均值。在数据不足时可用经验推测, 常取注射压力  $P_0$  的一半,  $q = 0.5P_0$ , 大致范围为  $(200 \sim 400) \times 10^5 \text{Pa}$ 。粘度较高塑料熔体、精度较高的塑料制品应取较大值。

### 三、最大注射压力校核

注射机的额定注射压力即为它的最高压力  $P_{\max}$ , 应该大于注射机成型所需调用的注射压力  $P_0$ , 即

$$P_{\max} \geq K' P_0 \quad (4.10-5)$$

式中  $K'$ ——安全系数, 常取 1.25~1.4。

所需注射压力  $P_0$  由本章 4.2.5 所述, 由所需型腔压力  $\Delta P_c$ 、浇注系统压力降  $\Delta P_s$  和注射装置中的压力降  $\Delta P_e$  组成, 需分别计算和推测。生产中,  $P_0$  大致在  $(700 \sim 1000) \times 10^5 \text{Pa}$  范围。

## 4.10.3 安装参数校核

### 一、模具厚度校核

模具厚度  $H_m$ , 也称模具闭合高度, 必须满足

$$H_{\max} \leq H_m \leq H_{\min} \quad (4.10-6)$$

式中  $H_{\min}$ ——注射机合模部件允许的最小模厚 (mm), 即注塑机动、定模板间的最小开距;

$H_{\max}$ ——注射机允许的最大模厚 (mm)。

### 二、开模行程校核

开模行程校核与注射机合模部件结构类型有关。

#### 1. 液压-机械合模部件

注射机合模部件的工作行程是曲肘机构的冲程。

##### (1) 单分型面注塑模 (见图 4.10-3)

$$H \geq H_1 + H_2 + 5 \sim 10 \text{mm} \quad (4.10-7)$$

式中  $H$ ——注射机动模板的开模行程 (mm);

$H_1$ ——塑件顶出距离 (mm), 即脱模行程;

$H_2$ ——包括浇注系统凝料在内的塑件高度 (mm)。

##### (2) 双分型面注射模 (见图 4.10-4)

$$H \geq H_1 + H_2 + a + 5 \sim 10 \text{mm} \quad (4.10-8)$$

式中  $a$ ——定模板和型腔板之间分离距离 (mm), 此距离应足以取出浇注系统的凝料。

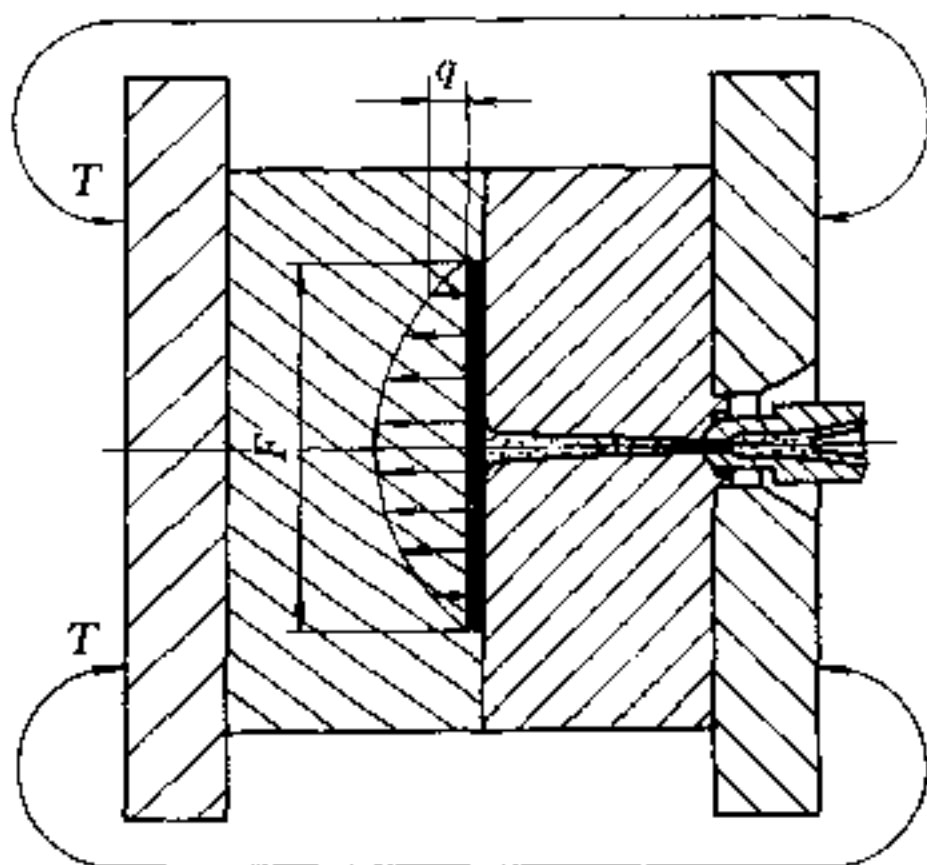


图 4.10-2 涨模力与锁模力

由于模具厚度  $H_m$  已满足式 (4.10-6) 要求, 固定不变的曲肘行程  $H$  在行程校核中与模具厚度无关。

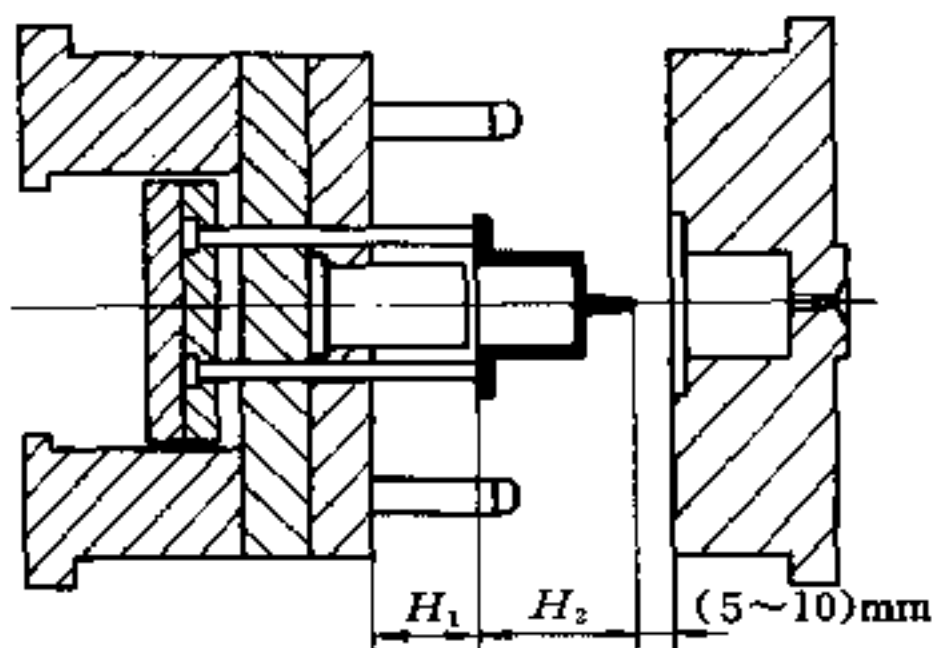


图 4.10-3 单分型面模具的开模行程校核

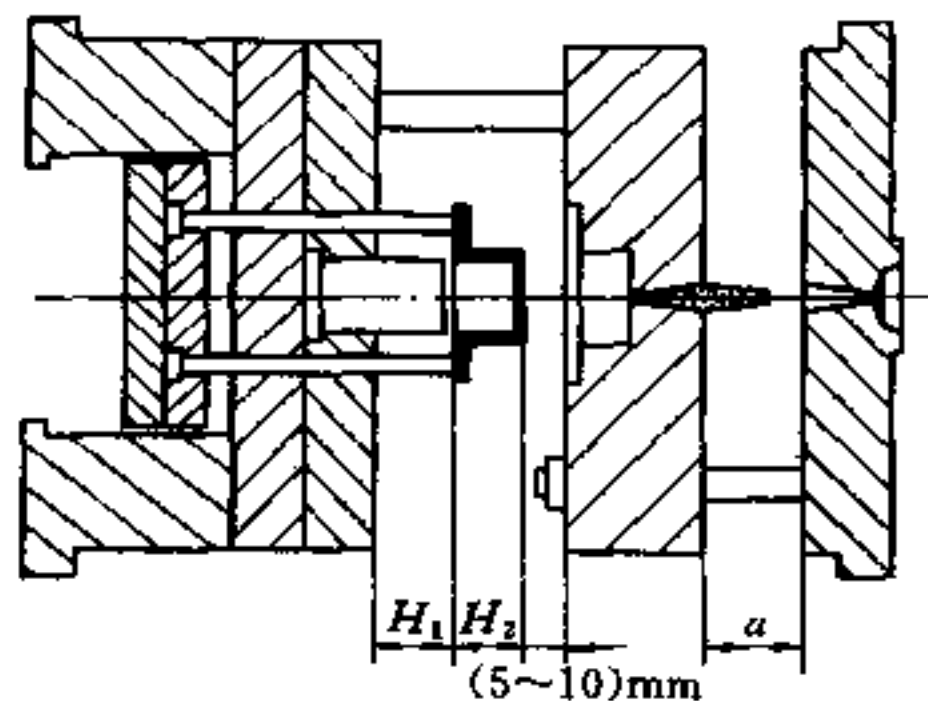


图 4.10-4 双分型面模具的开模行程校核

## 2. 液压合模部件

全液压式, 还有机械的角式注射机的合模部件, 模具行程可以在一定范围内调节。合模部件的行程  $H$ , 等于动、定模板之间的最大开距  $L$  减去模厚  $H_m$ 。若模具厚度增加, 则开模行程减小。如图 4.10-5 所示, 开模行程与模具厚度有关。

### (1) 单分型面注射模

$$H = L - H_m \geq H_1 + H_2 + 5 \sim 10 \text{mm} \quad (4.10-9A)$$

即

$$L > H_m + H_1 + H_2 + 5 \sim 10 \text{mm} \quad (4.10-9B)$$

### (2) 双分型面注射模

$$H = L - H_m \geq H_1 + H_2 + a + 5 \sim 10 \text{mm} \quad (4.10-10A)$$

即

$$L > H_m + H_1 + H_2 + a + 5 \sim 10 \text{mm} \quad (4.10-10B)$$

## 3. 具有机动侧抽机构模具

机动侧抽机构依靠开模行程, 由斜导柱等零件完成侧向分型或抽芯的抽拔距, 如图 4.10-6 所示。故必须校核开模行程  $H$  是否能满足完成抽拔距  $S_c$  所对应的开模行程  $H_c$ 。

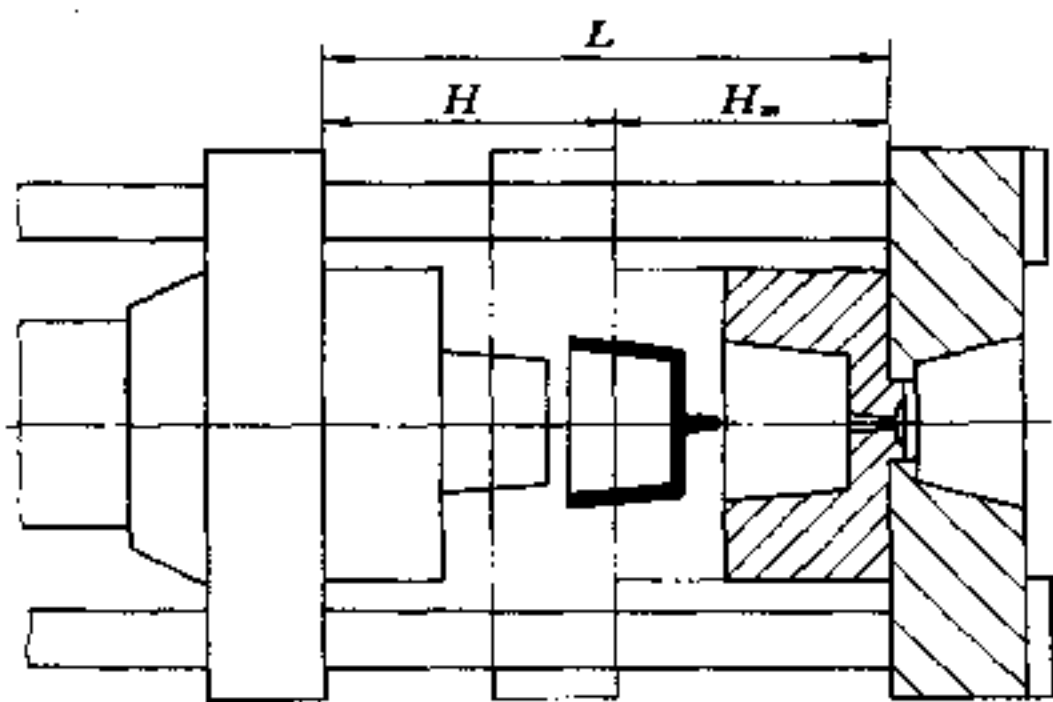


图 4.10-5 液压式合模部件的行程校核

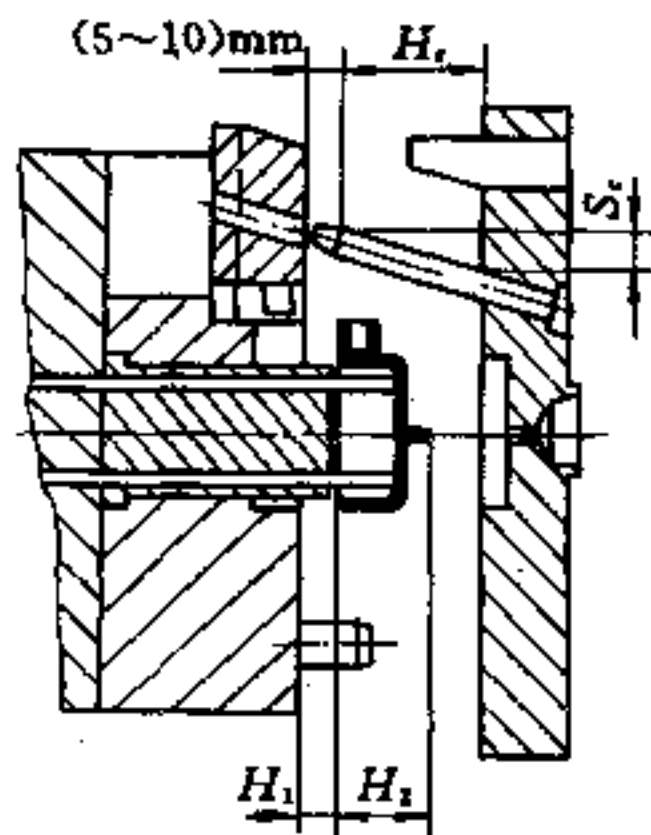


图 4.10-6 机动侧抽机构的开模行程校核

(1) 当  $H_c > H_1 + H_2$  时, 则以上几个校核公式中的  $H_1$  和  $H_2$  两项用  $H_c$  代替, 其他各项不变。

(2) 当  $H_c \leq H_1 + H_2$  时, 仍用以上校核公式。

若依靠开模行程完成脱卸塑件上螺纹, 则要保证开模行程中具有驱动螺纹型芯或型环旋出所需的行程。

### 三、顶出装置校核

各种型号注射机的顶出装置、顶出形式和最大顶出行程各不相同, 模具的脱模机构应与之相适应。脱模行程应小于注射机的顶出行程。

### 四、安装尺寸校核

除前述安装定位圈和喷嘴匹配外, 还需校核:

(1) 设计模具的长、宽方向尺寸要与注射机模板尺寸和拉杆间距相适应。模具应能穿过拉杆间空间安装到模板上。

(2) 注射机的动、定模板上有许多一定间距的螺孔, 用来固装模具的动模和定模。设计模具时, 动、定模的安装和固定必须与这些螺孔位置与孔径相适应。一般有两种装夹方法。一种是用螺栓穿过这些孔, 再用压板压紧模板, 这种方法对孔距要求灵活; 另一种是直接用螺钉紧固、模板上所钻孔的尺寸和位置, 必须与注射机模板上螺纹孔相吻合。这对较重的大型模具, 紧固可靠安全。

## 4.11 热固性塑料注射模设计

热固性塑料可供注塑种类有酚醛塑料、氨基塑料、不饱和聚酯、DAP 塑料、环氧树脂、有机硅、聚酰亚胺和聚丁二烯等。它们都是塑料工业的重要材料。与热塑性塑料相比, 它们通常有优良的耐热和阻燃性、耐化学性、抗蠕变等, 且价格低廉。它们曾长期采用传统的压制成型和压铸成型方法, 手工操作繁重, 成型周期又长。用先进的注塑成型方法可成倍地提高生产效率。今后, 大部分热固性塑料制品将用注塑成型方法生产。

### 4.11.1 注射工艺特点

热固性塑料注射成型是一项新技术, 还处于发展阶段。其成型模具的设计与注塑工艺、注塑物料和注射设备密切相关。

#### 一、工艺特点

热固性塑料注射有别于热塑性塑料。热固性塑料的注射料加入料筒, 通过螺杆旋转产生剪切热和料筒的外加热, 使之在较低温度 (约  $55 \sim 105^\circ\text{C}$ ) 熔融。然后在高压下将稠胶状的物料注入模具。在加热 (约达  $150 \sim 200^\circ\text{C}$ ) 高温作用下, 进行化学交联反应, 经保压后固化成型。最后开模顶出取得成型制品。

#### 1. 热固性注塑料

热固性塑料的注塑料应经改性后制成粒子、粉状或液态等供应。现今大多以粒子供应, 仅环氧注塑料是液态的。对热固性塑料的注射料有下列要求。

(1) 合适的流动性 热固性注射料的拉西哥流动性一般大于  $200\text{mm}$ 。相对分子质量在 1000 以内的线型分子或具有少量支链型的分子, 其流动性最好。木粉作填料的注塑塑料流动性最好, 无机填料的流动性较差。玻璃纤维和纺织填料的塑料流动性最差。

添加润滑剂可提高流动性，过多固化剂会降低流动性。

(2) 塑化温度范围宽 一般要求物料在 70~90℃ 能够塑化，具有一定流动性。并要求在注射机的料筒中存留 15~30min，具有热稳定性。添加稳定剂可在较低温度下阻止交联固化。这对温流道注射模成型尤其重要。

(3) 高温下能快速固化 固化速度快能缩短成型周期，提高生产效率。但过快固化，会造成局部型腔特别是细小部位充填不满。

(4) 收缩率要小 比起热固性塑料的压制和压铸成型，注塑料的收缩率最大。因为成型中受到压力最小；且模具温度高，脱模后冷却至室温又再次收缩。另外热固性注塑料的收缩率与填料的种类和含量有关。木粉等有机填料会使收缩率大增。矿物填料，特别是玻璃纤维充填的注塑料收缩率较小。过大收缩率使制品尺寸变化大，又易产生变形翘曲。模具设计收缩率仍以模具和制品在室温条件下的尺寸计算。由于该收缩率与注塑料品种和配方关系很大，通常又含有 40% 以上填料。收缩率应由生产厂的注塑料说明书或试验确定。

## 2. 热固性塑料注射机

热固性塑料注射应该用专门的注射机。这种注射机与常用的热塑性塑料注射机主要有两方面的区别。

(1) 料筒加热方式 热固性塑料的塑化热量主要来源是螺杆旋转的剪切热。料筒的外加热主要起预热作用，并起对料筒温度的调节作用。单一的电热方式易使物料过热固化。因此，常用水或油加热料筒。也有电加热水结构的料筒。另一种是油电加热料筒，电热仅用于预热，塑化时调节油温来控制料筒温度，所以料筒温度控制精度较高。

(2) 塑化螺杆的压缩比 由对热塑性注塑料的 2~3.5 比 1，改小至 1:1。长径比由 15~20 减小为 12~15。以减少对物料的剪切和摩擦作用。

## 3. 注塑工艺

(1) 工艺要点 热固性塑料注塑过程中，物料在料筒中处于粘度最低的熔融状态。塑料熔体的粘度及其流动阻力与填料品种、比例和形状尺寸关系很大，需有相适应的注射压力。必须综合考虑摩擦热的因素。一般采用较高注射速度，以获得较高的摩擦热，有利固化。热固性塑料在模具中进行固化反应，会产生缩合水和低分子挥发物，模具型腔必须设有畅通的排气系统。否则会在塑件表面留下气泡和残缺。固化成型时间按最大壁厚计算，一般为 8~12s/mm，快速固化的注射料 5~7s/mm。

(2) 存在的问题 目前热固性塑料注射品种已有一百多种，但国内生产品种尚少，还需提高材料性能。热固性塑料中的填料，如玻璃纤维在螺杆剪切作用中会受损；而布屑、纸片等大颗粒填料难于进料。不但物料的流动性差，而且对螺杆和模具等磨损作用大。又使注塑件取向较严重，产品易翘曲变形。塑件中的嵌件的安放受成型速度等限制，不能过多和安放过慢。最突出的问题是浇注系统凝料只能作废料处理。尤其是一模多腔小制件，浪费率达 15%~25%，甚至更高。故采用无浇注系统凝料的流道模具有重大意义。应看到热固性注射的设备和模具费用比其他加工工艺方法高几倍，而且耗能也大。单模具加热就占耗能 1/4。

## 二、模内流动和固化

热塑性塑料熔体充模时模壁温度低于熔体温度，使靠近模壁处的熔体迅速冷却生成



冻结皮层。靠近冻结层处熔体粘度高于中心层，流速沿断面呈抛物线分布，如图 4.11-1 (a) 所示。热固性塑料熔体充模时，模壁温度高于熔体温度，不会产生冻结层。接触模壁处熔体因受到加热反而使粘度降低。除紧邻模壁薄层因摩擦阻力流速较低外，整个断面流速分布相近，形成“活塞流”，如图 4.11-1 (b) 所示。

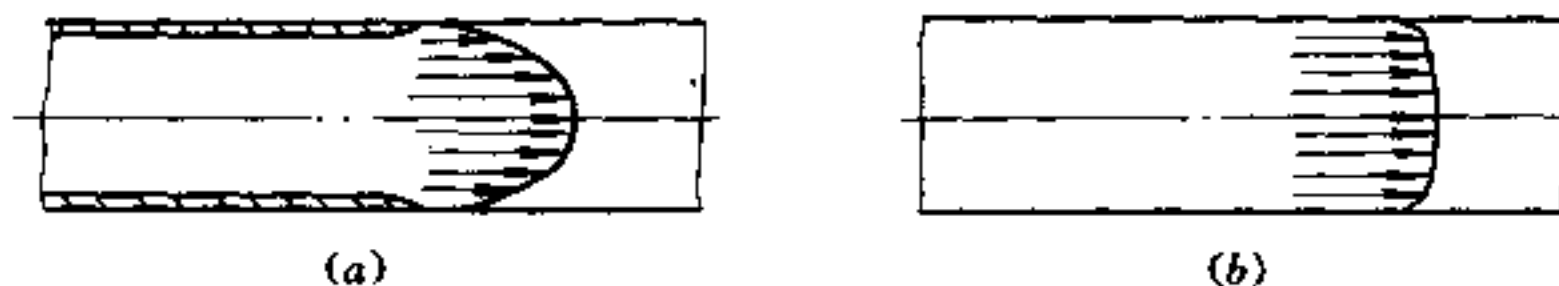


图 4.11-1 熔体充模流速分布比较  
(a) 热塑性塑料；(b) 热固性塑料。

热固性塑料熔体的充模流速分布特性，与粉状料压制成型相比，模腔中充模终止时的塑料熔体温度均匀一致，没有明显的内外层，固化程度不易区别。因此注射充模塑件在整个断面上有较均匀一致力学和电绝缘性能。但是这种充模流动，在模具高温模壁处的流速很高，对模壁产生很大摩擦磨损。特别是在浇道和型腔的窄狭通道处，壁面磨损更甚。

热固性塑料充模后固化交链成三维网状结构，不会出现大分子链的取向，也很少产生熔体破裂现象。但是纤维状的填料在充模流动中会出现流动取向，使制品在流动方向的力学性能和收缩率高于垂流方向。

热固性塑料熔体在充模过程中，近模壁处的流速高且速度梯度大，与模腔面的给热系数高，又会产生不容忽视的摩擦热。这使充模熔体很快达到固化温度。与其他成型方法比较，同样厚度制品固化反应时间最短；若制品愈厚，固化时间缩短更明显。这使模具温度控制较为困难。模温偏低会延长固化周期，或使固化不完全，致使塑件性能下降。倘若模温偏高，低粘度熔体会到处钻模形成飞边。靠近模壁的熔体粘度迅速越过最低点而过早固化，会使塑件表层发暗出现流痕和粘模。局部熔体过早固化，还会使塑件某些部分缺料。模内熔体受热时，一方面由于分子链活动性增大使粘度降低；但另一方面因固化反应而使粘度大增。如图 4.11-2 所示，是两个相反的综合影响结果。

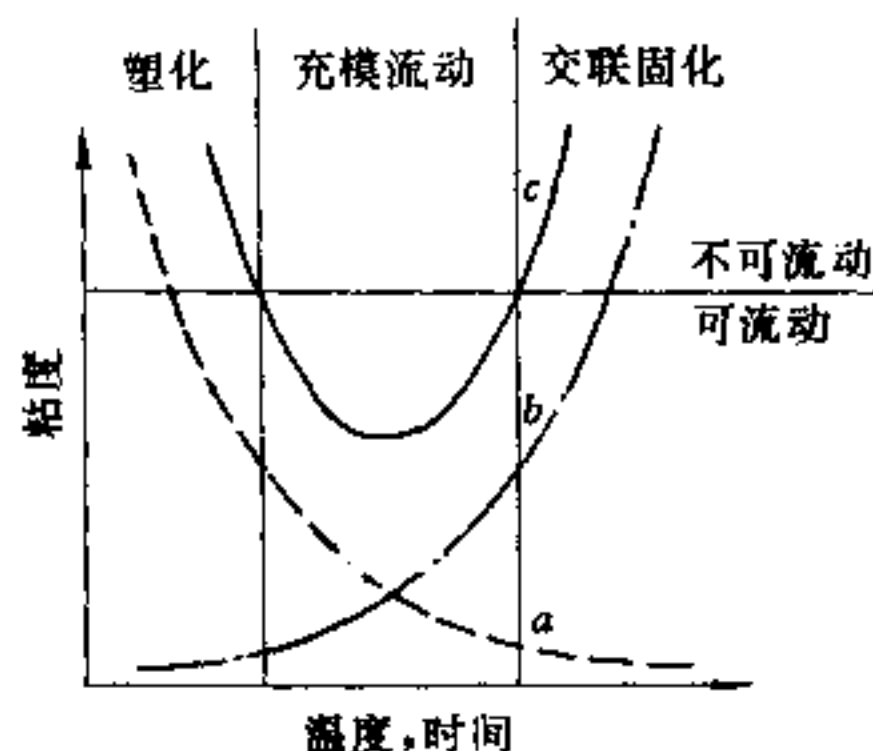


图 4.11-2 热固性塑料粘度与加热温度和时间关系  
a—物料粘度的物理变化；  
b—化学交联使粘度增加；  
c—热固性塑料综合粘度曲线。

综上所述，热固性塑料注射模具的总体结构设计时必须考虑如下特点。

(1) 制品尚未固化前树脂粘度比热塑性塑料低，对于 0.01~0.02mm 缝隙也会溢出。

(2) 制品成型后硬而脆。其分型面上飞边和钻入缝隙溢料使清理困难。易破碎的小片会磨损模具表面。

(3) 热固性塑料的摩擦系数和收缩率较小。塑件对型芯包紧力较小，开模时易滞留在型腔的一侧。

(4) 塑料熔体对模具成型表面有较严重的磨蚀磨损。

(5) 模具工作温度远高于室温，使室温下的装配间隙很难控制。室温下过小间隙会使工作时的运动零件产生咬死和拉毛现象。

#### 4.11.2 模具设计要点

许多重要设计步骤，如模具的强度和刚度计算等，与热塑性塑料注射模相同或相似，这里从简。

##### 一、总体结构特点

图 4.11-3 所示是一模八腔的酚醛塑料注塑模。因制品太小和飞边过多，如采用压制模生产则效率太低。现用单分型面的结构和侧浇口。因为过细的浇道容易被顶出杆顶破并碎裂，浇注系统的用料过多了些。

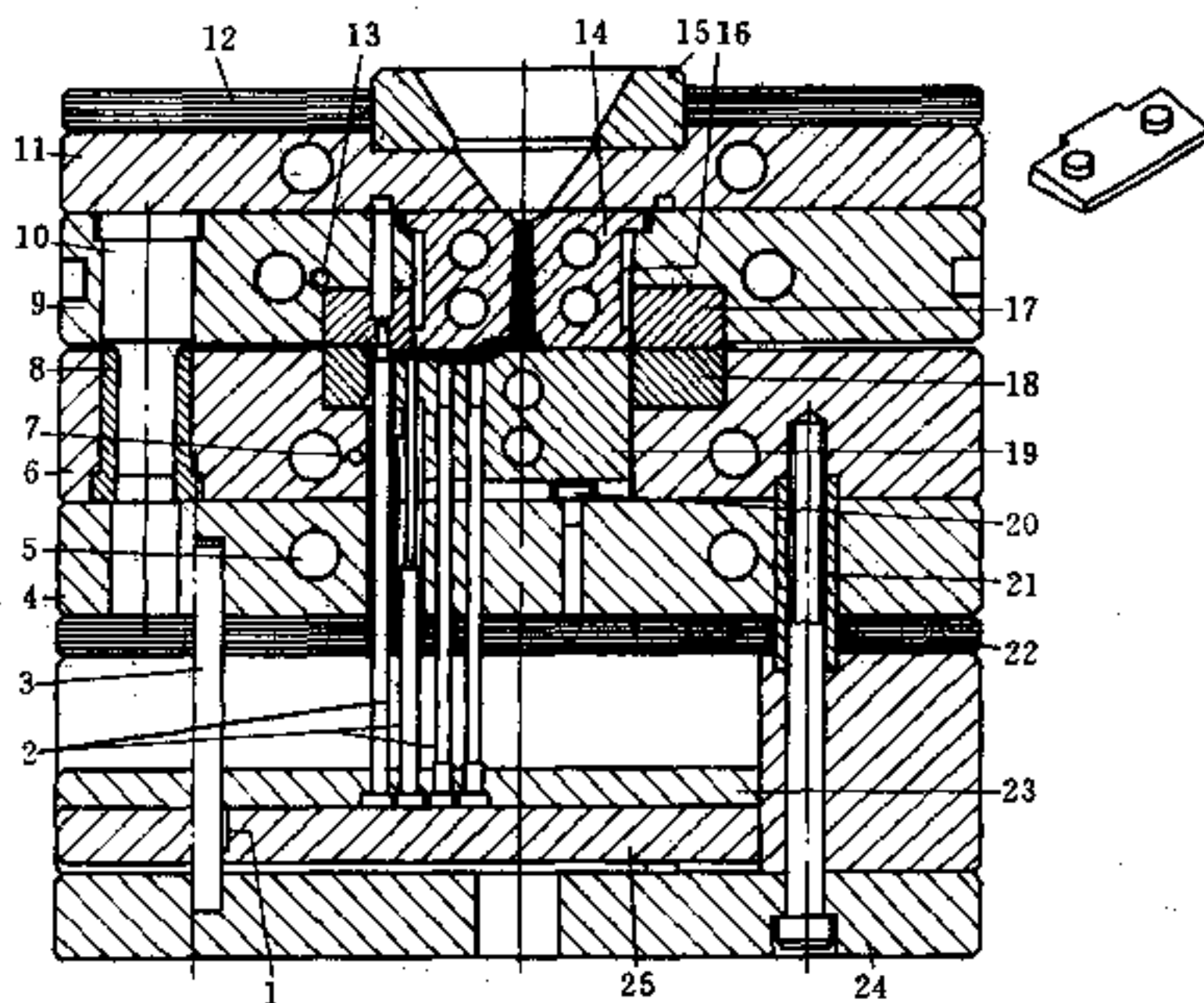


图 4.11-3 一模八腔酚醛塑料注塑模

- 1—导套；2—顶出杆；3—导柱；4—动模支承板；5—加热器；6—动模板；7—热电偶；8—导套；9—定模板；10—导柱；11—定模底板；12—绝热板；13—热电偶；14—加热块；15—定位圈；16—绝热空气隙；17—定模镶件；18—动模镶件；19—加热块；20—支承销；21—定位套筒；22—绝热板；23—顶出固定板；24—动模底板；25—顶出板。

##### 1. 型腔数目确定

应以保证足够大的锁模力，防止分型面上出现飞边来确定型腔数。

$$n = \frac{1}{A} \left[ \frac{(0.6 \sim 0.8) F}{P_c} - B \right] \quad (4.11-1)$$

其中， $n$  为由锁模力决定的型腔数； $F$  为注塑机的锁模力 (N)； $P_c$  为型腔内塑料熔体的压力 (MPa)； $B$  为浇道和浇口在分型面上的投影面积 ( $\text{mm}^2$ )； $A$  为每个制件在分型



面上的投影面积 ( $\text{mm}^2$ )。

根据经验, 酚醛塑料成型时型腔压力  $P_c$  为  $30 \sim 40\text{MPa}$ , 氨基塑料  $P_c = 40 \sim 60\text{MPa}$ , 不饱和聚酯  $P_c = 10 \sim 20\text{MPa}$ 。

还需校核塑料熔体在料筒中的存留时间  $\theta_b$ 。使  $\theta_b$  不得超过熔体状态的维持时间。目前, 该允许维持时间  $[\theta]_b = 4 \sim 6\text{min}$ , 有

$$\theta_b = \frac{G_b}{G'} \theta < [\theta]_b \quad (4.11-2)$$

其中,  $\theta_b$  为熔体在料筒中存留时间 (min);  $\theta$  为注射成型周期 (min);  $G_b$  为塑料在料筒中 (包括螺杆槽中) 的存料总量 (g);  $G'$  为每次注射用量 (g)。

所以, 每次实际注射量  $G'$  为注射后料筒中存料  $G_b$  的  $0.7 \sim 0.8$  较为合适。倘若注射量  $G'$  过少, 会造成塑件上有过早固化硬块。甚至必须经常对空喷射, 以防止塑料在料筒中固化。

## 2. 嵌件和安装

热固性塑料制品中若要安放嵌件, 首先要防止熔体钻料, 其次要求安装快速。因此通常在模外将嵌件装在嵌件杆或嵌件套上, 然后整体装入。

防止钻料方法, 其一是采用台肩式嵌件杆, 如图 4.11-4 所示。该台肩也有制成锥面并与圆柱组合, 见图 4.11-4 (b)。金属嵌件旋入嵌件杆后置于模内, 还要防止嵌件杆与嵌件接触端面间被钻料。其二是提高嵌件杆和模具上插孔的配合精度, 它们之间单边间隙在  $0.01 \sim 0.02\text{mm}$  之间。应先加工孔, 然后配磨和配研成型杆, 再镀铬抛光, 并保证多个嵌件杆的互换性。

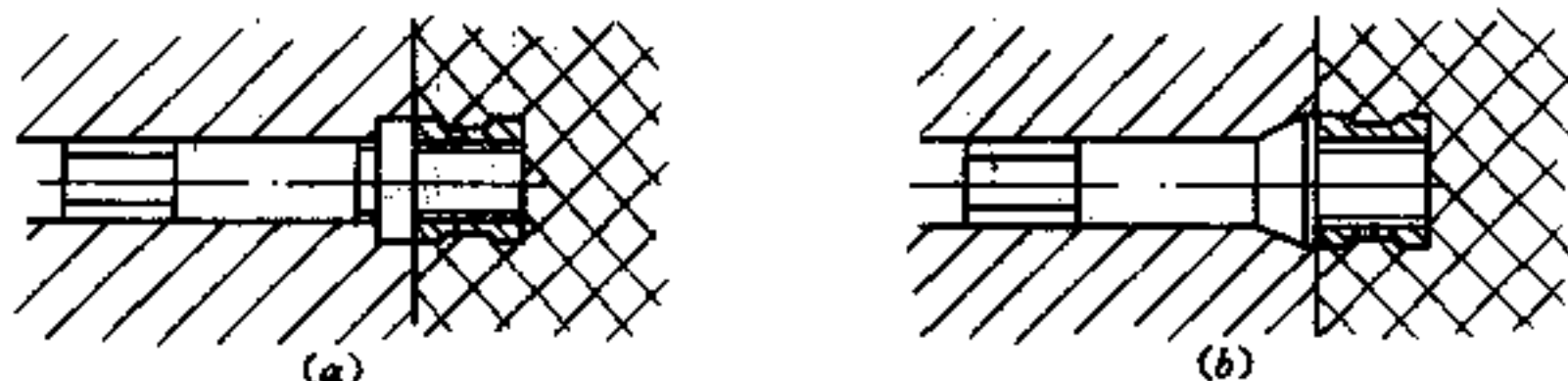


图 4.11-4 嵌件与嵌件杆

## 3. 分型面设计

为增大锁模力以减薄甚至避免飞边, 应减小分型面的实际接触面积, 如图 4.11-3 所示。一般在型腔周围的  $10 \sim 20\text{mm}$  之外部分削去  $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。但也需注意到过大锁模力会使型腔塌陷。分型面上作用  $40 \sim 70\text{MPa}$  锁模压力为好, 流动性好的物料应取其大值进行验算。

分型面硬度应在 HRC40 以上, 避免飞边碎屑过快损伤分型面。对分型面镀铬处理, 可减小飞边的粘附力。

分型面上不允许存在任何孔和凹坑。否则会造成飞边清理困难。应将模板上螺孔等设计成盲孔。若有通孔, 也应将其镶填磨平。

## 4. 成型零件设计

成型零件工作尺寸的计算方法与热塑性塑料注射模具相同。但在议定成型收缩率时应注意到热固性塑料注塑收缩率的离散性较大, 如酚醛塑料注塑收缩率为  $0.7\% \sim 1.2\%$ 。此外, 在计算型腔深度尺寸时, 要计入分型面上毛边厚度  $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ , 即将

计算得模具型腔尺寸中减去毛边值。

成型零件设计应尽量避免镶拼结构，以免熔体钻模。整体镶嵌式型腔常被采用。型腔表面粗糙度应在  $Ra\ 0.20\mu\text{m}$  以下。

型腔和型芯一般都应经过热处理淬硬。表面硬度有 HRC 40~45 的析出硬化钢，SM2 和 PMS 用于高精度的中小型模具。为提高耐磨性，也常用合金工具钢 9Mn2V、5CrMnMo、9CrWMn，具有 HRC 53~57。含有矿石粉或玻璃纤维等硬质填料时，要求 HRC 58~62。成型零件常用镀铬后抛光来提高光洁度；提高耐磨性并防腐和防锈，延长模具使用寿命。镀铬层厚度在 0.03~0.08mm 之间。

### 5. 脱模机构设计

由于热固性塑料熔体有 0.02mm 以上单边间隙就会钻模产生飞边，给脱模机构设计带来很大难度。所以应尽量避免采用顶管和推板脱模元件。因为顶管的内外柱面均有间隙配合。推板与型芯的配合间隙有时很难均匀一致，在高温下的实际间隙很难控制。倘若要使用推板，则脱模行程要增大到足以使推板脱出型芯。这样，便于清除毛边及碎片。

采用顶杆比较容易使单边间隙达到 0.01~0.02mm 的要求。0.03mm 以下间隙会产生极薄一层半透明的飞边，尚不妨碍相对滑动。但小于 0.005mm 间隙，在约 160℃ 左右模温下易产生配合面的涨咬故障。如图 4.11-5 (a) 所示，于顶杆的中间滑动段制成三棱带，可减小与高温孔壁的摩擦面。棱带应有足够长度和精度，每棱应有 1.5mm 的支承接触宽度。又见图 4.11-5 (b)，顶杆在顶出位置，动模底面与顶杆三棱段应留有足够位置 A，以允许碎屑从槽中自由脱落。而上部圆柱段要全部推出塑件成型面。该种顶杆直径通常大于 5mm。棱带数可视直径增大而增多。

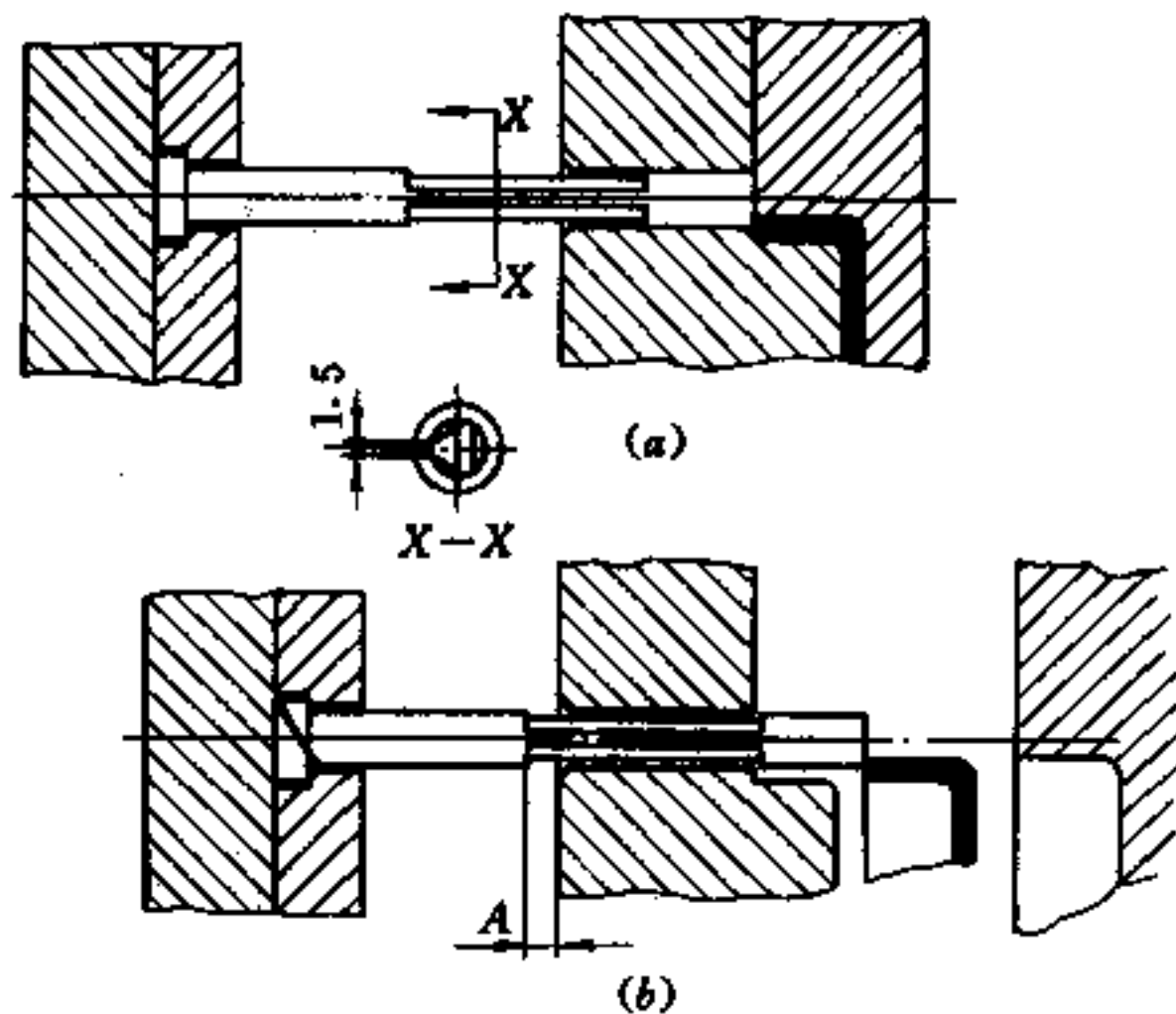


图 4.11-5 热固性注塑模顶杆

(a) 闭模位置；(b) 顶出位置。

### 6. 排气系统设计

热固性塑料注塑模不但要排出型腔中空气，还有固化反应所产生的挥发性气体，因此，排气量大。在浇口前的分流道就应该开始排气。排气槽宽度就等于分流道宽度，在分型面上深度取 0.12mm 左右。一般在型腔四周均应当排气，在料流末端更应保证排气

畅通。分型面上排气槽宽度 3~8mm, 深度 0.06~0.18mm, 如图 4.11-6 (a) 所示, 排气槽相互间隔至少 25mm。排气槽允许物料溢出, 并有与型腔表面相同的粗糙度和硬度。但遇到小型板件, 排气量又不大, 则用约 0.06mm 浅的排气槽, 使飞边去除容易。也有在芯柱上开设排气隙, 见图 4.11-6 (b)。在芯柱外圆上磨出 3~4 个深 0.05~0.075mm 的平面, 然后经中心引气孔导出气体。在大多数场合, 顶杆上也磨出类似的几个导气平面。工者都需注意, 磨痕应沿着轴线方向; 排气面端角上要磨出 0.12mm 左右的倒角。这样在有飞边形成时会粘连在制件上。最后一种有效可靠方法是利用多孔的烧结块, 见图 4.11-6 (c)。

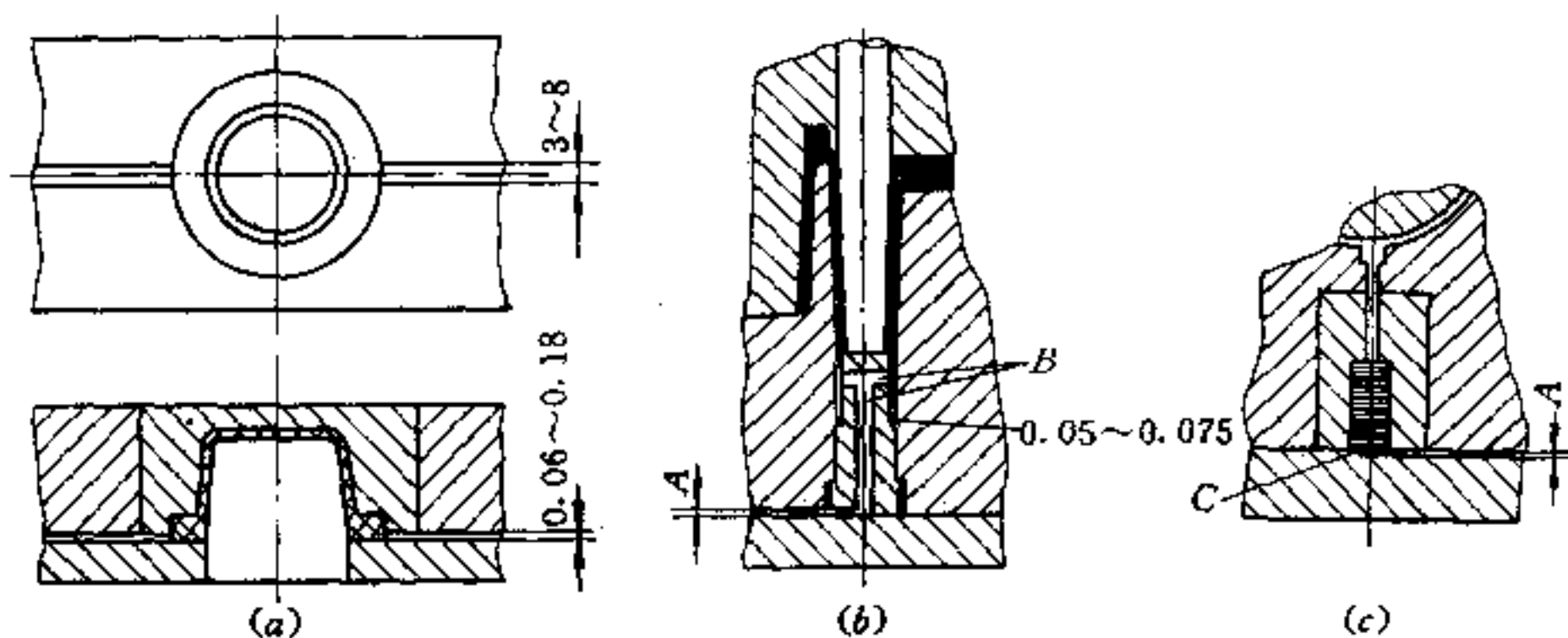


图 4.11-6 排气系统设计

(a) 分型面上排气槽; (b) 排气芯柱; (c) 多孔烧结块排气。

A—排气沟; B—排气孔; C—烧结块。

## 7. 加热和绝热考虑

热固性塑料注射模加热系统使用最多的是电热棒, 也有用电热板。其加热功率计算见本章 4.9.5 节, 应该用两绝热板之间的模具总重量计算。也有一个专用经验公式

$$W = 0.2V \quad (4.11-3)$$

式中  $W$ ——加热器功率 (W);

$V$ ——被加热模具体积 ( $\text{cm}^3$ )。

见图 4.11-3 和图 4.11-7, 动模和定模分别设置测温热电偶, 以自动控制模具温度, 使成型表面温差在  $\pm 2.5^\circ\text{C}$  之内。表 4.11-1 为部分热固性塑料注射成型模具温度提供了参考。

表 4.11-1 部分热固性塑料注塑模模温

塑料	模温/ $^\circ\text{C}$	塑料	模温/ $^\circ\text{C}$	塑料	模温/ $^\circ\text{C}$
酚醛	160~190	不饱和聚酯	170~190	有机硅	170~216
脲甲醛	140~160	环氧	150~170	聚酰亚胺	170~200
三聚氰胺	150~190	DAP	160~175	聚丁二烯	230

为防止高温模具向注射机的两块模板传热, 需设置两个绝热垫层, 常用石棉水泥板或环氧玻璃钢板等。如图 4.11-3 和图 4.11-12 所示, 绝热层设置在动模支承板和垫铁之间, 需加设定位套筒。也有将绝热层设置在动模底板和注射机动模板之间。

## 二、浇注系统设计

在设计时应注意采用由热固性塑料注射工艺特点而获得的经验数据。

### 1. 主流道

热固性塑料注射成型时物料在料筒内没有加热到足够高温度。因此，要求主流道有较大传热面积，而且热固性注射机的喷嘴口径较大。所以锥角应为  $\alpha = 1^\circ \sim 2^\circ$ 。主流道内壁应有  $R_a 0.8 \mu\text{m}$  以内的表面粗糙度。

由于热固性塑料有脆硬特性，因此拉料的“冷料”井应防止物料折断。见图 4.11-7 (a) 球形拉料头， $d = d_1 + 2\text{mm}$ 。 $d$  与  $d_1$  之差过小则无拉料作用；若过大会不能脱模或破裂。图 4.11-7 (b) Z 形拉料头，最薄处不得小于 4mm，尖角处应设有  $r = 1\text{mm}$  的圆角。图 4.11-7 (c) 薄片式拉料头，在圆柱杆头铣四条斜边，最薄处不得小于 0.8mm，斜片长约 10mm，使薄片具有弹性。

### 2. 分流道

圆形截面的比表面最大，有利传热固化。但实际上分流道设计大多采用梯形和半圆形。分流道断面面积与物料流动性、物料温度和分流道长度等因素有关，但主要取决于流经分流道的物料量。对于酚醛类塑料，分流道断面面积可按式估算。有

$$A_r = 0.26G_r + 20 \quad (4.11-4)$$

式中  $A_r$ ——分流道断面面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$G_r$ ——流经分流道的塑料量 (g)。

也可按图 4.11-8 的曲线 1 估算。生产中梯形截面厚度，对中小型塑件可取 2~4mm；较大塑件取 4~8mm。

为减小物料流动阻力，主流道与分流道、各分流道转向处，都应取较大的转角半径。转角半径应不小于分流道直径或宽度。分流道的表面粗糙度在  $R_a 0.4 \mu\text{m}$  以下，并镀铬。

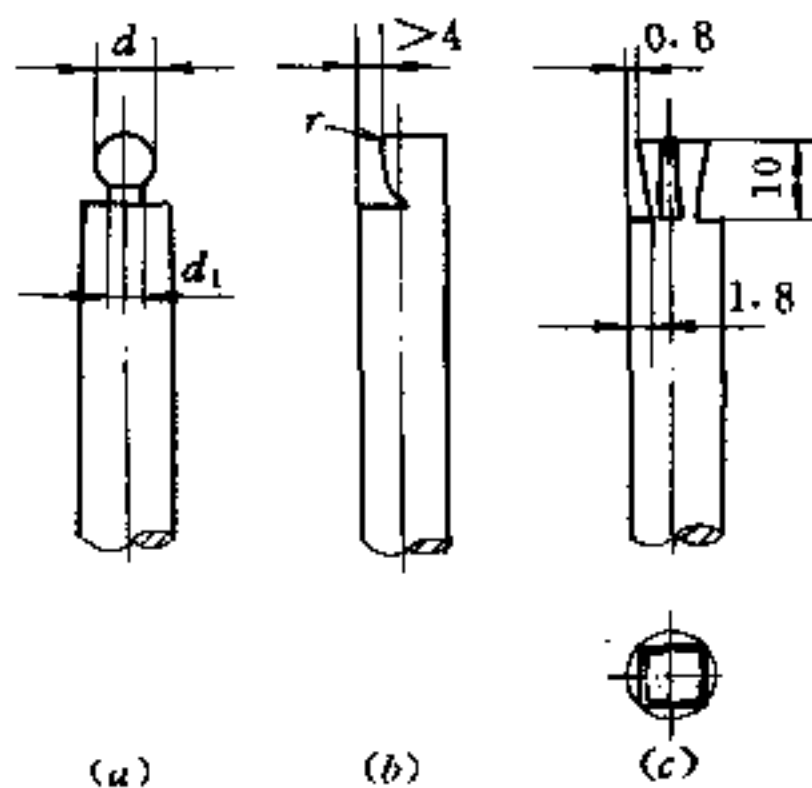


图 4.11-7 常用拉料杆形式  
(a) 球形头；(b) Z 形头；(c) 薄片头。

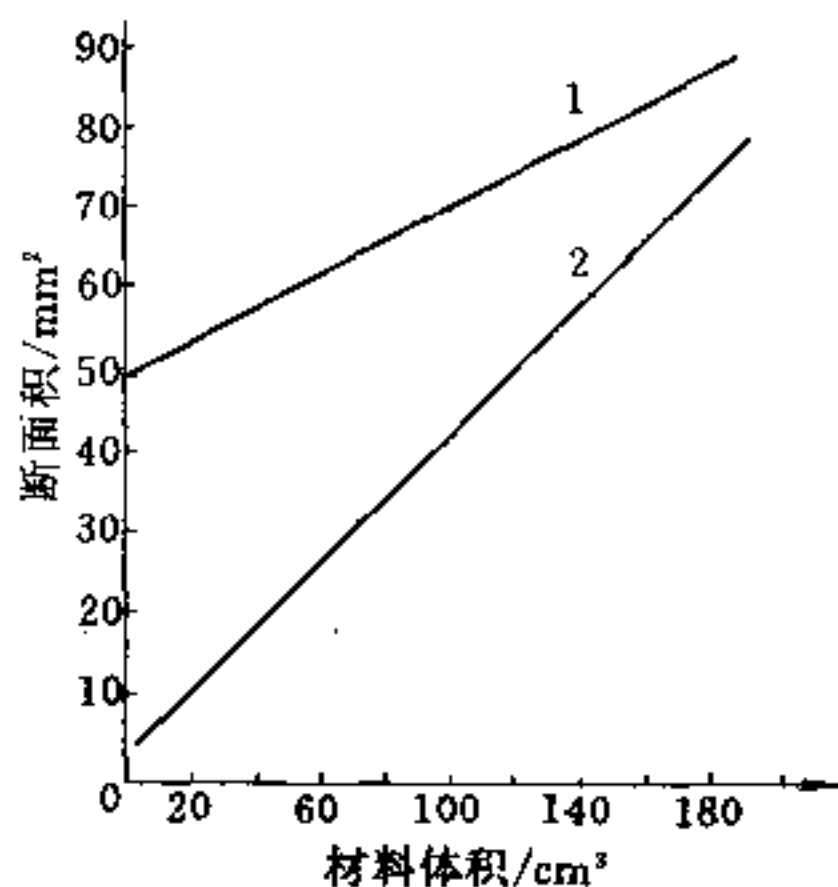


图 4.11-8 酚醛塑料的分流道和浇口断面面积与流过物料体积关系  
1—分流道；2—浇口。

### 3. 浇口

见图 4.11-9、图 4.11-10 和图 4.11-11，热固性塑料注射模的浇口形式有：直浇口、侧浇口、盘形浇口、外环形浇口、内环形浇口、扇形浇口、平缝形浇口、点浇口和潜伏式浇口等。物料流经浇口时摩擦磨损大；固化了的浇口凝料质脆易断，故与热塑性

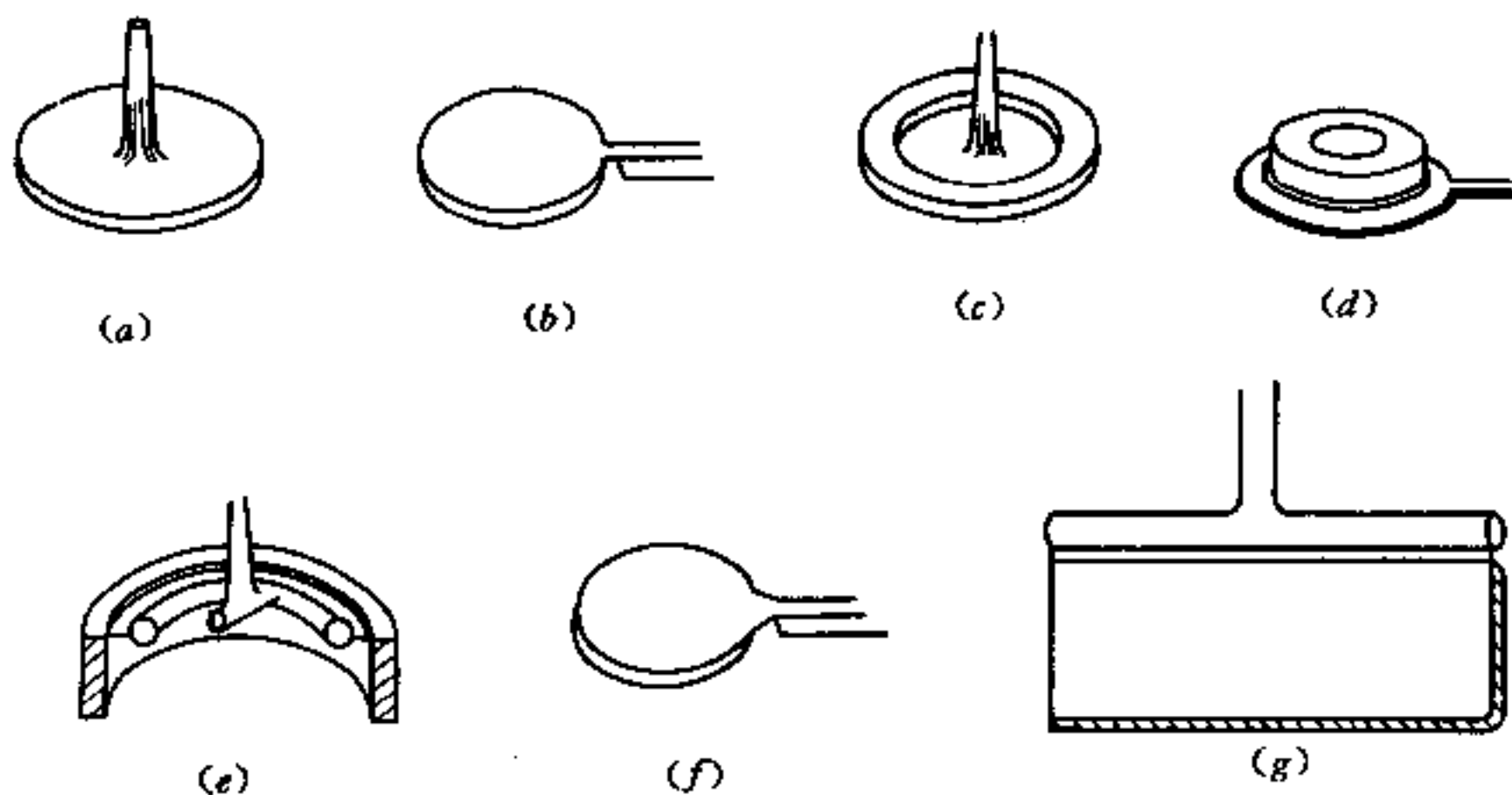


图 4.11-9 热固性塑料注射模的浇口类型

(a) 直浇口; (b) 侧浇口; (c) 盘形浇口; (d) 外环形浇口;  
(e) 内环形浇口; (f) 扇形浇口; (g) 平缝形浇口。

塑料注射的浇口有所差异。这里介绍其中三种。

(1) 侧浇口 侧浇口长度为  $0.8 \sim 1.5\text{mm}$ 。宽度应比分流道稍窄，中小制件为  $2 \sim 4\text{mm}$ ，大制件为  $4 \sim 8\text{mm}$ 。其深度是浇口截面积的修模调节尺寸，根据经验常取  $0.5\text{mm}$  左右。对于纤维填料取  $0.8 \sim 1.0\text{mm}$ ，或取塑件壁厚的  $1/2$  左右。对酚醛塑料的侧浇口的截面积，可参考图 4.11-8 中线 2。

(2) 点浇口 填料形状大的热固性塑料不能用点浇口。点浇口处磨损剧烈，直径比热塑性塑料模大得多。常取  $d = 1.2 \sim 2.5\text{mm}$ ，可根据塑件大小和壁厚选取。浇口形式见图 4.11-10，浇口带有锥度可减小摩擦。

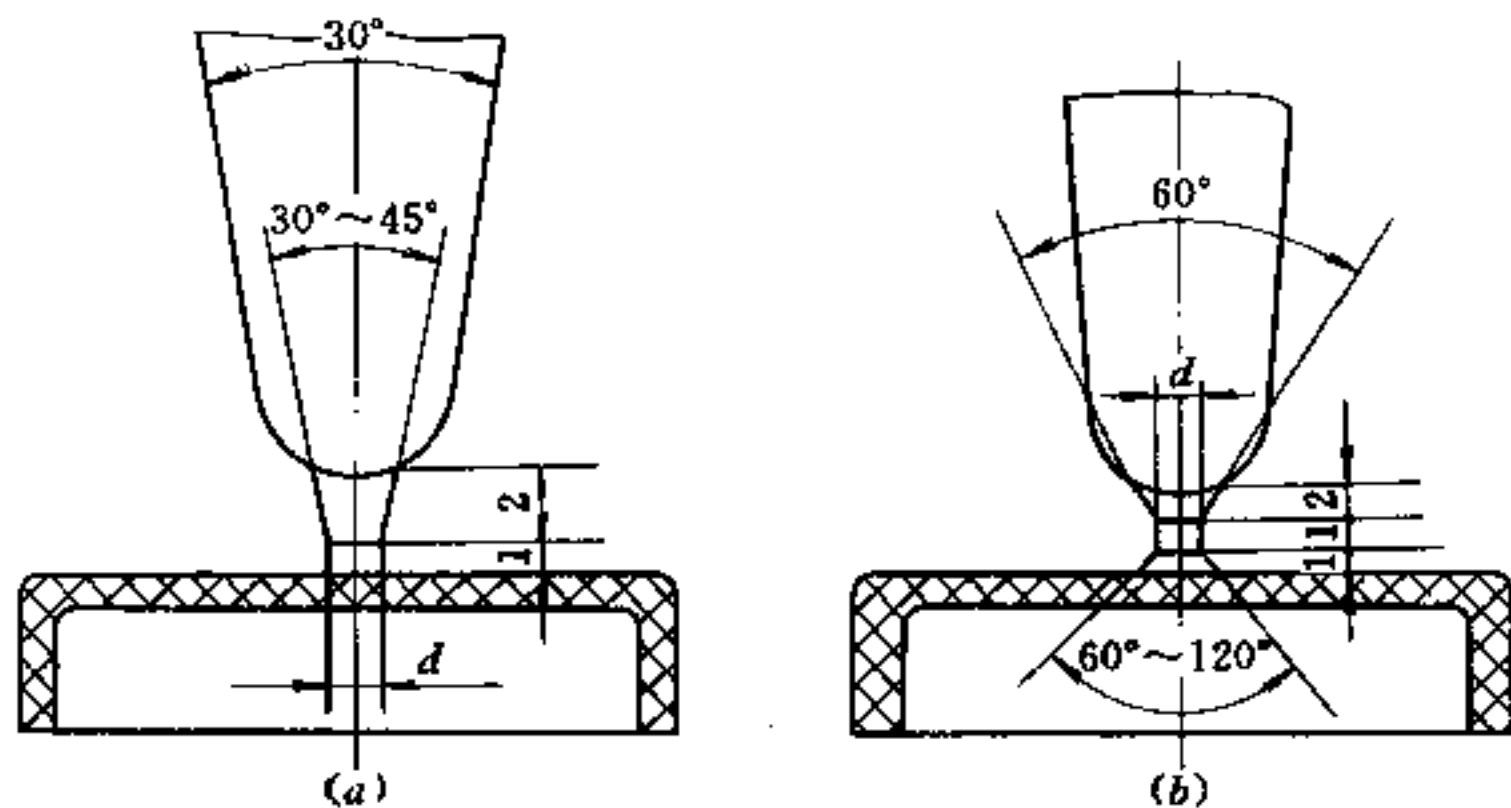


图 4.11-10 热固性塑料注塑的点浇口

(3) 潜伏式浇口 倘若采用点浇口就要用类似图 4.11-12 的三板模结构，而潜伏式浇口可简化模具。该种浇口成功设计取决于：浇口位置；浇口的两个角度；顶杆位置；塑件在脱模温度下是否具有柔性。如图 4.11-11 所示，浇口中心线与开模方向的夹角  $\alpha$  在  $25^\circ \sim 30^\circ$  较适宜。浇口本身锥角在  $25^\circ \sim 35^\circ$  为好。顶杆距浇口太近，顶出中浇口凝料不能产生充分的挠曲，易剪切折断；但顶杆太远，则固化浇口没有足够的顶出力。因此，于图示位置取分流道直径的 2 倍。

浇口部位最好做成可换镶块。特别在大批量生产时，镶件的镀铬层磨去后，可重新镀铬或更新镶件。也可以考虑用硬质合金制造镶块，寿命可提高数倍。

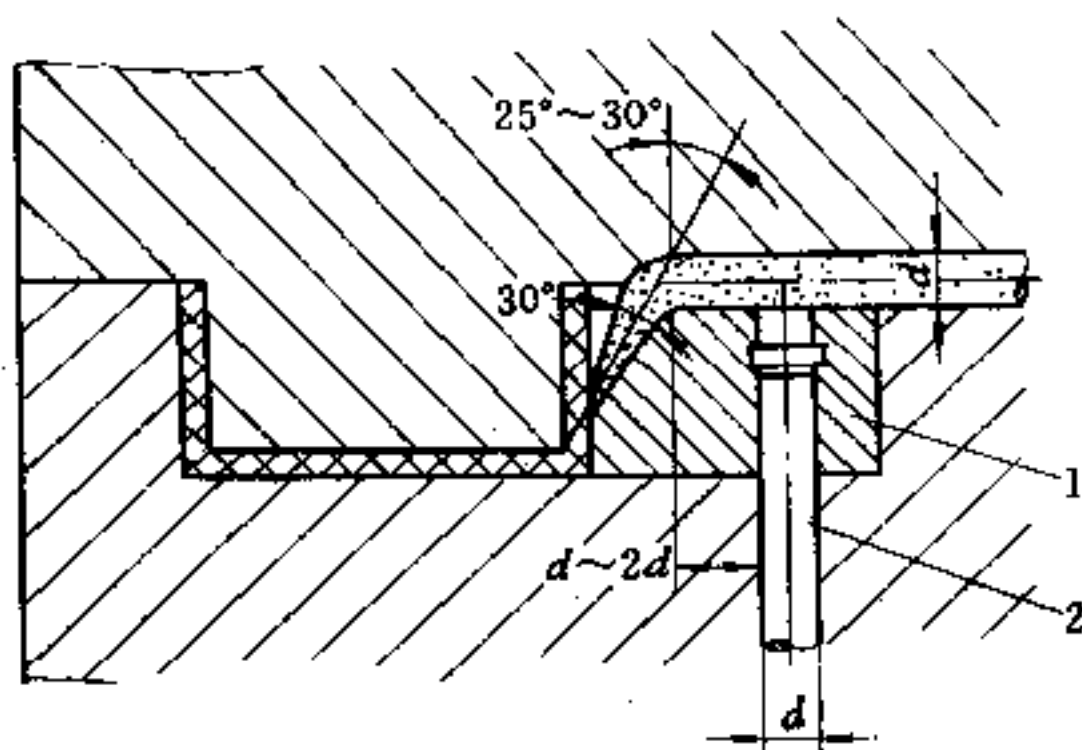


图 4.11-11 热固性塑料注射模的潜伏式浇口

1—镶块；2—顶杆。

图 4.11-12 为模具注射石棉短纤维充填的酚醛环刷件。该制品尺寸精度要求高，型腔的拔模斜度很小。采用盘形浇口有利于纤维的充模和分布。在用一模四腔的压制模成型时，成型周期达 2.75min。改为一模四腔注塑模，由于破裂线很难控制。现为一模二件，拉尺被仔细设计，让动模板与中间板首先分离并剪断盘形浇口。第二次分型时，塑件中心引导流道的固化物不被咬合并破碎。这样可实现自动生产，注塑周期为 58s。

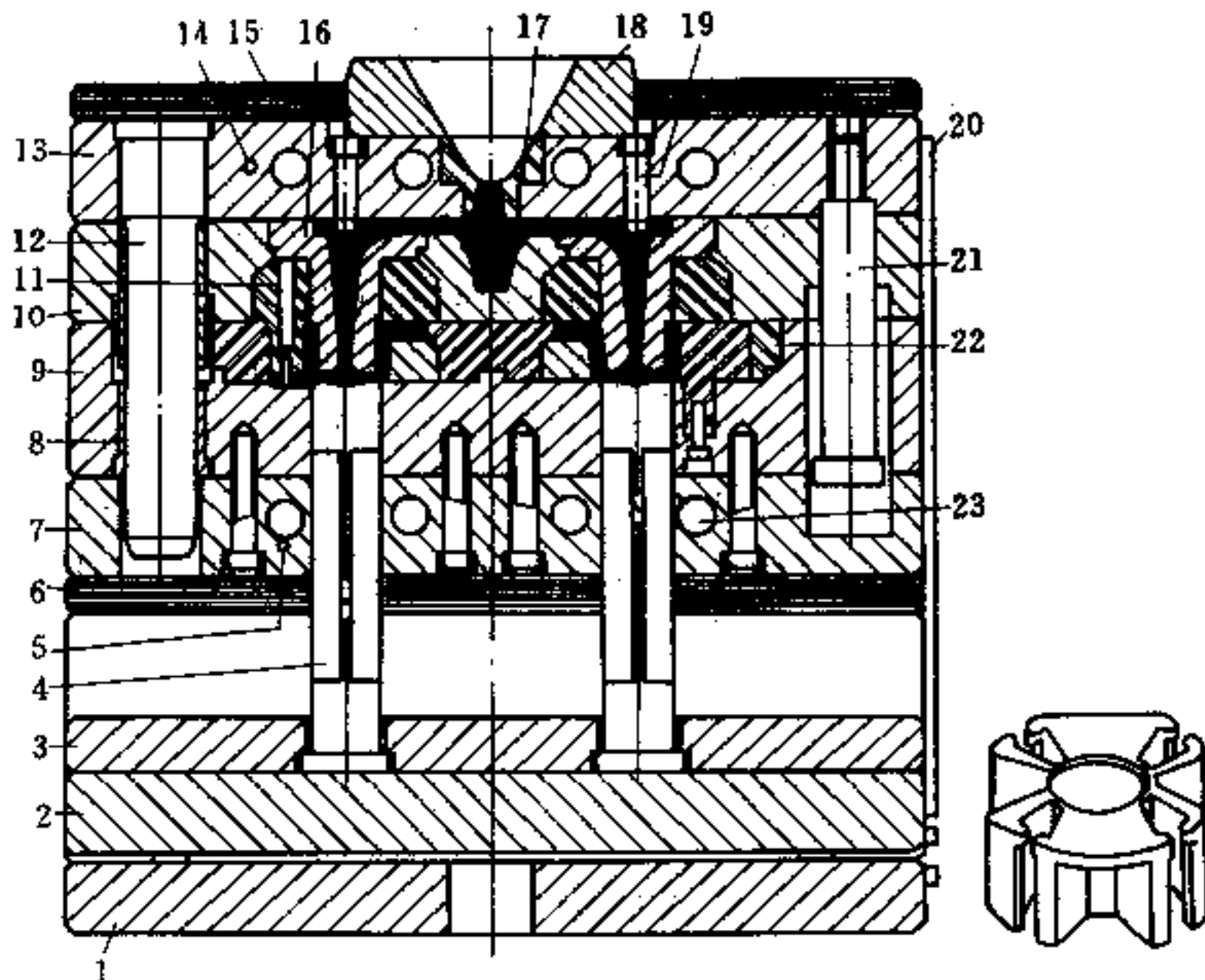


图 4.11-12 一模二腔石棉短纤维充填酚醛塑料的双分型面注射模

1—动模底板；2—顶出板；3—顶杆固定板；4—顶杆；5—热电偶；6—绝热层；7—动模垫板；  
8—导套；9—动模板；10—中间板；11—凸模；12—导柱；13—定模固定板；14—热电偶；  
15—绝热层；16—流道浇口套；17—主流道杯；18—定位圈；19—拉料杆；20—拉尺；  
21—带肩定距螺钉；22—凹模；23—加热器。

## 4.12 无流道凝料注射模

浇注系统凝料的存在不仅浪费原材料和注射机的能耗，而且也增加了流道赘物处理工序。采用无流道凝料的注射成型方法，可降低生产总成本。

### 4.12.1 无流道凝料注射成型

热塑性塑料的无流道凝料注射成型，是对模具的浇注系统采用绝热或加热方法，使其塑料熔体始终保持熔融状态，从而避免产生浇注系统凝料。热塑性塑料无流道注射成型模具分为绝热流道注射模和热流道注射模两大类。热固性塑料的无流道凝料注射成型与热塑性塑料成型相仿，也是使浇注系统塑料熔体不固化，维持可流动状态。主要有温流道注射模。

无流道注射成型由于在注塑中无需取流道凝料，结构均为三板模，所需开模行程较一般模具短；也无需固化和取出流道凝料的时间，缩短了注射周期。这种成型方法也较容易实行自动化生产。

但是无流道注塑成型存在对塑料品种的适用问题，具有下述性能的塑料较适合此种成型方法。

(1) 熔融温度范围宽，粘度变化小，热稳定性好。即使在较低温度下有较好流动性，不固化；在较高温度下，不流涎，不分解。能较容易进行温度控制。

(2) 熔体粘度对压力敏感，在低温低压下也能有效控制流动。

(3) 物料的热变形温度高，固化快。

(4) 塑料的比热容低，易于融化和固化。

因此，采用无流道成型最多的是聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯和 ABS。低粘度聚酰胺和高粘度聚碳酸酯就较为困难。热稳定性差的聚甲醛和聚氯乙烯很少成功的例子。

无流道注塑成型是项综合性强，难度较高的技术。要长期稳定投产涉及到：模具设计和制造水平；严格的注射工艺规范；热工仪表的可靠自动控制等多方面因素。以下几个原因使目前尚不能普遍采用无流道注塑成型。

(1) 模具设计、制造和维护要有较高技术。无流道注塑模不同于一般注射模，既要保证流道和浇口的绝热和加热；又有塑件的冷却问题。流道和型腔各位置的压力和温度控制不当，就会影响连续生产。

(2) 在成型生产前需很长的调试时间。

(3) 模具成本高，不适合小批量生产。

(4) 不适用某些塑料品种和注塑周期长的塑件。

### 4.12.2 绝热流道注射模

绝热流道注射模的流道截面相当粗大。流道壁面附近的塑料冷凝成一个完全或半熔化的固化层。塑料的导热性差，以致流道中心部位塑料在连续注射时保持熔融状态。由于不进行流道的辅助加热，其中的塑料容易固化。要求注塑成型周期短，并仅限于聚乙烯和聚丙烯的小型制品。当注射机停止生产时，要清除凝料才能再次开机。



## 一、井坑式喷嘴

井坑式喷嘴又称绝热主流道，是一种结构最简单的单型腔的绝热流道注射模。它仅适合注射周期小于 20s 的制品。

井坑式喷嘴的结构和推荐尺寸见图 4.12-1 和表 4.12-1。在注射机喷嘴头部和浇口之间，设置了一个主流道杯。杯内有一个截面较大的锥形贮料井，容积约取制品体积的  $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。进壁四周塑料皮层为绝热层，使中部熔体在压力下注入型腔。图 4.12-1 (a) 上，主流道杯与定模板之间的空气隙，也起绝热层作用。

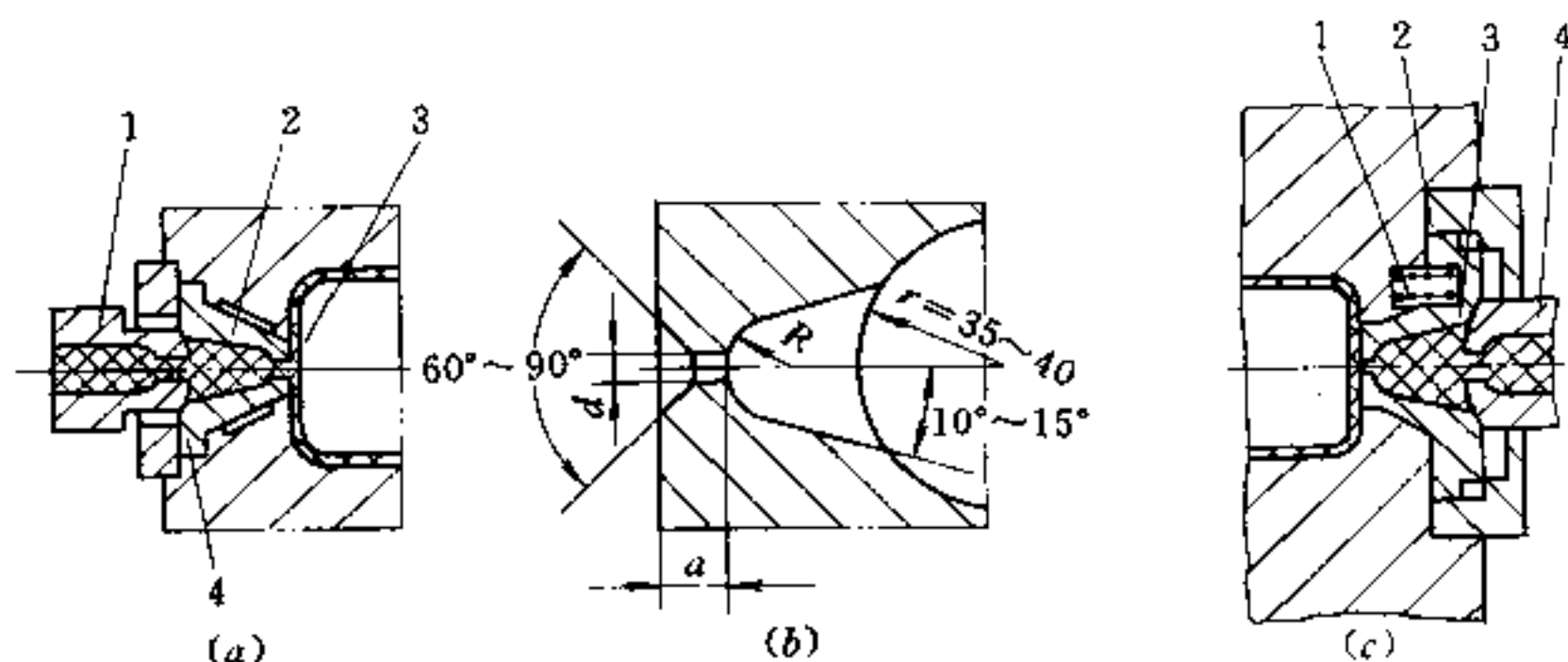


图 4.12-1 井坑式喷嘴

1—注射机喷嘴；2—贮料井；3—点浇口；4—主流道杯。

表 4.12-1 井坑式喷嘴推荐尺寸

制品质量/g	成型周期/s	$d$ /mm	$R$ /mm	$a$ /mm
3~6	6~7.5	0.8~1.0	3.5	0.5
6~15	9~10	1.0~1.2	4.0	0.6
15~40	12~15	1.2~1.6	4.5	0.7
40~150	20~30	1.6~2.5	5.5	0.8

注射机的喷嘴工作时伸进主流道杯中，其长度由杯口的凹球坑半径  $r$  决定，二者应很好贴合。贮料井直径不能太大，要防止熔体反压使喷嘴后退产生漏料。图 4.12-1 (c) 上是一种浮动式主流道杯。弹簧使流道杯压在喷嘴又可随其后退，保证贮料井中的塑料得到喷嘴的供热。

## 二、多型腔绝热流道注射模

多型腔绝热流道注射模又可分成主流道式和点浇口式两种类型。其分流道圆截面，直径常取 16~32mm。成型周期愈长，直径愈大。在分流道板与动模板之间设置气隙，且减小了接触面，如图 4.12-2 所示。在停车后流道内塑料全部冻结。应在分流道的中心线上设置能启闭的分型面，以便下次注射时彻底清理流道凝料。流道转弯和交会处都应该是圆滑过渡，可减小流动阻力。

图 4.12-2 是主流道式浇口的多腔绝热流道注射模。如图 4.12-2 (a) 所示，浇口的始端突入分流道中，使部分直浇口处于分流道的绝热皮层的保温之下。如图 4.12-2 (b) 所示，直接浇口衬套四周增设了加热圈，浇口衬套与动模之间都应有气隙绝热。主流道式浇口的塑制品脱模后，带有一小段浇口凝料。直接浇口容易冻结固化。如果成型周期长，则可在浇口中央插入棒状加热器，需要时通电加热。



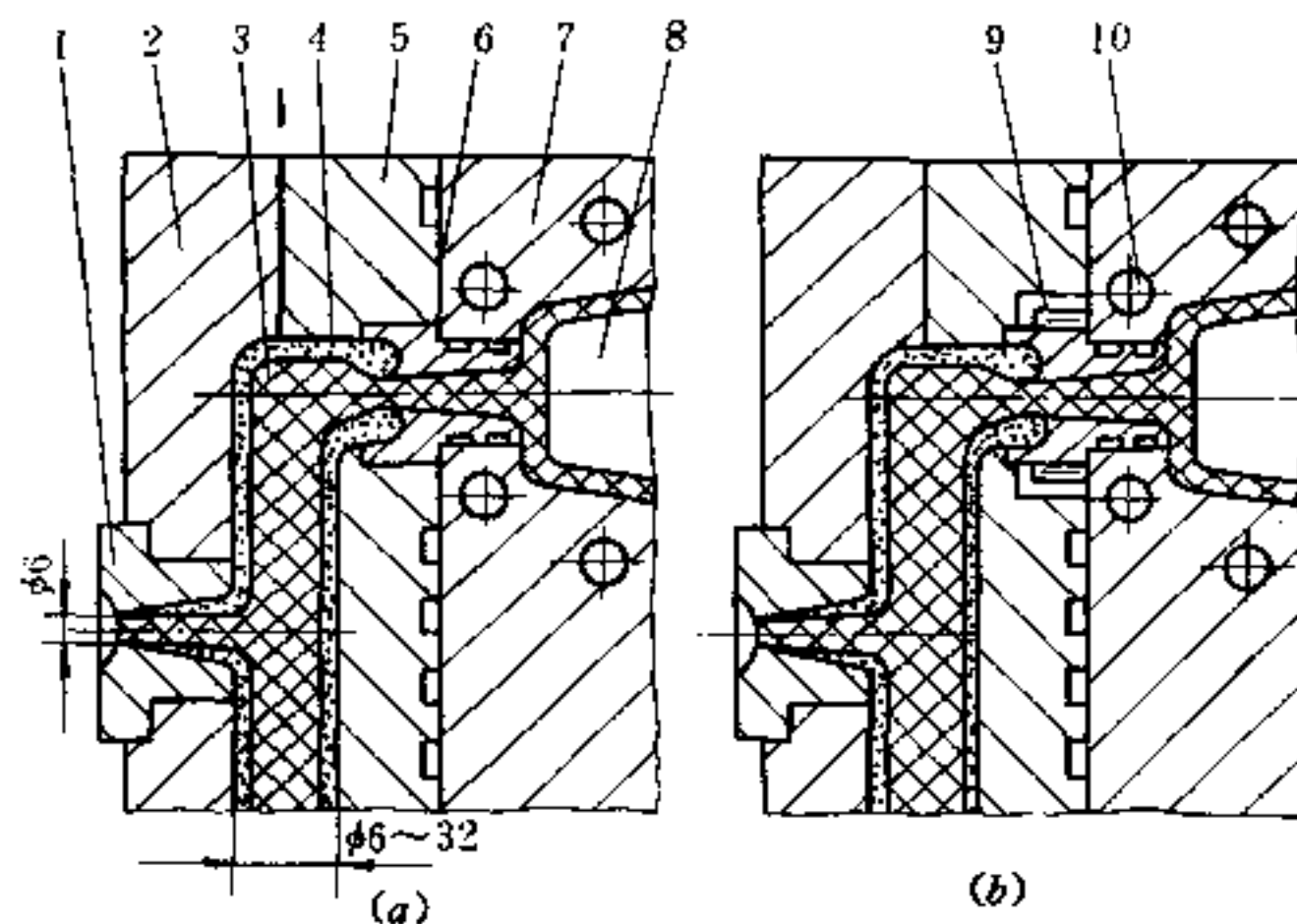


图 4.12-2 主流道型浇口多腔绝热流道注射模

- 1—主流道衬套；2—定模底板；3—分流道；4—固化绝热层；5—分流道板；  
6—直接浇口衬套；7—动模；8—型芯；9—加热圈；10—冷却水管。

图 4.12-3 是点浇口式的多腔绝热流道注射模。点浇口成型的制品不带浇口凝料，但浇口很容易冻结。仅适用于成型周期短的制品。为此，在浇口的始端的引导部分设置加热探针，见图 4.12-4。它有效地加热了浇口而所需的热量很少，这样可注射成型周期较长的制品。带有热电偶的加热探针与温度调节器相连接，能更有效控制浇口温度。防止浇口温度过高时产生流涎或拉丝现象。探针体常用导热良好铍铜制造。

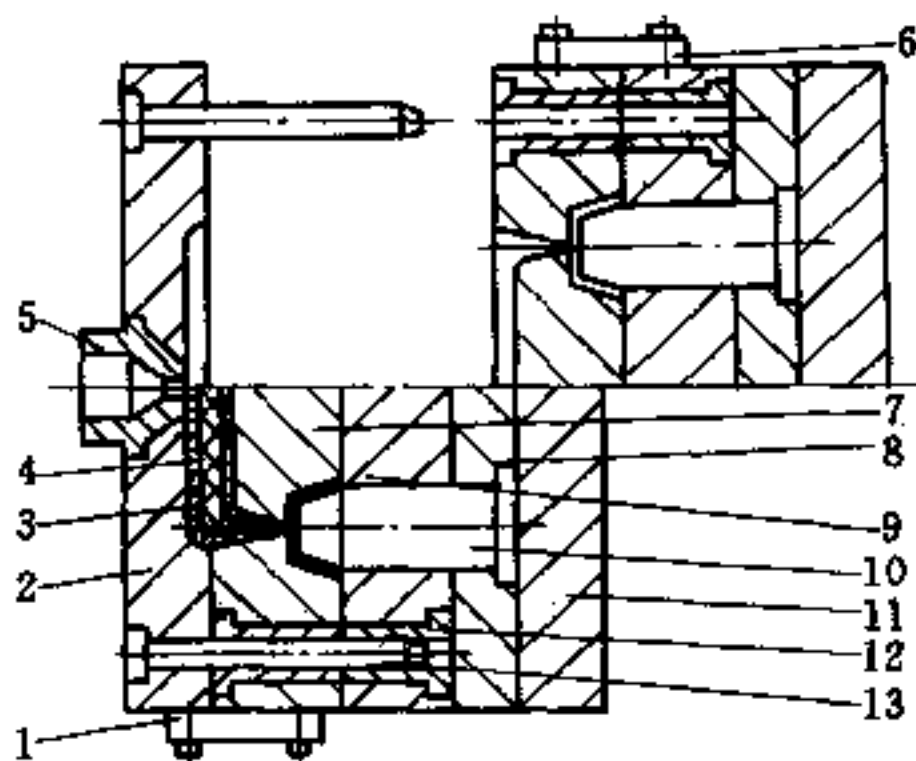


图 4.12-3 点浇口多腔绝热流道注射模

- 1—流道闭合锁板；2—定模底板；3—固化绝热层；4—分流道；5—主流道衬套；  
6—分型面闭合锁板；7—流道板；8—型芯固定板；9—脱模板；10—型芯；  
11—动模垫板；12—导套；13—导柱。

### 4.12.3 热流道注射模

设置加热器使浇注系统内塑料保持熔融状态的热流道注射模，由于能有效维持流道温度恒定，使流道中的压力能良好传递，压力损失小。这样可适当降低注射温度和压力，减小了塑制品内残余应力。比起绝热流道注射模，它所适用的塑料品种较广，也适用于多个点浇口的较大制品。但是，由于热流道模具同时具有加热、测温、绝热和冷却等装置，模具结构更复杂，厚度增加并成本更高。热流道模具对温度控制精度要求高，

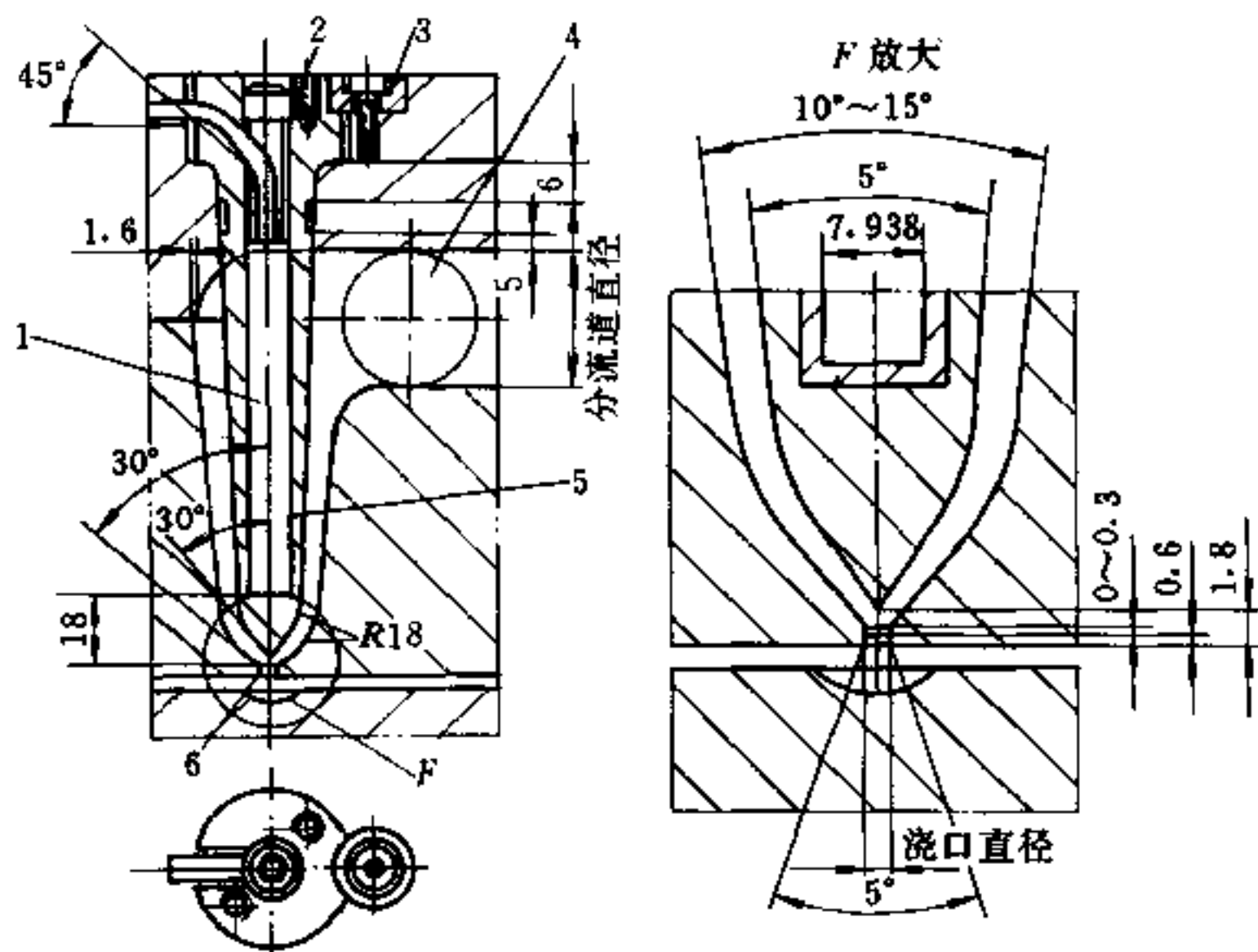


图 4.12-4 用于点浇口的加热探针

1—加热元件；2—拆卸螺孔；3—止转块；4—分流道；5—探针体；6—浇口。

防止热平衡失调是个难题。在生产中不允许塑料中有异物将点浇口堵死。

### 一、延伸式喷嘴

延伸式喷嘴的注射模是热流道的单型腔模。它适用于能采用点浇口的各种塑料和单个点浇口的塑制品。

图 4.12-5 为各种延伸式喷嘴，它们有共同的特点。首先，喷嘴本身用电热圈加热，应有温度测量和单独的调温系统。通常要求喷嘴温度稍高于料筒  $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。其次，高温的喷嘴邻接或直接成型塑件，故须对模具绝热以免妨碍塑件的固化。并在注射保压后喷嘴脱离模具。尽量减小喷嘴与模具的接触面积，常用气隙和塑料皮层绝热。再其次，喷嘴的口径实为型腔的浇口，是直径大致为  $0.8\sim 1.2\text{mm}$  的点浇口。喷嘴通常是模具专门设计，并用优质淬火钢制造。

图 4.12-5 (a) 为球头喷嘴伸入模具的点浇口套。浇口处型腔壁厚达  $1.6\text{mm}$ ，呈倒锥出口。为防止该处在喷嘴冲撞下强度不足，喷嘴有凸肩定位并承受大部分压力。为增大绝热效果，在喷嘴与浇口套之间增设形成内外气隙的衬套。图 4.12-5 (b) 为锥形喷嘴，前端具有较大锥度，并带有气隙槽。为防止热膨胀咬合，喷嘴必须有承压带肩。该喷嘴端面是型腔的一部分。由于它更能伸入模内，所以可加中间衬套，以开割气隙槽并引入冷却水。图 4.12-5 (c) 的成型喷嘴前端是制品外形的一部分，会留下明显痕迹。此成型面积以小为好，以加快塑件的冷却。成型面有平面，也有凹或凸的曲面。图示喷嘴必须对注射座定位，承受其驱动油缸的压力。喷嘴也可用其凸肩在模具上定位，以控制成型部分壁厚尺寸。喷嘴前端与模具孔的配合须考虑热膨胀，又要防止出现飞边。图 4.12-5 (d) 为绝热喷嘴。它以球形的喷嘴头配以碗形的塑料绝热皮层。其厚度从中心  $0.4\sim 0.5\text{mm}$ ，增加到外侧  $1.2\sim 1.5\text{mm}$ 。在承压凸肩上嵌以四氟乙烯密封垫。也可不使用密封垫，改用倒锥承压有助于喷嘴与浇口杯的同心。同样需注意模具浇口杯底部的强刚度。喷嘴和模具设计应根据塑料性能和塑件形状尺寸酌情分析计算，图示尺

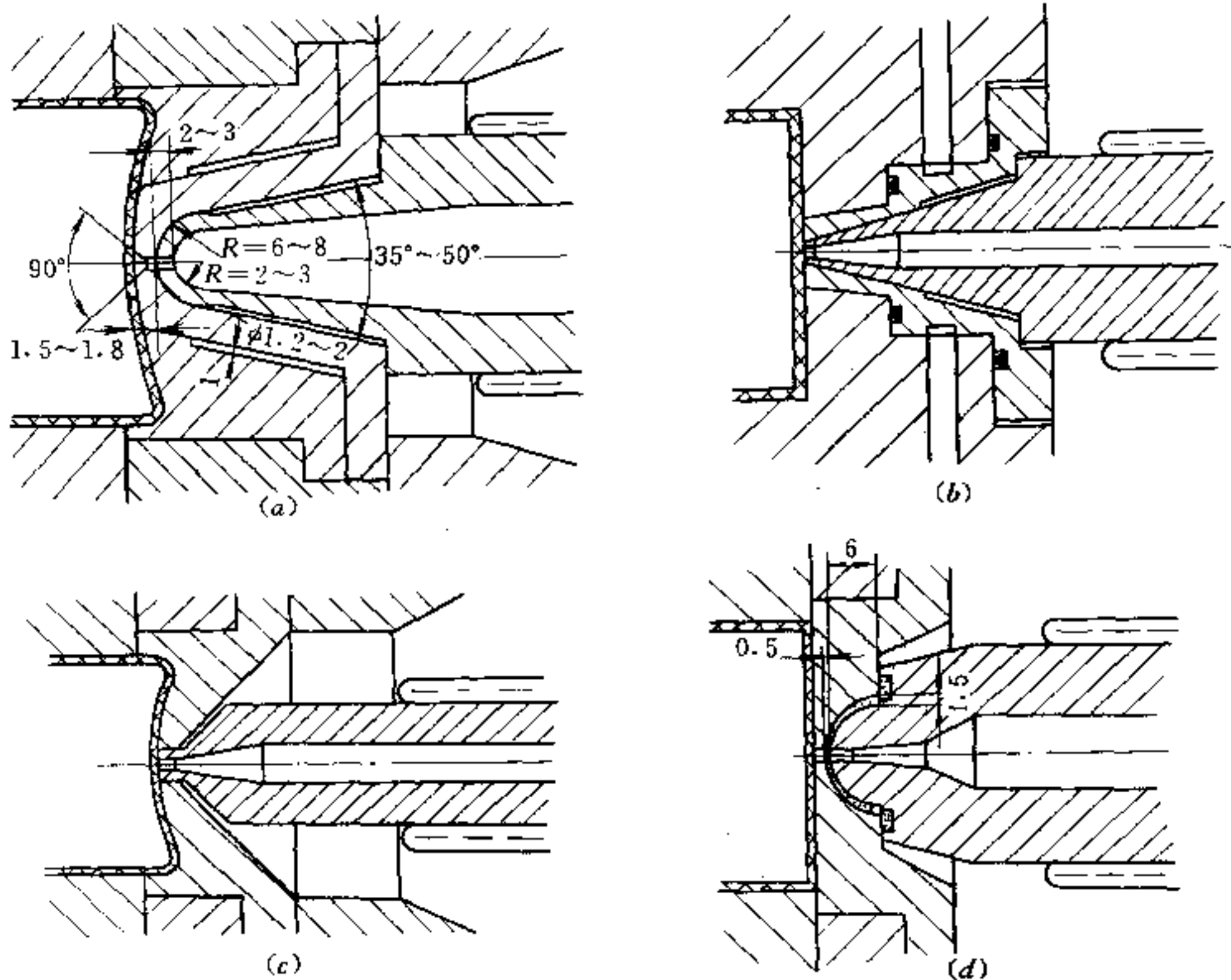


图 4.12-5 延伸式喷嘴

(a) 球形喷嘴; (b) 锥形喷嘴; (c) 成型喷嘴; (d) 绝热喷嘴。

寸仅供参考。

## 二、多型腔热流道注射模

这类模具结构形式很多，使用最广。图 4.12-6 为多型腔热流道注射模，其特征是具有一块由加热器供热的流道板。该板上接主流道，设有分流道和多个喷嘴。喷嘴与型腔上的浇口组合的结构形式繁多。

## 三、热流道板设计

热流道板应该具有良好的加热和绝热设施，保证加热器安装和温度控制有效。

### 1. 热流道板结构

如图 4.12-7 所示，热流道板根据浇口数目和位置，可以用一字、H 和 X 等各种外形。

分流道常用圆形截面，直径由 § 4.2 所述流道设计方法计算确定，一般在 5~15mm。流道转折处应圆滑过渡，防止塑料熔体滞留。分流道端孔用细牙堵头封死，并

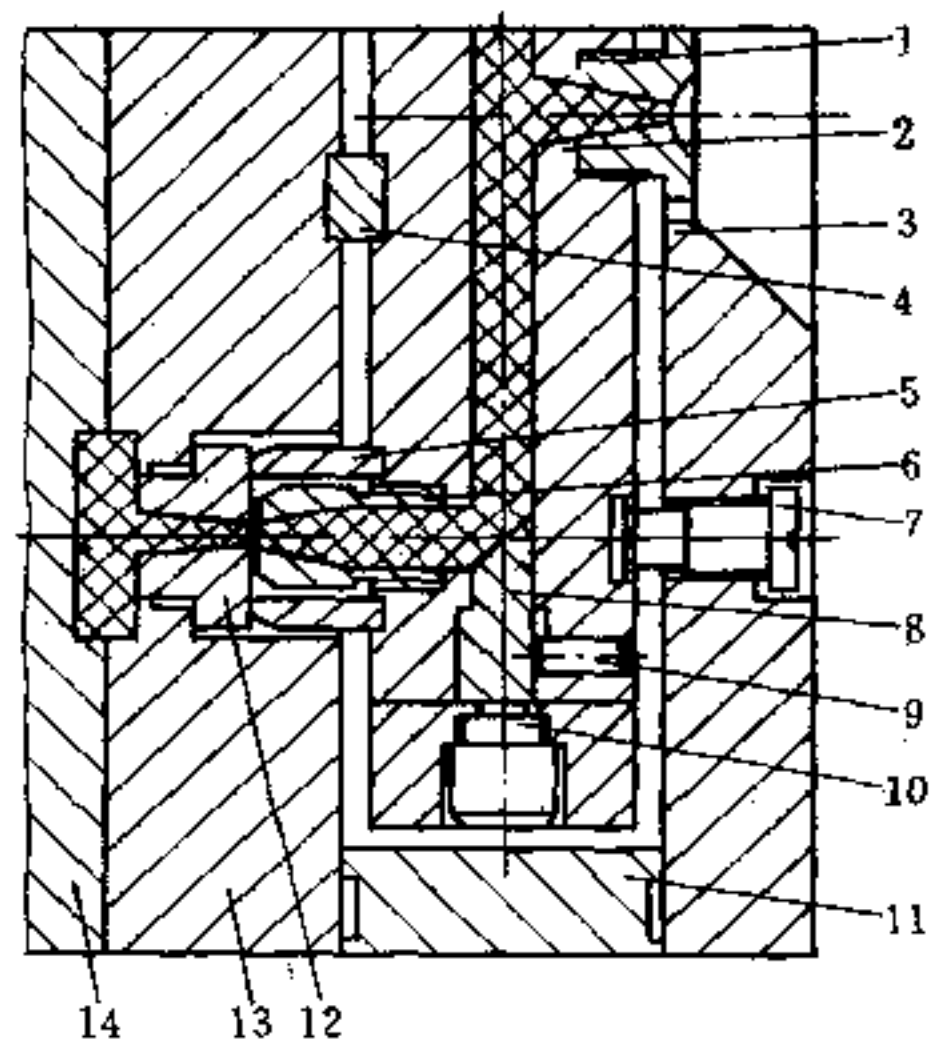


图 4.12-6 主流道型浇口多腔热流道注射模

1—主流道衬套; 2—热流道板; 3—定模底板;  
4—垫块; 5—滑动压环; 6—喷嘴套; 7—螺钉;  
8—堵头; 9—止转柱销; 10—加热器; 11—侧板;  
12—主流道型浇口杯; 13—定模型腔板;  
14—动模型腔板。

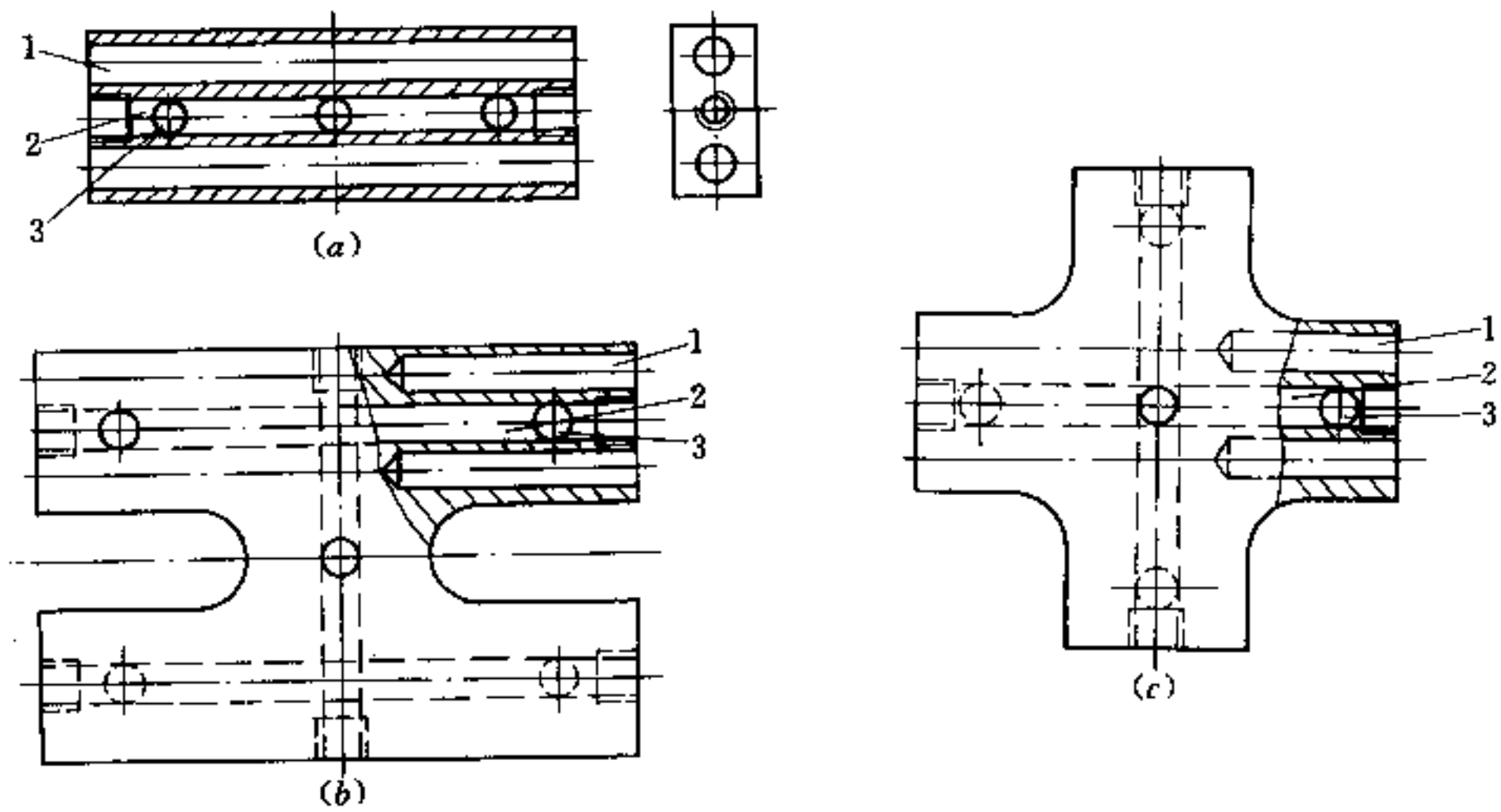


图 4.12-7 热流道板的结构

1—加热器孔；2—分流道；3—进料喷嘴安装孔。

用铜制或聚四氟乙烯密封垫圈防漏。

热流道板安装在定模底板和定模型腔板之间。用空气间隙或隔热石棉垫板与其他模板隔开。空气间隙通常在 3~8mm 范围内。

由于热流道板悬架在定模中，主流道和多个浇口中高压熔体的作用力和板的热变形，要求它要有足够的刚度。应有足够厚度并有强固的支撑。支撑螺钉和垫块等也应有足够刚性。它们的接触面应淬火或加设淬硬垫圈。还要考虑有利绝热，支承作用面不能过大。必要时用导热性差的不锈钢做支承件并用不锈钢做垫圈。

热流道常用中碳钢或中碳合金钢制造。也有专门选用比热容小和热传导率高的钢材或高强度的铜合金。

## 2. 热流道板计算

### (1) 流道和浇口计算的经验公式

$$\text{主流道直径} \quad D_s = 1.27 \sqrt[3]{Q_s} \quad (\text{mm}) \quad (4.12-1)$$

热流道板中加热器置于熔体中央称内热式流道板。内热式主流道的环形浇道，缝隙宽度  $h_s$  与圆周长之比为  $\frac{1}{10}$ 。其缝隙

$$h_s = 0.49 \sqrt[3]{Q_s} \quad (\text{mm}) \quad (4.12-2)$$

$$\text{分流道直径} \quad D_R = 2.73 \sqrt[3]{Q_R} \quad (\text{mm}) \quad (4.12-3)$$

内热式分流道为环形浇道，其缝隙宽度

$$h_R = 1.06 \sqrt[3]{Q_R} \quad (\text{mm}) \quad (4.12-4)$$

$$\text{主流道型浇口直径} \quad D_G = 0.59 \sqrt[3]{Q_G} \quad (\text{mm}) \quad (4.12-5)$$

$$\text{点浇口直径} \quad D_{PG} = 0.467 \sqrt[3]{Q_G} \quad (\text{mm}) \quad (4.12-6)$$

以上各式中， $Q_s$  为熔体流经主流道流率 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )； $Q_R$  为熔体的分流道流率 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )； $Q_G$  为熔体的浇口流率 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )。

以上流率是指熔体在高温高压下的体积流率，其比容较固态时高。应该按塑料品种的固态比容乘以倍率作近似估算。无定形塑料乘以 1.20~1.25；结晶型塑料乘以 1.5。

## (2) 热流道板加热功率计算

热流道板升温所需功率是指在 1h 或 0.5h 时间内，将钢制流道板从室温  $t_0$  加热到所需的流道板温度  $t_m$ 。计算式为

$$W = \frac{0.115\Delta t G}{860\tau\eta} \quad (4.12-7)$$

其中， $W$  为流道板升温的加热功率 (kW)； $\Delta t$  为所需升高的温度， $\Delta t = t_m - t_0$  (°C)； $G$  为热流道板包括螺钉等的总重 (kg)； $\tau$  为升温时间，大型模具  $\tau = 1\text{h}$ ，中小模具  $\tau = 0.5\text{h}$ ； $\eta$  为热效率， $\eta = 0.2 \sim 0.3$ 。

在升温过程中不断有热量损失。这种热损失随温度升高而加剧，取  $\eta = 0.2$ ， $\tau = 0.5\text{h}$ 。则有简算式

$$W = 1.34\Delta t G \times 10^{-3} \quad (\text{kW}) \quad (4.12-8)$$

热流道板辐射和对流引起的热损失，在流道板温度 200~300°C 时， $1\text{cm}^2$  表面积近似为

$$\text{辐射热损失} = (0.00302\Delta t - 0.356) \alpha \quad (\text{W})$$

$$\text{对流热损失} = 0.00079\Delta t - 0.043 \quad (\text{W})$$

$\alpha$  为金属表面状态的热辐射率。镜面时  $\alpha = 0.04 \sim 0.05$ ，车削表面  $\alpha = 0.4$ ，氧化表面  $\alpha = 0.8 \sim 0.9$ ，完全黑体  $\alpha = 1$ 。现取  $\alpha = 0.8$ ，设  $A$  为热流道板的表面积 ( $\text{cm}^2$ )，则二者的热损失

$$W_2 = (0.003206\Delta t - 0.3278) A \quad (\text{W}) \quad (4.12-9)$$

热流道板传导引起的热损失，主要是由于支承零件传热的结果。架空安装的空气传热在较大表面积时才计入，应作空气支承处理。各支承物的热传导损失为

$$W_3 = \sum \frac{a\Delta t'\lambda}{\delta} \quad (4.12-10)$$

其中， $W_3$  为各支承物的总传导热损失 (W)； $a$  为支承物的接触面积 ( $\text{cm}^2$ )； $\Delta t'$  为热流道板与定模边各板的温差 (°C)； $\delta$  为支承物的厚度 (cm)； $\lambda$  为支承物的热传导系数，中碳钢  $\lambda = 0.5336\text{W}/(\text{cm}\cdot^\circ\text{C})$ ，不锈钢  $\lambda = 0.1624\text{W}/(\text{cm}\cdot^\circ\text{C})$ ，空气  $\lambda = 0.000356\text{W}/(\text{cm}\cdot^\circ\text{C})$ 。

由上三式可以得加热流道板所需总功率的计算式。其条件是流道板温度 200~300°C，表面氧化处理  $\alpha = 0.8$ ，热效率  $\eta = 0.2$ ，升温时间 0.5h 的中小型模具，并有 1.1 的计算余量。它是

$$W = \left[ 1.34\Delta t G + (0.003206\Delta t - 0.3278) A + \sum \frac{a\Delta t'\lambda}{\delta} \right] \times 1.1 \quad (\text{W}) \quad (4.12-11)$$

**[例]** 某热流道板表面积  $A = 1848\text{cm}^2$ 。不计入加热器的热流道板总重  $G = 23.4\text{kg}$ 。要求升高  $\Delta t = 200^\circ\text{C}$  温度，流道板温度  $t_m = 200 + 20 = 220^\circ\text{C}$ ，定模板温度  $60^\circ\text{C}$ ，两者温差  $\Delta t' = 220 - 60 = 160^\circ\text{C}$ 。现有中碳钢支承物  $a = 1.54\text{cm}^2$ ， $\delta = 1\text{cm}$  有四个； $a = 3.2\text{cm}^2$ ， $\delta = 1\text{cm}$  仅一个； $a = 2.17\text{cm}^2$ ， $\delta = 2\text{cm}^2$  有四个， $\lambda = 0.5336\text{W}/(\text{cm}\cdot^\circ\text{C})$ 。

【解】 数据代入加热总功率计算式 (4.12-11), 有

$$W = \left[ 1.34 \times 200 \times 23.4 + (0.003206 \times 200 - 0.3278) \times 1848 + \frac{4 \times 1.54 \times 160 \times 0.5336}{1} + \frac{1 \times 3.2 \times 160 \times 0.5336}{1} + \frac{4 \times 2.17 \times 160 \times 0.5336}{2} \right] \times 1.1 = 8822 \text{ W}$$

计算结果  $W = 8.8 \text{ kW}$  是开始注射的升温功率。在维持正常生产时所需功率应为热流道板辐射、对流和传导损失之和, 可用  $W_2 + W_3$  计算。此例中维持生产功率为  $1.8 \text{ kW}$ , 为启动功率 20%。热流道板的维持温度设定应比注射机的料筒最高温度稍高一些。

### 3. 温度控制

流道内塑料温度保持与料筒内已塑化物料大体相同或稍高的温度。更重要的是整个流道板的温度分布必须均匀和恒定。尽可能减小温差和波动, 尤其要避免局部过热。

加热元件有加热棒、加热圈和加热板等, 以加热棒使用最多, 尤其以内藏热电偶的加热棒最佳。加热元件配置应尽量数量多些, 功率小些, 功率密度不高, 以利于加热均匀。加热棒的安装位置应与流道等距平行且对称分布。要保证孔的加工精度, 孔径与棒的径向间隙在  $0.2 \text{ mm}$  以下为好。加热孔与流道内壁间距一般为  $3 \sim 5 \text{ mm}$  左右。

流道板的测温元件可用热电偶或热敏电阻, 常以热电偶居多。测温元件应放在等价影响位置, 即热电偶与加热元件跟流道距离相等。

最简单的二位式开关控温方式, 温度波动较大且控制精度低。现已采用比例式 (P)、比例微分式 (PD)、比例积分式 (PI) 闭环温度控制系统, 应用具有其中一种或多种的温控调节器。最好用调节电压方式来控制加热器的输出功率。

划区测温 and 加热, 多区域独立温度控制是保证温控精度常用方法。浇口数目即为分区数。必要时还对加热的各喷嘴进行温度控制。

## 四、热流道喷嘴设计

喷嘴的工作是热流道模具成型的关键。它处于高温的流道板和冷却固化塑件型腔的交界面上, 是二者之间的节流通道的。要保持喷嘴内塑料的熔融状态, 须尽可能完善地绝热, 有些喷嘴还进行外部或内部加热。相反地成型型腔必须强制冷却, 而且冷却固化时间较长。二者温差通常有  $100 \sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , 所以热流道喷嘴设计首先要达到热平衡要求。要避免喷嘴内冷料过多而固化堵塞; 或者出现塑料过热而流涎和拉丝, 甚至热分解。其次, 必须考虑到温差产生的颇大的热膨胀, 保证喷嘴口与喷嘴套以及与定模型腔上浇口孔的对准。再其次, 需注意此处熔体的泄漏, 产生飞边会影响喷嘴正常工作, 又很难清理。热流道喷嘴与浇口的结构繁多, 且处于发展开发阶段, 很难严格分类, 这里介绍几种常见的特征。

### 1. 主流道型浇口

如图 4.12-6 所示, 喷嘴套上孔径  $2.5 \sim 3.5 \text{ mm}$ , 喷嘴套和浇口杯之间存在  $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$  厚的塑料膜。在注射时, 熔体冲破塑料膜注入锥形主流道型的大浇口。塑料制品上留有大的料柄需切除。这种喷嘴可以很短, 无需加热, 有利于保温。喷嘴套最好用铍铜制造, 伸出流道板不得超过  $40 \text{ mm}$ 。浇口杯处于热冷的界面上起绝热作用。这种喷嘴和大浇口的压力损失小, 不会堵塞。可用于较大的厚壁塑件, 适用 PE、PP、PS 和 ABS 物料, 但不能用于热敏性塑料。



## 2. 直接接触式喷嘴

使用上述主流道型浇口或下述点浇口，在喷嘴口与浇口之间存在1mm左右的绝热塑料膜，此膜停留时间长了会分解。在每次注射中，它被后续熔体带入型腔。成型较大制品时，这些坏料分散不被注意。但成型小型薄壁精密制品时，会使制品质量下降，特别是对于热敏性的塑料。因此，不得不采用如图4.12-8所示的直接接触式喷嘴。它需要粗大的引导通道6~8mm，以防固化。口径孔按点浇口估算式确定，约1mm左右。喷嘴前端是型腔的一部分，成型面直径有达到12mm的。但只要强度和刚度允许，该成型接触面应尽量地小。这种直接接触式喷嘴只能用于30s之内的短周期注塑。倘若用于较长周期注塑，就需加热圈外加热或加热棒内加热。

## 3. 点浇口

点浇口在制品上留下很小痕迹，而使用普遍。它与绝热或加热方式喷嘴有多种组合。由于与喷嘴之间存在绝热膜，故不适用PVC和POM等易分解的塑料。并存在点浇口的堵塞问题。

(1) 绝热式喷嘴——点浇口 如图4.12-9所示，绝热式喷嘴热量来源于流道板中被加热的熔体和流道板的传热。伸出流道板的喷嘴长度 $L$ 过大，会使喷嘴前端温度过低。有实验数据表明，当 $L=32\text{mm}$ 时，热流道板与喷嘴前端温度差为 $4^{\circ}\text{C}$ ；而 $L=45\text{mm}$ 时，温差 $14^{\circ}\text{C}$ ； $L=62\text{mm}$ 时达 $18^{\circ}\text{C}$ 。因此，喷嘴长 $L$ 与其有效传热直径 $D$ 应为 $L \leq 2D$ ，一般 $L < 40\text{mm}$ 。喷嘴与点浇口之间的绝热塑料膜厚度 $S$ ，对喷嘴的热平衡至关重要。 $S$ 太薄则浇口处热量过多，绝热膜不易形成，生产中会产生拉丝或流涎。 $S$ 太厚则浇口中塑料易冷凝冻结，影响注射过程的控制；而且携入型腔的绝热膜的分解料过多。所以一般 $S=0.3\sim 1.2\text{mm}$ ，如ABS料 $S$ 为 $0.4\sim 0.8\text{mm}$ 。喷嘴四周与喷嘴套之间的绝热层厚度达 $1.6\text{mm}$ 即可满足要求。但因众多影响因素，常取 $2\sim 4\text{mm}$ 。过厚会使喷嘴的结构过大。为减小喷嘴前后两端的温差，也有的用导热性好的铍青铜制造。浇

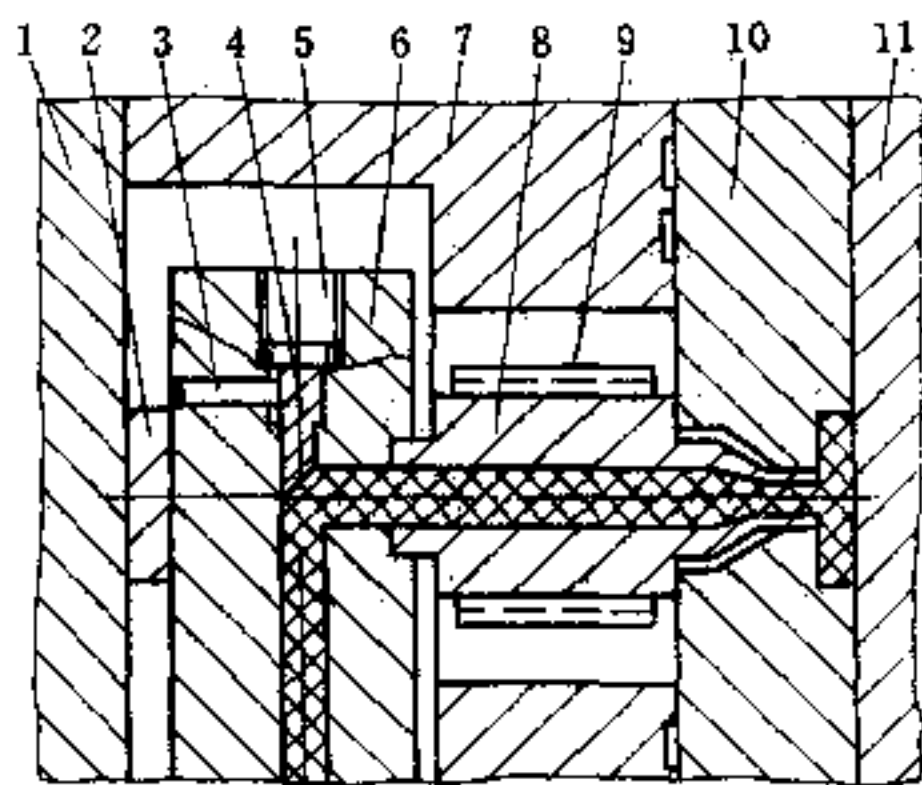


图4.12-8 接触式喷嘴多腔热流道注射模  
1—定模底板；2—垫块；3—止转柱销；4—堵头；  
5—加热器；6—热流道板；7—侧支板；  
8—直接接触式喷嘴；9—加热圈；  
10—定模型腔板；11—动模板。

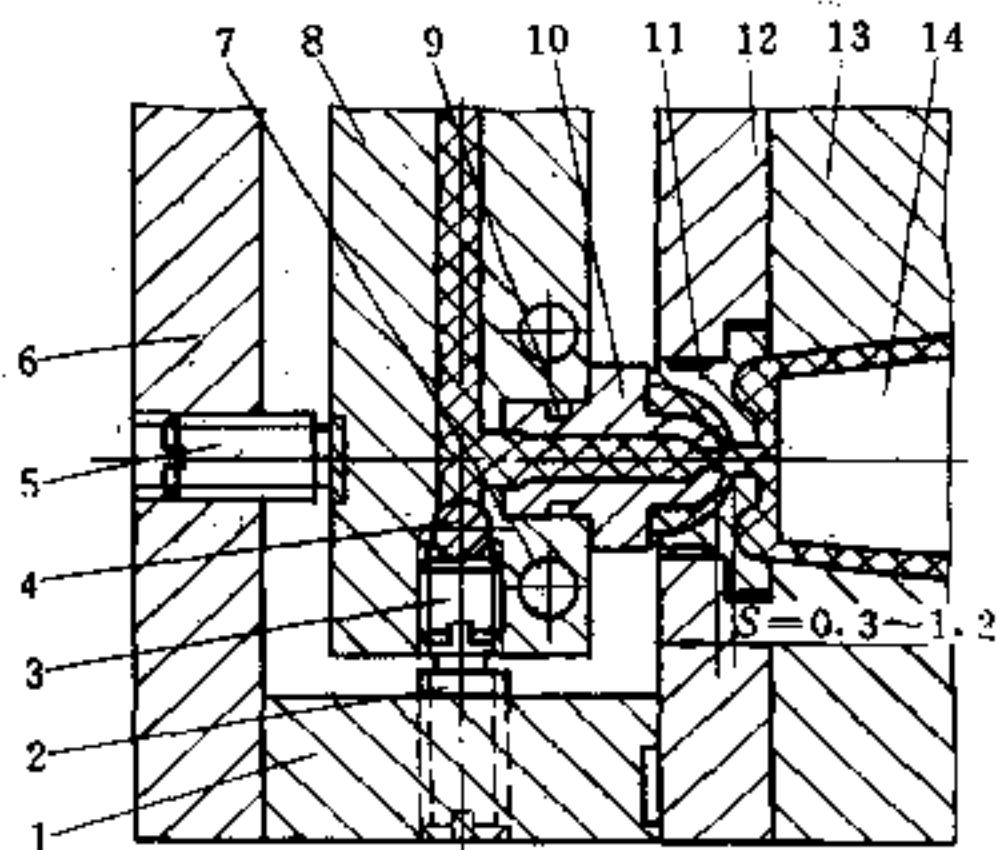


图4.12-9 绝热式喷嘴点浇口  
多腔热流道注射模  
1—侧支板；2—定距螺钉；3—螺塞；4—密封钢球；  
5—支承螺钉；6—定模底板；7—加热器孔；  
8—热流道板；9—弹簧圈；10—喷嘴；11—喷嘴套；  
12—定模板；13—定模型腔板；14—型芯。

口处的型腔壁厚应有足够强度，常在1.5mm以上。浇口直径应按流量和熔体粘度慎重确定，大致为1mm左右甚至更大。

(2) 内热式喷嘴——点浇口 如图4.12-10所示，分流梭中央的加热棒是内热式喷嘴热量的部分来源。加热棒功率可由电压调节。分流梭四周的熔体通道间隙一般3~5mm为好。间隙过小，使流动阻力大，散热快；间隙过大，则熔体径向温差大且结构尺寸也大。内热式喷嘴长度较长时，需用电热圈辅助外加热。这种喷嘴在商品化过程中，今后会越来越广使用。倘若喷嘴较短，采用图4.12-10所示喷嘴，仅用绝热塑料层隔装于定模板中。内热式喷嘴由于高温锥形尖深入浇口，温度得到有效控制。它的浇口部位有绝热膜的设计，也可作直接接触式喷嘴使用。

#### 4. 外热式喷嘴

见图4.12-8，外热式喷嘴的部分热源来自喷嘴四周的加热圈。由于热量得到保证，熔体通道的流动阻力小，喷嘴长度不受限制。但要求用导热性好的金属制造。由于结构原因，外热式喷嘴前端浇口处的温度较低。由于存在温差，热平衡不易控制。因此浇口的口径与形状需慎重考虑，一般浇口直径 $d$ 大于浇口口颈高度 $h$ 。外热式的热量利用率较低，加热圈周围要有3~5mm空气绝热间隙。也有将外热式喷嘴设计成直接接触式，如图4.12-8的结构。

### 五、热补偿

由于热流道板加热温度远高于被冷却的型腔模板。流道板的热膨胀必然会使喷嘴前端产生横向位移，引起它们与各型腔浇口中心线的偏心。设计时必须预先考虑这一问题，采取相应的补偿方法。

#### 1. 预留偏心距

在设计时就将喷嘴中心线预先置于偏心位置。在流道板达到工作温度时，膨胀后流道板经喷嘴产生与型腔板的滑动，使喷嘴移至浇口的同一中心线上。见图4.12-6，工作时的热流道板以垫块为紧固中心，各喷嘴中心线向外侧膨胀伸延与各浇口对齐。如图4.12-11所示，模具流道板的中心在图示喷嘴口的右侧。这种预留偏心距方法适用于绝

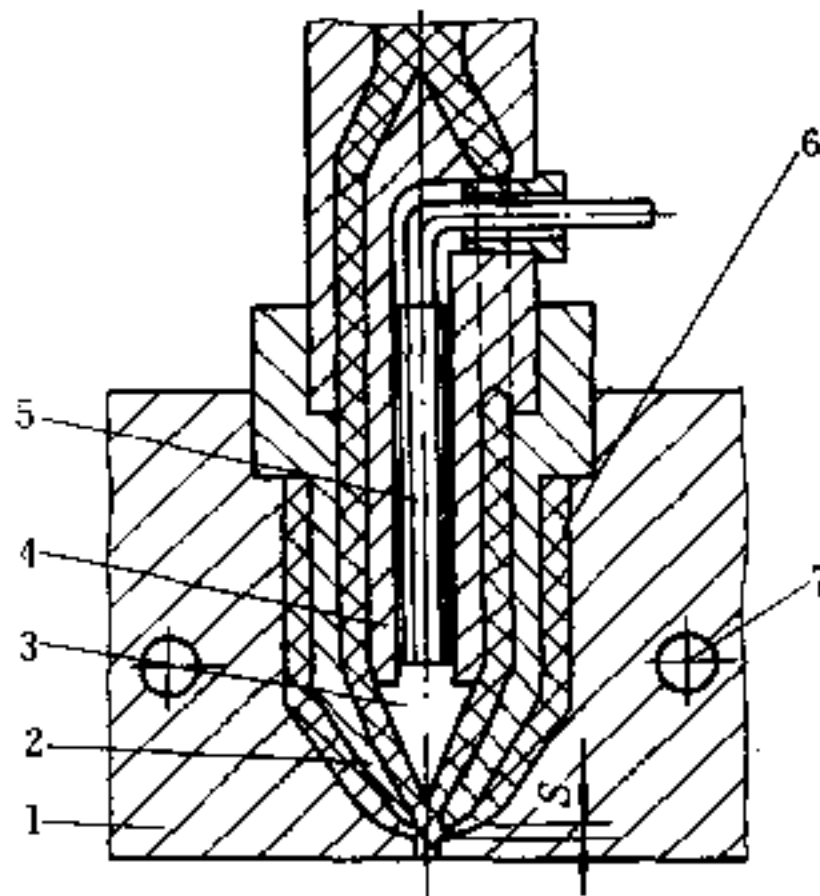


图4.12-10 内热式热流道喷嘴

1—定模板；2—喷嘴；3—锥形尖；4—分流梭；  
5—加热棒；6—绝热层；7—冷却水孔。

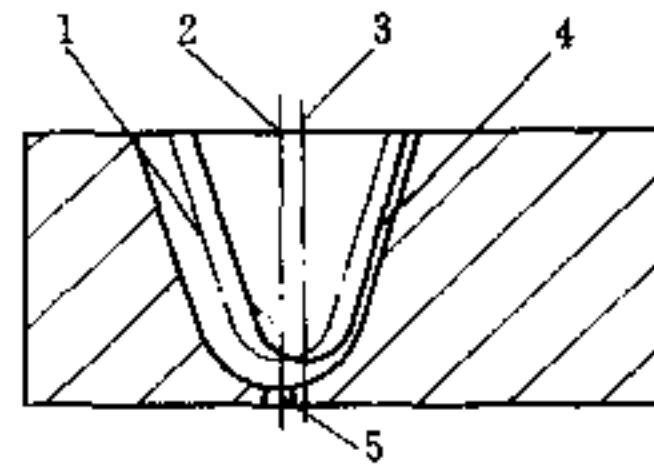


图4.12-11 热流道喷嘴预留偏心距

1—运行时喷嘴外轮廓；  
2—工作时喷嘴和浇口中心线；  
3—常温时喷嘴中心线；  
4—常温时喷嘴外轮廓；5—浇口。



热式的喷嘴。

## 2. 挠性变形

对于如图 4.12-8 所示的直接接触的喷嘴，必须依靠喷嘴整体的挠性变形来补偿流道板热膨胀的横向位移。因此，喷嘴应有较大的长径比，并选用弹性模量较低的软钢或青铜制造。

## 六、热流道注射模的发展

发展中的热流道注射模新技术不断出现。这里简要介绍三种。

### 1. 阀式热流道喷嘴

用一根可启闭的针形阀芯置于喷嘴中，使浇口成为阀门。在注射保压阶段开启；在冷却阶段关闭。这种浇口的口径可增大些，避免了异物的堵塞，也没有小浇口冻结的迟早问题，更可防止浇口熔体的拉丝和流涎。因此，适用各种粘度，特别是低粘度的各种塑料。阀式热流道喷嘴按阀芯启闭的驱动方式常见有两类。

(1) 熔体压力驱动 见图 4.12-12，当注射压力传递至喷嘴的浇口处，针阀芯克服弹簧压力而打开浇口。注射保压后熔体压力下降，由弹簧力闭合浇口。该弹簧力最好能调节，并用 300℃ 高温下的耐热抗疲劳的优质钢丝制造。针阀芯的导向柱和导向套之间间隙是针阀的关键。要使其在高温下动配而不咬合，又不能有过大的熔体泄漏。已泄漏的分解塑料用小孔导出。要保证阀芯的锥尖对准浇口孔。若有微量错位，会影响针阀芯启闭运动。这种弹簧针阀喷嘴用于多型腔；也有用于单型腔注射模。

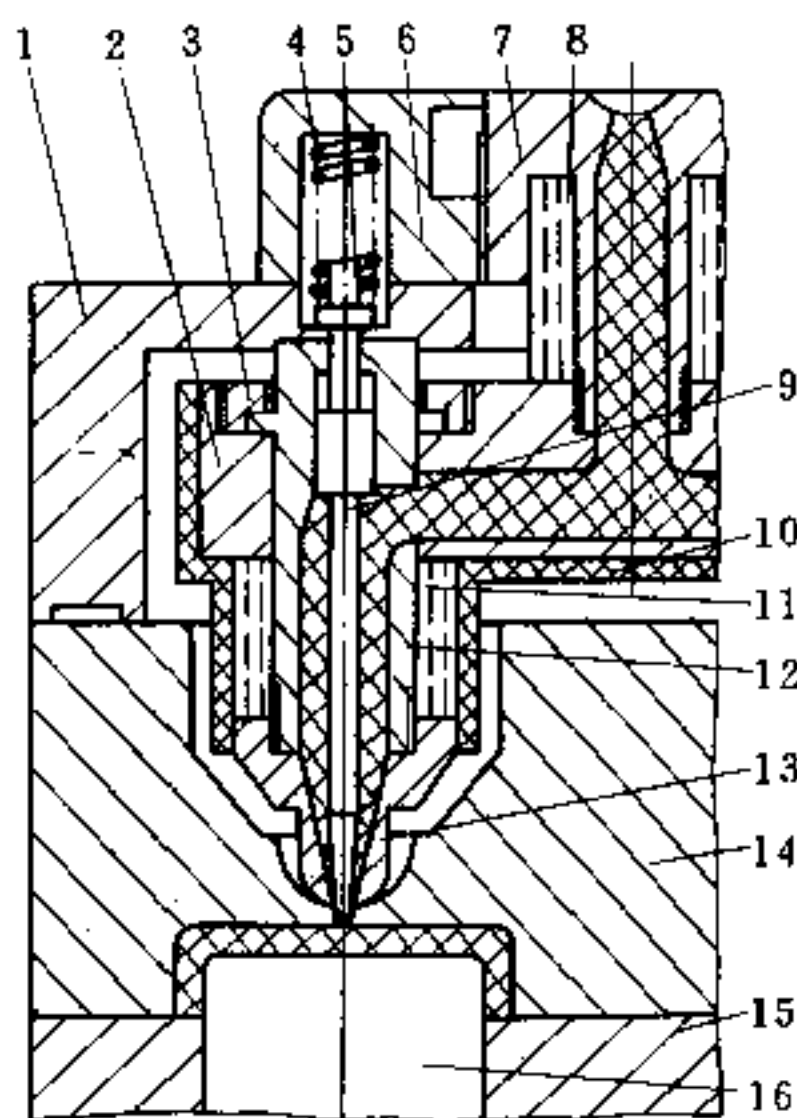


图 4.12-12 弹簧针阀式热流道喷嘴

- 1—定模底板；2—热流道板；3—压环；4—压缩弹簧；5—活塞杆；6—定位圈；  
7—主流道衬套；8—加热圈；9—针阀芯；10—隔热层；11—加热圈；12—喷嘴体；  
13—喷嘴头；14—定模型腔板；15—脱模板；16—型芯。

(2) 油缸液压力驱动 见图 4.12-13，对每个阀式喷嘴都设置驱动开闭的油缸。油缸活塞的换向控制可以是时间继电器；也可以用注射机的注射油缸压力的设定值控制。在流道板中熔体得到高压预压缩后才开启阀芯。因此，可实现高速低温充模和较高的流

程比，并可准确控制补缩时间。故能有效减小制品的残余应力，减小收缩和翘曲变形。驱动阀芯所需的启闭力，接近于流道中熔体注射时压力。因此，需弹簧助力和杠杆的增力。常用浇口直径达 3mm，因此会在制品上留下较大皱折的痕迹。这种阀式浇口用于单型腔时，主流道与喷嘴需要错开。

以上两种阀式热流道喷嘴常用外加热。因内热式的结构更复杂，设计制造困难。

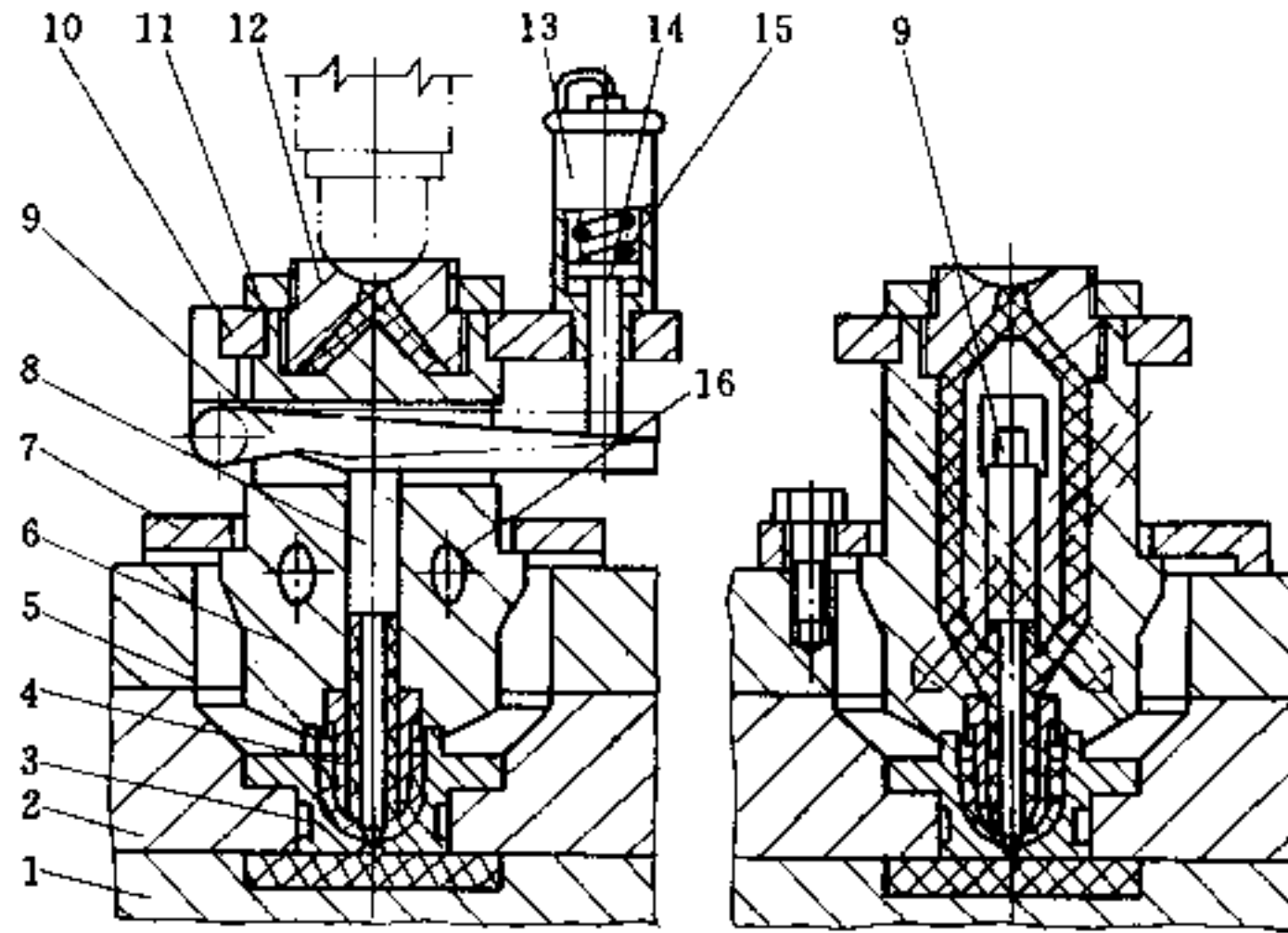


图 4.12-13 液压杠杆阀式热流道喷嘴

- 1—动模型腔板；2—定模板；3—浇口杯；4—喷嘴头；5—定模垫板；6—喷嘴体；  
7—压板；8—针阀芯；9—杠杆；10—支板；11—锁紧螺母；12—喷嘴盖；13—油缸；  
14—活塞杆；15—弹簧；16—加热器孔。

## 2. 内热式流道板

热流道板上的流道均采用内加热方式，如图 4.12-14 所示。由于流道中塑料熔体本身起绝热作用，既能降低加热能量，也能降低流道板温度。因此，可不考虑流道板的膨胀。加热棒四周温度高，熔体流速快有产生分解的可能。沿流道径向越向外，熔体温度

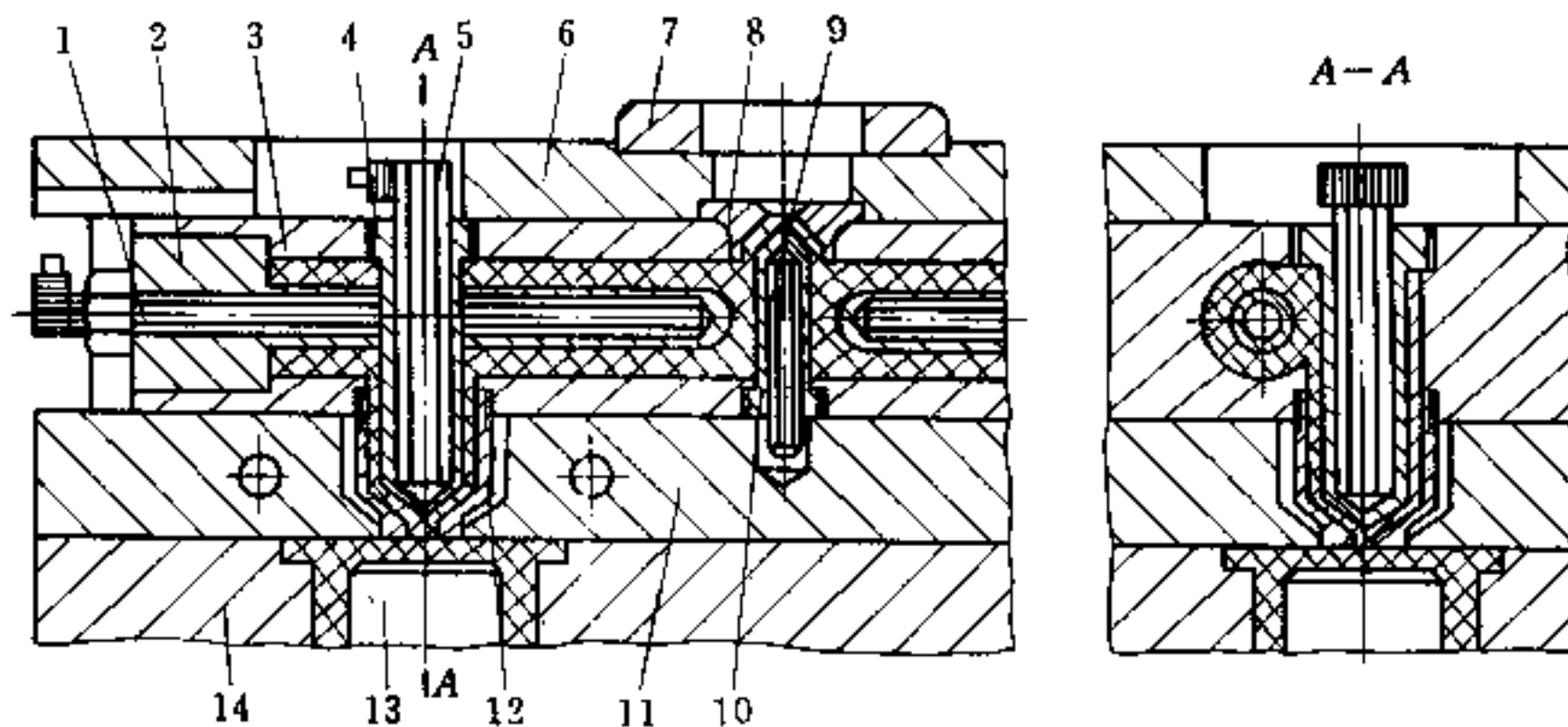


图 4.12-14 内热式流道板

- 1, 5, 9—加热芯棒；2—分流道加热管；3—流道板；4—内热式喷嘴；6—定模底板；  
7—定位销；8—主流道衬套；10—主流道加热管；11—定模型腔板；12—喷嘴套；  
13—型芯；14—凹模型腔板。

和流速越低,甚至形成固化皮层。加热棒与流道壁之间间距过大,会使熔体产生过大温差,通常应为3~5mm。采用内热式流道板时,一般让加热棒温度控制得较低,用高压注射成型。

### 3. 热管

热管是一种超级导热元件,通常直径2~8mm,长40~200mm。其导热能力是同样直径铜棒的几百倍至上千倍。如图4.12-15所示,它是铜管制成的密封件,在真空状态灌入水或甲醇、氨、氟里昂等传热介质。热端蒸发段的传热介质在较高温度下沸腾蒸发,经绝热段向冷的凝聚段流动,放出热量后又凝结成液态。管中细金属丝等各种结构的芯套,起着毛细管的抽吸作用,将传热介质送回蒸发段重新循环。这一过程继续进行到热管两端温度均衡。常用热管有效工作温度范围-10~250℃。

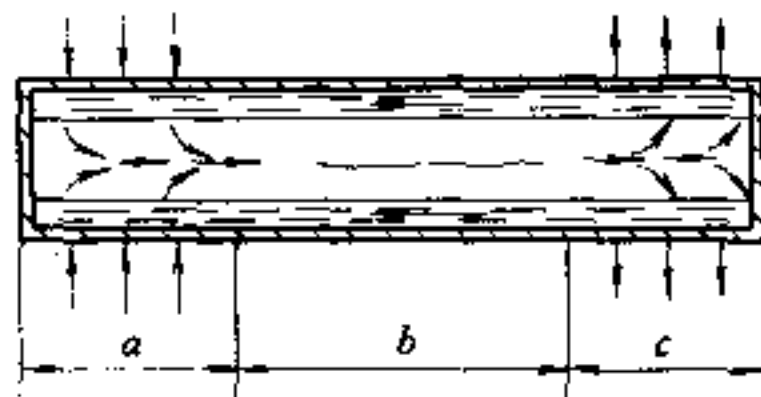


图 4.12-15 热管的工作原理  
a—蒸发段; b—绝热段; c—凝聚段。

热管用于热流道模具的喷嘴和流道板加热。可将电热圈或电热棒加热处的热量迅速导向冷端使温度均化。更多地用于热流道喷嘴。若喷嘴的一端由于结构原因无法加热,用热管导热的喷嘴轴向温差可控制在2℃之内。热管也可用于注射模的冷却系统。热管一端置于高温热量聚集之处或者不宜开设冷却管道部位;对另一端强制冷却,可提高冷却效果并达到均温。

## 4.12.4 温流道注射模

热固性塑料交联固化后不能再塑化,所以它的无流道凝料注射模,对于降低生产成本比热塑性塑料具有更大价值。这种模具简称温流道注射模。

多型腔温流道注射模,如图4.12-16所示。

### 一、成型原理

温流道注射要使流道内所有物料,像在物料内那样始终保持熔融状态,在注射压力作用下充填型腔。为此,必须对模具的温流道部分独立设置一个低温区,温度大致在105~110℃范围。该温流道板用热水或热油循环保温,经测温 and 调温系统携走或补充热量。型腔部分是高温区,温度大多在145~180℃。物料注入型腔后在受热承压条件下交联固化。两个温度区之间的绝热是温度精确控制的关键,它们之间通常用石棉水泥板或环氧玻纤板绝热。同时还对模具的定模底板和动模底板绝热。空气隙绝热也是常用隔热手段。在温流道板四周,喷嘴的四周均有空气间隙。温流道喷嘴处于高低温的界面,应该用导热不良的合金钢制造,也可用聚酰亚胺等高强度塑料镶于喷嘴口。喷嘴的上游需维持温热,具有调温介质的通道。

温流道成型要求物料在流道中的停留时间内保持良好流动性,且对注射压力敏感,进入高温型腔又能快速固化。国内外有各种专门为温流道成型而配制的热固性注塑料,它要求注射机有较高的注射压力和锁模力。温流道成型可节省15%~35%的原料,且一模多件生产,是一种很有前途的注射工艺。但是它要求有严格的温度控制,技术难度高。此外,温流道板的温控增加了模具的成本和能耗,且在制品上带有较大的浇口料柄。

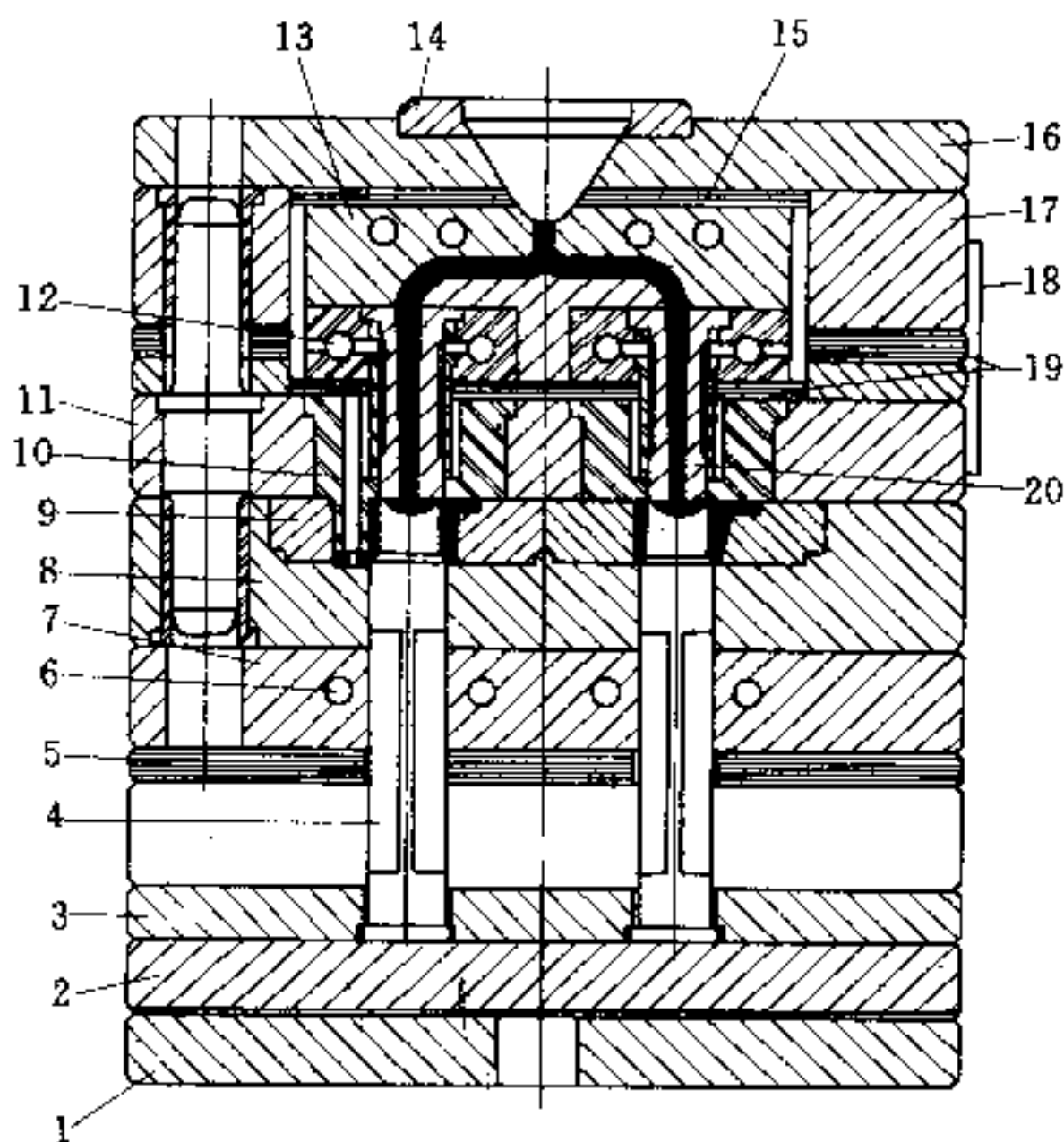


图 4.12-16 多腔温流道注射模

- 1—动模底板；2—顶出板；3—顶出固定板；4—顶杆；5—绝热板；6—加热棒；7—动模支承板；  
8—动模板；9—凹模镶块；10—型芯；11—定模板；12—水管；13—温流道板；14—定位圈；  
15—绝热板；16—定模底板；17—侧板；18—开闭锁尺；19—绝热板；20—喷嘴。

## 二、模具设计

在考虑浇注系统的时候，首先要保证所有型腔的体积要大于浇注系统通道的体积，以保证热固性塑料熔体的稳定性。浇注系统通道应采用圆截面，有利保温和流动。一般直径为 6~8mm，在有纤维填料时应取较大值。流道有与型腔相同的表面粗糙度，最好作镀铬处理以保证耐磨性。流道应为光滑圆弧形通道，不能有死角和凹槽，不能有滞料停留。尽量减少物料剪切作用和压力损失。喷嘴孔径一般不小于 4mm，带有 30'~1° 的倒锥，便于拖出浇口柄。型腔分型面上要开设充分的排气槽。在温流道板上要设分型面，并配有挂钩式的开闭锁尺，以备流道内固化物取出之需。

## 三、单腔温主流道注射模

对于一模一腔的热固性塑料注射模，专门设计和制造由调温介质控制温度的喷嘴替代原注射机喷嘴，延伸到注射模中。如图 4.12-17 (a) 所示，称延伸式喷嘴。也可用温热介质控制温度的可更换的主流道衬套，装于注射机喷嘴与模具之间。如图 4.12-17 (b) 所示，称隔套式喷嘴。这两种方法都使主流道中热固性塑料处于温热熔融状态，可连续注射而无主流道凝料。

延伸式喷嘴直接同浇口相接，成型后的塑件上留下浇口痕迹，喷嘴四周有空气间隙绝热，注射保压结束后喷嘴离开模具。喷嘴温度控制需严格，过热过冷均会使物料固化。

隔套式喷嘴用于实施改装温主流道注射较容易，当注射发生故障时能极方便地去除固化物。

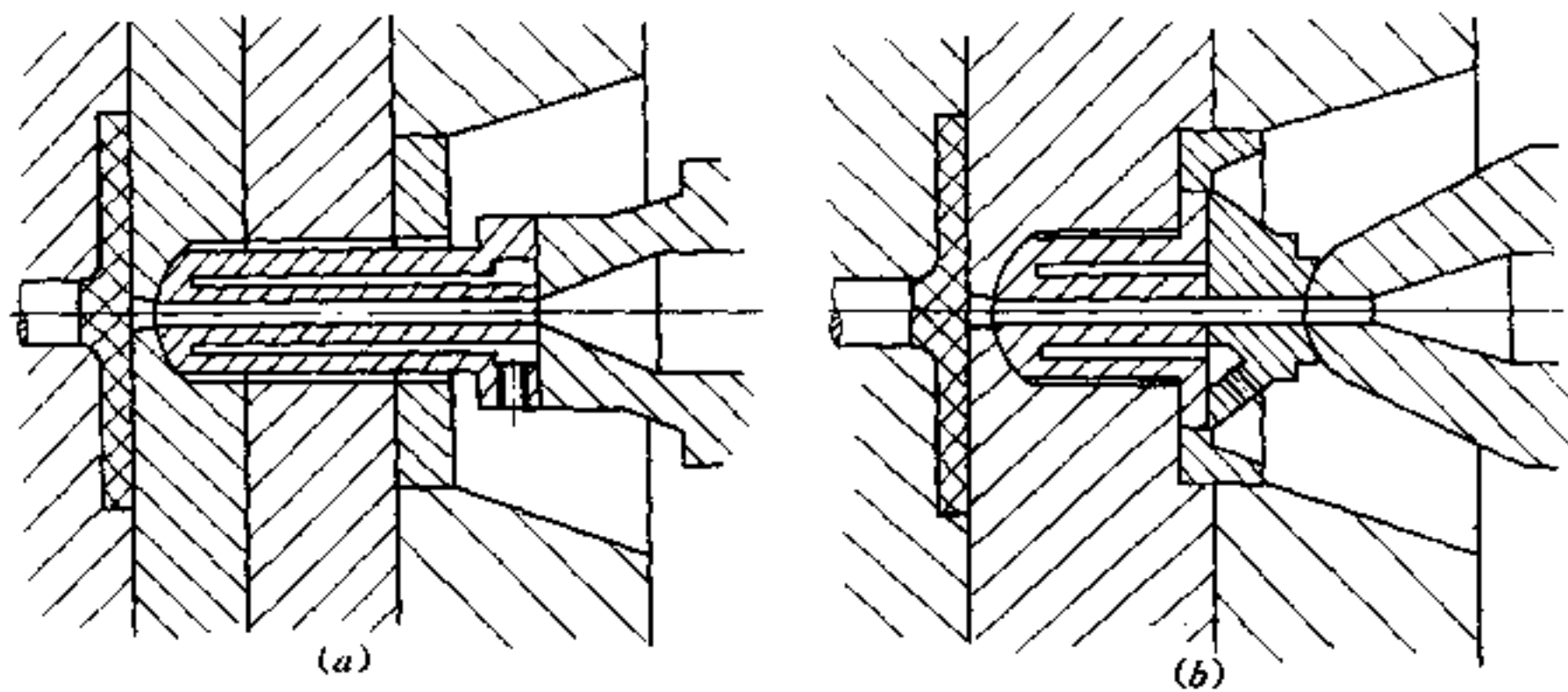


图 4.12-17 单腔温主流道注射模

(a) 延伸式喷嘴; (b) 隔套式喷嘴。

## 4.13 结构泡沫注射模设计

### 4.13.1 结构泡沫塑件及特性

具有整体壳层及多孔芯层的泡沫塑料，由于它有较高的比强度和比刚性，通常可作为结构材料使用，故称为结构泡沫塑料。正是由于结构泡沫塑料的这种优异性能，使得它在电子电器、工业配件、汽车零件、仪器仪表、声频信号、精细家具及环卫产品等诸方面获得了广泛应用。

结构泡沫塑件仅为同种材质塑料密度的 70% ~ 80% 或更低，随塑件形状及所用树脂不同，通常材料可节省 10% ~ 30% 或更多。绝大多数结构泡沫塑料密度均在  $0.65 \sim 0.80\text{g/cm}^3$  之间。注射成型结构泡沫塑件，目前仍是最主要的加工方法。当然，也可用挤塑或反应注射成型方法获得。

结构泡沫塑件的注射成型，可采用低压法、夹芯注射法和高压法三种方法。低压法又可分为化学发泡和氮气发泡两种类型。

在注射成型过程中，含有发泡剂或携带有气体的聚合物熔体，在压力作用下注入模具型腔。由于模腔内压力极低，在此含于熔体内的气体迅速膨胀形成泡孔，随着熔体在模内冷却，泡孔滞留并稳定于材料中，成为所需结构泡沫塑件。在此过程中，与模腔壁接触熔体的冷却速率最大，且受到最大剪切作用，使泡孔尚未达到应有的尺寸就塌陷，并将泡孔内气体驱赶到模腔内部，从而形成了密实的整体壳层。显然，距模腔壁愈远，冷却速率愈小，熔体受到的剪切作用也愈小，使泡孔有充分增长时间。因此，结构泡沫塑件，从皮层至内芯形成密度渐减的特性。整体壳层包含着多孔芯层的这种结构，有利于增强塑件的力学性能。因为强度最大的高密度皮层处于最大纤维应力位置，且无层状夹芯材料那种界限明显的剪切平面。所以结构泡沫塑件的力学性能，与母体塑料相比虽稍有减小，但其比强度和比刚度却有很大提高。

此外，结构泡沫塑件还具有如下特性：

(1) 塑件内应力很小。因熔体注入模腔后，以熔体发泡过程代替了实体塑件的保压与补料过程，且冷却时间比一般注塑件长得多，使本来不大的内应力又有充分的松弛时间。

(2) 塑件无表面收缩凹陷, 也不会产生翘曲变形, 尤其适用于厚壁与大型塑件。

(3) 塑件可采用铁钉或自攻螺钉等联接零件连接, 且不会产生破坏性应力集中。

正是由于模腔压极低(约为普通注塑的 1/10), 这就使得注塑机的锁模力大大降低, 模具材料也可采用易于加工的锌基合金、铸铝、铍铜合金等制成, 具有明显的经济效益。

#### 4.13.2 模具设计要点

结构泡沫注射模总体结构, 与一般注射模相比, 并无显著差别。但在设计这类模具时, 须在以下几方面多加考虑。

(1) 主流道 应开设在单独的主流道衬套内, 且具有比一般注射模主流道大的锥度。小端直径比注射机喷嘴内径大 0.8~1.0mm, 锥度取  $6^{\circ}$ ~ $7^{\circ}$ , 最大长度不超过 60mm。出口端或向分流道过渡端, 应具有较大的圆角(通常取出口端半径)。取这种粗而短以及大圆角过渡的主流道设计, 以利于快速充模。

(2) 分流道 最好采用比塑件壁厚大的圆形或梯形分流道, 以尽可能减少熔体的压力损失和热散失。分流道直径应在 10~20mm 范围内选取, 具体须视流道长度、注射速度和塑件体积而定。

(3) 浇口 原则上, 4.2.3 节中的浇口形式都适用。但最好采用直接浇口或侧浇口。潜伏式浇口和其他小浇口, 只限于短流道(小于 80mm 以内)的小型塑件用。浇口断面尺寸绝不能太小, 以免妨碍高速充模。当分流道直径为 20mm 时, 浇口直径不得小于 6.5mm。从分流道向浇口过渡应有  $R4.5\sim 5.0\text{mm}$  的大圆弧, 以减小浇口对料流的节流作用。浇口长度应尽可能短, 一般在 1.5~3.0mm 之间。浇口断面尺寸, 随塑件壁厚增加而增大, 一般在塑件壁厚的 1/3~1/2 间选取。设计时可取较小值, 试模时视需要逐渐修大。对于表面易产生卷曲形纹理的发泡塑件, 其浇口位置的选择应尽可能使纹理呈平行分布。对此, 采用平缝侧浇口或多点侧浇口较为适宜。通常浇口应开设在塑件壁最厚部位, 并力求熔料流至模腔最远处各点的距离大致相等。此外, 塑件受载部位应防止形成熔接缝或夹入空气, 也是浇口位置选择的重要依据。在整个浇注系统的设计过程中, 采用“熔体流变学”的流动方程, 可有助于合理确定其截面形状及浇口尺寸。

(4) 型腔排气 结构泡沫注射模的排气考虑, 具有特别重要的意义。这不仅由于型腔容积大聚集空气多, 而且还由于发泡剂分解释放出大量残余气体。因此, 这类模具须具有更大的排气范围。通常沿塑件周长, 排气槽应均布, 每隔 50mm 的中心距布置, 槽深 0.07~0.08mm, 槽宽 12mm, 槽长 6mm, 大于此长度之外的槽深可增至 0.25~0.30mm。在型腔壁离浇口最远端的各个角落处, 排气槽深度可增至 0.30mm。为取得最后槽深的排气效果, 必须通过一定的试模次数来确定。从而可获得密度均匀、表观质量好的结构泡沫塑件。

(5) 模具温度 均匀而可控的模温, 有利于获得良好的表观质量、较低的内应力、适当的泡孔结构以及均匀皮层的塑件。这样的性能十分重要, 因而必须密切注意模具的冷却系统设计。首先, 模具选材将决定冷却通道至模塑件表面的距离, 以及材料导热性能将能支配冷却通道的间距, 并选用铜材之类作为散板以避免局部过冷的可能性。如果使用钢材, 冷却通道至模腔表面的距离, 可由普通注塑材料的 14mm 减至 9mm。其次, 冷却通道的大小, 还应能保证冷却介质处于流动状态。再次, 冷却介质用软管尺寸, 应使



其压降为最小。此外,4.9节所指出的其他细节,应当结合结构泡沫塑件的特点,予以仔细分析。对于大型结构泡沫注射模设计,还应特别注意热胀冷缩与隔热等一系列问题。

## 4.14 反应成型注射模设计

### 4.14.1 反应成型过程及特点

反应注射成型过程,是将两种或两种以上具有化学反应活性的流体(单体),同时以一定压力输送到具有混合头的混合室内进行冲击性混合,将混合均匀的液体再迅速注入闭合的模具中,使其在模腔中发生聚合反应而固化,从而获得具有一定形状和尺寸的模塑制品,此种过程简称RIM。由此可知,反应注射成型的模具,首先是一个聚合反应器,同时又是一个赋予塑件以一定几何形状与尺寸的造型。

反应注射成型具有如下特点:

(1) 成型过程温度低 注料前的反应温度一般在110~120℃之间,模具温度一般在40~60℃之间。由于聚合过程是一种放热反应,基本上勿须加热。

(2) 成型过程压力低 液体在模腔内的压力,通常不会超过0.4MPa,比其他注射模的压力低了两个数量级。因而对成型过程锁模力的要求可大幅度降低。

(3) 成型装备投资少 正是由于所需锁模力极低,与一般注射成型相比,反应注射成型机组的投资仅为普通注射装备费用的10%。模具也因模腔压力极低,可采用非高强度材料制成,大大缩短加工周期,从而可节省颇多模具费用。

(4) 成型过程耗能少 能量消耗的减少,不仅是由于模具勿须加热和勿需高温塑化料筒,更重要的是采用具有反应活性单体作为注射物料,从而免除了一般聚合物材料在聚合、挤出造粒等生产过程中,所消耗的大量能耗。

(5) 设计灵活塑件质优 反应注射成型制品设计特别灵活,几乎很少受到工艺性限制。尤其是形状复杂的大型塑件、壁厚变化大的塑件、带筋和具有凸台的塑件等,均比普通注射成型容易。因为注入模腔的物料是粘度极低的液体,非常复杂的型腔也易于充满,塑件中也不会产生因补缩而形成的取向应力。与传统单体工艺相比,注料、混料、聚合反应在模内一体完成,周期短、效率高。反应注射成型周期一般在2~4min之间。

正是由于上述这些固有优越性的存在,使得反应注射成型制品,在汽车构件(如前后保险杠、仪表板等)、精细家具、信托部件、电子壳罩、交通工具、娱乐用品等诸方面,获得了广泛应用。

聚氨酯反应注射成型制品,已形成硬质结构泡沫塑料、低模量弹性体和高模量弹性体三种类型。其典型物理力学性能见表4.14-1。

表4.14-1 聚氨酯反应注射成型制品物理力学性能

材料性能	硬质结构泡沫	低模量弹性体	高模量弹性体
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.50	0.99	0.99
邵氏硬度	70	58	77
拉伸强度/MPa	18.6	23.5	32.1
断裂伸长/%	<5	235	105
弯曲模量/MPa	966	180	828

#### 4.14.2 模具设计的工艺要求

如前所述,反应注射成型的工艺组成似乎并不太复杂。但事实上,整个过程须备有控制器和电子信号发生器,以执行一套完整的、复杂的功能过程。为使模内聚合反应能进行精确控制,并及时提供所需单体,以构成该化工操作成为可能。因此,良好的模具结构设计,应能满足下列各项要求。

(1) 混合单体的注入速度必须很快,即使对于汽车保险杠这样的大型塑件,注入速度也只不过1s多一些。

(2) 注入速度虽快,但要防止产生紊流。

(3) 混合头位置应处于模具最低点,以便把模内需排除的空气向最后充满部位驱赶。且在最后充满部位开设有排气口,以使空气排出畅通无阻。

(4) 模具容积要充满90%。

(5) 分型面须选在塑件轮廓附近或以下,以防止夹空气产生废品。

(6) 模腔能承受最大为0.35~0.70MPa的压力。

(7) 模内反应温度为110~120℃,反应完成后必须使整个型腔表面温度均匀地下降至40~60℃。反应热约为460kJ/kg。

(8) 模腔表面状态必须易于脱出塑件。

#### 4.14.3 模具设计要点

如前所述,由于反应注射成型与众不同,故模具设计有其特殊性。

##### 一、分型面选择

塑件几何形状在很大程度上决定着分型面位置。应尽可能使型腔处于分型面一侧,物料注入点(浇口)应在分型面,或最好在型腔最低点,以利于有序地驱赶模腔内的空气。分型面还决定着混合头、主流道、分流道、浇口和排气槽的位置。模具分型面的密封宽度,视材料不同一般可在7~20mm内选取。其余部分切下深度为0.8~1.0mm的间隙,以有利于排气。图4.14-1表示了具有最佳分型面的塑件设计。为防止反应混合物刚进入分流道时发生飞溅,特设置了“溢流堰”,以改变物料的流动方向,如图4.14-1(b)所示。

##### 二、排气槽设计

排气槽通常设在模腔最高点或注料最末端。排气槽数量与位置,也取决于模内混合料的水平位置,以及物料的注入速度。排气槽应有足够的深度(0.2~0.4mm),以利于排气。排气槽宽度至少为7mm,视塑件壁厚可增大些。

##### 三、注料系统设计

主流道的位置,应使得反应混合物从塑件横截面的最低点进入模腔。在主流道前方不得有凸起和截面变化,以免影响混合物畅流。形状复杂的薄壁塑件,注料口应在液面以下。主流道结构位置可直接设在模具上,也可分开设在主流道衬套内。对于大型模具,最好采用分开的主流道体,以便进行调节。

为确保层流状态,防止注入物料夹气,流经主流道和浇口的料流速度,必须控制在一定范围内。对于壁厚为3~4mm的软质聚氨酯塑件,其流速不得超过3.8m/s。对于



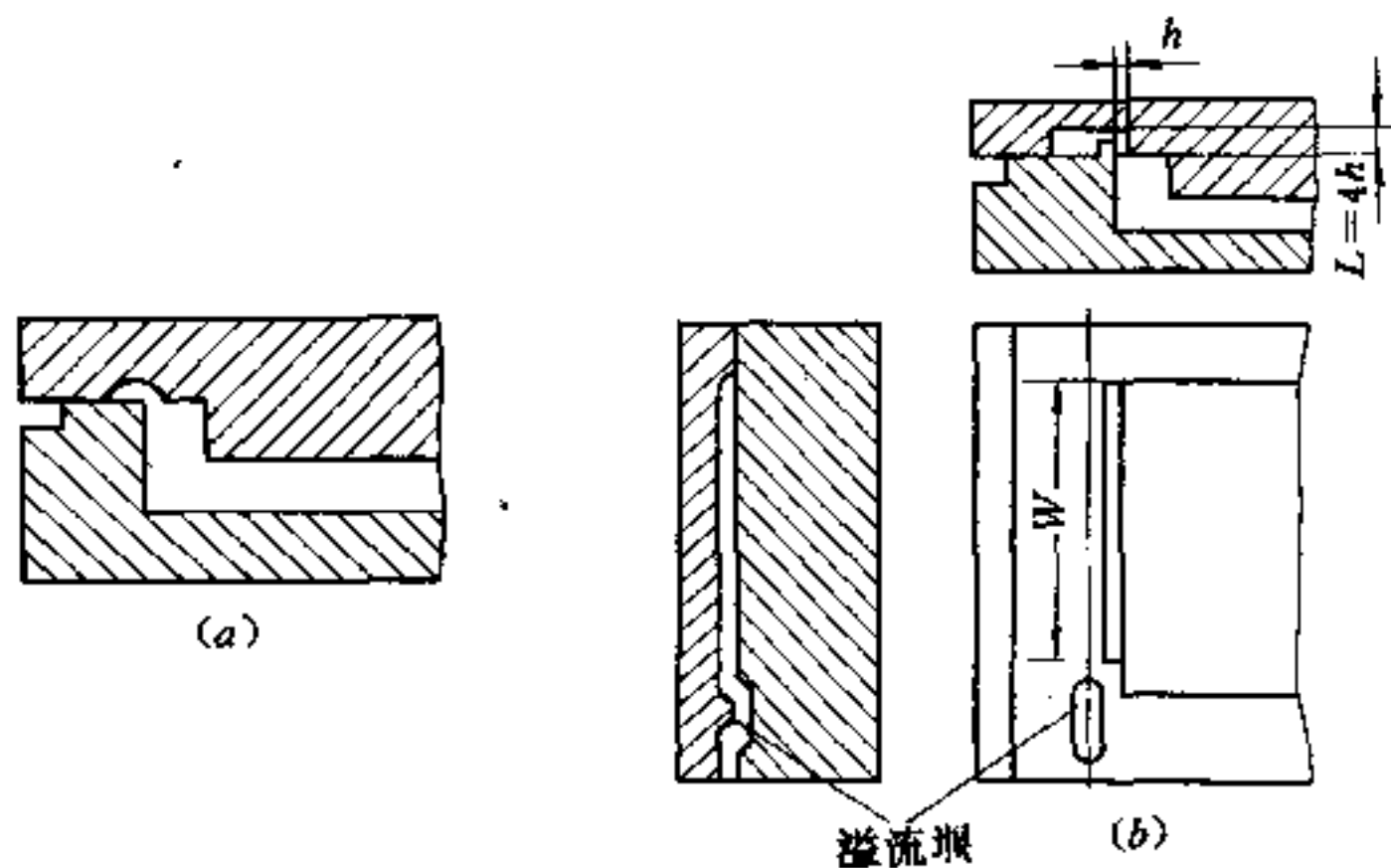


图 4.14-1 具有最佳分型面设计

(a) 不妥; (b) 最佳。

6~10mm 壁厚塑件, 速度应控制在 20m/s 以内。对于硬质聚氨酯塑件, 速度不得超过 15m/s。这些速度规定适用于目前常用配方。

当反应混合物粘度发生变化时, 必须对物料注入速度做相应的调整。浇口厚度为 1~2mm 时, 浇口宽度视塑件壁厚和进入模腔的物料流量而异, 浇口最大宽度可达 6mm。浇口长度至少应为浇口厚度的 4 倍。常用浇口宽度可按下式计算:

$$W = Q / (h \cdot v \cdot d) \quad (\text{cm})$$

式中  $Q$ ——物料流经浇口的质量流率 (g/s);

$h$ ——浇口厚度 (cm);

$v$ ——物料流经浇口流速 (cm/s);

$d$ ——混合料密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

图 4.14-2 为一个扇形浇口及基截面的相关尺寸。在一定条件下, 液状物料可能会在主流道至扇形过渡区与壁面间脱离接触。该图下部表示了能消除这一问题的一种设计。事实上, 只要使扇形角增加到  $150^\circ$ , 且使扇形部分各截面积相等, 出现这样的问题就可避免。扇形浇口只限于小流量 ( $360\text{g/s}$  以下) 塑件。

图 4.14-3 所示为分流道与浇口系统的完整设计。表明分流道截面积应大于浇口截面积, 以保持液体流动的连续性。

#### 四、混合器设计

为确保具有良好混合条件, 可在分流道中插入一个混合器, 以使各化学组分在此通过高压分离撞击, 获得充分混合。此种撞击混合器的结构设计如图 4.14-3 (b) 所示。

#### 五、模温控制

为获得稳定的塑件质量和注塑循环周期, 模温精度应当控制在  $\pm 1^\circ\text{C}$  以内。模温范

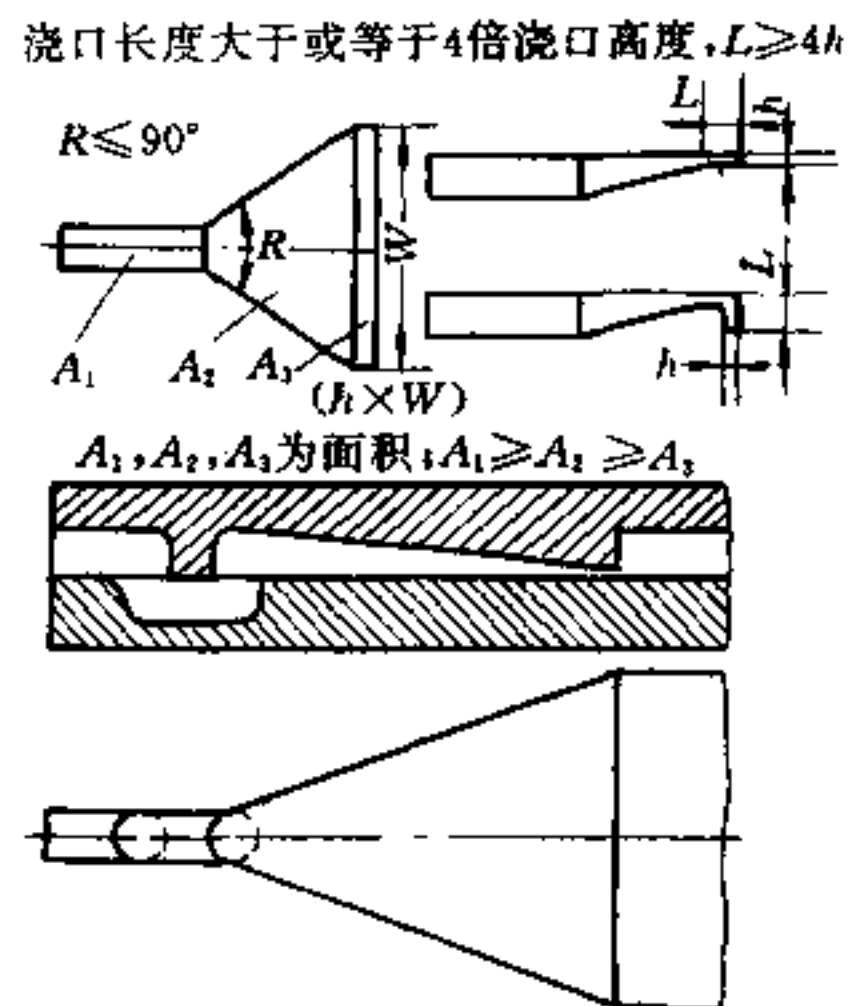


图 4.14-2 扇形浇口设计

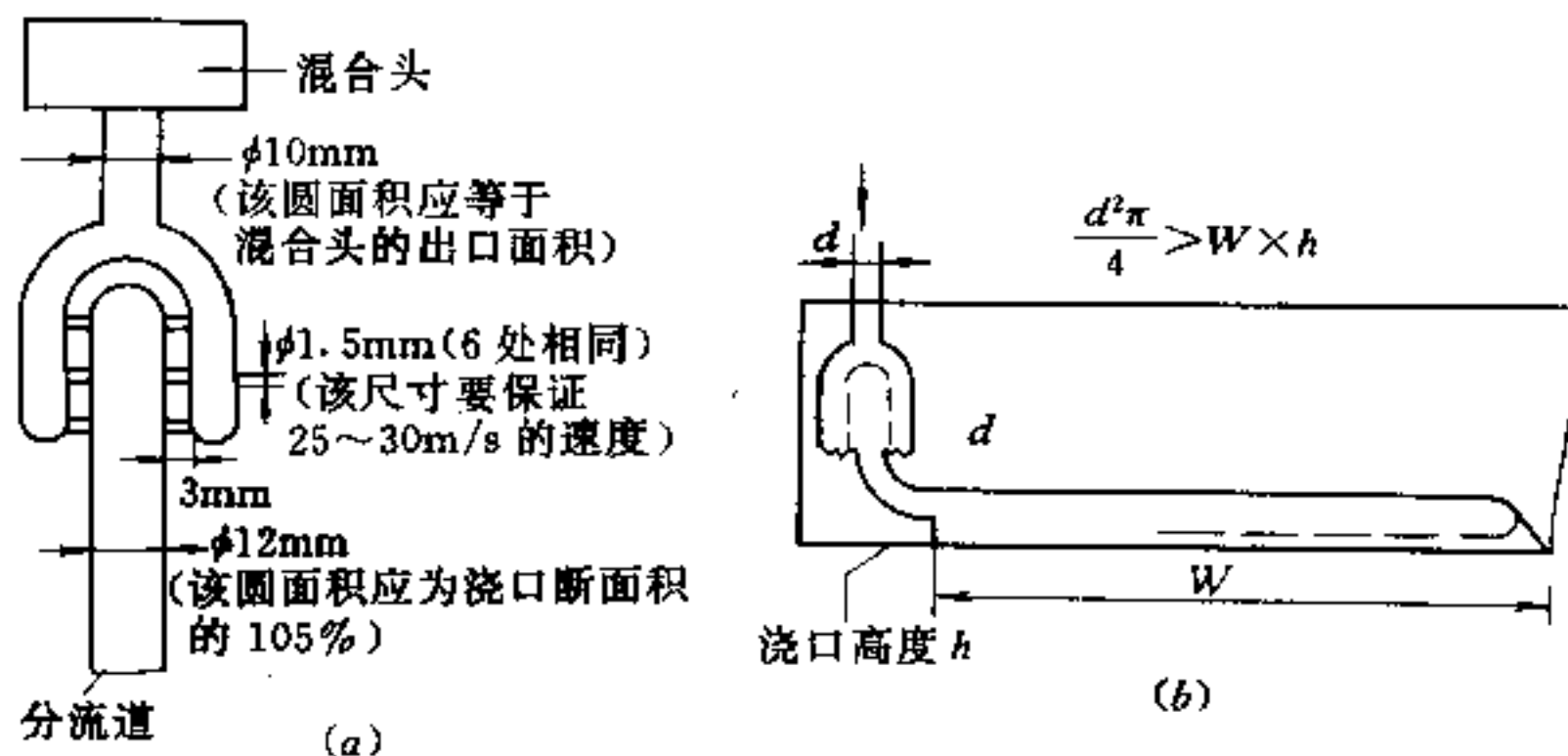


图 4.14-3 典型分流道平膜浇口系统

(a) 撞击混合器; (b) 分流道-平膜浇口。

围为  $40\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，须视塑件配方不同而定。冷却水通道与模腔表面距离通常为  $9\sim 10\text{mm}$ 。冷却通道间的间距应为冷却通道直径的  $2.5\sim 3.0$  倍。对导热性较好的材料，其间距还可适当增大些。

## 4.15 注射模典型结构

注射模典型结构有：

(1) 手动组合滑块模外装嵌件注射模；(2) 模外卸件自动复位注射模；(3) 单点浇口自动脱落注射模；(4) 拉钩二次分型点侧浇口注射模；(5) 拉钩式二级脱模机构注射模；(6) 滑键式二级脱模机构注射模；(7) 内外抽芯注射模；(8) 多点浇口自动脱落注射模；(9) 多浇口切断注射模；(10) 斜导柱分型、摆杆先行复位注射模；(11) 斜导柱二级抽芯、推板推出注射模；(12) 定模斜滑块组合抽芯注射模；(13) 铰链盒注射模；(14) 斜齿轮旋转脱模注射模；(15) 汽水箱热流道注射模；(16) 周转箱热流道注射模；(17) 汽车保险杠热流道注射模；(18) 轿车保险杠热流道注射模；(19) 高精度热固性塑料注射模；(20) 接触器热固性塑料注射模。

## 参 考 文 献

- 1 成都科技大学三校合编. 塑料成型模具. 北京: 轻工业出版社, 1982
- 2 唐志玉编. 大型注塑模设计基础. 成都: 成都科技大学出版社, 1987
- 3 李秦蕊主编. 塑料模具设计. 西安: 西北工业大学出版社, 1988 (第二版)
- 4 李德群, 肖景容. 塑料成型模具设计. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990
- 5 唐志玉编著. 塑料模流变学设计. 北京: 国防工业出版社, 1991
- 6 曹宏深, 赵仲治主编. 塑料成型工艺与模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 7 李德群主编. 塑料成型工艺及模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 8 张克惠编著. 注塑模设计. 西安: 西北工业大学出版社, 1995
- 9 [日] 村上宗雄. 最新塑料模具手册. 王旭、黄伟民译. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1985
- 10 张如彦、王荣本、孙鸿宣编译. 塑料注射成型与模具. 北京: 中国铁道出版社, 1987

- 11 [日] 村上宗雄. 注塑用无流道模具. 傅光先译. 北京: 化学工业出版社, 1988
- 12 [日] 叶屋臣一主编. 注射模具设计和应用. 许鹤峰、叶淑静译. 北京: 轻工业出版社, 1989
- 13 [日] 白石顺一郎. 注塑成型模具. 许鹤峰译. 北京: 轻工业出版社, 1989
- 14 [德] G. 曼格斯, P. 默芷. 塑料注射成型模具的设计与制造. 李玉泉译. 北京: 轻工业出版社, 1993
- 15 王以华等编译. 现代模塑成型手册. 上海: 上海交通大学出版社, 1993
- 16 本书编写组. 塑料模设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1994 (第二版)
- 17 Dym J.B., Injection molds and molding—a Practical manual, by Van nostrand reinhold company, New York. 1979
- 18 Monk J.F., Thermosetting plastics practical moulding technology, by George godwin limited, great britain. 1981
- 19 Pye R.G.W., Injection mould design, third edition, by plastics and rubber institute, London, 1982
- 20 Stoeckhert K., Injection molds 102 proven designs, by Hanser, New York. 1983

# 第五章 压模设计

## 5.1 概述

压缩模塑成型用模具简称压模。主要用于成型热固性塑料制品，其典型结构如图 5.1-1 所示。

压缩模塑成型又称压制或模压成型，简称压塑成型，是塑料加工工业中最古老的成型方法。由于其历史悠久、成型技术成熟可靠，并积累了丰富的经验，因此，当前即使热固性塑料已用注射成型的方法来进行生产，但压塑成型在热固性塑料加工中，仍然是应用范围最广、且居主要地位的成型加工方法。

热固性塑料压塑成型方法，是将经过预热或没有预热过的一定重量的塑料原料（有粉状、粒状、片状、碎屑状、纤维状等各种形态），直接倒入具有规定温度的压模型腔和加料室，然后以一定的速度将模具闭合，塑料在高温和加压情况下熔融流动，并且很快充满整个型腔，保持一定时间后，在物理及化学的作用下固化定型，使塑料由原来的线型分子结构变成三维体型结构，成型为所需形状及尺寸的热固性塑料制品。当达到最佳性能时，即开启模具，取出塑件。这种方法适宜成型大型塑件，且塑件的收缩率小、变形小、各向性能较均匀。

当压塑成型法用于成型、热塑性塑料制品时，则将热塑性塑料加入压模型腔后，逐渐加热、加压使之转化成粘流态并充满整个型腔，然后冷却模具，使塑件硬化后，再将其取出。由于用压塑成型法成型热塑性塑料制品时，所用压模需交替加热与冷却，故生产周期长、效率低，且劳动强度较大。

除多层模外，一般压塑成型效率低，特别是厚壁塑件生产周期更长。厚壁塑件和带有深孔、形状复杂的塑件难于模塑成型，且常因溢边厚度的不同而影响塑件高度尺寸的准确性等等，这些都是压塑成型的不足之处。

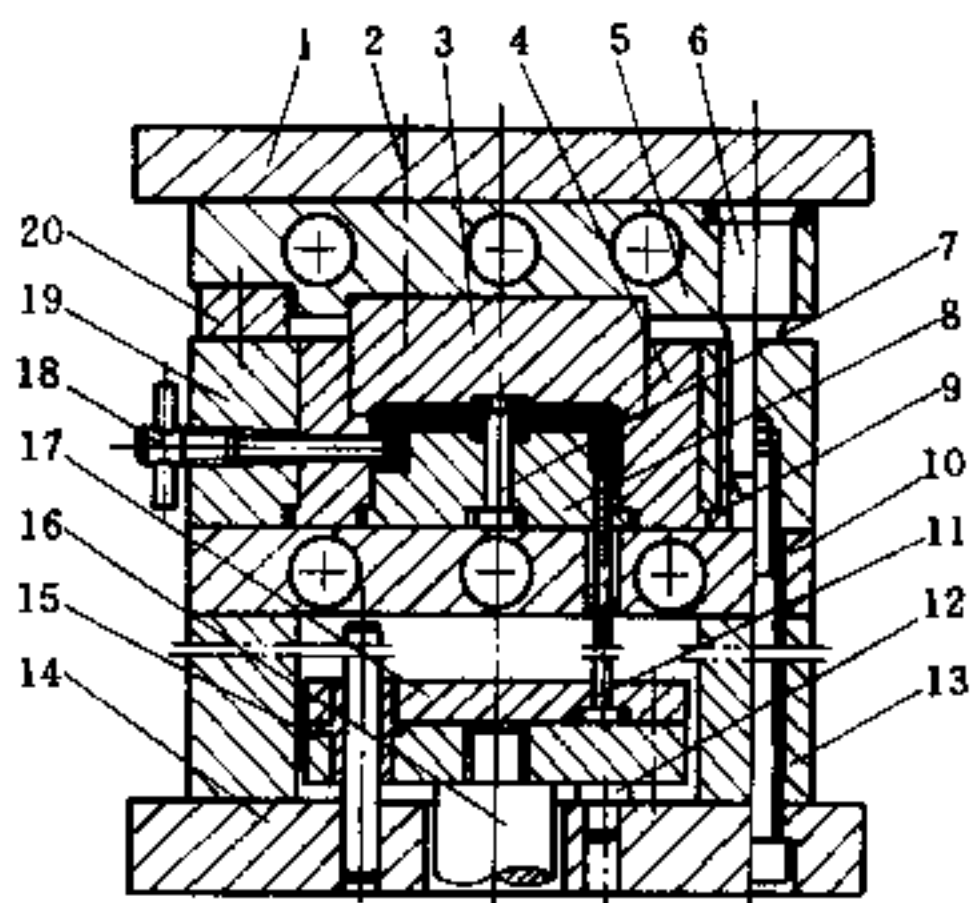


图 5.1-1 典型压模结构

- 1—上板；2—螺钉；3—上凸模；4—凹模；
- 5—加热板；6—导柱；7—型芯；8—下凸模；
- 9—导套；10—加热板；11—顶杆；12—挡钉；
- 13—垫板；14—底板；15—垫板；16—拉杆；
- 17—顶杆固定板；18—侧型芯；
- 19—型腔固定板；20—承压板。

## 5.2 压模结构及类型

### 5.2.1 压模分类

压模分类方法很多，目前最常用的分类方法有：

- (1) 按模具在压机上固定方式分类 见表 5.2-1。
- (2) 按成型型腔数分类 见表 5.2-2。
- (3) 按凹凸模部分闭合形式特征分类，见表 5.2-3。
- (4) 按分型面特征分类，见表 5.2-4。

表 5.2-1 按模具在压机上固定方式分类

分 类	特 点	应用范围
移动式模具	属机外装卸的模具。即压模不固定在机床上，模具的分模、装料、闭合及成型后取出塑件等均在机外进行，成型时模温依靠压机加热板来保证。此模具结构简单、劳动强度大、生产效率低，模具尺寸和重量都不宜过大	适用于成型多嵌件、多螺纹孔及旁侧孔的塑件，也用于新产品的试制，以及采用固定式模具加料不方便等情况
半固定式模具	凸模（或凹模）固定在机床上，凹模（或凸模）做成可移动式的，成型后将可移动的模具零件从导轨上拉至压机外侧的顶出工作台上进行顶件、安放嵌件及加料等工作，待完成后，再推入压机内进行成型。此类模具便于放嵌件和加料，减少劳动强度，可与通用模架配合使用	适用于成型带螺纹或嵌件多、有侧孔等塑件，而采用移动式模具过重时，为便于操作。可采用此类模具
固定式模具	属机内装卸的模具，模具固装在压机上，其分模、装料、闭合、成型及成型后顶出塑件等工序均在机内进行，此类模具生产效率高，劳动强度小、结构复杂、成本高，且安放嵌件不方便。	适用于压塑成型产量大、尺寸大的塑件

表 5.2-2 按成型型腔数及加料室形式分类

分 类	特 点	应用范围
单型腔模具	一模设置一个型腔，即每一成型周期中，压塑成型一个塑件。其型腔或型腔的延续部分就是加料室	多用于移动式模具
多型腔模具	单加料室 一模设置多个型腔，即每一成型周期中，压塑成型多个塑件，每个型腔都有对应的单独的加料室，其特点是个别型腔损坏时，可以停止其加料而不妨碍整个模具工作。要求各加料室加料量均衡	适用于压塑成型批量大的中小型塑件
	共用加料室 一模设置多个型腔，各型腔共用一个加料室，其缺点是制件密度低，边角处易缺料	适用于流动性好的塑料及批量大、形状较简单的中小型塑件

表 5.2-3 按凹凸模部分闭合形式特征分类

分 类	特 征	应用范围
敞开式模具	型腔就是加料室，型腔的封闭仅在凹凸模完全闭合时形成，加压后余料从分型面处自由溢出，结构简单，料量应大于塑件重量的 5%	适用于压塑成型高度不大、外形简单、质量要求不高的塑件
半封闭式模具	加料室也是型腔的延续，其截面大于型腔的截面，凹凸模闭合后形成挤压环，并带有排气槽（或排料槽），能获得较紧密及高度尺寸较为精确的塑件。对流动性小的片状材料或纤维塑料在压塑时必须提高单位压力	除以布片或长纤维作填料的塑料不宜采用外，其他各种场合的压塑均适用
封闭式模具	加料室是型腔的延续部分，无挤压环，压塑时，压机压力可全部传递到塑件上，塑料的溢出量很少，能获得组织紧密的塑件，但要求称料量准确，且需设置顶出装置，以防顶塑件时擦伤加料室	适用于形状复杂、壁薄、长流程和深形制品的成型，也可用于流动性特别小、单位比压高、比容大的以棉布、玻璃布或长纤维作填料的塑料的压塑成型

表 5.2-4 按分型面特征分类

分 类	特 点	应用范围
水平分型面模具	模具分型面平行于压机工作台面（或垂直于机床的工作压力方向）。它可有一个或两个或多个分型面，开模后将模具分为上下模或上下模和模套或多层模板	适用一般塑件和平且薄的有嵌件的塑件
垂直分型面模具	模具分型面垂直于压机的工作台面（或平行于机床的工作压力方向）。它可有一个或两个或多个分型面。垂直分型面拼块外形为锥面或斜面，闭合时与模套以锥面或斜面锁紧，其斜度应配制，以保证配合紧密	用于侧面有凹凸形状的塑件，如线圈骨架

以上分类见图 5.2-1。

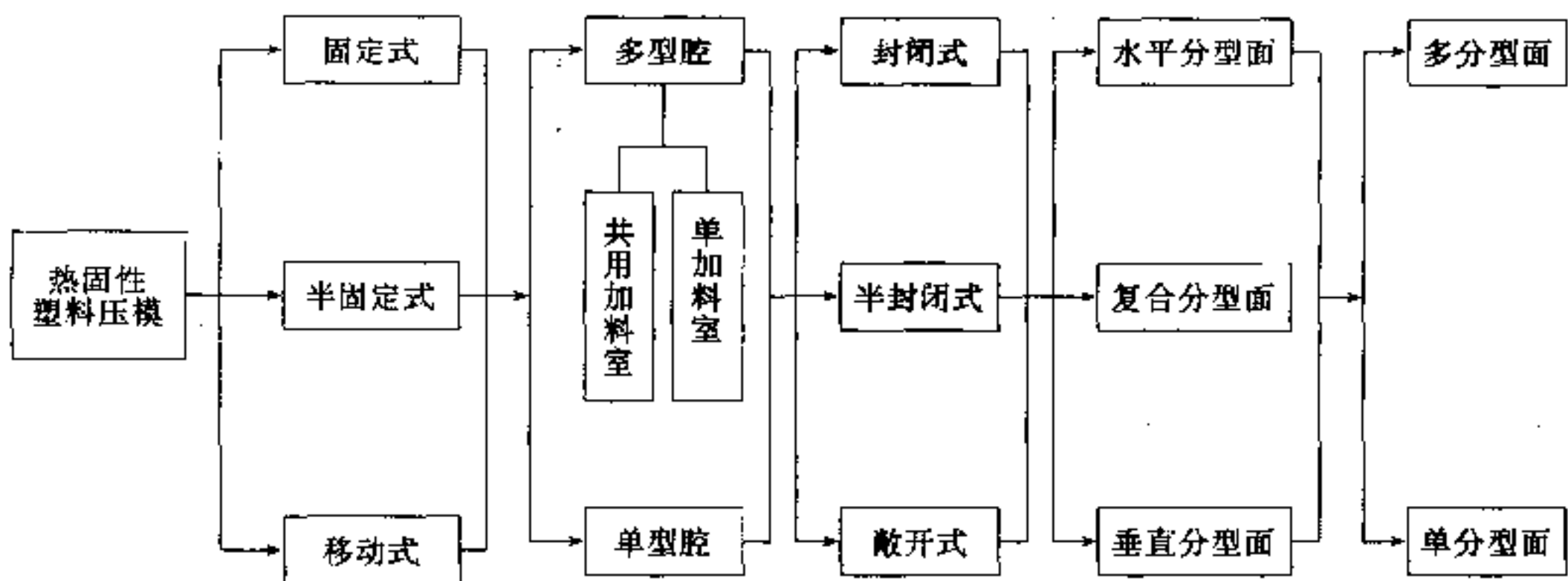


图 5.2-1 压模分类系统表

凹凸模部分闭合形式特征、模具结构的特点如图 5.2-2~图 5.2-5 所示，详见表 5.2-1。

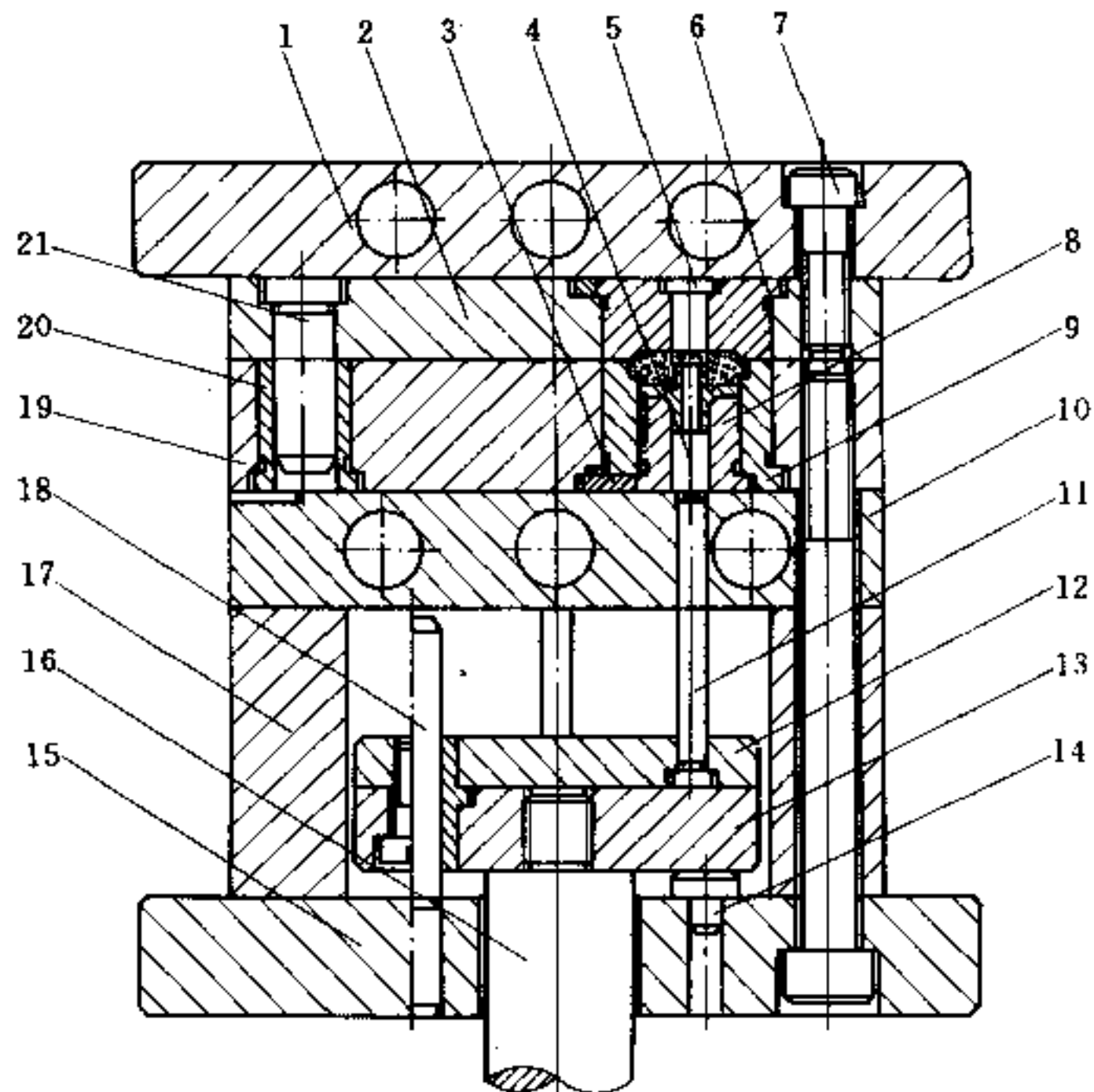


图 5.2-2 敞开式压模

- 1—加热板；2—型腔固定板；3—平键；4—定位柱；5—型芯；6—上型腔；7—螺钉；8—嵌件；  
9—下型腔；10—加热板；11—顶杆；12—顶杆固定板；13—垫板；14—挡钉；15—底板；  
16—拉杆；17—垫块；18—小导柱；19—型腔固定板；20—导套；21—导柱。

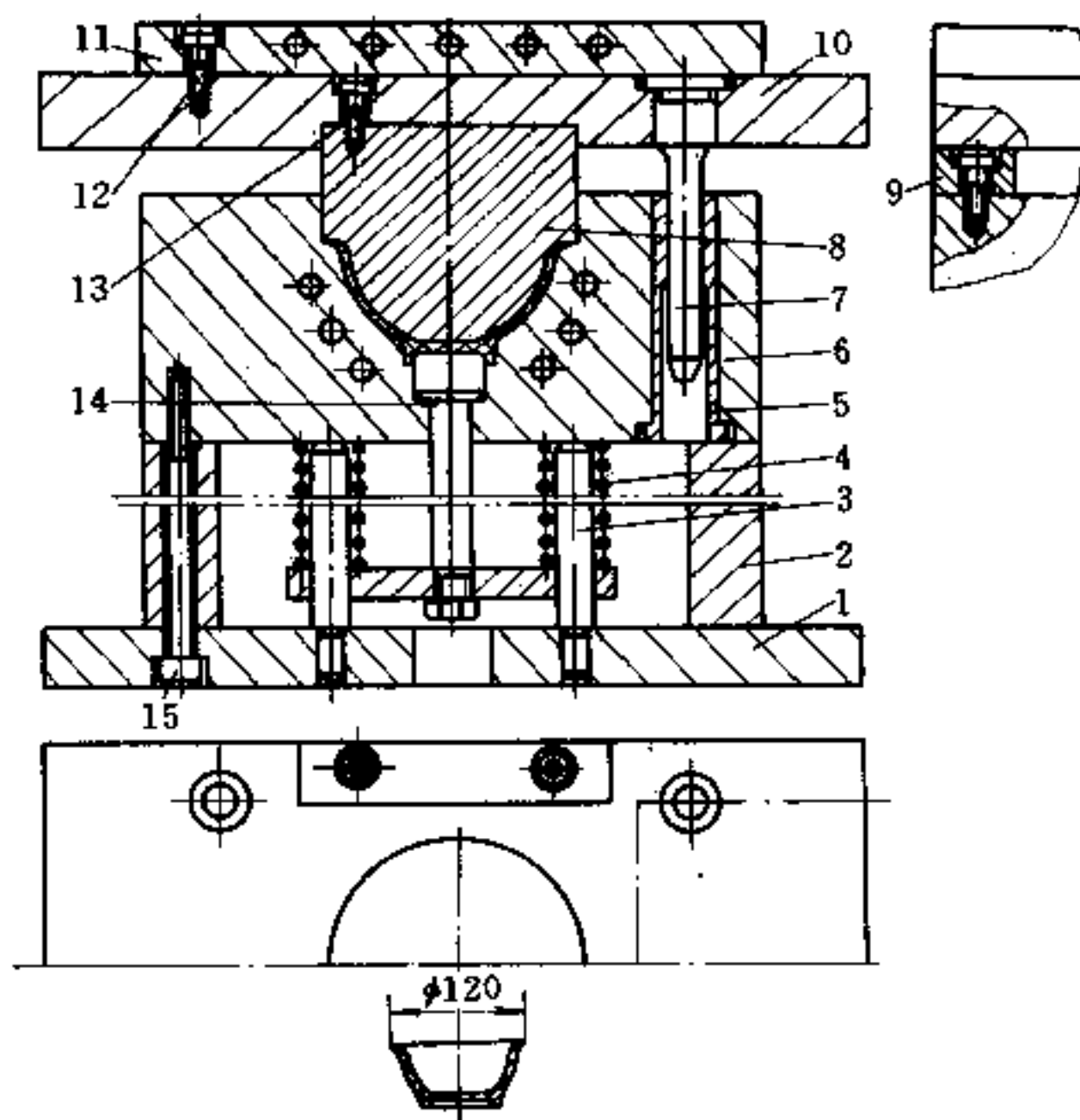


图 5.2-3 封闭式压模

- 1—下模板；2—支板；3—导向柱；4—弹簧；5—导套；6—下模套；7—导柱；8—上模；  
9—承压板；10—上模板；11—上加热板；12—螺钉；13—螺钉；14—顶杆；15—螺钉。



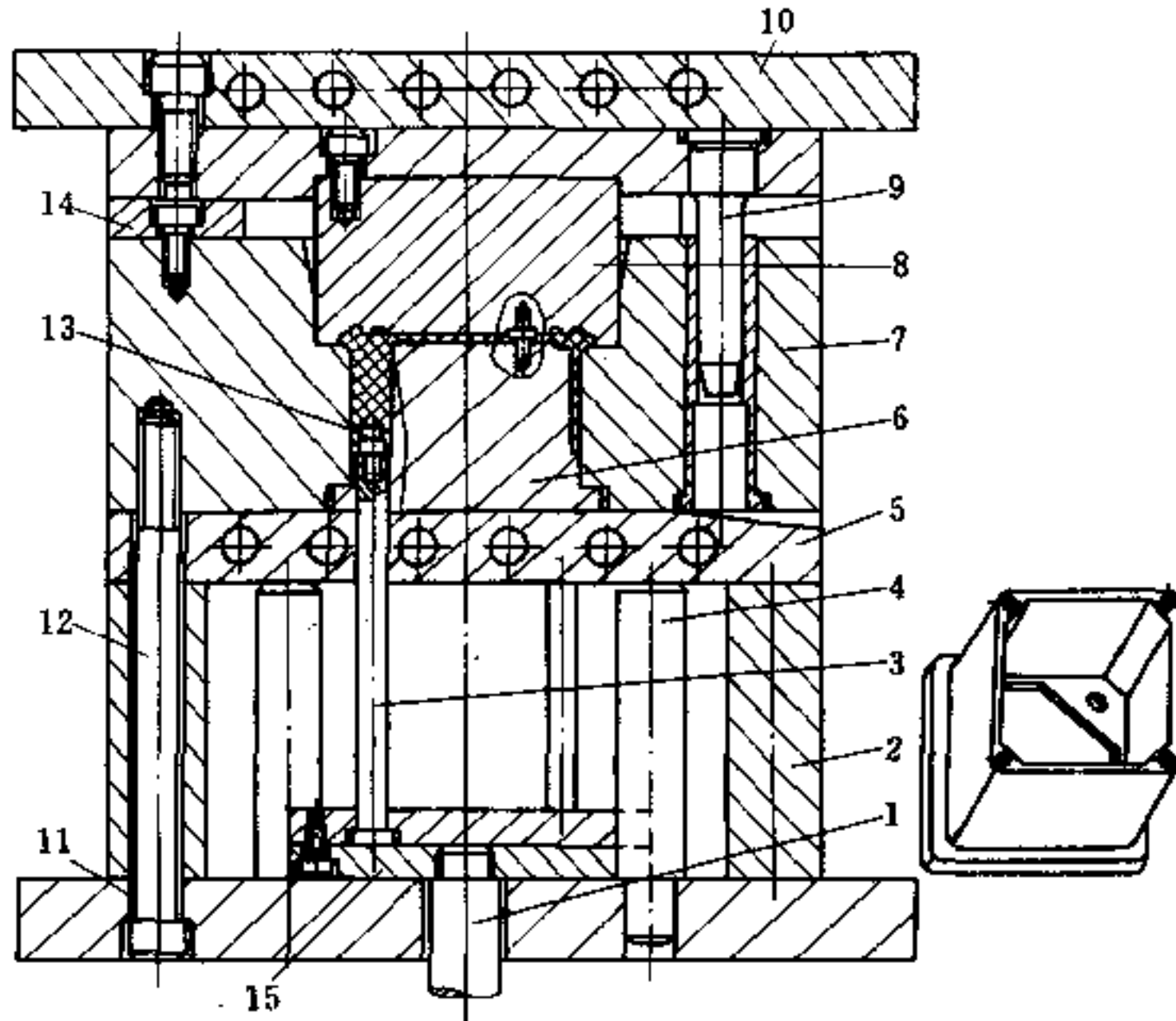


图 5.2-4 半封闭式压模

1—拉杆；2—支板；3—顶杆；4—支柱；5—下加热板；6—嵌件；7—下模；8—上模；9—导柱；

10—上加热板；11—承压板；12—螺纹型芯；13—内六角螺钉；14—下模板；15—顶板。

除以上压模类型外，考虑到塑件形状或结构上的限制，不能在模具上设计加料室时，为保证塑件组织紧密均匀，可采用压坯模（见图 5.2-6）。将塑料压成一定形状和大小 的坯件，将坯件放入模具型腔再进行模塑成型。

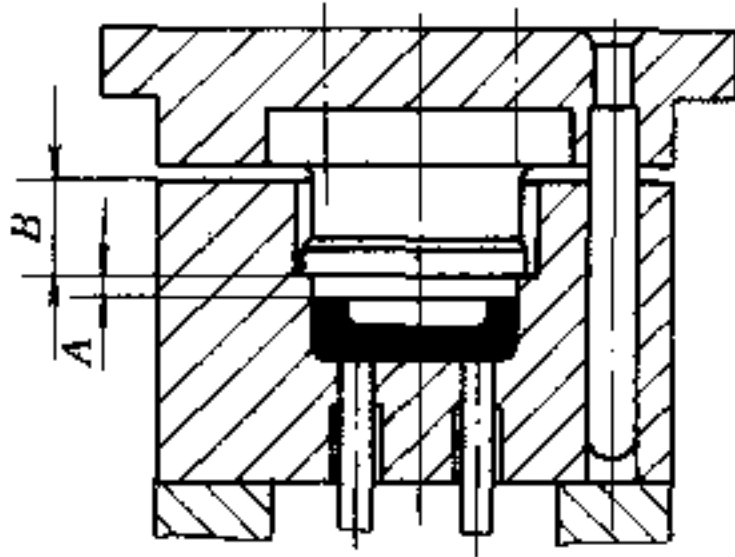


图 5.2-5 改进式压模

(A 约为 1.5~2.5mm)

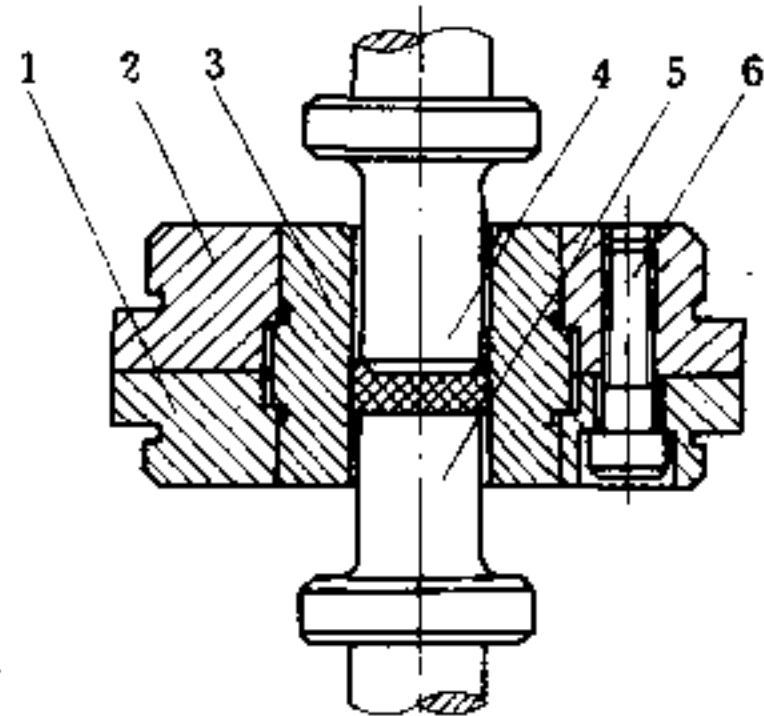


图 5.2-6 压坯模

1—下板；2—上板；3—型腔；

4—上凸模；5—下凸模；6—螺钉。

### 5.2.2 压模结构

压模结构是根据选用压机的型式和塑件本身的结构特点所决定的，而塑件的结构根据使用要求的不同更是千变万化，从而导致压模结构形式也是多种多样的。但不论其结构如何变化，每付模具都是由以下几部分组成的；而且它们在不同模具中所起的作用是

相同的。一般压模从模具的使用和在压机上的安装来看，总可分为装于压机上压板的上模和装于压机下压板的下模两大部分。上下模闭合使装于加料室和型腔内的塑料受热、受压，成为熔融状态并充满整个型腔，在规定的成型温度和压力下，保持一定时间后，制件固化定型，上下模分开，利用顶出装置顶出制件。

根据压模各个部件所起的作用可分为以下几大部分（见图 5.1-1）。

(1) 型腔 它是直接成型制品的形状及保证一定尺寸的部位。加料时，与加料室一道起装料的作用，它通常是由上凸模 3（常称为阳模）、下凸模 8、凹模 4（常称为阴模）构成，凸模和凹模有多种配合形式，对塑件成型有很大影响。

(2) 加料室 是盛放成型前所需全部塑料原料的腔体，即凹模的上半部（型腔开口端的延续部分），图 5.1-1 所示凹模 4 断面尺寸扩大部分。

(3) 导向机构 为确保上下模闭合时的准确位置，即保证合模时的对中性，必须设计导向部分。导向部分一般由在模具凹（凸）模各自的位置上装有导向柱（导柱）及其相对应的模具位置上装有导向套（导套）的导柱孔组成。如图 5.1-1 中所示模具上模周边的四根导柱 6 和装有导向套 9 的导柱孔。此外，对固定式或半固定式压模中的顶出机构来讲，为保证顶出机构的水平运动，避免顶出板在顶出移动时发生偏斜，该顶出机构亦应设有导向机构。

(4) 顶出机构 与注射模类似，它是实现塑件脱模的装置，其结构形式很多，最常见的有顶杆式、顶管式和推板式等。

(5) 抽芯机构 与注射模相似，当塑件上带有侧孔或侧凹、侧凸时，开模顶出塑件之前，需先将可作侧向运动的型芯从塑件中抽出，此动作过程是由抽芯机构实现的。

(6) 加热部分 热固性塑料压塑成型是在较高的温度下进行的，因此，一般热固性塑料模具都必须有加热装置。最常用的模具加热方式是电加热。在有条件的地方，在满足塑件成型条件的情况下，也可以利用蒸汽或过热水、煤气（天然气）加热。压塑热塑性塑料时，在型腔周围开设温度控制通道，塑料塑化阶段通道内通入蒸汽进行加热，定型阶段则通道内可通入冷却水进行冷却。利用压塑成型法成型泡沫塑料时，为使塑料的塑化及发泡均匀，必须使模具型腔得到均匀的加热及冷却，模具必须设计好加热及冷却的管路（加热管路就是冷却管路）。

(7) 排气系统 热固性塑料成型过程中总是伴随有化学反应的产生，从而产生水分及低分子物，在模具中设计排气系统（排气槽或排料槽）以顺利排除多余的塑料及成型过程中产生的气体，可保证塑件的成型质量。

为了保证所设计并加工出的模具能成型出合格的制品，在考虑模具结构时必须对以上所介绍的几个部分综合、全面地进行分析与运用。

## 5.3 压模成形零件设计

### 5.3.1 型腔总体设计

为保证压缩模塑制品的形状、尺寸、内在和外观质量均能符合要求，即具有良好的成型性能，确定压模的结构是重要环节。换言之，模制品的质量很大程度上取决于模具

的设计合理性和制造质量。而确定结构时应考虑：塑料性能、塑件结构、塑件批量、选用压机及模具加工方法等因素。现分述如下：

### 一、塑料性能与模具结构的关系

塑料的密度、比容、收缩率、单位压力等因素均与模具结构有直接关系，根据塑料的密度、比容与塑件体积的关系可确定加料室的结构形式及体积大小；根据塑料的收缩率与塑件尺寸的关系可以确定成型零件的尺寸及根据收缩程度及收缩特点确定脱模结构形式；根据塑料流动性确定模具型腔的闭合形式，流动性好的塑料可选定半封闭式型腔，其成型零件粗糙度  $R_a$  可在  $0.32 \sim 0.08$ ，流动性差的塑料可选定封闭式型腔，其成型零件粗糙度  $R_a$  可在  $0.16 \sim 0.02$ ；根据单位压力可核算成形压力，选定压机，计算模具强度，分析塑件或成型零件受力情况，选择加压方向，确定模具结构及体积大小等。

### 二、塑件结构与选定加压方向、分型面及确定模具结构的关系

#### 1. 塑件结构与选定加压方向的关系

所谓加压方向即凸模作用方向，也就是一般所指的模具的轴线方向。确定加压方向时，应考虑以下因素：

(1) 有利于压力的传递 如图 5.3-1 所示圆筒形塑件的成型。

图 5.3-1 (a) 所示施压方向是顺着轴线的方向。这有利于压力的传递。若圆筒形塑件过长时，虽然可以采用封闭式压模结构，以增大型腔压力或采用上下模同时加压，以增加塑件底部的组织紧密性，但仍可能出现塑件中段疏松的现象，这时可以依图 5.3-1 (b) 所示采取横向加压的办法，以保证组织紧密，且塑件各处密度均匀。

(2) 方便加料 如图 5.3-2 所示。图 5.3-2 (a) 所示加料室直径大而浅，便于加料。图 5.3-2 (b) 所示加料室直径小而深，不便于加料。

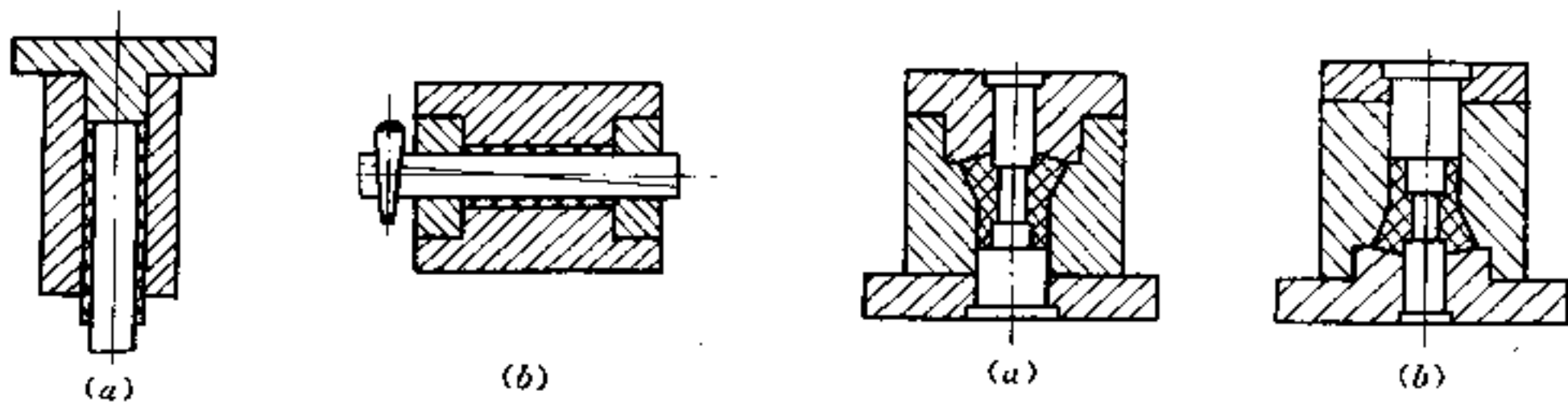


图 5.3-1 利于压力的传递

(a) 压力沿轴向；(b) 压力沿径向。

图 5.3-2 便于加料

(a) 便于加料；(b) 不便加料。

(3) 安放和固定嵌件应方便可靠 如图 5.3-3 所示。

当塑件上有嵌件时，应优先采用图 5.3-3 (a) 所示结构，即将嵌件安装在下模，它不仅安装嵌件方便、可靠，也可利用嵌件顶出制品，其操作也很方便。若采用图 5.3-3 (b) 所示结构，不仅固定嵌件及操作不便，还可能由于不慎使嵌件脱落而造成模具损坏。若因结构所限，则可采用弹性装卡等形式固定嵌件。

(4) 保证凸模的强度 由于压塑成型时，压机压力是通过上凸模传递到塑件的，因此，上凸模在成型时受力较大，为保证上凸模的强度，防止其变形，总是希望上凸模形状简单，而复杂型面则往往置于下模。如图 5.3-4 所示，结构 (a) 比结构 (b) 要好。

(5) 便于塑料流动 在加压成型时，应使料流方向与加压方向一致，如图 5.3-5 所

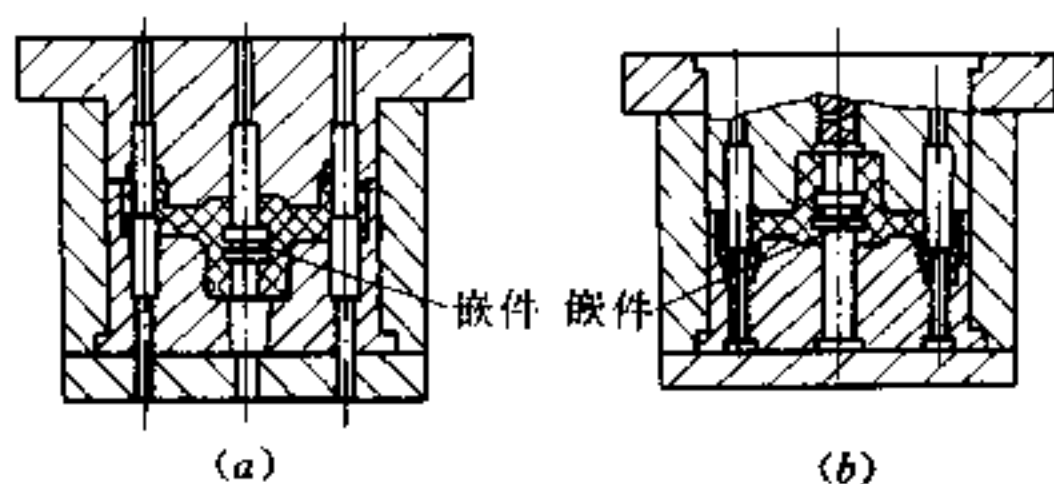


图 5.3-3 便于安放嵌件

(a) 良好; (b) 不良。

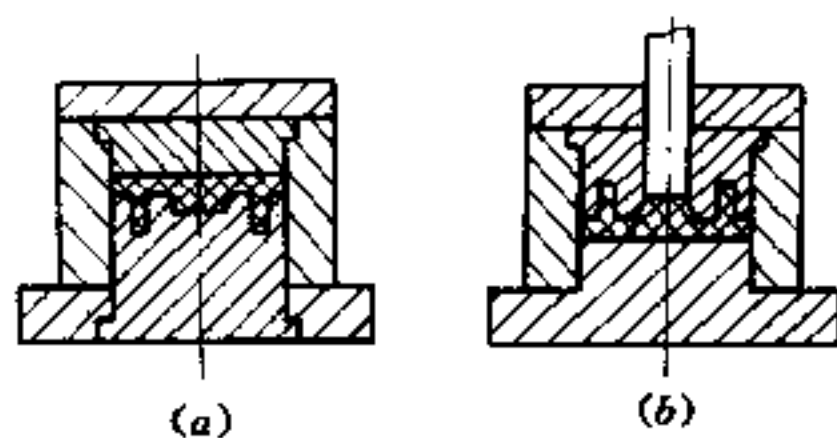


图 5.3-4 保证凸模的强度

(a) 良好; (b) 不良。

示, 其中 (a) 比 (b) 好。

(6) 有利脱模 当确定加压方向时, 应考虑使塑件落在下模, 它可利用机床的下顶出机构完成塑件的顶出, 如图 5.3-6 (a) 所示。但有时由于塑件结构的限制需留在上模时, 则需设置上顶出机构, 如图 5.3-6 (b) 所示。

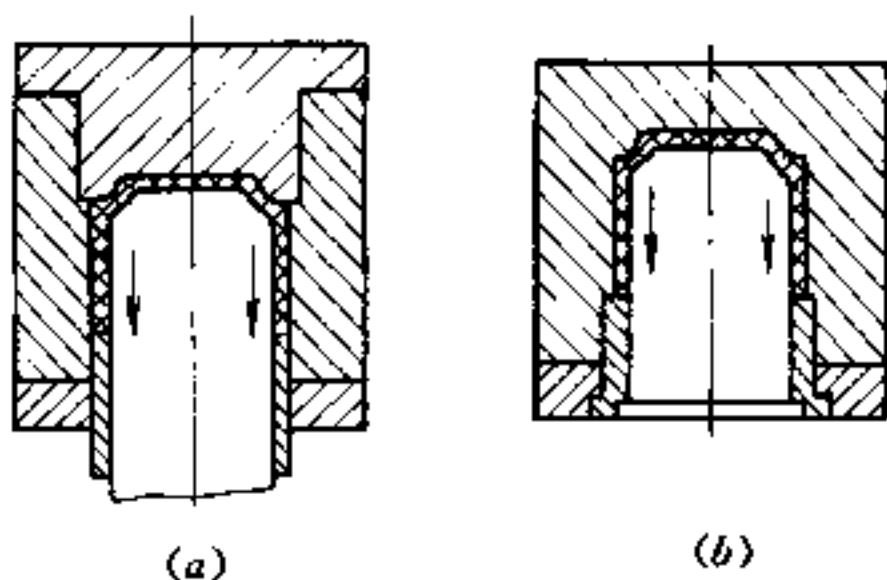


图 5.3-5 便于塑料流动

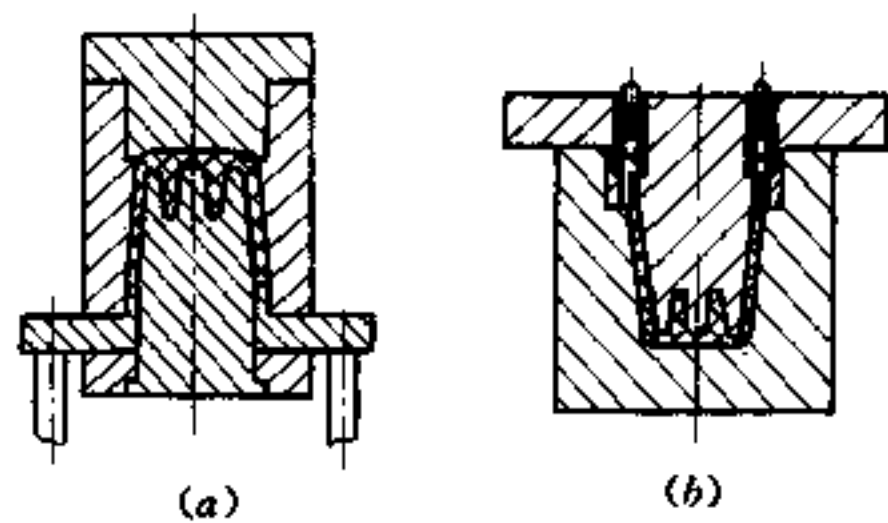


图 5.3-6 有利脱模

(a) 下顶出; (b) 上顶出。

(7) 保证重要尺寸的精度 沿施压方

向的塑件高度尺寸会因加料量和溢边厚度不同而发生变化 (特别是封闭式压模)。因此, 精度要求很高的尺寸不宜设计在施压方向上。

## 2. 分型面位置的选择

当施压方向选定后, 即可确定分型面的位置, 确定分型面位置的原则多与注射模具相似, 如: 分型面应设在塑件断面轮廓最大的地方; 尽可能地使塑件落在下模, 以便于脱出塑件; 对同轴度精度要求高的塑件, 分型面宜选在可将两直径同时放在下模或上模的位置上; 分型面的溢料痕迹应设在塑件比较隐蔽和易于修整的地方, 并尽可能地避免采用瓣合模和侧抽芯。

## 3. 凹凸模配合形式的选择

一般来讲, 若塑件高度大且形状复杂时, 则宜选用封闭式模具; 壁薄、尺寸小、形状简单、高度小的塑件则可选用敞开式模具; 对于多数塑件来讲均可选用半封闭式模具。各类型模具结构的优缺点可参见表 5.2-3。

概言之, 从塑件紧密程度来看, 封闭式最好, 敞开式最差; 从脱模来看, 敞开式、半封闭式压模都易于脱模, 脱出时, 不会擦伤塑件表面。不论选择何种压模结构形式, 均需同时考虑模具的加工难易程度, 应尽量简化模具成型零件的加工工艺。

在确定模具类型时, 还应考虑塑件批量, 当为大型或较大型塑件、批量又比较大时, 可采用固定式且带有顶出机构的模具; 若为中小型塑件属中批量或大批量生产时,

则可采用固定式双型腔或多型腔带有顶出机构的模具类型；若为中小型塑件、中批量生产时，则可采用半固定式单型腔或多型腔模具，塑件的顶出则可选用机外手工脱模或采用专用顶出装置机动脱模；若为小批量或试制生产时，则可采用移动式模具，较大型塑件用单型腔，中小型塑件则用多型腔，其塑件的脱出亦可采用机外手工脱模或采用专用顶出装置机动脱模。

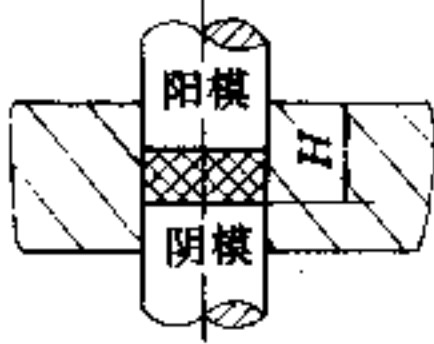
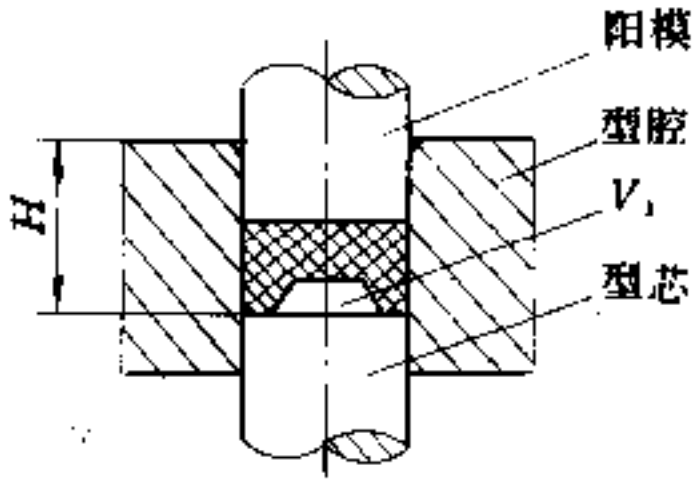
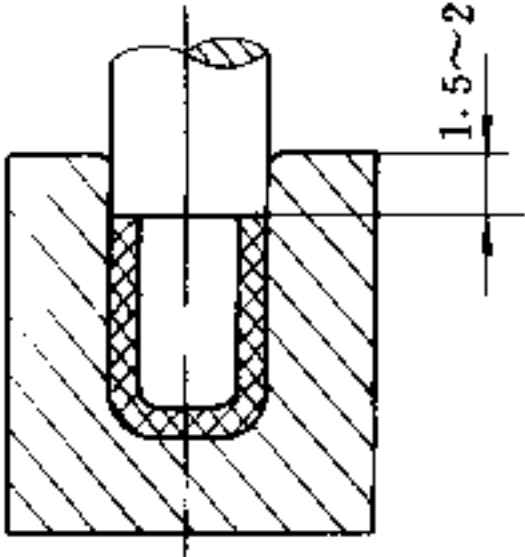
由于塑件结构千变万化，实际设计时，很难兼顾以上所有要求，在这种情况下，则应以塑件能顺利脱模为首要条件。否则，即使加压方向等选择非常合理，也将会因塑件不能顺利脱模而使成品率下降，甚至生产不能正常进行。

### 5.3.2 加料室设计

加料室是盛放塑料并使之加热塑化以进入型腔前的一个腔体。对压模讲，加料室就是型腔开口端的延续部分，即加料室和型腔是紧密相连的。

敞开式压模其型腔就是加料室；而对半封闭式或封闭式压模来讲，加料室横截面积（即水平投影面积）等于塑件水平投影面积加挤压边面积或塑件水平投影面积，当已知成型该塑件所需塑料容积时，则只要计算加料室的高度即可。不同加料室的高度计算公式，见表 5.3-1。

表 5.3-1 不同加料室高度的计算公式

模具类型	简 图	计算公式
封闭式压模		$H = \frac{V}{A} + (1 \sim 2) \text{ cm}$ <p>H——加料室高度 (cm)； V——所需塑料原料体积 (cm<sup>3</sup>)； A——加料室横截面积 (cm<sup>2</sup>)</p>
有凸出型芯的封闭式压模		$H = \frac{V + V_1}{A} + (0.5 \sim 1) \text{ cm}$ <p>H——加料室高度 (cm)； V——塑料原料的容积 (cm<sup>3</sup>)； V<sub>1</sub>——下凸模凸出部分的容积 (cm<sup>3</sup>)； A——加料室横截面积 (cm<sup>2</sup>)</p>
薄壁深腔型封闭式压模		$H = h + (1 \sim 2) \text{ cm}$ <p>H——加料室高度 (cm)； h——塑件的高度 (cm)</p>

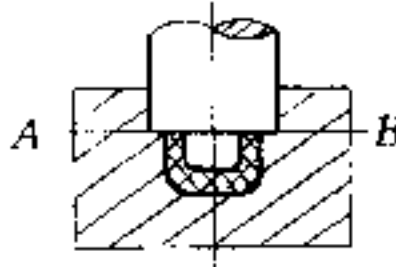
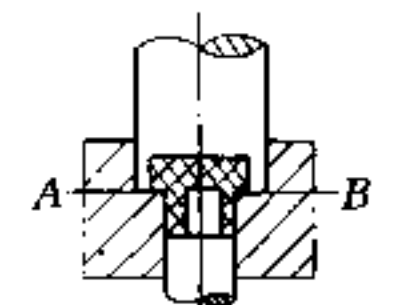
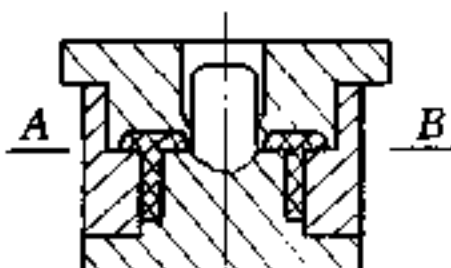
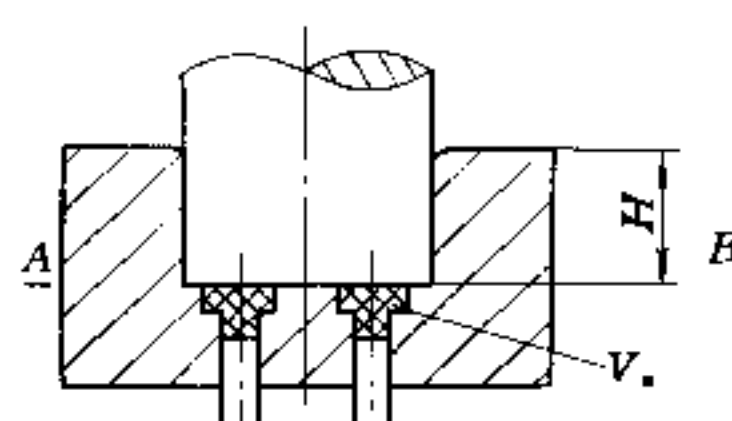
模具类型	简 图	计算公式
塑件在阴模成型的半封闭式压模		$H = \frac{V - V_0}{A} + (0.5 \sim 1) \text{ cm}$ <p> <math>H</math>——加料室高度 (cm);  <math>V</math>——塑料原料的容积 (<math>\text{cm}^3</math>);  <math>V_0</math>——挤压边以下的型腔容积 (<math>\text{cm}^3</math>);  <math>A</math>——加料室横截面积 (cm)         </p>
塑件同时在阴模和阳模空间部分中成型的半封闭式压模		$H = \frac{V - (V_2 + V_3)}{A} + (0.5 \sim 1) \text{ cm}$ <p> <math>V_2</math>——塑件在阴模内的容积 (<math>\text{cm}^3</math>);  <math>V_3</math>——塑件在阳模凹入部分的容积 (<math>\text{cm}^3</math>)            由于实际操作中, 未合模前, 阳模内的凹入部分容积 <math>V_3</math> 并不能起盛料的作用, 故实际计算式应为         </p> $H = \frac{V - V_2}{A} + (0.5 \sim 1) \text{ cm}$
有中心导向柱的半封闭式压模		$H = \frac{V + V_1 - (V_2 + V_3)}{A} + (0.5 \sim 1) \text{ cm}$ <p> <math>V_1</math>——挤压边以上导向柱的容积 (<math>\text{cm}^3</math>);  <math>V_2</math>——塑件在阴模内的容积 (<math>\text{cm}^3</math>);  <math>V_3</math>——塑件在阳模凹入部分的容积 (<math>\text{cm}^3</math>)            由于实际操作中, 未合模前, 阳模内的凹入部分容积 <math>V_3</math> 并不能起盛料的作用, 故实际计算式应为         </p> $H = \frac{V - V_2 + V_1}{A} + (0.5 \sim 1) \text{ cm}$
多型腔半封闭式压模		$H = \frac{V - nV_0}{A} + (0.5 \sim 1) \text{ cm}$ <p> <math>n</math>——型腔数         </p>

表 5.3-1 所列公式适于粉状塑料。对于比容比粉状塑料大得多的纤维状塑料之加料室, 不能用上述公式计算。对纤维状塑料讲, 为避免加料室过高, 一般采取:

(1) 预压加料方法, 即先将纤维塑料进行压实后, 再加入型腔。

(2) 压塑时分几次加料, 第一次加料后, 压缩一下, 然后再进行第二次加料、压缩, 一直到加足为止。由于纤维塑料“熟化”时间比较长, 因此, 这样的加料是允许的。

为了简化设计过程中的计算,对于形状简单的塑件,其加料室的高度可采用塑件厚度的2~3倍。预压纤维塑料亦可采用以上数据。含氟塑料其比容虽大,但必须一次加料压塑成型,故加料室高度要按其比容计算。

### 5.3.3 模具结构与塑件的关系

由于塑料制品的成型方法很多,但无论采用何种方法成型,它都必须通过具有一定形状和尺寸的模具来加以实现。也就是说,由于成型时使用了模具,并保证成型后,塑件能顺利脱离模具,以维持正常生产,则塑件的几何形状与结构必须与模具结构相适应。即对塑件的设计要加以一定的限制,使它既考虑到必须充分发挥所用塑料性能上的优点,避免或补偿其缺点,还需考虑到与塑件在模具中成型时的特点有关的许多要求,并力求在不影响塑件使用性能的情况下简化塑件结构,以利于模具零件的加工及模具结构的简化。例如,具有与开合模方向相垂直的侧孔、侧凹、侧凸的塑件在不影响使用的前提下,适当改变塑件的结构,尽量避免侧孔、侧凹和侧凸就可使模具结构简化(请参看第三章)。同时,要保证塑件的良好成形性能,模具结构的合理选择也是很关键的一环,如成型流动性较好的、形状复杂的塑件时,适宜选择半封闭式压模结构,且为了便于塑料流动,应使料流方向与加压方向一致;为使有利脱模,应考虑开模后塑件留在下模,由此可见,模具结构与塑件之间的关系是相互制约又相辅相成的,要想设计好模具,则必须将它们分别分析透彻,然后根据具体情况的具体解决。

## 5.4 压模结构与压机的关系

### 5.4.1 常用液压机技术规范

模具的结构一定要适应压机的结构及性能,否则将出现模具在压机上无法安装或塑件不能顺利取出等问题,特别是压机的最大能力和装模部分有关尺寸。例如,压机能力(俗称“吨位”)不足,则生产不出性能与外观合格的制品,反之,又会造成设备生产能力的浪费。因此,设计者必须熟悉压机的主要技术规范及应考虑与设备有关的问题。

压机的型式种类很多,分类方法也不一致,目前应用最广泛的是手动和半自动的液压机(水压和油泵)。

近年来,在压机上逐步配上了电子程序控制装置及机械手,这样就使操作过程全部实现了自动化。

液压机型号有:350kN 液压机,450kN 液压机 YX(D)-45 型,630kN 液压机 Y71-63 型,1000kN 液压机 Y71-100-1 型,3000kN 液压机 Y71-3000 型,3000kN 液压机 Y71-300 型,5000kN 液压机 Y71-500 等。其主要技术规格见表 5.4-1。

这里仅介绍最常用的 450kN 液压机和 1000kN 液压机的技术规格。

#### 一、YX(D)-45 液压机

图 5.4-1 为最常用的一种液压机,其总力为 450kN。

这种液压机采用曲轴柱塞泵和蓄能器同时向系统输油。工作时,油液经分油器进入工作油缸上腔,推动柱塞带动上压板向下移动,同时给模具加压(电热器加热),经过



一定时间，塑料在模内固化成型，然后开模。开模时，油液经分油器进入工作油缸的下腔，推动柱塞上升，打开模具。塑件的顶出是由顶出柱塞完成的，顶出柱塞的上下运动也是由分油器控制的。其主要性能参数见表 5.4-1。

表 5.4-1 国产液压机的主要技术规格

型号 规格	YX(D)-45	YX-100	Y71-100	Y32-100-1	Y71-300	X-300	Y71-500	YA71-500
最大总压力/kN	450	1000	1000	1000	3000	3000	5000	5000
最大回程压力/kN	70	500	200	306	1000	—	—	1600
最大工作液压/MPa	32	32	32	26	32	24	32	32
柱塞最大行程/mm	250	380	380	600	600	450	600	1000
压板最大距离/mm	330	650	165	845	1200	900	1400	1400
压板最小距离/mm	80	270	—	—	600	450	—	—
压板尺寸 $a \times b$ /mm	360 × 400	600 × 600	600 × 600	580 × 700	900 × 900	800 × 850	1000 × 1000	1000 × 1000
推出杆最大行程/mm	150	165/280	165/280	200	250	—	300	300
最大推出压力/kN	—	200	200	184	500	—	1000	1000

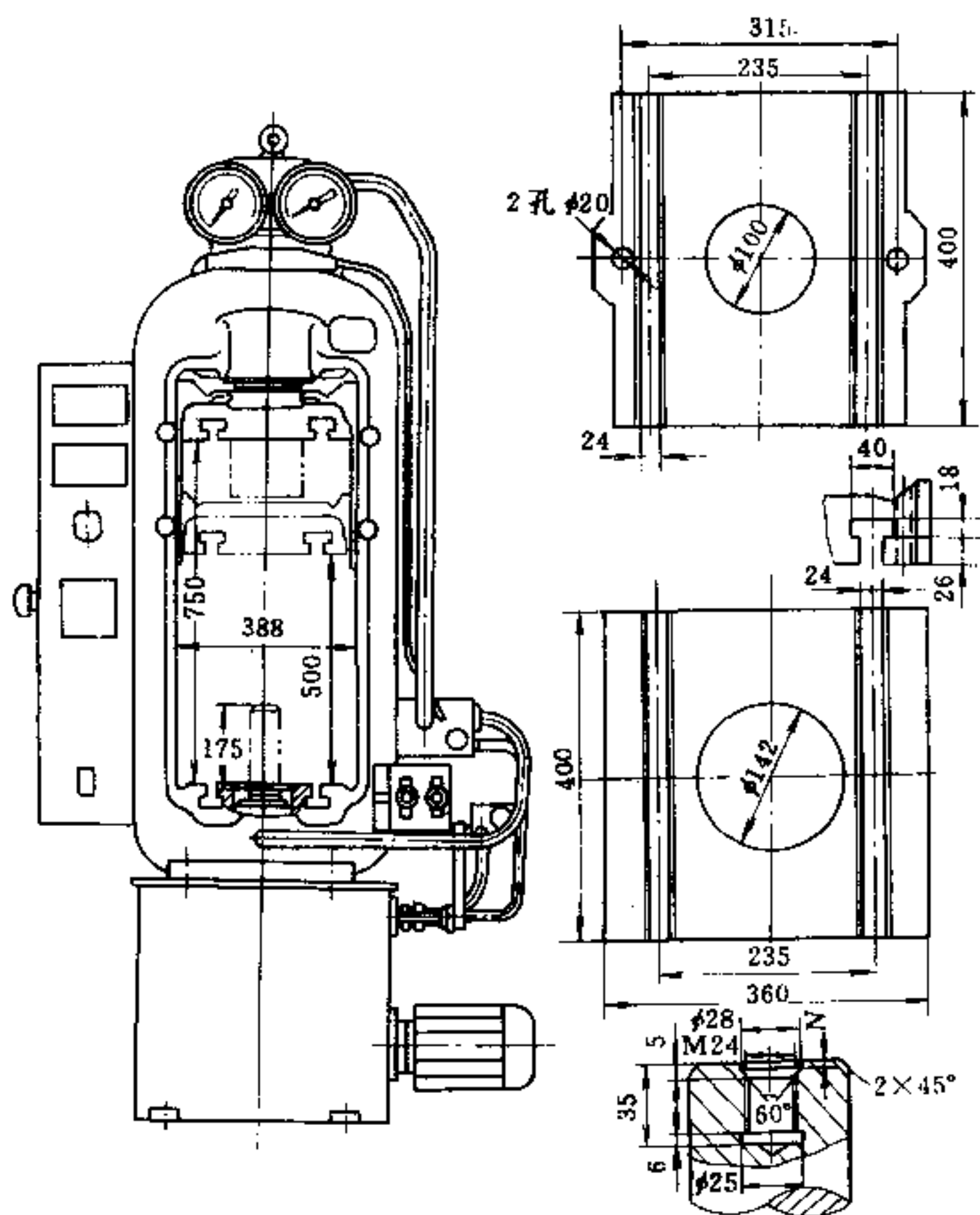


图 5.4-1 YX(D)-45 型液压机



## 二、Y71—100 型液压机

图 5.4-2 为一种具有中等压力的液压机。

其机身由型钢焊接而成，油箱、油泵等液压系统元件都装在机身的上部。操纵手柄位于机身右侧，它通过连杆与控制阀相连，改变手柄的位置可改变油缸的油流方向，以实现开模、闭模以及给模具施加压力等。顶出机构是机械式的，装在机身的下部。顶出方法有自动和手动两种。其主要性能参数如下：

工作柱塞最大总力	1000kN
最大回程力	500kN
自动顶出力	200kN
上压板最大行程	380mm
油液最高压力	32MPa
上压板移动速度（高压上行）	2.8mm/s
上压板移动速度（高压下行）	1.4mm/s
上压板移动速度（低压上行）	46mm/s
上压板移动速度（低压下行）	23mm/s
顶出杆最大行程（自动）	160mm
顶出杆最大行程（手动）	280mm

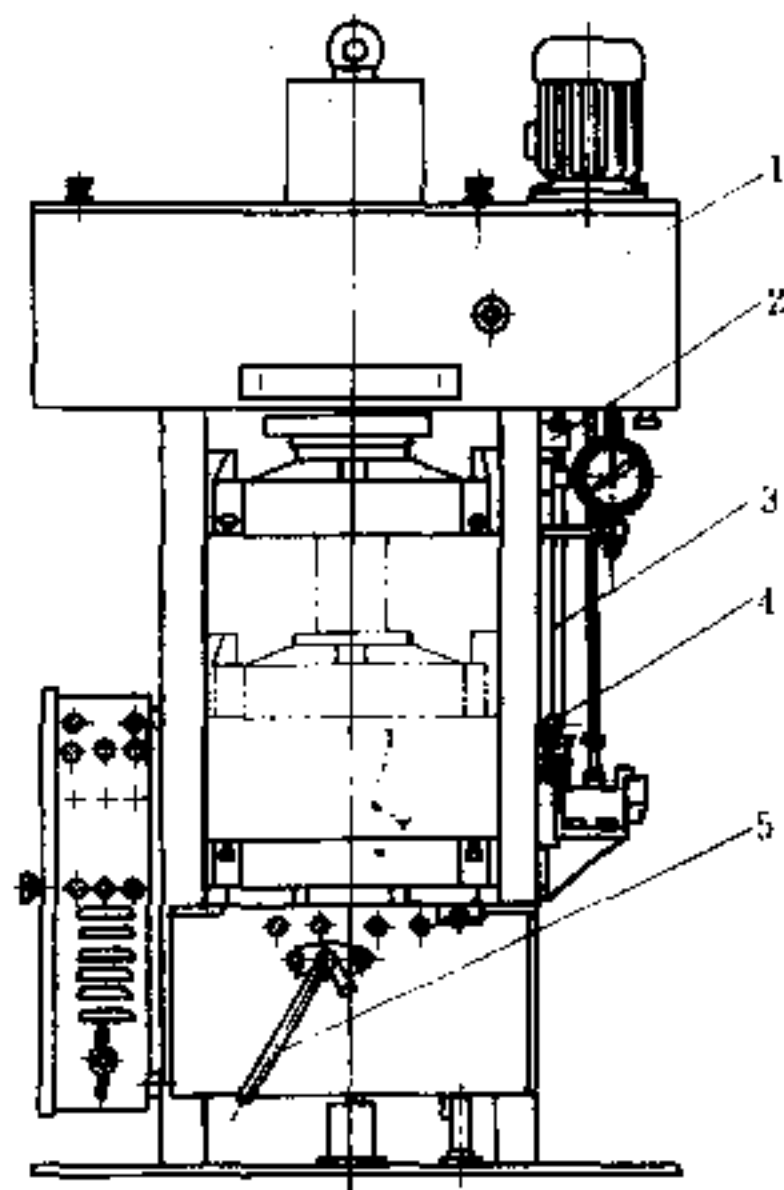


图 5.4-2 Y71—100 型液压机  
1—油箱；2—控制阀；3—连杆；  
4—操纵手柄；5—顶出手柄。

### 5.4.2 压机有关工艺参数的校核

#### 一、压机最大吨位的校核

即压塑塑件所需要的总成型力应小于或等于压机的吨位（总力）。换言之，塑件投影面积（压模指加料腔投影面积；传递模、注射模应包括浇注系统的投影面积）之和乘上比压小于或等于设备允许的最大吨位。

$$\text{即} \quad P \geq F \cdot q \quad (5.4-1)$$

式中  $P$ ——设备允许的最大总力 (kN)；

$F$ ——塑件投影总面积 ( $\text{m}^2$ )；

$q$ ——进入型腔的单位压力（比压）(MPa)。

考虑到设备柱塞运动时，密封装置等的摩擦阻力，实际的吨位比计算值  $P$  略小些，可将压机最大吨位乘一修正系数  $K$ 。 $K$  值可取 0.75~0.90（根据压机新旧程度而定）。

校核压机最大吨位，其目的是设计模具时，可依据塑件的形状和大小及现有的设备能力，来确定型腔数量；或已知模具所压塑的制件尺寸和型腔数目时，选择适宜的压机。

#### 1. 确定型腔数量

当需确定型腔数量  $n$  时，则可根据已选好压机的吨位数，按下述公式进行计算：

$$n = \frac{P_s}{q_0 \times F \times (1 + K)} \quad (5.4-2)$$

式中  $P_s$ ——成型塑件所需的实际压制压力 (kN);

$q_0$ ——根据成型腔的构造、塑料类型、塑件的形状尺寸、预热程度选定的压制单位压力 (MPa), 可参考表 5.4-2 选取;

$F$ ——压制面积, 等于半封闭式压模加料室的水平投影面积或等于封闭式、敞开式模具塑件的水平投影面积 ( $\text{cm}^2$ );

$K$ ——在开、闭模方向因摩擦阻力而需增加的系数, 一般  $K=0.1\sim 0.2$ 。

实际型腔数取小于计算值的整数。

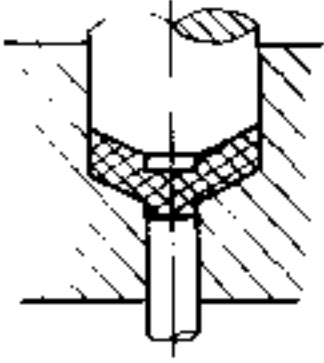
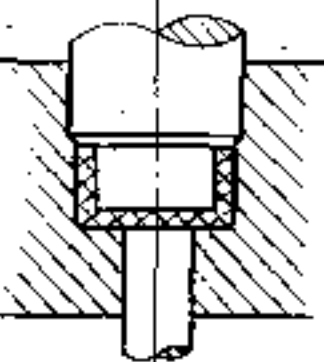
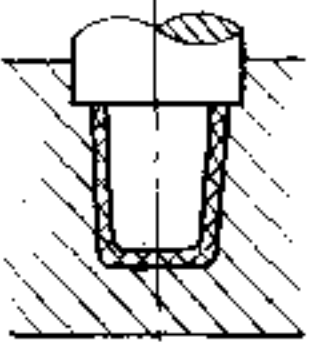
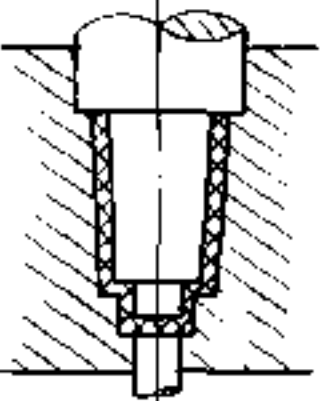
## 2. 计算压机吨位

当已知塑件尺寸和模具成型腔数目时, 则可按下述公式计算所需压机吨位:

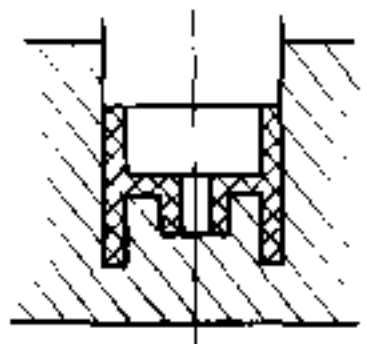
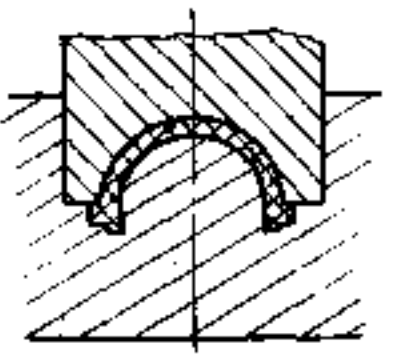
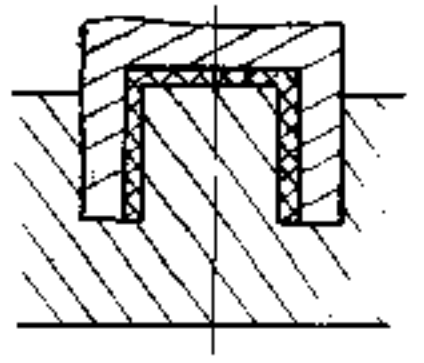
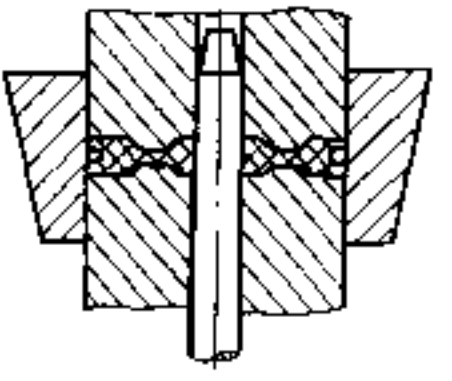
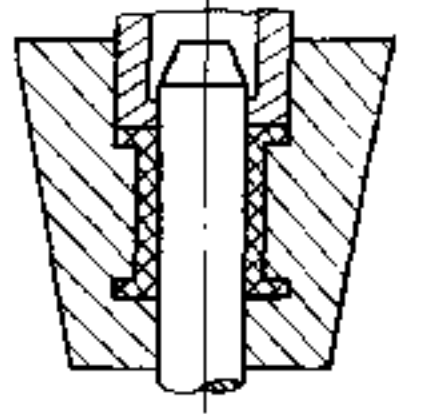
$$P_s = q_0 F n (1 + K) \quad (5.4-3)$$

对于半封闭式模具, 在一个总加料室下有多个型腔, 则  $n$  应取为 1, 而  $F$  代表总加料室的水平投影面积。

表 5.4-2 压制成型时的单位压力 (MPa)

塑件简图	塑件特征	酚醛塑料			氨基塑料
		粉状填料	布基填料	石棉填料	
	扁形、高度不大, 厚壁塑件	13~18	30~40	≈40	13~18
	高 20~40 壁厚 4~6	13~18	35~45	45~50	13~18
	高 20~40 壁厚 2~4	15~20	40~50	45~50	15~20
	高 40~60 壁厚 4~6	18~22	50~70	45~50	18~22
	高 40~60 壁厚 2~4	22~27	60~80	45~50	22~27
	高 60~100 壁厚 4~6	20~25	—	50~55	25~30
	高 60~100 壁厚 2~4	25~30	—	50~55	27~35

(续)

塑件简图	塑件特征	酚 醛 塑 料			氨基塑料
		粉状填料	布基填料	石棉填料	
	壁薄, 不易 填充及成形的 塑件	25~30	40~60	50~55	25~30
	高 40 以下 壁厚 2~4	25~30	—	45~50	25~30
	高 40 以上 壁厚 4~6	30~35	—	45~50	30~35
	滑轮型塑 件、高度不 大、有侧凹	15~20	40~60	45~50	12~17
	线圈骨架型 塑件、高度 大、有侧凹	25~30	80~100	50~55	25~30

## 二、塑件脱模力的校核

脱模力是指将塑件完全从模具的型腔中脱出所需的力。

塑件脱模力应小于设备顶出柱塞最大顶出力。设备顶出柱塞的顶出力的大小主要根据塑件的结构和形状来决定。45t 压机的顶出力可由调压阀调节。

脱模力可按下式计算：

$$P_t = Ff \quad (5.4-4)$$

式中  $P_t$ ——理论计算的脱模力 (N)；

$F_c$ ——塑件包紧型芯的总侧面积 ( $\text{cm}^2$ );

$f$ ——单位面积的脱模阻力 ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )。

在实际生产中, 则必须克服因塑料包紧型芯而产生的阻力以及机械传动的摩擦力才能使塑件脱离型芯。有资料介绍

酚醛树脂木粉填料	$f = 50\text{N}/\text{cm}^2$
酚醛树脂玻璃纤维充填	$f = 150\text{N}/\text{cm}^2$
氨基塑料纤维素充填	$f = 60 \sim 80\text{N}/\text{cm}^2$

### 三、压模高度和开模行程的校核

模具的高度和所要求的开模距离必须与压机上下模板之间的最小距离、最大距离及压模固定板的最大行程相适宜, 如图 5.4-3 所示。

图中  $h_{上}$ ——上模部分全高 (mm);  
 $h_{下}$ ——下模部分全高 (mm);  
 $h_{凸}$ ——凸模高度 (凸模伸入凹模部分的全高 (mm));  
 $h_{制}$ ——塑件高度 (mm);  
 $h$ ——压模的总高度 (闭模厚度), 即  $h = h_{上} + h_{凸} + h_{下}$  (mm);  
 $L$ ——最小开模距离 (mm)。

符合条件时, 应使

$$h \geq H_{\min} \quad (5.4-5)$$

式中  $H_{\min}$ ——压机上下模板之间最小距离 (mm)。

若不能满足则应在压机上下模板间加垫模板解决。

对于固定式压模  $H_{\max} \geq h + L \quad (5.4-6)$

即  $H_{\max} \geq h + h_{制} + h_{凸} + (10 \sim 20)$

或  $H_{\max} \geq h_{上} + h_{下} + h_{制} + (10 \sim 20)$

式中  $H_{\max}$ ——压机上下模板之间最大开距 (mm)。

而  $h_{制} + h_{凸} = L$  即模具所要求的最小开模距离。

对于利用开模力完成侧向分型或侧向抽芯的模具, 以及利用开模力脱出螺纹型芯等场合, 模具所要求的开模距离可能还要长一些, 视具体情况决定。移动式模具当采用卸模架安放在压机上脱模时, 应考虑模具与上下卸模架组合后的总高度, 以能放入上下加热板之间为宜。

### 5.4.3 压模安装尺寸的校核

#### 一、压机压模固定板有关尺寸校核

压模固定板有上下两块, 称上模板、下模板, 模具的外形尺寸应不受压机立柱或框架的限制, 应使压模能顺利安装固定在压机上。压模的最大外形尺寸不宜超出固定板尺寸, 以便于安装固定。

压机的上下模板多设有 T 形槽, 有的 T 形槽沿对角线交叉开设, 也有平行开设的。

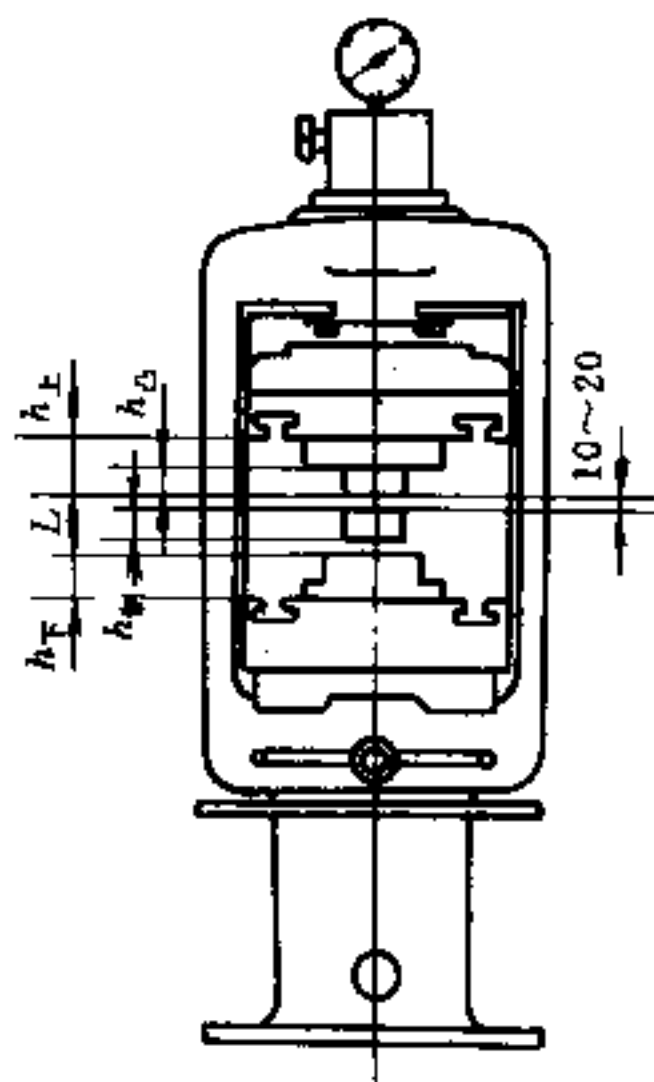


图 5.4-3 固定式模具与压机安装关系

压模的上下模可直接用四个方头螺钉分别固定在上下模板上，压模脚上固定螺钉孔（或长槽、缺口）应与模板上 T 形槽位置相符合。压模也可用压板螺钉压紧固定，这时模脚尺寸比较自由，只需设计有宽 15~30mm 的突缘台阶即可。

## 二、压机顶出机构的校核

压机内顶出系统的结构一般分：

### 1. 压机下部带有高压液体传动的顶出柱

如图 5.4-4 所示，这种结构是顶出柱沉于压机下模板中央的一个大孔中。顶出时，顶出柱上升至与下模板台面齐平。塑件顶出后，顶出柱下沉退回原处。在顶出柱端部中心有一个螺纹孔，作为连接尾轴之用。

### 2. 压机下部带有框架的顶出装置

如图 5.4-5 所示，每当压机上模板上升至一定位置时（此位置可按模具高低进行调节），压机上模板两侧对称的拉杆即一起被拉起，于是装在框架上的顶出柱亦随之升起压机下模板台面。顶出柱端部有 T 形槽（有的没有槽）作为连接尾轴之用。在压机的上部并有可调节的上顶杆。

### 3. 无顶出系统的压机顶出

无顶出系统的压机顶出形式，适用于移动式压模，若在这种压机上装置自动顶出模具，必须在模具上另加附属装置。如图 5.4-6 所示。

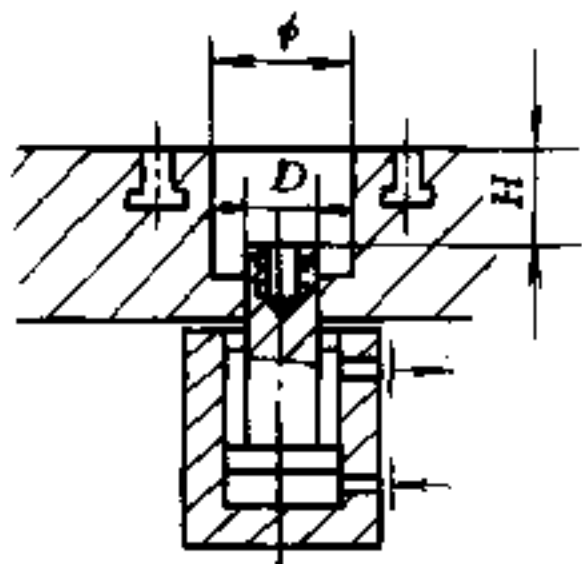


图 5.4-4 压机顶出装置结构

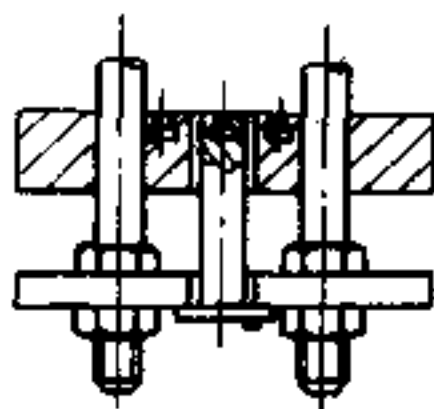


图 5.4-5 带有框架的顶出装置

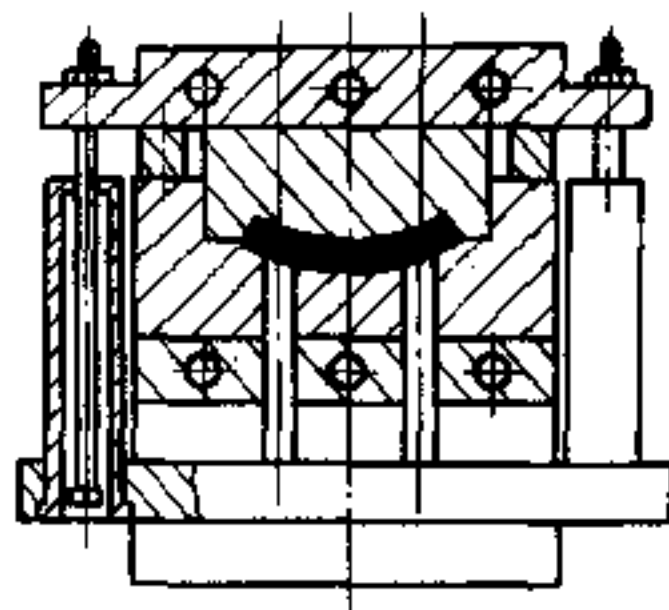


图 5.4-6 无顶出系统的压机顶出形式

当开模到一定距离后，利用模具两侧的定距螺钉拖动下顶出板顶出塑件。

设计压模时，模具顶出装置应与压机顶出系统相适应，模具所需的顶出行程应小于压机最大顶出行程。

$$\text{即} \quad l = h + h'' + (10 \sim 15) \leq L \quad (5.4-7)$$

其中， $l$  为压机顶出柱需要升起的行程 (mm)； $h$  为塑件高度 (mm)； $h''$  为加料室高度 (mm)； $L$  为压机顶出柱的最大行程 (mm)。

此外，压模的顶出机构与压机顶出机构是通过尾轴来连接的，所以尾轴的结构必须与压机和压模的顶出机构相适应，详见 5.6.2 节。

## 三、模具中心与机床压力中心的关系

模具的中心应和机床压力中心一致，否则模具不易合严，顶出时受力不均，易损坏模具。

## 5.5 成型零件结构设计

与注射模相似，成型零件是模具组成零件中决定塑件形状和保证一定尺寸的零件，它是塑料模具的主要部分。压模中的凸模、凹模、成型模套、型芯和镶块、螺纹型芯和螺纹型环等均是成型零件，现就其设计分述如下。

### 5.5.1 凹模结构设计

凹模也称阴模，是模具的主要零件之一，成型时，塑件在凹模中获得所需的外表面形状和尺寸。凹模一般均位于压模的下部，其内腔的形状、尺寸和结构取决于塑件的结构、压模的形式和材料的种类。通常凹模是压模零件中制造工作量最大的一个零件，设计时应特别注意其结构的工艺性。为便于制造，一般凹模的外形是圆形或矩形的，而凹模的内腔可分两部分，上部分是加料室，下部分是成型塑件的型腔。

当塑件较高或其下部特别复杂，整体凹模型腔机械加工困难时，可用框式模套与下凸模或凹模组合构成型腔，而模套在大多数情况下其上部是盛放塑料的加料室，其内形则为型塑件的外形，为了便于机械加工及便于取出压塑好的塑件，模套大部分作成对穿的。

凹模的形式有：

#### 一、整体式凹模

整体式凹模由整块金属做成，如图 5.5-1 所示。

这种形式的凹模使用牢固、强度高、压塑的塑件质量好，但加工困难，消耗贵金属多，操作中损伤后较难修理，适于成型外形简单的塑件。

#### 二、组合式凹模

当型腔复杂或外形尺寸大时，为便于模具机械加工、热处理，一般可做成组合式的，如图 5.5-2 所示。

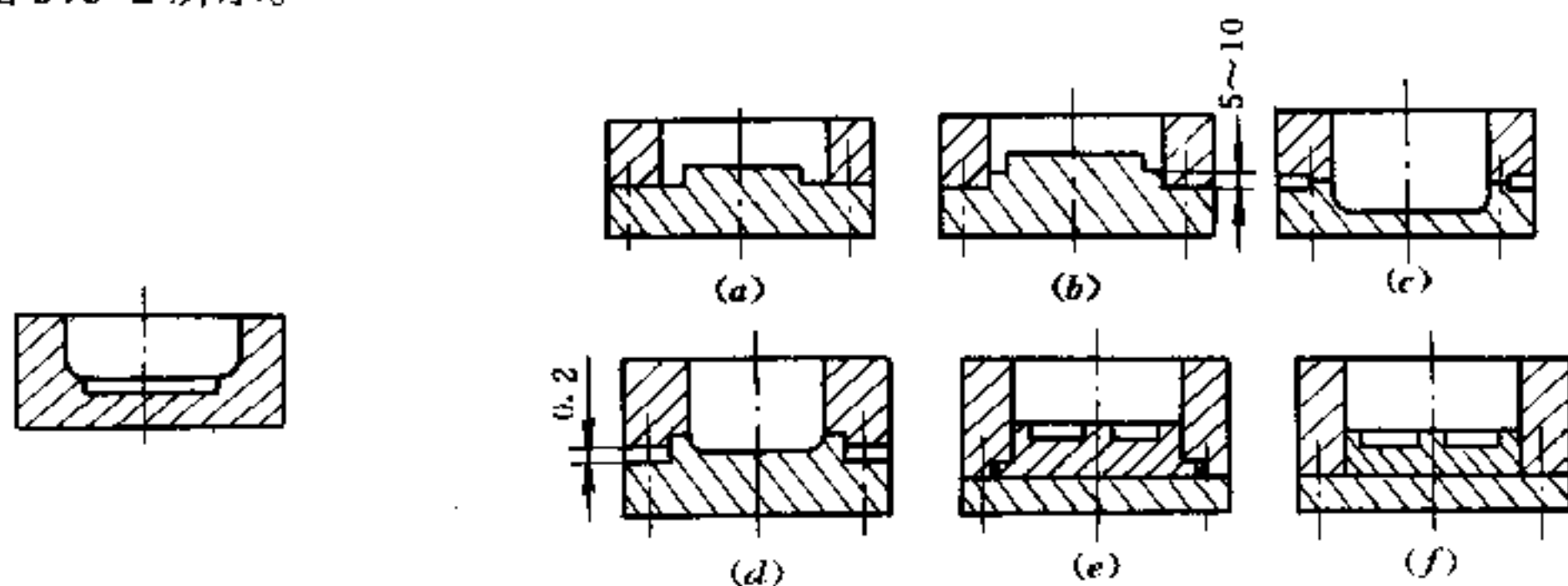


图 5.5-1 整体式凹模

图 5.5-2 组合式凹模

这种形式的凹模是借螺钉与下面垫板彼此联结成一体，用销钉定位。

图 5.5-2 (a) 的形式不正确。因在压塑过程中，处在很高压力下的熔化的物料易挤到凹模和模套连接处的间隙里去，其作用像楔一样，使二者间的连接螺栓经不住加大的负荷，开始拉长，模套上升，间隙增大，塑料可继续挤入，结果造成塑件毛边加厚、

尺寸超差或塑件成型后难以取出等问题。改为图 5.5-2 (b) 所示的形式, 就可避免上述缺点, 但它不适于成型底部有圆角的塑件。若改进为图 5.5-2 (c) 所示的结构, 可减少外框四周平面间的接触, 使模套与凹模的联结面间隙减到最小, 则可避免塑料的挤入。采用图 5.5-2 (d) 的结构形式较好, 为一般所常用, 但其制造较复杂。对于形状复杂塑件, 采用图 5.5-2 (l) 和 (f) 所示的组合式凹模, 机械加工较方便, 便于热处理, 又节约优质钢材。

在多型腔压模中, 通常采用冷压法制成多个同样的凹模, 然后镶入模套中, 模套的两腔间壁厚一般为 10~15mm。为避免镶入凹模在压塑过程中下沉, 或对于较大的固定式压模, 通常采用有垫板式结构, 如图 5.5-3 所示。

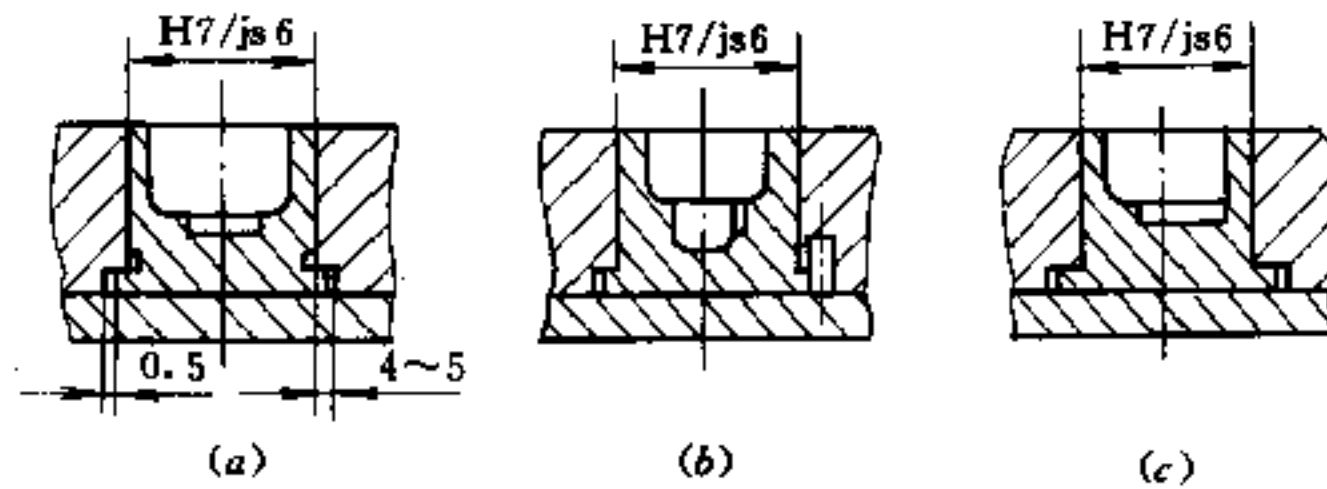


图 5.5-3 有垫板镶入式凹模

垫板位于凹模的下面, 支住凹模不使其下沉, 其表面应具有足够硬度; 凹模通常以紧配合压入, 一般情况下不会旋转。要求凹凸模有严格定位时, 可将凹模用定位销或平键固定在模套上, 而打销钉孔或开键槽是在装配准确后进行的, 如图 5.5-3 (b)、(c) 所示。

当用于成型大型塑件时, 为便于加工, 减少热处理变形, 节省优质钢材, 防止芯部不易淬硬等, 可采用图 5.5-4 所示结构。由图可知, 凹模由模套、互相扣锁的拼块及下凸模组成, 其下凸模表面上易于加工出较复杂的凸出、凹进或其他的形状, 亦可满足塑件旁侧成型的需要。拼块热处理后, 可用磨削加工修整, 并便于抛光。

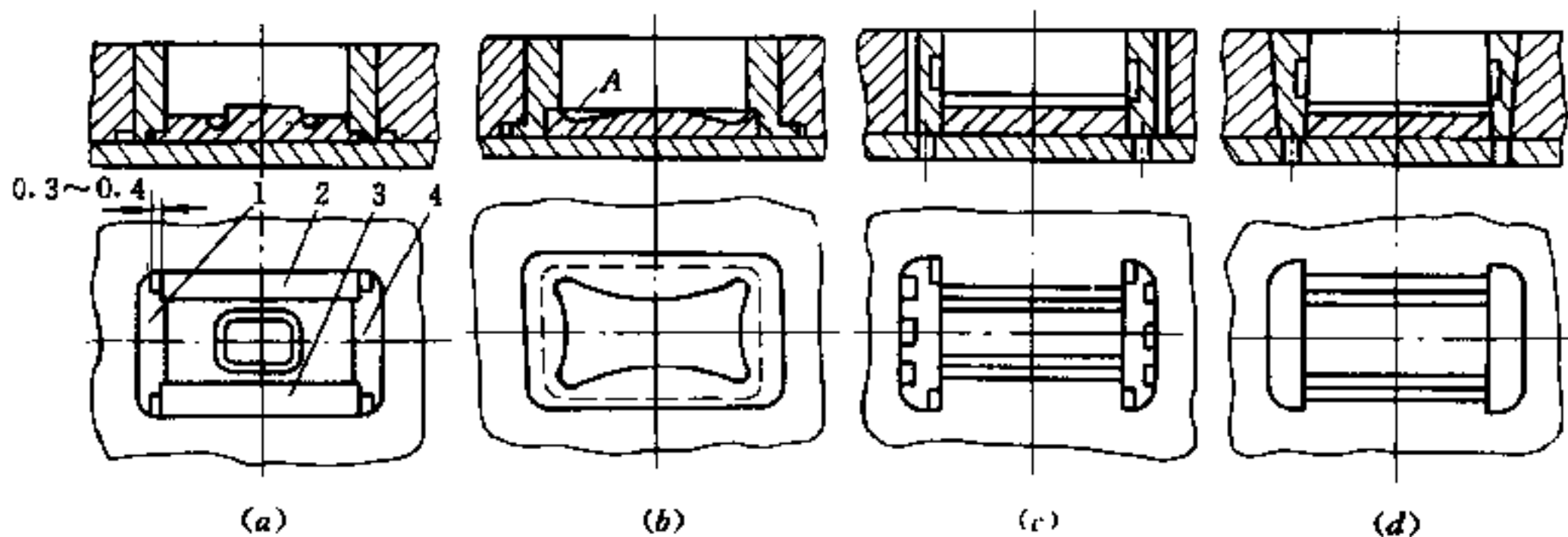


图 5.5-4 镶嵌式凹模

图 5.5-4 (a) 所示结构中 1、2、3、4 四块侧板彼此扣锁组成凹模, 压入模套后, 由于扣锁机构保证装配的紧密性, 可减少塑料挤入联结处的间隙中去。侧板联结处外侧做成 0.3~0.4mm 的间隙, 主要是使内接缝处更加紧密。

图 5.5-4 (b) 所示结构, A 处既能机械加工, 又保证塑件成型质量, 克服了采用



整体凹模难于加工的困难。

图 5.5-4 (c) 所示的压模, 可成型两侧臂有凸筋的塑件, 模套的两侧板是可卸的。取件时, 两侧板连同塑件一起被顶出。其缺点是可卸式的侧板与模套的配合不精确时, 塑料很容易挤入配合处的接缝中去, 造成顶出困难。若侧板未进行热处理增加其硬度, 则更易于与模套咬死。改用图 5.5-4 (d) 的结构形式, 则可避免上述缺点。但配合斜度采用  $10^\circ$  以上, 同时, 模套的壁厚也必须增加。

### 三、有垂直分型面的凹模

#### 1. 移动式垂直分型面压模

例如线圈骨架类型塑件, 推荐采用图 5.5-5 所示结构。

环形模套的上下端面比凹模的上下端面为短, 模套具有自紧作用, 可使对拼凹模紧密闭合, 压塑后, 模套亦易从凹模上敲下。

单型腔模具适宜采用圆锥形对拼结构, 其机械加工方便, 且易得到较好配合多型腔模具则因模具外形尺寸大大增加, 而不宜采用圆锥形对拼结构。

多型腔模具及矩形塑件成型模具, 则可采用矩形结构, 如图 5.5-6 所示。

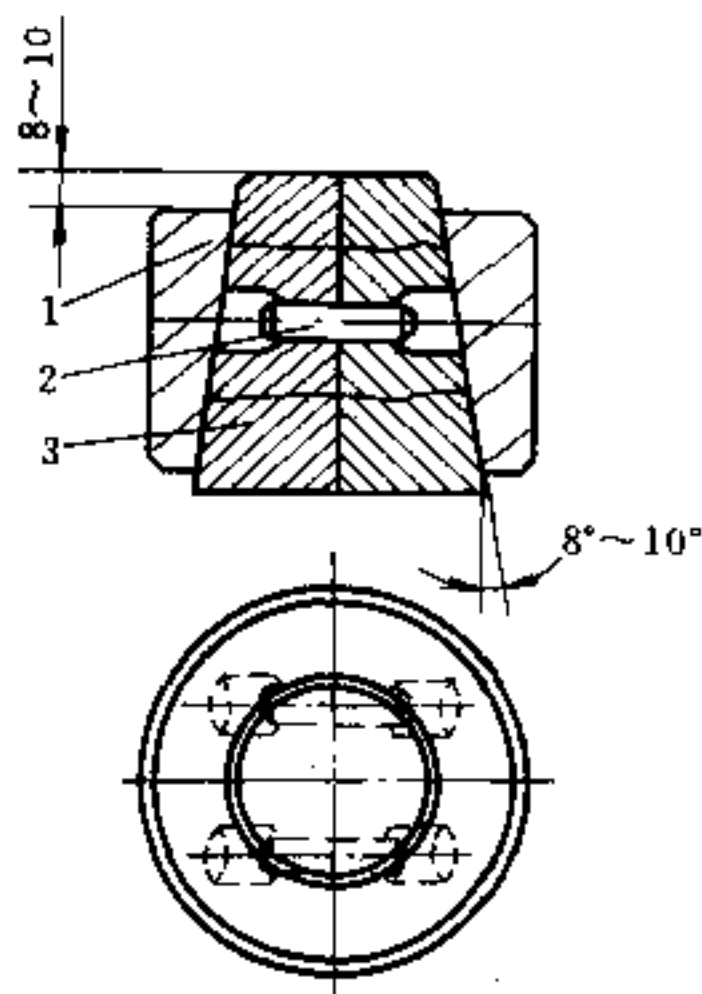


图 5.5-5 移动式垂直分型面凹模

1—模套; 2—定位销; 3—对合凹模。

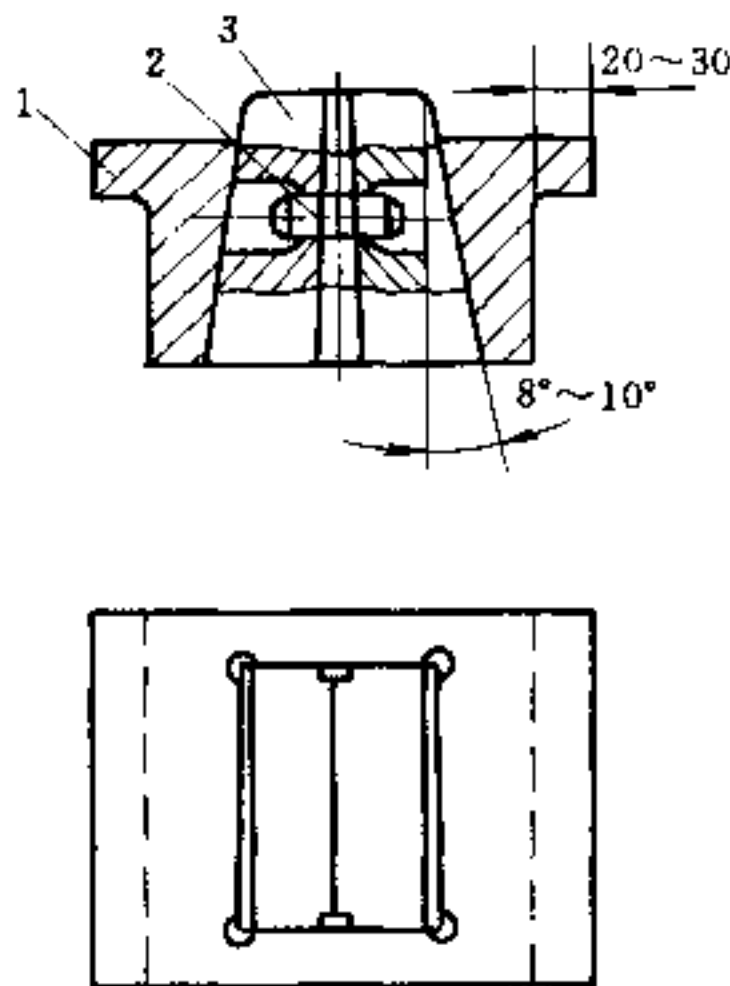


图 5.5-6 矩形结构模具

1—模套; 2—定位销; 3—对合凹模。

模套为封闭结构, 可消除变形缺点。模套与凹模具有同样  $8^\circ \sim 10^\circ$  斜面, 为便于加工及使两拼合凹模有良好的配合, 在模套的四角钻有四个圆孔, 其直径按模套尺寸而定, 而孔的外径应凹入配合的壁内, 伸出模套两外侧的凸缘是作为卸掉模套之用。对拼凹模分型面两旁边缘上所开的槽便于卸模时用撬棒撬开。

#### 2. 固定式垂直分型面压模

模套固定在压机上, 凹模需顶出杆顶出, 故两半凹模可采用图 5.5-7 结构。

图 5.5-7 (a) 所示为圆锥形凹模放在镶入模套里的衬套 4 中, 压塑完毕后, 凹模借压机的顶出装置从模套中取出。图 5.5-7 (b) 所示为凹模 1 的两个端面具有凸出部分, 该凸出部分导入模套中的斜槽中, 当压机顶出杆上升时, 凹模沿着模套的斜槽平行分开, 当凹模顶至模套上口时, 要求能全部分开。这种结构可省去另用一套卸模工具, 同时, 劳动强度亦有所降低。

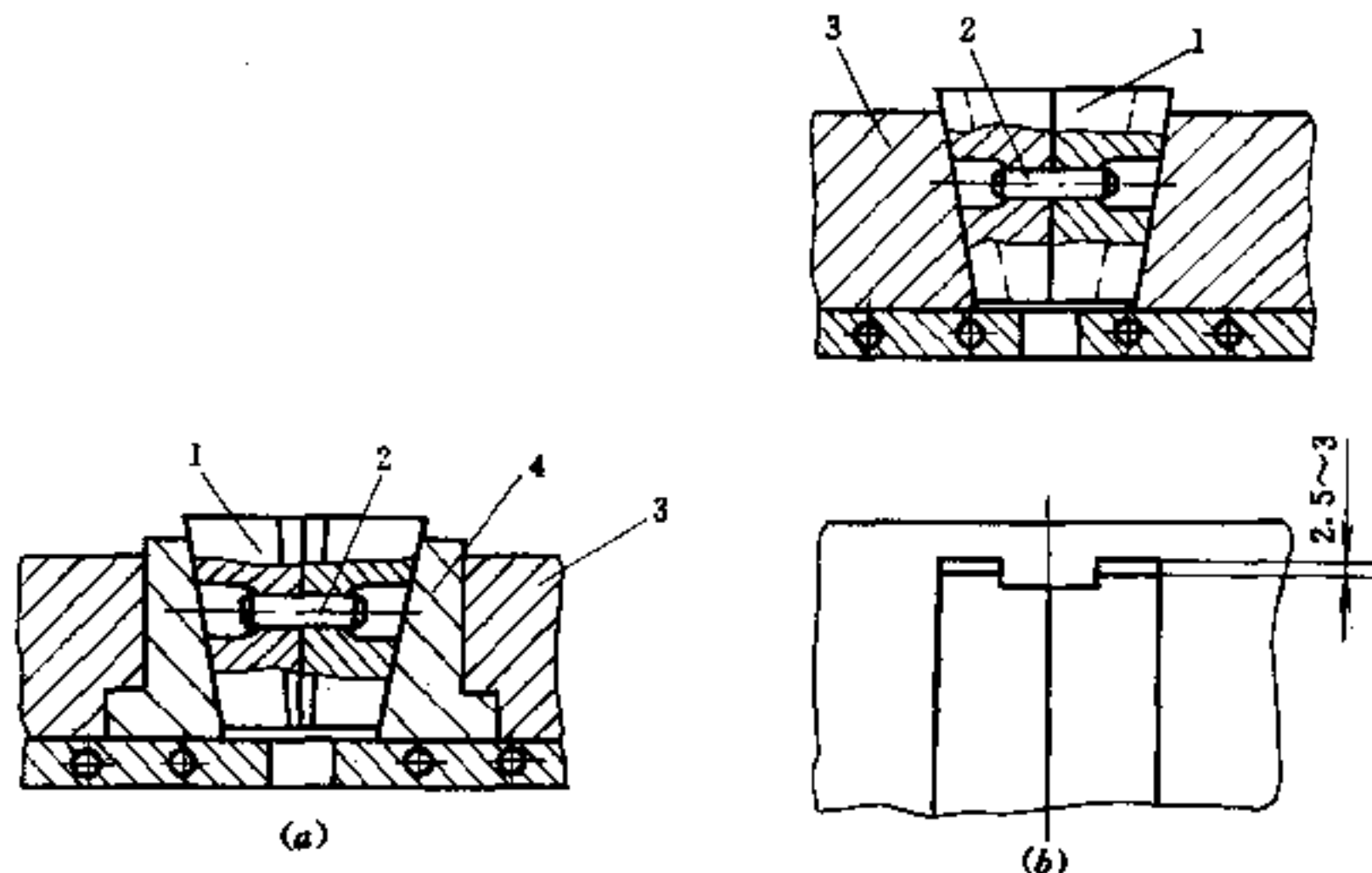


图 5.5-7 固定式垂直分型面凹模结构

(a) 圆锥形凹模；(b) 带斜滑槽凹模。

1—对合凹模；2—定位销；3—模套；4—衬套。

#### 四、通用凹模

这是一种可迅速更换凹模的模具，其结构如图 5.5-8 所示。

它借用螺钉将压板与凹模安装板联结成整体构成凹模，当需更换凹模时，则将螺钉卸掉取出凹模，换上所需凹模，再将螺钉拧紧即可。

#### 5.5.2 凸模结构设计

凸模又称阳模，通常位于压机的上部，其功用是在压塑成型过程中，将压机的压力传递到塑料上去并成型塑件的内表面。

凸模由两部分组成：上端与加料室的配合环部分配合，防止熔料溢出并有导向作用；下端为成形部分并设有脱模斜度，如图 5.5-9 所示。

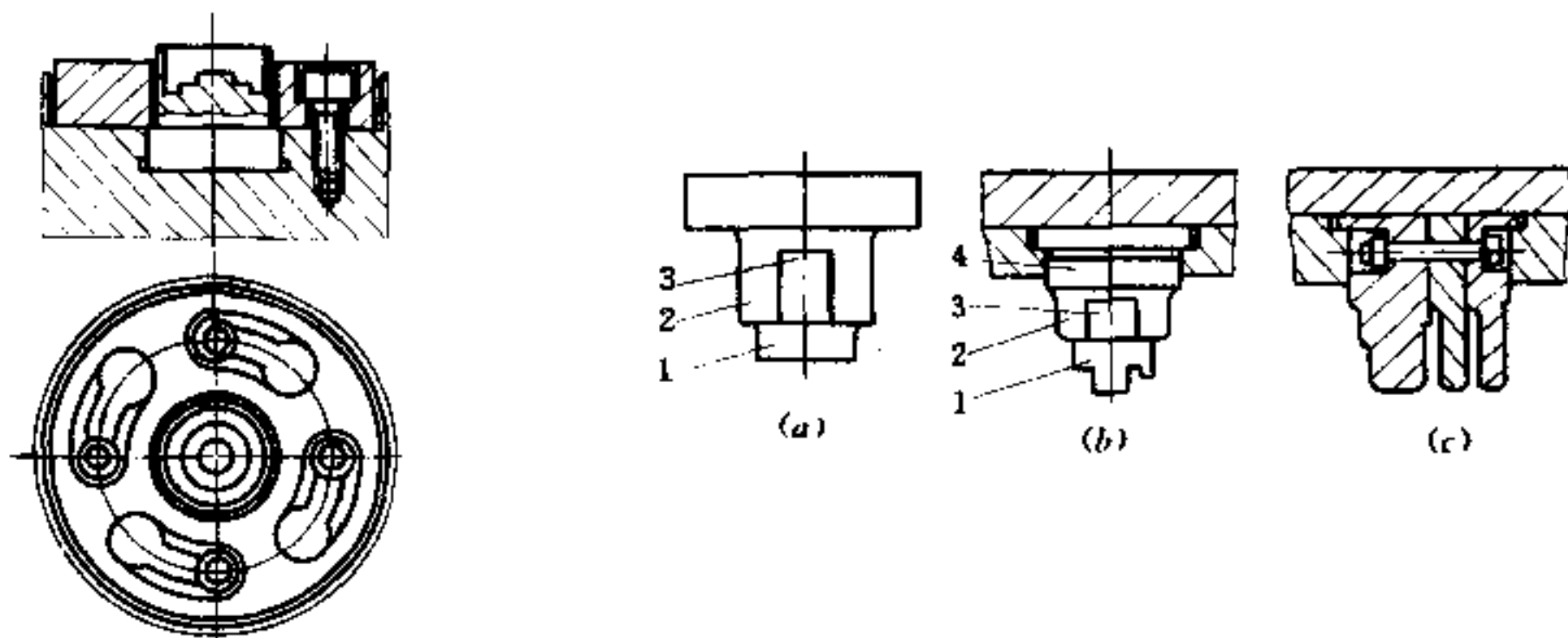


图 5.5-8 通用凹模

图 5.5-9 凸模结构

(a) 整体式；(b) 突肩连接式；(c) 镶嵌式。

1—成型段；2—配合段；3—溢料槽；4—固定段。

凸模的结构形式有:

(1) 整体式凸模 如图 5.5-9 (a) 所示, 其结构牢固, 但加工不便, 适用于凸度不高, 形状简单, 加工方便, 热处理不易变形的凸模。

(2) 组合式凸模 如图 5.5-9 (b)、(c) 所示, 图 (b) 是将整体凸模用镶入法使凸模与凸模固定板连接, 凸模上部有突肩, 并在凸模固定板上覆以垫板, 以防止凸模上升。这种结构牢固、装卸方便, 还可节约优质钢材, 故使用广泛; 图 (c) 所示为镶嵌组合式凸模, 一般来说, 镶嵌组合式凸模强度最差, 塑料可能挤入镶嵌间隙而引起变形, 如成型部分没有必要时, 不宜做成这种镶嵌式组合结构。

(3) 通用凸模 这是一种可迅速更换凸模的结构, 如图 5.5-10 所示。

它借用螺钉将压板与凸模安装板连接成整体, 构成凸模, 当需更换凸模时, 则将螺钉卸掉取出凸模, 换上所需凸模, 再将螺钉拧紧即可。

有时因成型的要求, 需保证凸模装配在一定位置时, 则需进行定位, 如图 5.5-11 所示。

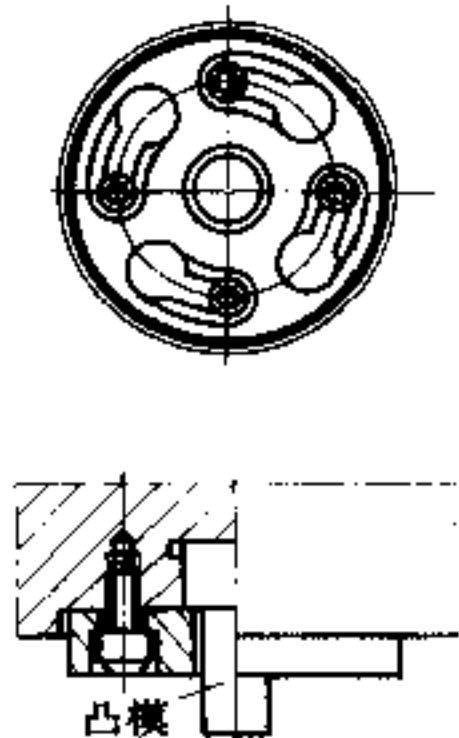


图 5.5-10 通用凸模

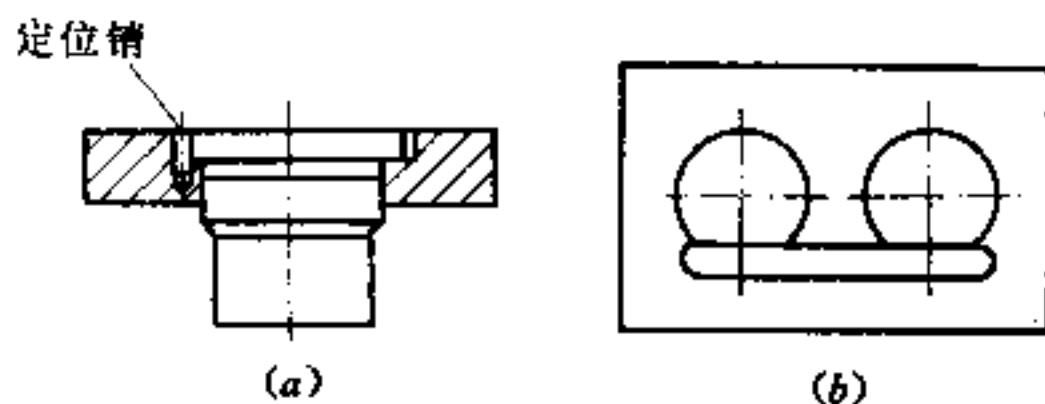


图 5.5-11 凸模的定位  
(a) 定位销定位; (b) 平键定位。

图 5.5-11 (a) 所示为定位销定位; 图 5.5-11 (b) 所示为平键定位。通常, 在需要固定两个或两个以上成排布置的凸模情况下, 才采用键定位, 它是以紧配合形式固定的。

### 5.5.3 凹凸模的配合和导向

敞开式、封闭式、半封闭式压模的凹凸模配合结构各不相同, 其配合形式及该处的尺寸是压模设计的关键问题, 配合环带设计得好, 能使塑件上的毛边变得很薄, 去除毛边很方便, 不致于损坏塑件的表面, 多余的塑件能很顺利地通过排料槽而排出, 压塑过程中所产生的废气也能很顺利地排出。

一般通过压塑工艺规定“称料”、“放气”的步骤来控制余料及废气的排除。当压塑工艺控制不了时, 才在凸模上补开一些特殊的槽, 如图 5.5-12 所示。

多余的塑料及气体通过排料槽及凸模固定板与模套间所形成的间隙排出, 因此, 这些槽通常都是从凸模的成型面一直开至模套 (凹模) 的上口, 在圆柱形凸模上做成深约为 0.3~0.5mm 的槽, 在矩形凸模上做成宽约为 5~6mm, 深约为 0.3~0.5mm 的槽。如图 5.5-12 (a)、(b) 所示。图 5.5-12 (c) 所示是依靠凸模与模套配合圆角半径之

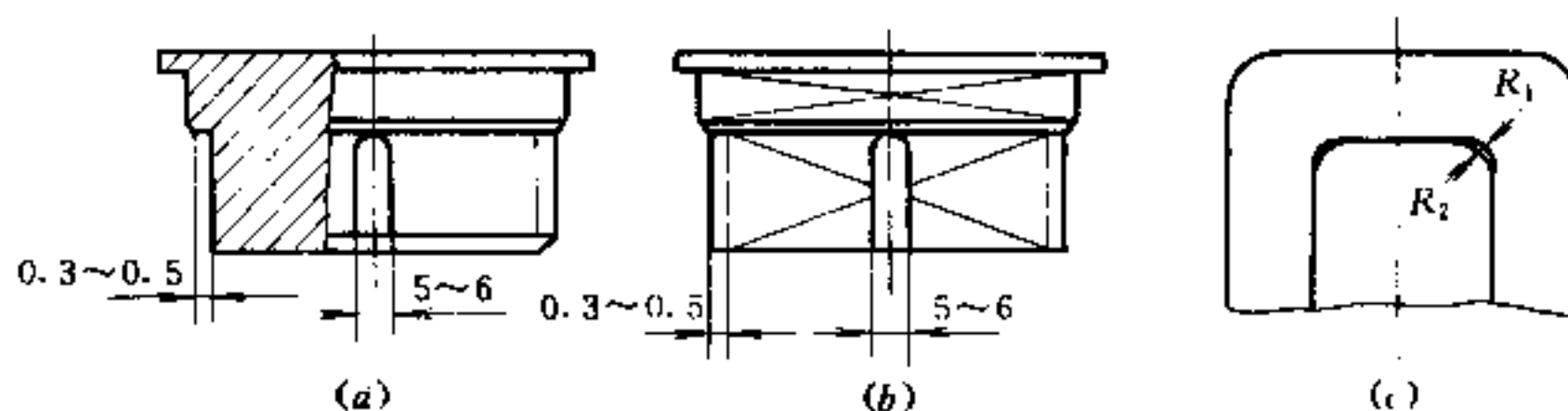


图 5.5-12 各式余料排出槽

(a) 柱面凸模溢料; (b) 矩形凸模溢料; (c) 配合间隙溢料。

差形成的间隙排气及溢出余料。即

$$R_2 = R_1 + (0.2 \sim 0.3) \quad \text{mm}$$

排气槽或溢料槽必须开得适当, 过大将增加塑料的损失及塑件不易压实而形成缺料现象。故在试模时, 按压塑情况确定其要开与否及其尺寸大小等。

凹凸模配合及导向部分的形式是根据塑件形状和要求而确定的, 其形式有如下几种:

### 一、敞开式压模配合形式

如图 5.5-13 所示。

### 二、封闭式压模配合形式

其凹凸模的典型配合结构如图 5.5-14 所示。此压模不存在挤压面, 其配合间隙不宜过小, 间隙过小在压制时型腔内的气体无法顺畅排除, 不能得到优质制品, 而且由于压模在高温下使用, 配合间隙小, 二者极易咬死、擦伤, 但间隙过大亦会造成严重溢料, 不但影响塑件质量, 且溢边难于除净, 甚至因溢料粘结造成开模困难。对中小型塑件一般按 H8/f8 配合, 通常是取其单边间隙为 0.025~0.075mm 为宜。此间隙值可使气体顺利排除, 且溢料少, 间隙大小视塑料流动性大小及塑件尺寸决定, 流动性大者取小值。塑件尺寸大, 间隙亦应取大一些, 以免制造和配合发生困难。

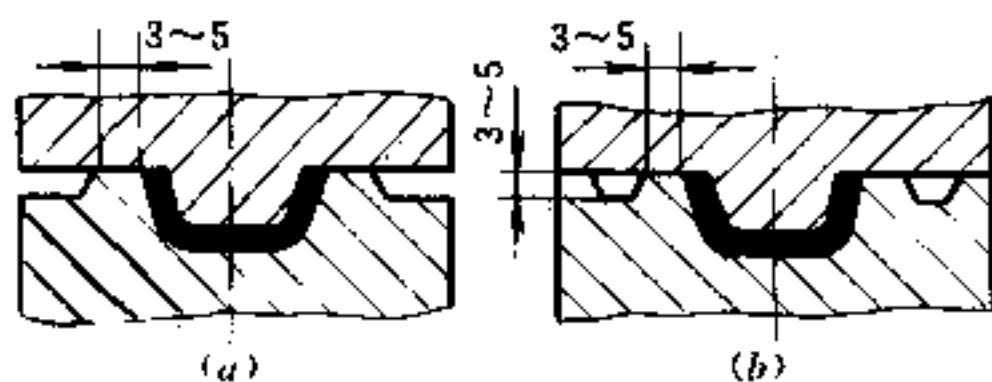


图 5.5-13 敞开式压模凹凸模配合形式

(a) 无溢槽; (b) 带溢槽。

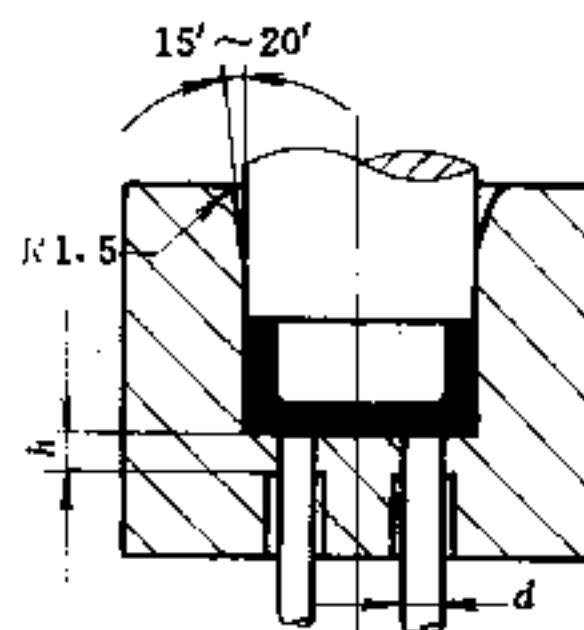


图 5.5-14 凹凸模的典型配合结构

为减少摩擦面积使开模容易, 凹凸模配合高度不宜太大, 若加料腔  $L$  较深, 应将凹模入口附近  $L_2$  高出 10mm 左右的一段作成带锥面的导向段, 其斜度  $\alpha$  为  $15' \sim 20'$ , 入口处作成  $R1.5$  的圆角, 以引导凸模正确地进入型腔, 且当物料转变到熔融状态时, 凸模已超过了凹模的圆锥部分, 塑料不会大量挤出。若加料室高度在 10mm 以内时, 可以取消圆锥形引导部分, 仅保留入口圆角  $R1.5$ 。

在移动式压模中，凹凸模经过淬火，其配合选用 H7/f7；对未经热处理及配合部分形状复杂的凹凸模则选用 H9/h9 配合；在固定式封闭式压模中则选用 H9/f9 配合。

型腔下面的顶杆或活动下凸模与对应孔之间的配合也可以取上述性质类似的配合，配合长度亦不宜太长，其有效配合高度  $h$  根据下凸模或顶杆的直径选取，见表 5.5-1。孔下段不配合部分可以加大孔径或将该段做成  $4^\circ \sim 5^\circ$  的斜孔。

表 5.5-1 顶杆与凸模直径及配合高度关系 (mm)

凹模和顶出杆直径	<5	5~10	10~50	>50
配合环高 $h$	4	6	8	10

上述封闭式压模配合结构的最大弱点是凸模和加料室壁摩擦，使加料室逐渐损伤，且塑件在脱模时其外表面亦会被变毛糙的加料室擦伤。为克服这一缺点可采用如图 5.5-15 所示结构。

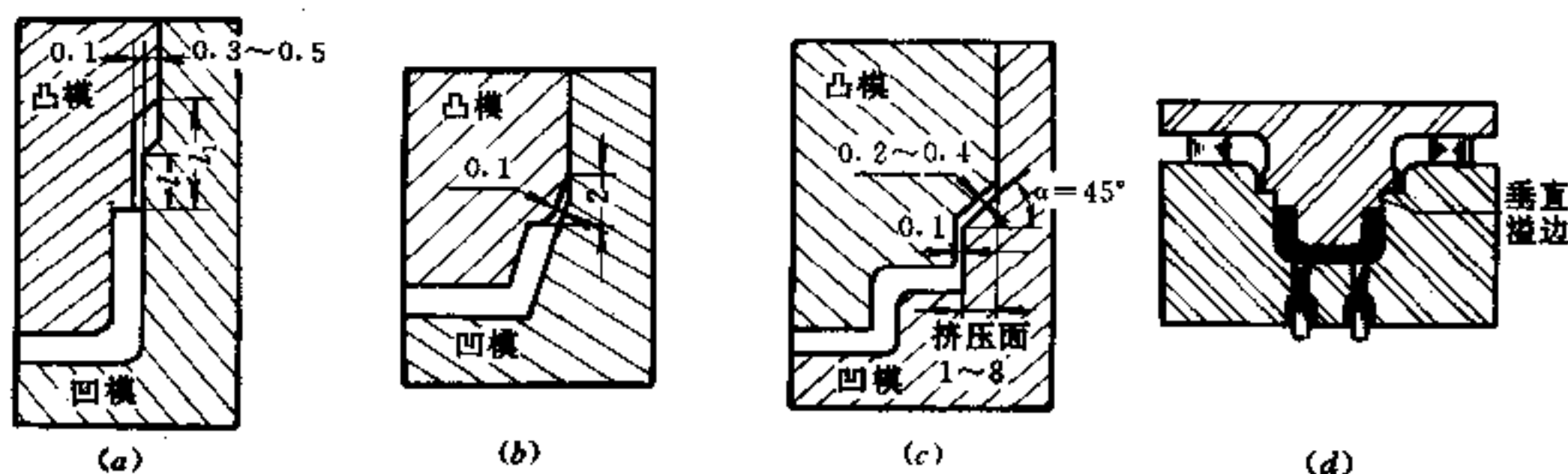


图 5.5-15 改进的封闭式压模配合形式

图 5.5-15 (a) 所示的结构，可以减小压塑和脱模时的摩擦，该结构为沿型腔成型部分向上升高  $L$  (一般为 0.8mm) 后，每边向外扩大 0.3~0.5mm，凸模上升  $L_1$  (一般取 1.8mm) 即与配合部分相连，这样，凸模和加料室之间形成了一个环形储料槽，供储料、排除余料 (对流动性较差的塑料凸模上仍需开设排气溢料槽)。图 5.5-15 (b) 所示的结构，最适于压塑带斜边的制品，将型腔上端 (即加料室) 按塑件侧壁相同的斜度适当扩大，高度增加 2mm 左右，横向增加值由塑件壁斜度决定，这样塑件在脱出时，不再与凹模壁相摩擦。图 5.5-15 (c) 所示结构，适用于型腔较高、形状复杂的模具。由于型腔高、形状复杂、加工不便，故可采用扩大加料室的结构，在容积一定时，投影面积增大，高度亦就降低了，不仅便于取件，且有利加工，但因压塑投影面积增大，压制总压力亦就增加了，在选择压机时应给以注意，挤压边的大小按压机功率、塑件大小而定。当挤压边太小时，因加工困难，故  $\alpha$  角可取  $20^\circ \sim 30^\circ$ ，一般情况取  $45^\circ$ 。

图 5.5-15 (d) 所示结构适用于模塑件尺寸精度高、形状复杂的制品。其优点是凹凸模配合柱面高度较小，仅为 1.6~2.4mm，形成垂直溢边。模具闭合高度由凹模凸肩限位，模塑压力有保证，不受溢边影响，它是一种较理想的压模结构，适合多型腔模具结构。

### 三、半封闭式压模配合形式

半封闭式压模凹凸模配合形式如图 5.5-16 所示。

其凹凸模配合, 对于移动式压模取 H7/f7; 固定式压模中、小尺寸取 H9/f9; 大尺寸取 H8/f8。

设计时, 为得到最薄的毛边, 则挤压边  $L_3$  应视塑件外形、尺寸大小及模具使用钢材质量而定。塑件尺寸大,  $L_3$  应宽些, 钢材质量好  $L_3$  就可小些, 一般对于中小型模具取 2~4mm; 而对大型模具则取 3~5mm。挤压边的形式可见图 5.5-17, 图 (a) 用于圆形截面凸模, 图 (b) 用于非圆形截面凸模 (矩形等)。

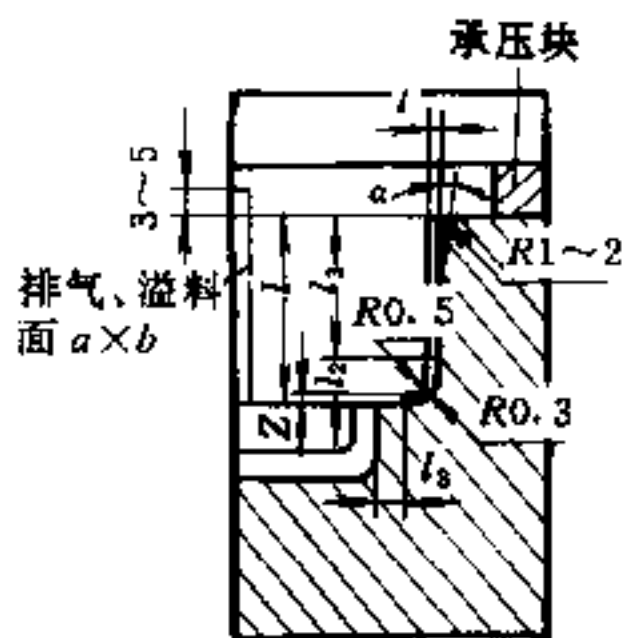


图 5.5-16 半封闭式压模凹凸模配合形式

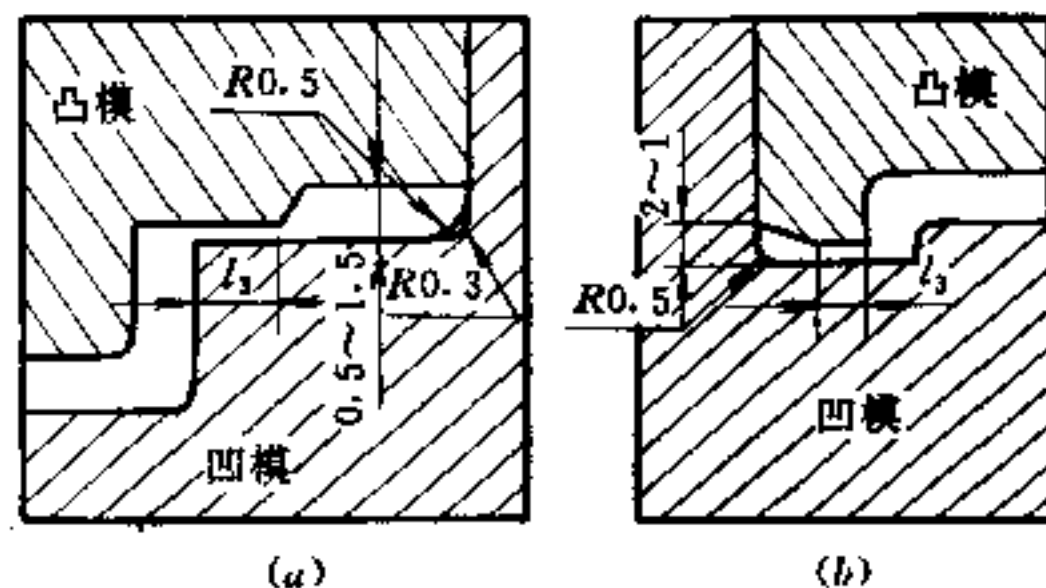


图 5.5-17 挤压边形式  
(a) 圆形凸模; (b) 矩形凸模。

配合环  $L_1$ , 对移动式压模取 3~5mm; 对固定式压模取 4~6mm; 若加料室高度  $L > 30\text{mm}$  时, 则取 8~10mm; 而导向环  $L_2$  当加料室高度  $L$  在 10mm 以上时, 则凹模导向环  $L_2$  的上部都有一段锥面, 其隅角处以圆弧过渡, 以减少凹凸模之间的摩擦。有下凸模的型腔, 也同样处理。移动式模具可取  $\alpha$  为  $20' \sim 1^\circ 30'$ ,  $R$  为 2~3mm; 固定式模具取  $\alpha$  为  $20' \sim 1^\circ$ ; 下凸模取  $\alpha$  为  $3^\circ \sim 4^\circ$ ,  $R$  取 1.5~2mm; 导向环  $L_2$  为 5~10mm; 当  $L > 30\text{mm}$  时则  $L_2$  取 10~20mm。但导向环的高度必须使塑料达到熔融时凸模已进入配合环。

如图 5.5-17 所示, 凹凸模在闭模后所留的小空间称储料槽, 是为排除每次压塑时比实际用料多加之料, 以保证塑料质量及合模方向的尺寸。

为使压机的余压不致全部承受在挤压边缘上, 在压模上还必须设计承压面, 如图 5.5-18 所示。

移动式压模一般是用凸模固定板与加料室上平面接触作承压面。理想的情况是凸模与挤压边缘接触时承压面也同时接触, 但因加工误差往往会使压机的压力全部作用在挤压边缘上, 从而导致该处更早损坏。为安全起见, 可以使承压面接触时 (图中 A 处) 挤压边缘处尚留有 0.03~0.05mm 间隙, 这样虽使塑件留有较厚毛边, 但模具寿命延长。

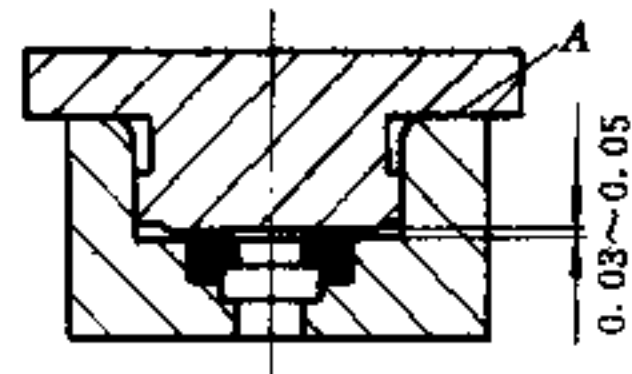


图 5.5-18 承压面与挤压边关系

通常, 在固定式半封闭式压模中都设有承压板或承压环 (又称限制块), 它是安放在凸模固定板与型腔上平面之间起限制凸模行程作用的板 (环)。有了承压板 (环) 之后, 就可通过磨削承压板 (环) 的顶面高度来精确调节凸模伸入型腔 (模套) 的深度, 这就满足了保证塑件高度及减少毛边厚度的要求, 同时也简化了模具加工工艺。承压板 (环) 的厚度一般为 8~10mm, 从而使模具的高度增加, 其形式如图 5.5-19 所示。其

中，图 (a)、(b)、(c) 是承压板的形式，图 (d)、(e)、(f)、(g) 是承压板在固定式模具中的安装形式，即承压板在模具中可以是单面安装，亦可是上下安装。

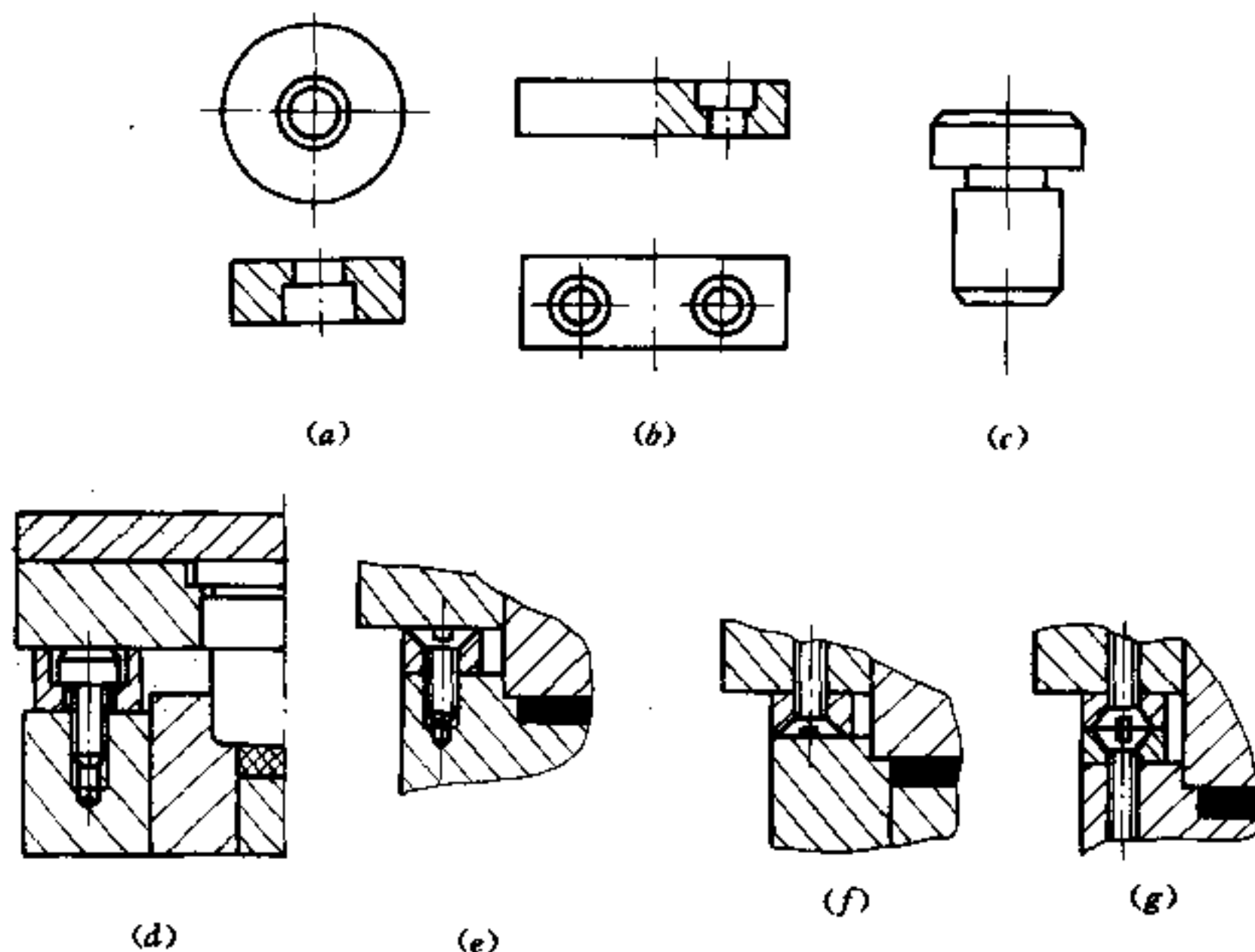


图 5.5-19 承压板和承压环 (钉)

#### 5.5.4 型芯结构设计

型芯供成型塑件上的孔用。常见塑件上的孔有通孔、盲孔、形状复杂的孔和螺纹孔等。

在设计成型孔的型芯结构时，可根据成型孔径的大小及其深度来确定型芯的固定方式。同时，压模型芯的受力状况比注射模型芯的受力状况恶劣。由于受力不均匀，易引起型芯弯曲，特别是与压制方向垂直的型芯，因此型芯长度不宜太长。当型芯为单端支撑时，成型与压制方向相重合的孔的型芯，其长度不宜超过孔径的 2.5~3 倍。对于与压制方向相垂直的孔，型芯长度不宜超过孔径，直径小于 1.5mm 的孔，型芯高度还应短一些。

小型芯一般设计成凸肩形式，并固定在型腔上，但有时固定部分很高，使小型芯又细又长，不便加工，可将小型芯固定部分加粗，如图 5.5-20 所示。

当很多相互靠近的带凸肩的小型芯固定在一起时，则可将产生冲突的突肩部分磨去，而将固定板的凹坑制成连通的长槽，以避免模上出现突尖角部分，如图 5.5-21 所示。

当成型通孔时，为避免型芯头部与相对的成型面相抵触而造成型芯变形或毁坏，最好将型芯稍微作短一些，使相对面之间留有 0.05~0.1mm 间隙，如图 5.5-22 所示。

当塑件孔较深时 (孔深  $> 6 \sim 8d$ )，为保证孔的精度和防止型芯弯曲，采用型芯伸入凸模孔内支撑的办法，如图 5.5-23 所示。



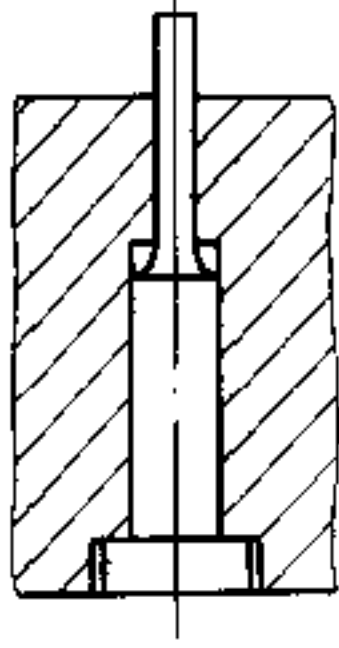


图 5.5-20 小型芯固定形式

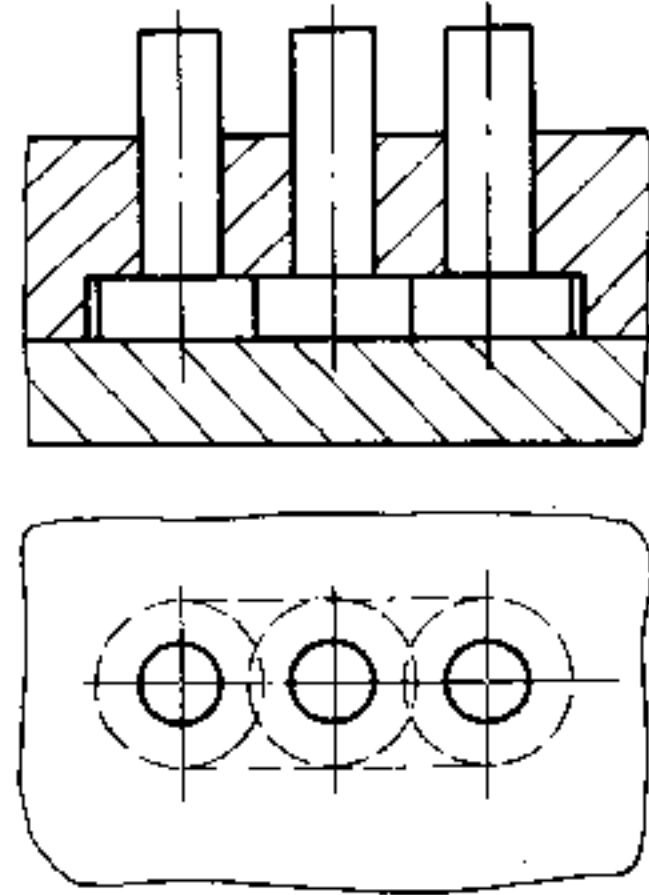


图 5.5-21 多型芯固定形式

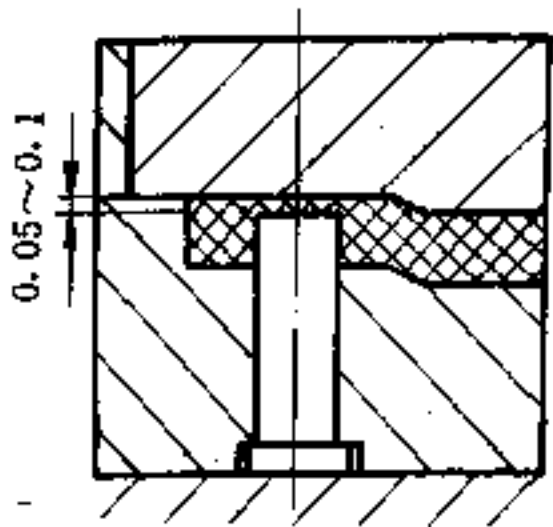


图 5.5-22 一端固定的型芯

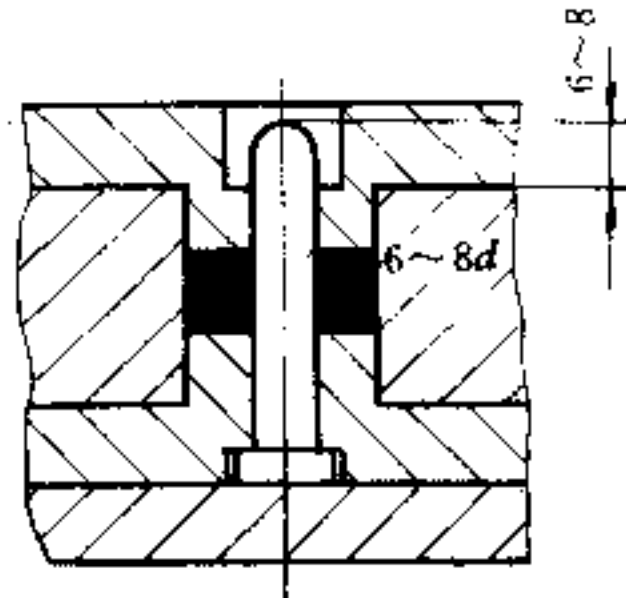


图 5.5-23 一端固定一端支撑的型芯

这时型芯的高度和加料室相等或稍高，型芯与凸模配合段不宜过长，要考虑溢入凸模的压塑料的清除。

对于同一塑件内有数量较多的通孔，其成型芯可采用双面成型型芯结构，如图 5.5-24 所示。即孔的一半由阳模的型芯来成型，而另一半则由装在凹模的型芯来成型，如图 5.5-24 (a) 所示结构，其中一个型芯直径比另一个稍大一点，以补偿可能产生的对中误差，闭模时，两型芯端面间最好留有  $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$  的间隙。当要求塑件孔两端

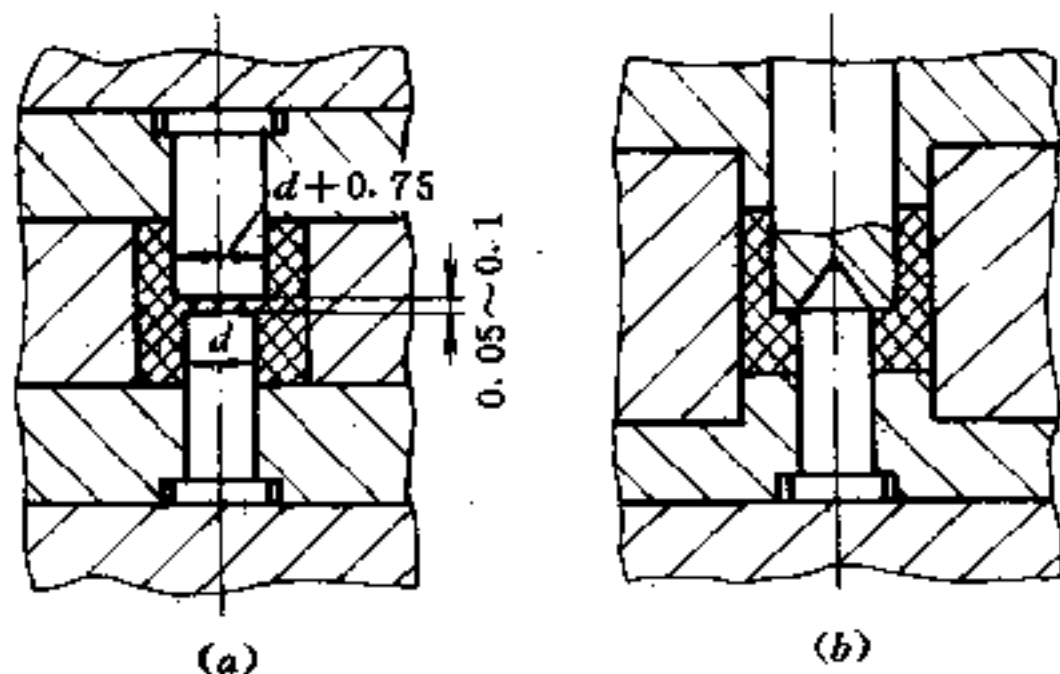


图 5.5-24 双面成型型芯结构

(a) 补偿对中；(b) 锥面对中。



同心度较高时, 则可采用图 5.5-24 (b) 所示结构, 即采用内外圆锥自动定心的方法, 以保证两型芯的中心线一致, 即上模的型芯端部为  $60^\circ$  的内圆锥, 下模的型芯成  $60^\circ$  的外圆锥。

有些深孔可采用部分压塑成型, 余下部分以机械加工方法完成。为了便于机械加工时钻头定位, 其型芯端部应做成锥形, 如图 5.5-25 所示。

对于斜孔或复杂形状的孔的成型, 为简化模具结构, 尽可能采用双向拼合的型芯来成型, 以避免抽侧型芯, 如图 5.5-26 所示。



图 5.5-25 部分压塑成型  
型芯结构

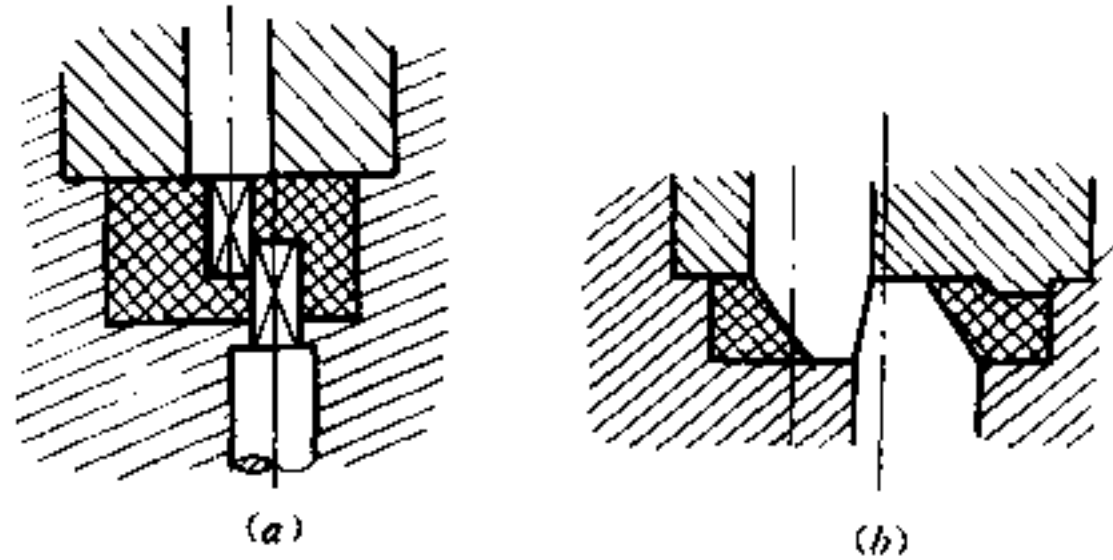


图 5.5-26 用拼合型芯成型复杂孔  
(a) 台阶孔; (b) 斜孔。

型芯用孔的中心距以及型孔直径和型孔深度的关系, 见表 5.5-2。

表 5.5-2 孔中心距、型孔直径和型孔深度的关系 (mm)

型孔直径	最小中心距	成型深度	型孔直径	最小中心距	成型深度
>2.5	4	6	>6	8.5	20
>3	4.5	7.5	>8	11	28
>4	5.5	10	>10	14	35
>5	7	15	>12	16	45

### 5.5.5 螺纹型芯及型环结构设计

塑件上螺纹孔是用螺纹型芯来成型的, 而螺纹型环则是用来成型塑件外螺纹的。有时因某种要求而需用金属螺纹嵌件, 则在成型中必须用螺纹定位芯棒和螺纹定位环来固定金属螺纹嵌件, 从而有专供直接成型塑件上内外螺纹的螺纹型芯和螺纹型环, 及专供固定金属螺纹嵌件用的螺纹定位芯棒和螺纹定位环。上述两类用途的零件在结构上并无多大区别, 所不同的是成型塑件内外螺纹的螺纹型芯和螺纹型环在设计时, 其成型螺纹部分的尺寸应考虑塑料的收缩率且粗糙度应达  $R_a 0.8$  以上, 而螺纹的始端和末端均应按 3.2.11 节螺纹设计原则进行设计, 这样, 螺纹型芯、螺纹型环在拧出时不致于将塑件中的螺纹拉毛或有咬死塑件的现象发生。固定金属螺纹嵌件用的螺纹定位芯棒、螺纹定位环在设计时, 则不需考虑塑料收缩率, 按一般螺纹尺寸制造, 粗糙度应达  $R_a 0.8$ 。

至于成型用螺纹型芯和螺纹型环, 以及固定螺纹嵌件用的螺纹定位芯棒和螺纹定位

环，其结构与注射模相似，压模的下模可呈动配合插入螺纹型芯或螺纹型环。压模的上模应插入有弹性连接的螺纹型芯，如尾部带豁口柄的螺纹成型杆和尾部带弹簧钢丝的螺纹成型杆等，但必须注意其可靠性，以免由于合模时的振动使其落下损伤压模。

塑件有嵌件时，应优先考虑将嵌件装在凹模内，当嵌件必须装在凸模上时，如果嵌件连接有困难或向上装插不方便，则可采用倒装式压模，如图 5.5-27 所示。

图 5.5-27 中 A 是嵌件。将凸模设在下模，而将凹模设在上模。

总之，压塑成型时，由于塑料流对嵌件横向挤压力较大，常引起嵌件移位或升起，应避免这种现象产生。

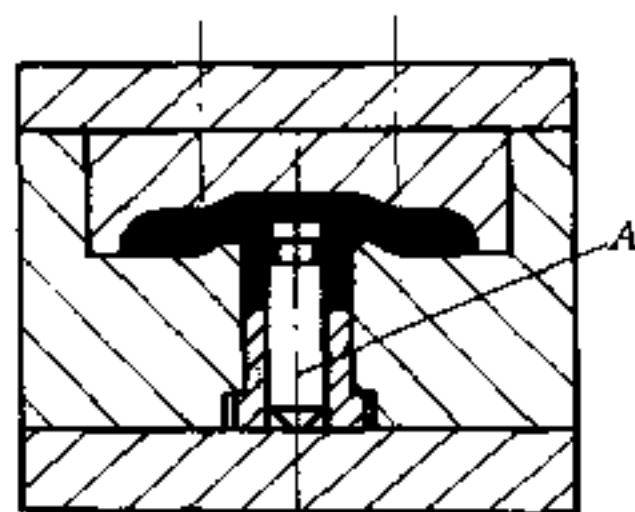


图 5.5-27 倒装式压模

## 5.6 压模结构零部件设计

结构零部件包括成型零件以外的所有各种零部件，其中重要的有导向零件、脱模机构（顶出机构）、侧向分型抽芯机构、加热装置、承压环以及移动式压模的手柄等。其结构与注射模大同小异，现就其特殊之处和典型结构介绍如下。

### 5.6.1 导向零件

与注射模相同，最常用的导向零件是在上模设导向柱，在下模设导向柱孔。导向柱孔又可分为带导向套的和不带导向套的两类，其结构和固定方式可参考本书 4.5.2 节。

压模导向具有以下特点：

(1) 敞开式压模的导向，单靠导柱及导柱孔完成；半封闭式和封闭式压模的导向与定位，除有导柱及导柱孔外，其凸模和加料室的配合段还能起导向与定位作用。一般加料室上段设计有 10mm 的锥形部分称导向环，因此，此类型压模的对中性较好。

(2) 成型中央带大通孔的塑件时，为保证模塑件质量，除在上模四周设计 2~4 根导向柱及导柱孔配合外，还可在中央孔中安置导柱，导柱四周留出挤压边的宽度（挤压边宽 2~5mm），以保证孔四周的毛边变薄，如图 5.6-1 所示。

中央导柱装在下模，其头部应高于加料室 5~8mm。由于导柱部分不需施加成型压力，这时所需要的压制总压力比不设中心导柱时可降低一些。

中央导柱一般形状比较复杂，合模时要与塑料接触，故导柱本身除要求淬火镀铬外，其配合亦需较高精度，否则，塑料挤入配合间隙会出现咬死拉毛现象。为制造方便及配合精度高，对于带矩形孔的或其他异形孔的塑件亦可采用中心圆导柱，如图 5.6-2 所示。

由于压模在高温下操作，因此，一般不采用带加油槽的加油导柱。

在设计模具时，导柱工作直径的确定既要防止其在成型时发生弯曲变形，亦应考虑不使其尺寸过大而使模具结构增大。有经验数据见表 5.6-1。

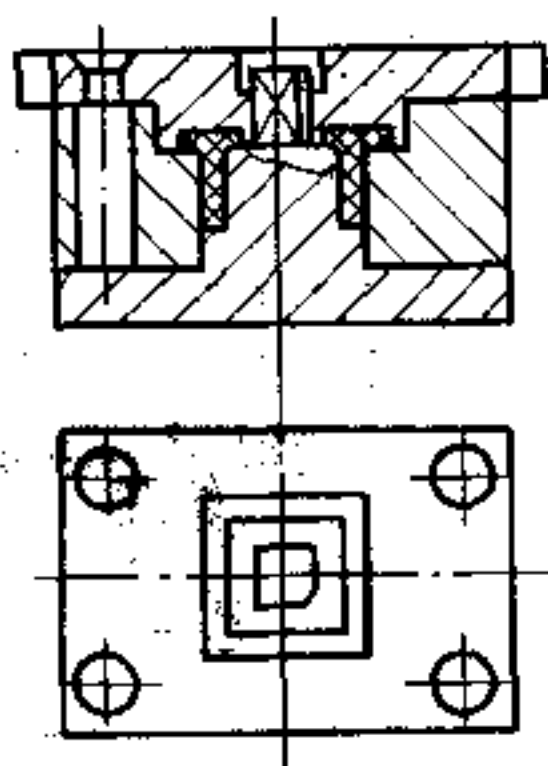


图 5.6-1 中心异形导柱压模

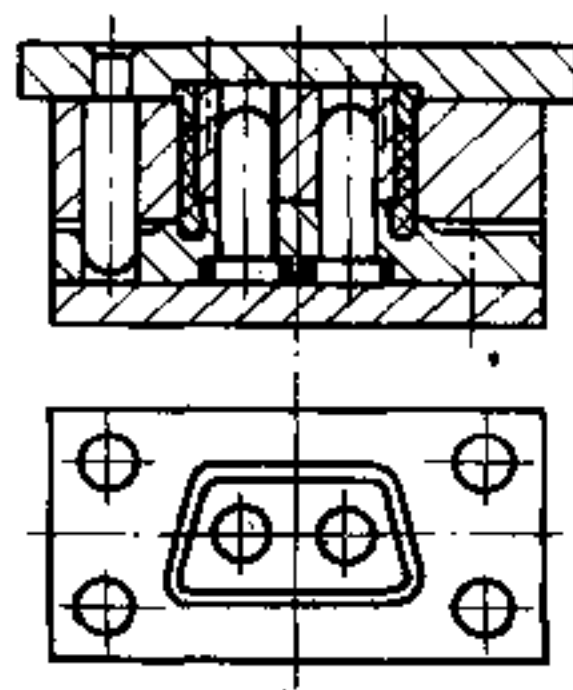


图 5.6-2 中心圆导柱压模

表 5.6-1 型腔长度与导柱直径的关系 (mm)

型腔长边 L	导柱直径	型腔长边 L	导柱直径
> 50~80	12	> 200~250	24
> 80~100	14	> 250~300	28
> 100~150	16	> 300~350	32
> 150~180	18	> 350~400	32
> 180~200	20	> 400	36

## 5.6.2 脱模机构及其零部件

与注射模相仿。在压塑成型的每一个循环中，塑件必须由模具型腔中取出，完成这个取出塑件动作的机构称为推出机构或脱模机构，而取出塑件的动作，实质上是使塑件对模具型腔产生相对位移。在固定式模具中，塑件是由脱模机构，借助机床的开模力从模具中顶出的。常见的有推杆推出机构、推管推出机构、推件板推出机构等。同样，可分一次推出的简单脱模机构（并包括多元件的联合推出），两次推出的二级脱模机构和上下模均带有脱模装置的双脱模机构。这些可参考本书 4.6 节。这里仅介绍与注射模不同之处。

### 一、压机内推出系统的结构型式

为了设计固定式压模的脱模机构，必须先了解压机顶出系统。压机内顶出系统的结构如前所述，一般分以下几种：

- (1) 压机下部带有高压液体传动的顶出柱，如图 5.4-4 所示。
- (2) 压机下部带有框架的顶出装置，如图 5.4-5 所示。
- (3) 无顶出系统的压机，如图 5.4-6 所示。

### 二、脱模机构与压机的连接方式

压模的脱模机构和压机的顶杆有下述两种连接方式：

1. 压机顶杆与压模脱模系统不直接连接

如果压机顶出柱能伸出压机工作台面，且伸出高度足够时，将压模装好后，直接调节顶杆顶出距离就可以进行操作。当压机顶杆上升的极限位置是其顶端与工作台表面相齐平时，必须在压机顶出柱端部旋入一适当长度的尾轴，如图 5.6-3 所示。

尾轴的长度等于塑件顶出高度加上压模底板厚度和挡销厚度。由于尾轴沉入压机台面，并不与压模相连接，故模具安装较方便，可在模具装入压机前，事先将尾轴拧在顶出柱上，这种连接方式仅在压机顶出柱上升时起作用，当顶出柱返回时，尾轴即与压模顶出板相脱离，顶出板和压模顶出杆的下降和复位有赖于压模复位杆作用。

图 5.6-4 所示结构系尾轴直接安在压模下模顶出块上。

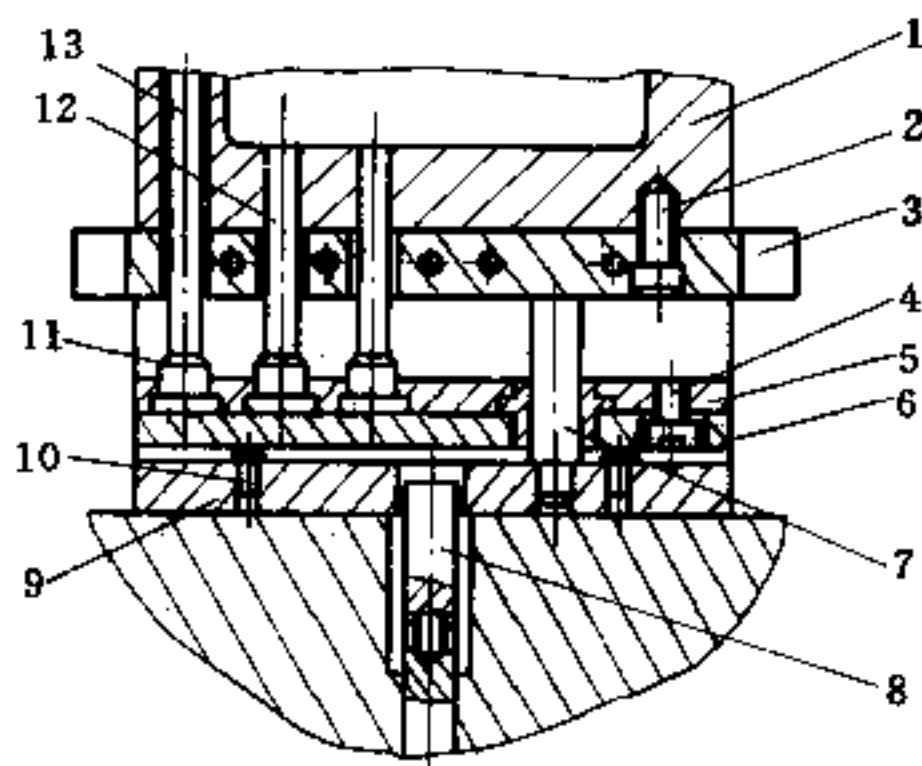


图 5.6-3 压模与尾轴不相连的脱模机构

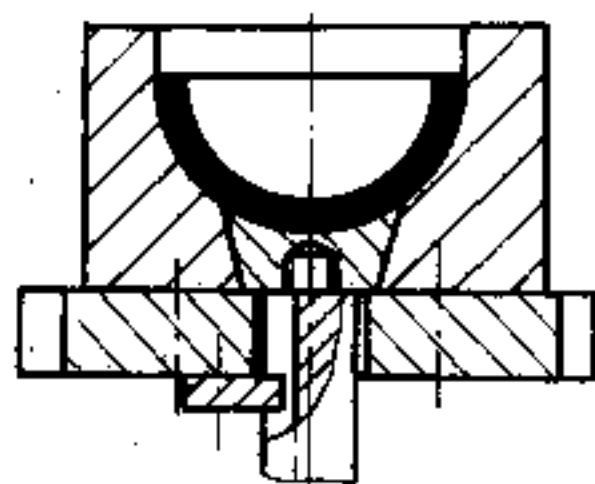


图 5.6-4 带尾轴的顶块脱模机构

在模具安装时，可将尾轴与顶块一道从下模中取出，待模具安装完毕后再开模，向凹模内装入尾轴，这种结构适用于压塑碎布酚醛塑料轴瓦类制品。

## 2. 压机顶出柱与压模推出系统直接相连

压机顶出柱不仅在顶出时起作用，而且在回程时亦能将压模的推出板拉回，由于压模的推出系统（推出板）通过尾轴与压机顶出油缸活塞杆连接在一起，压模就不需再设复位杆。如图 5.6-5 所示，其中图 (a) 为压模不设复位杆的结构；图 (b) 为压机顶出柱的头部为 T 形槽时所采用的尾轴，此模具结构装拆比较方便；图 (c) 是在带中心螺纹孔的顶出柱端部连接一带 T 形槽的轴，再与压模的尾轴相连。

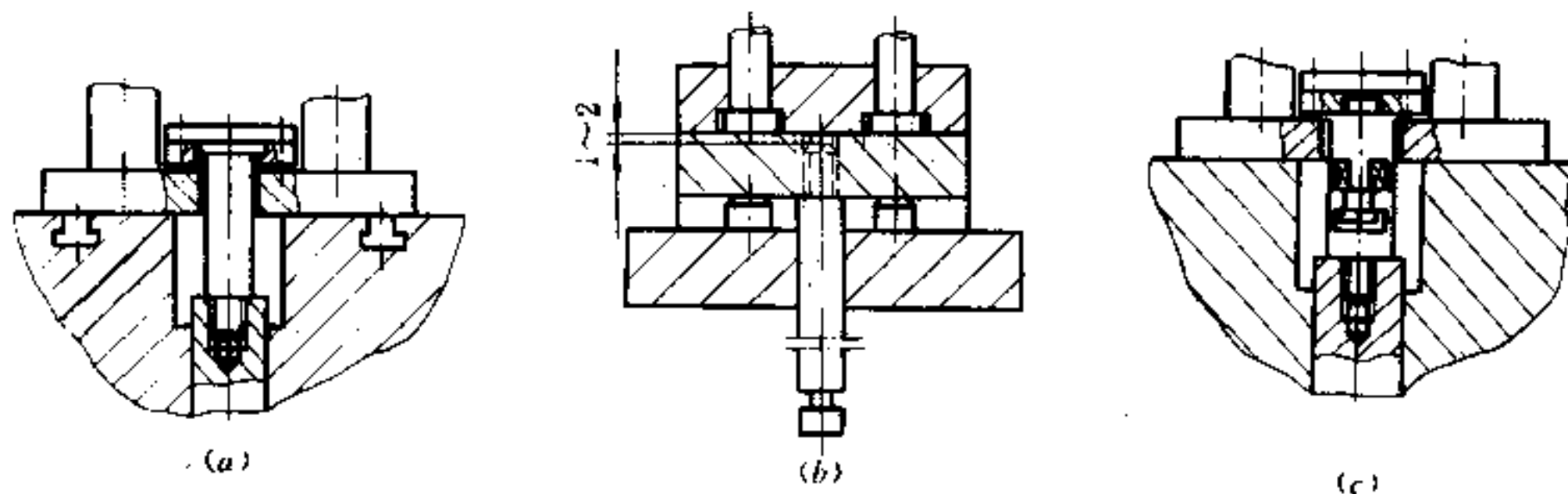


图 5.6-5 压模与尾轴相连的脱模机构

T 形槽与尾轴连接尺寸如图 5.6-6 所示。尾轴在顶板上连接螺纹直径视具体情况可选  $M16 \sim M30$ ，连接螺纹高度应比模具底板厚度小  $1 \sim 0.5\text{mm}$ ，尾轴直径  $D$  比压机顶

出柱直径小  $1\sim 2\text{mm}$ ，尾轴细颈部分直径  $D_1$  和接头直径  $D_2$  比 T 形槽对应尺寸小  $1\sim 2\text{mm}$ ，尾轴细颈部分高度  $h_1$  和接头高度  $h_2$  分别比 T 形槽对应尺寸大  $0.5\sim 1\text{mm}$  和小  $0.5\sim 1\text{mm}$ ，尾轴高度  $h$  应由顶出高度和模脚尺寸确定。

### 三、压模脱模机构的组成

压模底部推出部分的结构是由很多零件组成的，这些零件按不同的要求而变化，现分别叙述如下。

#### 1. 尾轴

尾轴将压机的顶出柱上顶的压力传递给压模的推出板。尾轴的结构形式如图 5.6-7 所示。其中图 5.6-7 (a) 所示结构，用于顶出柱端部中心是螺孔的。在模具未装入压机时，可预先将尾轴旋在顶出柱上，由于尾轴沉入压机台面并不与压模相接触，故模具的安装较方便。但这种形式的尾轴仅在顶出柱上升时起作用，当顶出柱下降返回原处时则尾轴与顶出板分离，顶出板的下降有赖于板上的复位杆。图 5.6-7 (b) 所示尾轴适用于顶出柱端部带有 T 形槽的结构。图 5.6-7 (c) 所示是一种错误的连接，因为若尾轴与顶出板连在一起，必然会使尾轴伸出压模底板，造成模具安装及放置的不便。

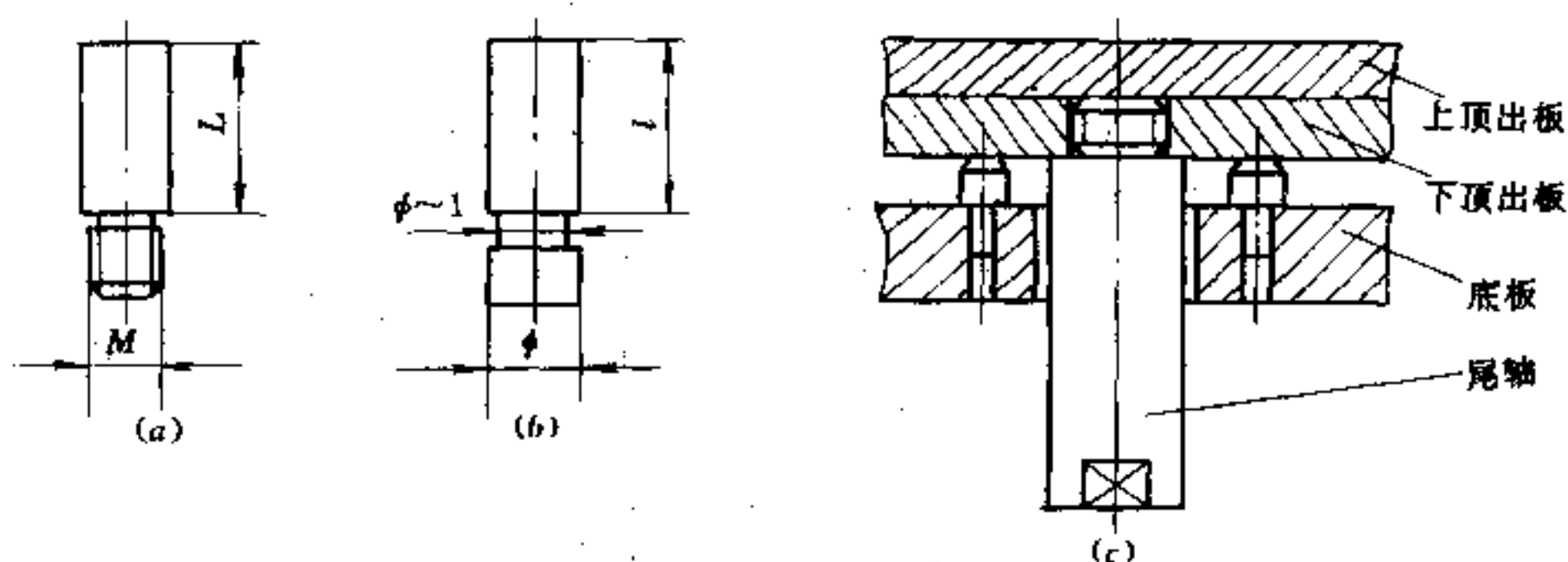


图 5.6-6 尾轴结构尺寸

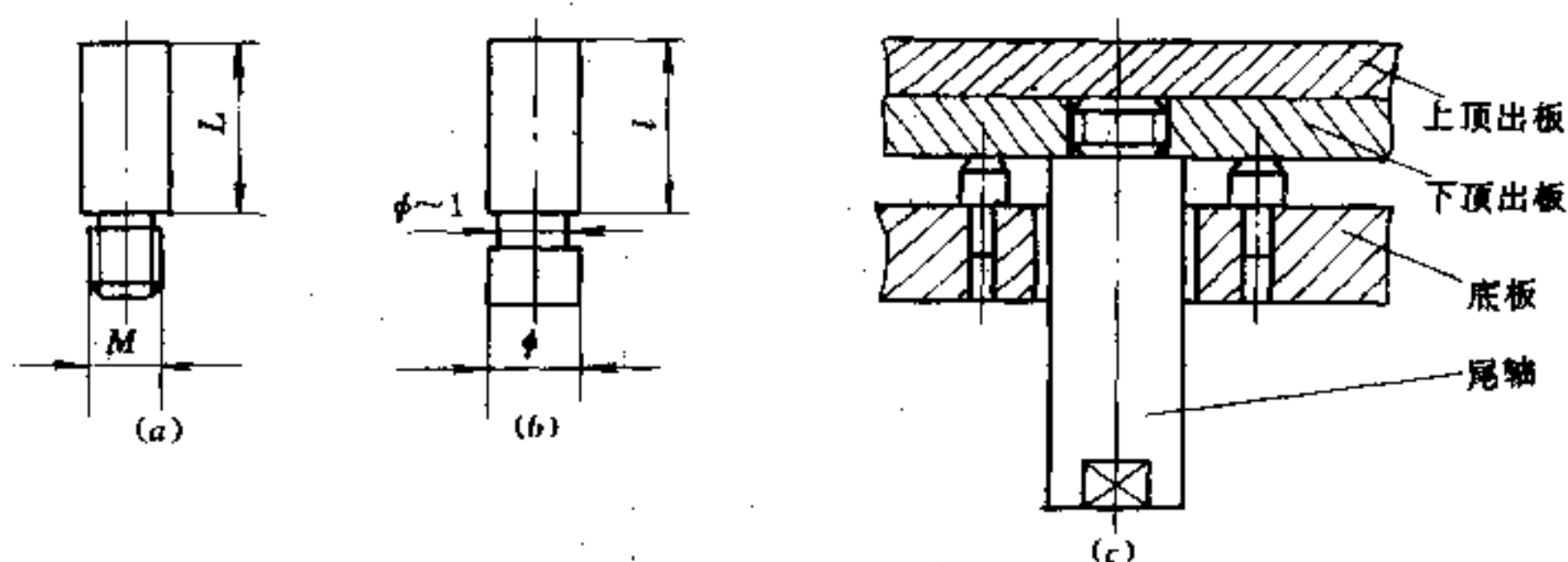


图 5.6-7 尾轴结构形式

#### 2. 导向柱与导向套

压模中推出杆位置的布置按塑件的形状确定。因此，推出杆所受到及作用的合力不一定和尾轴轴线重合，则在操作过程中推出板就会倾斜，致使推出杆卡擦严重甚至弯曲。为避免这种情况的产生，应在顶出板空余位置内设置导向零件，以保证推出板水平地上下移动。导向零件不应少于两个，大面积的推出板可设置 4 个，且布置时应尽量对称并靠近板边。图 5.6-8 所示为导向柱与导向套的 3 种结构形式。

导向零件应安装于下加热板与底板之间，它的设计要求请参阅本书 4.5.2 节。

#### 3. 模脚

为了形成可以容纳推出板及推出板上下移动所需的空问，在下加热板与底板之间推出板两侧必须设置模脚，模脚的设计请参考注射模一章。

#### 4. 顶出杆

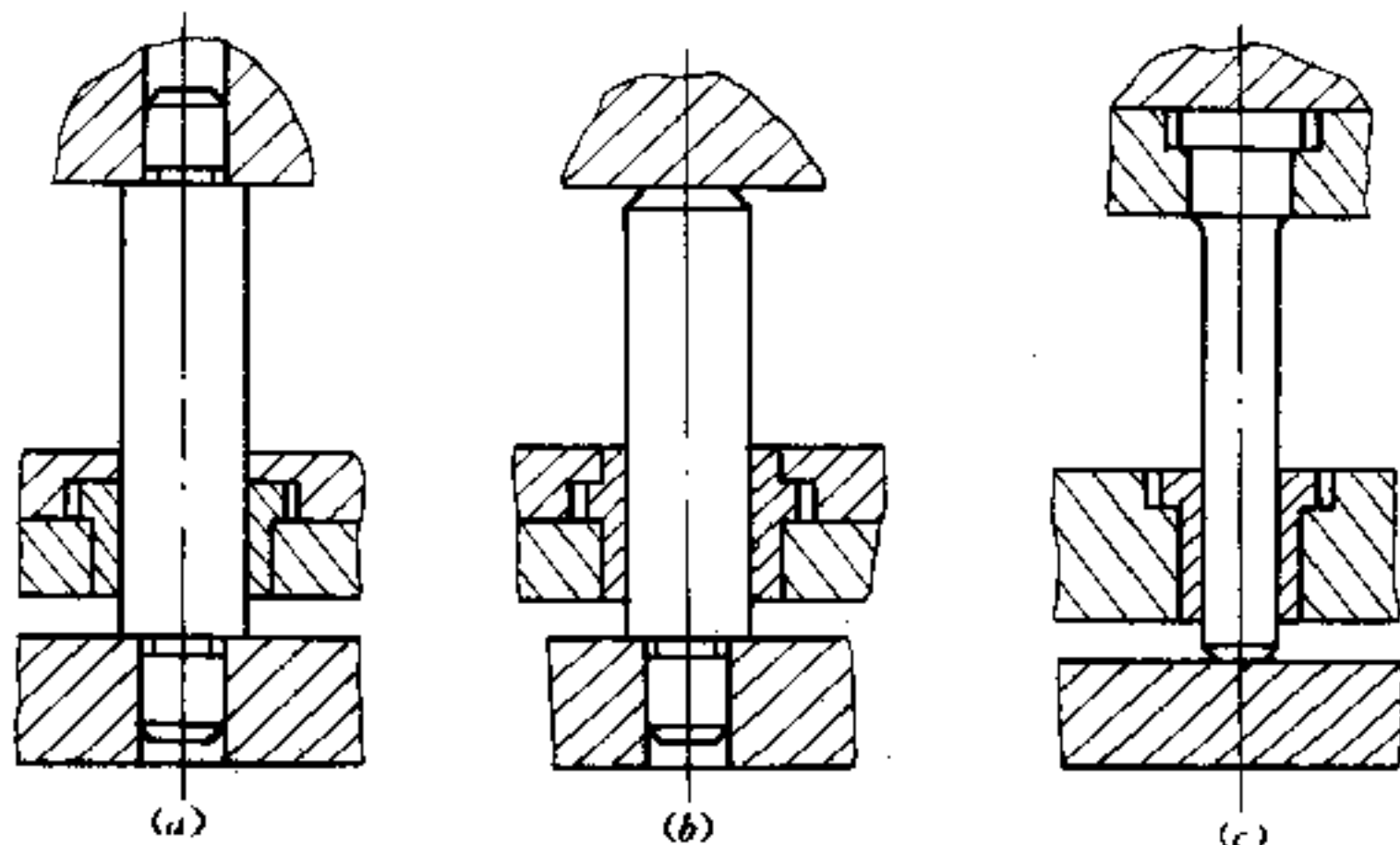


图 5.6-8 导向柱与导向套的结构形式

顶出杆是位于塑件顶出部位的下面直接与塑件接触的零件，因而顶杆的截面形状可因塑件几何形状的不同而不同，但在使用中为了制造方便，应尽量做成圆形截面的推出杆。关于顶出杆的布置、设计时应注意的事项以及脱模机构的结构形式等问题请见本书 4.6.3 节。

在移动式压模中，塑件是由不连成整体的顶出杆借卸模架的作用从模具中顶出的。

#### 5. 复位杆

复位杆与推出杆一样，是安装在推出板上，使压模推出板在推出塑件后，利用凹凸模的闭合，使推出板回复到初始位置的装置。而与注射模不同的是压模脱模机构是否要装复位杆，决定于该模具所选用的压机顶出系统的结构形式。当压模的推出系统（推出板）通过尾轴与压机顶出油缸活塞杆连接在一起时，就不需要设置复位杆，如图 5.6-5 所示。

#### 四、卸模架

它是专作为移动式压模分模之用，这种分模形式是生产中应用最广泛的一种形式。

卸模架的主要组成零件是顶出杆和顶出板，如图 5.6-9 所示。

图中所示卸模架是用于两个分型面的移动式模具，上下卸模架顶杆长度的计算由图中所示关系进行。

下卸模架短顶杆长度  $H_1$ ：

$$H_1 = h_1 + 3 \quad (5.6-1)$$

式中  $h_1$ ——下凸模高度与其底板厚度之和 (mm)，下凸模必须脱出长度有时等于下凸模高度，有时小于下凸模全高。

下卸模架长顶杆长度  $H_2$ ：

$$H_2 = h_1 + h_4 + (h_3 - h_2) + 6 \quad (5.6-2)$$

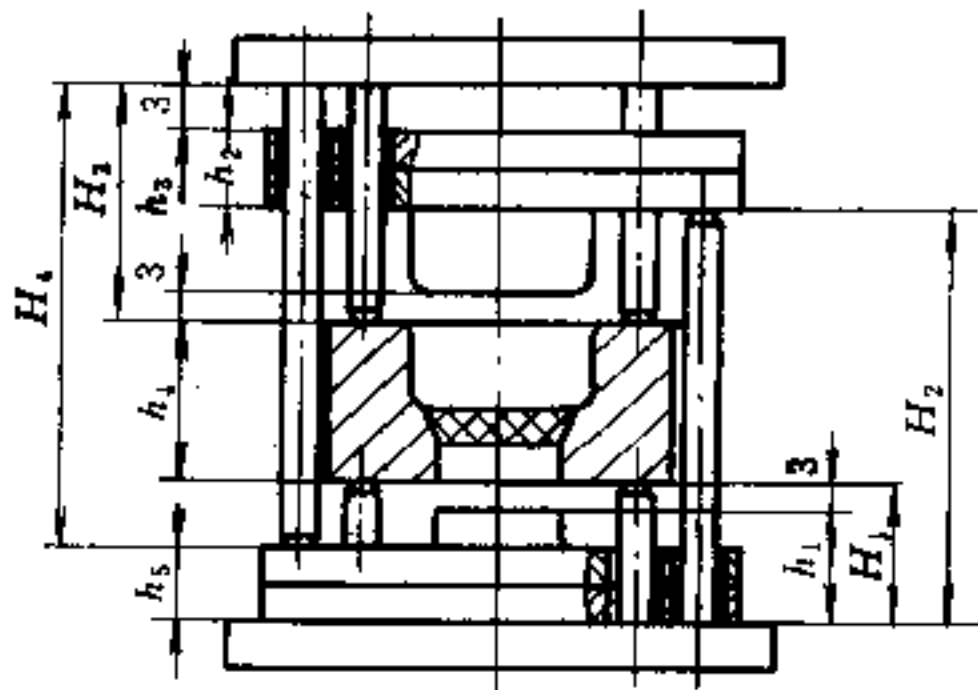


图 5.6-9 用于两个分型面模具的卸模架

式中  $h_4$ ——凹模高度 (mm);

$h_3$ ——上凸模高度与其底板厚度之和 (上凸模必须脱出长度有时等于上凸模高度, 有时小于上凸模全高) (mm);

$h_2$ ——上凸模底板厚度 (mm)。

上卸模架短顶杆长度  $H_3$ :

$$H_3 = h_3 + 8 \quad (5.6-3)$$

上卸模架长顶杆长度  $H_4$ :

$$H_4 = h_3 + h_4 + (h_1 - h_5) + 11 \quad (5.6-4)$$

式中  $h_5$ ——下凸模底板厚度 (mm)。

由以上计算可知, 顶出杆长度除满足分模的要求外, 同时要兼顾到既操作方便, 又适应压机上下固定板距离之规格, 且不论何种形式的模具, 要想将已成型好的塑件从模具中取出, 只需将上凸模、下凸模、凹模分开, 然后, 从凹模中捅出塑件即可。因此, 为使模具分开所需的卸模架顶杆长度, 既可根据模具的分模要求来进行计算, 也可以用作图法确定卸模架各顶杆长度。顶出杆长度应凑成整数, 顶出杆直径须按模具的大小及其复杂类别确定。每组同一高度顶出杆的尺寸必须保持一致, 在分模时, 使卸模架上的每一顶出杆完全与模具接触, 否则会使模具配合遭到破坏。

顶出杆若直径小于 15mm, 可用铆接或螺纹连接的方法与其固定板 (即卸模架顶出板) 连接; 若直径大于 15mm, 可用压入法轴肩连接。

### 5.6.3 侧向分型与抽芯机构

压模侧向分型抽芯机构与注射模相仿, 但不相同。由于压缩模塑是先加料, 后合模, 因此, 注射模的某些侧向分型机构不能用于压模。例如, 以开合模驱动的斜导柱侧向分型, 若用于压塑成型, 则加料时瓣合模型腔系处于开启状态, 必将引起严重漏料; 但将它用于侧向抽芯则是可行的。此外, 由于压模受力状况比较恶劣, 分型机构和锁紧块都需要有足够强度。目前国内尚广泛使用着各种手动分型抽芯机构, 当大批量生产塑件时, 则应采用机动分型抽芯机构。

关于侧向分型和抽芯机构的原理、计算和结构设计可参见本书 4.8 节, 这里仅举出压模的几种典型分型抽芯机构予以说明。

#### 一、机动侧向分型抽芯机构

##### 1. 铰链连接瓣合模分型

如图 5.6-10 所示。此压模瓣合模与下模块 4 间用铰链连接, 下模块中间拧有顶出装置的尾轴, 铰链孔作成椭圆形, 使其与铰链轴间存在着间隙, 以免该轴在压塑时承受

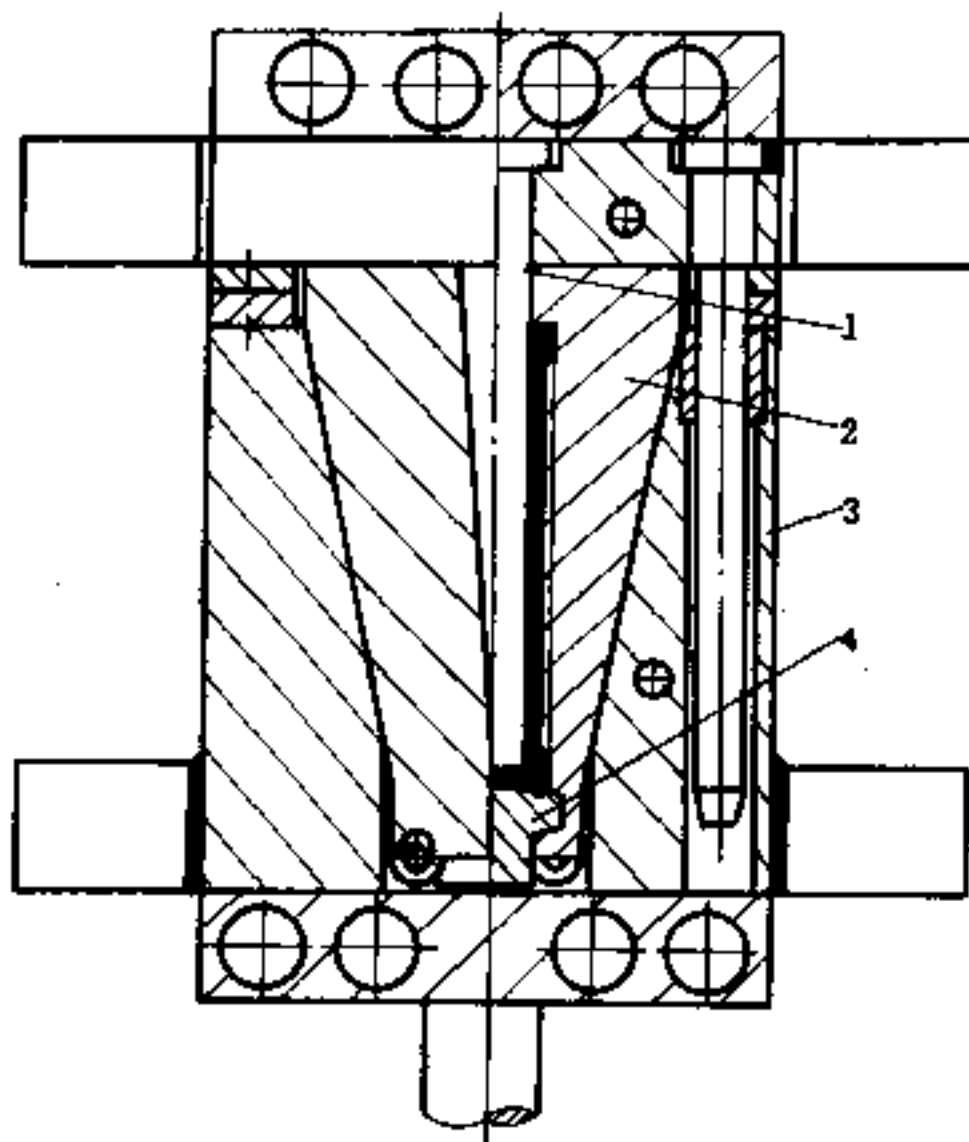


图 5.6-10 铰链连接瓣合模分型

1—凸模; 2—瓣合模; 3—模套; 4—下模块



压力；成型后，先抽出上凸模，然后顶出瓣合模，由于模套内分模楔的作用，使瓣合模绕轴左右张开，即可取出压好的塑件。

## 2. 斜导柱、弯销抽芯机构

如图 5.6-11 所示。

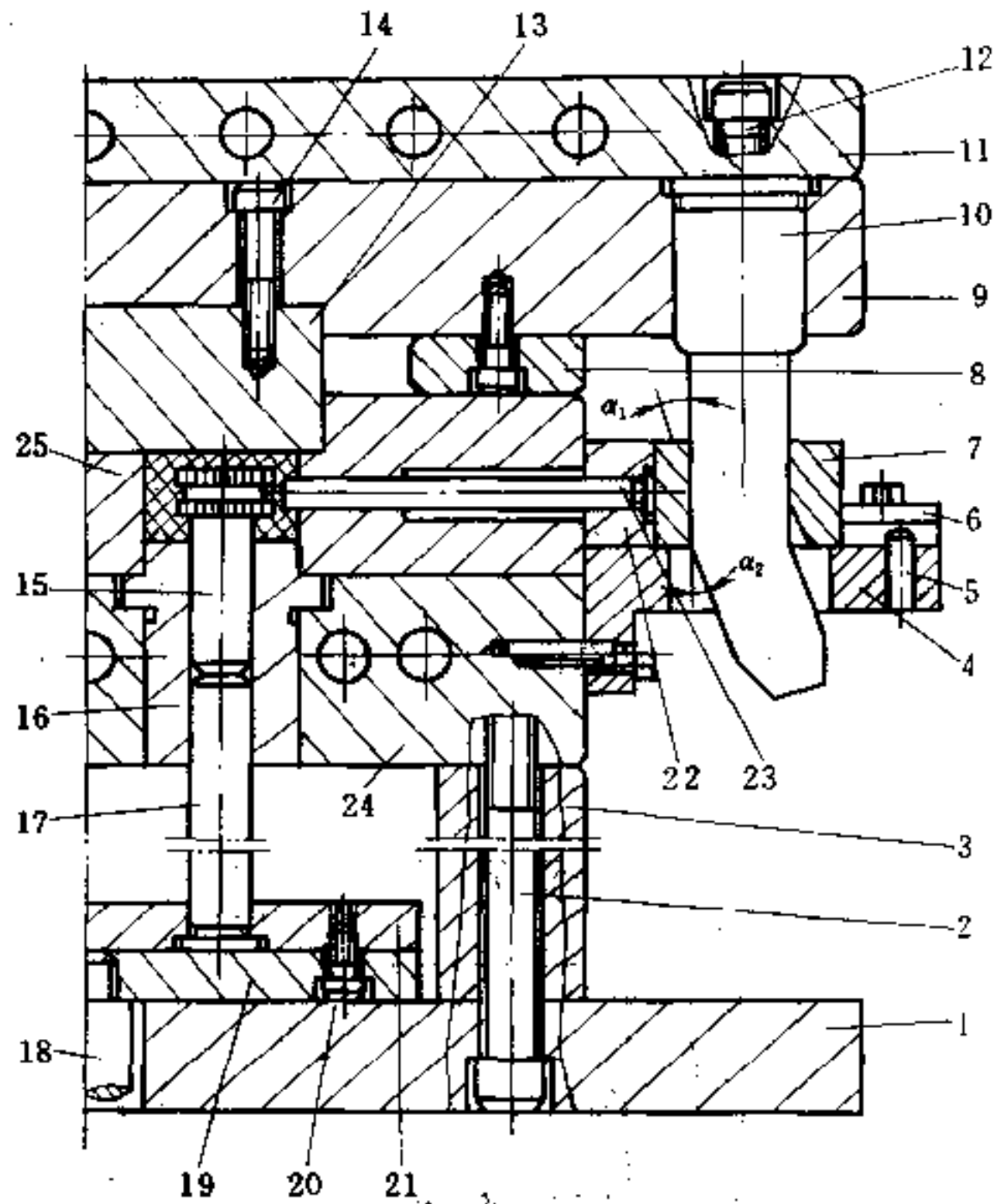


图 5.6-11 压模弯销侧抽芯

- 1—下模板；2—螺钉；3—支板；4—支架；5—柱销；6—压板；7—滑板；8—垫块；9—凸模固定板；  
10—弯销；11—上模板；12、14、20—螺钉；13—上模；15—嵌件；16—下模嵌件；17—推杆；  
18—尾轴；19—顶板；21—固定板；22—侧芯固定板；23—侧型芯；24—下热板；25—凹模。

## 3. 模外斜滑槽分型机构

如图 5.6-12 所示。模外斜滑槽分型机构是将斜面分型机构作为附件固定在压机上的结构，在压机两侧装有随上模运动的斜滑槽（或三角形斜楔）在滑槽中运动的圆销通过拉杆与滑块相连，滑块在导滑槽内运动，完成下模的侧向分型，压塑时，应先合模，使楔形模套将瓣合模卡紧，然后再开模加料进行压塑。

### 二、手动模外侧向分型抽芯

#### 1. 手动模外分型压模

如图 5.6-13 所示。模外分型瓣合模可作成两瓣或多瓣，图 5.6-13 为八块瓣合模（因塑件有八条垂直的凸筋），瓣合模之间用小导柱定位，其外形成锥形，装在圆锥形或矩形模套中，压塑成型后，利用顶出机构推出瓣合模，然后在模外手动分开凹模，取出塑件。

#### 2. 手动侧向抽芯压模

如图 5.6-14 所示。带侧螺纹成型芯 5，压塑成型后，开模前，首先把侧螺纹成型



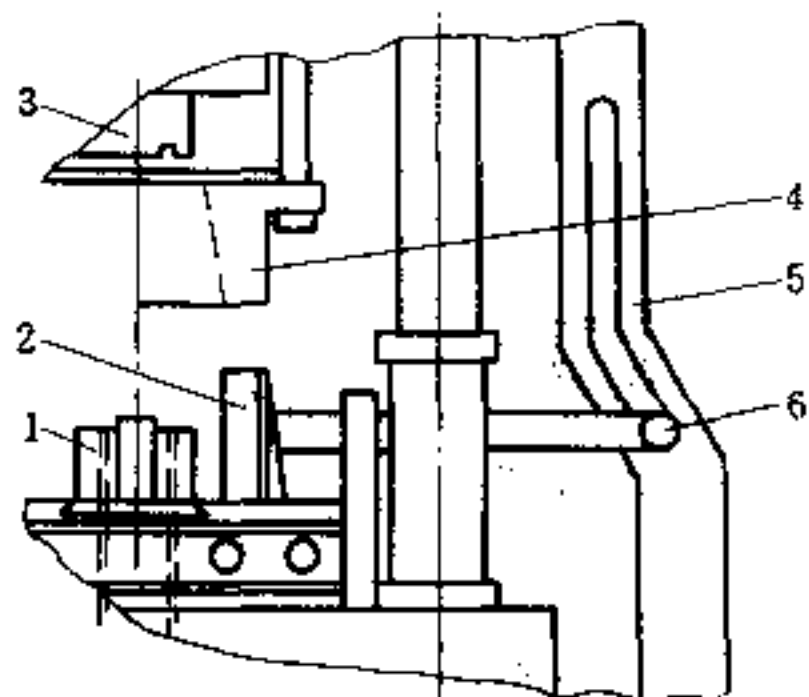


图 5.6-12 模外斜滑槽分型机构

1—可移出的下凸模；2—瓣合模；3—上凸模；  
4—模套；5—斜滑槽；6—圆销。

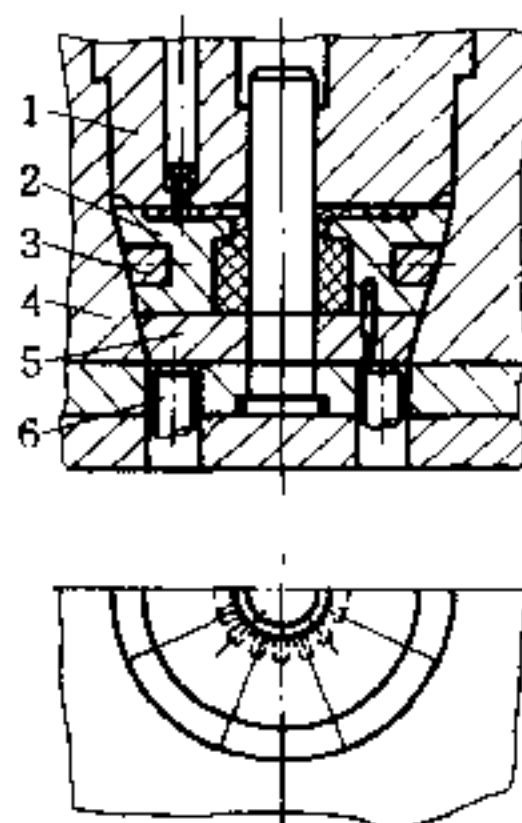


图 5.6-13 手动模外分型压模

1—凸模；2—瓣合模块（共八块）；3—半圆环；  
4—模套；5—底板；6—顶杆。

芯 5 拧出，然后推出系统的推杆 2 把塑件推出，再用搬手把螺纹型芯 14 拧下来，即得塑件。合模前，首先把螺纹型芯 14 置入上模 9 内（切忌掉下），再把侧螺纹型芯 5 拧入成型位置。

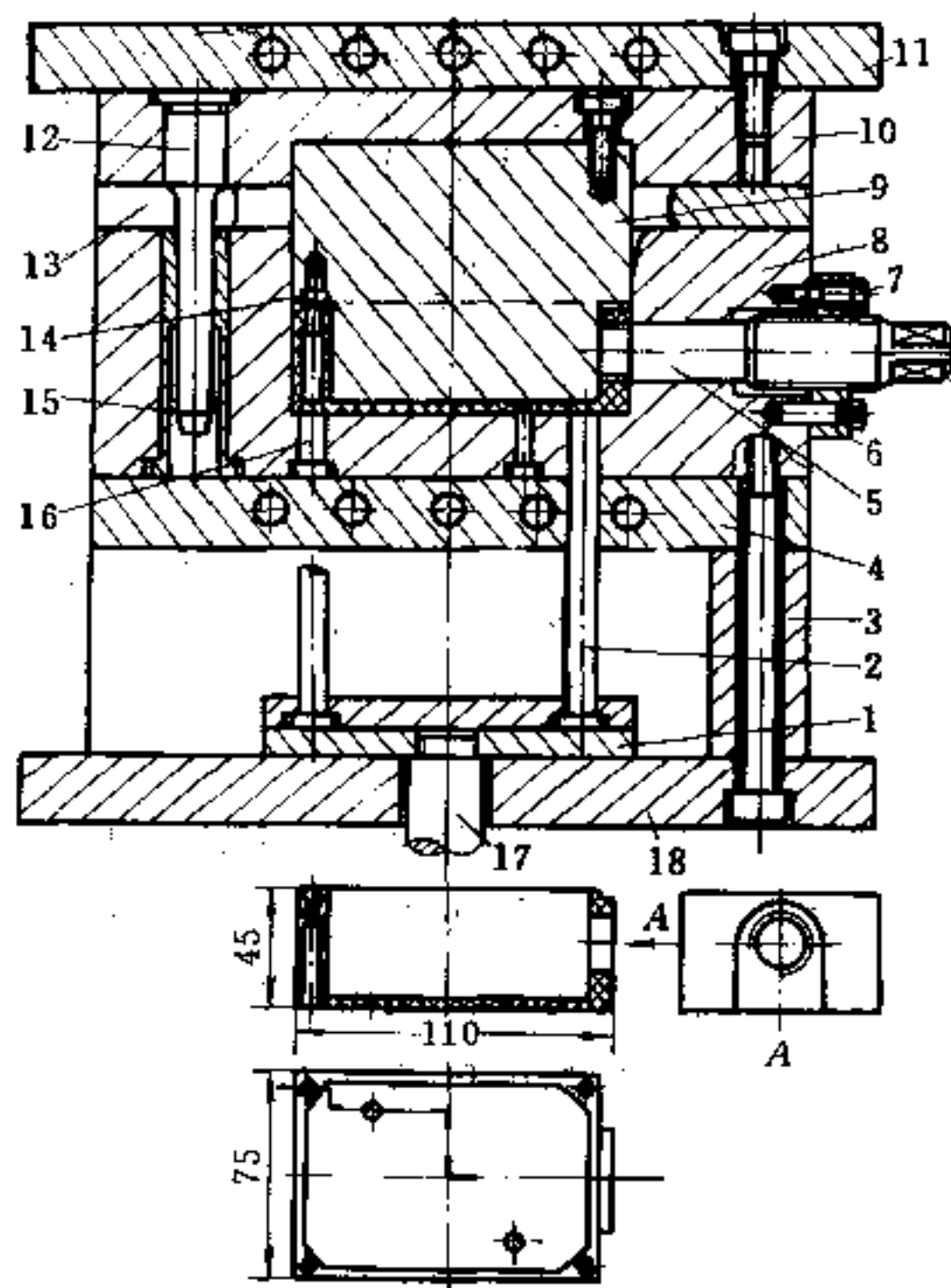


图 5.6-14 手动侧向抽芯压模

1—顶板；2—顶杆；3—支板；4—下加热板；5—侧螺纹型芯；6—侧螺纹板；7—螺钉；  
8—下模；9—上模；10—固定板；11—上加热板；12—导柱；13—承压板；14—螺纹型芯；  
15—导套；16—型芯；17—尾杆；18—下模板。

## 5.6.4 固定板、垫板、联接件螺纹和手柄

### 一、固定板

用以固定型芯（凸模）或型腔、导柱、导套或推杆等用的板。要求固定板不仅有足够强度，还应有足够刚度，以保证承受塑压成型时的受力状况，同时亦需保证固定凸模等零件的牢固和稳定。

固定板与凸模的连接常采用凸肩法固定，见图 5.5-9 (b)，其固定部分则采用 H7/n6 或 H7/m6 配合。

### 二、垫板

垫板是盖在固定板后面的平板，其作用是防止型腔或型芯（凸模）、导柱、导套或推杆等脱出固定板，并承受型腔或型芯（凸模）或推杆的压力。因此，垫板要求有较高的平行度和硬度。垫板和固定板通常采用螺钉连接。

对于大型固定式压模来讲，下模垫板（放在下模模脚上的一块垫板）尤其重要，因为它主要承受型芯压力，并和型芯固定板一起共同承受型腔内塑料熔体压力，同时还起防止型芯受压后向后退的作用。若固定部分形式不同，会造成应力情况复杂。因此，有必要考虑其刚度，以免由于垫板厚度不够引起变形，严重影响塑件的精度。其近似计算可见 4.4.4 一节。

### 三、联接件螺纹

塑料模中最常用的是螺栓和螺钉，以及与螺栓配用的螺母和辅助件垫圈等。它们大多是标准化零件，在设计时可结合具体要求，优先选用标准联接件。

对于塑料模，如果模套（或凹模）由几个用螺栓联接组成一体的部件组成时，在设计时应特别注意由于压力的作用，使零件间产生间隙的问题。塑料模中，当压力作用在凸模下面的模具零件时，如果螺钉没有足够的预紧力，则模具零件间将产生间隙，而流动状态的熔料流入间隙引起楔效应，使螺栓拉长，缝变宽，结果形成的毛边阻碍塑件取出，还可能引起不能允许的尺寸变化。设计时，一定要尽量减少或排除楔效应。同时，尚需明确，增加紧固螺栓的数目，既不能使间隙减少，也不能使间隙排除；由于有较高的预紧力值，上螺栓时应使用标明扭矩的扳手；当确定螺栓的质量时，必须考虑所施加的比压力，高比压需要高强度的螺栓；为了防止螺栓松脱，可使用弹簧垫圈。

模具零件之间联接需用的螺钉数（与开模力有关）：

$$n = \frac{P_z}{f} \quad (5.6-5)$$

其中， $n$  为需用螺钉数； $P_z$  为开模力 (kN)； $f$  为螺钉所能承受的负荷 (N)，可由设计者选定螺钉规格及其制造材料。

### 四、手柄

主要用在移动式压模及半固定式压模中需要移动的模具零件，其目的是使操作方便，因此，要求联接得可靠结实。手柄的形式和大小应根据模具的外形和尺寸大小而定。

圆形模具中所采用的手柄形式及尺寸见表 5.6-2。

表 5.6-2 圆形模具中的手柄型式及尺寸 (mm)

	(I) 型			(II) 型			
	<i>b</i>	50	60	75	50	60	75
	<i>d</i>	8		10	8		10
	<i>D</i>	80	125	160	105	125	155
		100	130	160	115	145	175
		105	140				185

圆形模具中的手柄及套管标准尺寸见表 5.6-3 及表 5.6-4。

表 5.6-3 圆形模具手柄标准尺寸 (mm)

	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>d</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub> ( <i>A</i> )	<i>R</i>	毛坯长度
	50	73	φ8	M8	φ2 <sup>+0.01</sup> <sub>0</sub>	8	118
	60	75	φ8	M8	φ2 <sup>+0.02</sup> <sub>0</sub>	8	130
	75	91	φ10	M10	φ3 <sup>+0.01</sup> <sub>0</sub>	10	158

表 5.6-4 套管标准尺寸 (mm)

	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>
	35	18	13	8	2
	45	28	13	8	2
	55	38	15	10	3

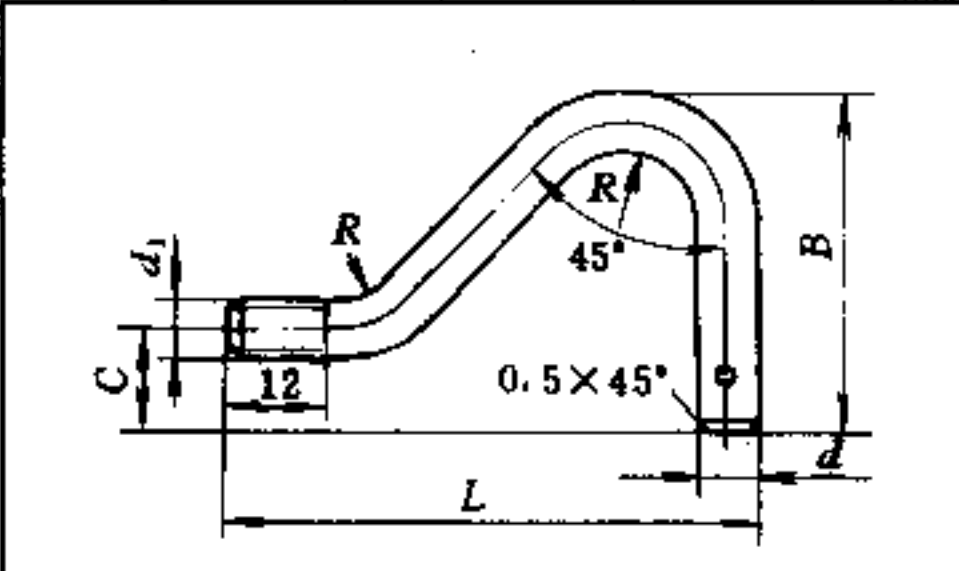
矩形及方形模具中的手柄形式及尺寸可见表 5.6-5。

表 5.6-5 矩形及方形模具中的手柄形式及尺寸 (mm)

	(I) 型			(II) 型			
	<i>C</i>	25	45	60	25	45	60
	<i>L</i>	75		93	75		63
	<i>d</i>	8		10	8		10
	<i>A</i> × <i>B</i>	110 × 90	140 × 110	170 × 130	130 × 90	140 × 110	190 × 140
		140 × 100	160 × 120	200 × 140	150 × 100	160 × 110	200 × 130
			200 × 150		160 × 120	230 × 150	
					180 × 120	240 × 160	

矩形及方形模具中手柄的标准尺寸见表 5.6-6。

表 5.6-6 矩形及方形模具手柄标准尺寸 (mm)

	B	C	L	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub> (A)	R	毛坯长度
	52	12.5	75	8	M8	$\phi 2^{+0.01}_0$	8	132
	60	22.5	75	8	M8	$\phi 2^{+0.01}_0$	8	140
	78	30	93	10	M8	$\phi 2^{+0.01}_0$	10	170

## 5.7 压模加热与冷却

### 5.7.1 压模热计算

#### 一、加热方式

热固性塑料的压缩成型，一般在较高的温度下进行，例如酚醛塑料在 180℃ 左右成型，氨基塑料在 150℃ 左右成型。虽然成型时的化学反应要放出一定的热，但其成型温度主要是靠加热模具来保证。因塑料导热性差，使模具热量由型腔壁面传到模塑料内部，并达到规定温度所需时间较长。为缩短模塑周期，塑料放入模具前先进行预热，因此，对压模进行可调温的加热乃是十分重要的。

常用的对塑料进行预热方法有高频预热、烘箱预热和红外线辐射预热等。

#### 1. 高频预热

此法是在高频电场里 (10~40MHz) 加热塑料。它不是靠外部热源加热，而是利用塑料中带有极性的高分子化合物，在高频电场中发生极化作用产生热量。随着电场方向不断改变，大分子发生频繁的振荡运动，而使分子间发生强烈地摩擦发热，造成温度上升。因此，在高频电场里，在同一时间内塑料全部颗粒几乎都可同时被均匀加热，且温度上升的迅速程度以及温度控制的精确程度均为其他方法所不及。对于大型厚壁制件宜用高频预热。

由于塑料外层的部分热量可能被电极导走，或向空中散失；加之塑料组分和密度的不均，因此高频预热各点的温度也略有差别。

#### 2. 烘箱预热

目前工厂常用的是电烘箱预热。所用设备是定型的各种规格的电烘箱，通常，温度在室温至 200℃ 的范围可以自动控制，准确到  $\pm 1^\circ\text{C}$ 。有的烘箱还装有鼓风设备，用来循环热空气，使烘箱内温度更均匀。

预热时，将模塑料直接放入电烘箱中，烘箱装设多层料架，分层铺放模塑料。烘箱应有排气口。

这种预热方法，优点是设备费用低，预热温度范围宽。缺点是预热温度不均匀。

#### 3. 红外线辐射预热

红外线辐射加热是采用 1.0~1.2 $\mu\text{m}$  的红外线灯直接照射来进行预热或干燥。红外

线装置是利用一箱顶装有红外线灯泡的设备，箱内四壁涂有白漆或镀铬，以加强辐射热，壁外有石棉板可以减少热损失。

多数塑料都无透过红外线的的能力，尤其是粉料与粒料。因此，用红外线加热塑料时，先是表面由辐射传热而得到热量，温度也随之增高，而后再通过热传导将热传至内部。

用红外线预热或干燥塑料，可用连续和间隙两种不同方式进行。连续式是将塑料放在运输带上，使其通过红外线灯的烘箱，调节运输带的速度，就可调节塑料受热时间。塑料层的厚度最好不超过 0.6cm。间隙式是将塑料装在浅盘内放入上述的烘箱内，但需定时装卸与翻动。烘箱内也可加通风设备，以带走水分和挥发物。

经过预热的塑料加入模具后，不仅可以节约塑料在模具中的加热时间，还可提高模具温度，缩短固化时间，从而使整个模塑周期缩短。

而对模具加热方式有电加热、蒸汽或过热水加热、煤气（天然气）加热等。

### (1) 电加热

这是最常用的加热方法，电加热又分电阻丝加热和工频感应加热两类，其中电阻丝加热是最广泛应用的加热方法。电阻丝可绕制成螺旋状，穿到陶瓷管内，直接安放在加热板或压缩模的加热孔中，采用这种方法应特别注意电阻丝与加热板等金属部件的绝缘。常用的一种方法是将一定功率的电阻丝密封在金属管内，电阻丝和金属管之间填充石英砂等绝缘耐热填料，作成标准加热元件——电热棒，如图 5.7-1 所示，其中 (a) 图为装配图，(b) 图为零件图。使用时，可根据模具所需的加热功率选用电热棒的型号、数量以及连接方式。

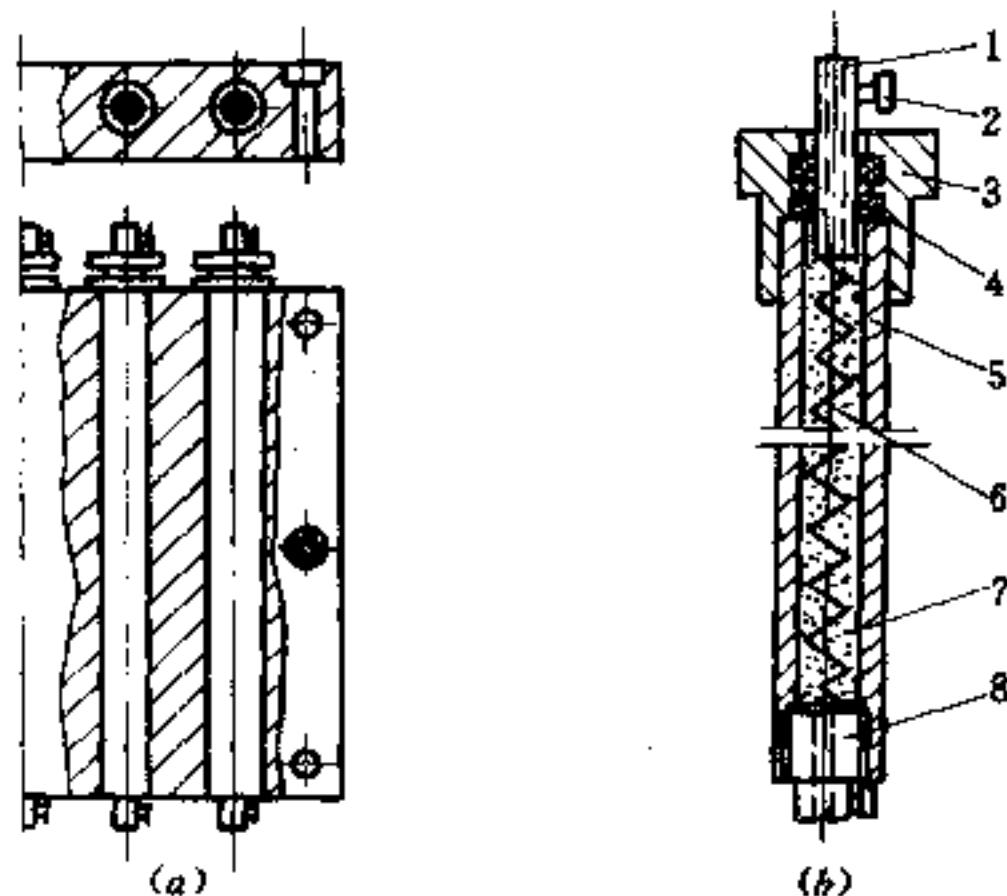


图 5.7-1 电热棒及其在加热板内的安装

1—接线柱；2—螺钉；3—帽；4—垫圈；5—外壳；6—电阻丝；7—石英砂；8—塞子。

由于电热棒内电阻丝与外界空气隔绝，不易氧化，故使用寿命长，并能方便地更换。

当压模高度较高，仅靠上下两块加热板不足以提供足够的热量，或者因为无法将电热棒安装到小型模具的内部时，可采用电热套的加热形式。电热环套安在模具型腔的外围，在电热套的金属外壳内装有用云母片绝缘的扁电阻丝，即在云母片上绕上扁电阻丝，再装夹于特制的金属外壳里。

电热套应与模具外形相吻合，最常见的有矩形和圆形两种，如图 5.7-2 所示。

矩形电热套是由四个电热片构成，用导线和螺钉连接在一起，如图 5.7-2 (a) 所示；圆形电热套如图 5.7-2 (b)、(c) 所示，也通过螺钉夹紧在模具上，这种结构常用于热塑性注射模。由于电热套有一面与大气相接触，因此热损失比电热棒大。即加热同一副模具，若单独采用电热套比用电热棒需耗费更大的功率。

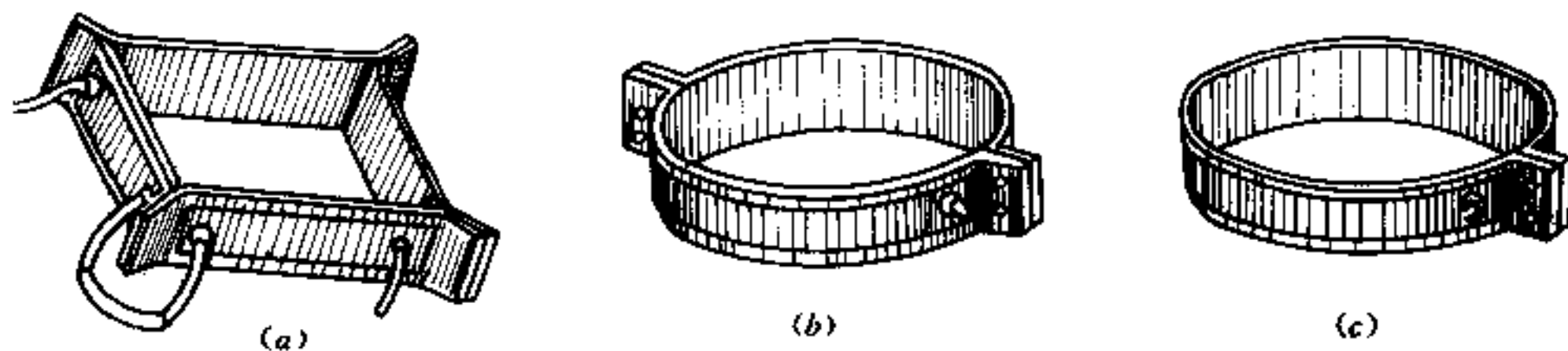


图 5.7-2 电热套

### (2) 蒸汽或过热水加热

蒸汽加热特别适用于既要加热又要冷却的压模，当需要冷却时只需关闭蒸汽，在管路中改通冷却水即可。其加热速度很快，常用于热塑性塑料的压塑成型。蒸汽加热的优点是压模温度恒定，不会过热，应根据需要的压塑温度选择不同压力的饱和蒸汽。

蒸汽加热的通道是开设在加热板上的，若为了提高压模加热效率，蒸汽通道可根据塑件形状开在型腔周围，像注射模中冷却水通道一样。但因蒸汽压力较大，通道和接头必须牢固可靠，以免泄漏。

国外常采用过热水加热压模。因用过热水强制流经压模的所有加热通道时，不会发生如蒸汽加热时蒸汽在模内易过早冷凝的现象，而且还可采用在过热水中掺入温度较低的水或冷水来进行调温，以满足不同机台不同产品对温度的不同要求。

蒸汽加热或过热水加热均处于高压之下 (0.5~1.2MPa)，才能将压模加热到 150~200℃。因此，加热系统投资大、设备比较复杂。

### (3) 煤气 (天然气) 加热

这种加热方法是在加热板内开设沟槽，槽内布置有多孔的煤气管，加热板测温点用触点式温度计进行控制。当温度过高时，通过电磁阀门使气流减少，但火焰应不致熄灭，温度降低后再开大阀门。这种加热方法虽可大大降低加热成本，但其加热温度不易控制，且煤气 (天然气) 燃烧的产物会污染车间里的空气，劳动条件差。

高温压模与压机之间必须采取有效的绝热措施，这不仅能节约能量，而且保护压机，免使压机上密封圈及轴承等传动部件由于高温而受到损坏。

## 二、压模热计算

塑压模的加热是压塑成型条件之一，它直接影响塑件的质量。因此，一般热固性塑料模都必须有加热装置。设计模具时，必须对所需的电热功率进行计算，并使电热功率控制在一定范围，以保证模具温度的适宜与稳定，并通过对所用的各个加热元件进行合理布置，使型腔表面各点得到均匀一致的温度，且不随时间改变而发生明显的波动。因为电热功率不足时，会使塑压模达不到所要求的成型温度或模具升温时间太长；电热功率过大，则不能保证稳定的成型温度和造成浪费。模具温度的高低虽然可以利用调节器来控制，但模具温度调节器只反映热电偶放置处的模具温度。若电热元件功率过大，模

具将加热得过快，以致模具各处的温度在温度调节器将电源断开以前来不及均衡，模具的某一部分就会比其他部分的温度高，从而产生局部过热，在电源断开以后，塑料模具的温度还会继续升高，这种温度不稳定现象，严重影响塑件质量和尺寸波动。

假如电热元件功率计算得正确，这种使模具表面温度不均衡现象，将减少至最低限度。由于模具的加热进行得较缓慢，各处温度在电源断开以前就已经接近均衡，在这种情况下，就只能产生不显著的局部过热或者不发生局部过热。

采用调压器可以消除局部过热或温度达不到的现象。在有调压器的情况下，应将电热功率设计得较大，且选用电热功率较大的电阻丝。即使在加热时，要求模具升温快，缩短加热时间，将调压器转至高的电压而不致烧坏的电阻丝。

影响塑料模具温度的因素很多，有塑压模的结构型式、质量多寡、散热面积大小、单位时间压塑的塑件容积及室内温度高低等。计算时，如将这些因素逐项都考虑，计算就较复杂。在实际应用中，一般多采用简化的、经过证实没有问题的一些经验数据来计算。

### 1. 加热模具所需的电功率

可按下列公式求得：

$$P = 0.24G (T_2 - T_1) \text{ (W)} \quad (5.7-1)$$

式中  $G$ ——模具的质量 (kg)；

$T_1$ ——模具未加热前温度 (°C)；

$T_2$ ——模具压塑温度 (°C)；

此公式已考虑到在 1h 内模具加热所需的热量、加热压塑料所需之热量，以及由于热传导于压机的压板和周围介质而引起的热量损失等。

### 2. 采用经验数据求加热模具所需电功率

$$P = Gw \quad (5.7-2)$$

式中  $w$ ——将单位模具质量加热到压塑温度所需之电功率 (W/kg)。

每一副模具的压塑温度不一样，散热情况也不同，因而  $w$  数值也不一样。下面介绍几个经验数据，供设计时参考。

#### (1) 用电热棒加热

小型模具 (40kg 以下)  $w = 35 \text{ (W/kg)}$

中型模具 (40~100kg)  $w = 30 \text{ (W/kg)}$

大型模具 (100kg 以上)  $w = 20 \sim 25 \text{ (W/kg)}$

#### (2) 用电热圈加热

小型模具  $w = 40 \text{ (W/kg)}$

大型模具  $w = 60 \text{ (W/kg)}$

对于固定式压模，其电热功率应按凸模、凹模分别进行计算。若采用并联，对每根加热棒的功率  $w$  计算为

$$w = \frac{P}{n} \quad (5.7-3)$$

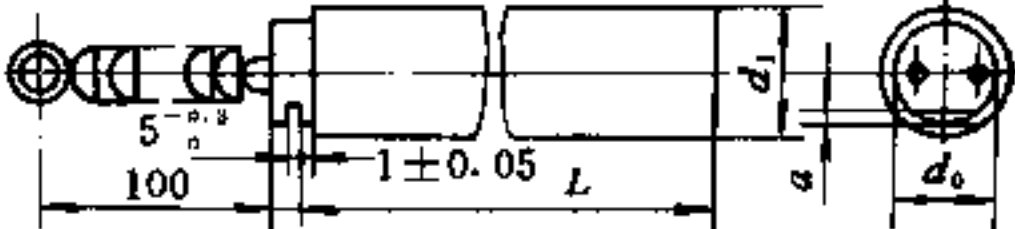
其中， $n$  为电热棒的数量 (串联时  $n = 1$ )。

也可先决定电热棒功率再计算电热棒根数。



在选择电热棒时,应使电热棒的尺寸(长度和直径)和压机加热板尺寸或模具安装加热元件的空间相符合。有时需经过反复运算才能使加热元件功率、数量、尺寸都符合要求。电热棒尺寸与功率见表 5.7-1。

表 5.7-1 电热棒尺寸与功率

								
名义直径 $d_1$	13	16	18	20	25	32	40	50
允许误差	$\pm 0.1$		$\pm 0.12$			$\pm 0.2$		$\pm 0.3$
盖板 $d_2 \approx$	8	11.5	13.5	14.5	18	26	34	44
槽深 $a$	1.5	2	3			5		
长度 $L$	功 率/W							
$60_{-3}^0$	60	80	90	100	120			
$80_{-3}^0$	80	100	110	125	160			
$100_{-3}^0$	100	125	140	160	200	250		
$125_{-4}^0$	125	160	175	200	250	320		
$160_{-4}^0$	160	200	225	250	320	400	500	
$200_{-4}^0$	200	250	280	320	400	500	600	800
$250_{-5}^0$	250	320	350	400	500	600	800	1000
$300_{-5}^0$	300	375	420	480	600	750	1000	1250
$400_{-5}^0$		500	550	630	800	1000	1250	1600
$500_{-5}^0$			700	800	1000	1250	1600	2000
$650_{-6}^0$				900	1250	1600	2000	2500
$800_{-3}^0$					1600	2000	2500	3200
$1000_{-10}^0$					2000	2500	3200	4000
$1200_{-10}^0$						3000	3800	4750

当电热棒、电热圈或电热功率确定之后,若要自制这些加热元件,可按以下步骤确定电热丝的直径和总长。通过每根电热棒或每组电热丝的电流为

$$I = \frac{P_a}{E} \quad (5.7-4)$$

式中  $I$ ——每组电热丝或电热棒的电流 (A);

$P_a$ ——每根电热棒或每组电热丝的电功率 (W);

$E$ ——每组电热元件所用电源电压 (选 24~60V)。

电热棒的电阻 
$$R = \frac{E^2}{P_a} = \frac{E}{I} \quad (\Omega) \quad (5.7-5)$$

而电阻丝的断面积则可按下式计算

$$S = \frac{I}{\sigma} \quad (\text{mm}^2) \quad (5.7-6)$$

式中  $\sigma$ ——电流密度 (A/mm<sup>2</sup>)。

加热器电流密度的推荐值可见表 5.7-2。

表 5.7-2 加热器电流密度的推荐值

电热棒电流/A	小于 10	10~20	20~30	30~60	60~130	130~300
电流密度/A·mm <sup>-2</sup>	不小于 7	7~6	6~5	5~4	4~3	3~2

电阻丝的长度  $L$  可按下式计算：

$$L = \frac{RS}{\rho} \quad (5.7-7)$$

其中,  $L$  为电阻丝长度 (m);  $R$  为电阻丝电阻 ( $\Omega$ );  $S$  为电阻丝断面积 ( $\text{mm}^2$ );  $\rho$  为电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。

镍铬丝的电阻率为  $1.1\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , 高电阻合金丝 (铬铝铁) 的电阻率为  $1.2\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。镍铬电阻丝的选用见表 5.7-3 和表 5.7-4。

表 5.7-3 镍铬电阻丝的选用

直径 $d/\text{mm}$	13	16	18	20	25	32	40	50
允许误差	$\pm 0.1$		$\pm 0.12$			$\pm 0.2$		$\pm 0.3$
长度 $L/\text{mm}$	功 率 /W							
60 <sup>0</sup> <sub>-3</sub>	60	80	90	100	120			
80 <sup>0</sup> <sub>-3</sub>	80	100	110	125	160			
100 <sup>0</sup> <sub>-3</sub>	100	125	140	160	200	250		
125 <sup>0</sup> <sub>-4</sub>	125	160	175	200	250	320		
160 <sup>0</sup> <sub>-4</sub>	160	200	225	250	320	400	500	
200 <sup>0</sup> <sub>-4</sub>	200	250	280	320	400	500	600	
250 <sup>0</sup> <sub>-5</sub>	250	320	350	400	500	600	800	1000
300 <sup>0</sup> <sub>-5</sub>	300	375	420	480	600	750	1000	1250
400 <sup>0</sup> <sub>-5</sub>		500	550	630	800	1000	1250	1600
500 <sup>0</sup> <sub>-6</sub>			700	800	1000	1250	1600	2000
650 <sup>0</sup> <sub>-8</sub>				900	1250	1600	2000	2500
800 <sup>0</sup> <sub>-8</sub>					1600	2000	2500	3200
1000 <sup>0</sup> <sub>-10</sub>					2000	2500	3200	4000
1200 <sup>0</sup> <sub>-10</sub>						3000	3800	4750

表 5.7-4 电阻丝规格

圆形镍铬电阻丝 直径/mm	断面积/ $\text{mm}^2$	最大允许电流/A	加热到 400℃ 时每米 电阻丝电阻/ $\Omega$	每米电阻丝质量/g
0.5	0.196	4.2	6	1.61
0.6	0.283	5.5	4	2.31
0.8	0.503	8.2	2.25	4.12
1.0	0.785	11	1.5	6.44
1.2	1.131	14	1	9.27
1.5	1.767	18.5	0.61	14.5
1.8	2.545	23	0.45	20.9
2	3.142	25	0.36	25.8
2.2	3.801	28	0.29	31.2

### 5.7.2 压模冷却

当用压缩模塑成型法成型热塑性塑料制品时，模具需交替地加热、冷却。因此，在模具型腔周围需开设温度控制通道，即在塑料塑化阶段通入蒸汽进行加热，使塑料熔融并加压而充满型腔；在塑料定型阶段则关闭蒸汽而通入冷水进行冷却，达一定温度时，则可取出塑件。

对于热塑性塑料的冷却，基本上就是将先期得到的热量全部转移传递出去，也就是从平衡角度来看待塑料加工的热含量是最简单的方法。一方面热量被不断地提供和产生，另一方面又在不断地转移传递出去，所以当二者相等时就形成了一种热量平衡。

塑料的热含量（或焓）由潜热和显热两部分组成。潜热（除无定型聚合物外）是指材料由于晶相的改变而获得的热量；显热则是由于温度改变而引起的。

热传递计算的基本公式为

$$Q = G_m \times C_p \times dT \quad (\text{kJ/h}) \quad (5.7-8)$$

式中  $G_m$ ——每单位时间充入模具的塑料质量 (kg/h)；

$C_p$ ——塑料比热容 (kJ/kg·℃)；

$dT$ ——塑料成型温度与塑件脱模温度差 (℃)。

也就是塑料经历一个温度变化时，需要从介质吸入或释放出的热量要求。根据此要求，则可进行对温度控制通道的设计，具体设计可参照本书 4.9 节。

最好的办法则是在计算机上模拟多种热传递的情形，然后再去确定最佳的冷却参数，如水道长度、直径大小以及冷却介质的特性（即流速、温度和压力）。其目的是减少循环时间，从而提高设备的生产效率。

当然，有时也可以通过减少模具内部的热传递阻力，并在此基础上对冷却系统进行适当调节来提高热传递效率。

通常，采用水作为冷却介质，因水热容量大、给热系数大、成本低、无毒，使用方便，但由于水垢的产生，将会使冷却效果降低。

### 5.7.3 压模温度控制

如前所述，热固性塑料的模塑成型，是将塑料加入已加热至规定温度的模具内，塑料受热熔融转变为粘流态，在压机压力的作用下，粘流态塑料进行流动，并充满模具型腔各处。同时，在受热情况下发生化学交联反应，当出现网状结构时，树脂处于凝胶状态。再继续受热，交联密度大大增加，树脂变为不溶不熔的体型结构的硬固状态，这一反应为不可逆的。也就是说，热固性塑料的模塑成型可分为粘流段、凝胶段和硬固段三个阶段。

塑料在粘流与凝胶两阶段时，处于流动、软化和半软化的可塑状态，此状态直接受温度影响，且必须有一定时间以便充模。而硬固阶段是最后定型阶段，即随着加热时间的增长，粘度增加，树脂由网状结构至最后变成体型结构，故成型过程需保压一定时间。要求硬固阶段长一些，主要是使其交联程度更均匀，以提高塑件的物理、机械性能。

为了得到合格产品，必须规定一定的模压温度。模压温度的高低或是否均匀是影响

产品质量的主要因素。因为温度直接影响着塑料的充模成型及水分和挥发物的排除，从而也影响着产品质量（外观、机械性能、电性能、热性能等）。

模压温度过低时，塑料熔化后粘度较高，流动性不好，固化时交联反应进行得不够充分，因此，塑件机械强度不高，介电性能不好，脱模比较困难（粘模、顶出时易变形以至破坏）。其表面暗淡无光，且易产生肿胀、起泡等缺陷，模压周期还长。

模压温度过高时，由于树脂反应速度快、塑料的流动性降低快，易于早期局部固化，甚至在未充满模腔时已经固化。特别是对薄壁、形状复杂的塑件，容易造成缺料而成废品。且温度过高时，不仅塑件表面会有失色斑点或花纹等缺陷，甚至由于外层受高温作用很快固化，而内层开始固化时，水分及低分子挥发物难于排出，造成塑件很大内压力。在启模时，易使塑件产生肿胀、气泡、翘曲变形甚至开裂等缺陷，同时，因水分及低分子挥发物的存在而造成电性能下降。

各种塑料由于树脂性能不同，其模塑温度各异。但都有一最合适的模塑温度，在此温度下，塑件的机械性能和电性能达到最佳值。

由此可见，模塑温度必须严格控制。一般控制和测量温度的方法，有自动式温度调节器、水银温度计、热电偶毫伏温度计等。

压缩模塑成型时，由于塑料仅靠模壁与塑料接触加热（热传导）且接触面有限，因此加热不够均匀；成型过程中不同料层上温度不同，固化反应产生不均匀的收缩，易于产生内应力及内部缺陷，对厚壁及壁厚相差悬殊的塑件影响更大，这样导致产品质量下降，废品率提高，且需较长的固化时间。

因此，在模塑成型时，通常对塑料进行预热，经过预热后的塑料内层温度均匀，模压时塑料流动性较好。故模压温度亦可比不预热的高些，这样，既能保证塑料质量，亦可缩短成型周期。例如线型酚醛压塑粉未经预热的模压温度可取为  $165 \pm 5^\circ\text{C}$ ，经过预热的预压物可以升高到  $185 \pm 5^\circ\text{C}$ 。因此，在设计模具加热装置及考虑热平衡时，均应考虑这一因素。

对热塑性塑料用压模成型时，则应考虑其塑化所需吸入的热量，以及定型时所需转移传递的热量。只有当脱模温度低于定型温度时，才能将塑件从模具中取出，以防止发生变形。

## 5.8 泡沫塑料压模设计

### 5.8.1 泡沫塑料模压特性

对PVC、PS、EPS、聚烯烃等材料的发泡成型，模压法因其投资少，见效快，成型工艺也较简单，既可进行低密度结构泡沫塑料的成型，又可进行高发泡倍率泡沫塑料的成型，还能实现大面积、厚壁以及多层泡沫塑料的生产，是常用的成型方法之一。模压法成型泡沫塑料，通常仅限于用化学法生产闭孔的泡沫塑料。根据发泡完成的方式可分为一步法和两步法。

#### 一、模压一步法

所谓模压一步法是指泡沫塑料在模压时，其发泡过程是一次性完成的。对不同材料

其加工特性不尽相同。

聚乙烯发泡，通常使用的发泡剂为偶氮二甲酰胺，交联剂为过氧化二异丙苯等过氧化物。通常，高密度聚乙烯常不单独使用，须加入中低密度聚乙烯，以改善其柔软性。而高发泡时常以低密度聚乙烯为原料。如图 5.8-1 所示，按配方要求将物料混合后，预制成片、粒或板，或者制成模压前的坯。将坯放入模具中，在压机上进行加压加热，交联剂先分解使聚乙烯树脂交联。当达到一定交联度后，使模温升高至发泡剂完全分解时，解除压力，熔融物料迅速膨胀，弹出模具即完成发泡。模具所承受的压力通常为 4.9~20.6MPa。

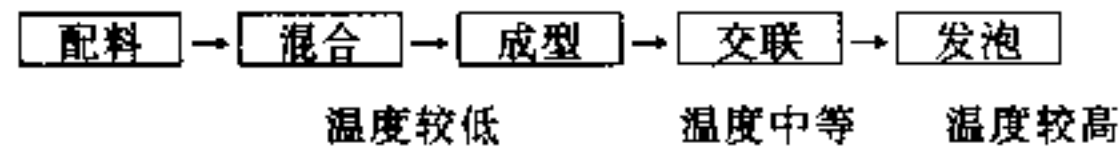


图 5.8-1 聚乙烯模压一步法工艺流程

聚苯乙烯模压一步法，采用乳液聚合粉状聚苯乙烯树脂，如图 5.8-2 所示。在球磨机上与发泡剂混合后，将粉料先压成较为密实的块料，再把这种块料利用型坯模具在压机上加热加压。当模具温度升至 145℃ 后，在约 19.6MPa 的压力下保持一段时间，然后冷却即可制得型坯。混合后的物料比容约 0.6g/cm<sup>3</sup>，型坯比容约 0.90~1.0g/cm<sup>3</sup>，型坯厚度一般不超过 25mm。将压制好的型坯放入发泡成型模具中，用蒸汽加热约 60~90min，加热温度约 100℃，加热完毕冷却脱模即完成发泡。

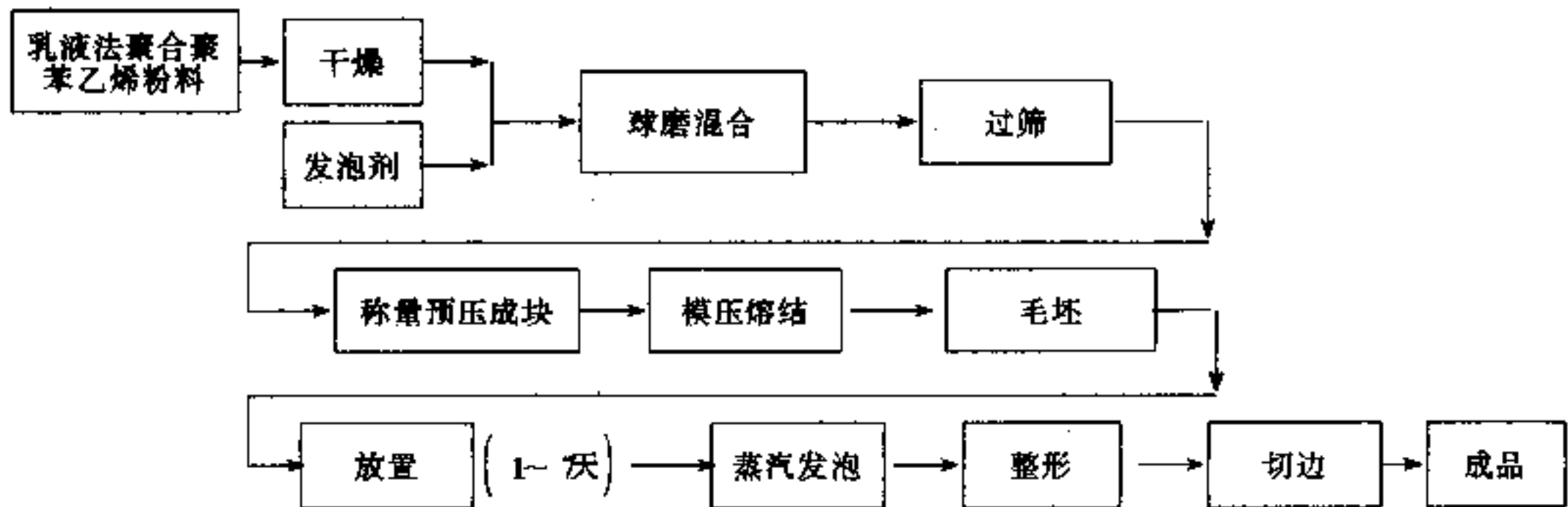


图 5.8-2 聚苯乙烯模压一步法工艺流程

图 5.8-3 为聚氯乙烯泡沫塑料鞋的生产流程。聚氯乙烯泡沫塑料模压成型时，先将物料捏合后塑炼成片，按模腔容量称取片料放入模具，通过压机加热加压进行塑化发泡。塑化温度为 160~165℃，蒸汽压力为 0.87~0.78MPa，塑化时间为 30~45min。发泡时要求压机的压力能承受模腔内 4.9MPa 的膨胀力。发泡后经过冷却定型后即可出模，出模后的片料常需进行热处理。

## 二、模压两步法

所谓模压两步法是指泡沫塑料的发泡过程分两步完成。

对聚乙烯泡沫塑料，其模压两步法与一步法基本相同。只是在交联完毕后先使一部分发泡剂分解，物料实现部分发泡后使其冷却，或趁热在常压下进行二次发泡。由于两步法可使物料膨胀速率大大升高，发泡倍率可达 30 倍，能制得厚度达 100mm 的板材。

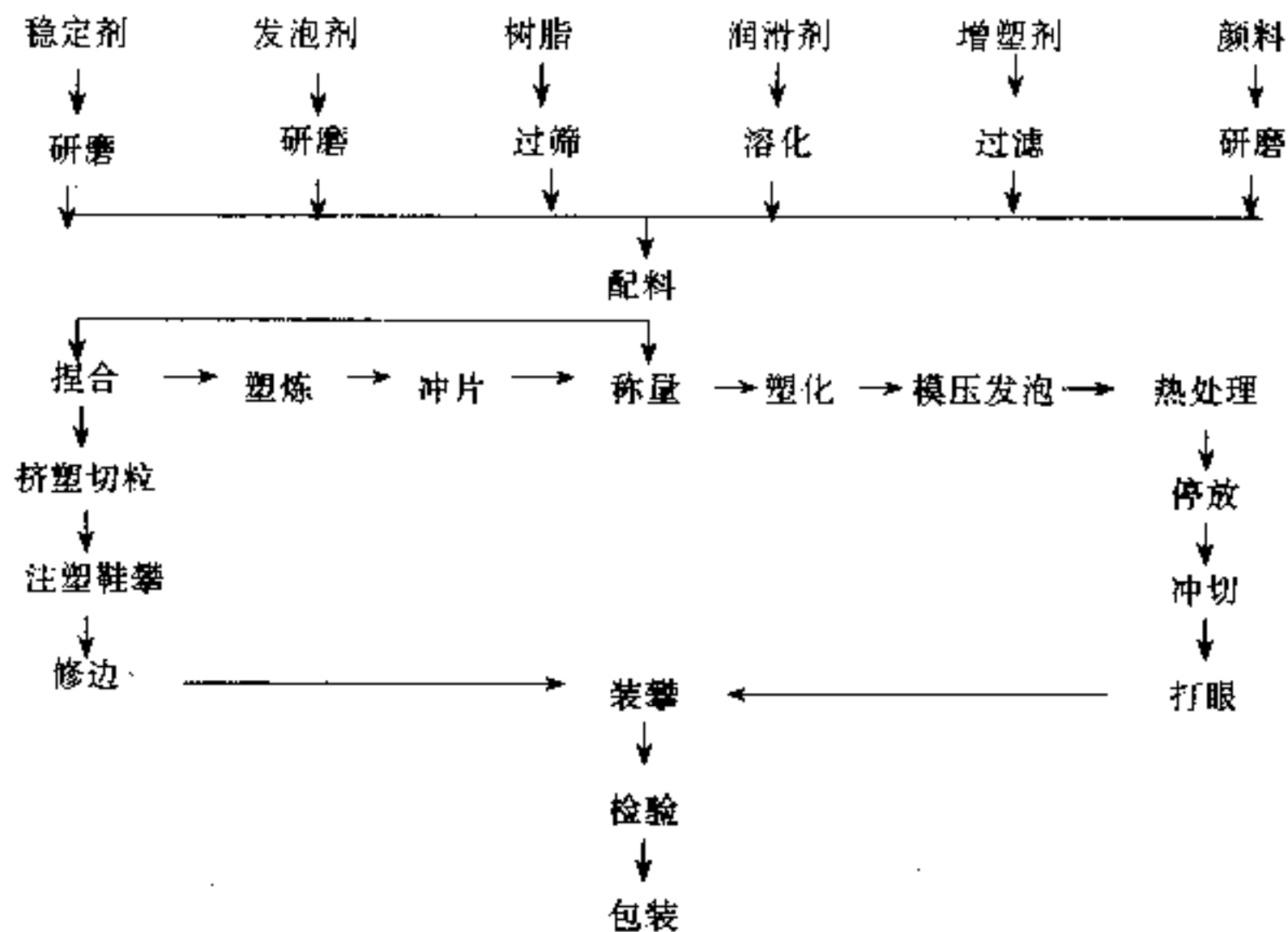


图 5.8-3 聚氯乙烯泡沫塑料鞋生产流程

聚乙烯模压两步法又可分为常规、特殊和复杂形状等几种模压法，以及可发性聚乙烯珠粒模压法。

模压两步法可用于可发性聚苯乙烯泡沫塑料的成型。包括珠粒制造、预发泡、熟化和模压成型几个阶段。将低沸点碳氢化合物或卤代烃等，通过加温加压，渗透到悬浮聚合的聚苯乙烯珠粒中，珠粒发生溶胀后冷却，即成为含有发泡剂的可发性聚苯乙烯珠粒。这种珠粒加热到  $80^{\circ}\text{C}$  以上时，发泡剂汽化压力导致珠粒膨胀，并形成互不连通的泡孔。在该过程中，要使蒸汽透入泡孔的速度大于发泡剂从泡孔中逸出的速度，以使发泡剂从泡孔中来不及逸出，致使聚合物牵伸呈橡胶状态，其强度足以平衡内部压力，从而使珠粒完成预发泡。熟化处理，常是将预发泡后的珠粒料放在室温下  $8\sim 10\text{h}$  即可。这样，泡孔内的发泡剂及水蒸汽经空气冷却为液态的同时，又吸收空气渗入泡孔内部使泡孔内的压力与外界平衡，使预发泡后的珠粒具有弹性。模压成型是将熟化后的珠粒放入模具中，通过蒸汽加热再度膨胀并进而胀满珠粒间所有间隙而结成整体。通过冷却定型后即得到与模具形状相同的泡沫塑料制品。

可发性聚苯乙烯泡沫塑料的模压发泡成型，包括蒸箱发泡和压机发泡两种。蒸箱发泡是将填满发泡珠粒的模具放在蒸箱内通蒸汽加热进行发泡；而压机发泡则是将模具放在压机上，使加热蒸汽通过上下汽箱进入模具，使模腔内发泡珠粒膨胀粘结成一体的一种模压成型。

### 5.8.2 泡沫塑料压模设计特点

根据发泡倍率和成型工艺等要求，在泡沫塑料压模具体设计时各有所不同，但对模具结构及性能的要求有一些共同特点。

模具在成型过程中，应有良好的气密性，要求模具上所有活动或固定的配合面要紧密贴合，不应有漏料或气体大量逸出现象。为达到此目的，通常用硬铅作垫片（图 5.8-4），或用耐蒸汽的橡胶圈（图 5.8-5）进行密封，有的采用较紧密的活塞式配合

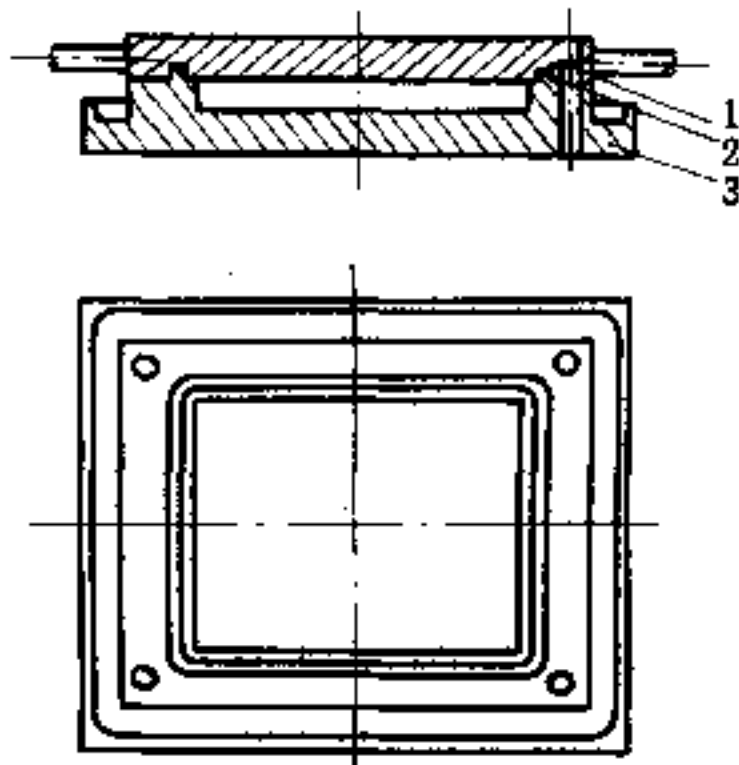


图 5.8-4 软聚氯乙烯泡沫平板用压模  
1—上模；2—硬铅；3—下模。

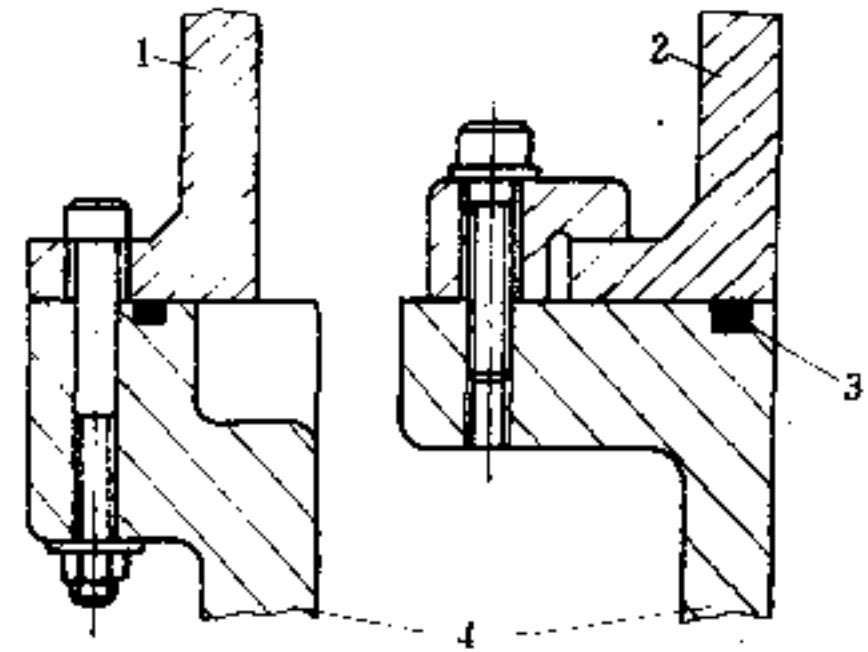


图 5.8-5 EPS 模压与蒸汽夹套的联接  
1—凹模；2—凸模；3—橡胶圈；4—夹套。

(图 5.8-6)。

模具应有良好的加热和冷却功能。由于在每一模塑周期内，都要经过加热和冷却过程。为此，在模具结构设计时，模腔壁厚范围要求能快速且均匀地进行加热和冷却，尽量避免过厚截面或难以快速加热和冷却的截面，蒸汽管路的排列最好采用双进双出（或多进多出）的形式，以降低出入口温差，如图 5.8-7 和图 5.8-8 所示。图 5.8-9 为模具通气槽、孔示意图，通气槽宽度常为 0.1~0.4mm，通气孔直径常为 0.5~1.5mm。此外，模框保温有利于保证模具内受热均匀。

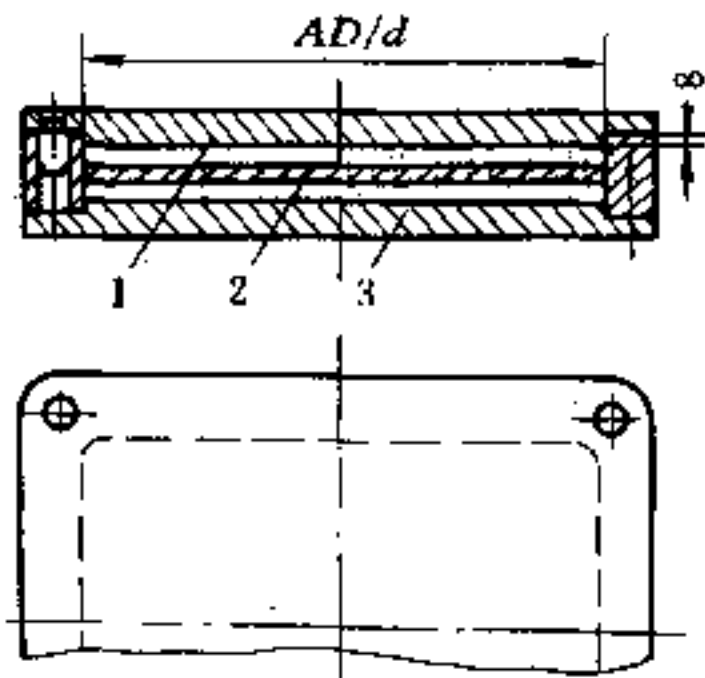


图 5.8-6 软聚氯乙烯泡沫拖鞋片压模  
1—上模；2—隔板；3—下模。

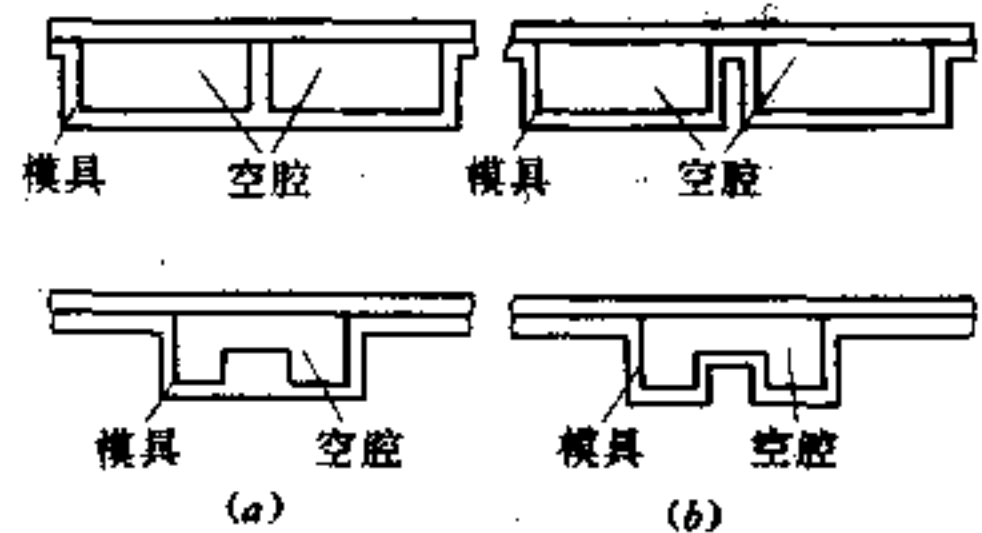


图 5.8-7 泡沫塑料压模结构  
(a) 不正确；(b) 正确。

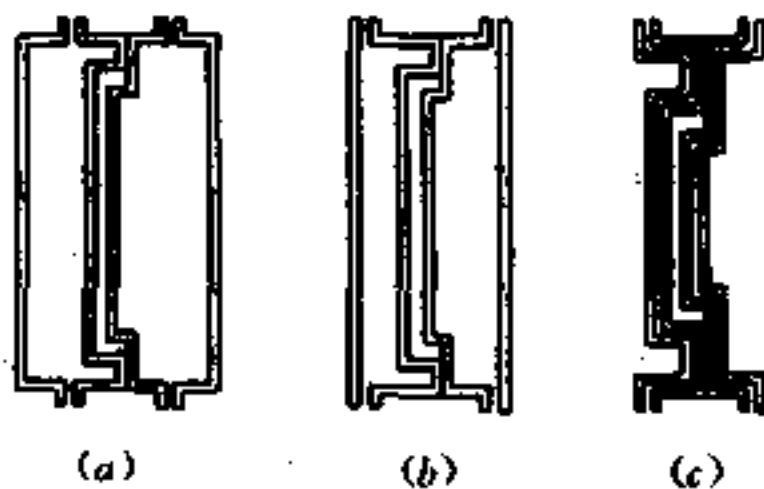


图 5.8-8 蒸汽加热模具  
(a) 普通型；(b) 盖板型；(c) 轮廓型。

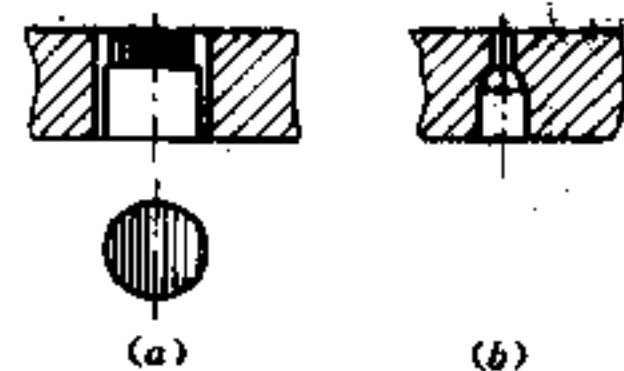


图 5.8-9 模具通气槽孔示意图  
(a) 通气槽；(b) 孔。



模具材料大部分用铝，这主要是由于铝制模具具有成本低、易于铸造、导热性优良、重量轻、适用于水和蒸汽的使用环境等优点。同时，试模时铝模容易修整。对于大型模具，青铜、铍铜以及不锈钢已得到应用，但使用范围远不及铝模广泛。

### 5.8.3 泡沫塑料压模结构实例

#### 一、聚乙烯泡沫塑料压模

图 5.8-10 为聚乙烯泡沫塑料交联模压型坯模具。交联时模具加热温度为  $160^{\circ}\text{C}$ ，压力为  $0.6\text{MPa}$ ，经过  $12\sim 15\text{min}$ ，再行冷却并取出已呈硬块状的型坯。

图 5.8-11 为聚乙烯泡沫塑料发泡模压成型模具。该模具四周具有小孔，以便发泡时内外气压得到平衡。加热  $8\sim 10\text{min}$  后即可使已交联的型坯发泡成型。

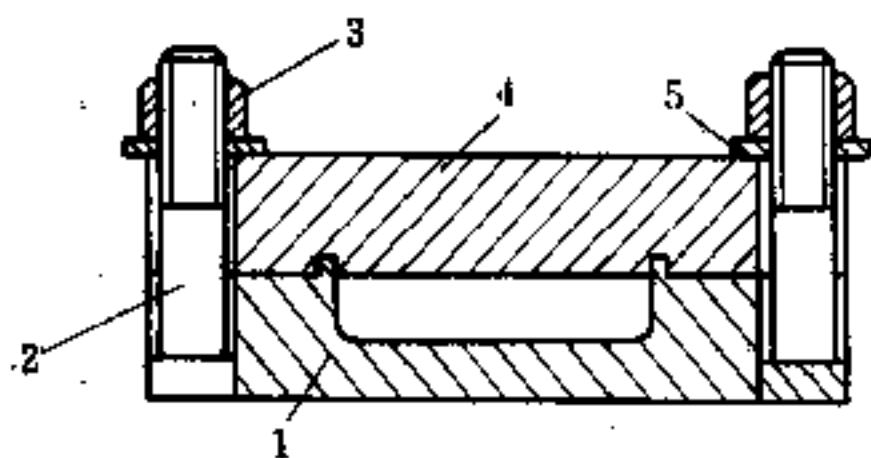


图 5.8-10 聚乙烯泡沫塑料交联模压型坯模具

1—凹模；2—螺栓；3—螺母；  
4—上模；5—垫圈

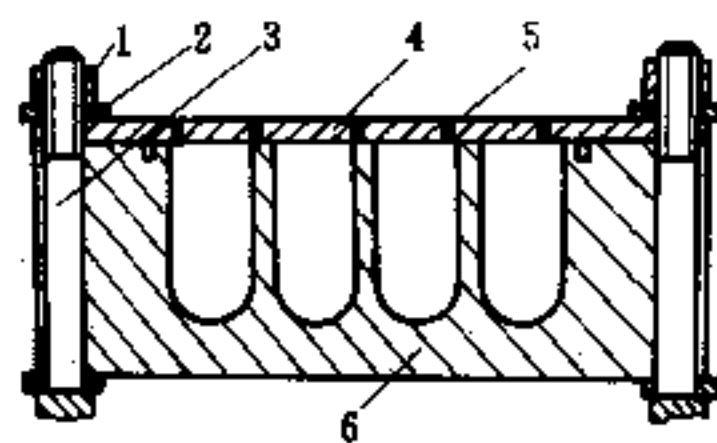


图 5.8-11 聚乙烯泡沫塑料模压成型模具

1—螺母；2—垫圈；3—螺栓；  
4—模盖；5—气孔；6—底模。

#### 二、聚氯乙烯泡沫塑料压模

图 5.8-4 为软聚氯乙烯泡沫平板用压模。上下模采用硬铅垫片密封，下模四周有一伸出的环形凹槽可盛放溢料。图 5.8-6 为软聚氯乙烯泡沫拖鞋片压模，每模压制两片坯料，两片之间用刻有底花的板隔开。这两种模具均为移动式，依靠上下加热板进行加热。

图 5.8-12 为硬聚氯乙烯泡沫塑料平板压模，为固定式，上下模间采用活塞式配合，并用硬铅密封垫密封，制件靠顶板顶出。

#### 三、乳液法聚苯乙烯泡沫塑料压模

乳液法聚苯乙烯泡沫塑料压模结构与聚氯乙烯泡沫塑料压模结构基本相同。将型坯放入压模中，采用蒸汽加热，加热温度约  $100^{\circ}\text{C}$ ，加热时间约  $60\sim 90\text{min}$ ，冷却后用脱件板顶出制件，如图 5.8-13 所示。

#### 四、可发性聚苯乙烯泡沫塑料压模

蒸箱发泡所用模具一般为手动式结构。在上模、下模和模套上，以及在成型多个制件时制件间所用的隔板上，均设计有通气用小孔。这种通气孔的孔间距一般在  $15\sim 25\text{mm}$  之间，孔的大小为  $\phi 0.5\sim 1.5\text{mm}$ ，甚至更大一些。但过大时有可能出现堵塞，并影响制件表面质量。模具的锁紧，采用带有铰链的螺栓通过可方便操作的螺母来进行。物料装入模具后，放进蒸箱通过蒸气进行加热，所用的蒸汽压力和加热时间取决于制件的尺寸大小和厚度。当模具中的物料受热膨胀、并熔结好后，将模具再从蒸箱中取出进行冷却，开模后便可得到可发性聚苯乙烯泡沫塑料制件。手动蒸箱模具主要用来成

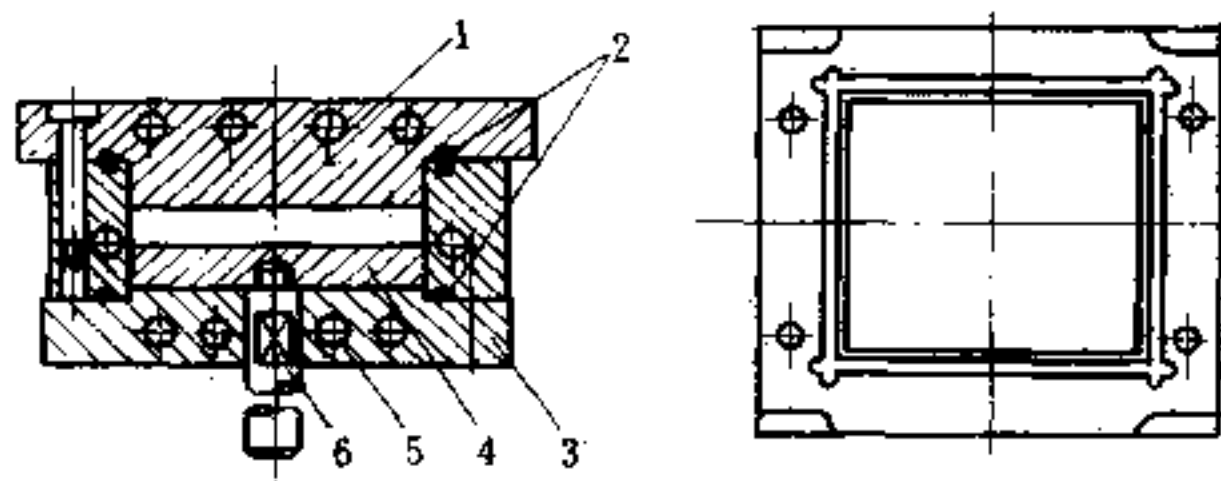


图 5.8-12 硬聚氨酯泡沫塑料平板压模

1—上模；2—密封圈；3—下加热板；  
4—下模；5—加热孔；6—尾轴

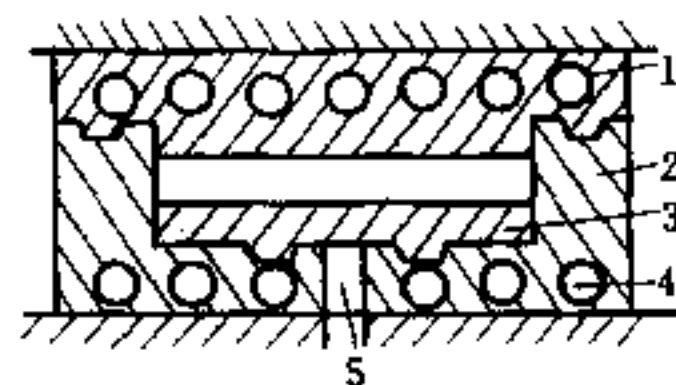


图 5.8-13 乳液法聚苯乙炔泡沫塑料压模

1—上模；2—下模；3—脱件板；  
4—蒸汽加热管；5—脱模顶杆孔。

型中小型制件，如图 5.8-14 所示为板材手动蒸箱模具。一次可成型出三块板材，模套由件 5 和件 8 组成并通过件 12 连接。图 5.8-15 也是板材手动蒸箱模具，一次成型两块板材，模套由四个部件组合而成。图 5.8-16 为摩托车骑手头盔蒸箱模具，此模具采用空气输送物料，物料装好后，堵上料塞。图 5.8-17～图 5.8-21 均为手动蒸箱模实际应用的例图。

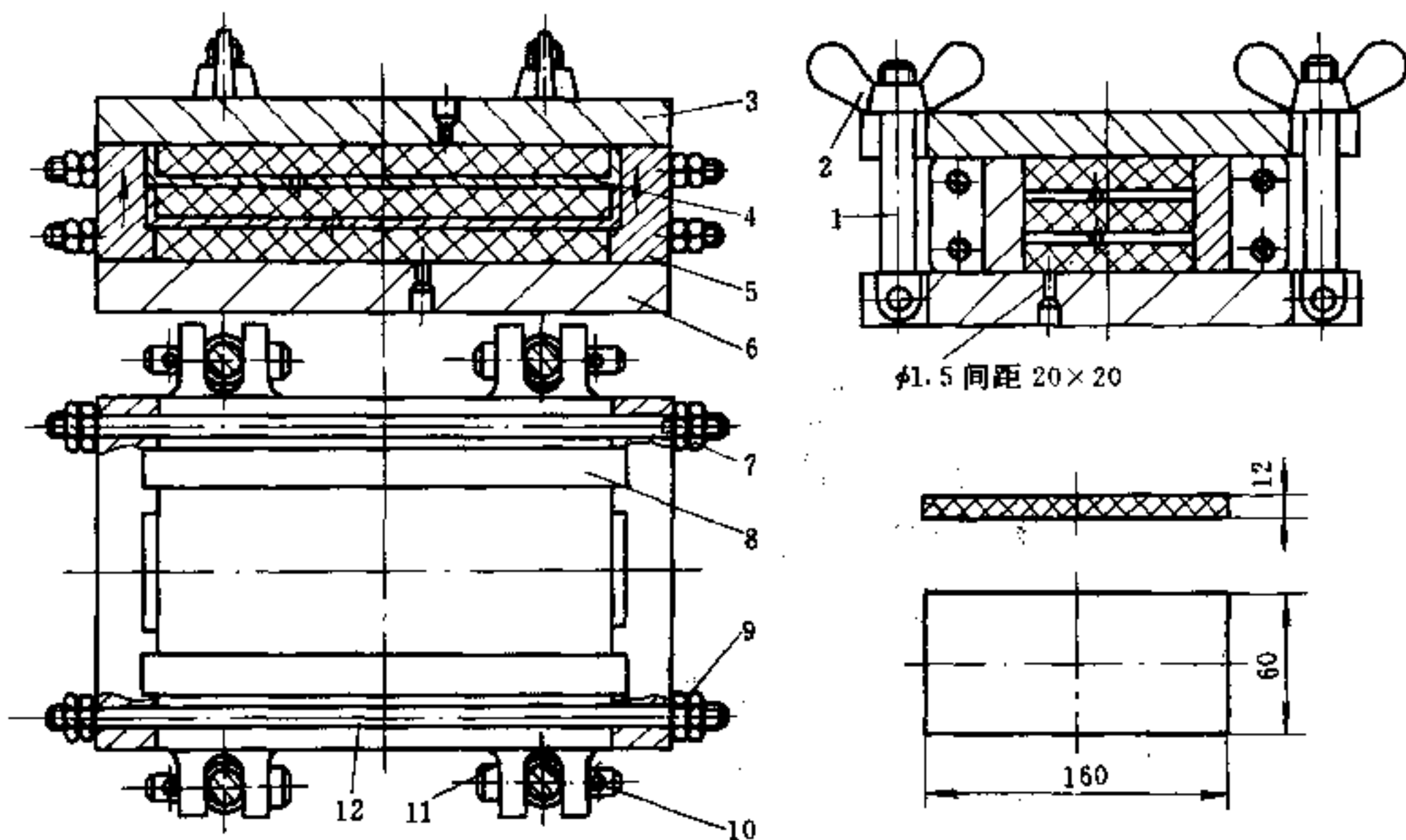


图 5.8-14 EPS 板材手动蒸箱模具

1—铰链螺栓；2—螺母；3—上模板；4—隔板；5—模套；6—下模板；  
7—螺母；8—模套组合件；9—螺母；10—销；11—轴；12—长螺栓。

用压机或泡沫塑料成型机进行发泡时，蒸汽通过汽箱或蒸汽夹套进入模具，对物料实施加热，完成膨胀熔结后，采用冷水进行冷却。

图 5.8-22 为 200kN 卧式泡沫塑料成型机上所用的一包装盒模具。该模具的基本组成是动、定模汽箱板、成型套、成型芯和料塞等。成型套与外套间留有 15~20mm 的空隙，动、定模汽箱板和成型套上均设有孔径  $\phi 1.0 \sim \phi 1.8\text{mm}$ 、孔距  $20\text{mm} \times 20\text{mm}$  的通汽孔。物料采用喷枪由料套进入模腔内。模具采用密封环密封。

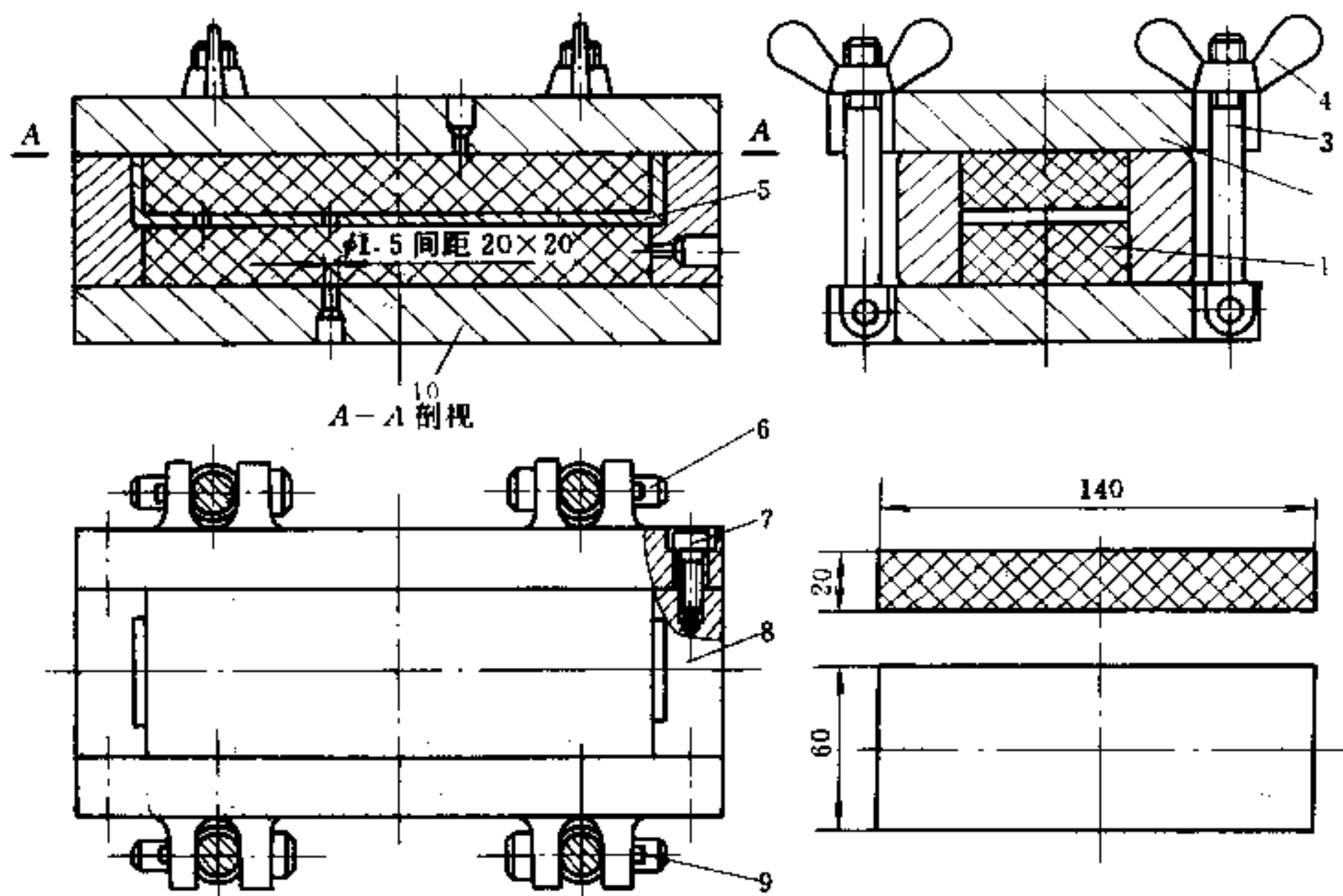


图 5.8-15 EPS 双层板材手动操作蒸箱模

1—板材；2—上模板；3—铰链螺栓；4—螺母；5—隔板；6—小轴；  
7—螺钉；8—组合模套；9—开口销；10—下模板。

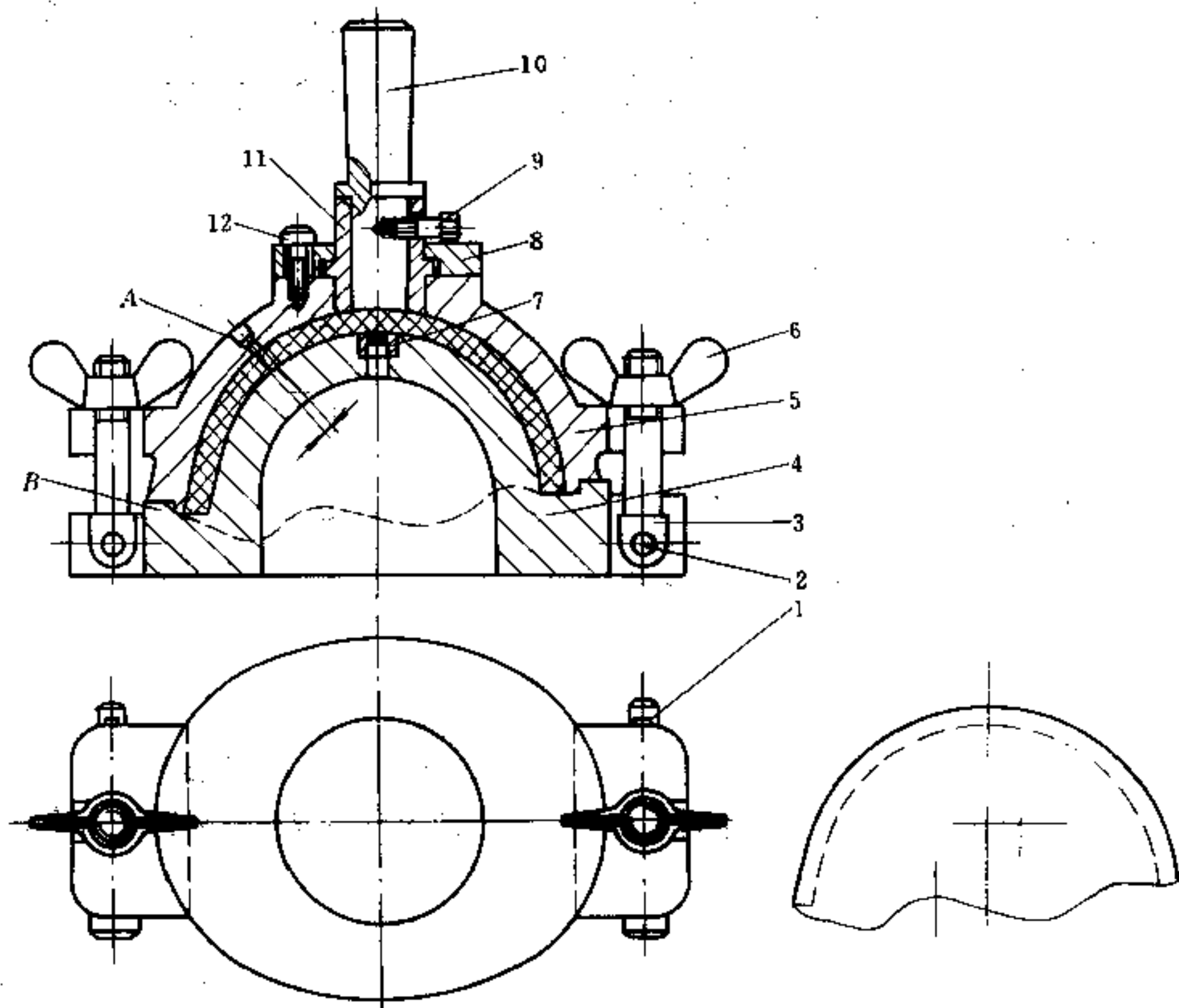


图 5.8-16 EPS 摩托车骑手头盔蒸箱模

1—开口销；2—小轴；3—铰链；4—凸模；5—上模；6—螺母；7—气塞；  
8—压板；9—螺钉；10—料塞；11—进料套；12—螺钉；A—进汽口；B—定位台。

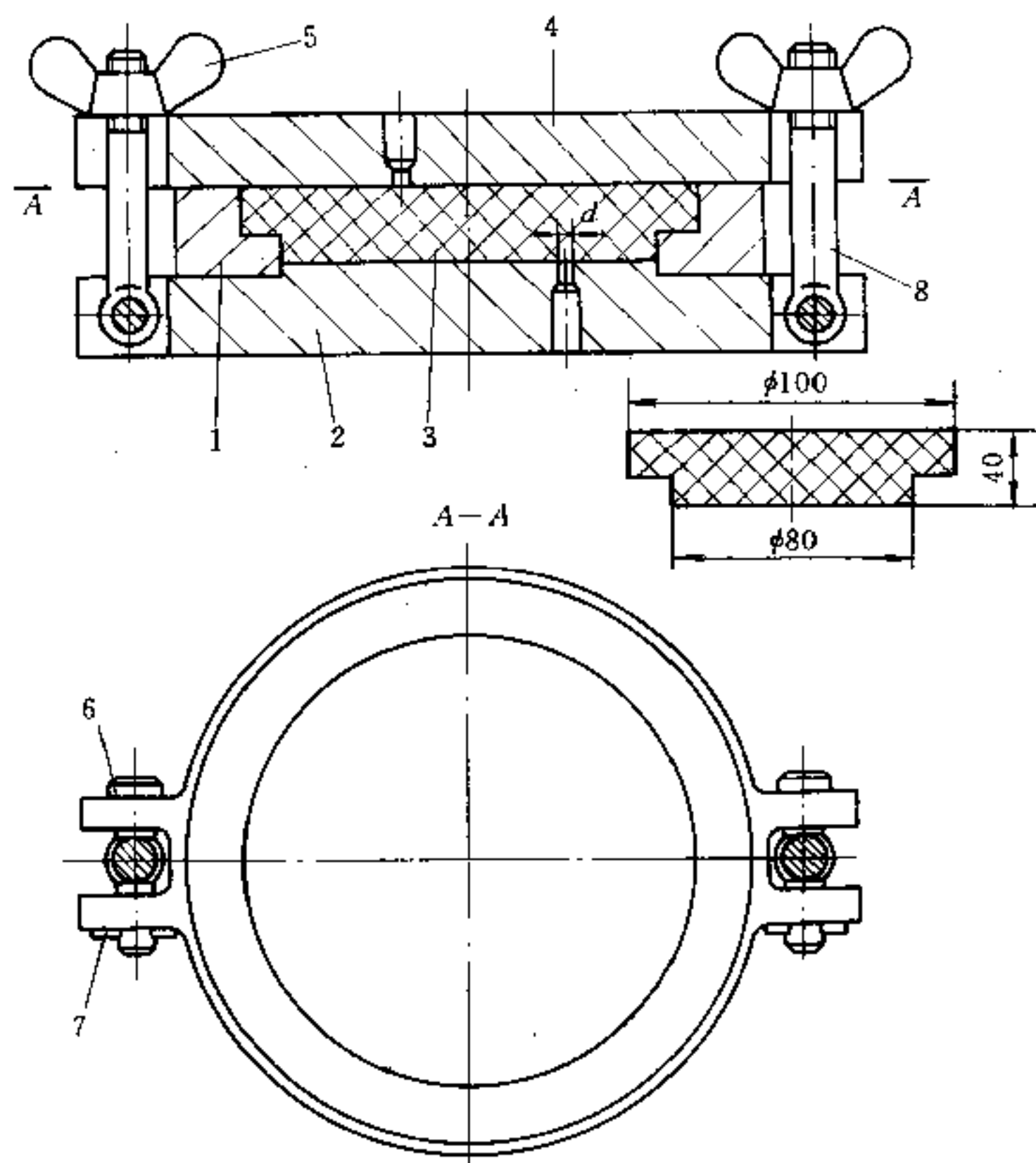


图 5.8-17 EPS 地震仪器盖手动蒸箱模

1—模套；2—下模板；3—塑件；4—上模板；5—螺母；6—小轴；7—开口销；8—铰链螺栓。

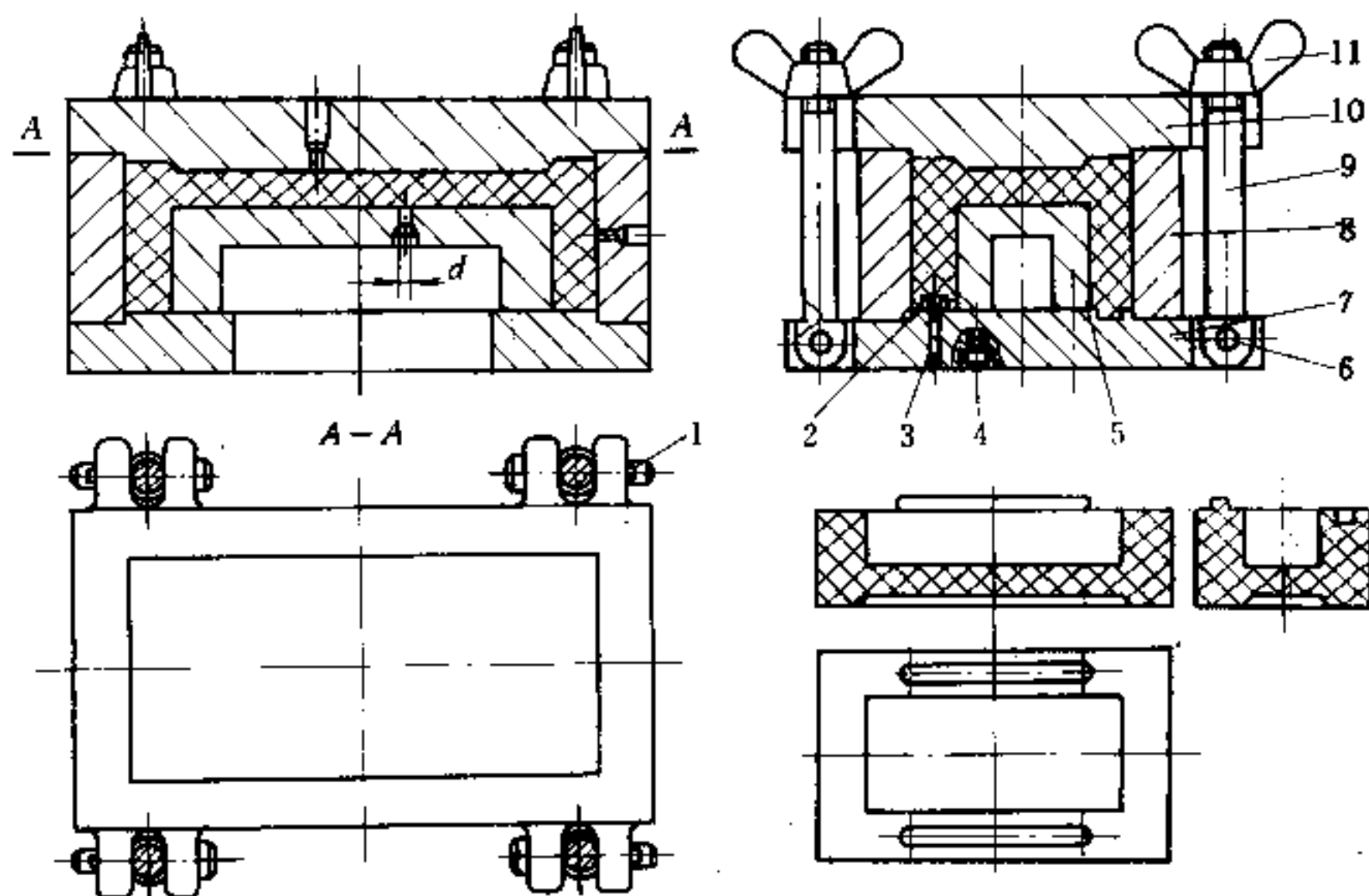


图 5.8-18 EPS 包装盒手动蒸箱模

1—开口销；2—镶块；3—铆钉；4—螺钉；5—型芯；6—小轴；  
7—下模板；8—模套；9—铰链螺栓；10—上模板；11—螺母。

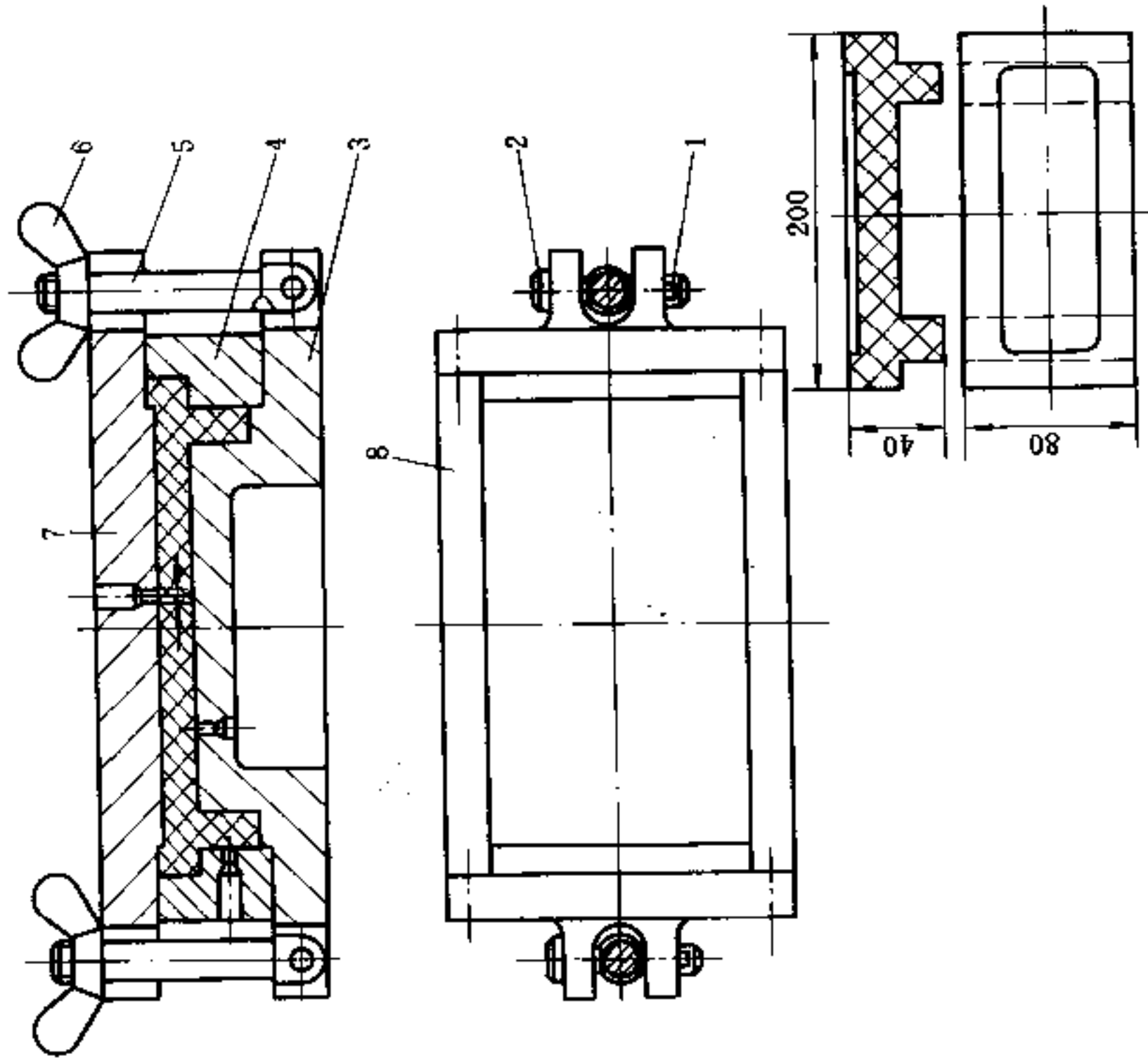


图 5.8-20 EPS 垫角手动蒸汽箱模  
 1—开口销; 2—小轴; 3—下模板; 4—模套; 5—铰链螺钉;  
 6—螺母; 7—上模板; 8—模套。

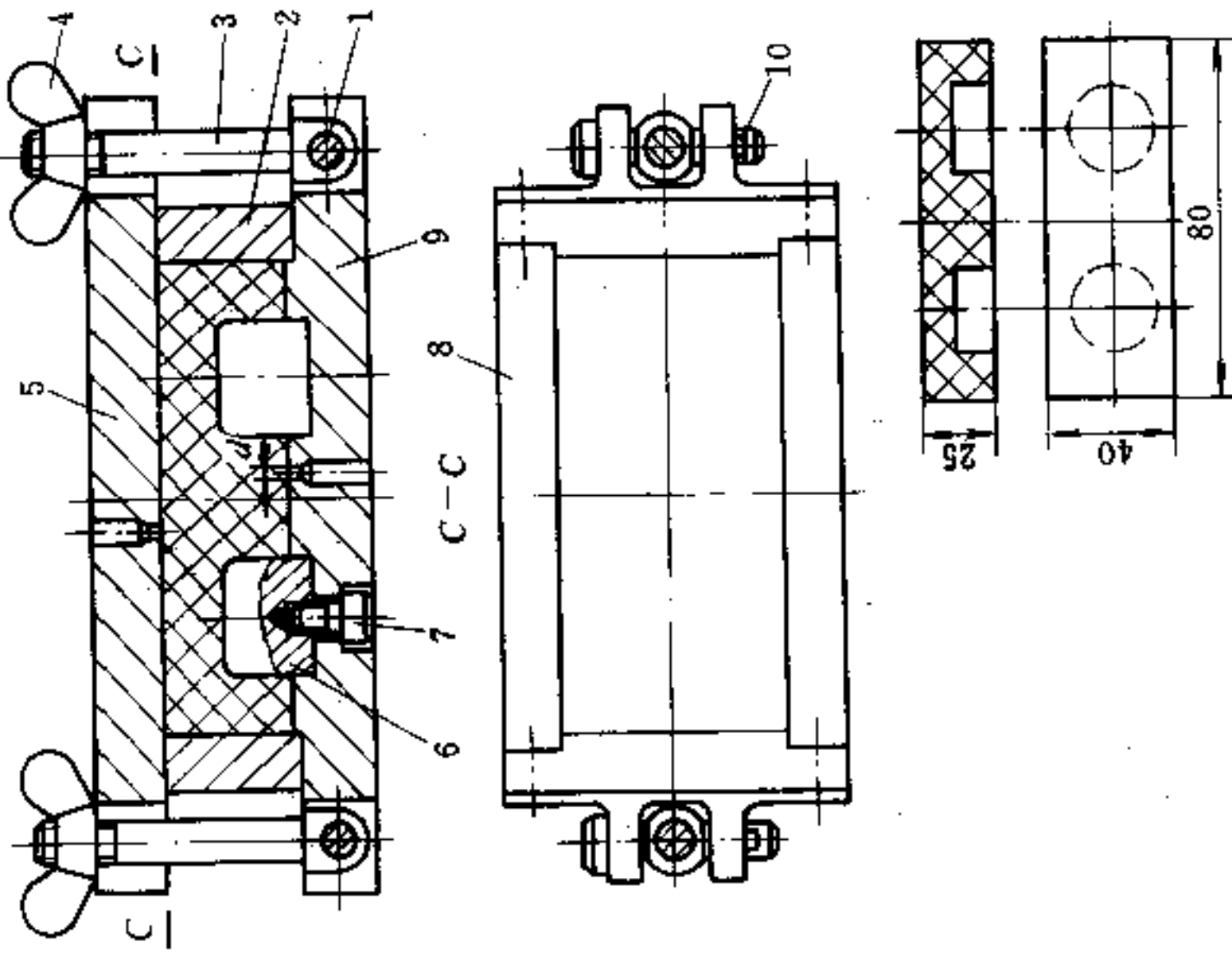


图 5.8-19 EPS 药盒手动蒸汽箱模  
 1—轴; 2—模套; 3—铰链螺栓; 4—螺母; 5—上模板; 6—型芯;  
 7—螺钉; 8—组合模套; 9—下模板; 10—组合模套。

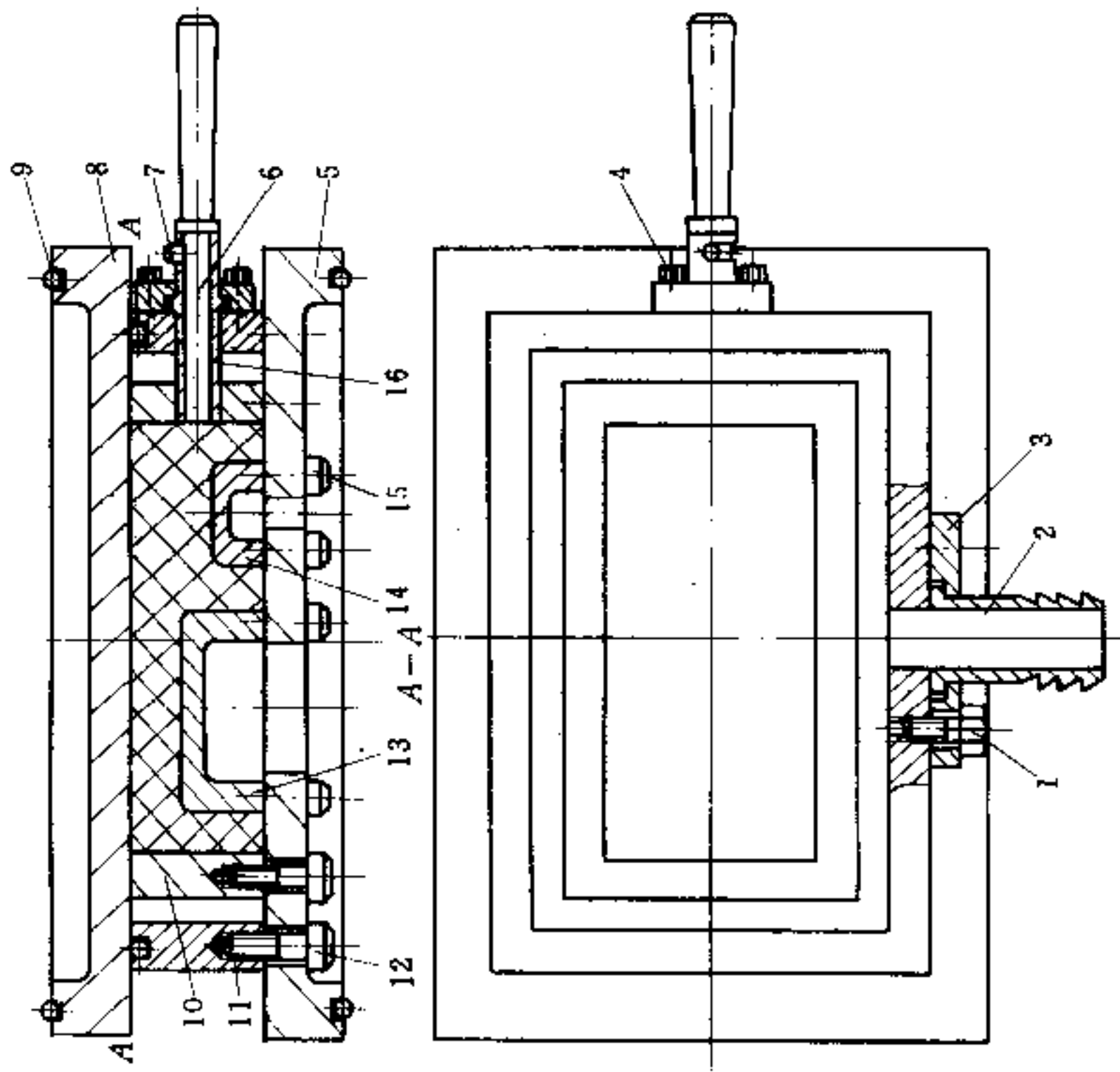


图 5.8-22 包装盒模具

1—螺钉; 2—回汽水管; 3—压板; 4—螺钉; 5—定模汽箱板; 6—料塞; 7—挡销; 8—动模汽箱板; 9—密封环; 10—成型套; 11—外套; 12—螺钉; 13—型芯; 14—型芯; 15—螺钉; 16—料套。

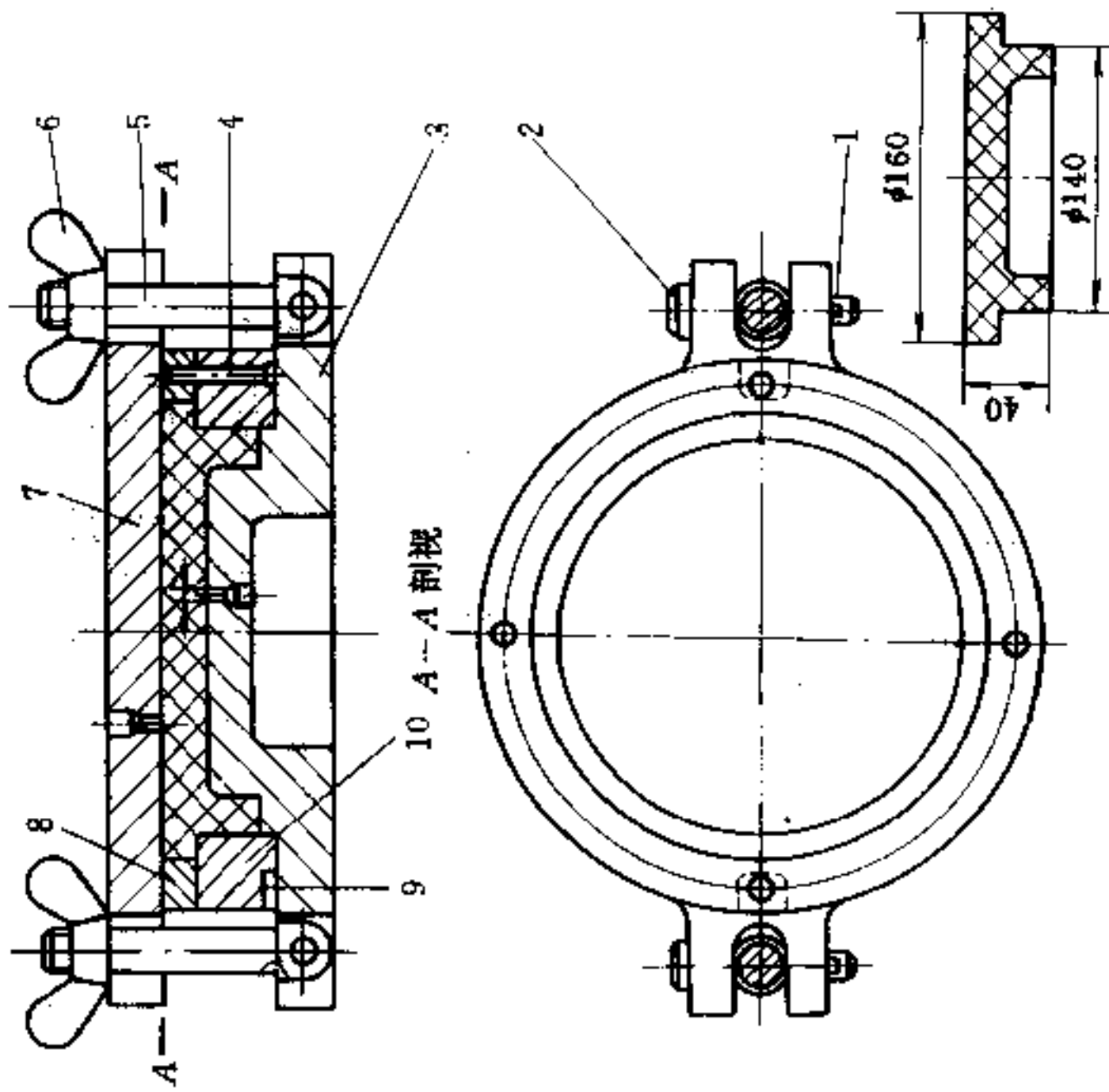


图 5.8-21 EPS 包装盖手动蒸汽箱模

1—开口销; 2—小轴; 3—下模板; 4—铆钉; 5—铰链螺栓; 6—螺母; 7—上模板; 8—镶件; 9—撬口; 10—模套。

图 5.8-23 是一板材成型模具，在 200kN 泡沫塑料成型机上成型。物料用喷枪由料套进入模具内，堵上料塞，通蒸汽加热。蒸汽压力一般为 0.1~0.15MPa，持续时间为 20~30s，保温时间一般为 1~2min。冷却时冷却水经模具上的许多通汽小孔或汽塞可使制件得到充分冷却，冷却时间一般为 2~5min。制件出模靠水汽压力顶出。

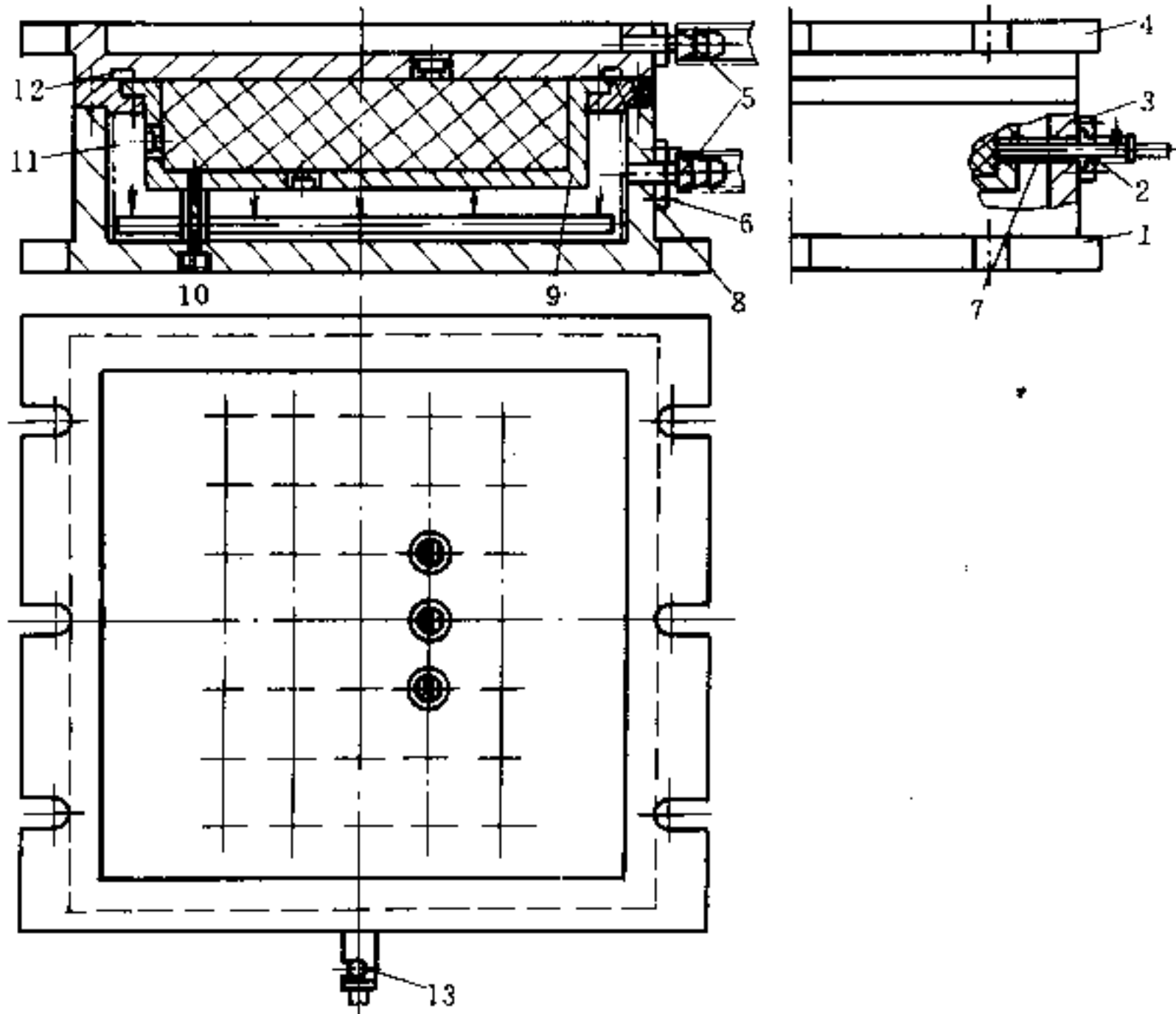


图 5.8-23 板材成型模具

1—动模汽箱板；2—料套；3—压板；4—定模汽箱板；5—回汽水管接头；6—螺钉；7—料塞；  
8—压板；9—成型套；10—螺钉；11—外套；12—密封环；13—销。

图 5.8-24 为一专用包装成型机上所用的包装材料模具结构。图 5.8-25 为具有普通蒸汽夹套的典型 EPS 模压发泡模具结构。

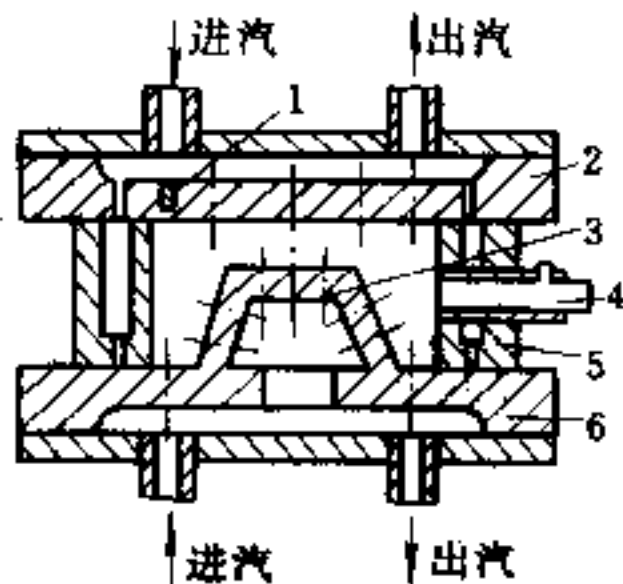


图 5.8-24 专用包装成型机用模具

1—汽孔；2—上汽箱；3—模芯；  
4—加料口；5—模框；6—下汽箱。

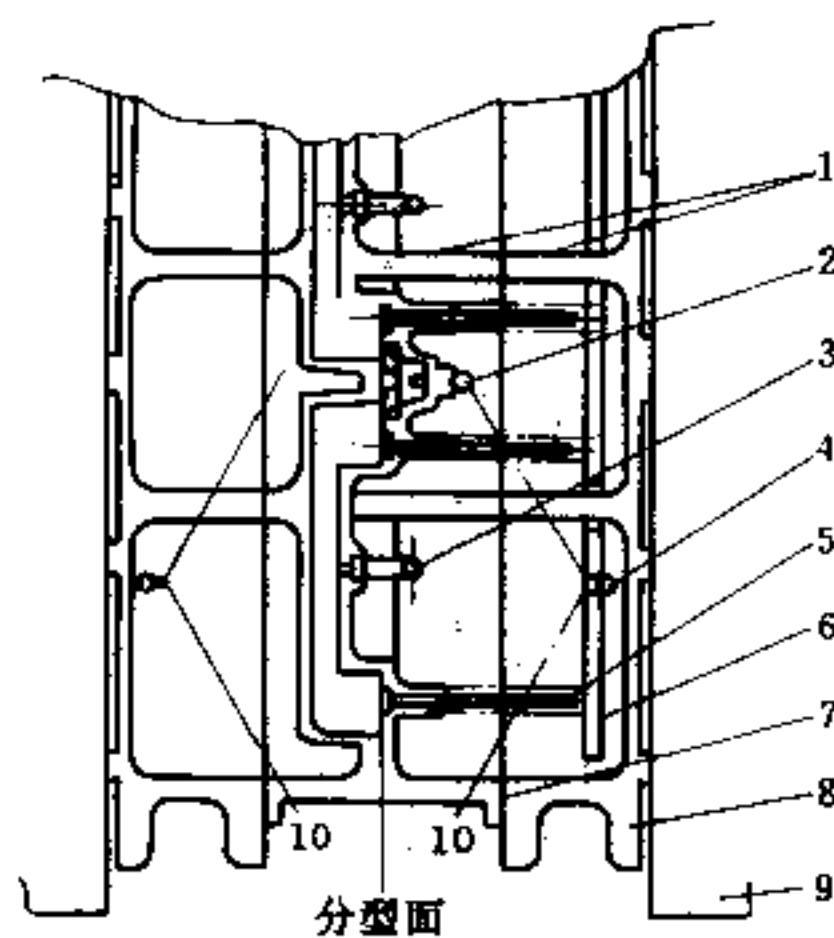


图 5.8-25 具有普通蒸汽夹套的模压发泡模具

1—支撑筋；2—空气增压支管；3—顶出空气支管；  
4—喷水支管；5—顶出销及弹簧；6—顶出板；  
7—模具安装面；8—模具蒸汽套；  
9—横板；10—分型面。



## 5.9 聚四氟乙烯压锭模设计

### 5.9.1 聚四氟乙烯的加工特性

聚四氟乙烯是一种结晶聚合物，其雏晶的熔点为  $327^{\circ}\text{C}$ ，当温度在  $327\sim 415^{\circ}\text{C}$  时，不会由高弹态转变为粘稠的流动状态，具有极高的粘度（如  $380^{\circ}\text{C}$  下约为  $10^{10}\sim 10^{11}\text{Pa}\cdot\text{s}$ ），表现为无定形结构凝胶态。而高于  $415^{\circ}\text{C}$  时便开始分解，温度再高时分解会更迅速。因此，由于难以获得足够的流动性，而不能用通常所用的塑料加工方法来加工。一般采用类似粉末冶金和陶瓷生产的方法制成坯料后烧结成制件，或再进一步经过二次加工的方法得到精度更高的制件以及所需的片材、膜材等。根据坯料制作的方法不同，可分为模压成型、等压成型、推压成型和挤出成型等，下面仅介绍模压成型的加工特性。

#### 一、制坯前的准备

模压成型用的聚四氟乙烯，一般为悬浮聚合制得的一种松散非粒状粉末，其微粒具有纤维状结构。因贮存和运输过程中容易结团，会造成装料不均，需要进行捣碎过筛处理。有时为除去低分子物，在捣碎前还应进行烘干处理。

#### 二、压锭

压锭就是模压制坯。将准备好的料按要求加入压锭模中，在压力作用下制成密实的坯料。

压锭用聚四氟乙烯粉料表观密度为  $0.4\sim 0.45\text{g}/\text{cm}^3$ ，坯料的密度一般在  $1.83\text{g}/\text{cm}^3$  以上，压缩比约  $4\sim 5$ 。根据制件体积和坯料密度可计算出所需料量。称量好的料在加入模具时，最好一次完成，并用刮刀刮平，使其均匀分布在模腔内。避免将粉料加入模具中捣固后再添粉料，这样会在烧结时由于密度不均和不能很好地结合而产生裂纹，更不应在已压好的坯料上再添加粉料进行第二次模压，因为粉料难以同已压成的坯料结合。另外该粉料带有很强的电荷，易吸引灰尘，应注意防护。在模腔较深时，使用盖板防尘外还可避免上模开启时形成的低压对坯料表面的影响。

压锭所制得的同一坯料，各部分的密度不均，会因烧结时收缩不一致而引起制件翘曲或开裂。因此，压锭时的压力必须缓慢增加，防止产生冲击。压力达到规定值后，还应保压一定时间。另外在卸压时也应缓慢降压，以防止回弹作用使制成的坯料产生裂纹。压锭压力不应低于  $15\text{MPa}$ ，常为  $25\sim 30\text{MPa}$ 。在  $29.4\text{MPa}$  时可制得密度为  $1.83\text{g}/\text{cm}^3$  的坯料。坯料烧结后密度会增至  $2.05\sim 2.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，体积膨胀率约为  $25\%\sim 30\%$ 。压锭压力愈大，坯料密度愈大，烧结时收缩愈小，但压力高于  $39.2\text{MPa}$  后，坯料密度将不再增加，反而会带来不利影响。

所制坯料的各部分密度均匀，是压锭的关键。将制造塑件所需的聚四氟乙烯粉料一次全部加入压锭模内进行压锭，只适用于在压制方向厚度完全相同的制件。只要厚度相等，在压制方向垂直的平面内，制件可以具有各种较为复杂的形状（但应考虑到烧结时的收缩应力对制件形状带来的影响）。在很多情况下，难以模压出形状与预定结构完全相同的制件，需要进行机械加工或采用复合模压分批定量加料等方法。图 5.9-1 是分批加料的聚四氟乙烯带法兰套筒制件的坯料压制步骤。将制件分为两个环形部分，第一部

分内外径为  $d_2$  和  $D$ ，厚度为  $b$ ，第二部分内外径为  $d_2$  和  $d_1$ ，厚度为  $(a-b)$ ，可分别计算出用料量。准确称量后，先将第一部分料加入，并使料的高度和密实度完全相同，如图 5.9-1 (a) 所示，然后放上外凸模。这里注意不能加压仅以其自重或最多用手压下，便形成法兰面，如图中 5.9-1 (b)，此后加入第二部分料，并压入内凸模，在压机上加压即可制得所需的坯料。

### 三、烧结

烧结是将坯料加热到雏晶熔点以上，并维持在一定温度下，由于分子链段运动加剧，同时大分子链本身也可能在一定程度上进行运动，从而使聚四氟乙烯分子间接触更为紧密，导致细粒间分界面消失，熔结成密实的整体。从外观上看，坯料从白色不透明体转变为胶状透明体，也就是说烧结过程是坯料从结晶态转变为无定形态的过程。这一过程分为升温 and 保温两个阶段，一般在带有转盘和热风循环的专门烧结炉中进行。烧结时应注意控制好升温速度、烧结温度和保温时间。因聚四氟乙烯受热后体积膨胀系数随温度有较大变化，导热差，升温速度不宜过快。制品愈厚愈大愈复杂时愈应缓慢，否则会产生变形甚至开裂。烧结温度一般为  $360\sim 390^\circ\text{C}$ ，多根据所用树脂的热稳定性（与相对分子质量有关）而定。因其分解产生的气体有剧毒，决不允许超过  $400^\circ\text{C}$ 。烧结炉内各点温度差应尽量小，一般要控制在  $5^\circ\text{C}$  以内。保温时间常需数小时，直至坯料达到完全透明时为止。对大型制品一般需  $5\sim 6\text{h}$ ，而对垫片类的小型件仅需  $1\text{h}$  左右。

### 四、冷却

使坯料从烧结温度降到室温的过程叫冷却，也称降温。此时烧结至完全透明状态的无定形聚四氟乙烯将转变为含有大量雏晶的不透明的白色结晶聚合物。冷却分淬火和不淬火两种方式。淬火制品的结晶度较低，（约为  $50\%$ ），不淬火制品的结晶度较高（约为  $63\%\sim 85\%$ ），因而制品的收缩率和其他有关性能也不相同。聚四氟乙烯在  $315^\circ\text{C}$  左右结晶速度最大，在  $250^\circ\text{C}$  以下则结晶速度极小。一般对厚度或高度超过  $4\text{mm}$  的制品只采用不淬火的冷却方式，常常是随炉冷却至  $250^\circ\text{C}$  后取出放入空气或水中进一步冷却。

此外，为了使制品内径尺寸更为准确，并减少翘曲，烧结后应将其套在金属棒上冷却。对于尺寸较大的制品或在尺寸精度要求高时，还可以采用在模具内烧结或利用夹具在施压限制变形的情况下冷却，起到定型作用。

## 5.9.2 压锭模设计特点

### 一、制品收缩率和压缩比

压锭制成的聚四氟乙烯坯料，经烧结后，在垂直于压力的方向上尺寸缩小，在平行于压力的方向上尺寸则增大（见表 5.9-1）。影响坯料烧结收缩率的因素很多，其中最

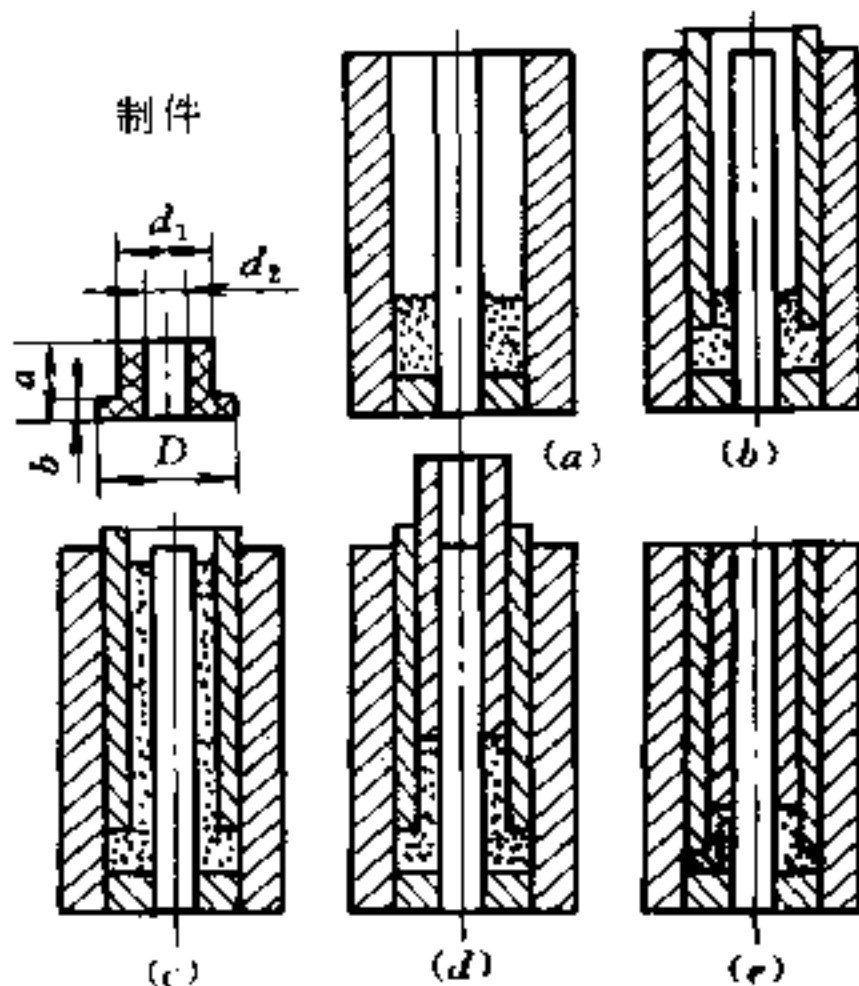


图 5.9-1 聚四氟乙烯带法兰套筒制件的坯料压制步骤

主要的是制件的结晶度和所压坯料的密实程度。一般，结晶度愈低、坯料愈密实，收缩率愈小。收缩率的大小与压锭压力、烧结温度、冷却方式、树脂及填充剂情况等均有关系，此外也与制件的形状有关。线型尺寸的最大收缩率可达9%。在设计时，对纯树脂收缩率可取3%~7%，对填充聚四氟乙烯，根据填充剂的情况可取0.9%~3%。值得注意的是，不同方向上的收缩是不相同的，甚至还可能出现膨胀现象。

表 5.9-1 聚四氟乙烯坯料烧结后尺寸收缩率 (%)

项 目	淬火制件	不淬火制件
环、套筒等，外径	5	7
内径	4	4
棒、圆柱等，直径	6	7~8
整个制件的高度	-6	-7~-8

注：表中负号说明尺寸增大，实际表示的是膨胀率%

压缩比是聚四氟乙烯粉料在压锭模中的体积与压锭所制成的坯料的体积之比。压缩比大小与树脂颗粒度粗细及表观密度有关，对填充聚四氟乙烯还与填充剂的类型和数量有关。纯聚四氟乙烯的压缩比约为4~5，干法混合填充聚四氟乙烯的压缩比约为3.5~4.5，湿法混合填充聚四氟乙烯约为5~6。

## 二、模压制件设计要求

对聚四氟乙烯模压制件的尺寸精度不能有太苛刻的要求。因聚四氟乙烯模压成型时收缩范围较大，对模压出的制件的尺寸容许公差一般不应小于公称尺寸的3%。对尺寸精度要求高的制件，可通过机械加工的方法来达到。

对管状模压制件，长度与壁厚之间的比例不能过大，一般不应超过18，否则会因坯料密度不均而难以成型。此外在制件轴向长度上应有一定的脱模斜度（一般取1°~2°）。

模压制件的壁厚应相等，并且形状不能过于复杂，否则会使制件产生变形甚至开裂。对于采用分批加料法，模压厚度不同的制件，为了减少应力集中，截面过渡处应设计为圆角。

## 三、聚四氟乙烯压锭模设计特点

(1) 聚四氟乙烯压锭模分移动式 and 固定式两种结构。大型制件采用固定式结构，固定在压机上，附有顶出装置。对小型制件一般采用移动式结构，用卸模架或起类似作用的垫块借助压机压力卸模。批量大的小型制件采用自动模压工艺时要用固定式结构，但需要有更高的精度和硬度。

(2) 压锭模结构，一般为闭合式结构形式，凹模无挤压边，阳模无溢料槽，凹模和阳模之间采用基孔制配合，对悬浮树脂用H8/f8，对分散树脂用H8/f9。所有滑动配合面必须配合良好，防止漏料或造成制件密度不均。

(3) 型腔上加料室的设计应便于树脂均匀地铺平，且因压缩比大，对于较厚制件可采用接长的加料室。此外，较深型腔可设防尘盖板。

(4) 压锭时所需压力较大，压锭模一般不设承压板或承压面，以便压力全部作用在物料上，模具型腔在设计时也应有一定的厚度。

(5) 小型移动式压锭模的凸模，常设计为柱状、环状等简单结构，且一般不用带台

肩或固定板，以利脱件和制模。此外，压锭模一般不需要加热和冷却。

(6) 模具材料多采用 45 号钢，热处理淬火硬度为 HRC40~50，为防止生锈应镀铬，表面粗糙度一般为  $R_a0.2\sim0.8$ 。

### 5.9.3 压锭模典型结构

图 5.9-2 为厚度较薄的圆片和圆环制件的压锭模结构。该模具的上凸模和下凸模都没有底板，脱模时将下凸模连同制件一起从模套中取出，再将制件从下凸模上取下。

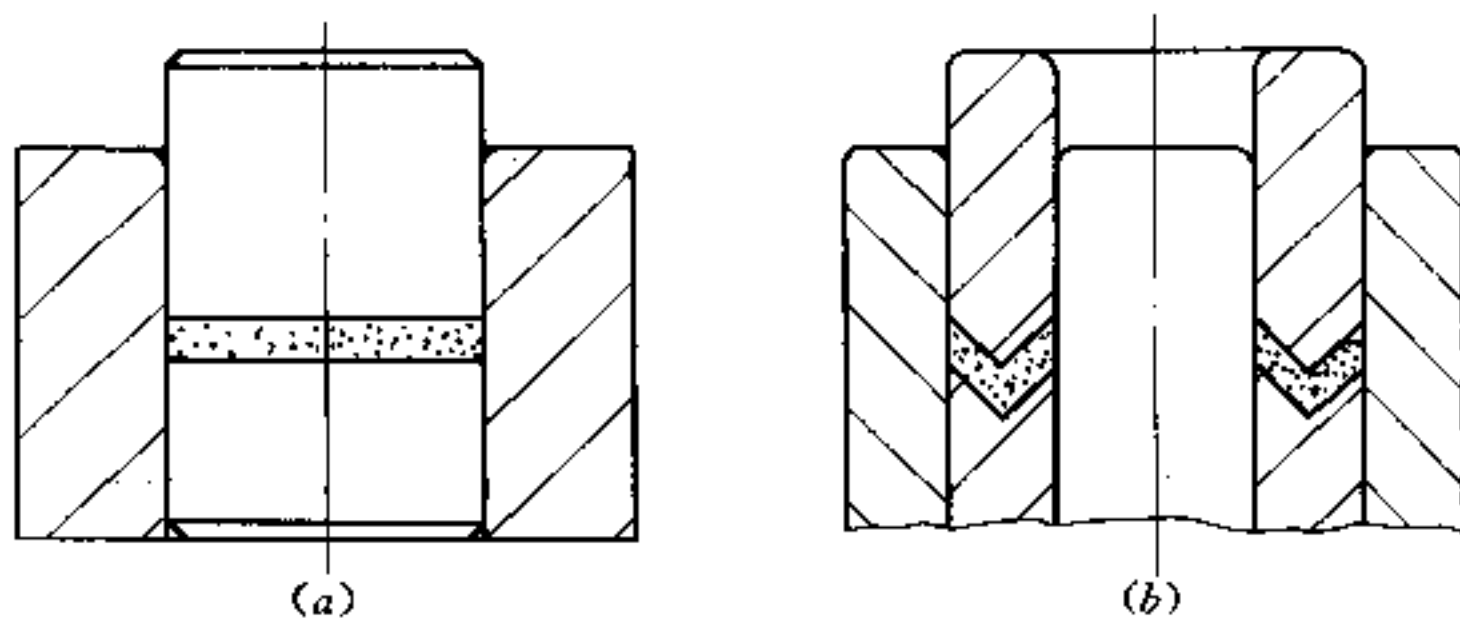


图 5.9-2 厚度较薄的圆片和圆环制件压锭模  
(a) 圆片模压件；(b) 圆环形制件。

图 5.9-3 为筒状制件压锭模结构。该模具由上模、下模、模套、上芯模、下芯模、压环、加料腔和手柄等组成。当制件高度较大时，加料前先让下模向下伸出模套一段距离，加料后的压制由于上下模两端同时对物料加压，所压坯料密度比较均匀。采用接长的加料室，可减轻模具重量。

图 5.9-4 为压制大面积矩形平板用压锭模结构。该模具为固定式，盖板与模套为配合关系。垫板下面的一块板可调节制件厚度，只需要更换该板就可制得不同厚度的制件。压制前应先用专用刮板将物料刮平，压制后的坯料连同垫板一起被顶出。

图 5.9-5 为法兰盘压锭模结构。压制时采取一次加料，而不是图 5.9-1 所示的分批加料。加料前将下凸模下降，使在 A-A 线以下所留出的空间能容纳的粉料，正好能成型法兰盘的颈部（图中坯料 A-A 线以下部分），而上部加料室中的粉料正好能成型法兰盘上部，法兰的转角  $R$  应设计大一些。为了避免坯料顶出时损伤，脱模前应先卸掉上段型腔和加料室（图中用螺钉连接部分）。

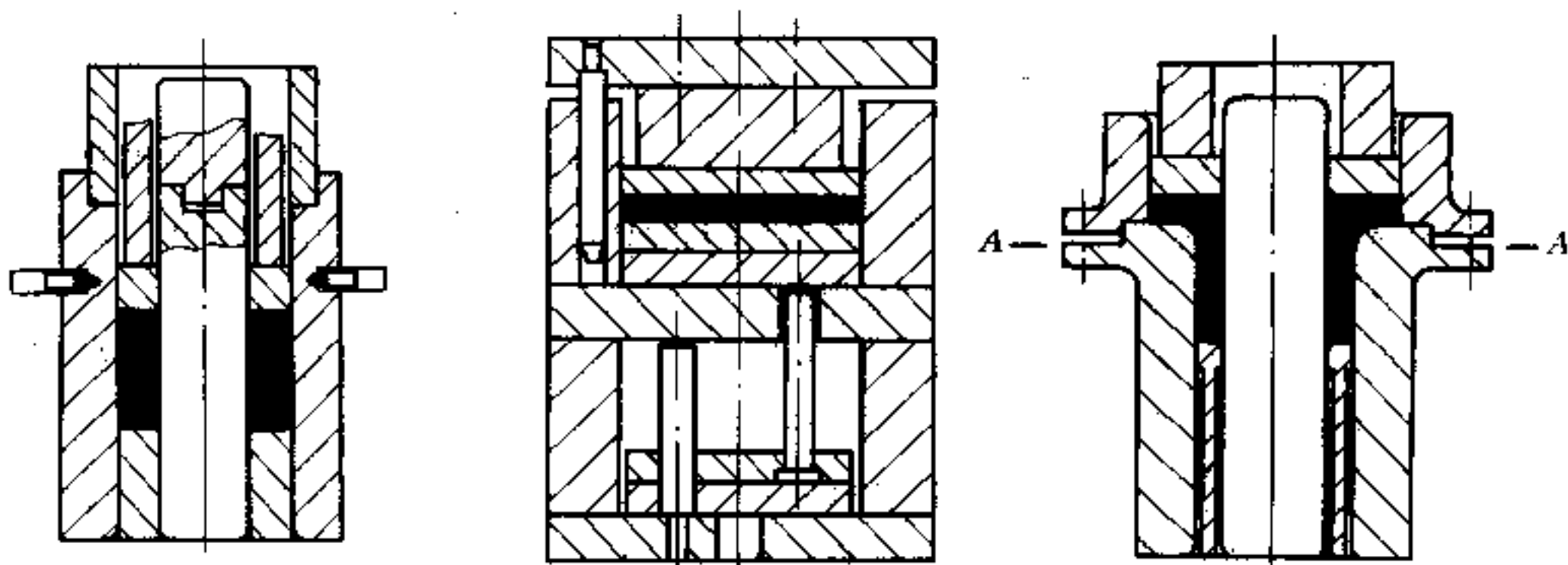


图 5.9-3 筒状制件压锭模

图 5.9-4 平板制件压锭模

图 5.9-5 法兰盘压锭模

图 5.9-6 为带嵌件制件压锭模结构。根据制件水平中心线为分型面，利用嵌件预压下模，将制件用料的一半加入模腔，施加微小压力后，取出嵌件预压下模，再将另外一半料加入，然后换上上凸模进行压制。

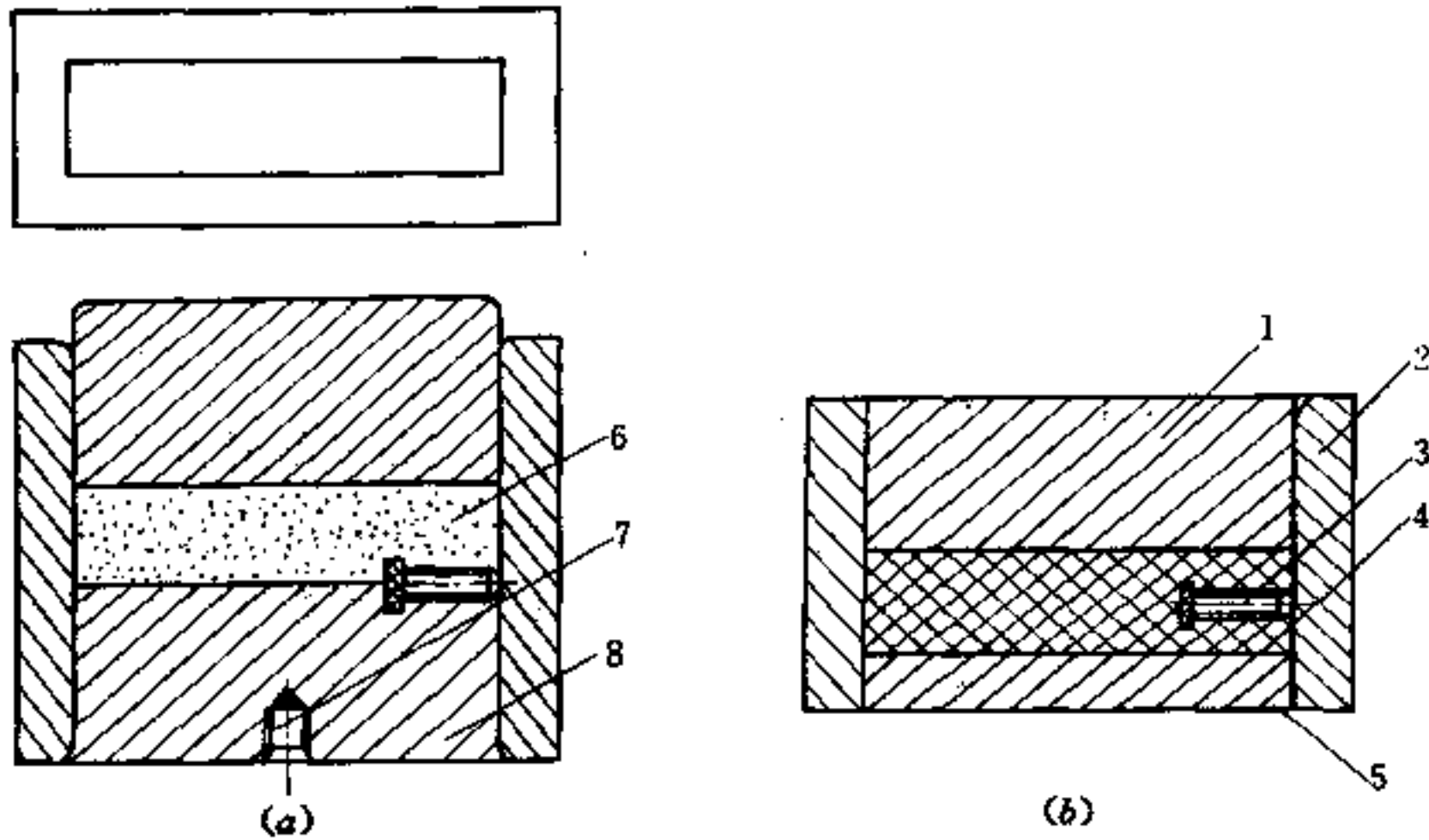


图 5.9-6 带嵌件制件压锭模

1—上凸模；2—模套；3—嵌件；4—坯料；  
5—下凸模；6—粉料；7—螺孔；8—嵌件预压下模。

图 5.9-7 为杯形制件压锭模，分两批加料进行压制。先将环状凸模 3 及芯棒 4 插入模套 1 中，在模套与芯棒之间的环状空间内，加入第一批料。用量由杯状圆筒部分计算，即高 45mm 之空心圆筒体积成型时所用料量，此例中用量为 85g。然后压入上凸模 5，并用手轻轻施压。翻转压模，取出环状凸模 3，并用手移动芯棒 4 让其端面与杯状坯料圆筒部分的端部接齐，此后，加入第二批料，用量按杯子底部的体积求出，即直径为  $\phi 50\text{mm}$ 、厚 5mm 的圆盘，此例中用量为 24g。最后放入实心下凸模 2，重新将压模翻转过来，在 24.5MPa 的压力下压制。保持上凸模 5 的端部与芯棒 4 的顶部处于同一水平。此例中，加料量一定要准确，否则在烧结时容易造成杯底脱落。

聚四氟乙烯由于收缩率波动大，用定型模对制件整形可提高精度。定型模和压模相差不大，但受力小，模套壁厚无需较厚，也不必设计较长的加料室，应将模套上口倒角以便制件放入。垫圈定型模结构如图 5.9-8 所示。模套和芯模上端设计为斜面， $d_2$  较

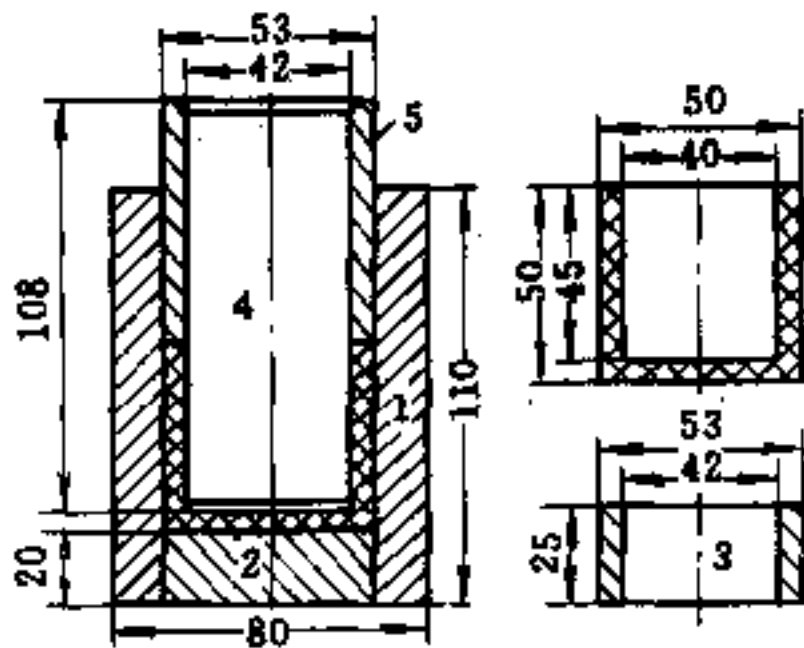


图 5.9-7 杯形制件压锭模  
1—模套；2—下凸模；3—环状凸模；  
4—芯棒；5—上凸模。

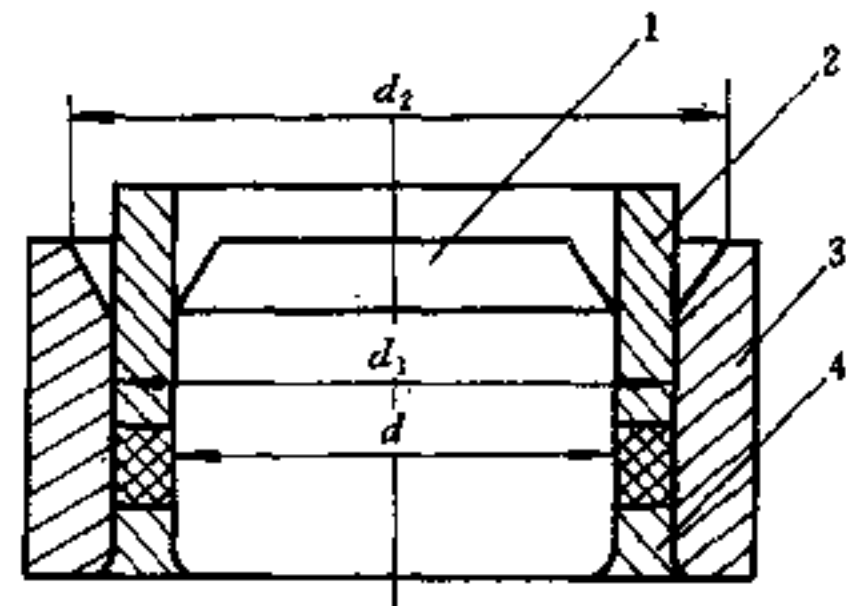


图 5.9-8 垫圈制件定型模  
1—芯模；2—上模；3—模套；4—下模。

模腔尺寸大 8~12mm, 若制件截面较大, 则  $d_2$  在此范围内可适当增大, 同时芯模上端斜面直径缩小 2~4mm 即可。模腔和芯模直径一般比制件直径大 0.1~0.3mm,  $d_1$  和  $d$  应比制件内外径大多少, 与压锭模所考虑的理论计算收缩率有关, 若理论计算收缩率与制件实际收缩率相适应时, 此值应比制件尺寸略微增加。有些制件只要内径尺寸精确而其他尺寸要求不高, 此时只用单件芯模定型即可。

## 5.10 压模结构实例

### 一、通用模架

如图 5.10-1 所示。这种模具适于成型带螺纹塑件以及有侧孔或嵌件多的塑件, 从图可知, 此模架中模板可分大号、中号两种规格, 再配以型腔板与其配合, 则可成型出不同尺寸的塑件, 而上、中、下模板均可根据成型需要移出模外进行顶件、安放嵌件等, 待完成后, 再推入压机内进行压制, 此模架使用方便。

### 二、线轮压模

如图 5.10-2 所示。此模具适于成型线圈骨架类塑件, 开模时上模移动到一定距离时, 下模顶出系统的尾杆 1 作用于顶杆 5, 顶杆 5 作用于顶件器 20, 顶件器 20 推动塑件和对合块 19, 然后, 取出对合块 19, 再利用专用工具将对合块撬开, 即得塑件。设计时应注意在对合块非成型面处应安装定位销以防止对合块错位。

### 三、斜滑块分型抽芯压模

如图 5.10-3 所示。此模具适用于需进行侧面分型或抽芯的塑件的成型, 模中对合块系带有矩形凸耳的滑块, 在矩形模套内壁的导滑槽内滑动, 滑块用两端带铰链的推杆推动, 随着滑块向两侧移动推杆上端向两侧分开。回程时, 推杆将对合块拖回矩形模套, 型芯固定板可避免对合块过度下沉。为了制造方便, 凹模采用镶嵌式结构, 导滑槽也采用组合制造。

### 四、上模带顶出机构的闸盒压模

如图 5.10-4 所示。此模具上模部分带顶出机构, 模具两侧设有拉杆 9, 压塑成型后, 开模时, 塑件随上模 18 一起向上移动, 当移动到一定距离, 螺母 5 接触限位板 7, 拉杆 9 不再向上移动, 当上模部分再向上移动, 上顶板 12 在限位板限制下即向下移动, 这时弹簧 14 受到压缩, 上顶板 12 移动, 即把塑件顶下来。为了加工方便起见, 下模 6 左边采用镶拼组合结构, 镶块 19 用螺钉和下模 6 连为一体, 并用销钉 21 与支板 2、下模板 1 进行定位, 导柱 16 的长度长于凸模 18, 这样保证镶块在成型压力下不易外移和变形, 上顶出系统的顶出距离可通过螺母 5 进行调节。

### 五、活动镶块式压模

如图 5.10-5 所示, 上下模均为组合式的镶块结构。顶出时将凹模镶块 5 及 20 一起顶出, 在模外与塑件分开。

### 六、组合式型腔压模

如图 5.10-6 所示, 适合大型压模型腔结构, 整个凹模由下模 6、嵌件 7 等组成。便于机械加工, 并节省材料。



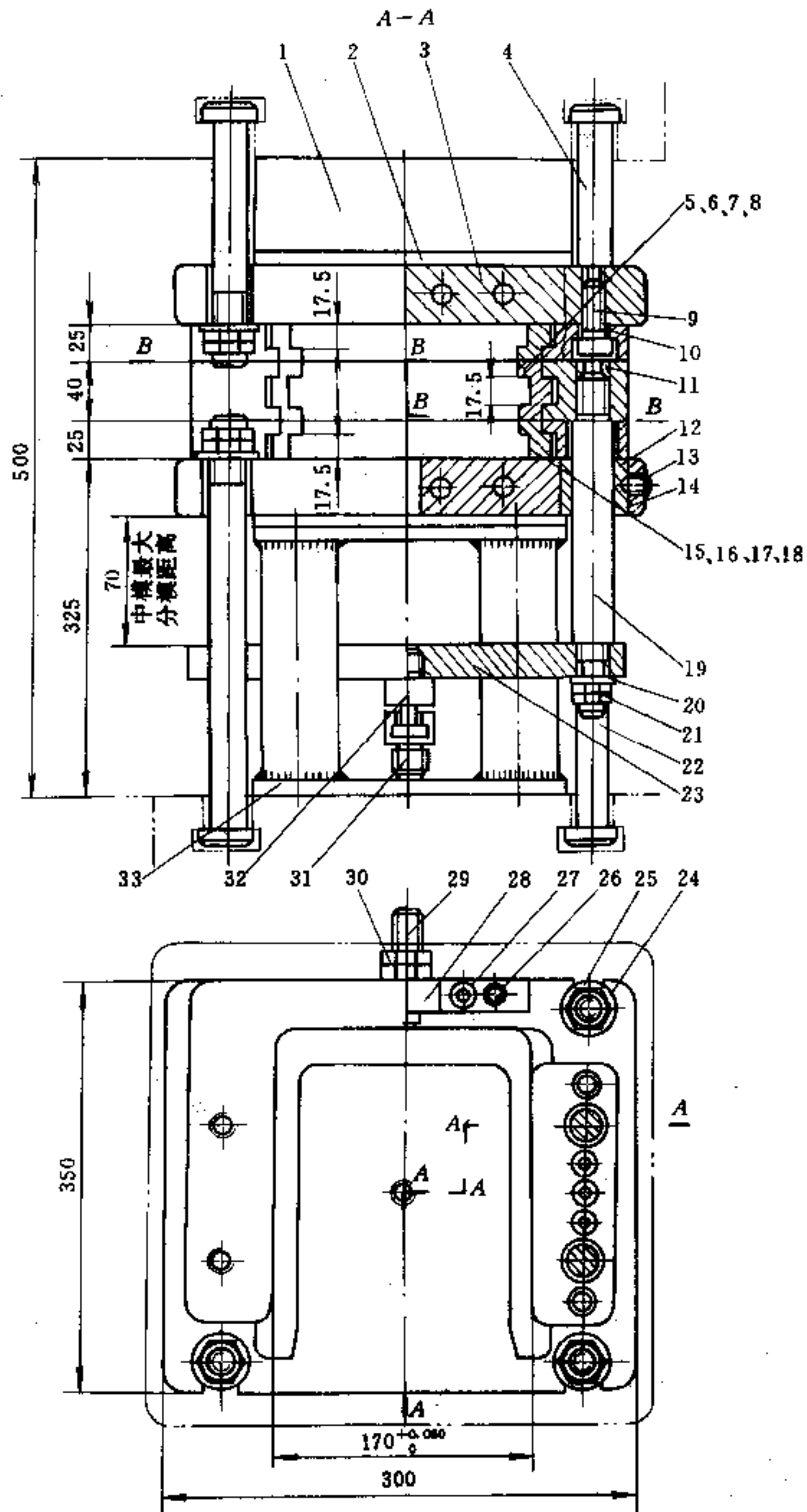


图 5.10-1 通用模架

- 1—垫铁；2—石棉板；3—上电热板；4、22、26—螺栓；5、6、7、8—可换凹模座；  
 9、13—螺钉；10—导板；11—凹模座；12—导套；14—下电热板；  
 15、16、17、18—可换模座；19—导柱；20、25—垫圈；21、24、30—螺母；23—顶板；  
 27—圆柱销；28—定位板；29—定位螺钉；31—联接头；32—顶杆；33—支架。

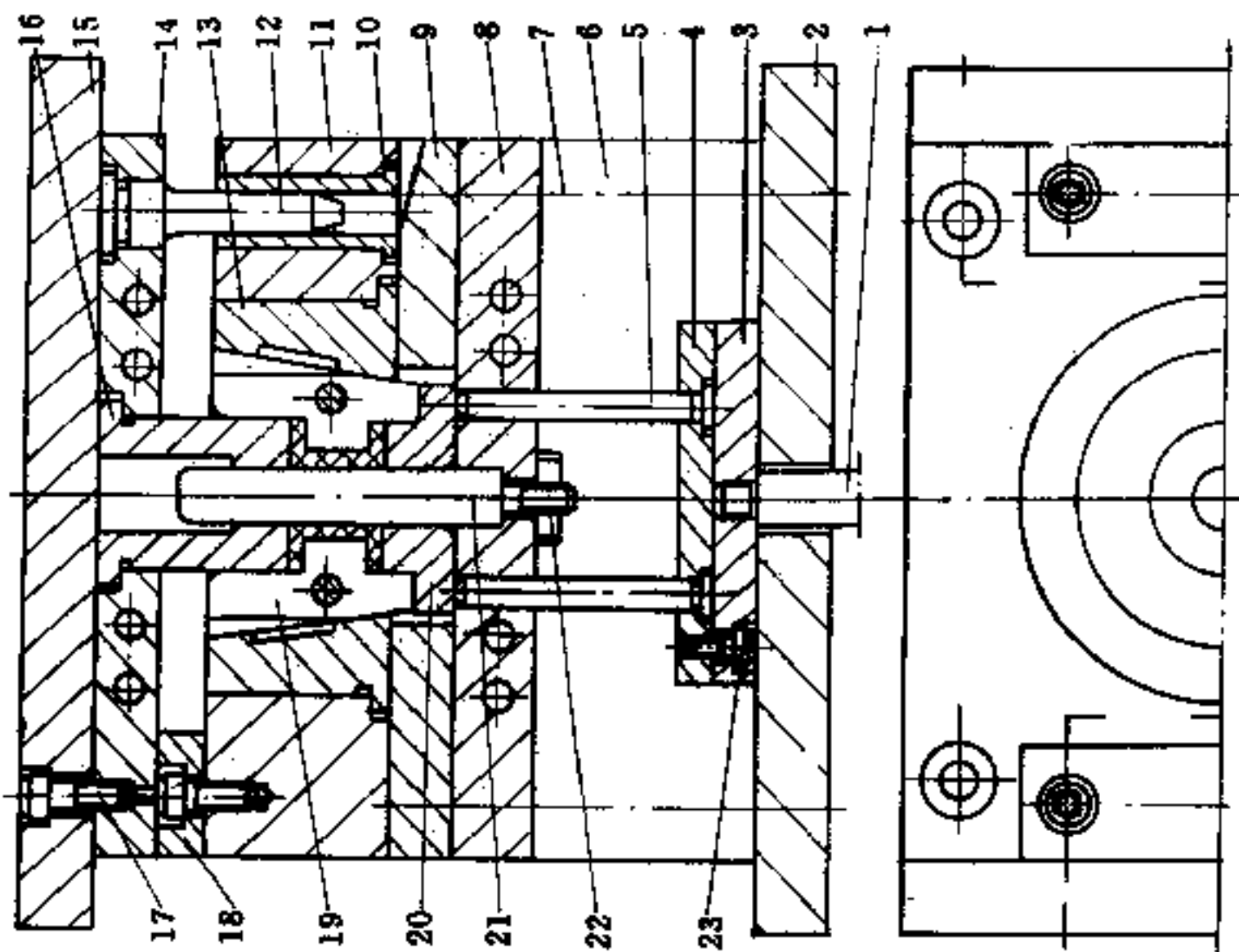


图 5.10-2 线轮压模

1—尾杆;2—下模板;3—顶板;4—固定板;5—顶杆;6—支板;  
7—螺套;8—下加热板;9—垫块;10—导套;11—下模套;12—导柱;  
13—衬套;14—固定板;15—上模板;16—上模;17—螺钉;18—承压板;  
19—顶杆;20—顶件器;21—型芯;22—锁母;23—螺钉。

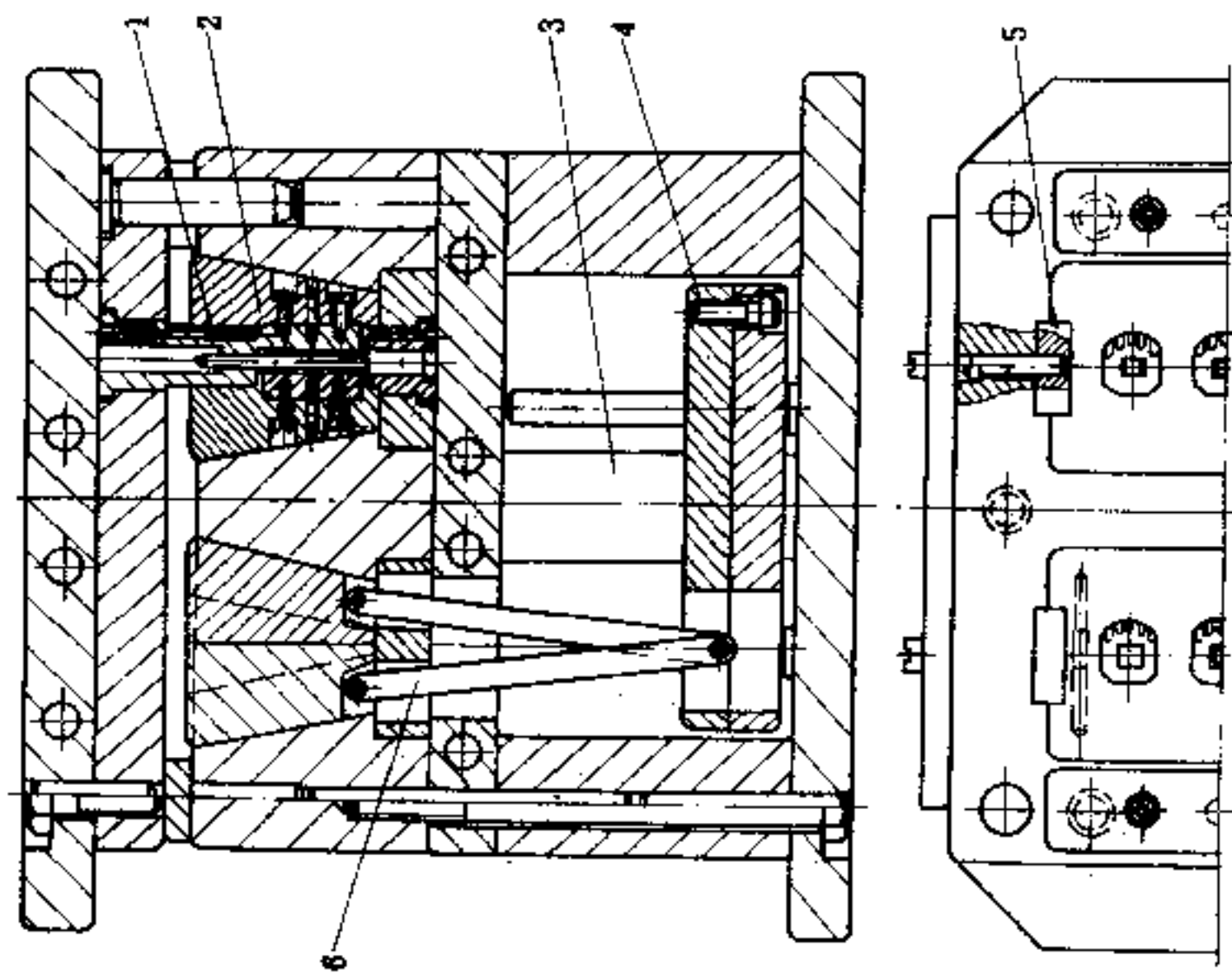


图 5.10-3 斜滑块分型压模

1—凸模;2—对合块;3—支柱;4—顶板;5—楔形模套;6—铰链顶杆。



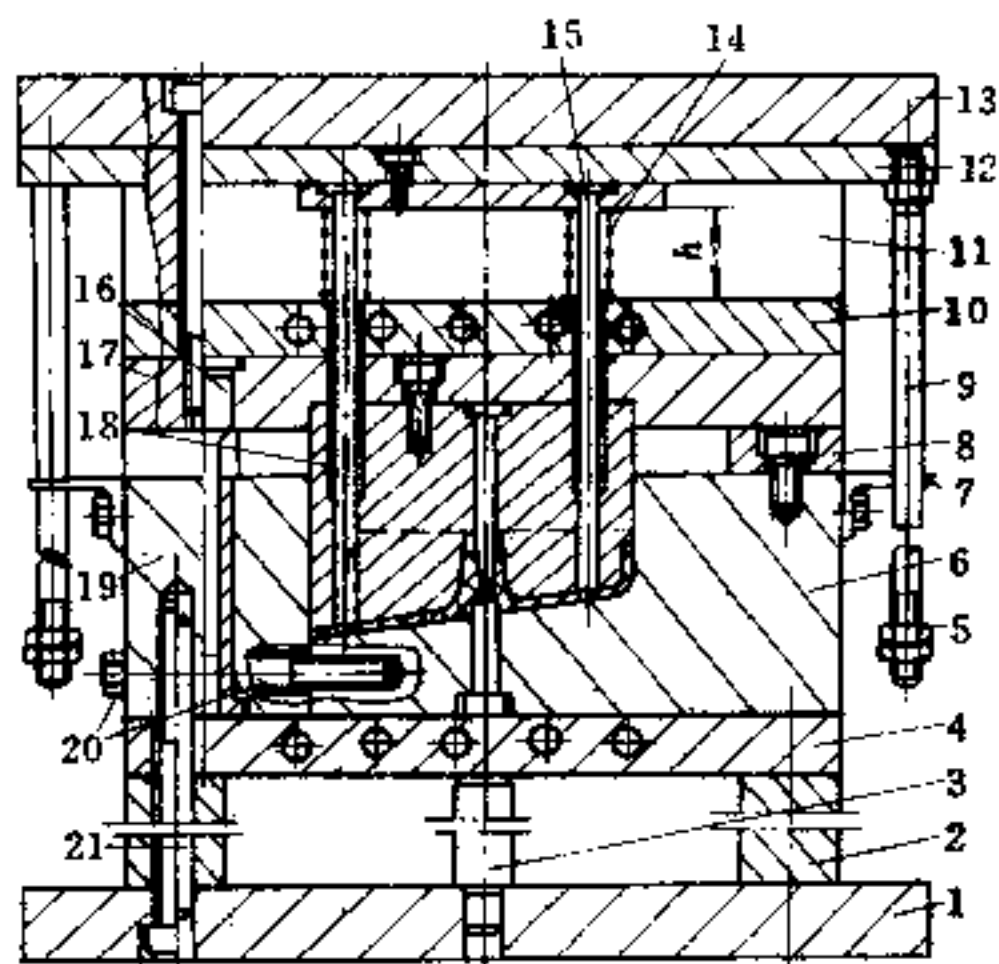


图 5.10-4 闸盒压模

1—下模板；2—支板；3—支柱；4—加热板；5—螺母；6—下模；7—限位板；8—承压板；9—拉杆；10—加热板；11—支板；12—上顶板；13—上模板；14—弹簧；15—顶杆；16—导柱；17—固定板；18—上模；19—镶块；20—螺钉；21—销钉。

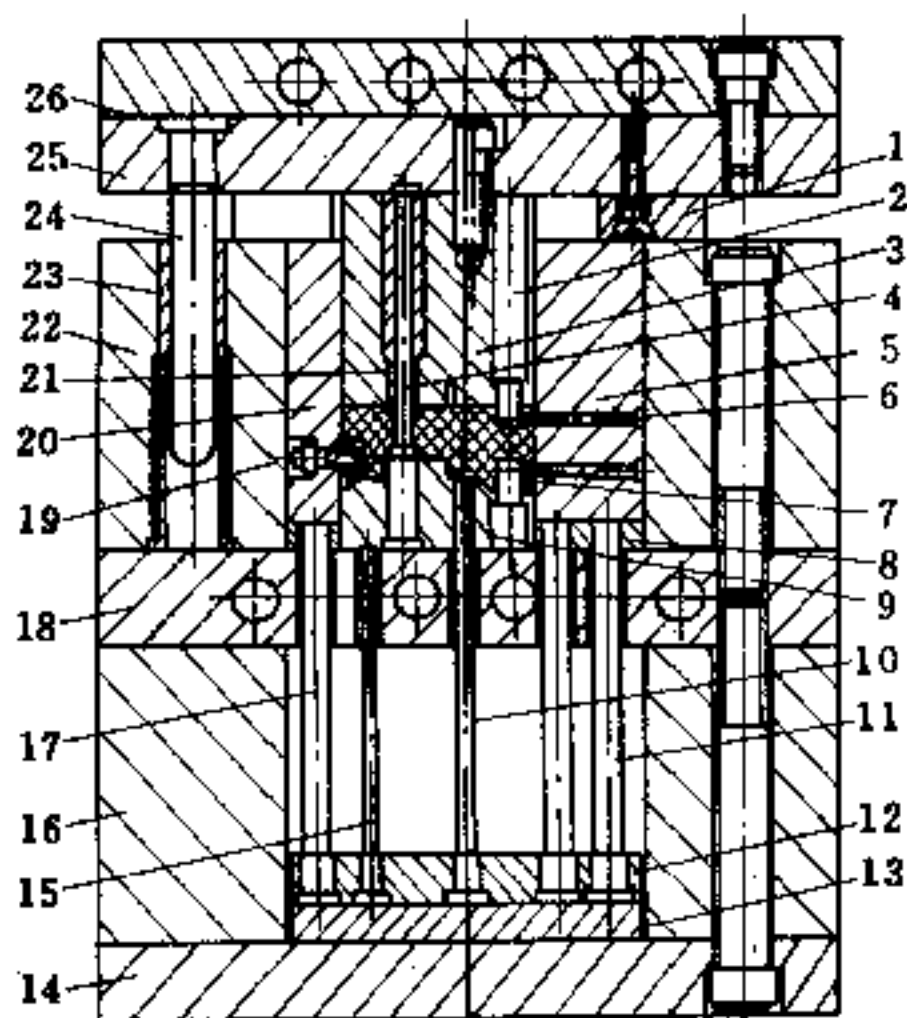


图 5.10-5 活动镶块式压模

1—承压板；2, 4, 6, 7—小型芯；3—上模；  
5, 20—凹模镶块；8, 13—垫板；9—凸模；  
10, 11, 15, 17—推杆；12—托板；14, 25—模座；  
16—支块；18, 26—加热板；19—螺纹型芯；  
21—型套；22—模套；23—导套；24—导柱。

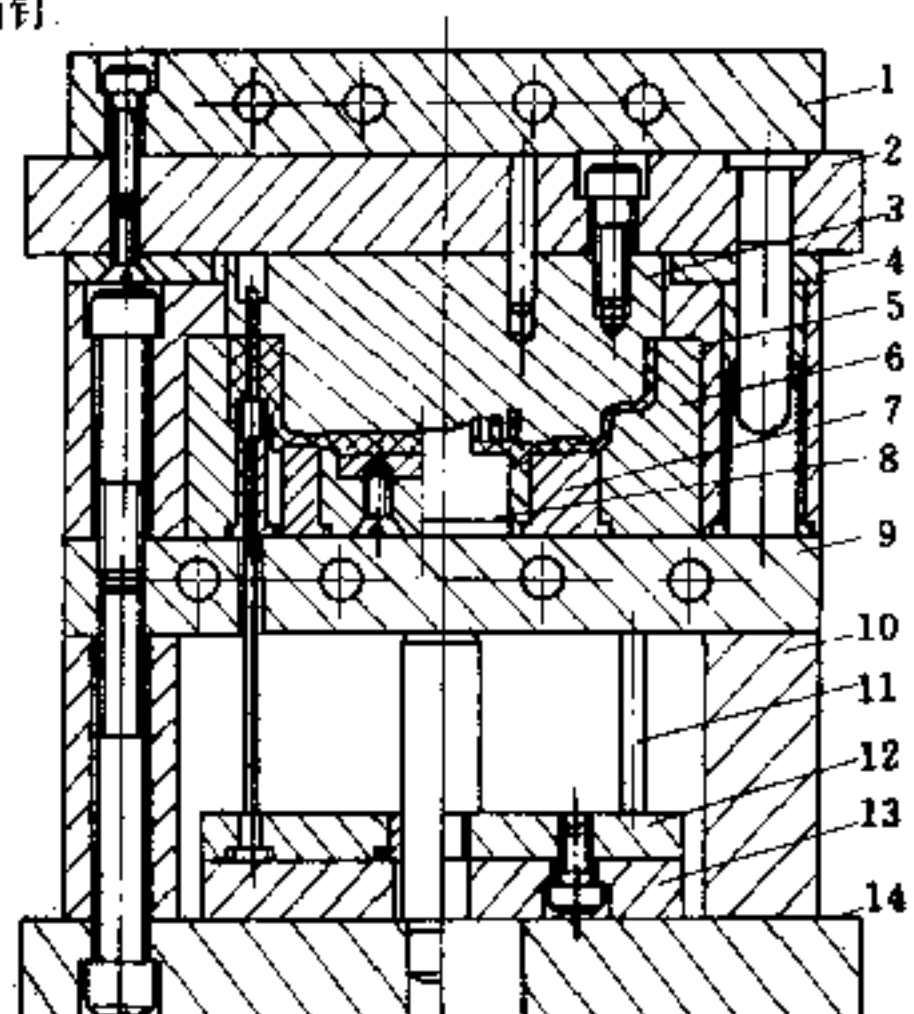


图 5.10-6 组合式型腔压模

1, 9—加热板；2, 14—模座；3—凸模；  
4—承压板；5—模套；6—下模；  
7, 8, 15, 16, 17, 19—嵌件；10—支块；  
11—推杆；12, 13—托板；18—小型芯。

## 七、强制分型式压模

如图 5.10-7 所示, 当压塑成型后上模 5 刚上升, 但尚未与塑件脱离时就推动凹模滑块 4, 由于凹模滑块与强制分型板 18 间有间隙  $\delta$ , 故不致于损伤塑件。当分型板 18 推动凹模时即产生垂直分型动作。当上模 5 继续上升时, 即可从上模取下塑件。

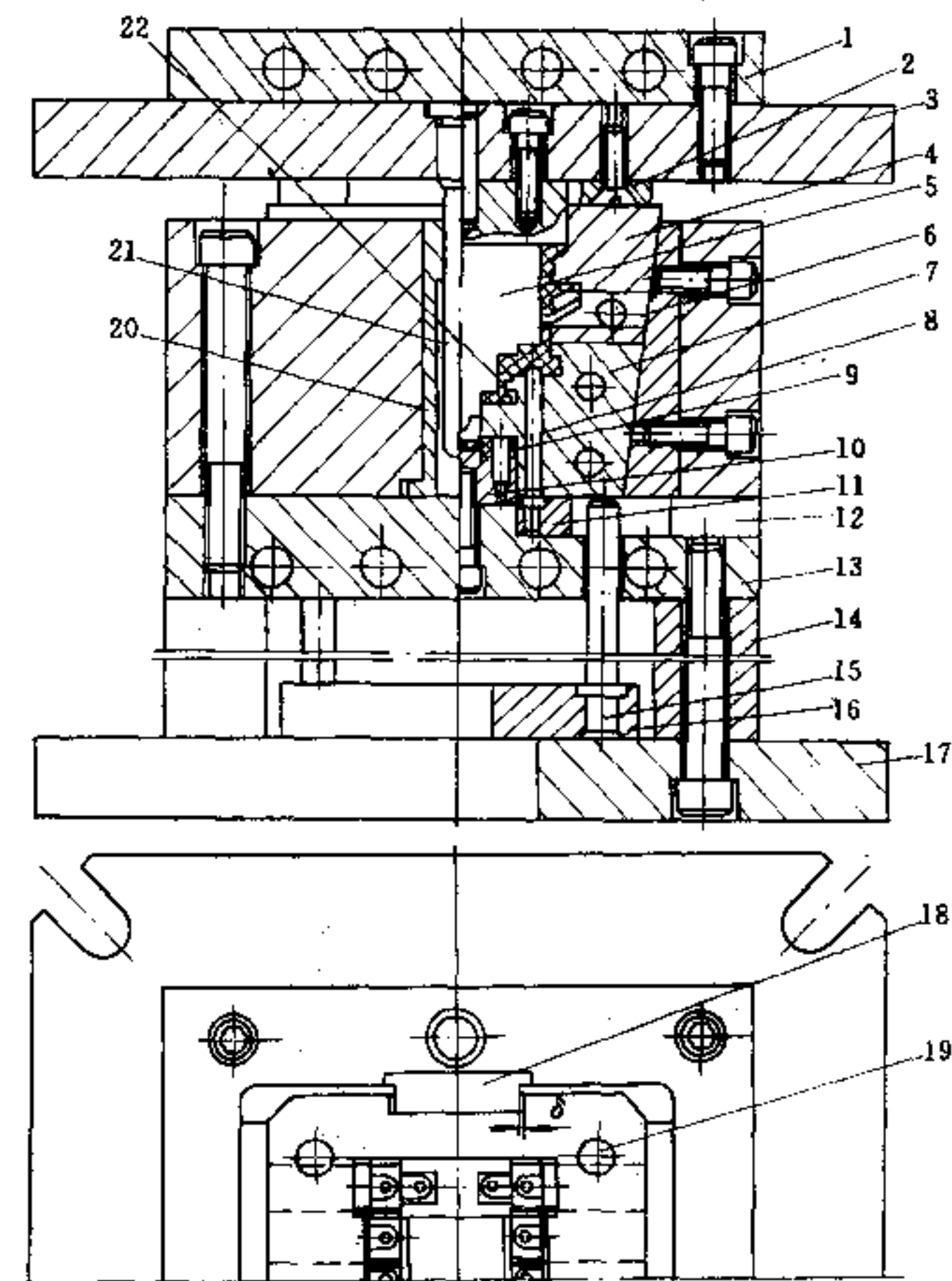


图 5.10-7 强制分型式压模

- 1, 13—加热板; 2—承压板; 3, 17—模座; 4—凹模滑块; 5—上模;  
 6, 7—嵌件; 8, 9—小型芯; 10—下模; 11—滑板;  
 12—燕尾板; 14—支板; 15—推杆; 16—顶板;  
 18—强制分型板; 19, 21—导柱; 20—导套; 22—镶套。

## 八、螺孔仪表盒压模

如图 5.10-8 所示, 螺纹型芯 12 采用镶入式, 成型前置放于推杆 3 端部内孔中, 成型后于模外用专用工具拧下, 即获塑件。

## 九、装卸组合式压模

如图 5.10-9 所示。塑件为泵体壳, 内腔由 I、II、III、IV、V 和 VI 6 块活动件组成。锥腔型芯由手动螺杆抽出。

## 十、双脱模机构压模

如图 5.10-10 所示, 塑件为空气开关外壳。下模由液压机顶杆推出脱模, 上脱模由上梁推杆完成。

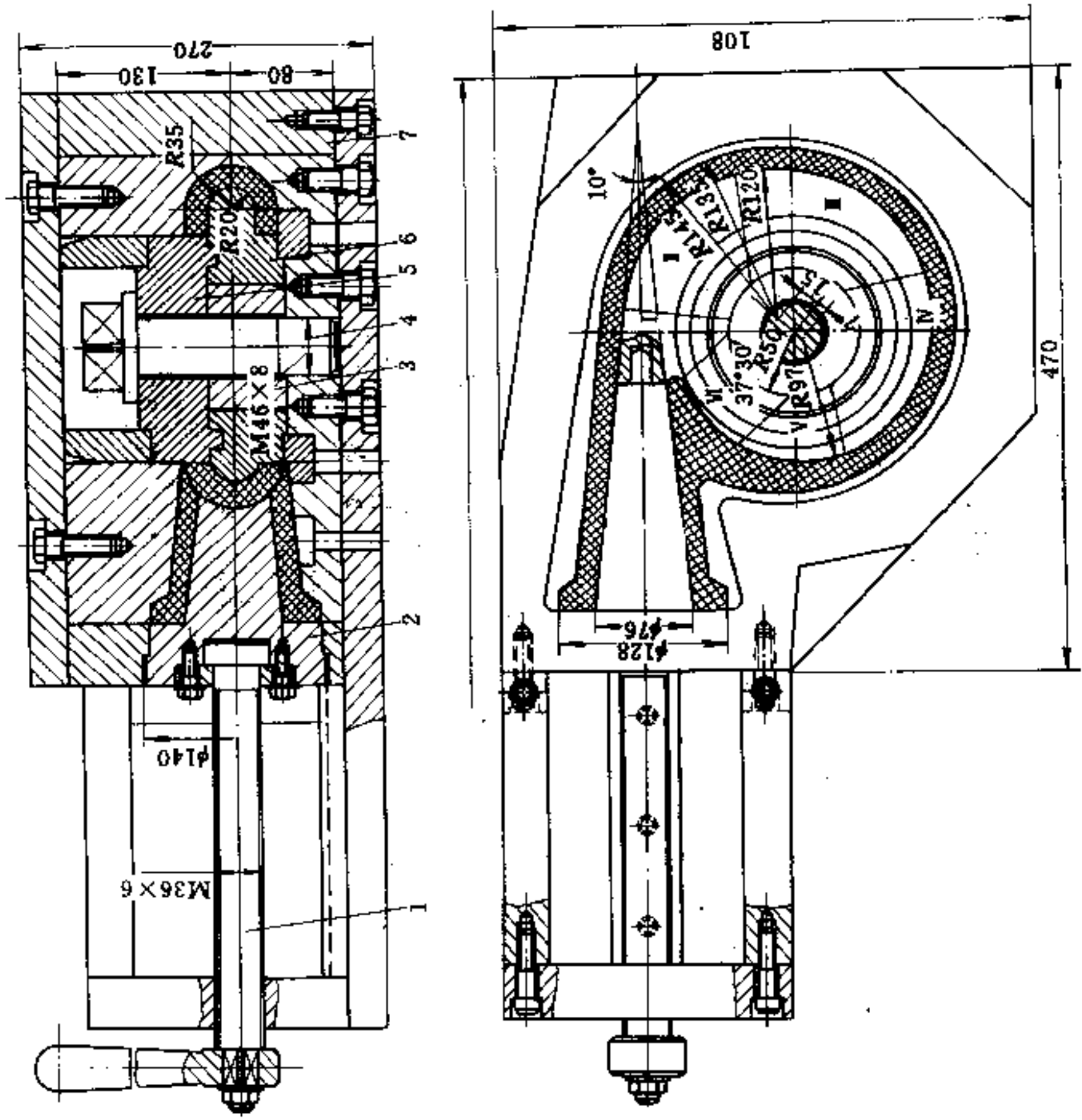


图 5.10-9 装卸组合式压模  
 1—抽芯螺杆; 2—锥型芯; 3—定位环; 4—装卸螺钉;  
 5—定位圈; 6—活动块; 7—模套。

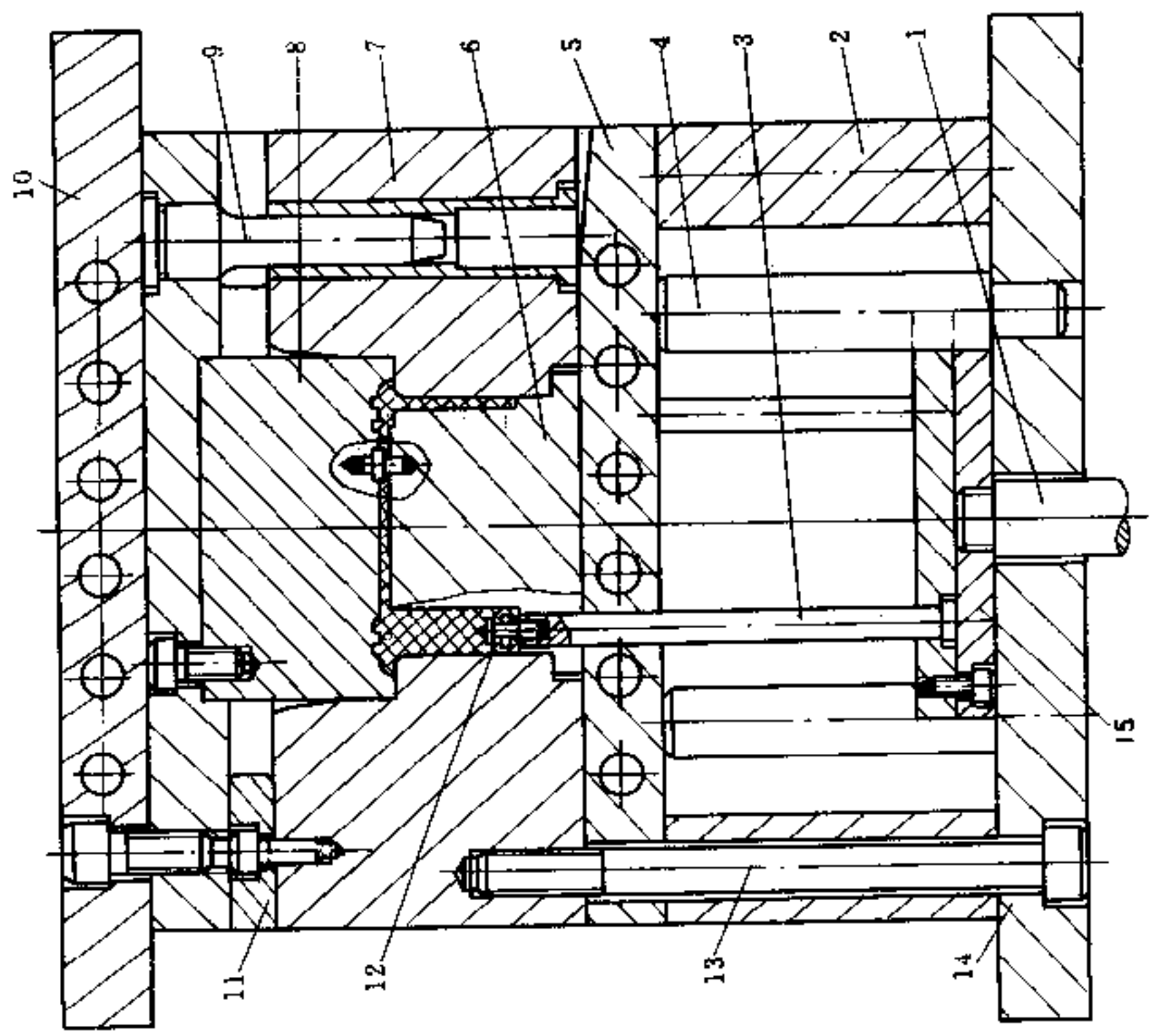


图 5.10-8 螺孔仪表盘压模  
 1—尾轴; 2—支板; 3—推杆; 4—支柱; 5, 10—加热板; 16—嵌件;  
 7—下模; 8—上模; 9—导柱; 11—承压板; 12—螺纹型芯;  
 13—螺钉; 14—下模板; 15—顶板。

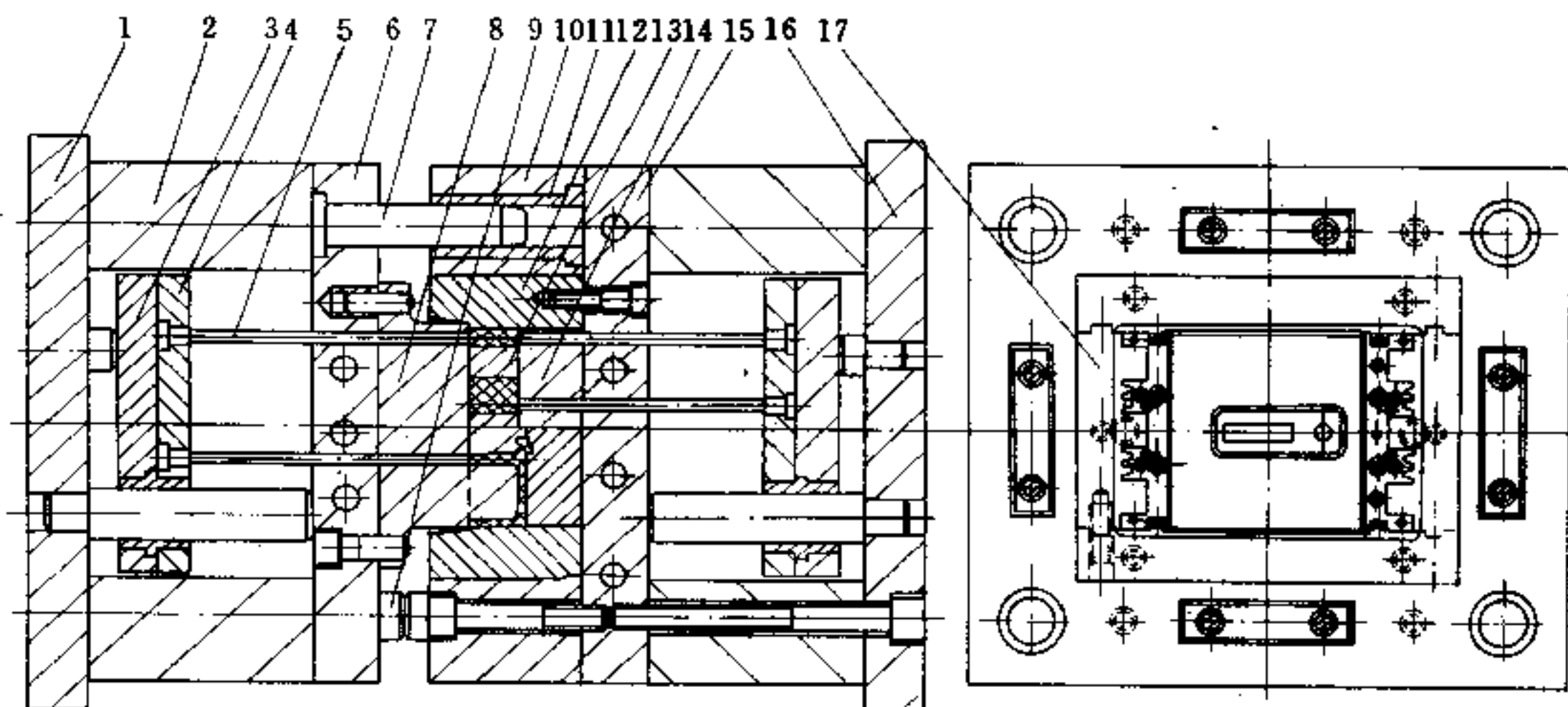


图 5.10-10 双脱模机构压模

- 1—上模板；2—支板；3—托板；4—推板；5—推杆；6、15—电热板；  
7—导柱；8—上模；9—承压板；10—模套；11—导套；  
12、17—拼块；13—嵌件；14—下模；16—下模。

### 参 考 文 献

- 1 成都科技大学等. 塑料成型模具. 北京: 轻工业出版社, 1982
- 2 李秦蕊主编. 塑料模具设计 (修订本). 西安: 西北工业大学出版社, 1988
- 3 机械工业部仪器仪表工业局. 塑料压注成型加工. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 4 李德群主编. 塑料成型工艺及模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 5 马金骏编. 塑料模具设计 (修订版). 北京: 轻工业出版社, 1984
- 6 本书编写组. 塑料模设计手册 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1994
- 7 陈中一. 热固性塑料模塑成型工艺. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1985
- 8 刘汉云. 塑料模具设计与制造. 南京: 江苏科技出版社, 1989
- 9 D.V. 罗萨托等. 现代塑料成形手册. 王以华等编译. 上海: 交通大学出版社, 1993
- 10 吴舜英, 徐敬一编著. 泡沫塑料成型. 北京: 化学工业出版社, 1992
- 11 Harry J. Du Bois and Wayne I. Pribble. PLASTICS MOLD ENGINEERING HANDBOOK. Van Nostrand Reinhold Company, 1978
- 12 林德宽, 冯少如主编. 塑料制件成型工艺及设备. 北京: 国防工业出版社, 1982
- 13 缪京媛, 叶牧编. 氟塑料. 北京: 化学工业出版社, 1987

# 第六章 传递模设计

## 6.1 传递成型特点

传递成型是热固性塑料除压缩成型之外的又一重要成型方法。它与压缩成型的相同之处是塑料供料都是在封闭的模腔内受热受压并固化交联形成制品；但又与压缩成型在许多方面有明显区别，也不同于热固性注塑成型。

### 6.1.1 成型方法及模具结构

传递成型又称压注成型，是将塑料供料加入加料室内经初步受热塑化后，在液压机压力作用下，通过压料柱塞将供料经浇注道压入封闭的模腔，在模腔内迅速固化，脱模后得到制品。

传递成型与压制成型的区别是：

(1) 模具的加料室不像压缩模那样是型腔的自然延伸，而是由浇注系统与型腔分开，成为一个单独部分，浇注系统是塑料从加料室进入型腔的必经通道。

(2) 塑料在加料室中，经过初步加热塑化，在压料柱塞作用下迅速流经浇注系统时又摩擦生热，进一步塑化流动，快速充入型腔并迅速固化，可以使固化周期比压缩成型时缩短（但仍长于注塑成型），提高生产效率，且塑件表面与内部固化均匀，有利于提高塑件性能，特别是电绝缘性能，也有利于壁厚不均匀塑件和形状复杂塑件以及厚壁塑件成型。

(3) 压料柱塞的压力不是直接作用在型腔中的塑料上，而是通过浇注系统向型腔传递压力，对型腔内的细小嵌件、型芯等，不易造成压弯变形等，有利于带细小嵌件、多嵌件和含细长小孔的塑件成型。

(4) 塑料进入型腔前型腔已闭合，可以使塑件的毛边少而薄，容易修整，也有利于保证尺寸精度，且物料对型腔磨损小，特别是对垂直于分型面的各表面磨损小，有利于成型精度要求较高的塑件。

(5) 塑料被压入型腔经过浇注系统时受到摩擦剪切作用，会使料内所含纤维状填料断裂，有损于塑件力学性能，特别是冲击强度。

(6) 传递成型的塑件收缩率大于压缩成型，且不同方向收缩率差别较明显，这是由于成型过程中纤维状填料取向之故，采用粉状填料时这一现象不明显。

(7) 传递成型适用的塑料供料形式，可以是粉状、粒状、碎屑状、浸有树脂的随机纤维状、团块状，但不适用于片状（SMC）。

(8) 传递成型比压缩成型要求压机提供更高的压力。

(9) 传递成型比压缩成型需要消耗较多塑料，因为每个成型周期中，加料室下端都

会留有残料，浇注系统亦占用部分塑料，这些料固化后不能再次使用。

### 6.1.2 充模流动特点

传递成型时物料的充模过程接近注塑成型的充模过程，与压缩成型时塑料对模腔挤压充满过程颇不相同。前者依靠已塑化的物料熔融流动充满模腔，后者靠尚未熔融的物料被挤压移动填满模腔。

由于热固性塑料成型时模具温度明显高于物料温度，物料与模壁接触处不会形成冻结凝固层而起绝热作用。模壁不仅不会使物料冷却降温，反而对物料有强烈加热作用，使物料粘度下降，流速增大，物料沿型腔横截面方向的流速不像热塑性塑料充模时那样呈抛物线形的分布，而是接近相等，只是紧贴模壁处的一薄层流速较小，如图 6.1-1 所示。因此，靠近模壁处速度梯度很大，快速流动的物料对浇注系统和型腔壁面有较大的摩擦作用，加之热固性塑料许多配方中含有大量颗粒状、细粉状、纤维状矿物填料，例如硅石粉、玻璃纤维等，对浇注系统和型腔会产生严重的冲刷磨损。



图 6.1-1 热固性塑料与热塑性塑料充模时流速分布比较

(a) 热固性塑料；(b) 热塑性塑料。

热固性塑料充模过程中，模壁向物料的加料对物料的流动性有两种相反作用，一方面增加分子链的热运动使粘度降低，增大物料流动性，另一方面又引起固化反应使粘度增大，降低物料流动性。因此，模温的恰当控制对物料充模过程和制品质量有颇大影响。模温偏低时，会因物料粘度大而充模不顺利并延长固化周期，或固化不完全，致使制品性能下降、翘曲变形等。若模温偏高，又会引起物料尚未充满模腔就过早产生固化反应，增粘过快，也会引起型腔填充不满，或引起塑件表面过度固化，使制品表面发暗，出现流纹等弊病。

热固性塑料固化交联过程中形成三维网状结构，不存在热塑性塑料成型过程中所产生的分子链取向和分子链的折叠堆砌所产生的结晶结构。一般而言，也不会出现热塑性塑料注塑成型中的喷射充模、熔体破裂等现象带来的弊端。但含有纤维状填料的热固性塑料充模过程中纤维却会产生取向，引起塑件力学性能和收缩率的各向异性。由于充模过程中的喷射流动，纤维取向方向总是与料流方向垂直。在浇口位置选取时，应充分考虑到纤维取向方向对塑件总体性能的影响。

## 6.2 传递模分类

传递模的总体结构取决于传递成型实施方法，传递成型实施方法又取决于所使用的成型设备。传递成型归纳起来有如下三种实施方法。

(1) 在普通液压机上进行传递。这种液压机是压缩成型所采用的液压机，只装备有一个工作油缸，兼起锁紧模具和对塑料施加传递压力的双重作用。与这种传递方法相应的传递模称料槽式传递模（又称罐式传递模）。

(2) 在专用的柱塞式传递液压机上进行传递。这种液压机装备有两个油缸，主油缸对模具锁紧，辅助油缸对塑料施以传递压力，主油缸吨位与辅助油缸吨位一般是(3~5):1,主油缸安装在压机下方，辅助油缸可以安装在上方，亦可安装在侧面(与主缸夹角90°)，或套装在主油缸之内。与这种传递方法相应的模具称柱塞式传递模。

(3) 用往复螺杆式挤出机进行传递。这种传递方法所用的挤出机安装在水平方向，与传递液压机的加料室相连，塑料从加料斗进入挤出机料筒，螺杆转动对塑料塑化，塑化后的塑料积聚在料筒内的螺杆前端，迫使螺杆在旋转的同时向后移动。当塑化的塑料达到要求数量时，进入加料室的通道打开，塑料被螺杆推入加料室，由柱塞挤压入模腔。与这种传递方法相应的模具称螺杆预塑式传递模。

以下对三种基本类型传递模的总体结构给以简要介绍。

### 6.2.1 料槽式传递模

料槽式传递模的加料室位于模具主体部分之上，设在型腔上方的一个专门零件上，因此，模具总体结构是三板式，加料室下端紧接主流道，通向型腔。对于单腔模具，一般只有一个主流道，但若塑件体积大或水平方向投影面积大，可以有均衡分布的若干个分流道。如果是一模多腔，可由主流道分枝出分流道通向各型腔，或由加料室向每个型腔各直接开设一个主流道。

料槽式传递模由于用在普通液压机上，对设备无特殊要求，目前我国应用较广。工作时，油缸推动压机的上压板对压料柱塞加压，压料柱塞将加料室内已初步塑化的塑料经浇注系统压入型腔，与此同时，压力也传递到加料室下方模具的主体部分，使分型面保持紧密闭合。为防止模具型腔分型面被进入型腔内的熔融物料挤开，即所谓的上模部分“抬模”问题，要求加料室水平投影面积必须大于型腔水平投影面积。

料槽式传递模按结构特点不同，又有移动式、固定式、活板式和楔形传递模之分。

#### 一、移动式传递模

图6.2-1是移动式料槽传递模结构示例。它的特点是加料室与模具主体部分未连接为一体，操作时可以与模具主体部分分开。成型后，先从模具上移开加料室，对加料室底部进行清理，同时打开模具脱出塑件。移动式模具适于重量较小的塑件。用于移动式传递模的压料柱塞是一个单独的活动件，一般不连接在压机的上压板上。

#### 二、活板式传递模

图6.2-2是活板式传递模。活板式传递模是移动式料槽传递模的一种特殊结构，它仅包括三个大的零件，加料室与型腔一同设置在模具主体部分成为一个零件，加料室位于型腔之上，是型腔的自然延伸，但水平投影面积大于型腔，与压制模中的半全压型(半封闭型)模具颇为相似。活板是模具的第二个大零件，放置在模具内将加料室与型腔隔开。浇注系统位于活板边缘与加料室侧壁之间。压料柱塞是模具的第三个大零件。此外，模具可以设置顶杆顶出塑件。塑件成型后与活板一同被顶出模具之外，再与活板分开，随后清理活板。一套模具可以配置两个活板交替使用，保证连续操作。

活板式传递模特别适用于塑件含有两端都外伸的细小嵌件时的成型，因为可以将嵌件一端固定在型腔底部的定位孔中，另一端固定在活板上的相应孔中，两端定位避免了嵌件的悬臂，有利于承受成型压力。活板式传递模也适用于小批量生产和新产品试制。



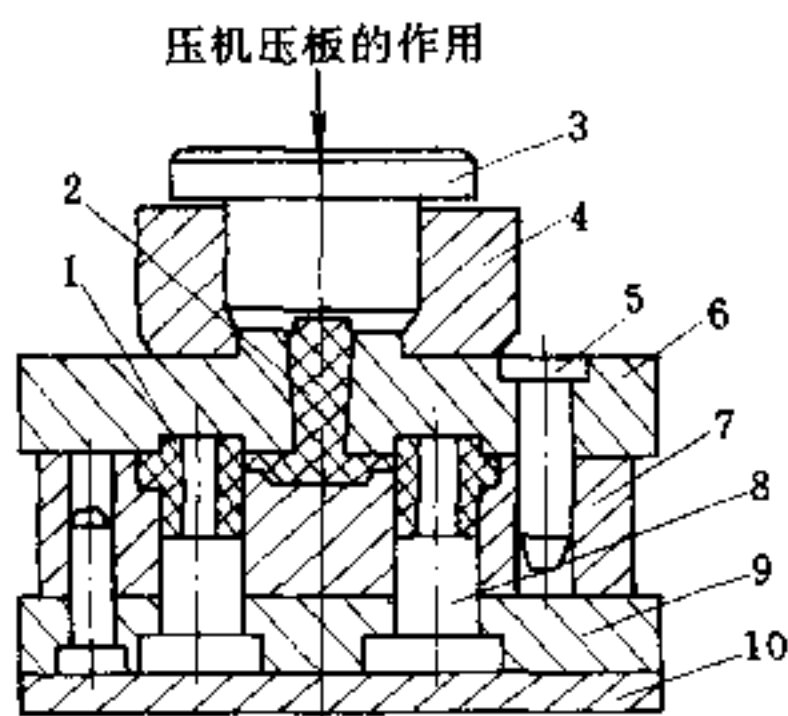


图 6.2-1 移动式料槽传递模

1—塑件；2—主流道；3—压料柱塞；  
4—加料室；5—导柱；6—上模板；7—型腔；  
8—型芯；9—下模板；10—垫板。

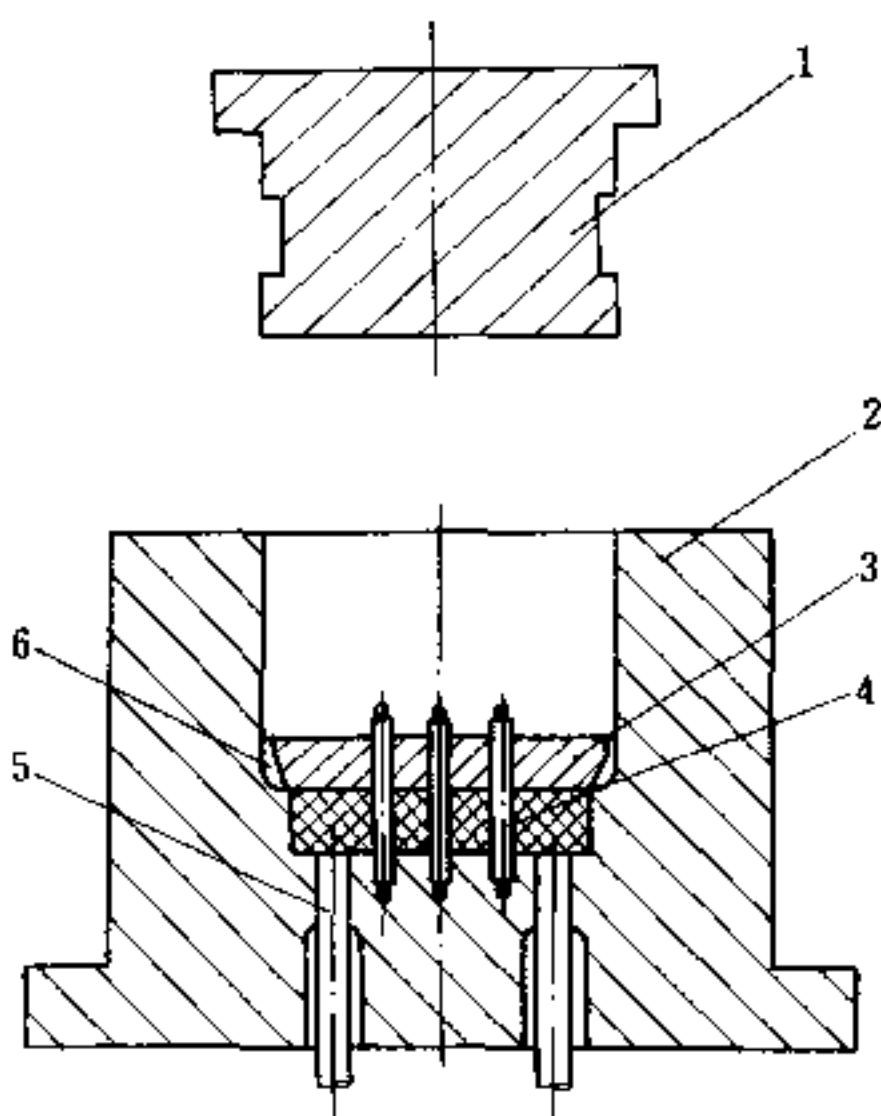


图 6.2-2 活板式传递模

1—压料柱塞；2—凹模（内含加料室与型腔）；  
3—活板；4—嵌件；5—顶杆；6—浇口。

### 三、固定式传递模

图 6.2-3 是固定式料槽传递模。固定式料槽传递模一般是将模具的压料柱塞与压机的上压板相连，而将加料室与模具主体部分的上模部分连接为一体，模具的下模部分固定在压机下压板上。模具打开时，加料部分悬挂在压料柱塞和下模之间，以便取出塑件并清理加料室。固定式传递模适于较大制品的生产。

### 四、楔形传递模

料槽式楔形传递模是成型需要侧向分型的塑件所常采用的一种传递模，图 6.2-4 是楔形传递模结构示意。它的特点是将加料室与型腔同时设置在两个互相拼合的楔形块上，再将两楔形块装入模套合紧。设计这种楔形传递模，要正确处理加料室水平投影面积、型腔侧投影面积和楔形块楔角三者的关系，方可避免成型过程中的“抬模”——楔形块沿斜面的上滑问题。

### 6.2.2 柱塞式传递模

柱塞式传递模所用液压机是专为传递成型而设计的。由于锁紧模具和挤压物料分别由两个独立的油缸完成，使模具结构与料槽式传递模有颇大不同。其主要不同是：

(1) 推挤物料的力不再兼起锁紧模具的作用，加料室也就无须再位于模具主体部分之外，使模具总体结构由料槽式传递模时的三板式变成现在的两板式。

(2) 加料室位置的改变使主流道消失，因为现在的加料室正好位于原料槽式传递模时的主流道位置，将原来的主流道扩大成现在的加料室。主流道的消失减少了材料的消耗，也减少了清除加料室底部的时间。

(3) 对加料室的水平投影面积无特殊要求，仅要求加料室容积能满足塑件成型即

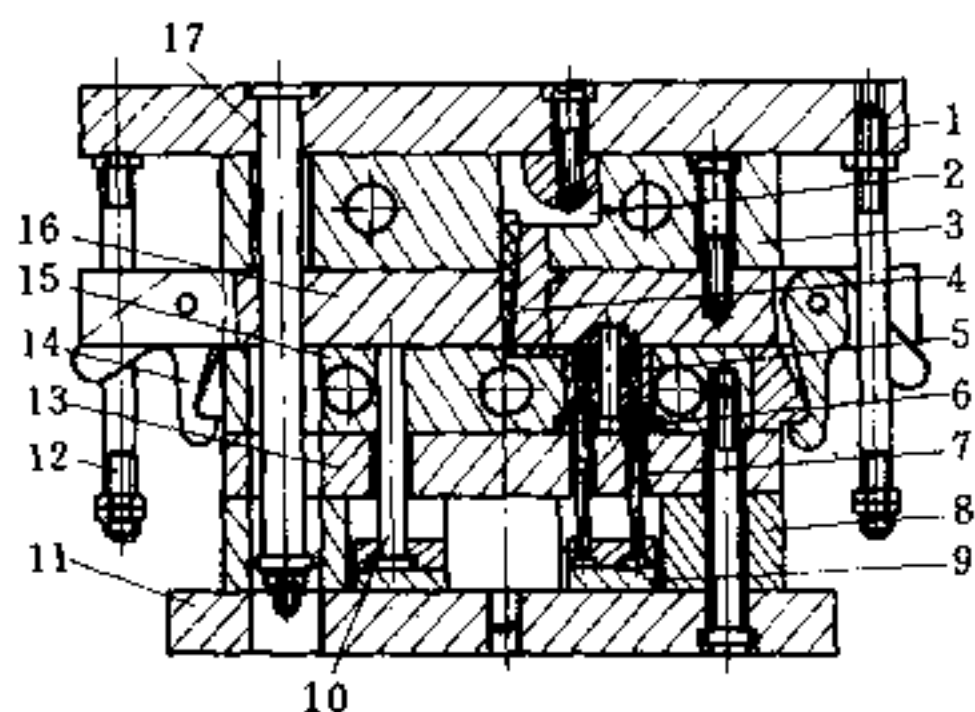


图 6.2-3 固定式料槽传递模

- 1—上模板；2—压料柱塞；3—加料室；4—主流道套；  
5—型芯；6—型腔；7—顶杆；8—垫块；  
9—顶板；10—复位杆；11—下模板；12—拉杆；  
13—垫板；14—拉钩；15—型芯固定板；  
16—上凹模板；17—定距拉杆。

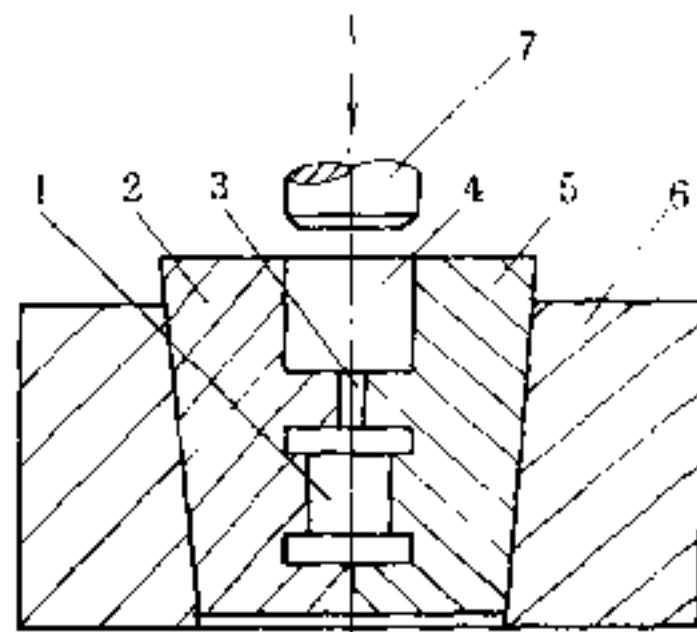


图 6.2-4 料槽式楔形传递模

- 1—型腔；2—左楔形块；3—主流道；4—加料室；  
5—右楔形块；6—模套；7—压料柱塞。

可。只要主油缸吨位大于型腔内的总压力，就不会发生分型面处闭合不紧的问题。

模具结构的改变也使成型工艺有所差别，因为塑料从加料室被推挤入型腔时，虽无流经主流道时那样大的阻力，可以减小所需推挤压力，但也没有流经主流道时的那种摩擦加热作用，故一般需采用经过预热（最好是高频预热）的物料，增加物料的流动性和进入型腔后的固化速率。采用柱塞式传递模，一般说比料槽式传递模有较高的生产效率。

柱塞式传递模结构一般都是固定式，压料柱塞与传递油缸的活塞相连，加料室嵌入模具主体部分之中。对于传递柱塞位于上方的液压机，加料室嵌入上模内，位于模具主分型面之上，如图 6.2-5 所示，称上柱塞式传递模。对于传递油缸套装在主油缸之内的液压机，加料室嵌入下模内，位于模具主分型面之下，如图 6.2-6 所示，称为下柱塞式传递模。

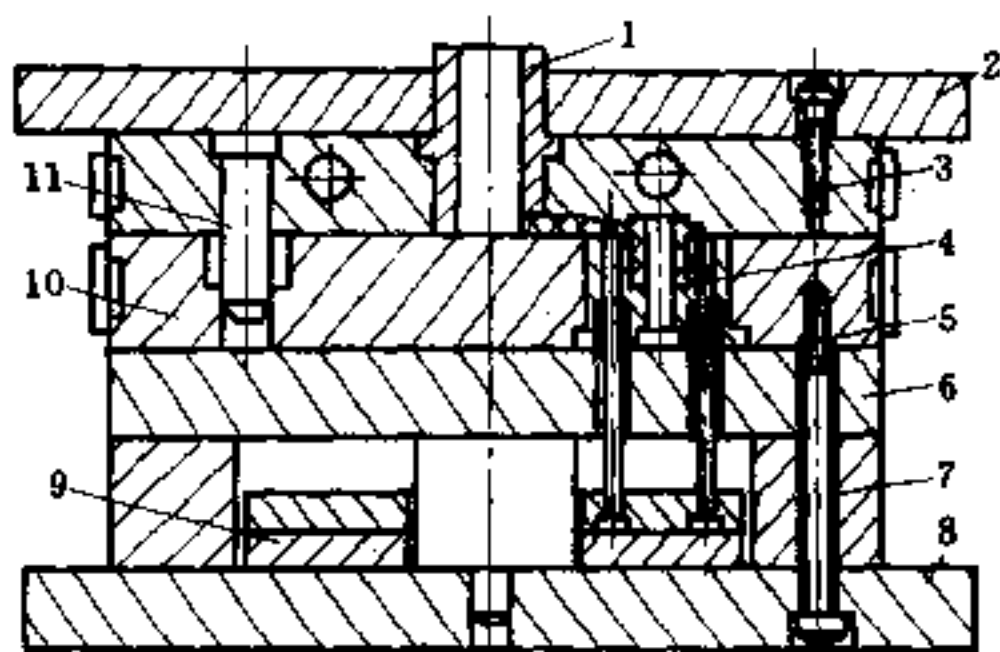


图 6.2-5 上柱塞式传递模

- 1—加料室；2—上模板；3—上凹模板；  
4—型腔；5—顶杆；6—垫板；7—垫块；8—下模板；  
9—顶板；10—型腔固定板；11—导柱。

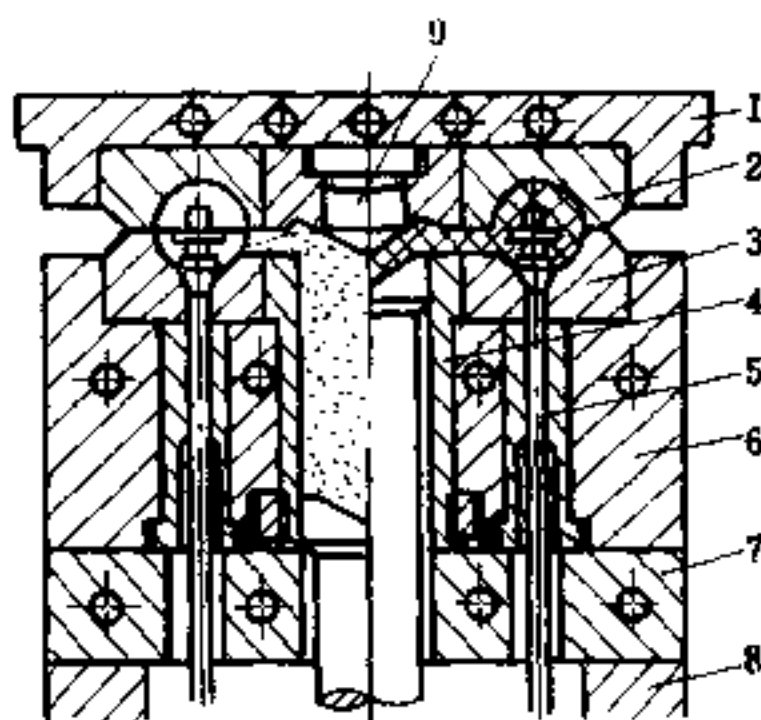


图 6.2-6 下柱塞式传递模

- 1—上模板；2—上凹模；3—下凹模；  
4—加料室；5—顶杆；6—下模板；  
7—加热板；8—垫块；9—分流锥。

上柱塞式和下柱塞式传递模各有优缺点。上柱塞式传递模的优点是当将塑料加入加料室后，塑件的成型周期较短，因为加料时模具已处于闭合状态。缺点是加料常常比较困难，因为加料室与连接在传递油缸活塞上的压料柱塞之间的空间较小。下柱塞式传递模正好相反，加料比较容易，因为加料时模具主分型面是打开的，有较大开距，但装料后的成型周期较长，因为首先需要闭模，然后柱塞才能推挤物料进入型腔。

辅助油缸安装在与主油缸成  $90^\circ$  夹角的侧位的液压机上使用的传递模称侧柱塞式传递模，应用很少，主要用于需要从主分型向型腔内射料的塑件。理论上，采用这种侧柱塞式传递模的成型，可以最充分地利用合模面积。但实际上，除非所用的塑料很软，流动性很好，传递压力也很低，否则会由于浇口附近的局部不平衡压力，会引起模具弹起和产生毛边。

柱塞式传递模在我国目前应用得比料槽式传递模要少，主要原因是专用于传递成型的液压机比较缺乏。侧位柱塞式传递模应用更少。

### 6.2.3 螺杆预塑式传递模

螺杆预塑式传递模的结构与下柱塞式传递模有些相似，加料室位于模具主体的下模部分，但与下柱塞式传递模的区别是加料室侧壁带有与螺杆预塑挤出机料筒相连的孔。图 6.2-7 是一个螺杆预塑式传递模与挤出机相连的结构简图。目前，螺杆预塑式传递成型在我国应用尚少，相应的模具结构实例也很少。

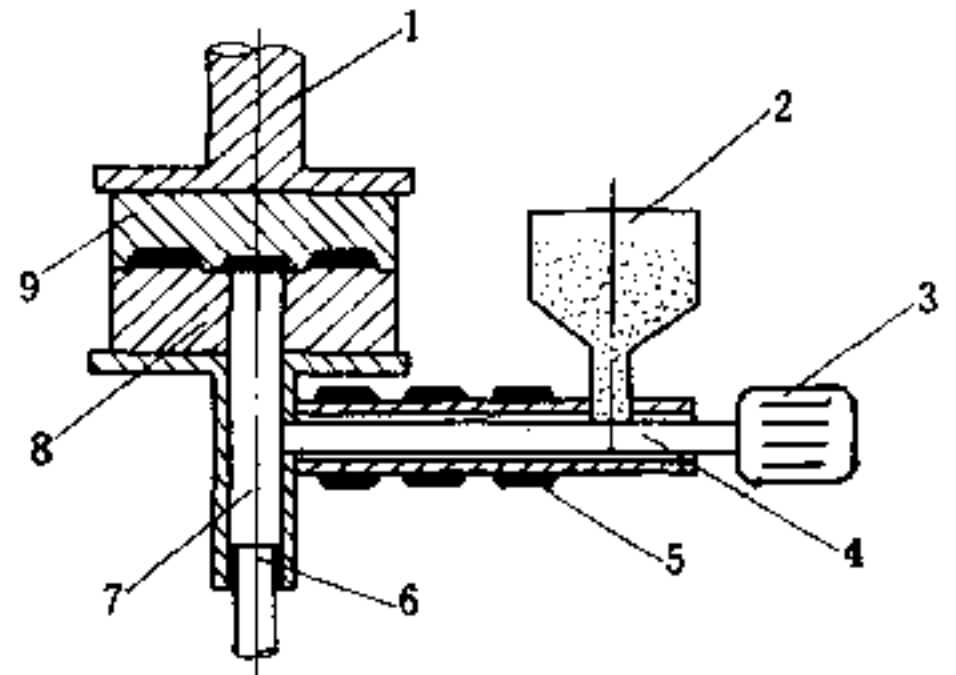


图 6.2-7 螺杆预塑传递模与挤出机连接简图

- 1—主缸活塞；2—料斗；3—驱动电机；  
4—预塑螺杆；5—加热圈；6—传递柱塞；  
7—加料室；8—下模；9—上模。

## 6.3 传递模设计

传递模的组成部分包括：(1) 加料室和压料柱塞；(2) 成型零部件如型腔、型芯、成型镶块、螺纹成型零件等；(3) 结构零部件如导柱导套、连接螺钉、顶出机构、抽芯机构；(4) 浇注系统和排气系统；(5) 加热冷却系统等。成型零部件、结构零部件、加热冷却系统等与热固性塑料压制模和注塑模的结构形式及设计要求基本相同。传递模的加料室是独立于型腔之外的单独零件，与压模加料室有明显区别，压料柱塞也是传递模所独有的，浇注系统与热固性塑料、热塑性塑料注塑模的浇注系统都有所差别。因此，对传递模的设计，只要了解了这些部分的设计，也就了解了整个传递模的设计。

### 6.3.1 加料室设计

传递模的加料室结构因模具类型不同而有所差异。料槽式传递模加料室与柱塞式传递模有所不同。料槽式传递模中，移动式模具与固定式模具又有所不同，楔形料槽式传递模加料室的设计又有特殊要求。

## 一、料槽式传递模加料室

### 1. 移动式料槽传递模

移动式料槽传递模的加料室是一个位于模具主体部分之外的单独零件，放置在上模板之上，操作时可以从模具上取下。

#### (1) 加料室形状

加料室横截面形状一般应取圆形，加工容易。但对于一模多腔的加料室，为有利于覆盖所有模腔，便于主流道开设，也可以采用矩形横截面加料室，或将矩形两短边改变成半圆弧的加料室。采用矩形截面时，矩形四角应带有较大圆角。

加料室可以与主流道设计在同一零件上，也可以分别设计在两个零件上。矩形加料室多采用与主流道设计在同一零件上的方法，这时加料室底部为平面，只有转角处带有圆角。圆形加料室多采用与主流道分设在两个零件上的方法，主流道开设在上模的第一块模板上，而加料室底部是开通的。开通的底部与侧壁接壤处应带有环形斜面，斜面一般应取  $30^\circ$  左右。环形斜面水平投影面积应大于开通部分面积，这样可以在向加料室物料施压时，防止熔融物料挤入加料室与上模板之间，使加料室向上抬升。移动式料槽传递模加料室如图 6.3-1 所示。

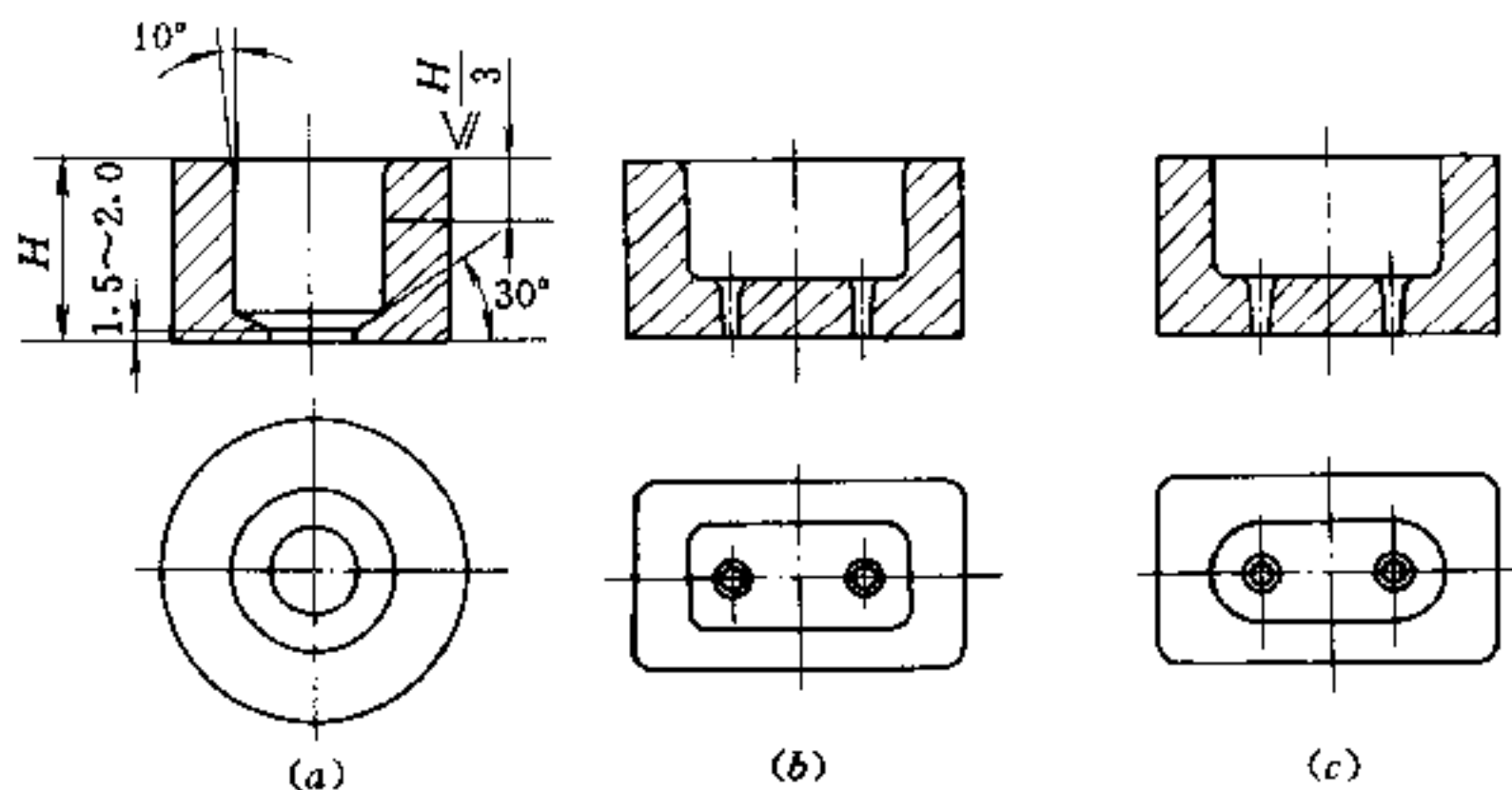


图 6.3-1 移动式料槽传递模加料室

(a) 圆形；(b) 矩形；(c) 变异矩形。

#### (2) 加料室尺寸

加料室容积应能保证成型所需的加料量并留有裕量，应考虑到成型中浇注系统和加料室底部残料对塑料的消耗，加料室上口应留有适当高度的导向段。

加料室水平投影面积应大于模具主分型面处型腔加浇注系统的水平投影面积，方可保证型腔的紧密闭合。根据生产实践，应按下式计算加料室水平投影面积：

$$A = (1.1 \sim 1.25) A_M \quad (6.3-1)$$

式中  $A$ ——加料室水平投影面积；

$A_M$ ——主分型面处型腔与浇注系统投影面积之和。

加料室水平投影面积确定后，应对加料室单位面积传递压力按下式进行校核：

$$q = \frac{T}{A} \quad (6.3-2)$$

式中  $q$ ——加料室内实际单位面积传递压力 (MPa);

$T$ ——所选液压机吨位 (kN)。

应使  $q \geq P$  (6.3-3)

式中  $P$ ——塑料成型所需单位面积传递压力 (MPa), 见表 6.3-1。

加料室高度按下式计算:

$$H = \frac{(V_1 n + V_2) \rho \nu}{A} + (0.8 \sim 1.5) \text{ cm} \quad (6.3-4)$$

式中  $H$ ——加料室高度 (cm);

$V_1$ ——每个塑件体积 ( $\text{cm}^3$ );

$n$ ——每模成型塑件数量;

$V_2$ ——浇注系统与加料室底部残料体积之和 ( $\text{cm}^3$ );

$\rho$ ——塑件密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\nu$ ——塑料供料比容 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )。

由于  $\rho \nu = K$

式中  $K$ ——塑料供料的体积系数 (即压缩比)。

因此, 式 (6.3-4) 可改写为:

$$H = \frac{(V_1 n + V_2) K}{A} + (0.8 \sim 1.5) \text{ cm} \quad (6.3-5)$$

表 6.3-1 若干热固性塑料所需单位面积传递压力

塑料名称	填料类型	$P/\text{MPa}$
酚醛塑料	木粉	60~70
	玻璃纤维	80~100
	碎布	70~80
三聚氰胺塑料	矿物	70~80
	石棉纤维	80~100
环氧塑料		4~100
硅酮塑料		4~100
脲醛塑料		70
DAP		50~60

加料室应具有足够的壁厚, 保证在压料柱塞对加料室施压时的强度和刚度, 但又不至于过分笨重。表 6.3-2 是加料室外形尺寸与加料容积以及水平投影面积之间关系的经验数据。

### (3) 加料室定位方式

表 6.3-2 加料室外形尺寸

料室容 积/cm <sup>3</sup>	料室水平 投影面积 /cm <sup>2</sup>	料室各尺寸/mm							
		D	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	H	h	R
20.6	7.0	105	30	24	70	6	30	10	40
27.5	9.6	105	35	28	70	6	30	10	40
43.6	12.6	105	40	32	70	6	35	10	40
77.3	19.6	105	50	40	70	6	40	10	40
109	28.3	125	60	50	90	8	40	10	55
170.7	38.5	125	70	60	90	8	45	15	55
223	50.2	140	80	70	100	8	45	15	55

所有移动式料槽传递模加料室的位置在水平投影面上都应位于中心，才能使模具承受均衡的压力。由于加料室独立于模具主体部分之外且与其无刚性连接，只有当上模的模板上无安装嵌件的孔或其他孔时，才允许无严格定位，一般情况下都必须与上模模板有可靠定位。加料室定位可采用如下几种方式：

a. 销钉定位。在加料室下端底面装上2~3个销钉，在上模模板上相应位置打几个定位孔，工作时将加料室底面销钉对准定位孔插入即可，如图6.3-2所示。销钉定位时的配合不必太严，允许有0.5~1mm的配合间隙，这样使用起来比较方便，缺点是定位孔内有时可能进入塑料，必须在操作一段时间后加以清理。

b. 外形定位。可以利用加料室的外部径向尺寸定位，具体方法有两种，一种是在上模模板装上两个销钉，使其间距恰好等于加料室外径尺寸，工作时将加料室放入两个销钉之间即可，如图6.3-3(a)所示。这种方法比图6.3-2中的销钉定位更方便。另一种方法是在上模模板的上平面加工出一凹槽，使之与加料室外径配合，如图6.3-3(b)所示。

c. 内形定位。在上模模板上设计出一圆形凸台，高度3~5mm，加料室内腔下端留有3~5mm圆柱形配合面，使两者为H9/f9配合。这种定位方法效果最好，兼有防止塑料从加料室下端溢出的作用，如图6.3-4所示。

## 2. 固定式料槽传递模

固定式料槽传递模的加料室与上模连接成为一体，加料室内腔底部开设出主流道穿过上模板通向型腔。由于加料室与上模板是两个零件，为防止物料钻入两板接触面的缝隙中，应增设主流道衬套，如图6.3-5所示。

固定式料槽传递模的水平投影面积、高度尺寸计算以及加料室内单位传递压力校核与移动式传递模相同。

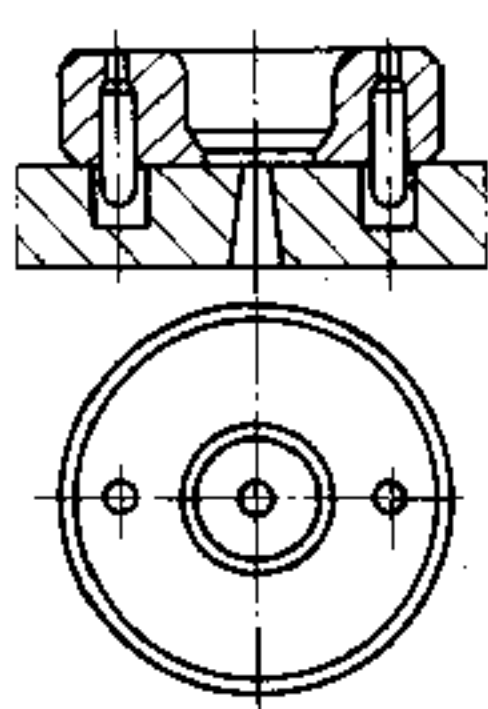


图 6.3-2 加料室的销钉定位

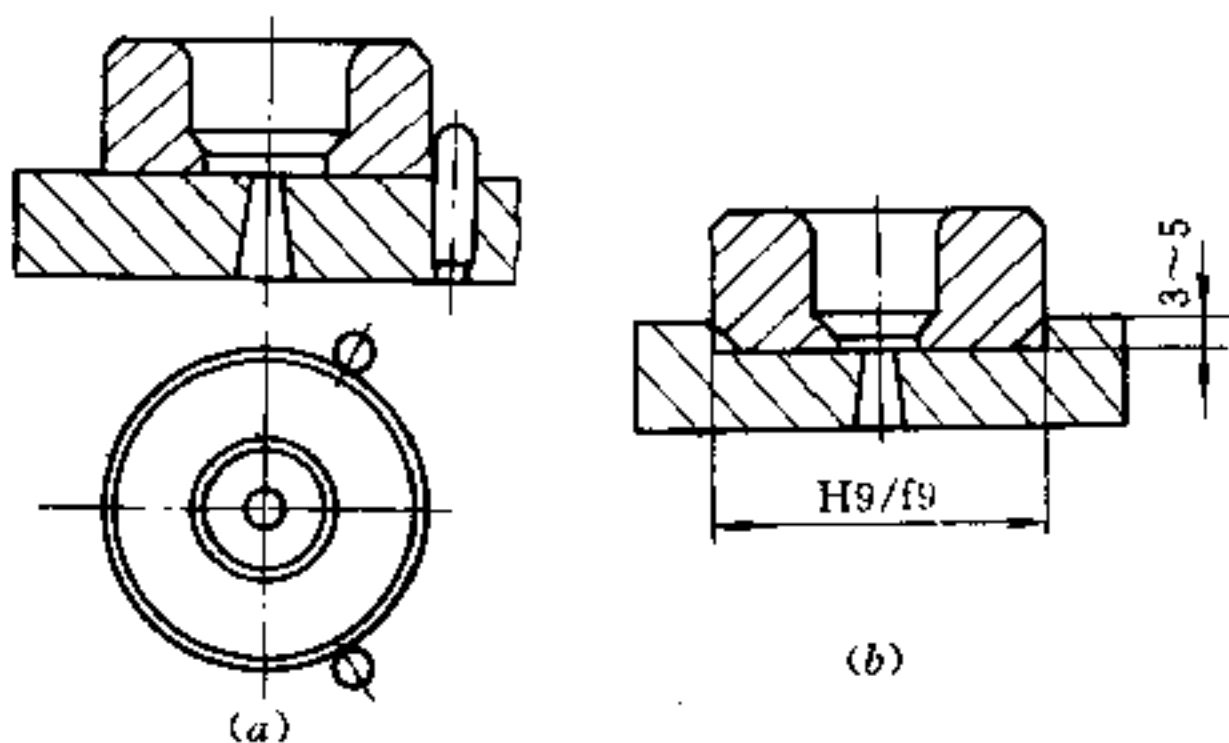


图 6.3-3 加料室的外形定位法

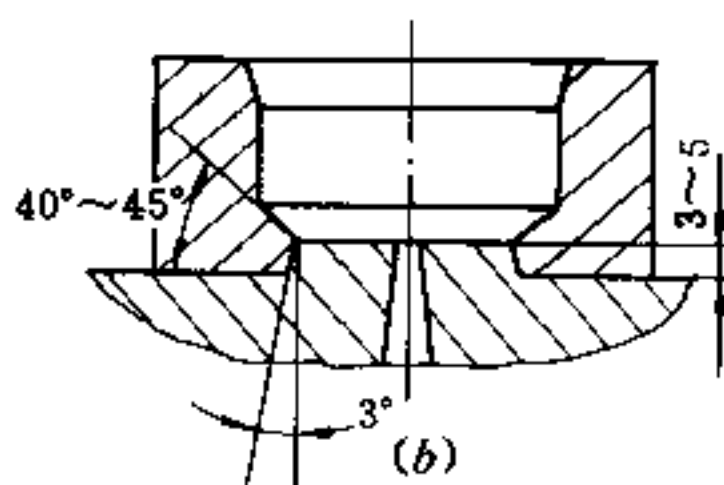
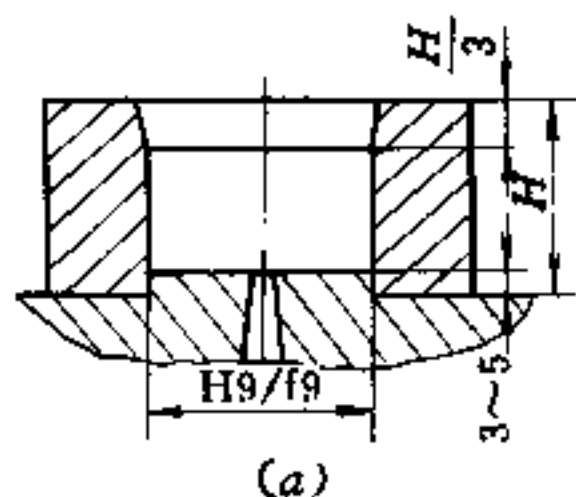


图 6.3-4 加料室的内形定位法

### 3. 楔形料槽传递模

需要侧向分型的料槽式传递模，常常采用楔形结构，将加料室与型腔同时设置在互相拼合的两半楔形块上再放入模套（见图 6.2-4），这样可以减少模具零件，简化结构。对于楔形传递模，加料室水平投影面积的设计必须考虑到与型腔侧投影面积以及楔形块楔角的关系，方可避免工作时楔形块沿斜面向上滑动的“抬升”问题。如果对两半个楔形块中其中任一块进行受力分析，如图 6.3-6 所示，则可以得出如下关系：

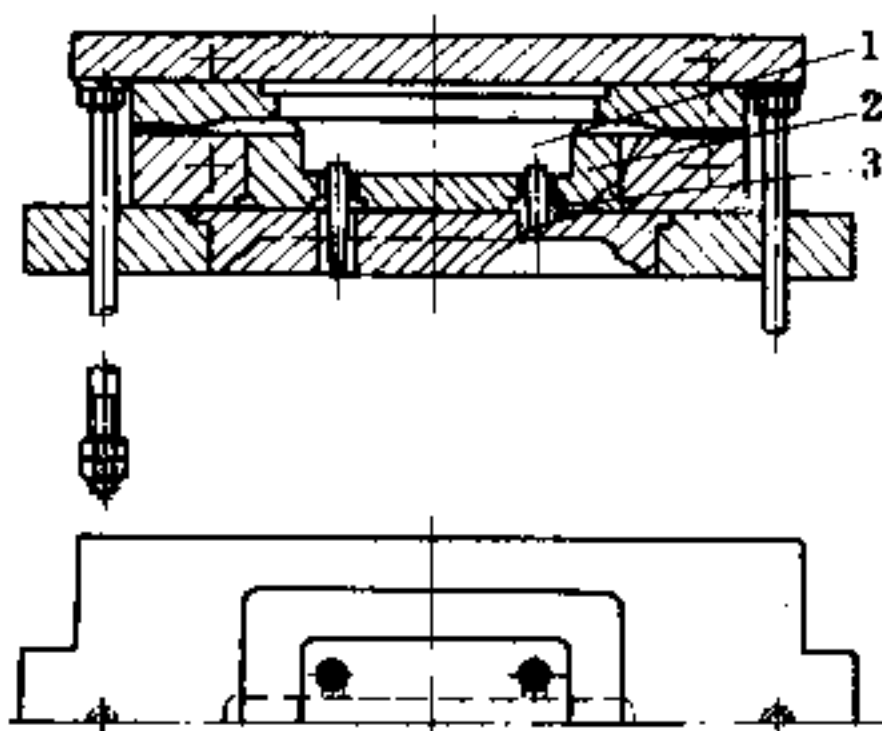


图 6.3-5 固定式料槽传递模加料室  
1—压料柱塞；2—加料室；3—主流通套。

$$S_P \geq 2 \left[ \frac{S_M}{\cot(\theta - \phi)} - \frac{W}{q} \right] \quad (6.3-6)$$

式中  $S_P$ ——加料室水平投影面积；

$S_M$ ——型腔侧投影面积；

$\theta$ ——楔形块楔角；

$\phi$ ——楔形块斜面摩擦角，在一般设计所选用的表面粗糙度下， $\phi = 8.5^\circ$ ；

$W$ ——楔形块重量；

$q$ ——型腔内塑料比压。

由于对于一般的模具，楔形块重量与型腔内的塑料比压相比小 1~2 个数量级，使



式 (6.3-6) 括号内第二项甚小, 可以略去不计, 这样使算得的加料室水平投影面积更安全。这样一来, 式 (6.3-6) 可以改写为:

$$S_P \geq \frac{2S_M}{\cot(\theta - \phi)} \quad (6.3-7)$$

或改写为:

$$\frac{S_P}{S_M} \geq \frac{2}{\cot(\theta - \phi)} \quad (6.3-8)$$

对式 (6.3-8) 可分析如下:

(1) 当  $\theta \leq \phi$  时, 即将楔块楔角选取在不超过摩擦角以内时, 比值  $S_P/S_M$  可以取得很小, 即设计时可以不考虑加料室水平投影面积与型腔侧投影面积的关系, 因为这时模具处于自锁状态, 不会出现楔形块的台升问题。

(2) 当  $\theta > \phi$  时, 必须严格按式 (6.3-7) 计算加料室水平投影面积, 防止楔形块台升。

依据式 (6.3-8), 可以将楔形块楔角  $\theta$  与允许的  $S_P/S_M$  范围列成表格, 供设计时查用。

表 6.3-3 楔角  $\theta$  与  $S_P/S_M$  允许值关系

楔角 ( $\theta$ )	$\leq 8.5^\circ$	$9^\circ$	$10^\circ$	$11^\circ$	$12^\circ$	$13^\circ$	$14^\circ$
$\frac{S_P}{S_M} \geq$	无限制	0.0175	0.053	0.088	0.124	0.159	0.196
楔角 ( $\theta$ )	$15^\circ$	$16^\circ$	$17^\circ$	$18^\circ$	$19^\circ$	$20^\circ$	
$\frac{S_P}{S_M}$	0.233	0.270	0.303	0.345	0.385	0.417	

## 二、柱塞式传递模加料室

### 1. 加料室形状和尺寸

柱塞式传递模加料室的横截面形状皆为圆形。由于模具锁紧由主油缸完成, 加料室水平投影面积的确定可以不考虑模腔水平投影面积的大小, 只要加料室容积能满足成型要求即可, 故一般地说, 加料室水平投影面积比料槽式传递模面积小, 而高度较大。加料室水平投影面积, 系根据辅助油缸吨位和所使用的塑料要求的单位面积传递压力来确定的:

$$A \leq \frac{T_A}{P} \quad (6.3-9)$$

式中  $A$ ——加料室水平投影面积 ( $m^2$ );

$T_A$ ——辅助油缸吨位 (kN);

$P$ ——所用塑料要求的单位面积传递压力 (MPa), 由表 6.3-1 选定。

水平投影面积确定后, 加料室高度  $H$  由式 (6.3-4) 或式 (6.3-5) 确定。

对于柱塞式传递模, 应该校核型腔和浇注系统水平

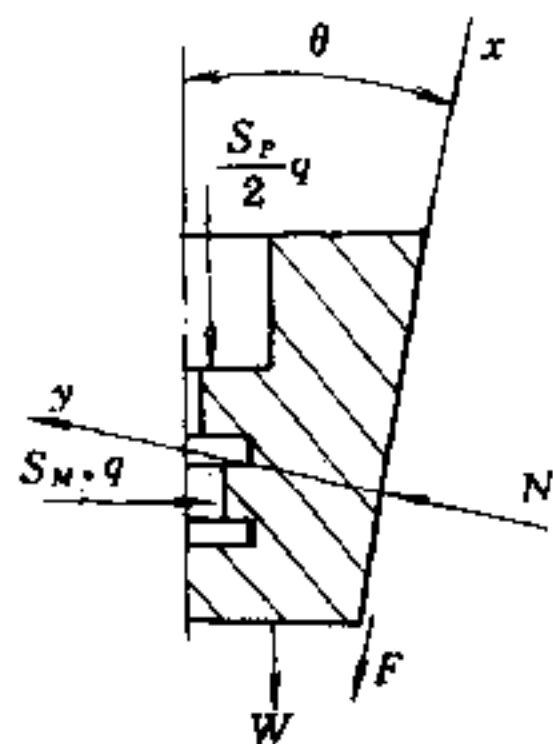


图 6.3-6 楔形块受力图

$N$ —模套对楔形的反力;

$F$ —压料柱塞对塑料加压时, 加料室底面压力之半;

$S_P$ —加料室水平投影面积;

$q$ —加料室和型腔内塑料比压;

$S_M \cdot q$ —型腔中塑料对楔形块侧向压力;

$S_M$ —型腔侧投影面积;

$W$ —楔形块重量;  $\theta$ —楔形块楔角。

投影面积之和是否在主油缸允许范围之内：

$$A_M \leq \frac{T_c}{q} \cdot K_c \quad (6.3-10)$$

式中  $A_M$ ——型腔与浇注系统水平投影面积 ( $m^2$ )；

$T_c$ ——主油缸吨位 (kN)；

$q$ ——型腔内塑料单位面积成型压力 (MPa)，可近似按表 6.3-1 取值；

$K_c$ ——安全系数，0.8~0.9。

## 2. 加料室安装方法

柱塞式传递模加料室也设计成一个单独部件，再嵌入模具主体部分之中，工作过程中不能、也不需要取下。上柱塞式和下柱塞式传递模分别嵌入上模部分和下模部分，如图 6.2-5 和图 6.2-6 所示。加料室与模具常用的固定方法有两种，一种是加料室上端外圆柱面带有螺纹，用螺母锁紧到模具上，如图 6.3-7 (a) 所示；另一种是加料室外圆柱面上设计出凸台，上面再复以上模板，如图 6.3-7 (b) 所示。

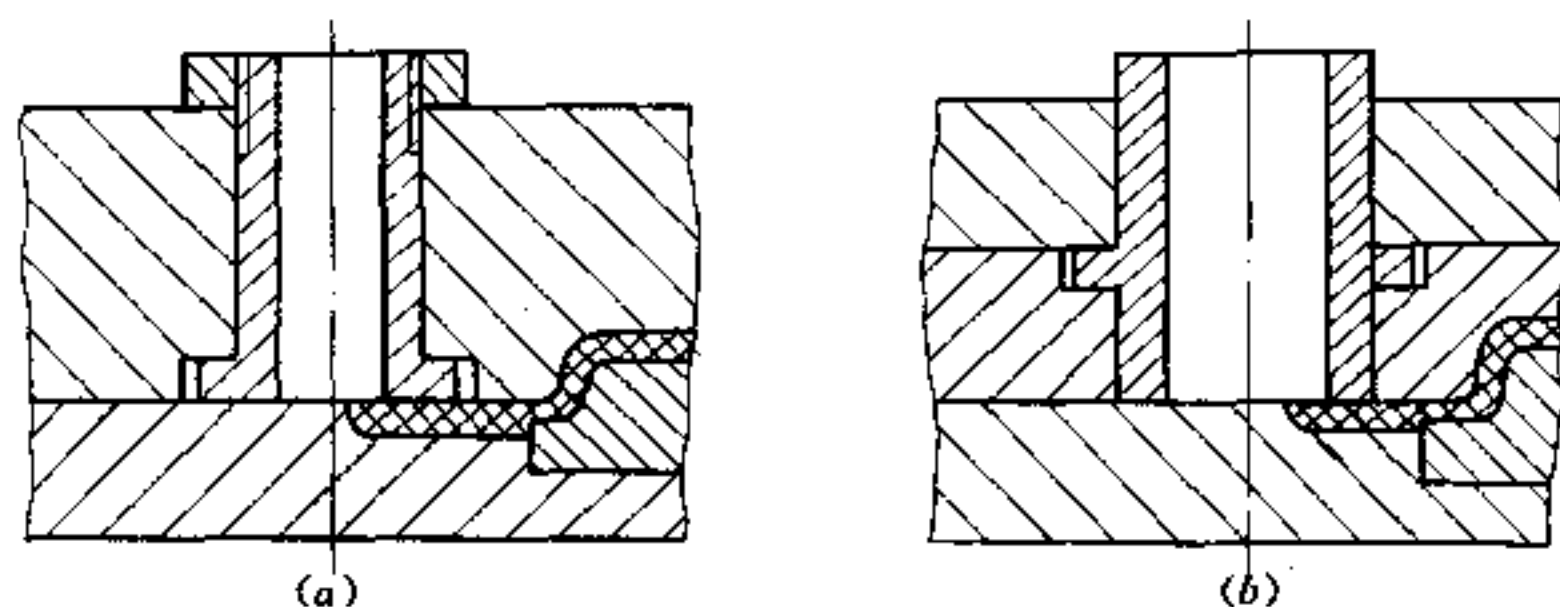


图 6.3-7 柱塞式传递模加料室安装方法

## 6.3.2 压料柱塞设计

压料柱塞的作用是将压机的压力传递给加料室内的塑料，将塑料压入型腔，同时也兼起防止塑料在压力下从加料室内溢出，将固化后的流道废料从塑件上分离的作用。

### 一、压料柱塞形状及安装形式

压料柱塞的横截面形状随加料室横截面形状而定，对于料槽式传递模，可以是圆形，也可以是矩形或变异矩形（如图 6.3-1 (c) 所示）。对于柱塞式传递模，皆为圆形。

移动式料槽传递模的压料柱塞可以是简单圆柱体或四棱柱体，四棱柱体的四棱边应带有与相应加料室协调的圆角，如图 6.3-8 (a) 所示。柱塞上端也可以带有凸肩，带有凸肩的柱塞承压面较大，工作时传递压力平稳，也便于操作和观察，如图 6.3-8 (b) 所示。

固定式料槽传递模的压料柱塞安装在压机的上压板上使用。为便于安装固定，柱塞上端带有安装底板。安装底板与柱塞主体部分可以采用图 6.3-9 所示的两种连接形式，也可以采用图 6.3-8 (b) 所示的凸肩形式，但应使凸肩具有较大径向尺寸，便于压机固定。

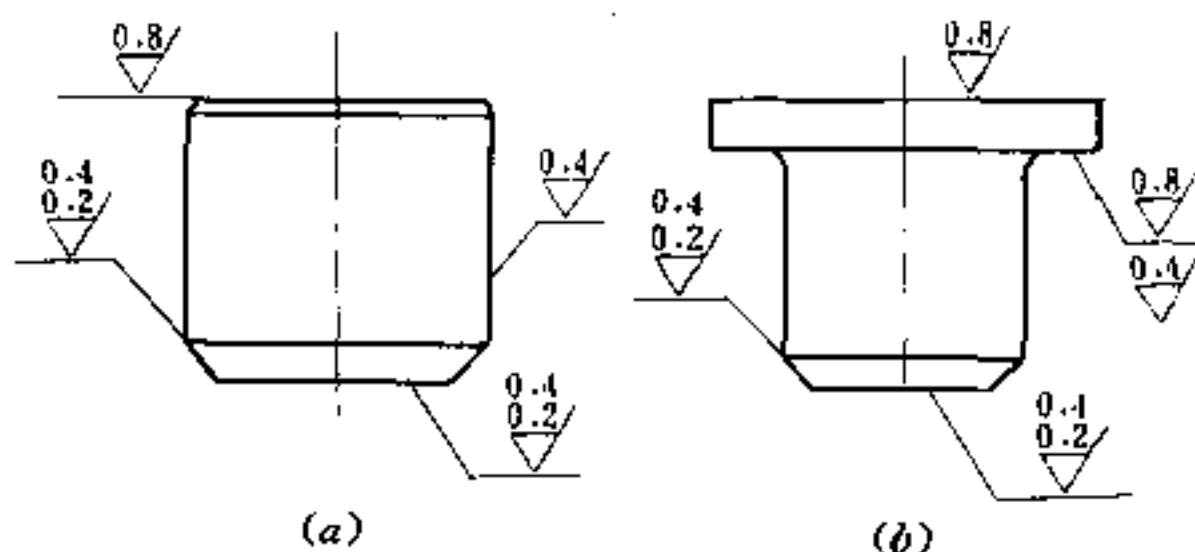


图 6.3-8 移动式料槽传递模的压料柱塞

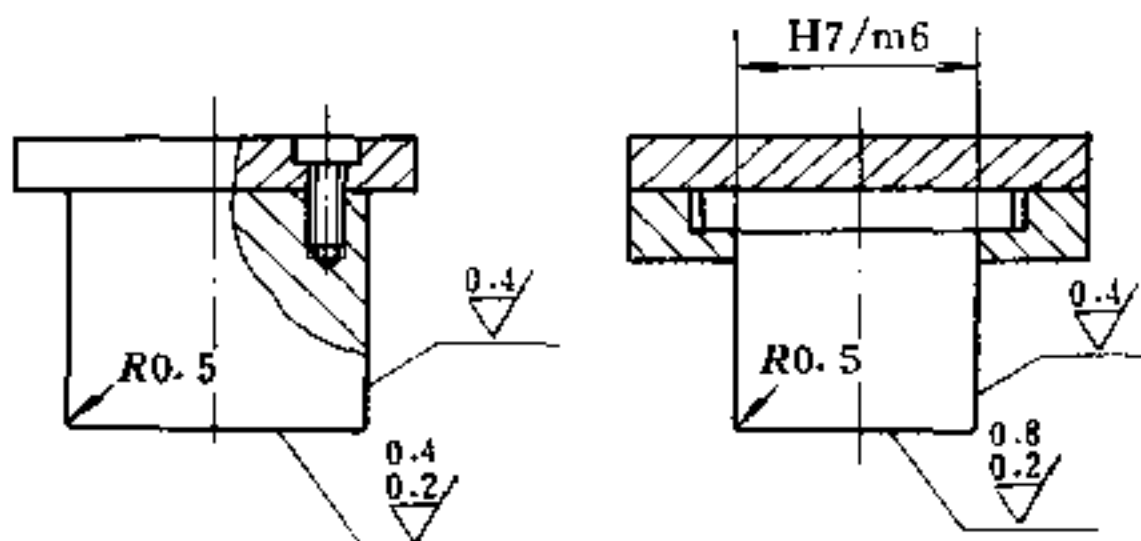


图 6.3-9 固定式料槽传递模的压料柱塞

柱塞式传递模的压料柱塞安装在传递油缸的活塞杆上使用，因此柱塞非平面的一端带有阳螺纹，可以直接旋入传递油缸活塞端面的螺孔中，如图 6.3-10 所示。

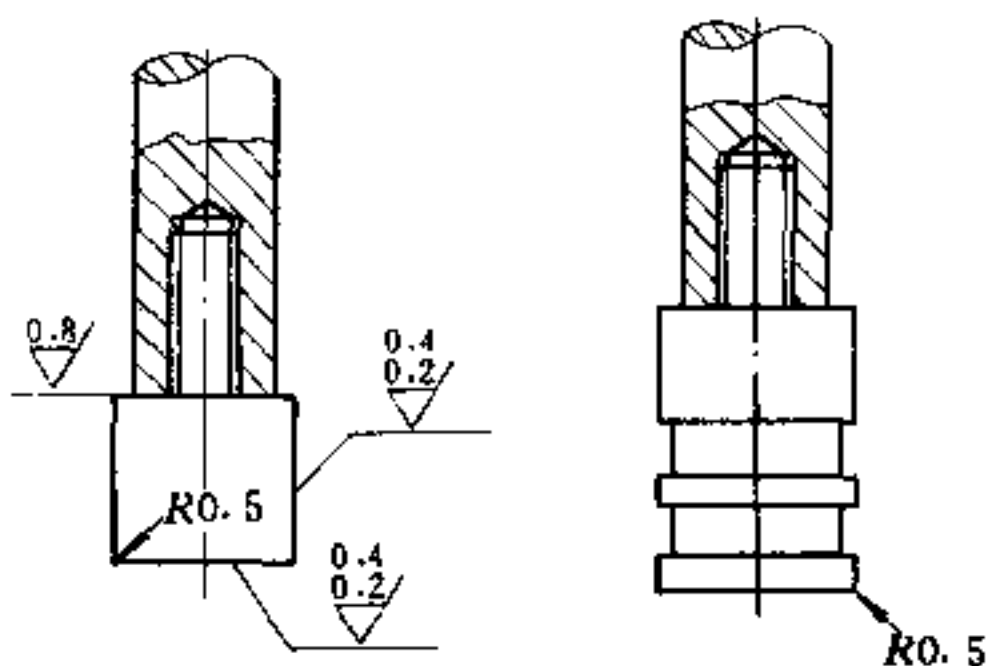


图 6.3-10 柱塞式传递模的压料柱塞

## 二、压料柱塞设计要求

柱塞与加料室径向尺寸之间应具有恰当的配合，应能防止施压过程中加料室内塑料的溢出，又可以避免二者之间的摩擦磨损。对于直径较小的柱塞，与加料室的径向配合单边间隙的最佳值应是 0.05~0.08，直径较大的柱塞或矩形横截面柱塞，与加料室单边配合间隙最佳值应是 0.10~0.13。为有效地防止加料室内塑料溢出，可在柱塞靠近工作端面的侧面加工出 1~2 个环形溢料密封槽，密封槽宽度 4~5mm，深度 1.5~2mm，如图 6.3-11 所示。当柱塞第一次工作时，塑料充满密封槽内起到密封作用，尔后的每个工作周期中，就不会再有塑料从加料室内溢出，同时也防止了塑料对柱塞的粘着，减少了清理的麻烦。

为了将固化的主流道废料从塑料上拉断，可以在柱塞工作端面设计出楔形燕尾槽，

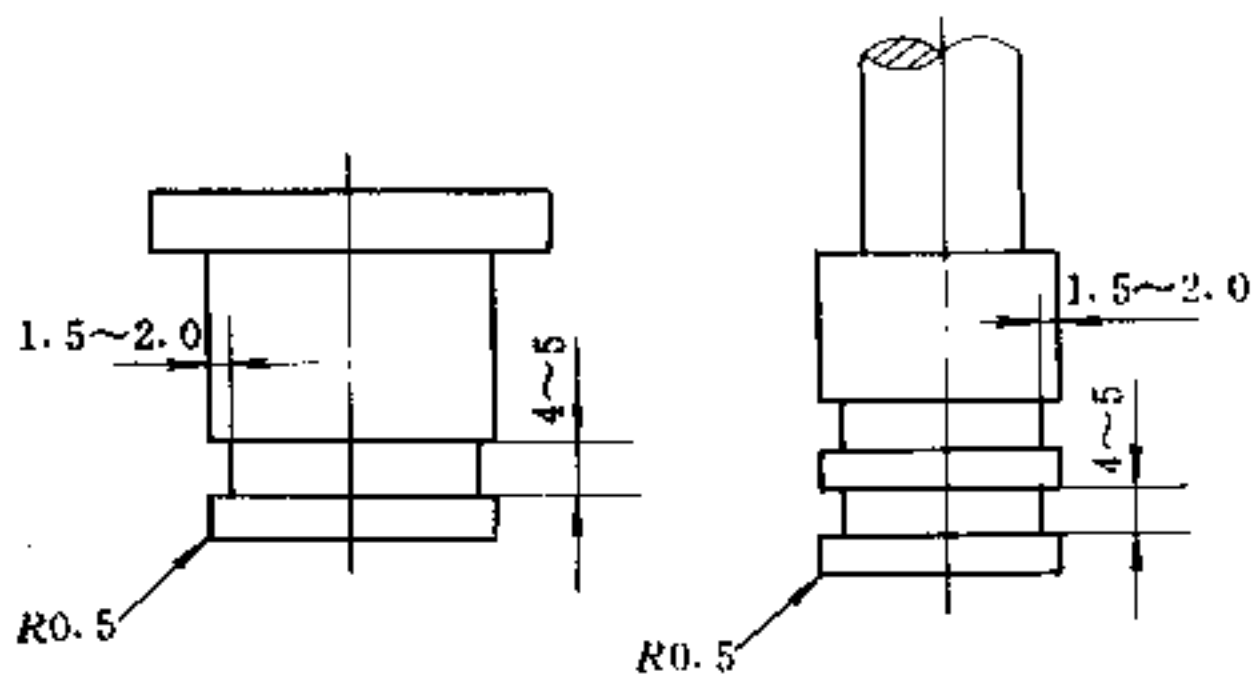


图 6.3-11 压料柱塞侧面的溢料密封槽

槽宽 6~10mm, 深 3~5mm, 楔角  $50^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$ , 如图 6.3-12 所示。柱塞带有燕尾槽时, 要求主流道采用倒锥形。

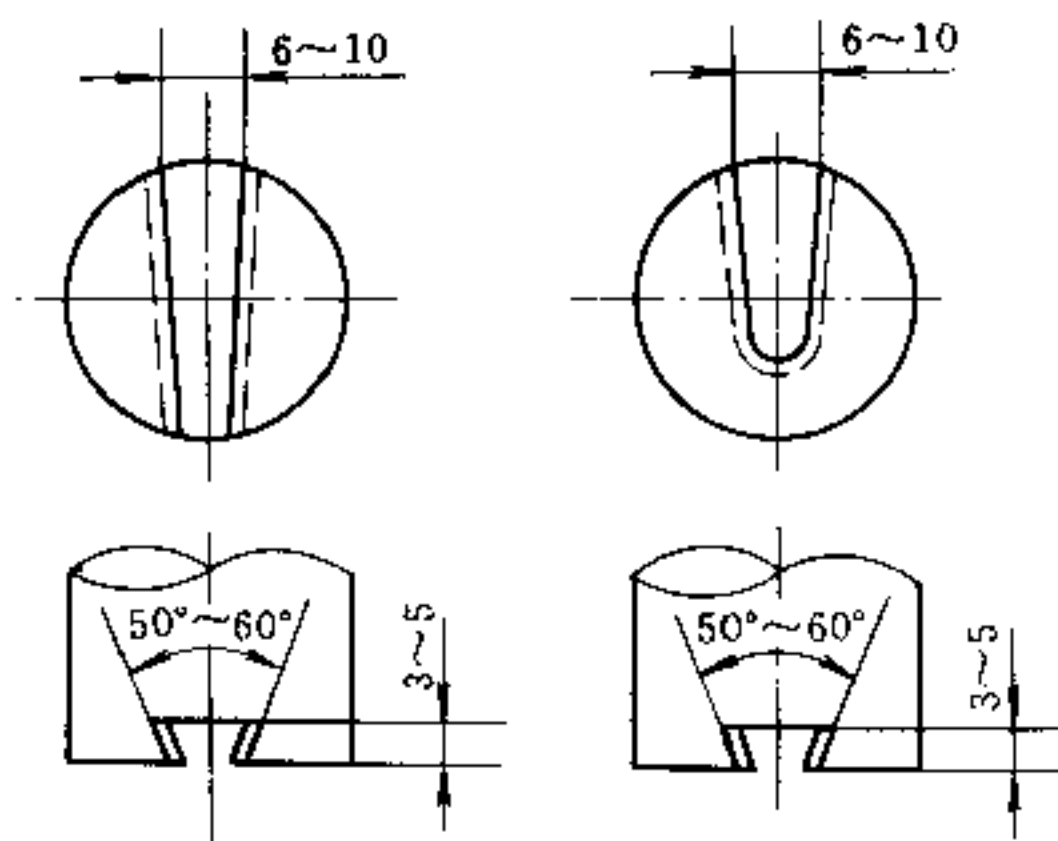


图 6.3-12 压料柱塞端面的楔形燕尾槽

### 6.3.3 浇注系统设计

传递模浇注系统是将已初步塑化的物料压入封闭型腔的必经通道, 物料经过浇注系统时, 要求尽可能减小压力损失, 同时能进一步加热塑化增加流动性, 以最佳流动状态进入型腔。

#### 一、主流道设计

主流道的横截面皆为圆形。为了成型后将固化的主流道废料从模具中脱下, 主流道长度方向皆应设计成锥形, 可以是正锥形, 亦可以是倒锥形。正锥形主流道可以带有分流锥。

##### 1. 正锥形主流道

正锥形主流道的小端朝向加料室并与加料室底面齐平, 大端朝向模具主分型面。这种主流道一般在移动式料槽传递模中采用, 并多用于一模多腔, 由主流道分枝出通向各型腔的分流道, 脱模时与分流道及塑件一同脱出。这种主流道如图 6.3-13 (a) 所示。

主流道横截面尺寸随塑料流动性和型腔大小不同而有所差别, 其小端直径一般在 3.5~6mm 之间, 大于一般的热塑性塑料注塑模的主流道, 接近热固性注塑模中主流道

小端尺寸，锥角在 $6^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 之间，大于热塑性和热固性注塑模中主流道锥角。主流道长度应尽量缩短，以减小材料的消耗。主流道向分流道转向处应带有较大圆角，一般应在 $R3\sim 5$ 之间。

当多腔模的各型腔相距较远时，可以在主流道内设置分流锥，这时必须明显增大主流道锥度和径向尺寸，但因此也使分流道长度缩短，并增大了主流道向分流道转向的转角半径，减小了流动阻力，有利于型腔的填充。带分流锥的主流道如图 6.3-13 (b) 所示。

## 2. 倒锥形主流道

倒锥形主流道如图 6.3-13 (c) 所示，最常用于固定式料槽传递模，但也可以用于移动式模具，特别是当一模多腔的模具采用直接浇口或单腔模具采用多处直接浇口进料时，必须采用倒锥形主流道，这样容易使固化的主流道从塑件上拉断。采用倒锥形主流道时，压料柱塞下端面开设出楔形燕尾槽（见图 6.3-12），开模后主流道固化废料被柱塞从塑件上的浇口处拉断。由于燕尾槽带有楔角，很容易将主流道废料从柱塞上取下。

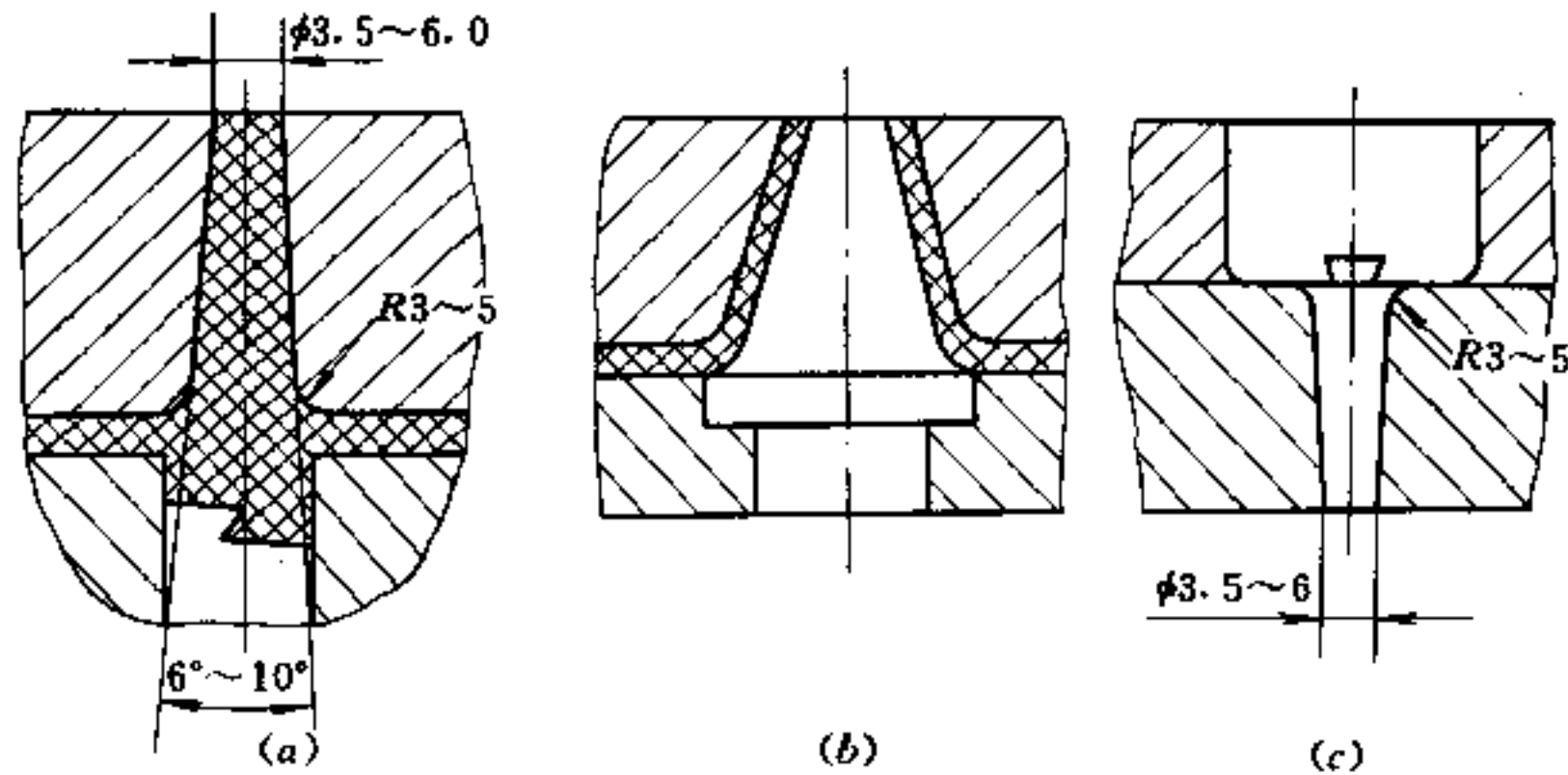


图 6.3-13 传递模的主流道

(a) 正锥形；(b) 带分流锥的正锥形；  
(c) 倒锥形。

无论正锥形主流道或倒锥形主流道，当穿越几块模板时，应专门开设在主流道衬套上，防止塑化的塑料进入各板间隙之间造成脱下主流道的困难，如图 6.3-14 所示。

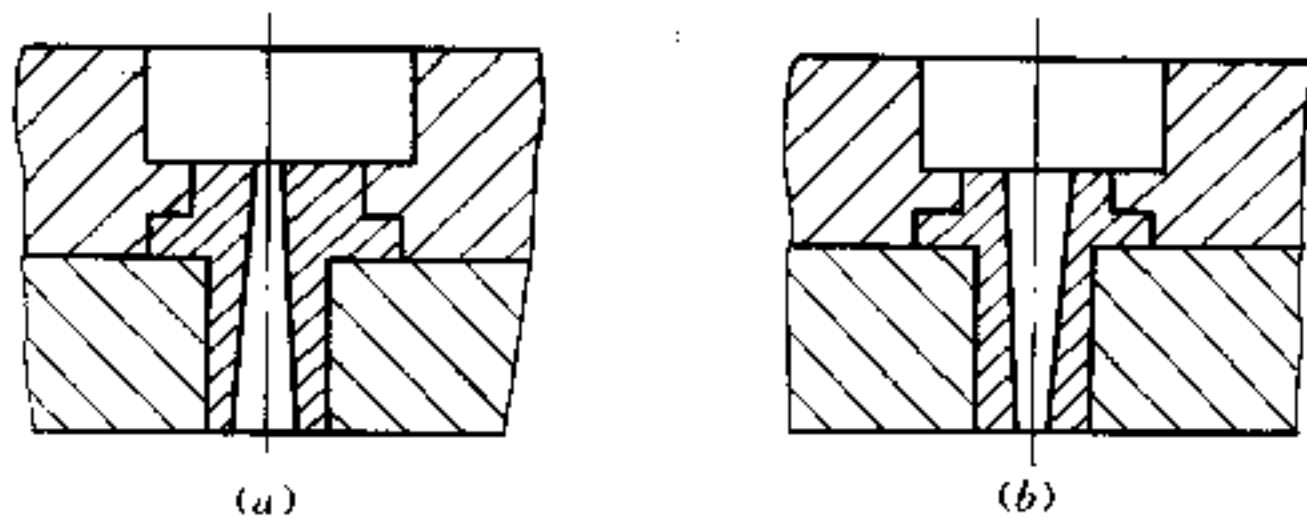


图 6.3-14 主流道开设在主流道衬套上

(a) 正锥形；(b) 倒锥形。

## 二、分流道设计

传递模的分流道横截面最常采用梯形。为了达到流动充模时模具对物料较好的加热效果，分流道应具有较大的比表面（分流道横截面周长与横截面面积之比）。因此，分流道宜宽而浅，但过浅亦不适宜（即比表面过大），会增大流动阻力，并使物料过分受热引起早期固化。分流道横截面大小随塑件大小和塑料材料类型而变。一般分流道尺寸取值范围是，宽度6.5~9.5mm之间，深度3.2~6.5mm之间，大塑件取较大值，小塑件取较小值，带纤维状填料的塑料取较大值，无纤维状填料的塑料取较小值，梯形两侧边斜角不小于 $5^\circ$ 。对于多腔模具，若采用二级分流道，横截面积约取一级分流道面积的70%左右。

传递模亦可采用圆形分流道，一级分流道直径约在6.5~9.5mm之间，二级分流道横截面积取一级分流道横截面的60%~70%。

分流道长度取决于各型腔的总体布置，但应尽可能短些，有利于物料的流动和型腔迅速充满。因此对于多腔模具，希望各型腔围绕着主流道的周围方向均衡分布，尽可能避免成排的平行布置，这样容易使到达各型腔的分流道、浇口尺寸取得平衡，保证各型腔的均衡充满，取得质量均一的制品，也可以避免浇注系统的急剧转折，减小压力损失，同样有利于制品质量。

一般总设法使塑件留在下半模，因为下半模带有顶出机构。因此，分流道应开设在下半模一侧，这样可同时在分流道位置设置顶杆，使分流道固化料与塑件一同顶出。

## 三、浇口设计

### 1. 浇口类型

传递模中最常采用的浇口是直接浇口和侧浇口，此外也采用环形浇口和盘状浇口。

#### (1) 直接浇口

凡采用倒锥形主流道时，主流道的小端都直接与型腔相连，物料从主流道直接进入型腔，主流道小端就成为浇口，称为直接浇口。这时主流道小端直径一般在2~4mm之间。采用直接浇口时，为避免从浇口处拉下主流道时损伤塑件表面（特别当采用含有纤维的塑料时），应在浇口与塑件表面之间增设一个凸台，凸台高度1.5~5mm之间，凸台锥角 $20^\circ\sim 50^\circ$ ，如图6.3-15所示。主流道从直径最小处断裂后，凸台再从塑件上去除。

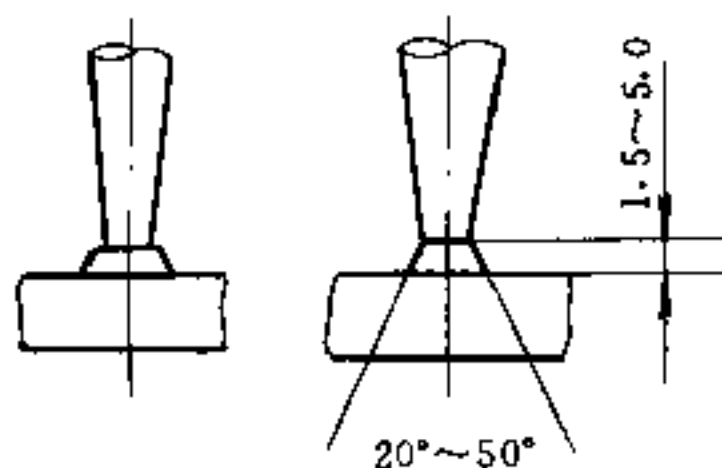


图 6.3-15 倒锥形主流道的直接浇口

#### (2) 侧浇口

一模多腔的传递模，最常采用的是侧浇口。侧浇口位于塑件侧部边缘，可以使模具结构最简单。侧浇口的横截面形状采用矩形，最容易调节尺寸达到理想的充模效果，又容易加工。对于不含纤维状填料的塑料中小型塑件，浇口宽度1.6~3.2mm，厚度0.4~1.6mm，大塑件可适当增大宽度和厚度。含有纤维状填料的塑料，浇口宽度3.2~13mm，厚度1.6~6.5mm，大塑件亦应适当放大浇口尺寸。侧浇口长度一般2~3mm，最长不超过4mm。侧浇口如图6.3-16(a)所示。

### (3) 扇形浇口

扇形浇口是侧浇口的变异形式，亦位于塑件侧部边缘，当塑件较薄且侧边很长时宜采用，可以使物料较均衡地进入型腔，避免沿型腔宽度方向不同位置物料的流程差太大引起固化程度的差异、纤维状填料取向程度的不同和由此引起的塑件内应力和翘曲等弊病。扇形浇口厚度可稍小于一般侧浇口，但不宜过小，浇口长度可大于一般侧浇口，沿浇口长度方向的厚度不宜像热塑性塑料注塑模中扇形浇口那样可以递减，因为热固性塑料一般都含有填料，流动性较小，厚度太小时会增大物料的流动阻力。模具对塑料又有加热作用，厚度太小时易引起浇口处塑料过早固化使型腔填充不满。扇形浇口如图 6.3-16 (b) 所示。

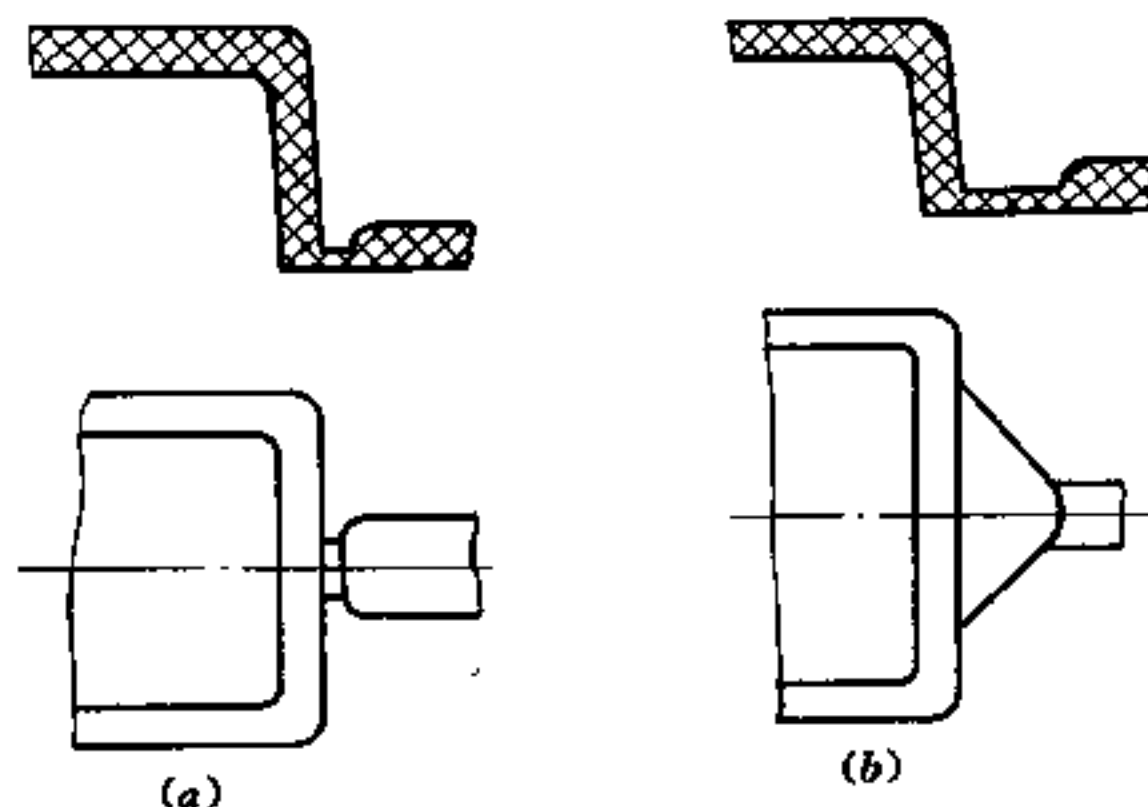


图 6.3-16 侧浇口和扇形浇口

(a) 侧浇口；(b) 扇形浇口。

### (4) 环形浇口和盘形浇口

带孔塑件或管状、筒形塑件，可以采用环形或盘形浇口，使物料沿孔周均衡地进入型腔，避免采用侧向进料时型芯受力不均引起的偏斜挠曲，也可以避免物料绕型芯流动达另一侧汇合时形成的熔接缝。环形浇口是物料沿孔一端的端壁边缘型芯周围进入型腔，当型芯伸出孔时采用，如图 6.3-17 (a) 所示。盘形浇口是物料沿孔一端的内侧周边进入型腔，当型芯未伸出孔时采用，如图 6.3-17 (b) 所示。

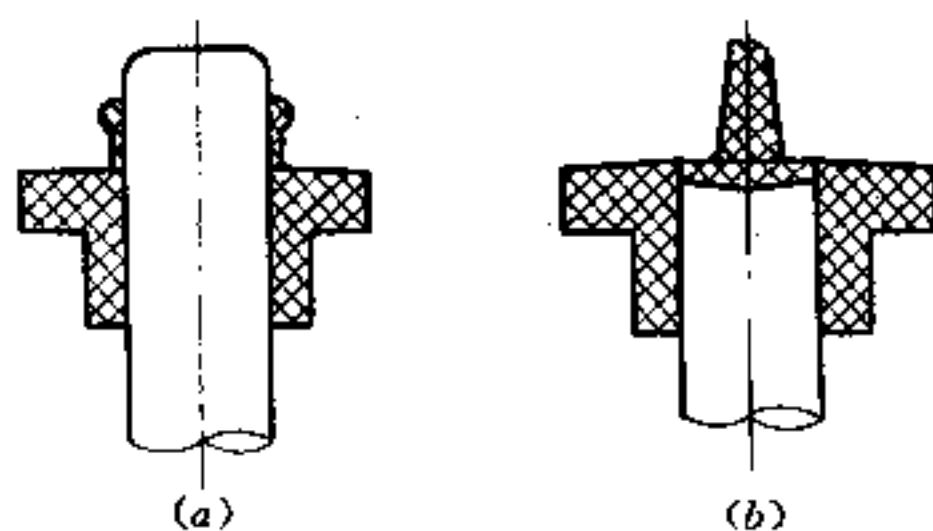


图 6.3-17 环形和盘形浇口

(a) 环形浇口；(b) 盘形浇口。



环形浇口和盘形浇口的缺点是浇口固化后切除困难。为克服环形或盘形浇口的缺点,有时用轮辐式浇口代替之,但由于横截面积小,流动阻力大,也会使塑件上形成熔接缝,选用时需慎重考虑。

## 2. 浇口位置和数量

浇口位置选择应从以下几方面考虑:

(1) 有利于物料流动和对型腔的填充。浇口一般应选在塑件厚度较大的位置,可以减小流动阻力,缩短充模时间,也有利于补缩。

(2) 尽量避免损害塑件的功能和外观。塑件的某些表面常常是工作表面,如齿轮的轮齿,摩擦件的摩擦面,配合件的配合面等,浇口位置都应避开这些表面,装饰件的装饰表面也不应开设浇口,而应选在隐蔽处。

### (3) 考虑对塑件总体强度和性能的影响

浇口位置的选择应避免使物料到达型腔各处的流程差太大。流程差太大,会引起塑件各处固化程度的差异,是产生内应力和翘曲变形的主要原因之一。带有嵌件和孔的塑件,当物料遇到嵌件和型芯时,必然会分两股绕行,再在相反一侧汇合形成接缝。浇口位置的选择应尽可能使所形成的熔接缝较短,熔合较好。一般,应避免在靠近型芯或嵌件处开设浇口,因为这样形成的熔接缝较长。同时浇口开设应使所形成的熔接缝产生在型腔容易排气的位置,因为排气有利于接缝处物料的充分熔合。

(4) 应考虑纤维状填料取向的影响。含有纤维状填料的塑料,充模过程中纤维会沿着与料流垂直的方向取向,引起塑件力学性能和收缩率各向异性,浇口位置的选择应使纤维取向方向对塑件工作性能有利,而避免不利的影晌。

较大的塑件常常采用数处浇口,目的是缩短物料进入型腔后的最大流程。热固性塑料的最大流动距离一般不超过 100mm,因此浇口数量的选择应使流经每个浇口的物料在型腔内的最大流动距离不超过上述距离。

## 6.3.4 排气槽设计

### 一、排气槽截面尺寸

传递成型中,塑料被快速挤入封闭的型腔,不仅需要有效地排出型腔原有空气,塑料在型腔内固化交联也会放出低分子产物,也需要迅速排除。因此,排气槽的正确开设,是保证传递成型中取得优质塑件的必要条件之一。

排气槽的横截面面积应能保证型腔内气体自由排出,但又不会使熔融的物料明显溢出。有时会有少量熔融物料冷料前锋从排气槽溢出形成薄的毛翅,不仅无损塑件质量,反而有利于提高型腔最后充满处熔融物料的熔接强度。对于在型腔最后充满处容易形成熔接缝的塑件,为了保证塑件的力学强度和介电强度,往往有意识地使塑料溢出该处型腔之外,避免熔接缝出现在塑件中,特别是对电性能有严格要求的三聚氰胺甲醛塑料。一般,传递模中排气槽的深度约在 0.05~0.13mm 之间,宽度在 3.2~6.5mm 之间,根据实际需要,可一处开设,也可数处开设。一般的做法是先开设出较小尺寸,再按照试模结果去扩大。排气槽横截面亦可按下述经验公式估算:

$$A_v = \frac{0.05V}{n} \quad (6.3-11)$$

式中  $V$ ——型腔体积 ( $\text{cm}^3$ );

$n$ ——排气槽数量;

$A_v$ ——每个排气槽的横截面面积 ( $\text{mm}^2$ )。

用式 (6.3-11) 估算出排气槽横截面面积后, 再按表 6.3-4 中的推荐值确定出排气槽的深度、宽度尺寸。

## 二、排气槽位置及尺寸

排气槽位置根据对模具结构的仔细分析后确定, 有经验的模具设计师根据长期的设计实践, 无数次试模中的研究和观察, 可积累丰富的经验, 很容易对新设计模具的排气槽位置做出较准确的判断。概括地说, 传递模中排气槽位置可从以下几点考虑:

- (1) 远离浇口的边角处;
- (2) 嵌件附近和壁厚最薄处, 容易形成熔接缝处;
- (3) 型腔最晚充满处;
- (4) 塑件侧壁含有凸台, 凸台上所含侧孔处;
- (5) 模具中的顶杆配合间隙、活动型芯、分型面的闭合间隙等亦可起排气作用。因此, 最好在分型面的型腔边缘处设置排气槽。

表 6-4 排气槽横截面推荐尺寸

横截面面积/ $\text{mm}^2$	横截面尺寸, 宽 (mm) $\times$ 深 (mm)
~0.2	5 $\times$ 0.04
>0.2~0.4	5 $\times$ 0.08
>0.4~0.6	6 $\times$ 0.10
>0.6~0.8	8 $\times$ 0.10
>0.8~1.0	10 $\times$ 0.10
>1.0~1.5	10 $\times$ 0.15
>1.5~2.0	10 $\times$ 0.20

## 6.4 传递模结构实例

### 1. 酚醛仪表齿轮传递模

如图 6.4-1 所示。

### 2. 酚醛圆形仪表盖传递模

如图 6.4-2 所示。

### 3. 酚醛支托传递模

如图 6.4-3 所示。

### 4. 移动式封件传递模

如图 6.4-4 所示。

### 5. 上柱塞式传递模

如图 6.4-5 所示。

### 6. 斜导柱侧抽芯传递模

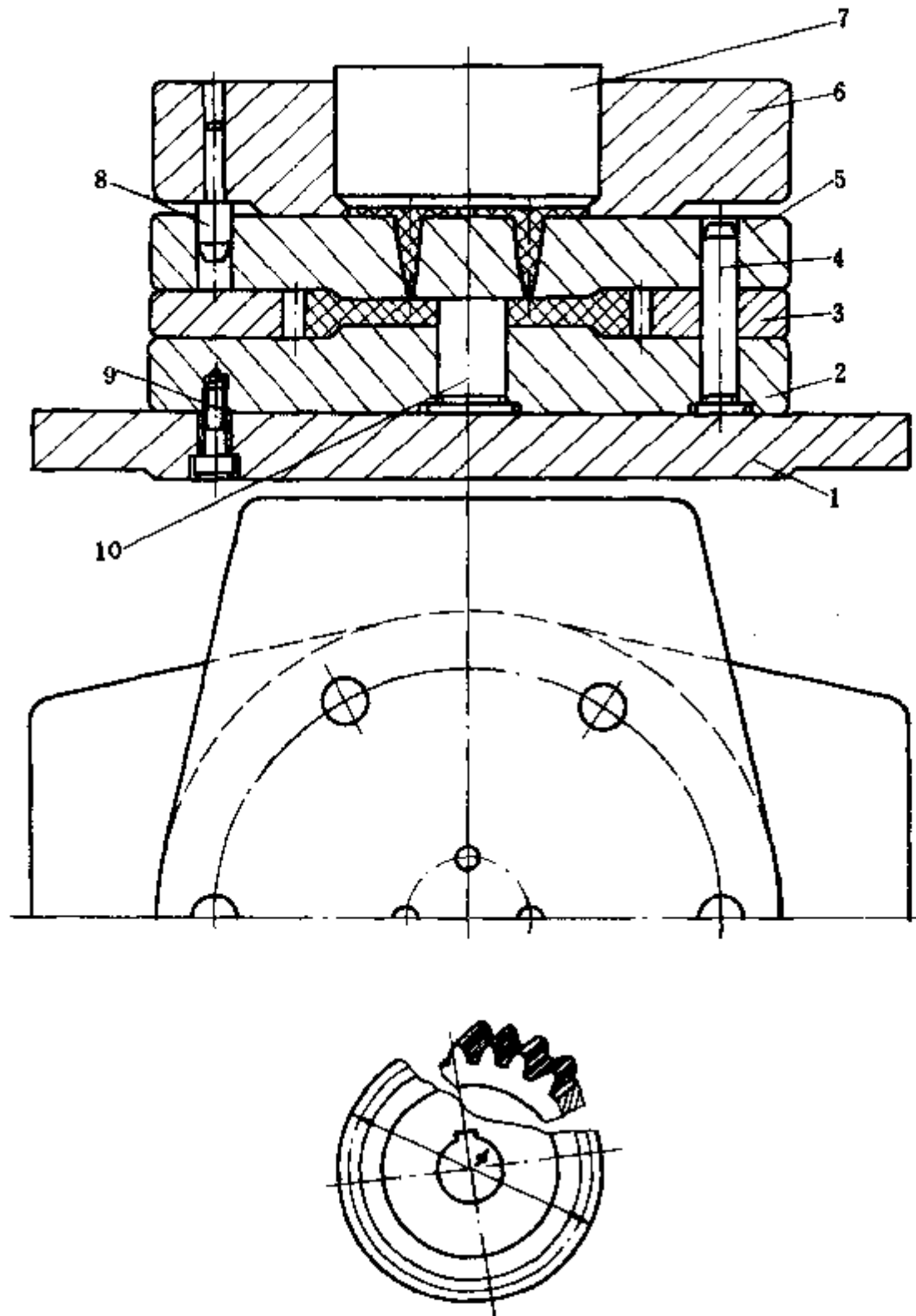


图 6.4-1 仪表齿轮传递模（料槽式）

1—下模板；2—固定板；3—型腔；4—导柱；5—上模板；  
6—加料室；7—压料柱塞；8—定位销；9—螺钉；10—型芯。

如图 6.4-6 所示。

7. 多嵌件导电轮传递模

如图 6.4-7 所示。

8. 固定式集成电路封装传递模

如图 6.4-8 所示。

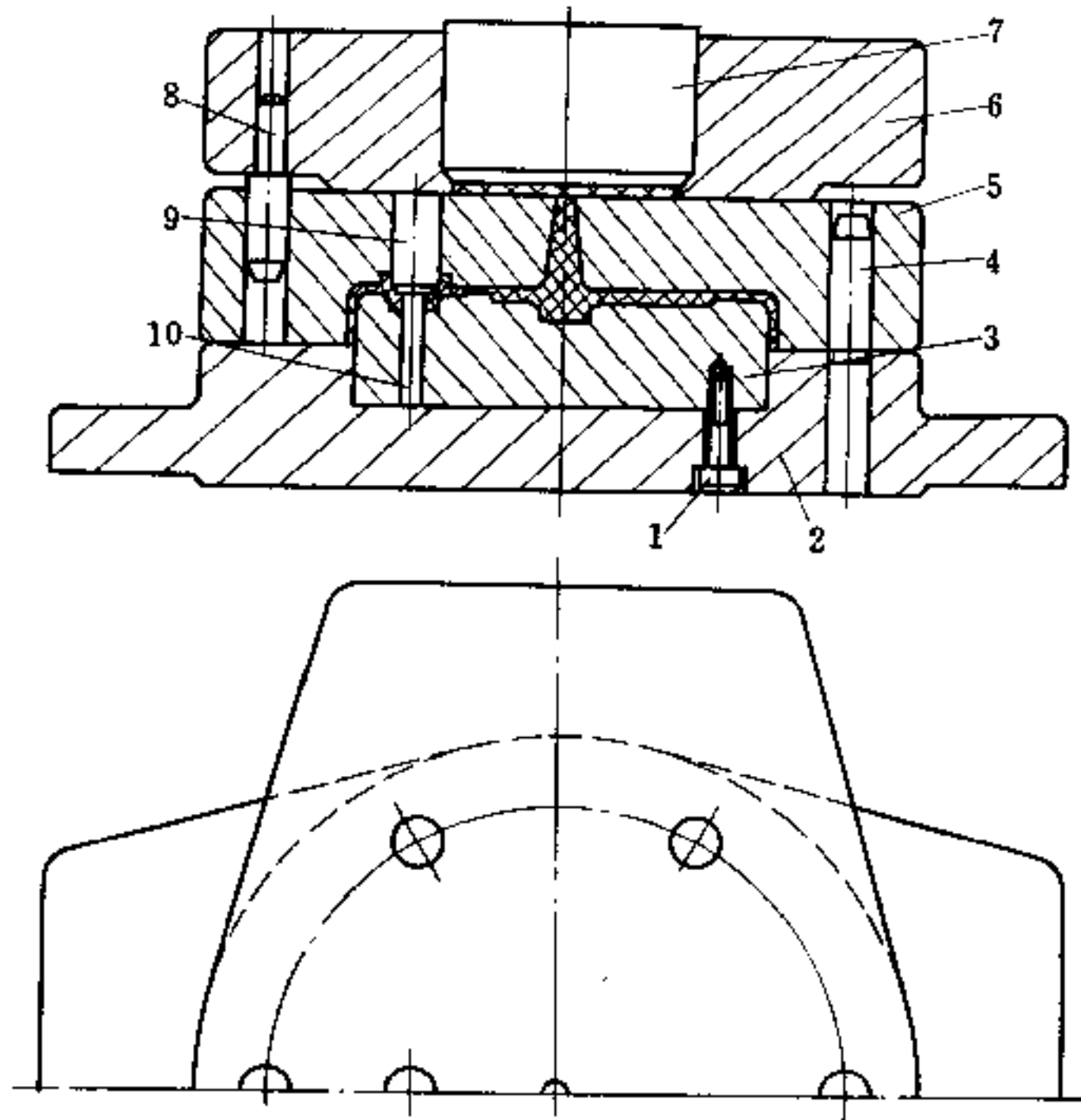


图 6.4-2 仪表盖传递模 (料槽式)

1—螺钉；2—下模板；3—主型芯；4—导柱；  
5—型腔；6—加料室；7—压料柱塞；8—定位销钉；9—型芯；10—型芯。

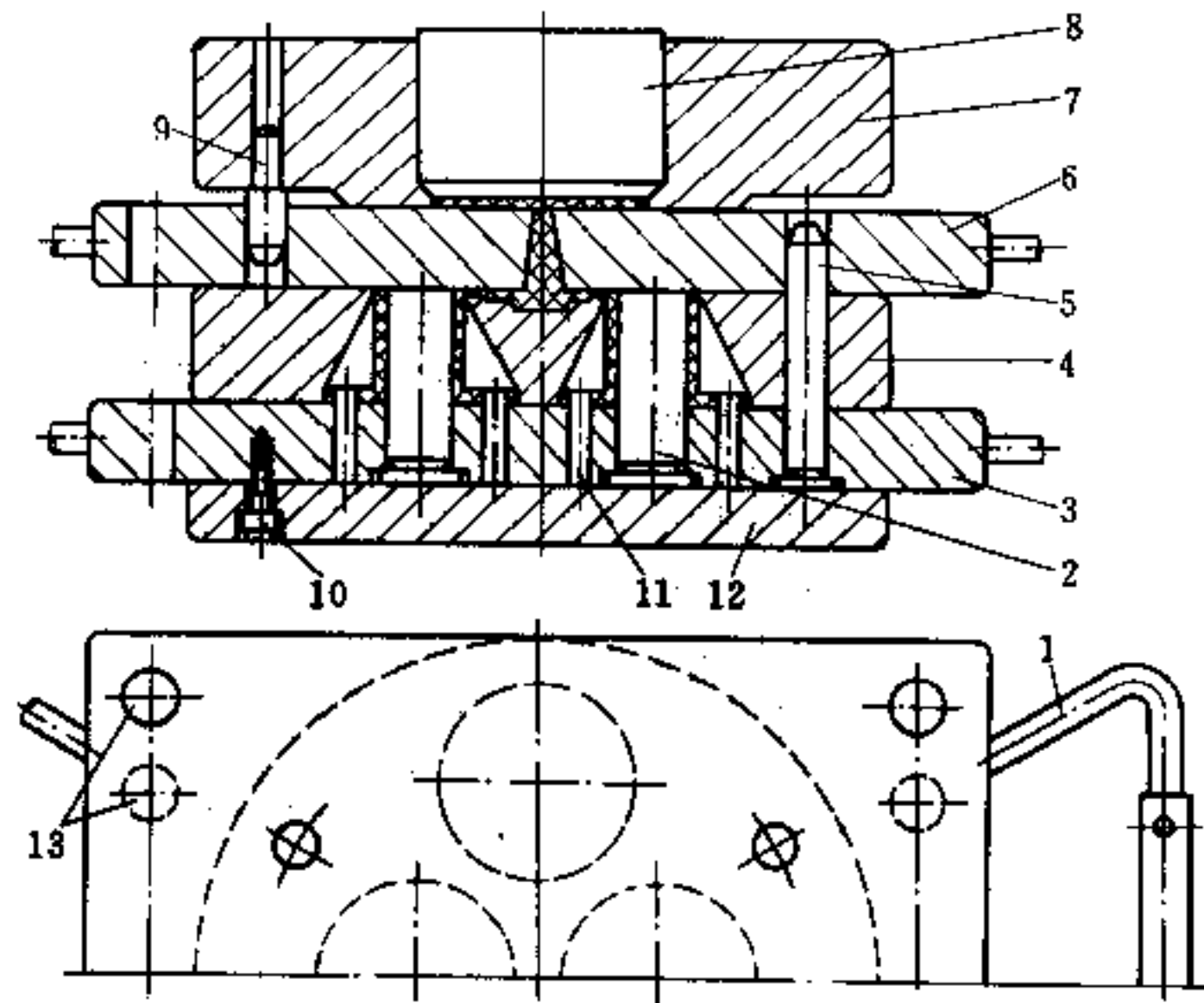


图 6.4-3 支托传递模 (料槽式)

1—手柄；2—主型芯；3—固定板；4—型腔；5—导柱；6—上模板；7—加料室；  
8—压料柱塞；9—定位销钉；10—螺钉；11—小型芯；12—下模板；13—卸模孔。

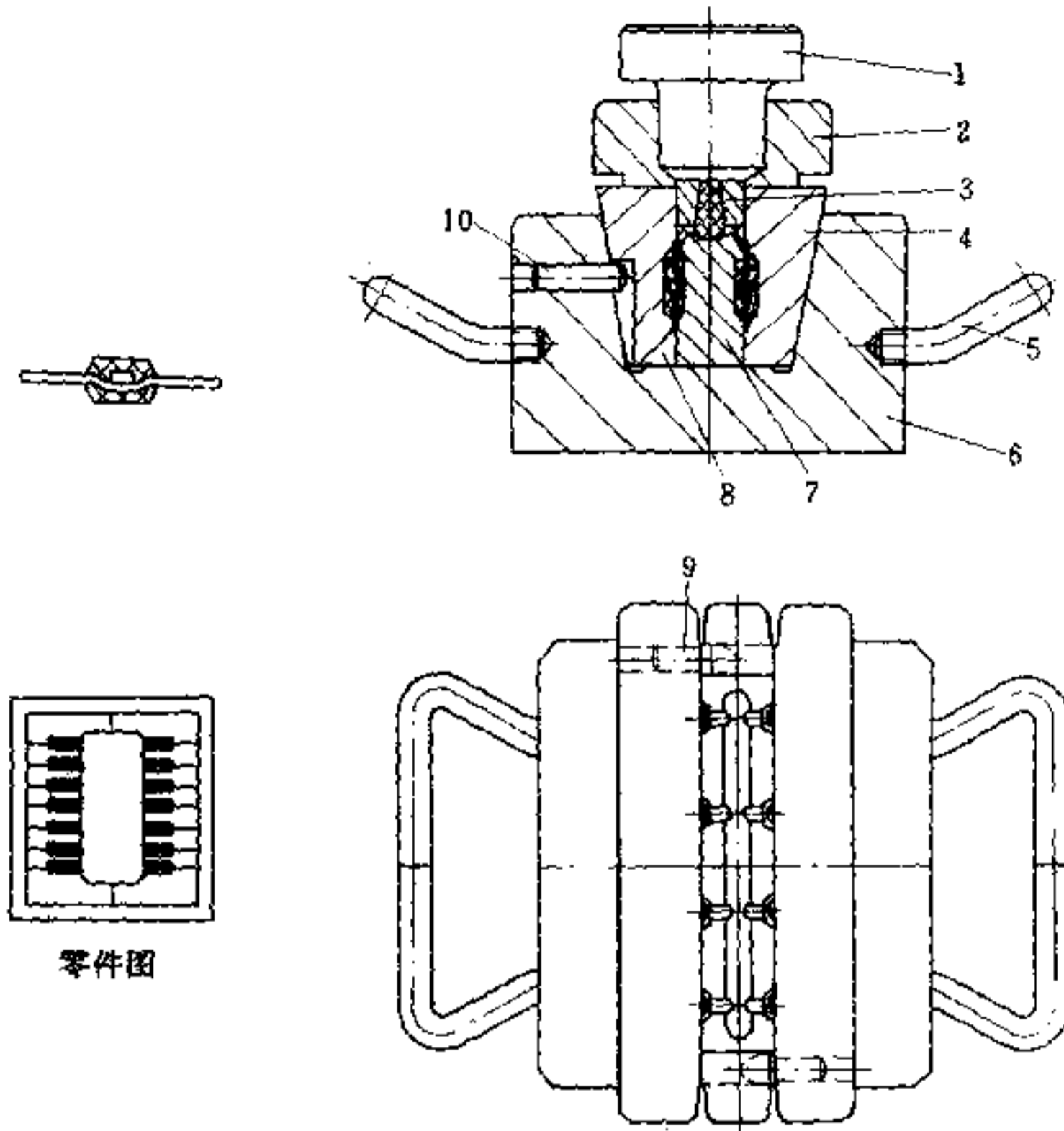


图 6.4.4 封装件传递模（楔形料槽式）

1—压料柱塞；2—加料室；3—主流道套；4、8—拼合型腔；5—手柄；6—模套；7—型芯；9、10—定位销。

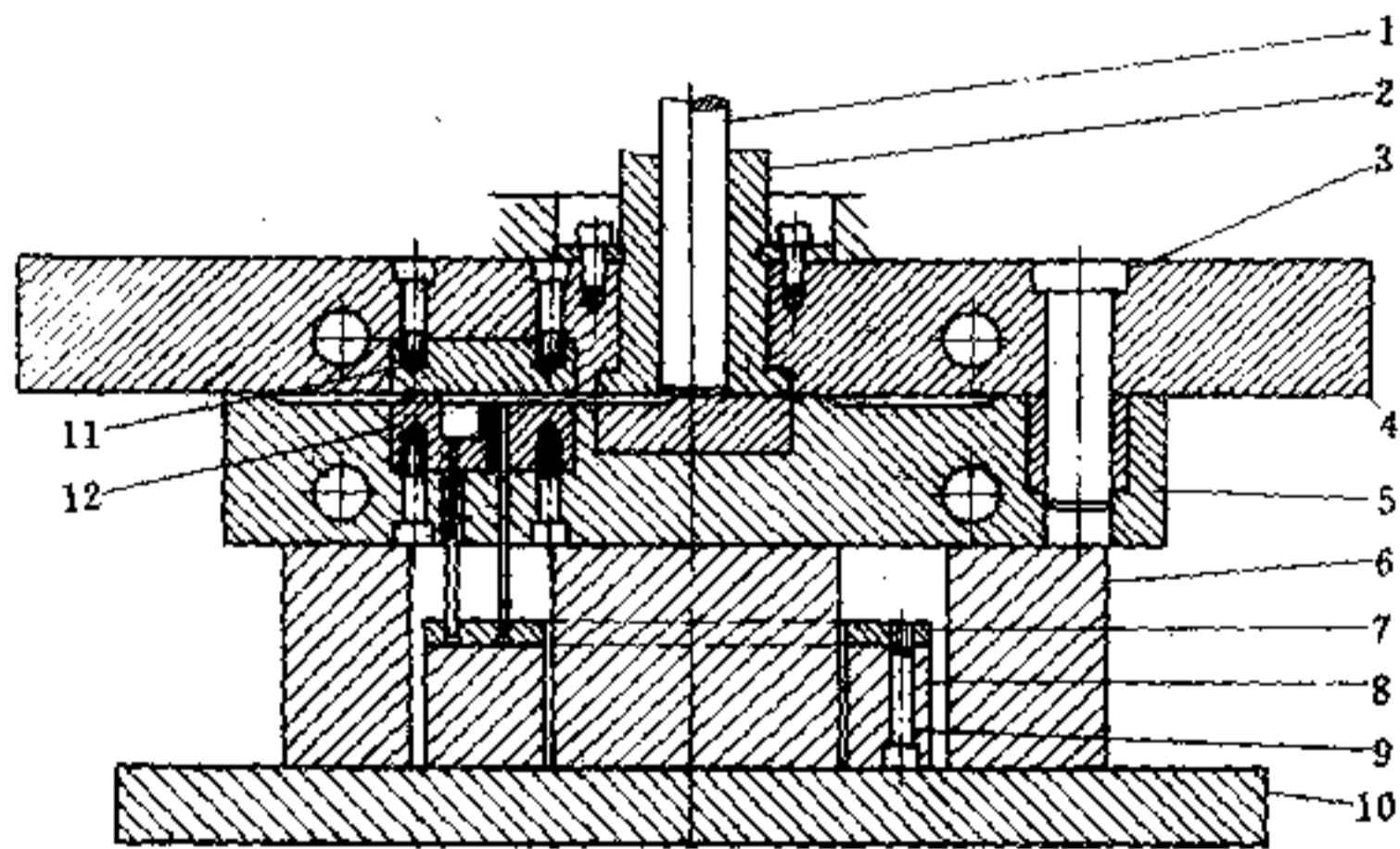


图 6.4.5 接触块传递模（上柱塞式）

1—压料柱塞；2—加料室；3—导柱；4—上模板；5—型腔模板；6—支承块；7—顶杆固定板；8—顶板；9—螺钉；10—下模板；11、12—上、下型腔镶块。

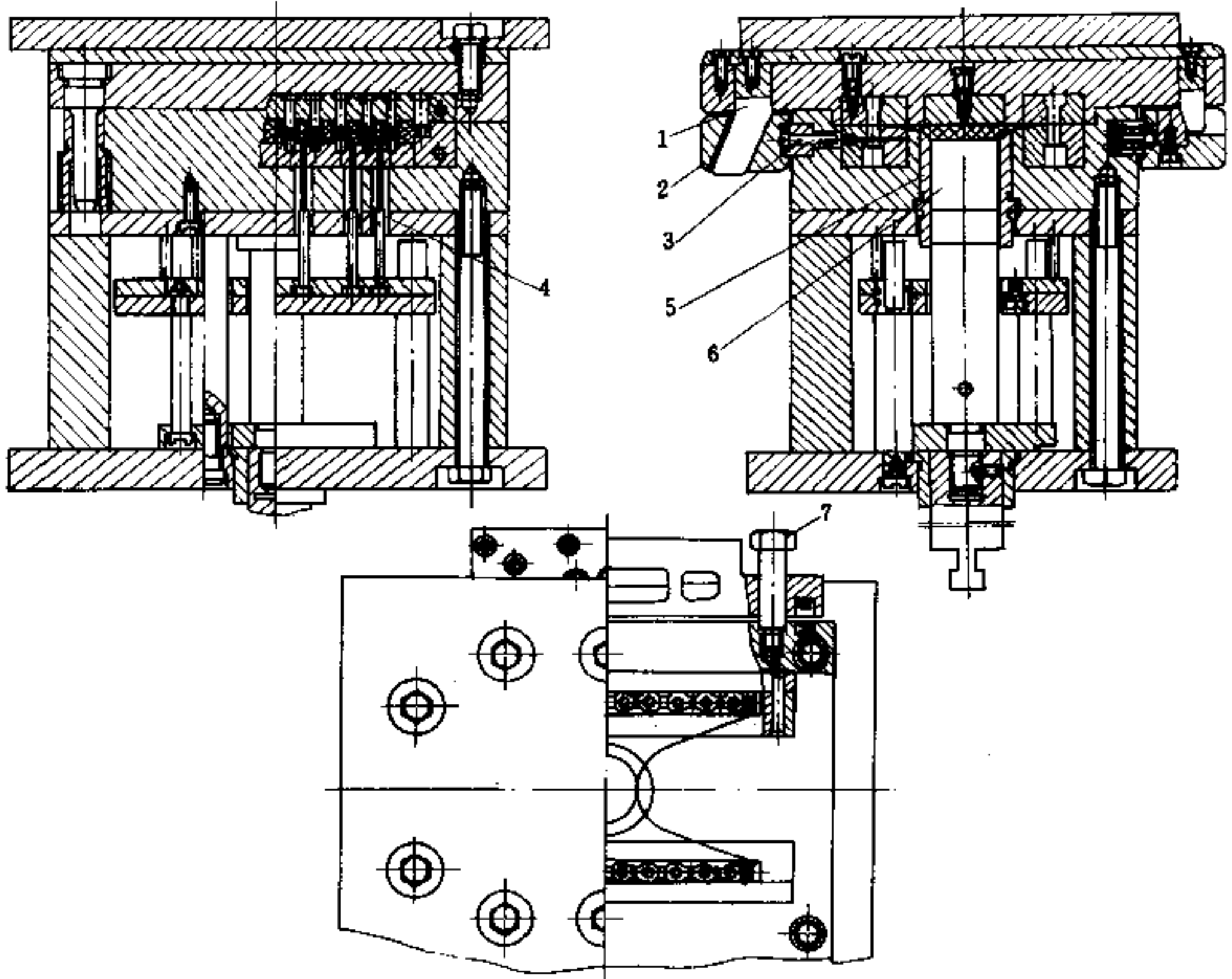


图 6.4-6 接插件传递模（下柱塞式）

1—弯销；2—滑块；3—侧型芯；4—顶杆；5—加料室；6—压料柱塞；7—限位螺钉。

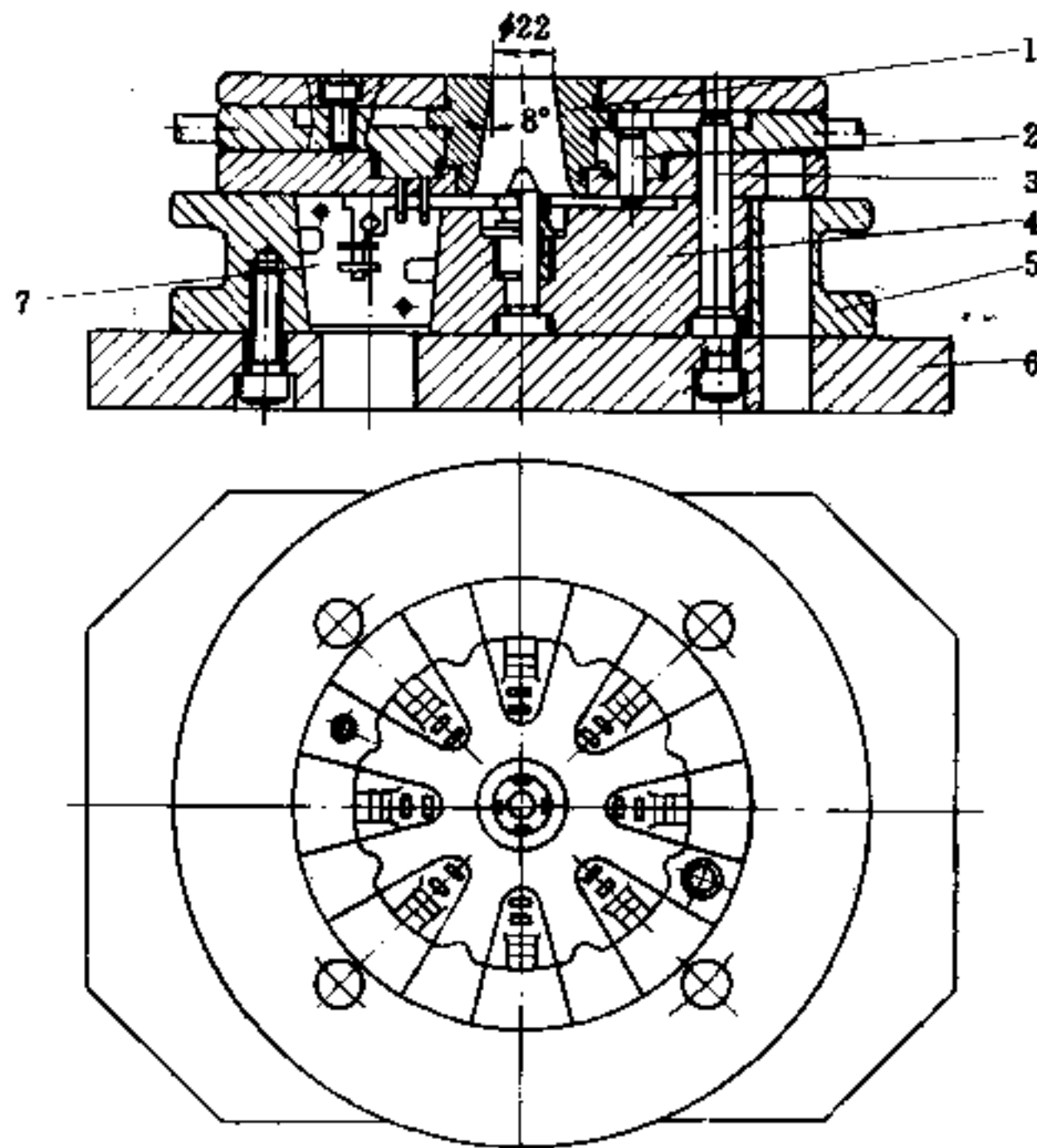


图 6.4-7 多嵌件导电轮传递模

1—浇口套；2—小型芯；3—导柱；4—下模；5—模套；6—底板；7—瓣模块。

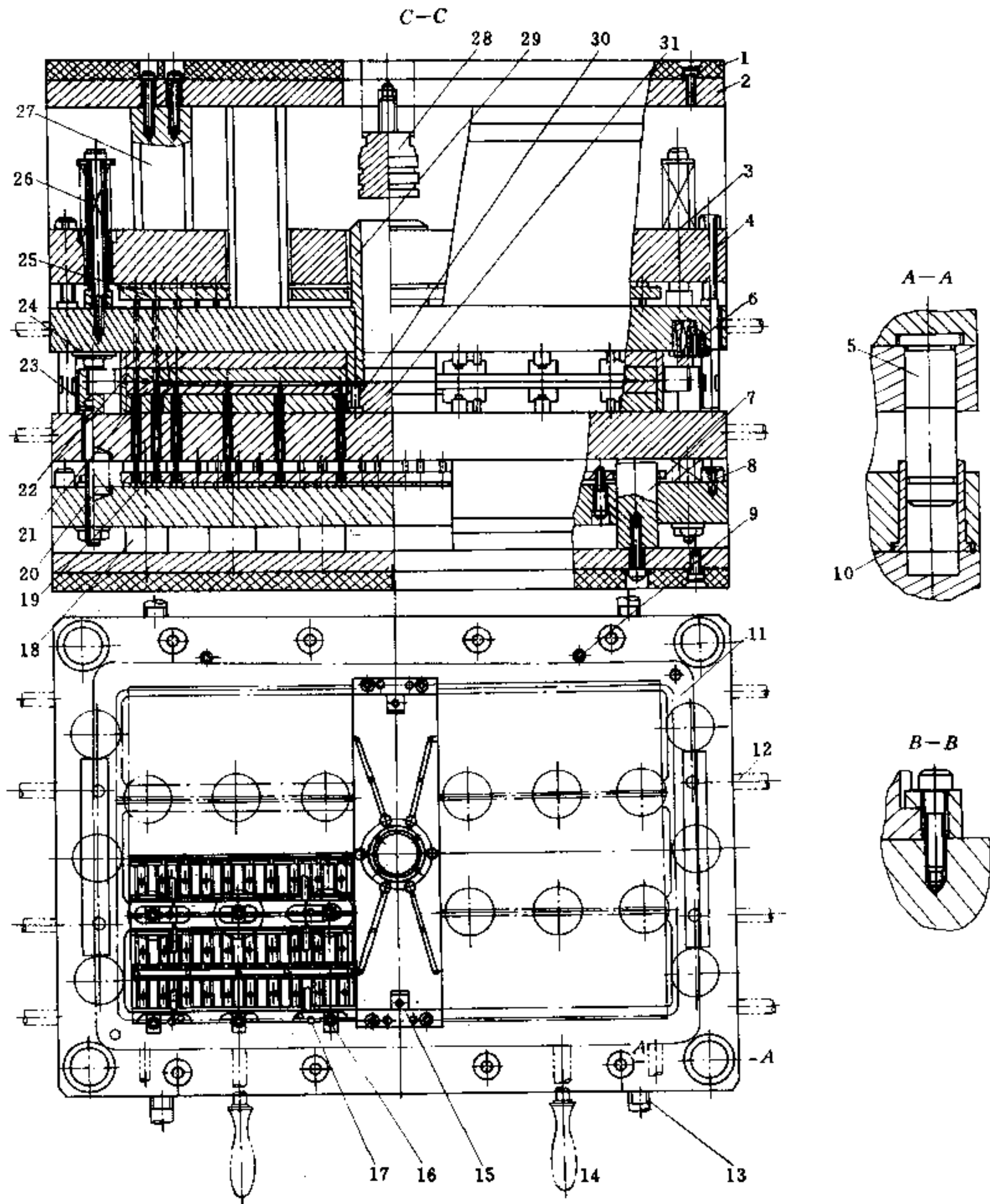


图 6.4-8 固定式电路封装传递模

- 1—石棉垫板；2—上垫板；3—上推件板；4—复位杆；5—导柱；6—弹簧；7—下垫板；  
 8—下限柱；9—导钉；10—导套；11—框架；12—加热棒；13—螺钉；14—手柄；15—定柱；  
 16—压板；17—销钉；18—下垫柱；19、25—托板；20—弹簧；21—下模腔；22—上模腔；23—浮动支架；  
 24—压柱；26—上推出机构；27—上垫柱；28—柱塞；29—加料室；30—止料柱；31—中流道板。



## 参 考 文 献

- 1 Joel Frados. *Plastics Engineering Handbook*. fourth edition. Van Nostrand Reinhold Company. 1976
- 2 J. Harry DuBois. *Plastics Mold Engineering Handbook*. Third edition. Van Nostrand Reinhold Company. 1978
- 3 成都科技大学等. *塑料成型模具*. 北京: 轻工业出版社, 1982
- 4 本书编写组编. *塑料模设计手册*. 第二版. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 5 张克惠. 楔形压铸模分析. *工程塑料应用*, 1985 (3): 62~64
- 6 马金骏. *塑料模具设计*. 修订版. 北京: 轻工业出版社, 1984

# 第七章 挤塑模设计

## 7.1 设计目标与步骤

### 7.1.1 功能与作用

挤塑模，系塑料挤塑成型模具的简称，也叫挤出成型机头或模头，属塑料制品成型加工的又一大类重要工艺装备。塑料挤塑成型，在热塑性塑料加工领域中，是一类变化多、用途广、占比重颇大的加工方法。挤塑成型是将塑料喂入，并在旋转的螺杆与机筒之间进行输送、压缩、熔融、塑化、定量地通过处于挤塑机头部的模具和定型装置，生产出连续型材的加工工艺过程，如图 7.1-1 所示。

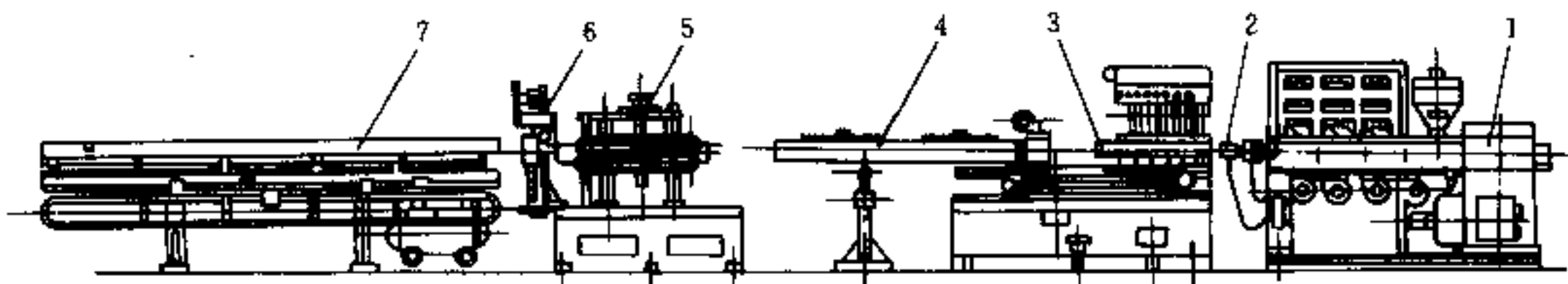


图 7.1-1 型材挤塑成型过程

1—挤塑机；2—挤塑模；3—定型模；4—冷却装置；5—牵引辊；6—锯切；7—储料槽。

在挤塑机头部匹配以不同类型的挤塑模及其相应的定型模与辅机，便可连续生产出棒材、管材、板材、片材、薄膜、异型材、发泡型材、单丝、纸及金属片的涂层、电线电缆覆层以及中空制品等诸多型材或制品。由此可知，挤塑模及其定型模设计，在塑料加工工业中，占有何等重要的位置。图 7.1-2 展示了其各自的功能作用与原理。

由上可知，无论何种类型挤塑模，在生产过程中均起着如下作用：

- (1) 使来自挤塑机的塑料熔体，由螺旋运动变为直线运动；
- (2) 通过模腔流道的剪切流动，使塑料熔体进一步塑化均匀；
- (3) 通过模腔几何形状与尺寸的变化，产生必要的成型压力，确保型材致密；
- (4) 通过成型段及模唇的调节作用，获得所需截面形状连续型材。

### 7.1.2 设计挤塑模须考虑的问题

显然，来自挤塑机的塑料熔体，希望它有足够的流量、无波动、重现性好，且热性能与力学性能均一。因而须考虑挤塑模及定型模中的流变学与热力学过程，以及可能存在于口模与定型模之间或与两者有关的任何拉伸作用对挤塑成型产品质量有决定性影响的那些因素。为此，在设计挤塑模时须考虑以下诸方面的问题。

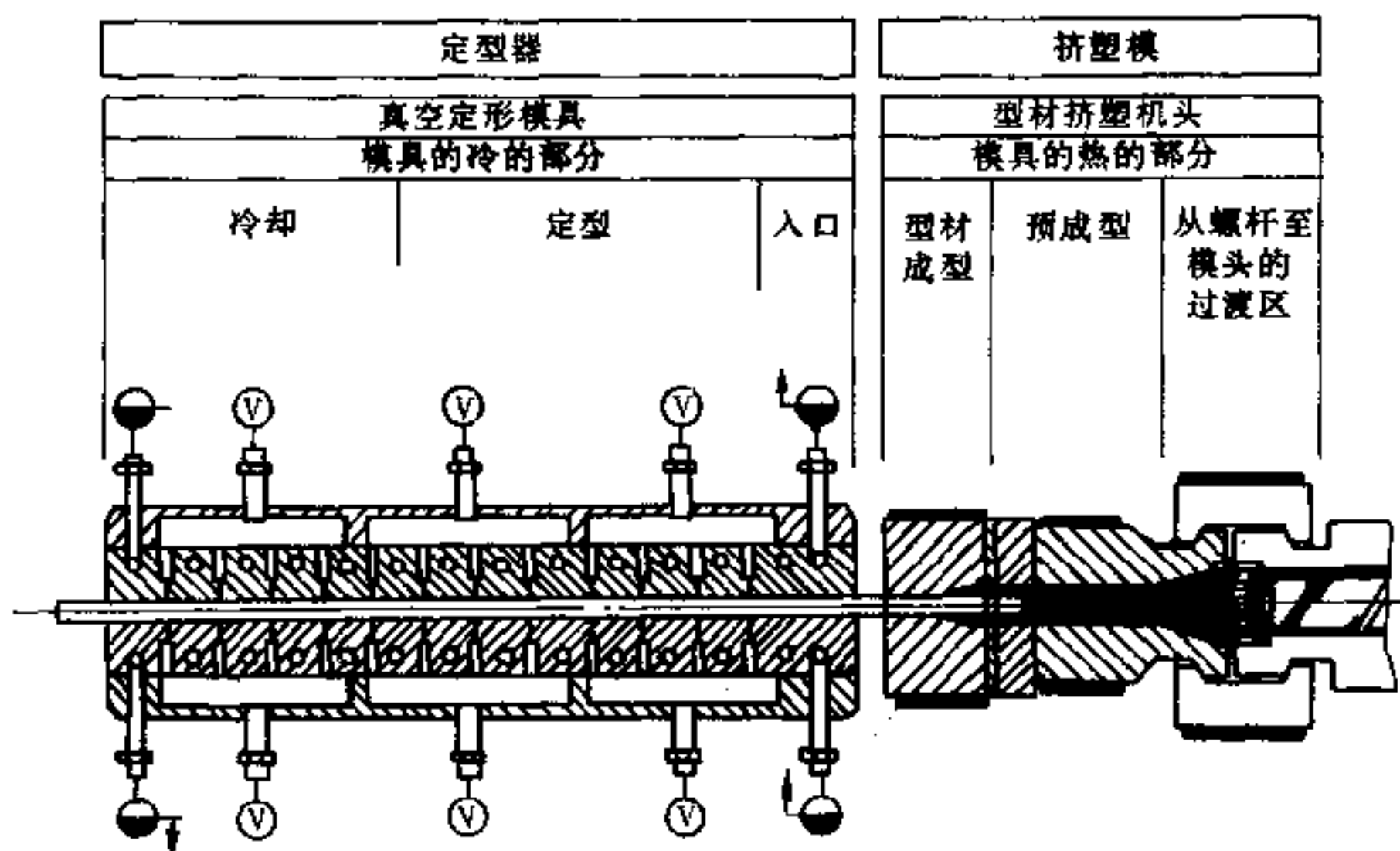


图 7.1-2 成型与定型作用原理

### 1. 在流变学方面

问题必然集中在模腔流道尺寸的选择，以便：

- (1) 在一定的挤塑成型压力下，使熔体达到一定体积产量；
- (2) 塑料熔体在整个口模横截面上，以相同的平均速度挤出，而不致于在某个局部产生波动；
- (3) 对于非回转体、非对称性截面制品，须达理想挤出速度、形状和尺寸（因塑料熔体有膨胀效应）；
- (4) 当处于高体积流量时，挤塑产品表面仍保持光洁（因高剪切速率下易引起“熔体破裂”现象）；
- (5) 避免塑料熔体在模腔流道中滞流，以防止熔体分解，降低产品力学性能。

### 2. 在热力学方面

十分重要的是与流变学密切相关，必须：

- (1) 建立热传递与热散失的热平衡方程，以获得稳态操作的必要条件；
- (2) 及时发现模腔流道内，熔体流动出现的最高温度信息，尤其要注意热敏性塑料；
- (3) 在成型模与定型模中实现可靠的温度控制。

### 3. 在模具制造方面

应着重考虑：

- (1) 以最低制造成本为出发点，进行各零部件设计；
- (2) 根据塑料类型与品种及模具制造方法，合理选择模具零部件材料。

### 4. 在生产操作方面

- (1) 挤塑模须有适宜的刚度，确保模腔在塑料熔体的压力作用下，其径向变形量在允许范围内；

(2) 机头与定型模本身易于装配和拆卸, 且模腔流道便于清洗;

(3) 挤塑模与挤塑机易于实现装卸、对接与密封。

### 5. 在工艺特性方面

挤塑模与挤塑机相结合的操作特性, 是挤塑模设计必须考虑的又一重要因素。当使用单螺杆挤塑机时, 由图 7.1-3 可知:

(1) 在螺杆转速  $n$  恒定不变时, 增大挤塑模内腔阻力  $K_i$ , 其挤出物产量  $Q$  明显下降。因此, 由挤塑模所引起的压力降  $P$  尤为重要;

(2) 在绝热操作条件下, 由于熔体粘滞流动所造成挤塑模内熔体温度升高  $\Delta T$ , 其与压降的定量关系, 可表示为

$$\Delta T = \frac{\Delta P}{\rho C_v} \quad (7.1-1)$$

其中,  $\rho$  为熔体密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $C_v$  为塑料比热容 ( $\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ );  $P$  为压降 ( $\text{Pa}$ )。

显然, 就挤塑模设计而言, 熔体压降属头等重要考虑之列。

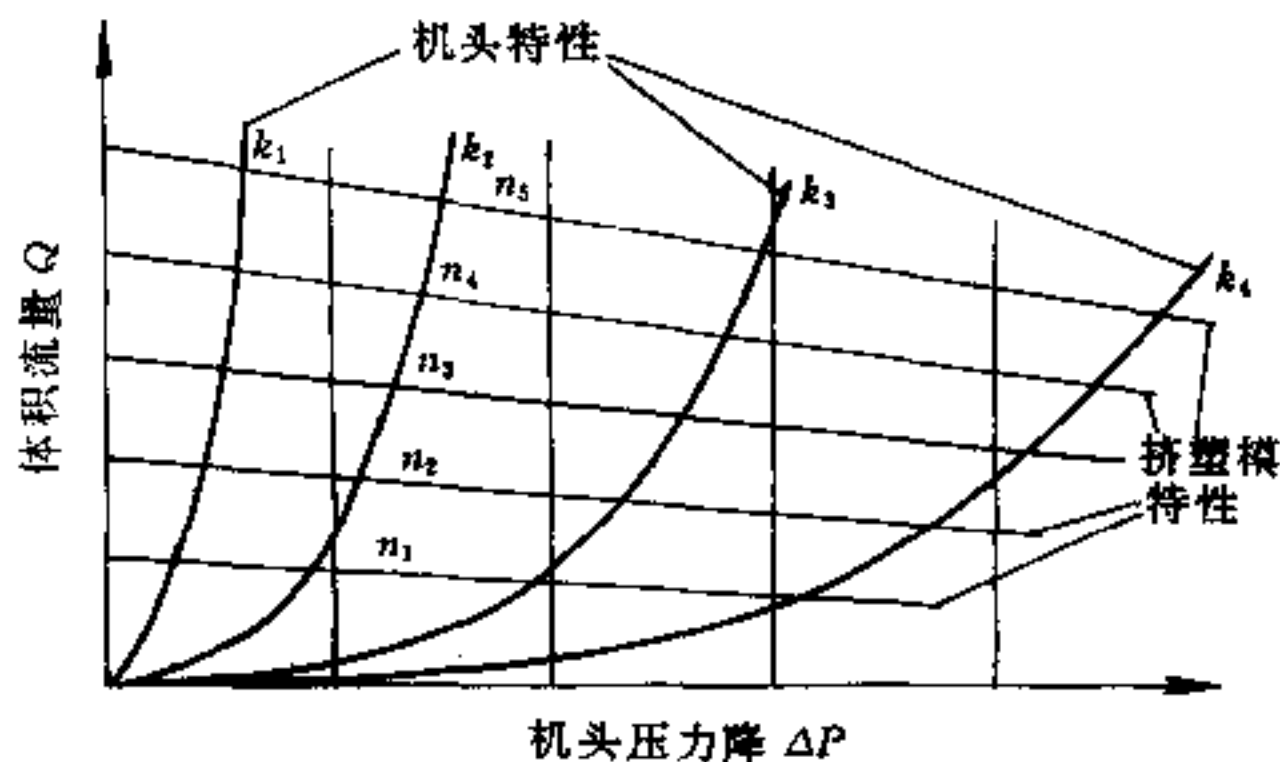


图 7.1-3 单螺杆挤塑机操作特性

(螺杆转速  $n_1 < n_2 < n_3 < n_4 < n_5$ ; 机头阻力  $k_1 < k_2 < k_3 < k_4$ )

### 7.1.3 设计程序

挤塑模设计所应考虑的各个方面的, 示于图 7.1-4 中, 设计者可参照该图左侧序号及箭头走向, 分步骤进行。

**第 1 步** 设计者须明确回答以下 4 个问题:

(1) 需挤型材的几何形状 (如棒、管、膜或其他任何截面的型材), 及其设计是否符合加工要求?

(2) 熔体进入机头的方式 (如图 7.1-5 所示), 以及是否同时生产多种制品?

(3) 所加工的树脂, 及其流变学与热力学参数?

(4) 挤塑机操作特性及挤塑模操作点或操作区 ( $Q$ 、 $T$ 、 $P_{\max}$ )?

**第 2 步** 挤塑模选型与设计、压降计算、控温系统初步设计;

**第 3 步** 确定挤塑模的基本尺寸 (包括安装位置、螺钉联接强度、模腔刚度校核等);

- 第4步 挤塑模工程设计，须对各零件进行详细分析计算，并绘制施工图；  
 第5步 施工制造、总成；  
 第6步 试模、做些适当修改；  
 第7步 模具验收。

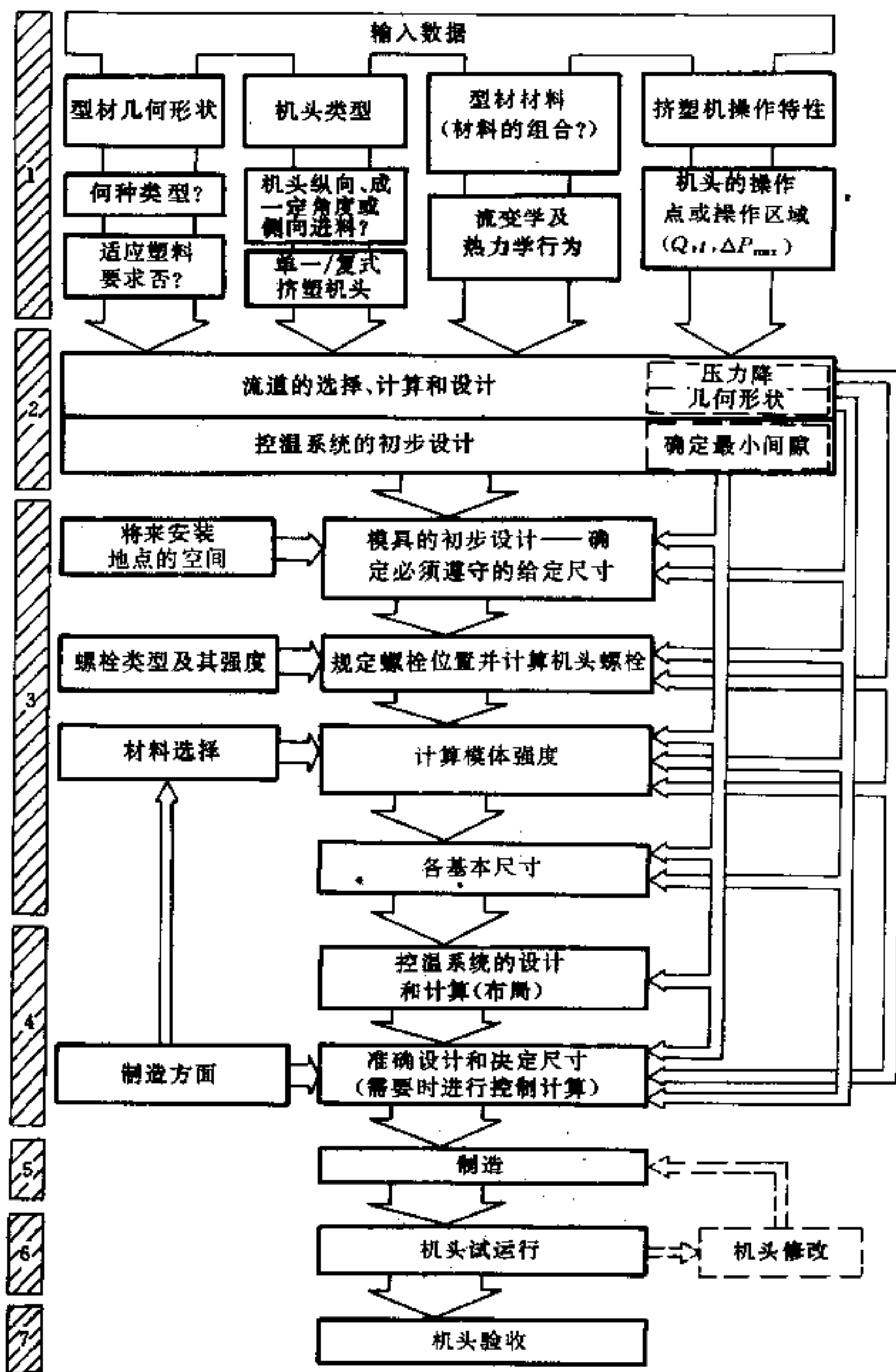


图 7.1-4 挤塑模设计程序

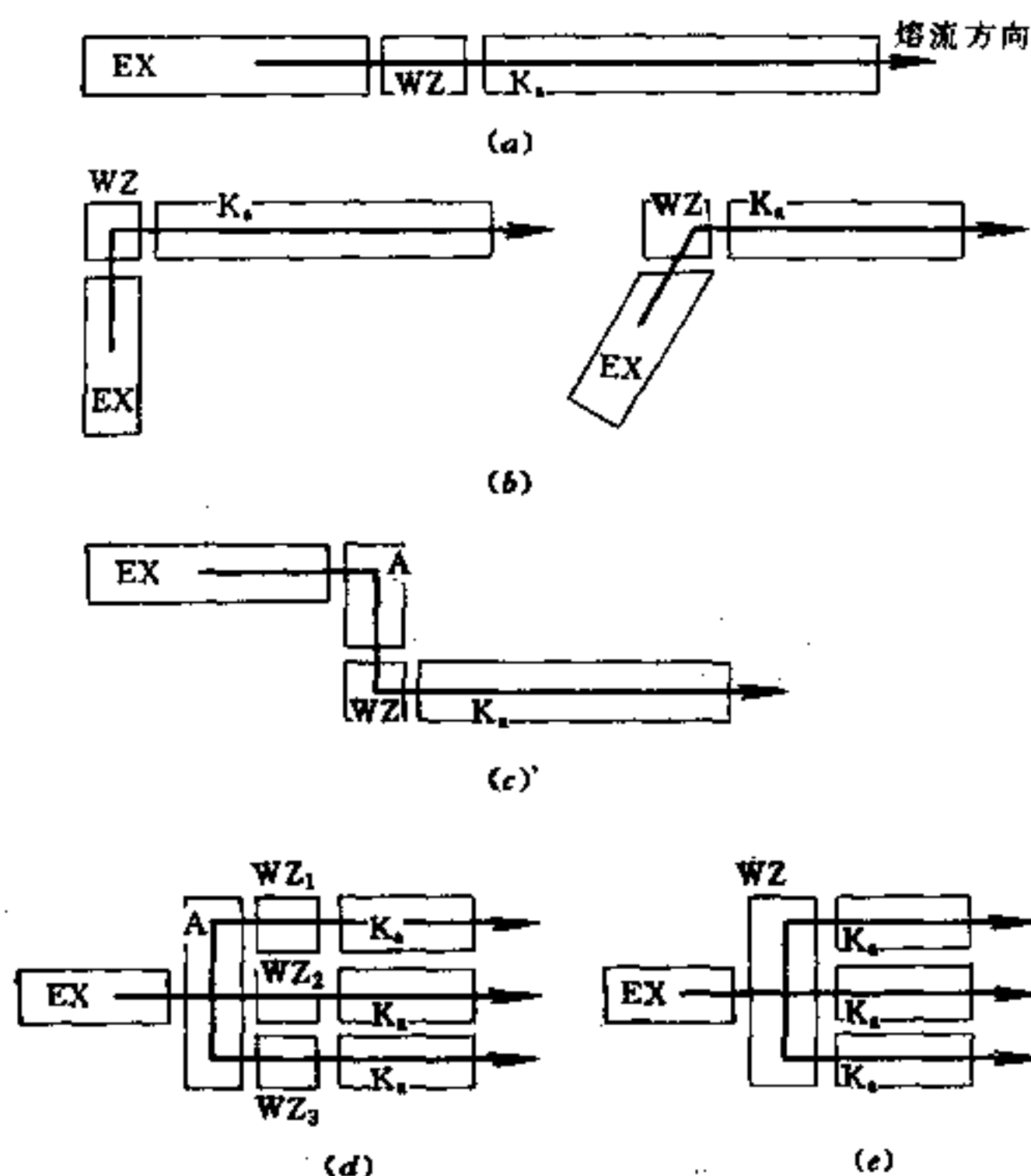


图 7.1-5 挤塑模进料方式

(a) 纵向进料; (b) 侧向进料; (c) 平行进料; (d) 多机头; (e) 单机头。

EX—挤塑机; WZ—挤塑模; A—机头联接器;  $K_s$ —定型模。

## 7.2 熔体流动过程分析

### 7.2.1 假设与边界条件

众所周知, 本书首章所述各守恒基本方程式, 其求解十分困难。为了计算速度和温度分布, 必须给予适当假设, 以简化其数学描述式, 使得挤塑模设计所建立的物理模型, 能方便求解。为此, 特做如下假设:

- (1) 稳态层流  $\left[ \frac{\partial}{\partial t} (\dots) = 0 \right]$  对于连续挤塑生产操作, 显然是合理的。
- (2) 在流道横截面上的压力梯度恒定不变, 略去法向应力的影响。
- (3) 在流道横截面上, 塑料熔体的流动属全展流, 且其剪切方向与轴线平行。
- (4) 熔体在流道壁上无滑移, 即  $v(z) = 0$ 。
- (5) 略去惯性和重力不计。
- (6) 由于热传导, 仅在垂直于流动方向上有热散失, 即存在有温度梯度。
- (7) 熔体不可压缩, 即  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ , 导热系数和热扩散系数保持恒定。
- (8) 模壁处熔体层中的导热通量, 由第一章表 1.4-1 可考虑为:

$$q = -\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

(9) 边界条件, 根据坐标系及分量的不同, 分别可有:

对于柱面坐标:

$$\begin{aligned} (a) \quad v_z (r=R) &= 0 & (b) \quad T (r=R) &= T_w \\ (c) \quad \frac{\partial v_z}{\partial r} (r=R) &= 0 & (d) \quad \frac{\partial T}{\partial r} (r=R) &= 0 \end{aligned} \quad (7.2-1)$$

对于直角坐标:

$$\begin{aligned} (e) \quad v_z (y=h/2) &= 0 & (f) \quad T (y=h/2) &= T_w \\ (g) \quad \frac{\partial v_z}{\partial y} (y=h/2) &= 0 & (h) \quad \frac{\partial T}{\partial y} (h/2) &= 0 \end{aligned} \quad (7.2-2)$$

### 7.2.2 圆形流道模拟分析

在挤塑模中, 使用圆形流道是相当普遍的, 如图 7.2-1 所示。设其半径为  $R$ , 流道壁的温度为  $T_w$ 、流道中心温度为  $T_0$ , 并设该流动离两端足够远, 且其流体为假塑性液体。采用圆柱面坐标系, 其坐标轴分别为  $r$ 、 $\theta$  和  $z$ , 并假定:

- (1) 温度  $T$ 、速度分量  $V_i$  和剪切应力  $\tau_{ij}$ , 对时间  $t$ 、 $\theta$  和  $Z$  轴的导数为零;
- (2) 速度分量  $V_\theta$  和  $V_r$  本身为零。

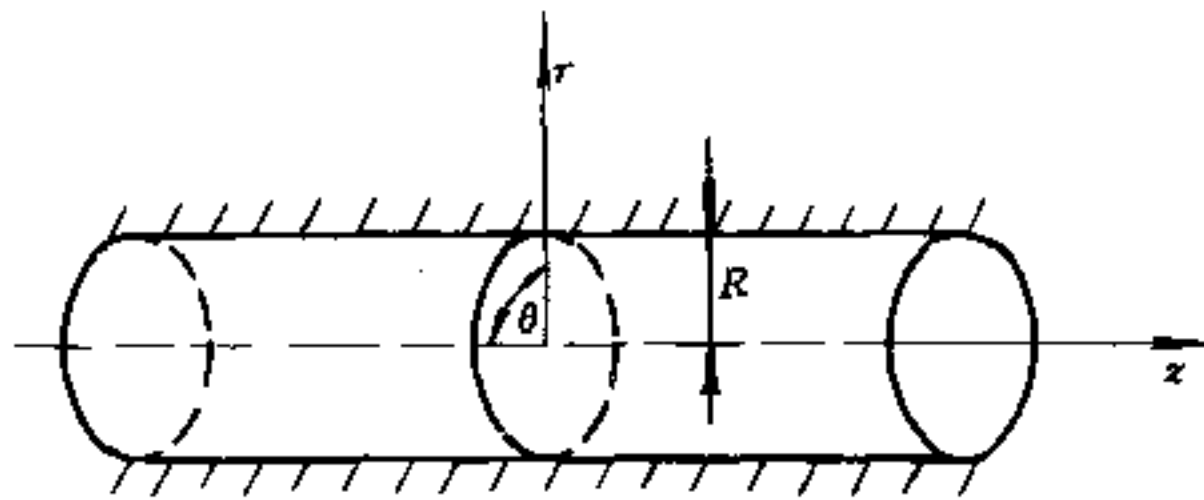


图 7.2-1 圆形流道流动模型

据此, 由动量方程 (见第一章表 1.3-2) 圆柱面坐标系的  $z$  分量, 以及能量方程 (见第一章表 1.4-2 和表 1.4-1) 圆柱面坐标系, 经化简后, 再由式 (1.5-5), 并代入表 1.5-1 中的相应变量, 经整理可得

$$\frac{\partial P}{\partial Z} = \frac{K}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \left( \frac{\partial v_z}{\partial r} \right)^n \right] \quad (7.2-3)$$

$$-\frac{\lambda}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \left( \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right] = K \left( \frac{\partial v_z}{\partial r} \right)^{n+1} \quad (7.2-4)$$

将式 (7.2-6) 对  $r$  积分得  $r \left( \frac{\partial v_z}{\partial r} \right)^n = \frac{r^2}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) + C_1$

因为在流道中心的  $\tau_{rz} = 0$ , 得积分常数  $C_1 = 0$ 。整理上式并开  $n$  次方得

$$\frac{\partial v_z}{\partial r} = \left[ \frac{r}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{1}{n}} \quad (7.2-5)$$

将上式对  $r$  再次积分得

$$v_z = \frac{n}{n+1} r^{\frac{n+1}{n}} \left[ \frac{1}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{1}{n}} + C_2 \quad (7.2-6)$$



由边界条件  $v_z (r=R) = 0$ , 得积分常数

$$C_2 = -\frac{n}{n+1} R^{\frac{n+1}{n}} \left[ \frac{1}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{1}{n}} \quad (7.2-7)$$

将式 (7.2-10) 代入式 (7.2-9), 并化简得

$$v_z = -\frac{n}{n+1} R^{\frac{n+1}{n}} \left[ \frac{1}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{1}{n}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (7.2-8)$$

在模具流道中心,  $v_z = v_0 (r=0)$ , 于是式 (7.2-11) 变成为

$$v_0 = -\frac{n}{n+1} R^{\frac{n+1}{n}} \left[ \frac{1}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{1}{n}} \quad (7.2-9)$$

将式 (7.2-11) 与式 (7.2-12) 相比, 可得

$$\frac{v_z}{v_0} = \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (7.2-10)$$

显然, 当  $n=1$  时, 式 (7.2-10) 就简化成牛顿流体, 具有 2 次方的抛物线形式。

为了得到非牛顿流体在流道中的温度分布式, 将式 (7.2-5) 代入能量方程 (7.2-4) 中, 对  $r$  积分, 利用流道中心 ( $r=0$ ) 处,  $\partial T/\partial r=0$  这一边界条件得积分常数  $C_3=0$ 。经整后对  $r$  再次积分得

$$T = -\frac{K}{\lambda} \left( \frac{n}{3n+1} \right)^2 \left[ \frac{1}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{n+1}{n}} r^{\frac{3n+1}{n}} + C_4 \quad (7.2-11)$$

将  $r=R$  时,  $T=T_w$  这一边界条件代入式 (7.2-16) 中, 得积分常数  $C_4$  为

$$C_4 = \frac{K}{\lambda} \left( \frac{n}{3n+1} \right)^2 \left[ \frac{1}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{n+1}{n}} R^{\frac{3n+1}{n}} + T_w \quad (7.2-12)$$

将式 (7.2-17) 代入式 (7.2-16), 化简后得

$$T - T_w = \frac{K}{\lambda} \left( \frac{n}{3n+1} \right)^2 R^{\frac{3n+1}{n}} \left[ \frac{1}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{n+1}{n}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{3n+1}{n}} \right] \quad (7.2-13)$$

根据  $r=0$  时,  $T=T_0$  这一边界条件, 可求得模具流道中心与其壁间的温差。于是式 (7.2-13) 变为

$$T_0 - T_w = \frac{K}{\lambda} \left( \frac{n}{3n+1} \right)^2 R^{\frac{3n+1}{n}} \left[ \frac{1}{2K} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \right]^{\frac{n+1}{n}} \quad (7.2-14)$$

将式 (7.2-18) 与式 (7.2-19) 相比较, 可得无量纲温度分布表达式

$$\frac{T - T_w}{T_0 - T_w} = 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{3n+1}{n}} \quad (7.2-15)$$

同样, 当  $n=1$  时, 式 (7.2-15) 就变成 4 次方抛物线, 即简化为牛顿流体的情况。

通过以上分析表明, 模具流道横截面上温差 ( $T - T_w$ ) 分布, 主要取决于熔体非牛指数  $n$  的数值。这种情况在高剪应力的条件下将是十分显著的。无疑, 在挤出成型的各种口模中, 塑料熔体的温差分布就属于这种情况。

在本节所进行的流动分析中, 均假定在任意给定的剪应力下, 熔体在模具流道横截面上的粘度为常数。这显然是不可能的, 因为温度的变化必然会导致粘度的变化。作为

初步近似, 可以忽略。但如果模具流道横截面上的温差, 确实大于  $1\sim 2^\circ\text{C}$ , 则塑料熔体粘度的变化将是十分显著的。对此, 应予以引起重视。

### 7.2.3 矩形流道模拟分析

在挤塑模设计中, 用得最多的是矩形流道。所谓“狭缝形口模”, 就是指那些宽厚比 ( $W/h$ ) 趋于无限大的矩形截面流道的极端情形。挤管用环隙口模, 以及流涎膜用口模亦属此列。矩形流道如图 7.2-2 所示, 宽  $W$ 、厚  $h$ 、长  $L$ 。

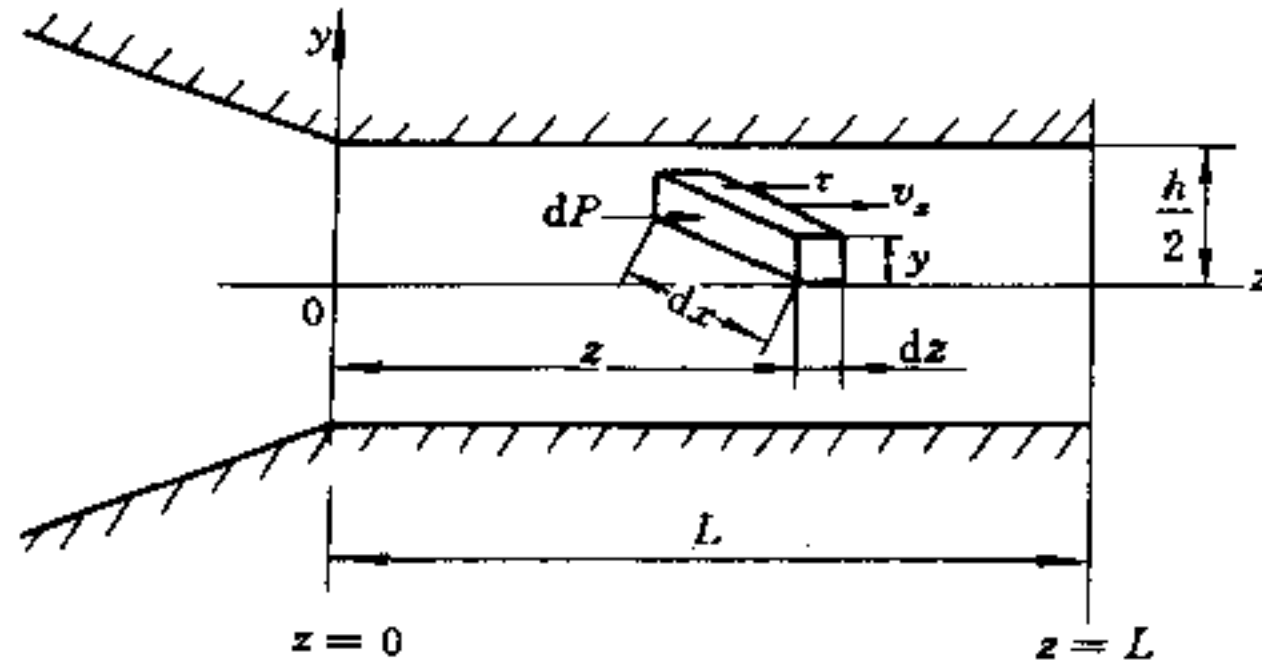


图 7.2-2 矩形流道模型

当塑料熔体沿  $z$  方向运动时, 我们采用如前所述、经简化的动量方程、能量方程及流变方程, 根据边界条件, 当  $y=0$ ,  $\frac{\partial v_z}{\partial y} = 0$  得积分常数  $C_1 = 0$ 。经整理并考虑其方向性得

$$\frac{\partial v_z}{\partial y} = - \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{\frac{1}{n}} y^{\frac{1}{n}} \quad (7.2-16)$$

积分上式得

$$v_z = - \left( \frac{n}{n+1} \right) \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{\frac{1}{n}} y^{\frac{n+1}{n}} + C_2 \quad (7.2-17)$$

根据边界条件 (通道壁无滑移的假设), 当  $y = \frac{h}{2}$  时,  $v_z = 0$ , 得积分常数

$$C_2 = \frac{n}{n+1} \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{n+1}{n}} \quad (7.2-18)$$

将  $C_2$  之值代入式 (7.2-17), 经整理化简得

$$v_z = \frac{n}{n+1} \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left[ 1 - \left( \frac{2y}{h} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (7.2-19)$$

由

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{\frac{n+1}{n}} y^{\frac{n+1}{n}} \quad (7.2-20)$$

积分得

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{n}{\lambda (2n+1)} \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)^{\frac{n+1}{n}} y^{\frac{2n+1}{n}} + C_3 \quad (7.2-21)$$

根据边界条件, 当  $y=0$ ,  $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$ , 得  $C_3 = 0$ 。再积分式 (7.2-21) 得

$$T = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{n}{2n+1} \right) \left( \frac{n}{3n+1} \right) \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{\frac{n+1}{n}} y^{\frac{3n+1}{n}} + C_4 \quad (7.2-22)$$

根据边界条件, 当  $y = \frac{h}{2}$  时,  $T = T_w$ , 得积分常数

$$C_4 = T_w - \frac{1}{\lambda} \left( \frac{n}{2n+1} \right) \left( \frac{n}{3n+1} \right) \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{3n+1}{n}}$$

把  $C_4$  之值代入式 (7.2-22), 经简化可得

$$T - T_w = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{n}{2n+1} \right) \left( \frac{n}{3n+1} \right) \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{3n+1}{n}} \left[ 1 - \left( \frac{2y}{h} \right)^{\frac{3n+1}{n}} \right] \quad (7.2-23)$$

若令  $y = 0$ , 则得塑料熔体在矩形通道中流动的中心层温度  $T_0$ 。由式 (7.2-14) 得

$$T_0 - T_w = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{n}{2n+1} \right) \left( \frac{n}{3n+1} \right) \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{3n+1}{n}} \quad (7.2-24)$$

将式 (7.2-24) 除式 (7.2-23) 得无量纲温度分布表达式

$$\frac{T - T_w}{T_0 - T_w} = 1 - \left( \frac{2y}{h} \right)^{\frac{3n+1}{n}} \quad (7.2-25)$$

显然, 不难看出, 式 (7.2-25) 与式 (7.2-15) 有相同的表达形式及温度分布规律, 强烈地依赖于熔体的非牛指数  $n$ 。当为牛顿型流体时, 其分布规律只与  $y$  向位置的四次方相关联。

由式 (7.2-19) 可求出熔体的平均速度

$$\begin{aligned} \bar{v}_x &= \frac{\int_0^{\frac{h}{2}} v_x dy}{\int_0^{\frac{h}{2}} dy} = \frac{2}{h} \int_0^{\frac{h}{2}} v_x dy = \frac{n}{n+1} \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{\frac{1}{n}} \int_0^{\frac{h}{2}} \left[ 1 - \left( \frac{2y}{h} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] dy \\ &= \frac{n}{2n+1} \left( \frac{1}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{n+1}{n}} \end{aligned} \quad (7.2-26)$$

将式 (7.2-26) 两端同乘以  $(n+1)$  次方, 移项化简得

$$\left( \frac{\partial P}{\partial Z} \right)^{\frac{n+1}{n}} = \left( \frac{2n+1}{n} \right)^{n+1} (K)^{\frac{n+1}{n}} \left( \frac{2}{h} \right)^{\frac{(n+1)^2}{n}} \bar{v}_x^{n+1} \quad (7.2-27)$$

把式 (7.2-27) 代入式 (7.2-23), 经化简整理得

$$T - T_w = \frac{K}{\lambda} \left( \frac{2n+1}{n} \right)^n \left( \frac{n}{3n+1} \right) \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{1}{n}} (\bar{v}_x)^{n+1} \left[ 1 - \left( \frac{2y}{h} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (7.2-28)$$

若令  $y = 0$ , 则得熔体中心层温度

$$T_0 = T_w + \frac{K}{\lambda} \left( \frac{2n+1}{n} \right)^n \left( \frac{n}{3n+1} \right) \left( \frac{h}{2} \right)^{\frac{1}{n}} (\bar{v}_x)^{n+1} \quad (7.2-29)$$

从式 (7.2-28) 可观察到塑料熔体处于稳态流动时, 其温度分布与熔体物性、模具

尺寸、熔体流速等的相关关系。

值得指出的是，以上推导的温度分布估算各方程仍是一种近似方法。这是因为塑料熔体在其整个流动过程中的稠度 ( $K$ ) 不可能是不变的常数，且其体积也不可能不发生变化 (即  $\rho \neq$  常数) 所致。但在工程上作为挤出成形板、片和膜等温度分布估算是足够准确的。

#### 7.2.4 有限元法分析

对于几何形状复杂或变截面流道，其熔体流动的速度分布，须使用有限元法 (F.E.M.) 分析。考察在任意流道中不可压缩的牛顿流体 ( $\eta =$  常数)，且为三维稳定流动，并略去惯性力、体积力及法向应力，则在第一章中所提及的连续性方程和动量方程，可分别简化为：

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (7.2-30)$$

和

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \eta \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (7.2-31)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \eta \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (7.2-32)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \eta \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (7.2-33)$$

正如已经提到的那样，变分原理相当于这些微分方程，并导致变分泛函的一个公式。这样的一种泛函可表示为  $X$  的函数，即

$$\begin{aligned} X = \eta \int_V \left[ 2 \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v_y}{\partial y} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right)^2 \right. \\ \left. + \left( \frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right)^2 \right] dv + \alpha \int_V \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) dv \end{aligned} \quad (7.2-34)$$

式中，第一项积分描述在整个体积  $V$  中，由于摩擦生热而引起的能量耗散；而第二项积分相当于压力  $P$  的影响，即

$$P = \alpha \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \quad (7.2-35)$$

为了求解，则必须通过变分法使泛函  $X$  变为零。这意味着，产生最小摩擦热的速度分布，代表了正确解答。

用 F.E.M. 法分析，获得熔体在矩形流道中的速度分布如图 7.2-3 所示。星形流道和三角形流道的速度分布，分别如图 7.2-4 和图 7.2-5 所示。从圆形流道过渡到正方形截面流道的速度分布，示于图 7.2-6 中。在芯模支承环中的速度分布及其剖面解，分别如图 7.2-7 和图 7.2-8 所示。

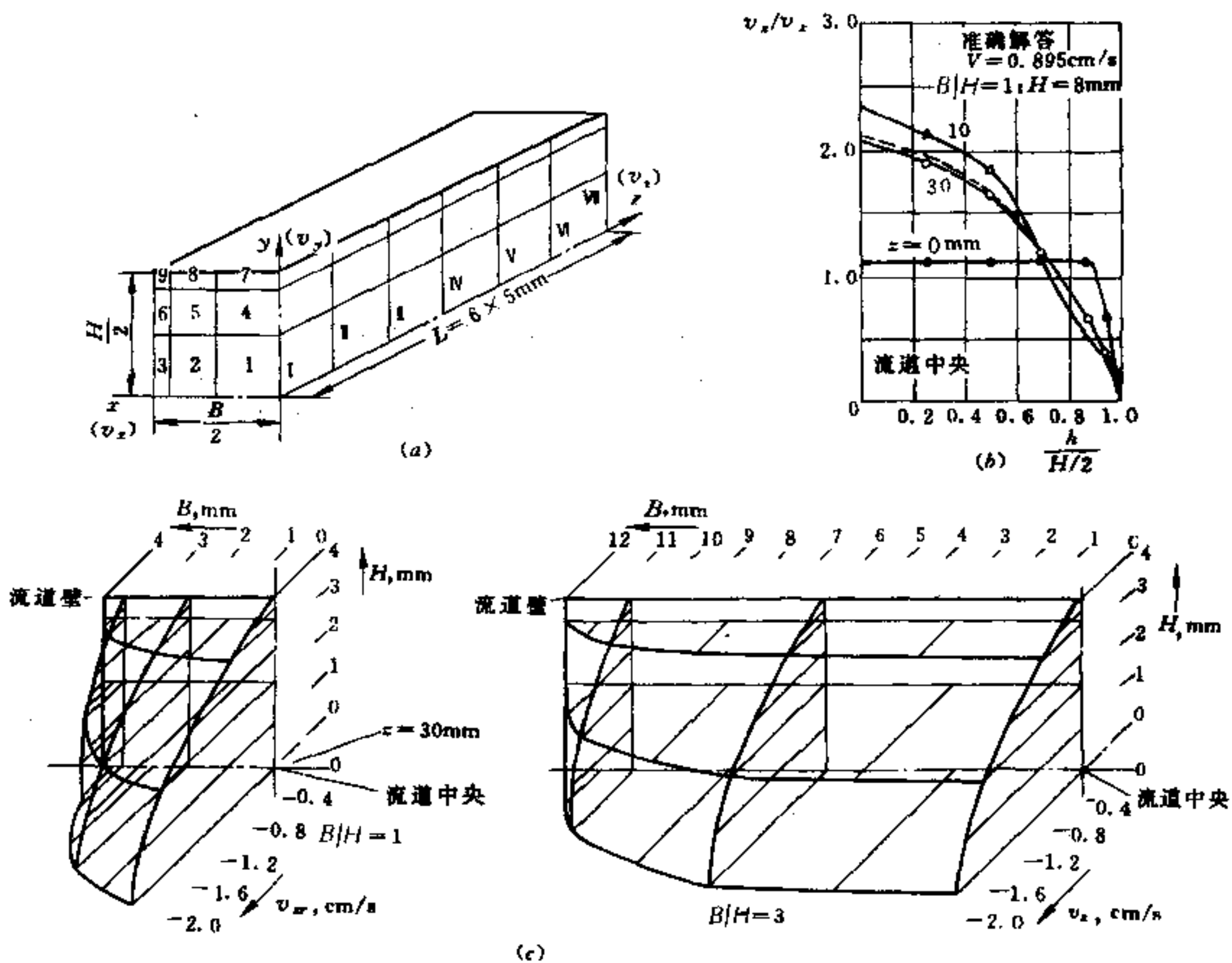


图 7.2-3 熔体在矩形流道中的速度分布  
 (a) 划分有限单元; (b) 速度分布沿流道的展开; (c)  $z = 30\text{mm}$  时的速度分布。

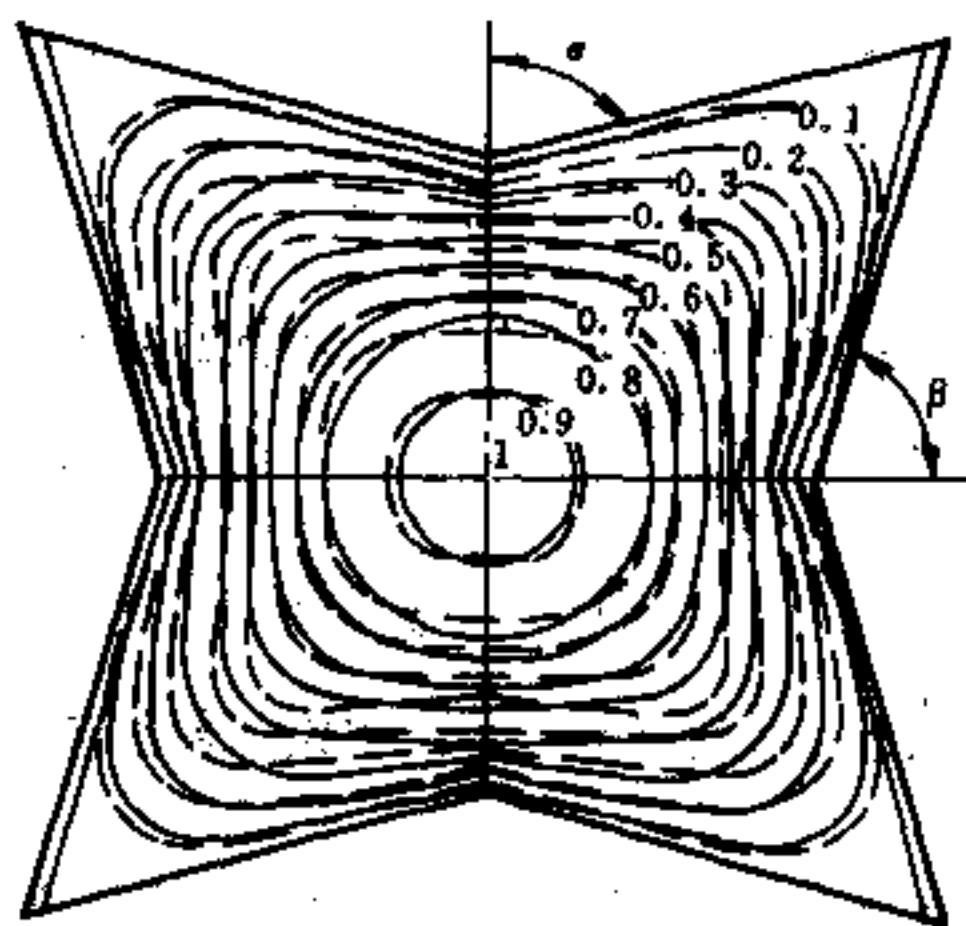


图 7.2-4 流道几何形状对速度场形成的影响  
 (实线为  $\alpha = \beta = 75^\circ$  时的等速线; 虚线为  $\alpha = 75^\circ, \beta = 73.5^\circ$  时的等速线)

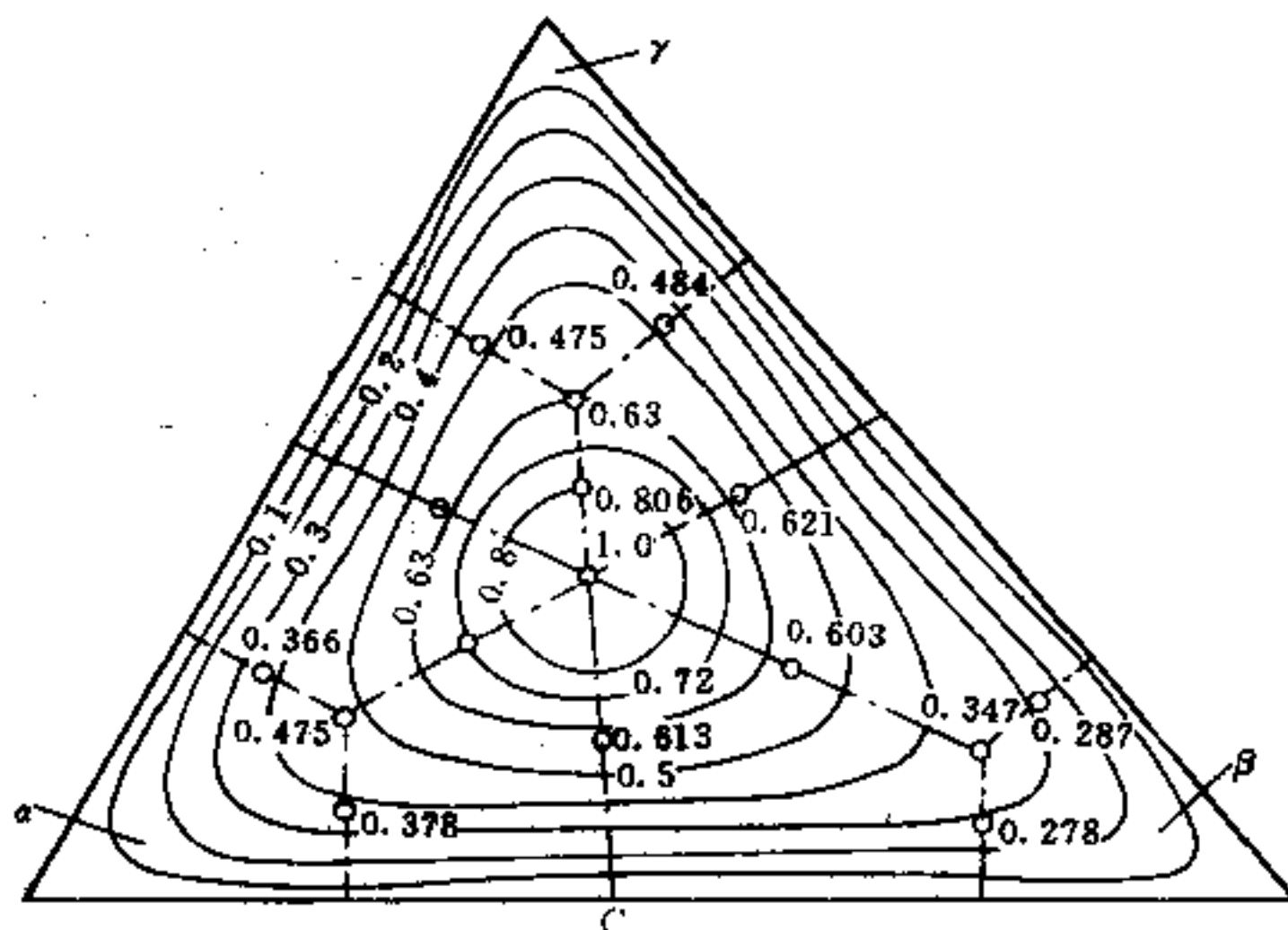


图 7.2-5 三角形截面流道的无量纲速度场分布  
 (HDPE:  $\eta = 10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\beta = 50^\circ$ ,  $\gamma = 70^\circ$ ,  $c = 6 \text{ mm}$ ,  $O =$  有限元结点)

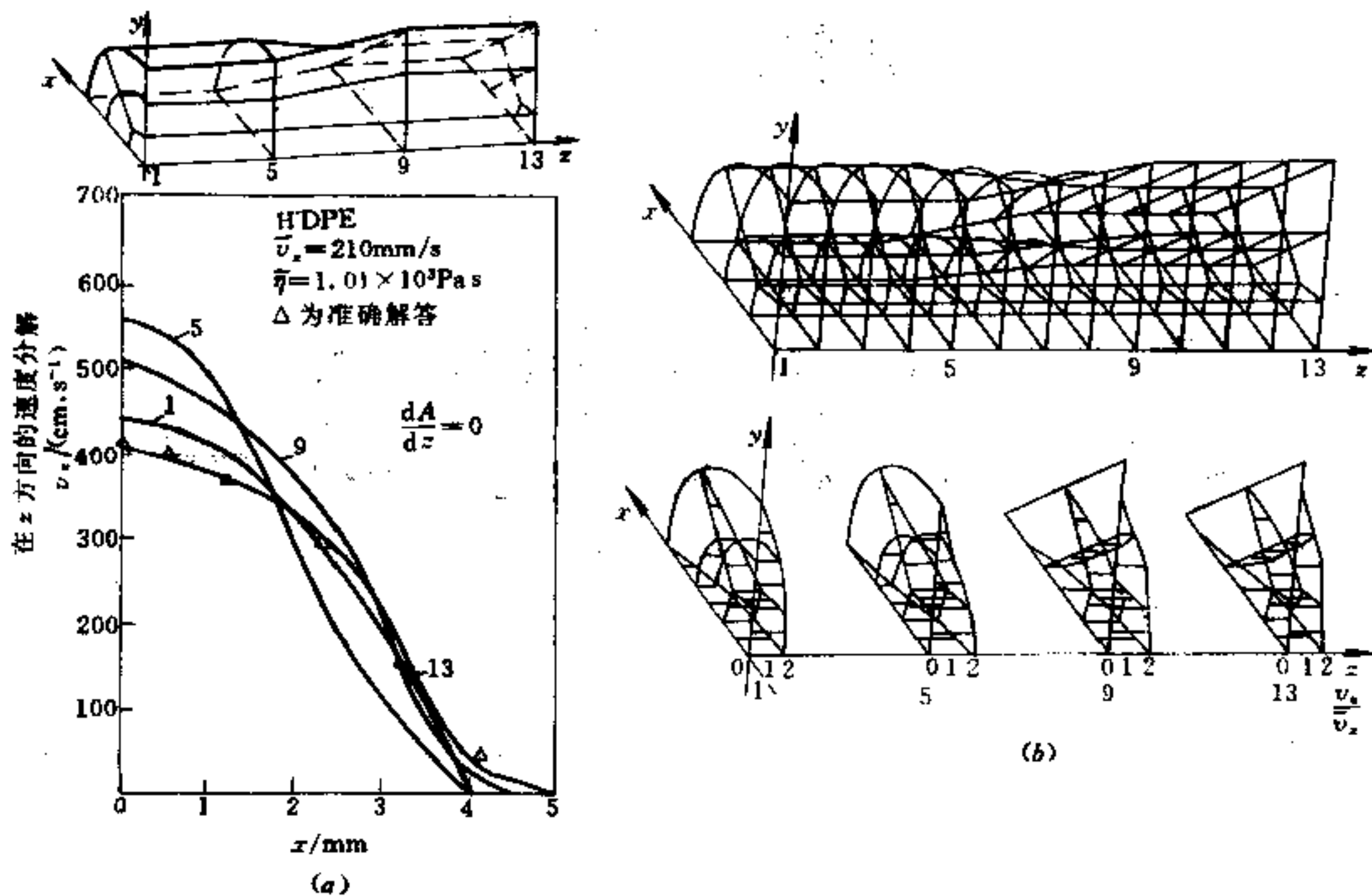


图 7.2-6 由圆形向正方形过渡的速度分布  
 (a) 不同位置的分布曲线; (b) 无量纲速度分布。

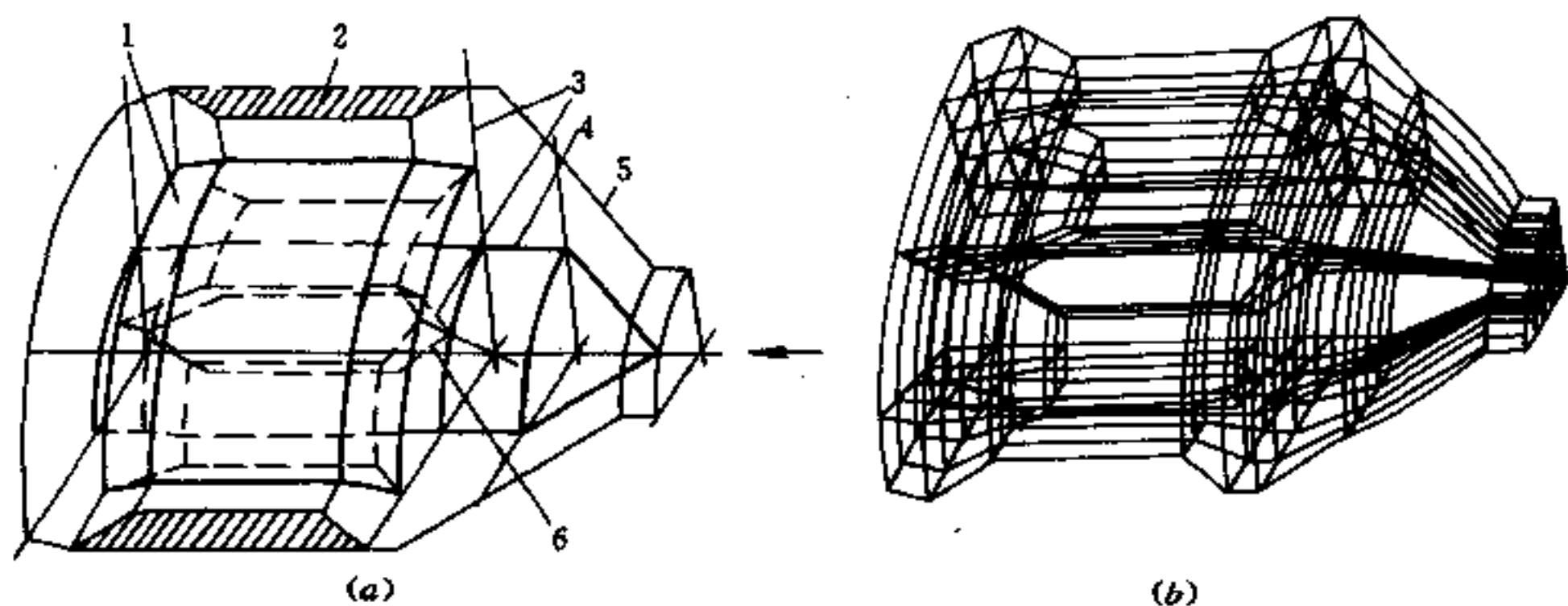


图 7.2-7 吹塑直角机头模芯支承区

(a) 1/4 模芯支承区扇形体; (b) 流径有限元结构。

1—芯模支承环; 2—外支架; 3—支架脚; 4—芯模; 5—外壁; 6—内支架。

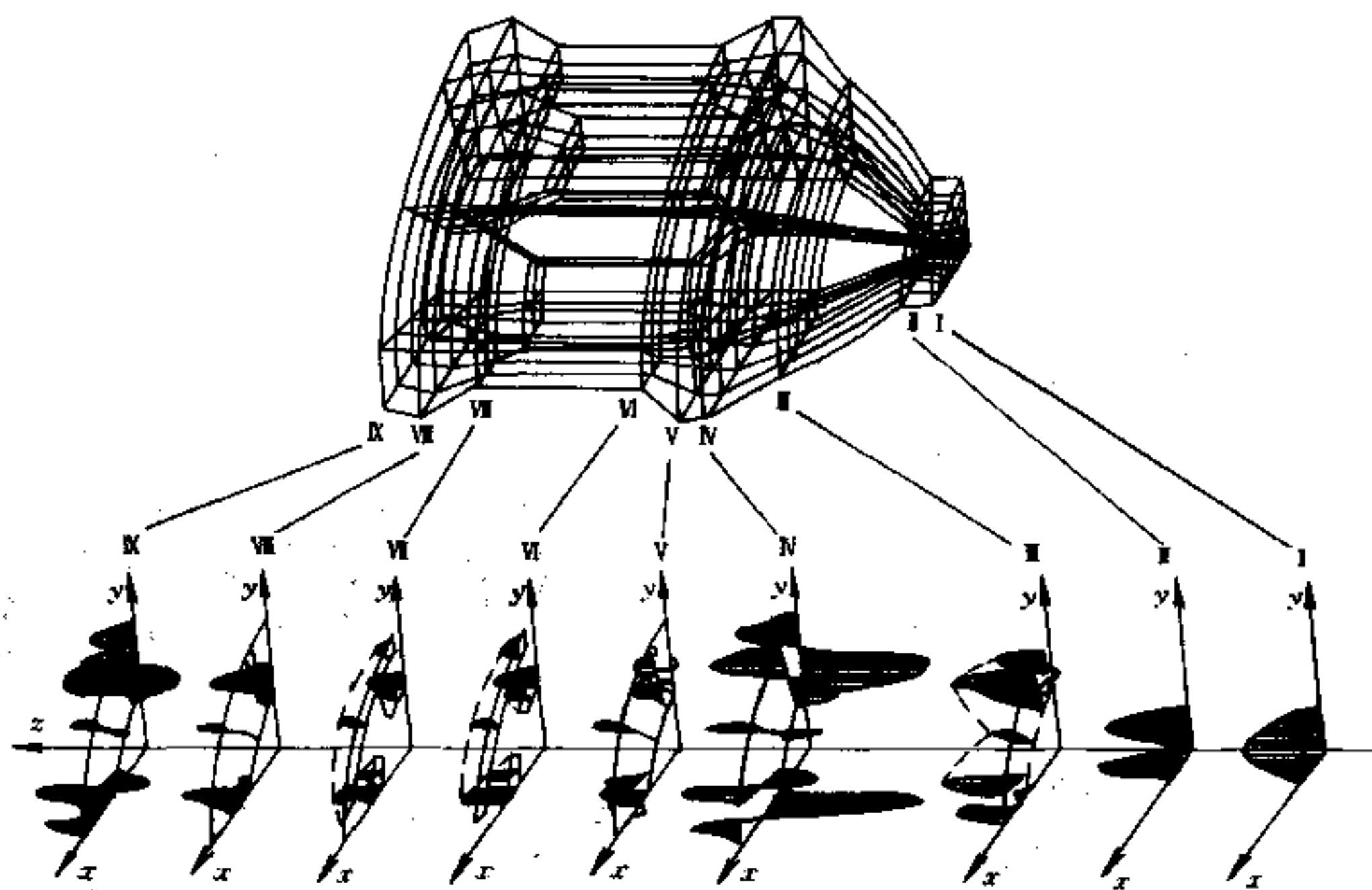


图 7.2-8 芯模支承区有限元分析及径向速度分布

### 7.3 工艺装置设计

型材质量与工艺装置设计的完善程度密切相关,在很大程度上决定了挤塑模结构设计的合理性。对挤出物质量、尺寸精度、物理力学性能乃至整个挤塑操作过程,都具有至关重要的影响。基于此,在设计挤塑模之前,必须对挤塑成型的工艺装置提出具体要求。

### 7.3.1 挤塑机性能

#### 一、螺杆特性

主要包括长径比、压缩比、分段及螺杆特性曲线。

##### 1. 长径比

长径比通常指螺杆有效长度  $L$  与其外径  $D$  之比, 即  $B = L/D$ 。  $B$  值增大, 塑化质量高、压实充分、制品外观好、力学性能优, 且螺杆特性曲线的斜率减小, 挤出产量更趋稳定。但  $B$  值也不宜过大, 否则会增大能量损耗和机器磨损。目前常用螺杆长径比为 15、20、25 三种, 最大可达 28~30, 但还有增大的趋势。

##### 2. 压缩比

压缩比或称几何压缩比, 定义为螺杆加料段第一个螺槽容积与计量段最后一个螺槽容积之比  $\epsilon$ 。此值与塑料品种密切相关, 一般在 2~5 之间。表 7.3-1 列有常用塑料的几何压缩比。

表 7.3-1 常用塑料几何压缩比

塑料品种		$\epsilon$	塑料品种	$\epsilon$	塑料品种	$\epsilon$
RPVC	粒料	2~3	ABS	2~3	PSU	3~5
	粉料	3~5	PA	2~4	PC	2~3
SPVC	粒料	3~4	POM	3~4	PP	3~4
	粉料	3~5	PS	2~4	CA	1.7~2.5
PE	管材	3~4	PET	3~4	PPO	2~3
	薄膜	4~5	PMMA	3~4	氟塑料	3~4

##### 3. 螺杆分段

通常按螺杆功能分为加料段、压缩段和计量段。每段占总长  $L$  的百分比, 视塑料类型不同而异。常见值如表 7.3-2 所示。图 7.3-1 为  $\phi 45$  挤塑机螺杆的使用值。

表 7.3-2 螺杆类型及分段

螺杆类型	塑料类别	加料段 $L_1$	压缩段 $L_2$	计量段 $L_3$
渐变型	无定型	10%~25%	50%~60%	20%~30%
突变型	结晶型	50%~60%	(2~3D)	25%~35%

#### 二、挤塑机产量

设计挤塑模时, 必须考虑产量。但机头整个流道形状与尺寸、压降、效率等计算, 均与挤塑机产量密切相关。

##### 1. 挤塑机产量

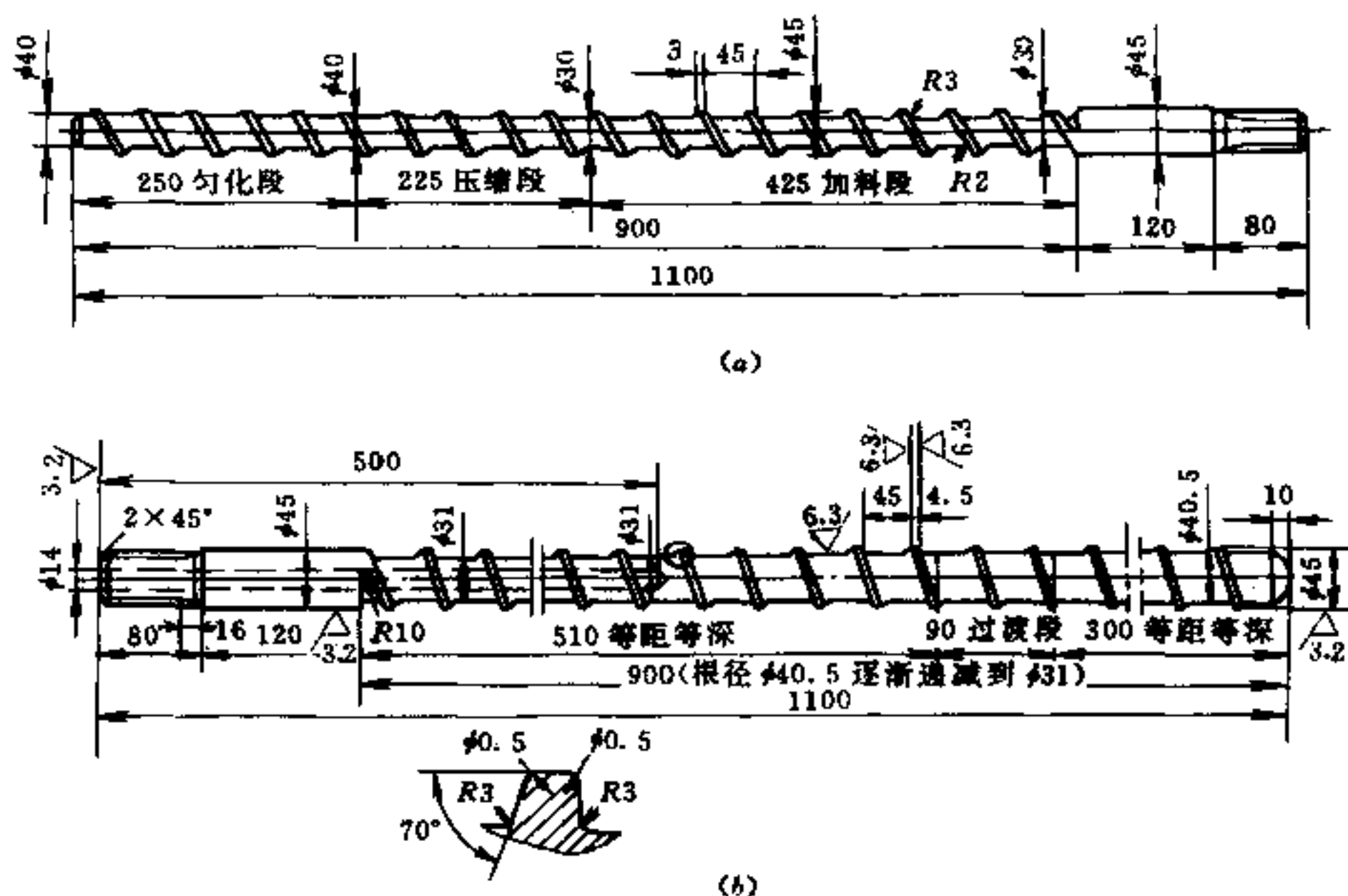
我们已经知道螺杆计量段的流量  $Q$ , 就是挤塑机的体积产量, 可写成如下表达式

$$Q = An - B \left( \frac{P}{\eta} \right) \quad (7.3-1)$$

$$A = (\pi^2 D^2 h_3 \sin \phi \cos \phi) / 2; \quad B = (\pi D h_3^3 \sin^2 \phi) / (12 L_3)$$

其中,  $n$  为螺杆转速 (r/min);  $h_3$  为计量段螺槽深度 (cm);  $\phi$  为螺纹升角;  $\eta$  为塑料熔体粘度 ( $N \cdot s/cm^2$ )。



图 7.3-1  $\phi 45$  挤塑机螺杆类型

(a) 渐变型; (b) 突变型。

塑料熔体在机头内腔的体流量可描述为

$$Q = k_1 \frac{\Delta P}{\eta} \quad (7.3-2)$$

当挤塑机产生的压力  $P$ , 正好被机头压力损失  $\Delta P$  所平衡时, 即  $P = \Delta P$ , 则将上式代入式 (7.3-1), 可解得挤塑机产量

$$Q = (An \cdot k_1) / (B + k_1) \quad (7.3-3)$$

由此可知, 当螺杆选定后,  $A$ 、 $B$  为常数, 其产量仅与螺杆转速  $n$  和机头阻力系数  $k$  有关; 当机头确定后, 产量仅为螺杆转速的单值函数。但螺杆转速有一定范围, 通常随螺杆直径增大而减小。国产单螺杆挤塑机的基本参数见表 7.3-3。日产同向、异向双螺杆挤塑机, 分别见表 7.3-4 和表 7.3-5。

表 7.3-3 单螺杆挤塑机基本参数

序号	螺杆直径 /mm	螺杆转速 /(r·min <sup>-1</sup> )	长径比 L/D	产量/(kg·h <sup>-1</sup> )		电动机功率 /kW	加热段数 (机身) ≥	加热功率 (机身) < kW	中心高 /mm
				RPVC	SPVC				
1	30	20~120	15	2~6	2~6	3/1	3	4	1000
			20						
			25						
2	45	17~102	15	7~18	7~18	5/1.67	3	6	1000
			20						
			25						

(续)

序号	螺杆直径 /mm	螺杆转速 /(r·min <sup>-1</sup> )	长径比 L/D	产量/(kg·h <sup>-1</sup> )		电动机功率 /kW	加热段数 (机身) ≥	加热功率 (机身) <kW	中心高 /mm
				RPVC	SPVC				
3	65	15~90	15	15~33	16~50	15/5	3	10	1000
			20						
			25						
4	90	12~72	15	35~70	40~100	22/7.3	3	18	1000
			20						
			25						
5	120	8~48	15	56~112	70~160	55/18.3	3	30	1100
			20						
			25						
6	150	7~42	15	95~190	120~280	75/25	4	45	1100
			20						
			25						
7	200	5~30	15	160~320	200~480	100/33.3	5	75	1100
			20						
			25						
8	250	250、300 为推荐发展规格, 其性能参数暂不作规定							
9	300								

表 7.3-4 [日] HMT 高速同向双螺杆挤塑机

序号	技术参数	规格型号				
		HMT53	HMT100	HMT125	HMT160	HMT2000
1	螺杆直径/mm	53	100	125	160	200
2	长径比(L/D)	34	32	30	30	30
3	螺杆转速/(r·min <sup>-1</sup> )	300	300	300	300	200
4	主机功率/kW	30	220	375	800	1500
5	料筒节数/节	10	10	10	10	10

表 7.3-5 [日] BT 型异向双螺杆挤塑机

序号	技术参数	规格型号					
		BT55	BT65	BT80	BT100	BT130	BT150
1	螺杆直径/mm	55	65	80	100	130	150
2	长径比(L/D)	16	16	16	18	16, 21	17
3	螺杆转速/(r·min <sup>-1</sup> )	8/50	15/45	12/36	12/36	3/30	4/40
4	加热功率/kW	11	12	19	38	50, 51	90
5	温度调节/℃	密闭型	密闭型	50/150	50/150	50/150	50/150
6	机筒冷却	空冷	空冷	空冷	空冷	空冷	空冷
7	主机功率/kW	11	15	30	45	55	80
8	轴承寿命/h	35000	35000	35000	54000	54000	54000
9	中心高/mm	1100	1100	1100	1100	1100	1100
10	产量(RPVC)/(kg·h <sup>-1</sup> )	20/80	40/130	150/250	200/420	300/650	450/750
11	外形尺寸/mm	2640	3550	3800	4330	4760	5620
		长×宽 ×770	×770	×1470	×1700	×1700	×1800
12	机器重量/t	×1700	×1700	×1740	×2130	×2250	×2310
		2.0	2.5	3.5	5.5	8.5, 10.0	11.3

## 2. 特性曲线

由式 (7.3-1) 可知, 挤塑机产量  $Q$  与压力  $P$  呈线性关系, 其斜率为负。如果将它按不同的螺杆转速  $n$  值, 标绘在  $Q$ - $P$  坐标图 (见图 7.3-2) 上, 便形成一系列、被称之为“螺杆特性曲线”的平行线。由图可知, 挤塑机产量  $Q$  随着压力  $P$  的增大而减小, 当  $P=0$ ,  $Q$  = 最大值。实际上, 由于机头存在有阻力, 因而挤塑机不可能达到最大值  $Q_{\max}$ 。

如果以  $P$  代替  $\Delta P$ , 将方程 (7.3-2) 也标绘在  $Q$ - $P$  坐标图上, 便得一斜率 (等于  $K/\eta$ ) 为正的直线。此直线过原点  $O$ , 被称之为“口模特性曲线”。口模特性曲线与螺杆特性曲线的交点 (如图 7.3-2 所示的  $C$  点), 即为该挤塑机的最佳工作点。此时的压力为  $P_c$ , 相应的产量为  $Q_c$ 。

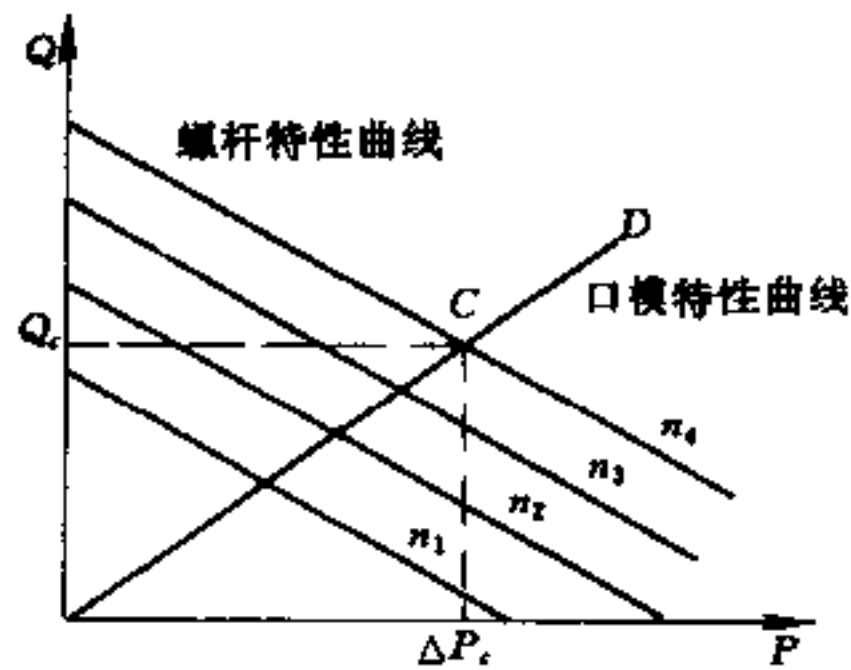


图 7.3-2 螺杆与口模特性曲线

## 7.3.2 联接器设计

挤塑模与挤塑机相联接的装置, 称之为联接器或联接套。联接器的结构多种多样, 但以使用卡箍和铰链螺钉联接的结构形式居多。按挤塑机规格及生产方式的不同, 常用联接器有以下三种结构形式。

### 1. 螺纹联接式

此种结构的联接器多用于中小型挤塑机。如图 7.3-3 所示, 将挤塑模始端外侧, 以螺纹与法兰相联接构成整体后, 再将机头法兰 2 以铰链螺钉 3 与机筒法兰 4 相紧固, 从而构成完整的联接体系。此种联接方式的同心度, 是以栅板外径为基轴, 达到共轴同心之要求的。栅板端面应有压紧台面, 以防止漏料。螺纹联接器尺寸与挤塑机规格间的关系, 见表 7.3-6。图 7.3-4 为其应用实例。

表 7.3-6 螺纹联接器的尺寸关系 (mm)

符号	挤出机型号						符号意义
	SJ-45	SJ-65	SJ-65	SJ-90	SJ-120	SJ-150	
$M$	M80×4	3M110×2	3M110×2	M140×3	M180×3	M180×3	机头与机头法兰连接的螺纹尺寸
$D$	φ55	φ80	φ90	φ110	φ160	φ175	栅板外径
$d$	—	φ70	φ70	φ90	φ120	φ150	栅板开孔处直径
$m$	M18	—	T22	T24	—	—	铰链螺钉直径
$B$	30	35	35	45	68	68	机头法兰厚度
$H$	—	15	15	20	32	38	栅板厚度
$h$	8	5	7	8	—	14	栅板伸入机筒部分厚度
$L_1$	104	170	181.86	210	348	348	铰链螺钉
$L_2$	104	115	105	120	205	205	中心距

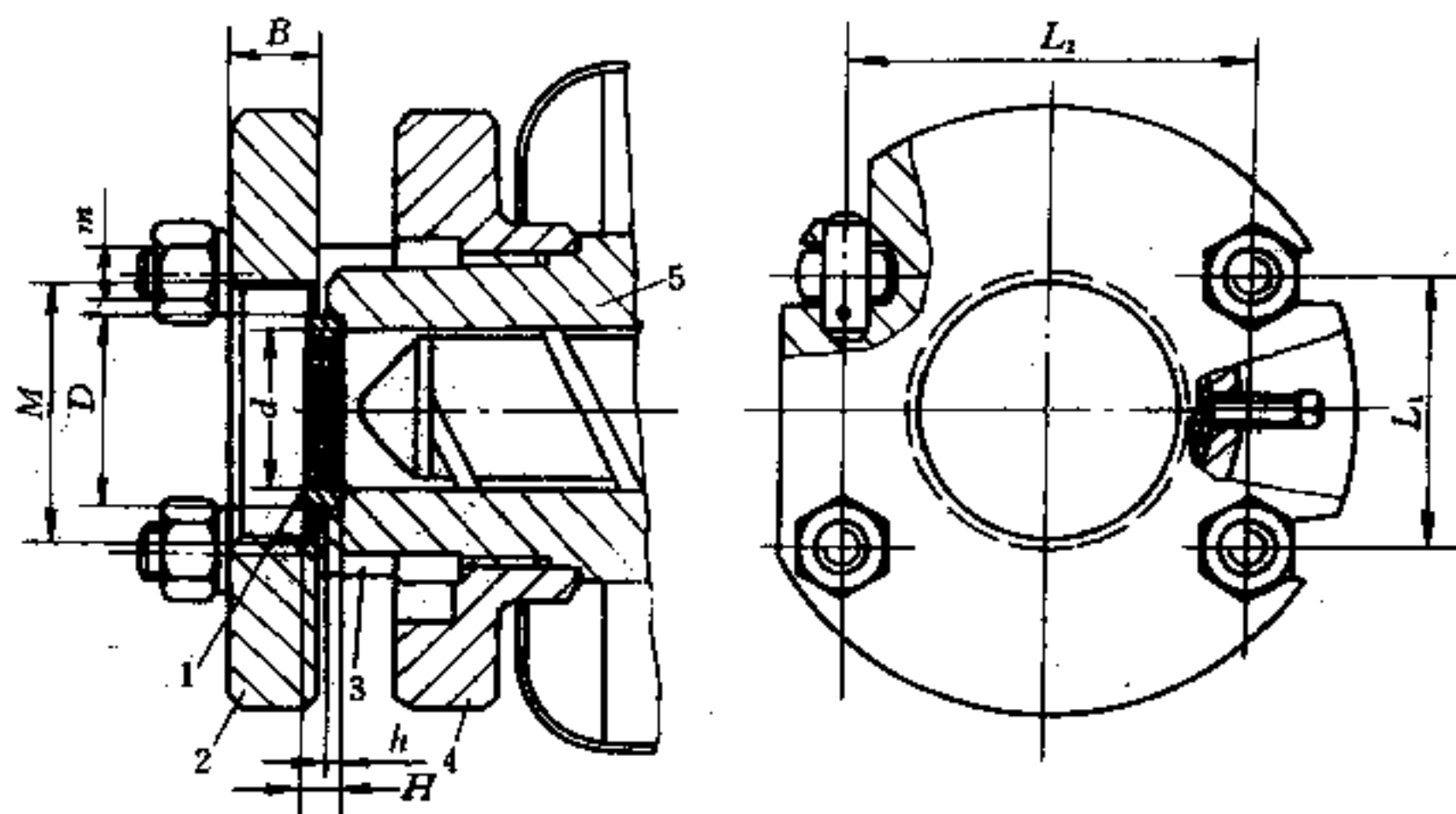


图 7.3-3 螺纹连接器结构设计

1—栅板；2—机头法兰；3—铰链螺钉；4—机筒法兰；5—机筒。

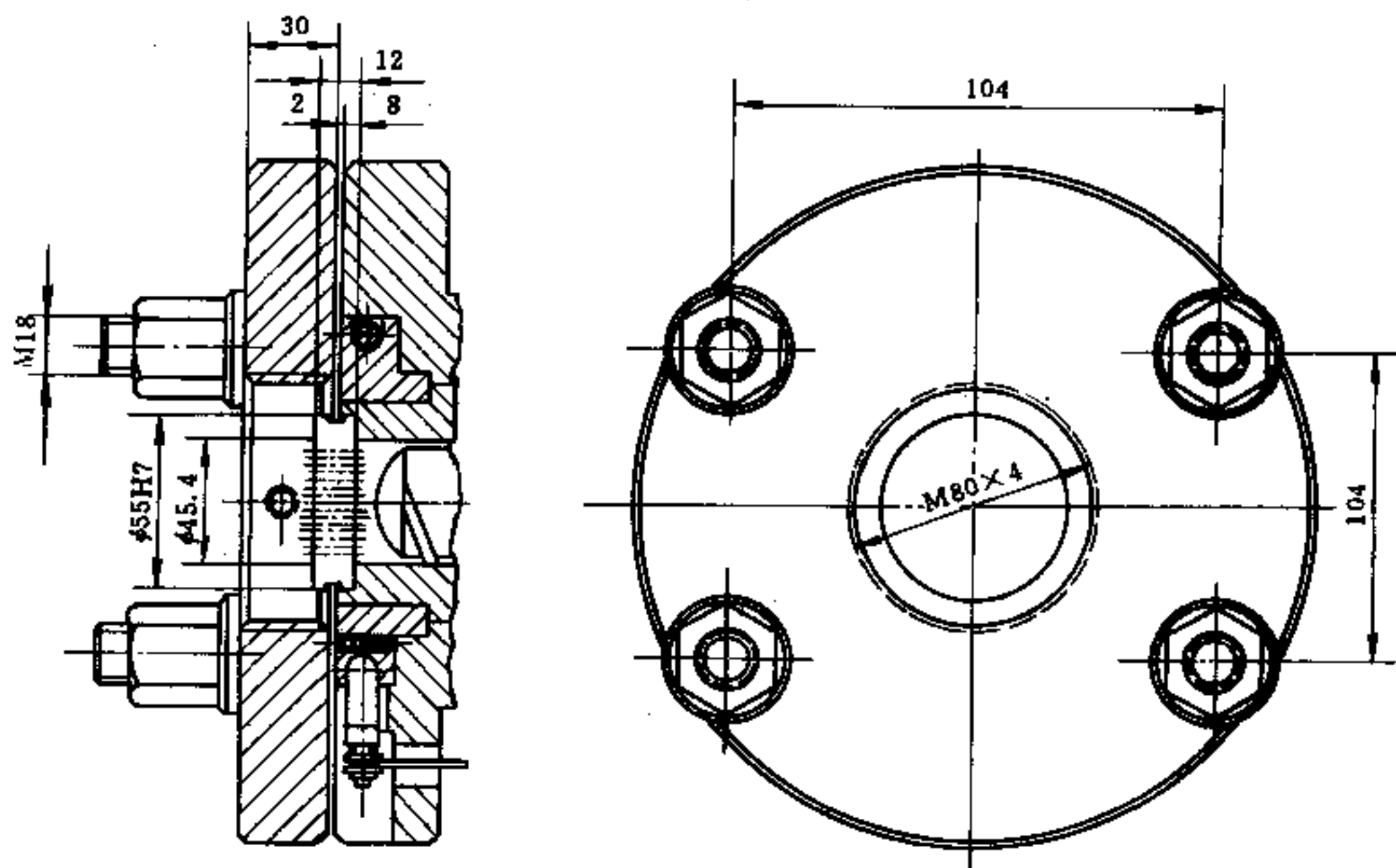


图 7.3-4 SJ-45B 挤塑机连接器设计

## 2. 螺钉联接式

此种结构形式多用于大中型挤塑机。如图 7.3-5 所示，将机头法兰以 12 个圆柱头内六角螺钉 7 固定在挤塑模端面上。由于挤塑模始端外圆面与机头法兰 1 的内孔（通常为基准孔），构成过渡配合性质，并用销钉 8 将机头法兰 1 与机筒法兰 3 定位，然后用铰链螺钉锁紧，从而构成以螺钉联接为主体的结构形式。由该结构可知，其同心度是能得到充分保证的。螺钉联接器尺寸见表 7.3-7。图 7.3-6 为其设计实例。

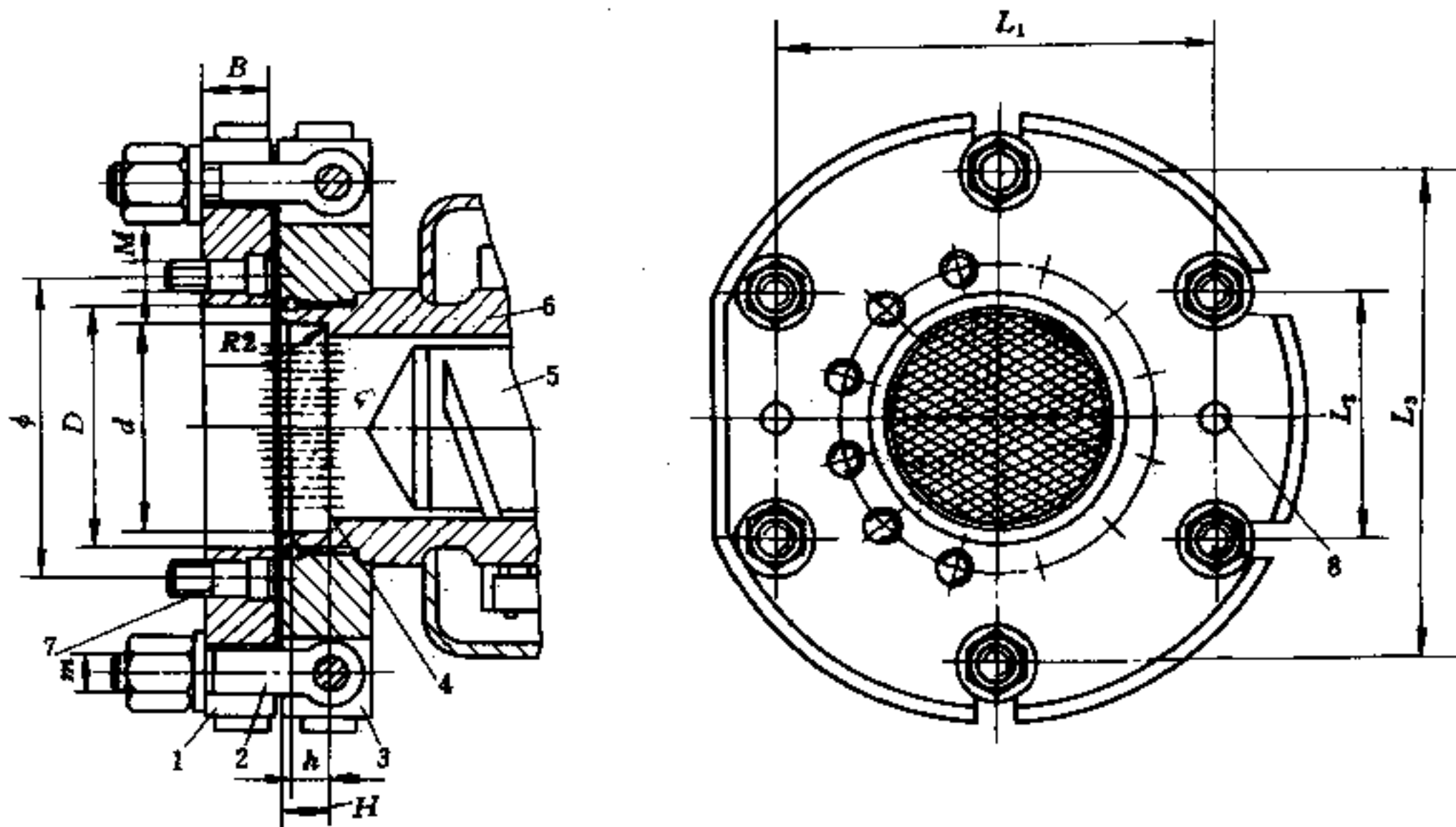


图 7.3-5 螺钉连接器结构设计

1—机头法兰；2—铰链螺钉；3—机筒法兰；4—栅板；5—螺杆；6—机筒；7—内六角螺钉；8—定位销。

表 7.3-7 螺钉连接器尺寸关系 (mm)

型号	$\phi$	$D$	$d$	$B$	$H$	$h$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$m$	$M$
SJ-90	180	140	106	40	—	20	277	160	320	27	20
SJ-150	280 <sup>①</sup>	220	185	70	42	30	381	220	440	36	32 <sup>①</sup>
	300 <sup>②</sup>										24 <sup>②</sup>
SJ-200	340	275	235	—	50	40	476.3	275	550	42	36

注：①安装管材机头的尺寸。②安装板材机头的尺寸。  
表中数据为大连橡胶塑料机械厂的产品规格。  
表中符号意义：  
 $\phi$ ——机头与机头法兰连接的内六角螺钉中心距；  
 $D$ ——机头与机头法兰连接的定位孔直径；  
 $d$ ——栅板外径；  
 $B$ ——机头法兰厚度；  
 $H$ ——机筒安装栅板处厚度（深度）；  
 $h$ ——栅板厚度；  
 $m$ ——机头与机头法兰连接的内六角螺钉直径；  
 $M$ ——内六角螺钉直径；  
 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ——铰链螺钉中心距。

### 3. 卡箍连接器

如图 7.3-7 所示，由液压力驱动卡箍锁紧环 2 旋转，使螺纹部分松开。当旋转到开槽部位与前压紧环 3 的凸起部位对中时，前压紧环 3 即可绕铰链座 1 上的轴转动，退出卡箍锁紧环 2，将机头移至右侧去清理。然后迅速换上左侧已清理好的机头，使前压紧环 3 的凸起对正锁紧环 2 的凹槽后，由液压力驱动锁紧环 2，直至重新锁紧为准。

### 7.3.3 栅板与滤网设计

栅板和滤网，通常都设于螺杆梢部和挤塑模之间，用以均化熔体流动，截住未熔化的粒子，形成螺杆压力，改善螺杆的塑化及均化功能。在此过程中，栅板及滤网能产生超过 15MPa 的压力损失。

#### 1. 栅板设计

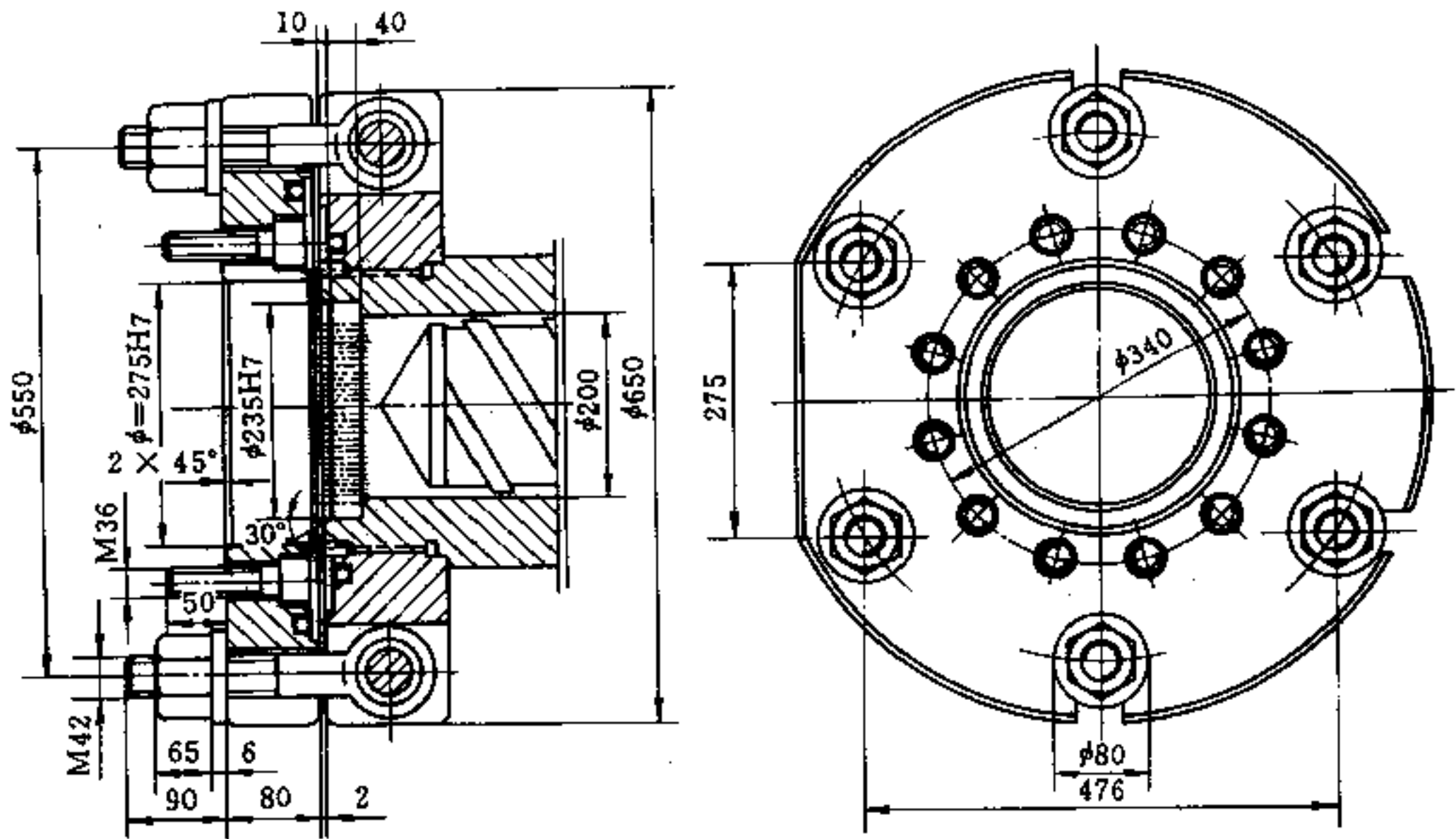


图 7.3-6 SJ-200 挤塑机连接器设计  
(a) 不同位置的分布曲线; (b) 无量纲速度分布。

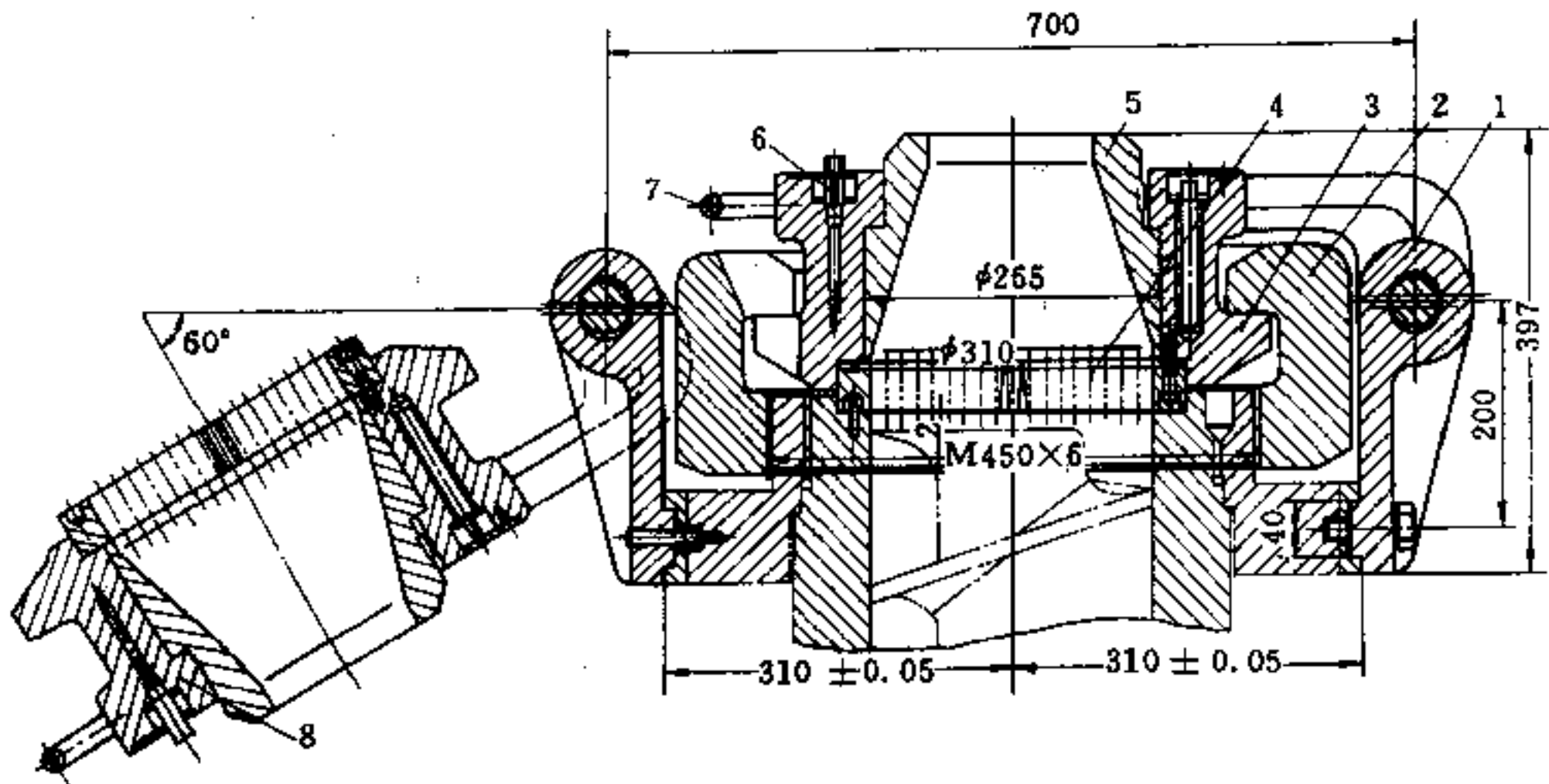


图 7.3-7 卡箍连接器设计

1—铰链座; 2—卡箍锁紧环; 3—前压紧环; 4—栅板; 5—口模; 6—测温装置; 7—手柄; 8—卡紧环。

栅板的结构如图 7.3-8 所示, 除具有分流、混合、促进熔体塑化均匀外, 还起着支承滤网的作用。栅板上流道孔眼直径, 通常为 3~6mm, 入口端应有  $30^{\circ}$ ~ $45^{\circ}$  的锥角。流道孔总面积占栅板有效面积的 40%~70% 为宜, 孔的排列应紧凑合理。栅板应有足够的机械强度和刚度, 但其厚度也不宜过厚, 以免造成过大阻力或滞料分解。

## 2. 滤网压降计算

滤网是从熔体中滤去杂质和异物, 增加剪切作用、改善熔体的均匀性及色料的分散性, 以提高挤塑产品的内在质量。滤网可设置 1~5 层, 细度可为 20~80 目, 视塑料性能及其产品质量要求而定。对粘性大、受热易分解的物料, 可免设滤网。

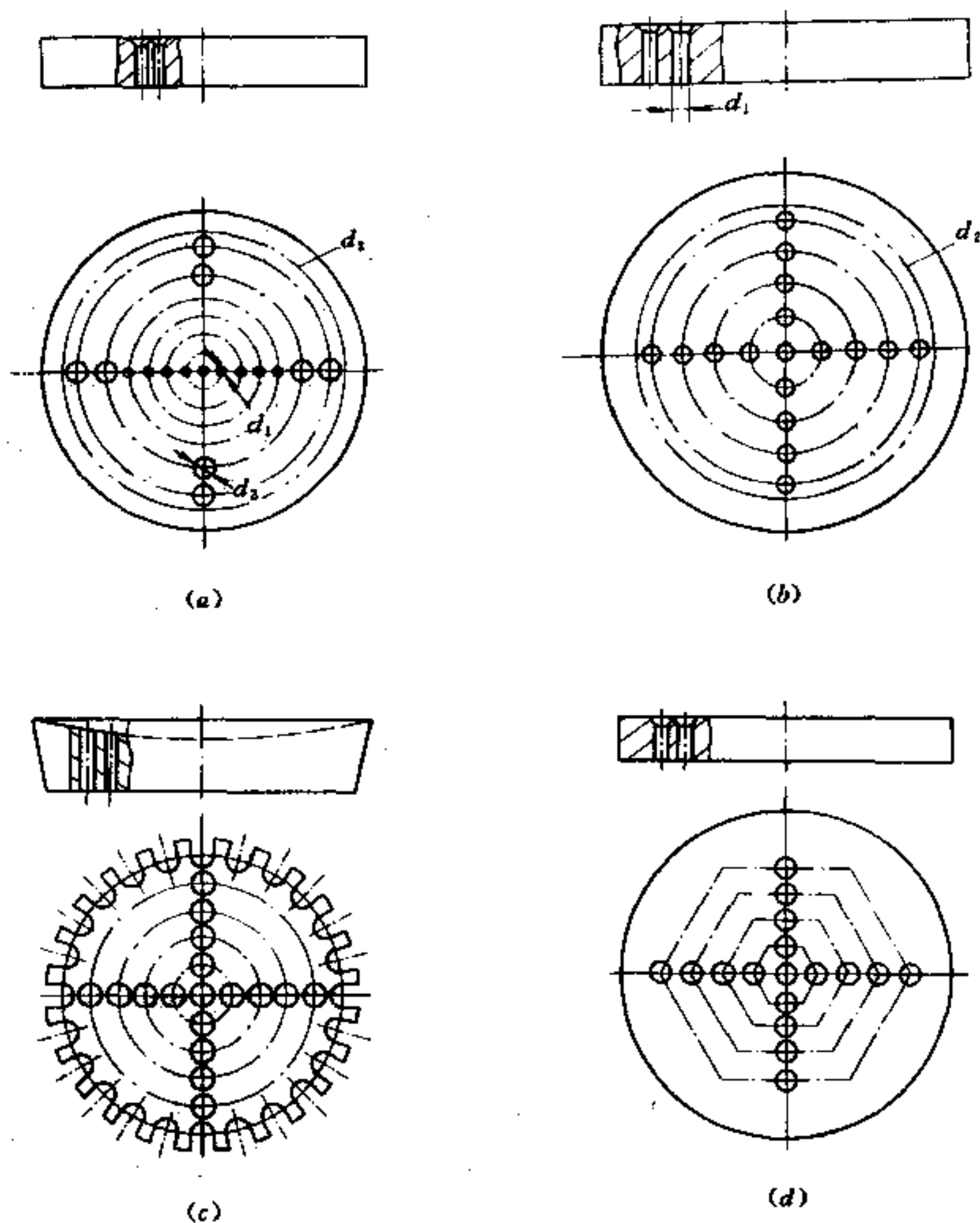


图 7.3-8 栅板结构设计

(a) 非等径孔同心圆排列; (b) 等径孔同心圆排列; (c) 等孔径弧形面栅板; (d) 等孔径六边形排列。

塑料熔体通过一组滤网的压降, 几乎等于机头总压降的一半, 且对生产效率影响较大。为此, 在设计挤塑模时, 须着重考虑滤网引起的压降问题。滤网引起的压降可用下式计算

$$\Delta P_S = 0.25 \eta \left( \frac{W}{D_S^2 \rho} \right)^n F_S \quad (7.3-4)$$

其中,  $\eta$  为熔体粘度 ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ );  $W$  为每小时质量流量 ( $\text{kg}/\text{h}$ );  $D_S$  为滤网直径 ( $\text{m}$ );  $\rho$  为熔体密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $F_S$  为滤网阻力因子。

$$F_S = 2^{n+3} (900\pi)^{-n} \left( \frac{3n+1}{n} \right)^n \left( \frac{d}{d_0^{3n+1} m^{2n}} \right)$$

其中,  $n$  为熔体非牛顿指数;  $d$  为网丝直径 ( $\times 2.54\text{cm}$ );  $d_0$  为相邻网丝间平均小孔直径 ( $\times 2.54\text{cm}$ );  $m$  为滤网筛眼目数。

显然, 对于某种规格型号的滤网来说, 阻力因子  $F_S$  仅为塑料熔体特性参数  $n$  的函

数, 可从图 7.3-9 中获得。 $F_s$  的量纲取决于参数  $m$ 、 $d$ 、 $D_0$  及  $n$  的单位。

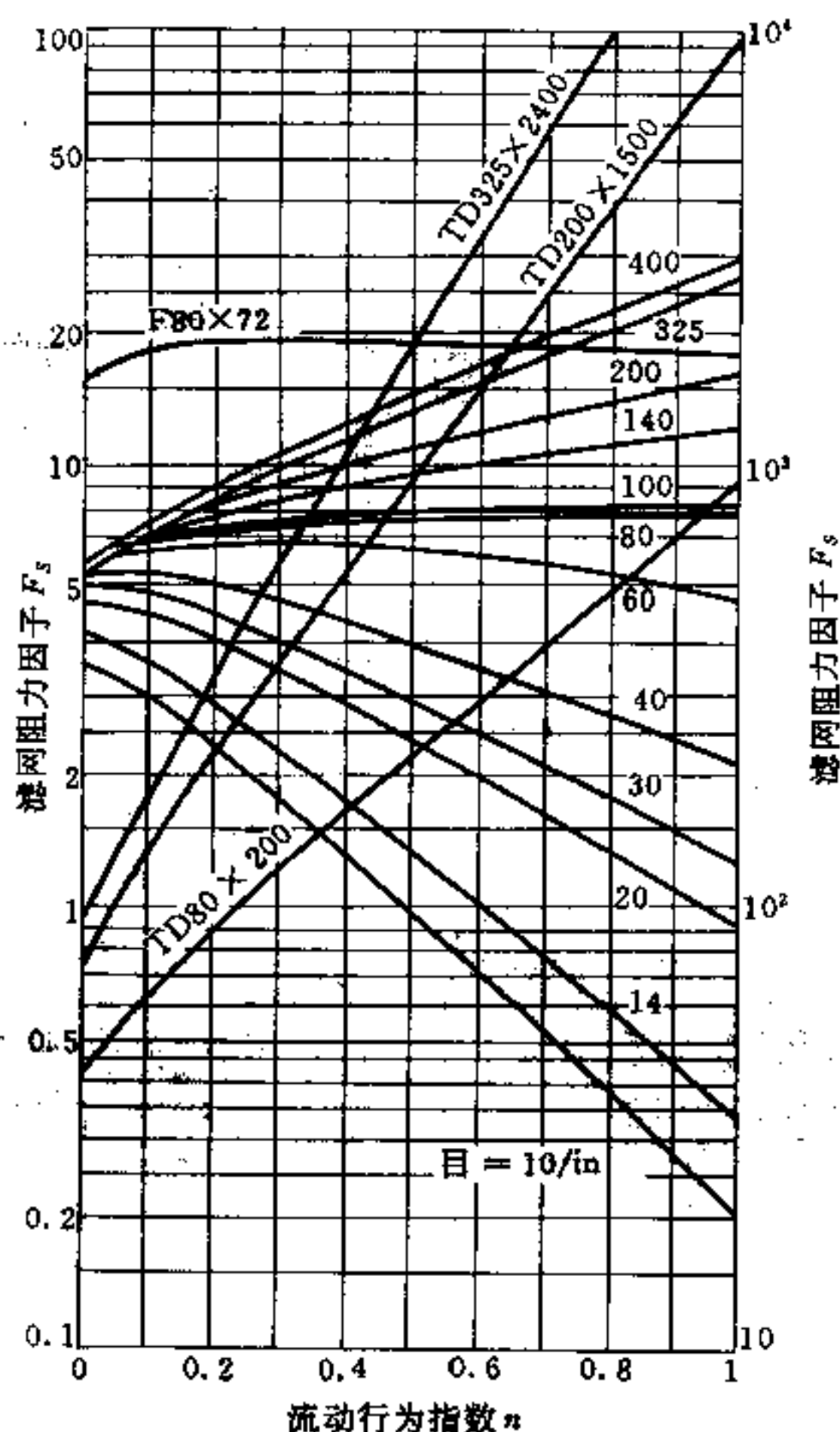


图 7.3-9 滤网阻力因子  $F_s$  与熔体非牛指数  $n$  关系

(凡筛网规格采用目数为由 10~400/in 者,

其  $F_s$  读数在左边纵轴上; 其余 F 和 TD 筛网的  $F_s$  读数在右边纵轴上)

### 3. 过滤器设计

在高性能塑料薄膜生产的工艺装备中, 广泛使用闸板型过滤器和暗盒型过滤器。当在这些过滤器上装有液压传动时, 过滤元件的更换, 极易实现自动化。

闸板型过滤器如图 7.3-10 所示, 主要由壳体 6 组成, 其内滤网座 3 和 4 装于平板 1 中。多孔板 14 上安装滤网 2, 并用支承环 15 固定。用螺旋 16 使装有过滤网的多孔板平移, 以便迅速更换新滤网。在熔体压力作用下, 分流支架套 9 的端面紧压在平板 1 上, 装于另一端的氟塑料环 7 被松弛, 从而达到了密封的目的。处于流道中心的流线型鱼雷体 8, 增强了分流支架套 9 对平板 1 的压紧力。用螺栓 5 和 11 将过滤器分别与挤塑机和挤塑模相联接, 以使该装置处于工作状态。

暗盒型过滤器如图 7.3-11 所示, 过滤元件 8 直接安装在挤塑模联接器 2 的端座上。过滤元件由多孔同心排列的三个圆筒 3、4 和 5 组成, 并在其表面固定着瓦楞状 (图 (a)) 或平坦形 (图 (b)) 的滤网。来自挤塑机的塑料熔体, 流入过滤元件 8 的通道



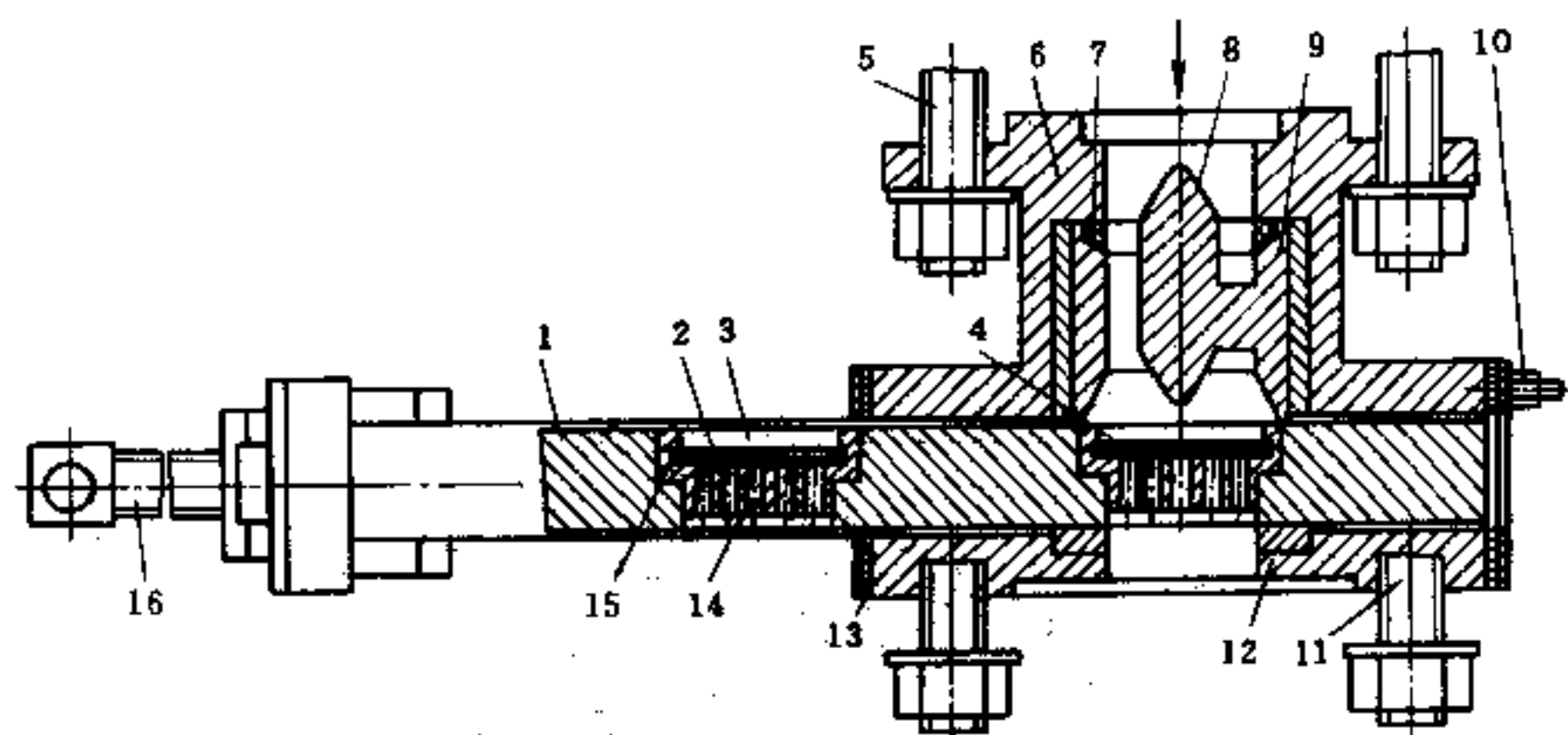


图 7.3-10 闸板型过滤器

1—平板；2—滤网；3、4—滤网座；5—螺栓；6—壳体；7—氟塑料环；8—鱼雷体；9—分流支架套；  
10—热电偶；11—螺栓；12—限位板；13—加热器；14—多孔板；15—支承环；16—螺旋。

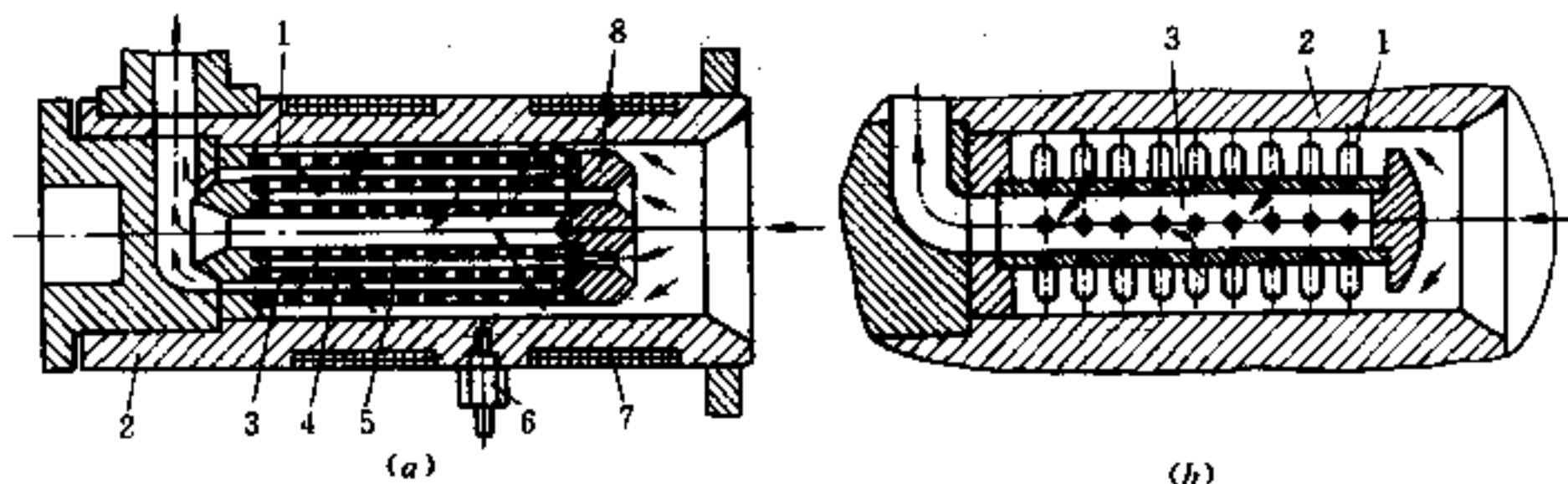


图 7.3-11 暗盒型过滤器

(a) 瓦楞状滤网；(b) 平坦形滤网。

1—滤网；2—壳体；3、4、5—多孔圆筒；6—热电偶；7—加热器；8—过滤元件。

后，再经过圆筒和滤网孔通向挤塑模的流道。

此种过滤器，由于过滤面积大，可连续操作达 1 个月之久，才更换过滤元件。

## 7.4 实心型材挤塑模设计

### 7.4.1 棒材模设计

棒材，系泛指截面为圆形、矩形、正多边形、三角形和椭圆形等具有规则形状的实心塑料型材。圆形棒材直径可由几毫米至 500mm，扁平棒材的截面尺寸可达 250mm×100mm。用于成型棒材的塑料有 ABS、PA、PC、POM、PPO、PSU 等以及 RPVC、PE、PP、PS。棒材模设计，通常包括机头设计及其定型模设计。

#### 一、结构设计

塑料挤塑成型棒材模通常有两种结构类型

##### 1. 带有分流梭的棒材模

如图 7.4-1 所示，口模前端有阳螺纹（或法兰），以便和水冷定径套相联接。其结

构特点是，在流道中心设有一形状似鱼雷体的分流梭2。其作用在于减少流道内部容积，并增大塑料熔体受热面积，有利于停车后重新开车时缩短加热时间，防止熔料热降解。平直部分的口模，应光滑并具有一定的长度，以有利于棒材的外观和质量提高。

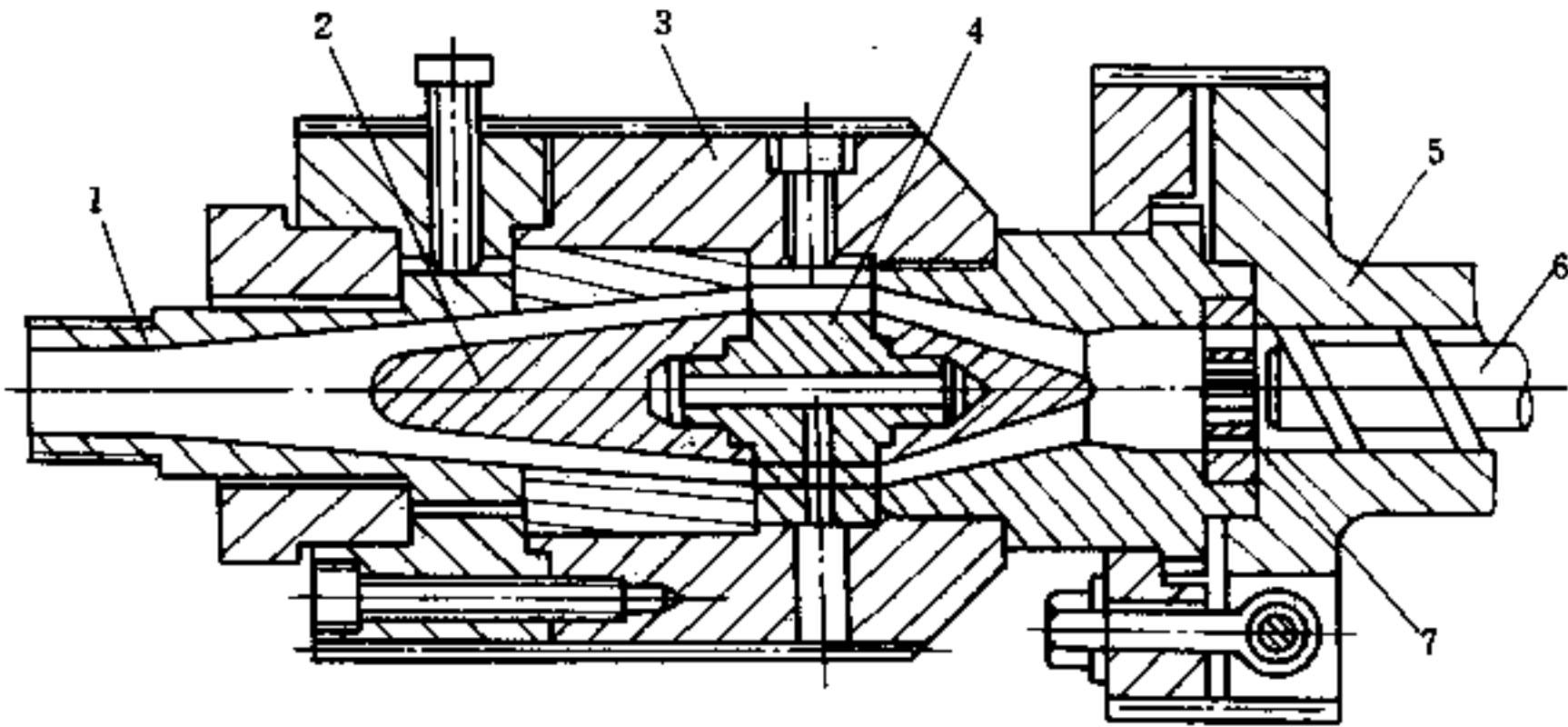


图 7.4-1 带有分流梭的棒材模

1—口模；2—分流梭；3—模体；4—支架；5—挤塑机；6—螺杆；7—栅板。

## 2. 无分流梭的棒材模

如图 7.4-2 所示，是用强劲冷却的定径套，以法兰与挤塑模相联接。因此，在口模与定型模之间应设有绝热垫。该模具的显著特点是，成型与定型融为一体，口模 1 已退化为直径约 8~10mm 的、供冷却定型和补入塑料熔体的流道，冷却暨定型段以较陡峭的角度与之相毗连。当熔体与定型段的冷壁相接触时，便形成固态表层 8，并在挤出物中构成锥形或楔形熔体区。于是挤出压力全部作用于倾斜的固化层，从而在定径套中产生很大的摩擦阻力，导致棒材可能被卡滞。因此，定型段要短，在其端部使实心棒材的固化层，正好足以抵抗型材内部的挤塑压力，并能承受棒材的牵引力。此外，由于冷却收缩，在棒材中的某些部位有形成空洞的危险。为此，挤塑机必须有足够的压力，以满足挤塑棒材生产线的操作范围。定型段的操作压力，通常在 1~12.5MPa 之间，因此必须保证这部分的设计，在力学上是稳妥的。

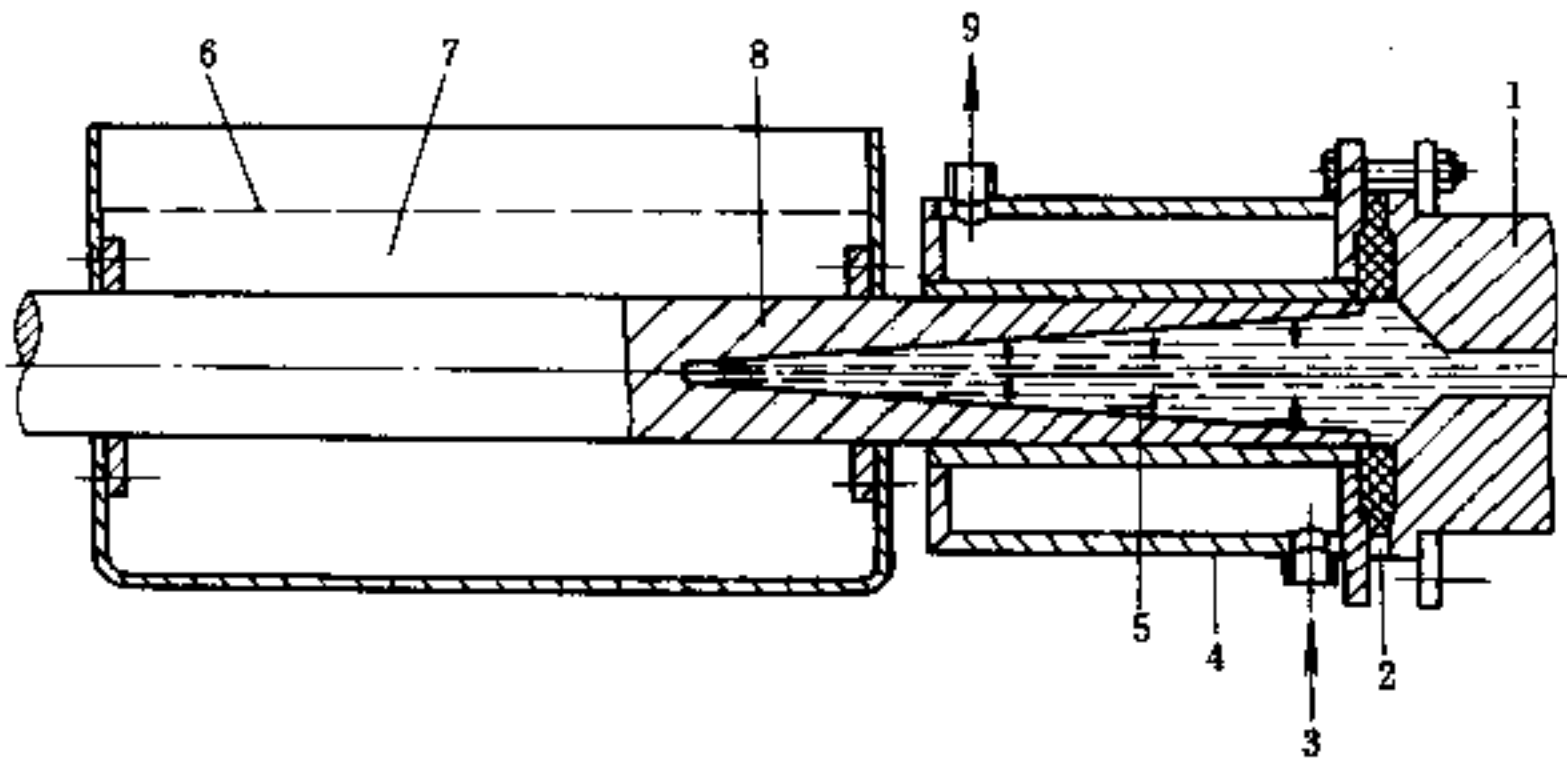


图 7.4-2 无分流梭的棒材模

1—口模；2—绝热垫；3—入水口；4—定型区；5—塑料熔体；6—水位；7—水槽；8—固化层；9—出水口。

无分流梭机头的典型结构如图 7.4-3 所示, 在给定的直径和体积流量下, 流道越短, 塑料熔体离开口模的膨胀越大, 最大可达 120%。

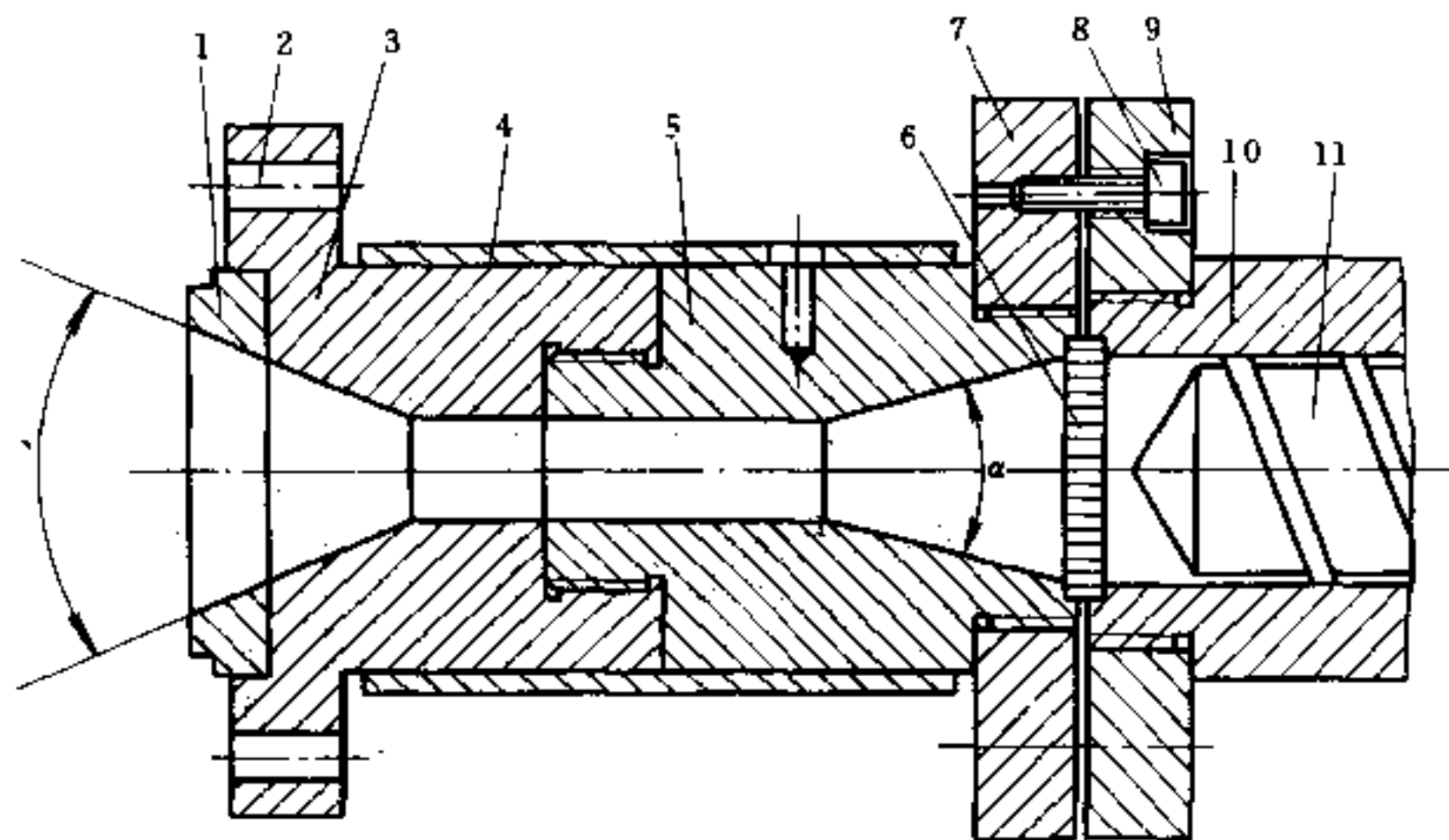


图 7.4-3 典型棒材机头结构设计

1—锥形环; 2—螺栓孔; 3—口模体; 4—加热圈; 5—连接器; 6—栅板;  
7—联接法兰; 8—螺钩; 9—机筒法兰; 10—机筒; 11—螺杆。

## 二、参数确定

### 1. 成型段长度 $L$

$L$  即棒材模平直部分的长度, 它对生产效率、棒材质量, 均具有决定性影响。故需由相应的流变方程计算确定。

#### (1) 圆形截面棒材口模

$$L = \frac{\Delta P}{2K'} \left( \frac{\pi}{4Q} \right)^n H^{3n+1} \quad (7.4-1)$$

式中  $R$ ——圆形棒材半径 (cm)。

#### (2) 矩形截面棒材口模

$$L = \frac{\Delta P \zeta^{n+1}}{2K'' (\zeta + 1)} \left( \frac{1}{6Q} \right)^n H^{3n+1} \quad (7.4-2)$$

其中,  $\zeta$  为形状因素 =  $W/H$ ;  $W$  为棒材宽度 (cm);  $H$  为棒材厚度 (cm)。

#### (3) 多边形截面棒材口模

$$L = \frac{\Delta P}{2K'} \left[ \frac{\pi}{4Q \sqrt{\frac{N}{\pi} \operatorname{tg} \frac{\pi}{N}}} \right]^n R^{3n+1} \quad (7.4-3)$$

其中,  $N$  为正多边形边数;  $R$  为等效圆半径 (cm)。

#### (4) 正三角形截面口模

$$L = \frac{\Delta P}{12K'} (32Q)^{-n} (3)^{\frac{3n+5}{4}} (\pi)^{-\left(\frac{n+1}{2}\right)} (S)^{3n+1} \quad (7.4-4)$$

其中,  $S$  为正三角形的一个边长 (cm)。

#### (5) 椭圆形截面棒材口模

$$L = \frac{\Delta P \zeta^{n+1}}{K'' (\zeta + 1)} \left[ \frac{(\pi)^{\frac{3}{2}}}{6Q} \right] B^{3n+1} \quad (7.4-5)$$

其中,  $\zeta = A/B$ ;  $A$  为椭圆长半轴长度 (cm);  $B$  为椭圆短半轴长度 (cm)。

## 2. 加工参数

(1) 体积流量  $Q$  可由第 2.3.2 节的状态方程 (2.3-20) 求得, 也可由下式计算:

$$Q = \frac{Q_m}{4.12\rho_0} \quad (7.4-6)$$

其中,  $Q_m$  为规定的棒材产量 (kg/h);  $\rho_0$  为塑料在室温下的密度 (g/cm);  $Q$  为熔体体积流量 (cm/s)。

(2) 材料特性参数  $K'$  和  $n$  与材料品种和加工条件 ( $T$ ,  $\dot{\gamma} \leq 100$  1/s) 有关, 可由塑料物性数据库或附表 18.1-1 查找。

(3) 表观稠度  $K''$  和  $K'$  间的关系, 可由表 7.4-1 经换算而得。当取  $K'' = K'$  时, 其误差小于 4%。

表 7.4-1  $K''/K'$  随  $n$  值的变化表

非牛指数 $n$	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
$(K''/K')$ 值	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03
非牛指数 $n$	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	1.00
$(K''/K')$ 值	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00

(4) 压降应用上述方程对口模进行计算, 实际上要求在合理的压降下, 以获得一定产量所需口模尺寸。所谓合理压降, 是指压降为已知, 且为合理。棒材口模内的熔体压力, 视产品种类不同而异。通常可在 3~12MPa 范围内选取。

## 3. 几何参数

(1) 机头收敛角  $\alpha$  见图 7.4-3, 常取  $30^\circ \sim 60^\circ$ , 其长度视棒材粗细和塑料粘度特性而定。

(2) 出口扩散角  $\beta$  通常取  $45^\circ$  以下, 主要考虑易于补料为原则。

**[例]** 欲用 SJ-45 单螺杆挤塑机生产直径为  $\phi 32$ mm 的 ABS 塑料棒材。为便于冷却和定型, 采用较低的加工温度  $210^\circ\text{C}$ 。当产量达 60kg/h 时, 机头内熔体压力为 3.5MPa。若净拉伸比为 1:1, 试求该口模的成型段长度。

**[解]** 由于挤塑成型的剪切速率较低 (通常  $\dot{\gamma} \leq 100$  1/s), 根据熔体温度  $T_m = 210^\circ\text{C}$ , 由附表 18.1-1 可得 ABS (B-101) 的材料特性参数  $n = 0.45$  及  $K = 2.18\text{Ns/cm}$ 。再由式 (7.4-6) 可求得熔体流量  $Q = 14\text{cm/s}$ , 又知熔体压力  $\Delta P = 3.5\text{MPa} = 350\text{N/cm}$  以及棒材半径  $R = 1.6\text{cm}$ 。将这些已知数据代入式 (7.4-1), 便可得其计算长度  $L_c = 66.3\text{cm}$ 。由此得该口模的长径比为  $b = L_c/D = 66.3/3.2 = 20.7$ 。

但由于表 18.1-1 中的数据, 是由长径比  $a = 30$  的高压毛细管流变仪测量而得, 与之相比相差甚大。因此, 计算所得长度须做修正, 公认的修正公式如下

$$L = L_c [b(a+3)] / [a(b+3)] \quad (7.4-7)$$

其中,  $a$  为流变仪的口模长径比;  $b$  为计算所得口模长径比。

于是在本例题中, 因  $a = 30$ ,  $b = 20.7$ , 故得修正后的口模成型段长度应为

$$L = 66.3 [20.7(30+3)] / [30(20.7+3)] = 64\text{cm}$$

## 7.4.2 定型模设计

定型模的正确设计,对保证棒材质量至关重要。一般说来,塑料棒材表面质量主要取决于定型模,同时定型模也影响着棒材心部密实程度。

### 1. 结构设计

塑料棒材定型模的结构如图 7.4-4 所示,通常由三部分组成。绝热板 2 居于高温流道(或机头) 3 和低温定径套 1 之间。正是由于这种冷热界面的形成,才能保证出料均匀、棒材表面光滑、内部无空隙的连续型材。此外,由于流道(或机头)内的熔体具有一定的压力,致使定型模内尚未完全硬化的棒材心部得以实现及时补料,并有利于减小棒材通过定径套的阻力。定径套应具有一定的锥度。定型模的冷却水流量应能调节和控制,以满足定型工艺特性要求,通常以使用螺旋式冷却水夹套为好。

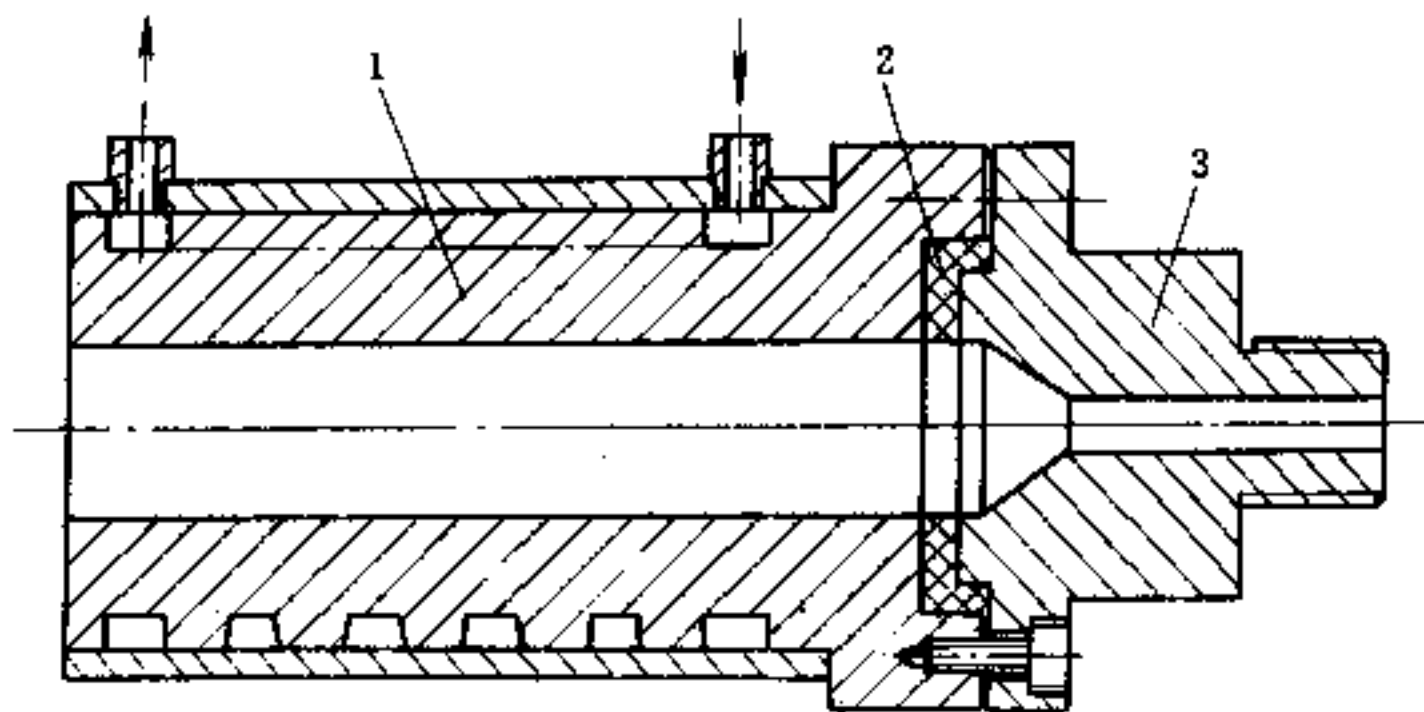


图 7.4-4 棒材定型模结构设计

1—定径套；2—绝热板；3—机头流道。

### 2. 设计要点

根据塑料棒材定型的工艺要求,定型模设计应注意下述三点:

(1) 定径套尺寸 定径套的长度与内径之比,通常为 2~10,小直径取大值,大直径取小值。定径套内径要稍大于需棒材直径,因棒材在冷却过程中会有收缩。常见工程塑料的体积收缩率列于表 7.4-1 中。尼龙 1010 棒材定径套尺寸,如表 7.4-2 所示。

表 7.4-1 工程塑料棒材挤塑成型收缩率

工程塑料	PA1010	PA66	ABS	PC	POM	PSU	氟化聚醚
收缩率/%	2.5~5	3~6	1~2.5	1~2.5	2.5~4	1~2	1.5~3.5

表 7.4-2 尼龙 1010 棒材定径套尺寸 (mm)

棒材公称直径	定径套长度	定径套直径	棒材实际直径
40	390	44.0	43.0
50	350	53.5	52.3
60	300	67.0	65.0
70	270	75.5	72.3
80	230	88.0	83.5
90	225	97.0	94.0
100	220	105.0	100.0
110	210	113.0	110.0
120	200	130.0	124.0

(2) 壁面粗糙度及斜度 定径套内壁的粗糙度, 原则上是越低越好, 最高  $R_a = 0.8\mu$  以下, 最好将壁面镀铬抛光。这样做, 有利于维护和保养, 并降低棒材通过定径套的摩擦阻力。定径套内壁应略有斜度, 通常取其斜度为 70:1 (出口直径 > 入口直径), 以防止棒材发生堵塞。

(3) 绝热板材料 应选用导热系数小、耐高温、与塑料熔体接触无粘附作用的材料。据此, 可采用石棉水泥板或聚四氟乙烯板材。从效果上看, 以后者为佳。因为聚四氟乙烯是热的不良导体, 可在  $250^\circ\text{C}$  下长期使用, 具有自润滑性, 对任何物质均无粘附作用, 并能使棒材呈现光滑表面。

### 7.4.3 焊条机头设计

生产塑料焊条的挤塑模, 除勿需定型要求外, 其他与棒材模基本相似, 在此不再赘述。焊条机头的典型结构有两种。圆截面多焊条机头如图 7.4-5 所示, 口模及螺纹单独与口模过渡体 4 联接在一起, 形成完整的多口模机头。生产扁截面 (双圆截面) 的焊条机头如图 7.4-6 所示, 更换不同口模 1, 便可生产出不同截面形状的焊条。图 7.4-7 为两种不同截形状的口模结构图。

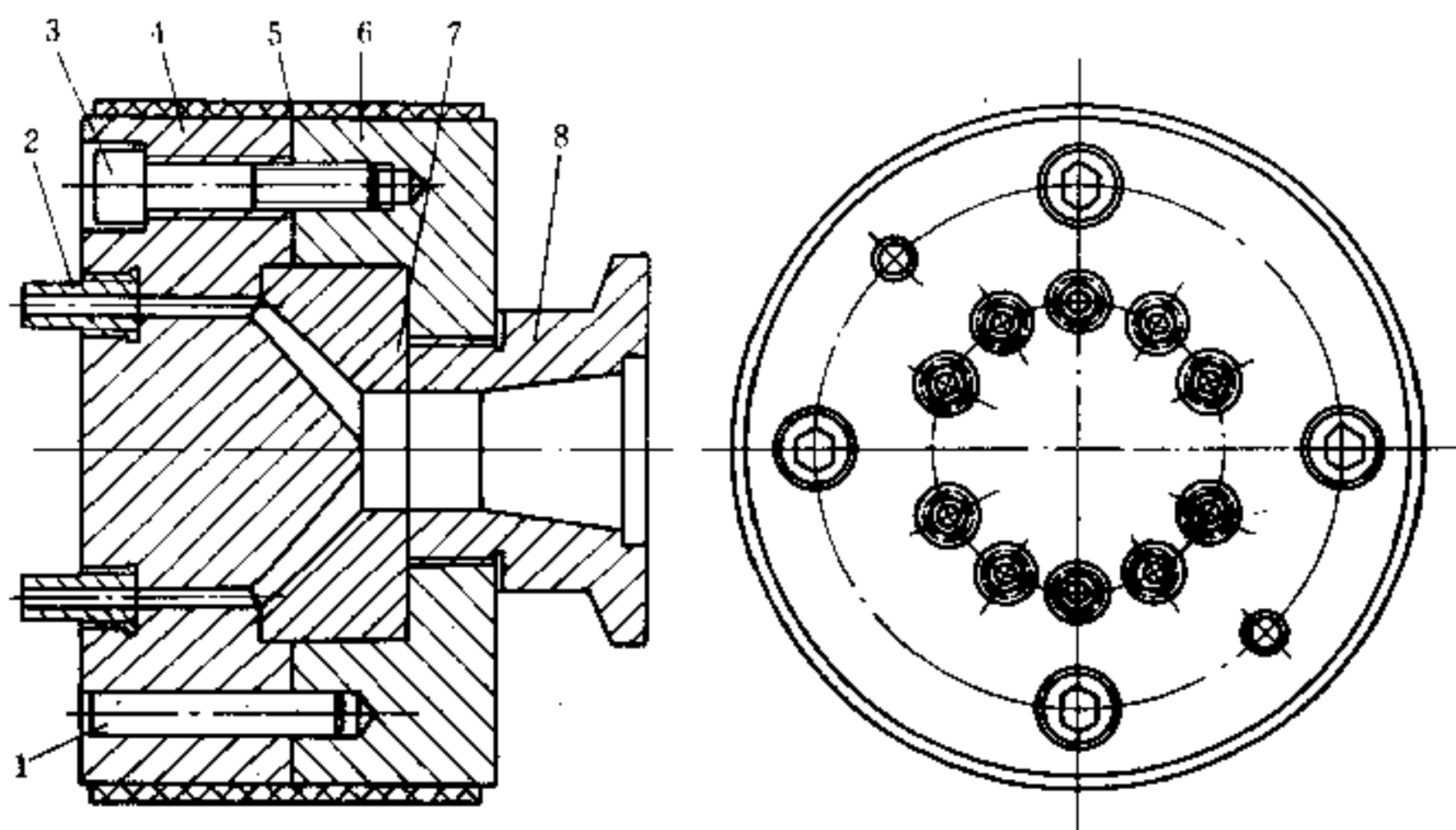


图 7.4-5 圆截面多焊条机头

1—圆柱销; 2—口模; 3—内六角螺钉; 4—口模过渡体; 5—电热圈; 6—机头体; 7—锥形环; 8—联接颈。

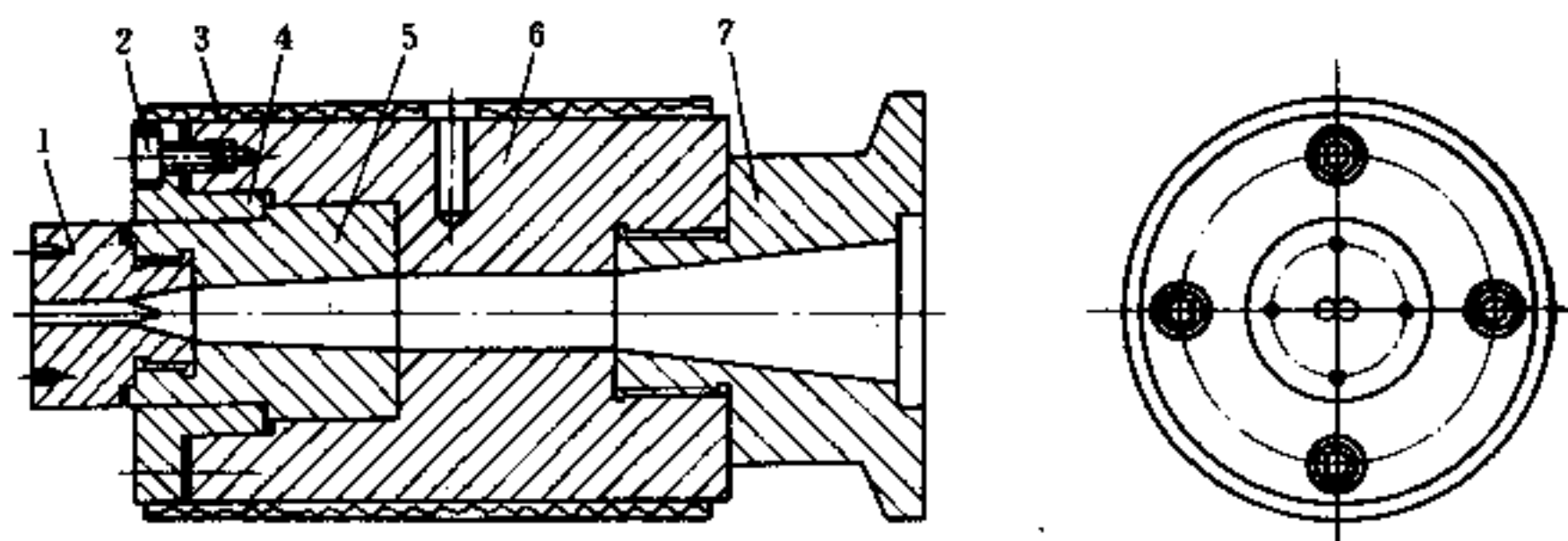


图 7.4-6 扁截面单焊条机头

1—口模; 2—内六角螺钉; 3—电热圈; 4—压环; 5—流道过渡体; 6—机头体; 7—联接颈。

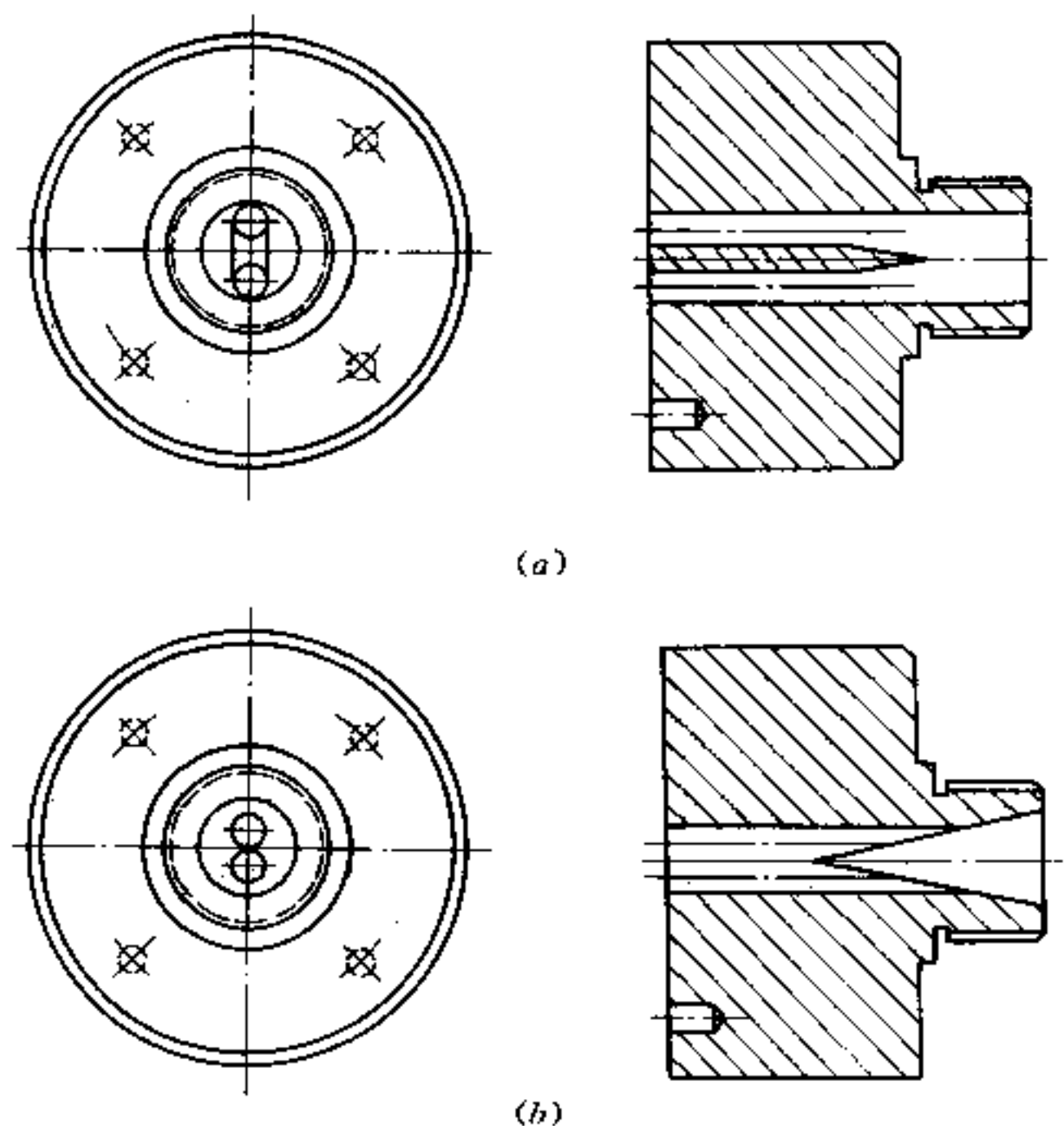


图 7.4-7 两种不同截面焊条口模  
(a) 扁形截面在口模; (b) 双圆形截面口模。

## 7.5 空心型材挤塑模设计

### 7.5.1 管材模设计

管材模设计, 通常包括管材成型机头和定型模两部分, 如图 7.5-1 所示。塑料管材在给定的挤塑机上生产时, 通常管材直径应控制在螺杆直径的 30% ~ 130% 范围内, 特殊情况可达 300%。RPVC 管材生产与挤塑机的配置关系见表 7.5-1。双螺杆挤塑机用于生产塑料管材时, 其直径可控制在螺杆直径的 45% ~ 450%。锥形双螺杆挤塑机与挤管机头规格见表 7.5-2。

表 7.5-1 RPVC 管材机头与挤塑机的关系

机头公称直径/mm	10~63	40~90	63~125	110~180	125~250	200~400
挤塑机规格/mm	45	65	90	120	150	200
管材公称直径/mm	10~63	40~90	63~125	110~180	125~250	200~400
牵引速度/( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ )	0.4/0.2	0.3/1.5	0.3/1.5	0.2/1.0	0.2/1.0	0.2/1.0

表 7.5-2 锥形双螺杆挤塑机生产管材范围

双螺杆直径(小端)/mm	45	55	65	80
机头公称直径/mm	12~110	20~250	32~300	60~400
管材公称直径/mm	12~110	20~250	32~300	60~400

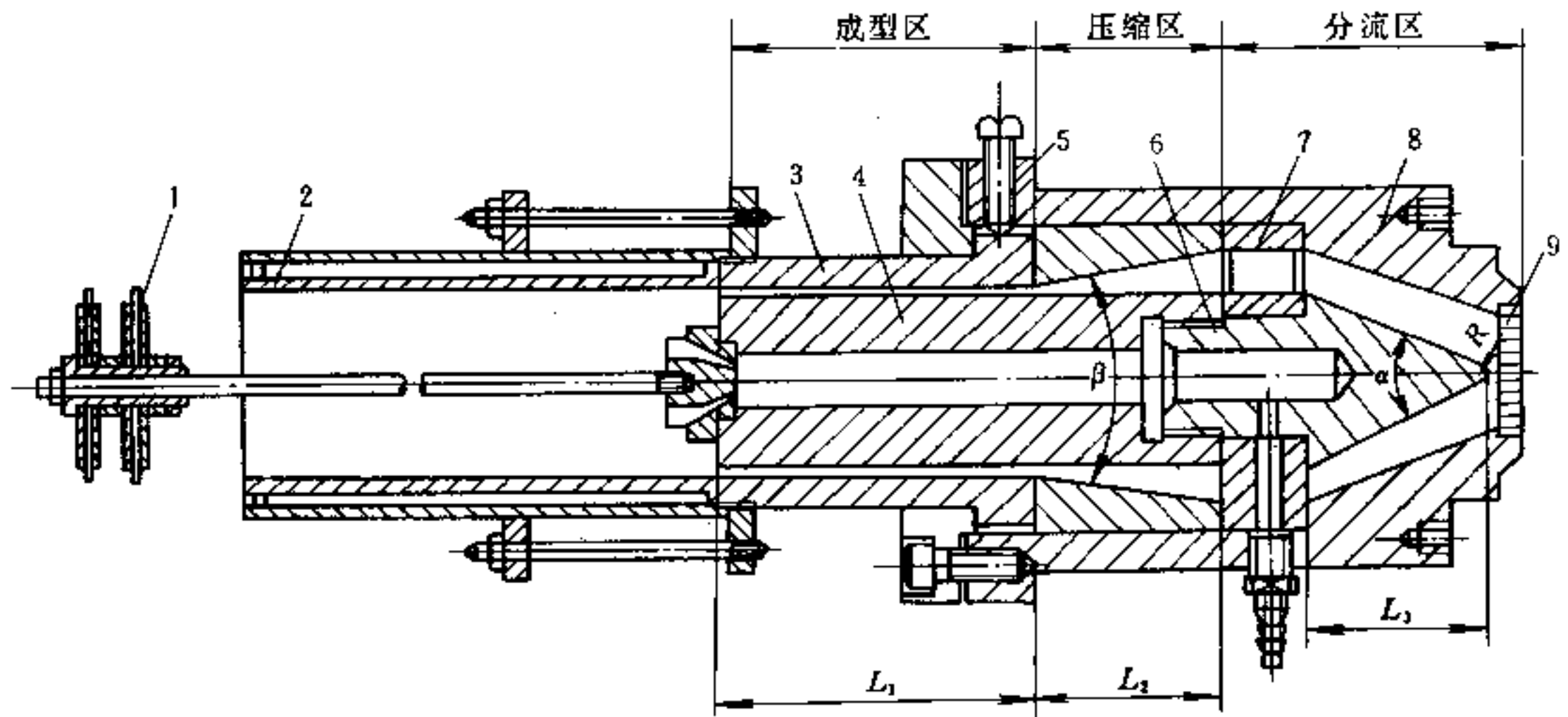


图 7.5-1 管材模结构设计

1—橡皮塞；2—定径套；3—口模；4—芯模；5—调节螺钉；6—分流锥；7—芯模支架；8—模体；9—栅板。

管材，通常用纵向供料机头挤塑成型。横向或直角机头，仅在内定径、内冷情况下才采用，侧向供料机头也偶尔使用。工业上生产塑料管材的直径范围，从几毫米至约1.6m（壁厚约60mm）。所用机头结构，取决于被加工的材料和所要求的管径。硬聚氯乙烯管材常用中心供料机头，最大管径约为630mm。直径大于400mm的大型聚烯烃管材日渐用筛孔供料机头，尤以螺旋供料机头为优。

小型薄壁管材可用复式机头（见图7.5-2）生产，有利于提高单机产量，降低管材内应力，改善外观质量，并易于保持管材的尺寸公差。图7.5-2为三管机头的典型结构。

为了改善操作的灵活性，大型挤管机头应置于高度可调的有轨小车上（630mm中心供料机头重约2.8t）。

大型聚烯烃管材的长期破裂强度，颇受定型和冷却过程中产生内应力的影响，也受成型过程中物料交联和降解的影响。因此，熔体温度应尽可能低。

### 一、挤管机头结构

挤管机头有多种结构类型，图7.5-3所示是其中常见的4种结构形式。

#### 1. 中心供料机头

如图7.5-4所示，由挤塑机供给圆形流道的熔体，在机头模腔内被芯模锥尖转变为环形熔体流。且在芯模支架区，熔体被分割成若干独立的熔体流，并环绕支架支柱流动。在机头内联接的收敛区，形成 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的斜角，并逐渐变窄，各独立熔体流在此区域内，再一次汇合在一起。在收敛区后紧接一平直流道的成型区，其成型段长度与出口间隙之比，取决于被加工材料，通常取为10:1~30:1。模芯支架直径与出口直径之比，对于PVC取1.4~1.6，对于聚烯烃为2。

与芯模支架2相联接的各部分，即图7.5-4中未加剖面线的部分（模芯、模体和模套），通常可以更换，因而一个中心供料的机头，可用于若干不同几何形状的挤出物。芯模支架的排列形式如图7.5-5所示，其长度应不大于30~80mm，宽度不大于9~



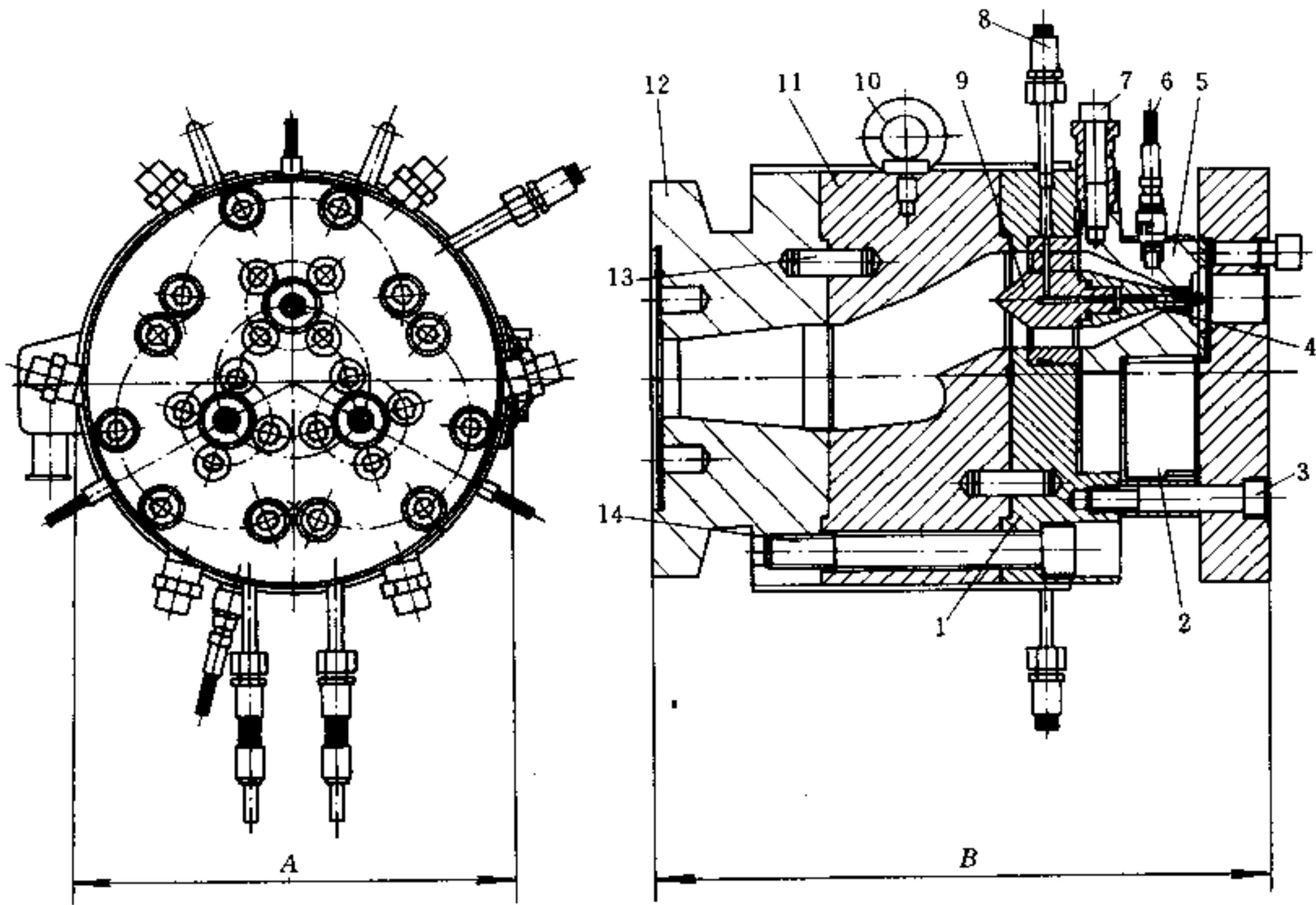


图 7.5-2 三管机头

1—分流锥支架；2—压环；3—内六角螺钉；4—芯模；5—口模；6—热电偶；7—调节螺钉；  
8—进气嘴；9—分流锥；10—吊环；11—机头体；12—机颈；13—圆柱销；14—内六角螺钉。

12mm, 并应突出成  $8^\circ$  左右的锐角。

支架支柱数目随直径的平方而增加。支柱根部的转角应由圆弧过渡, 以防止热敏性熔体滞流分解。

中心供料的芯模支架机头, 可承受高达 60MPa 的压力。支架支柱的尺寸必须符合其刚度和强度要求 (详见 7.13 节)。中心供料机头的直径极限约为 700mm。

### 2. 侧向供料机头

亦称弯管机头。如图 7.5-3 (c) 所示, 挤塑机总是以一定的角度向机头供给熔体。进入的熔体环绕芯棒流过, 在管坯上形成一条或几条模糊的流纹或流痕。为了在机头出口处获得均匀的轴向圆周速度, 其难点就在于环绕模芯歧管的几何形状设计。侧向供料机头的典型结构, 如图 7.5-6 所示, 机头轴线与挤塑机螺杆轴线成直角排列。这种排列方式, 特别适合于内定径的 PE、PP 及 PA 等塑料、承受内压的管材成型。

### 3. 螺旋供料机头

在螺旋供料机头中 (如图 7.5-7 所示), 由挤塑机供给的塑料熔体, 首先被芯模入口端的星形流道或环形流道, 将熔体分成几股料流, 然后送入芯模上螺旋形流道中。经此, 以多头螺槽的形式蜿蜒前进。螺槽的深度逐渐减小, 芯模与外壁之间的距离, 沿挤出方向逐渐增大。此种设计的目的在于, 保证沿环形出料逢口每一点上, 熔体流动速度能达到预期的力学均匀性, 以及高度的热均匀性。螺旋供料机头的另一个优点, 是无需芯模支架, 从而完全避免了流痕和流纹。借助于恰当的流变学设计, 能达到熔体在机头

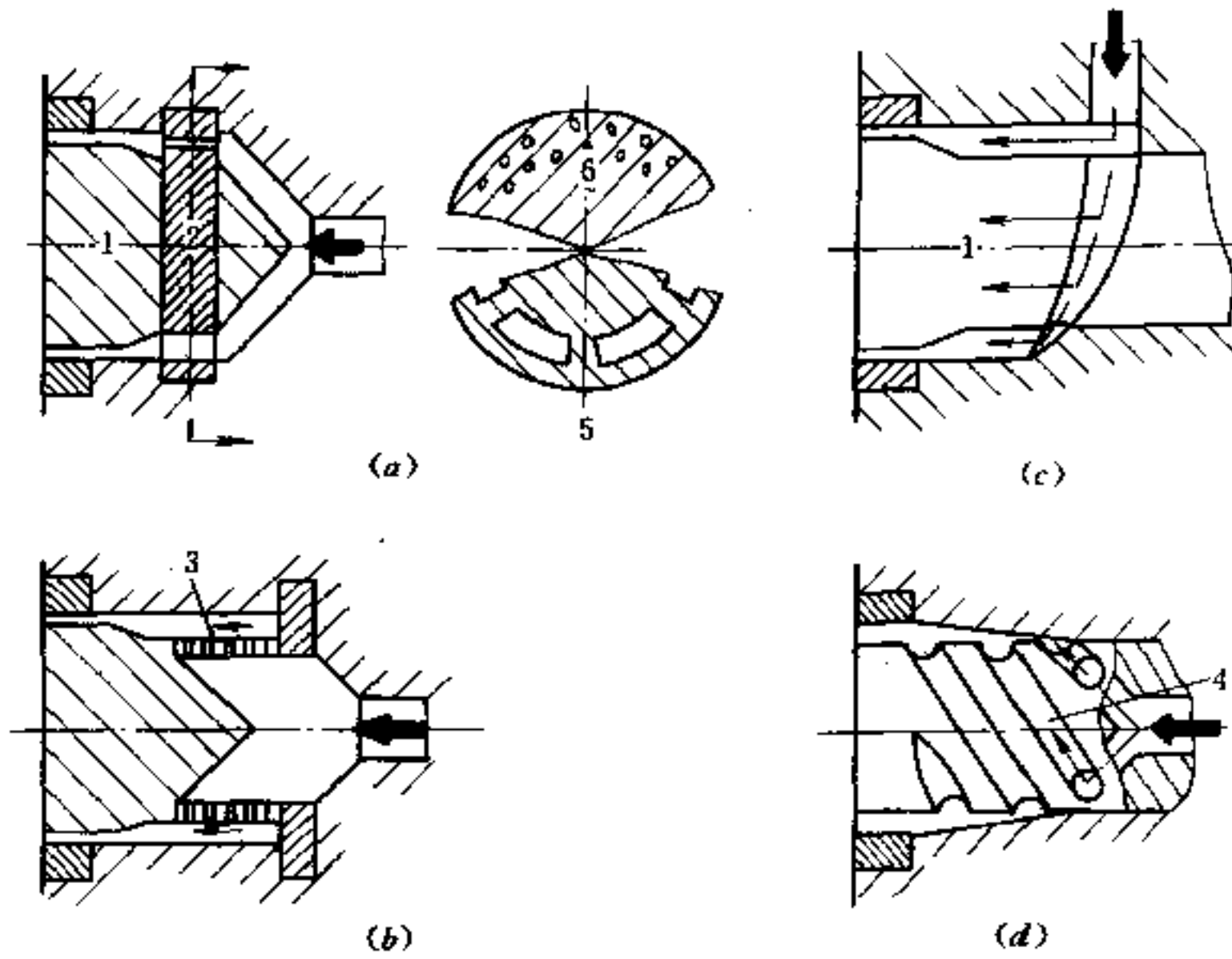


图 7.5-3 挤管机头结构类型

(a) 中心供料机头；(b) 筛孔式机头；(c) 侧向供料机头；(d) 螺旋式机头；  
1—芯模；2—芯模支架；3—筛板；4—螺旋式芯模；5—支架支柱；6—栅板。

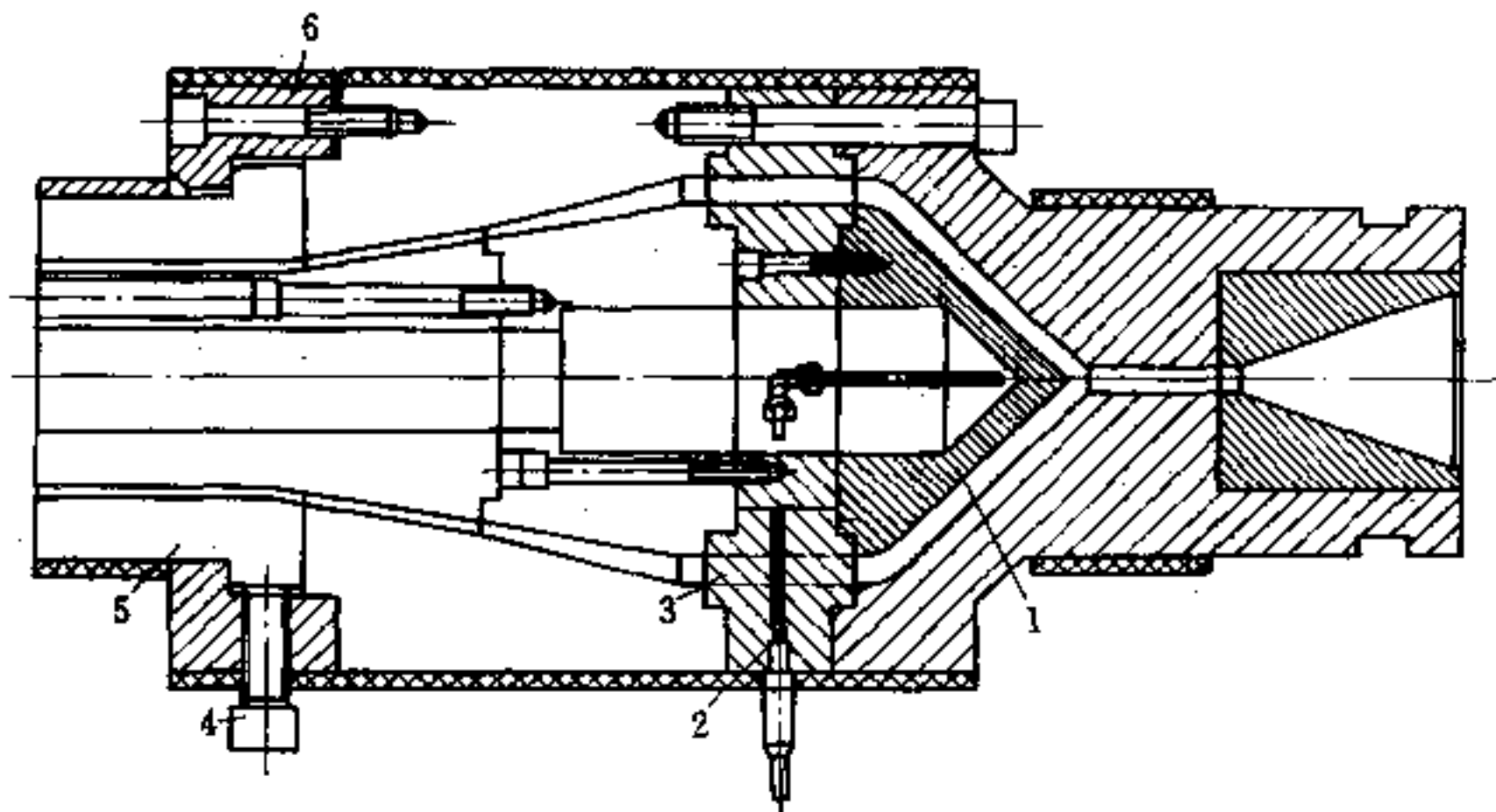


图 7.5-4 中心供料机头

1—分流锥；2—芯模支架；3—支架支柱；4—调节螺钉；5—口模；6—模套。

内停留时间最短，及良好的自清洁性能。成功的螺旋供料机头设计，具有如下优点：

- (1) 圆周上熔体均匀分布；
- (2) 产品表面无流痕；
- (3) 壁厚偏差小；
- (4) 熔体的机械和热应力小；
- (5) 压力消耗少；

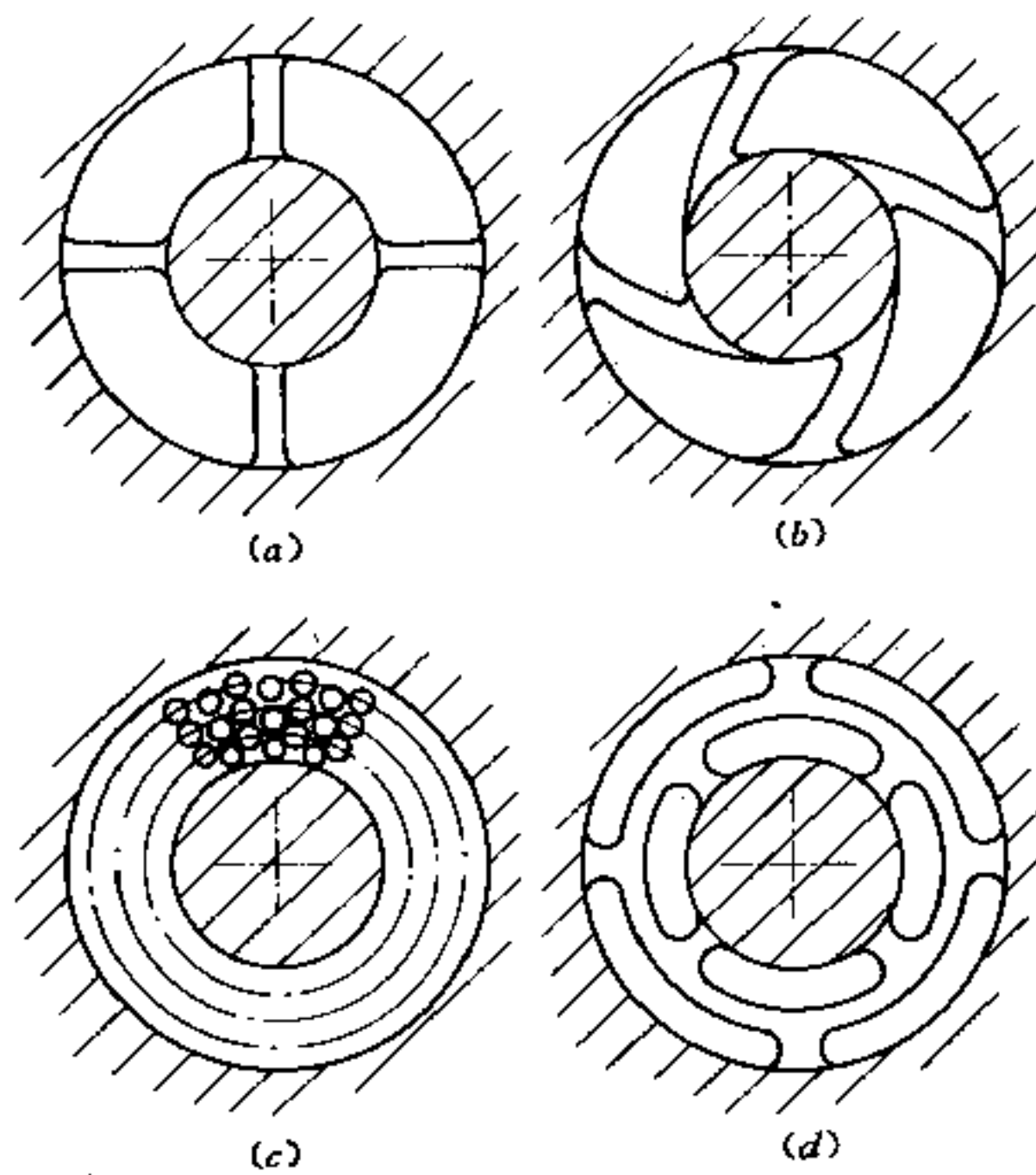


图 7.5-5 芯模支架结构设计

(a) 径向式；(b) 切向式；(c) 筛板式；(d) 补偿式。

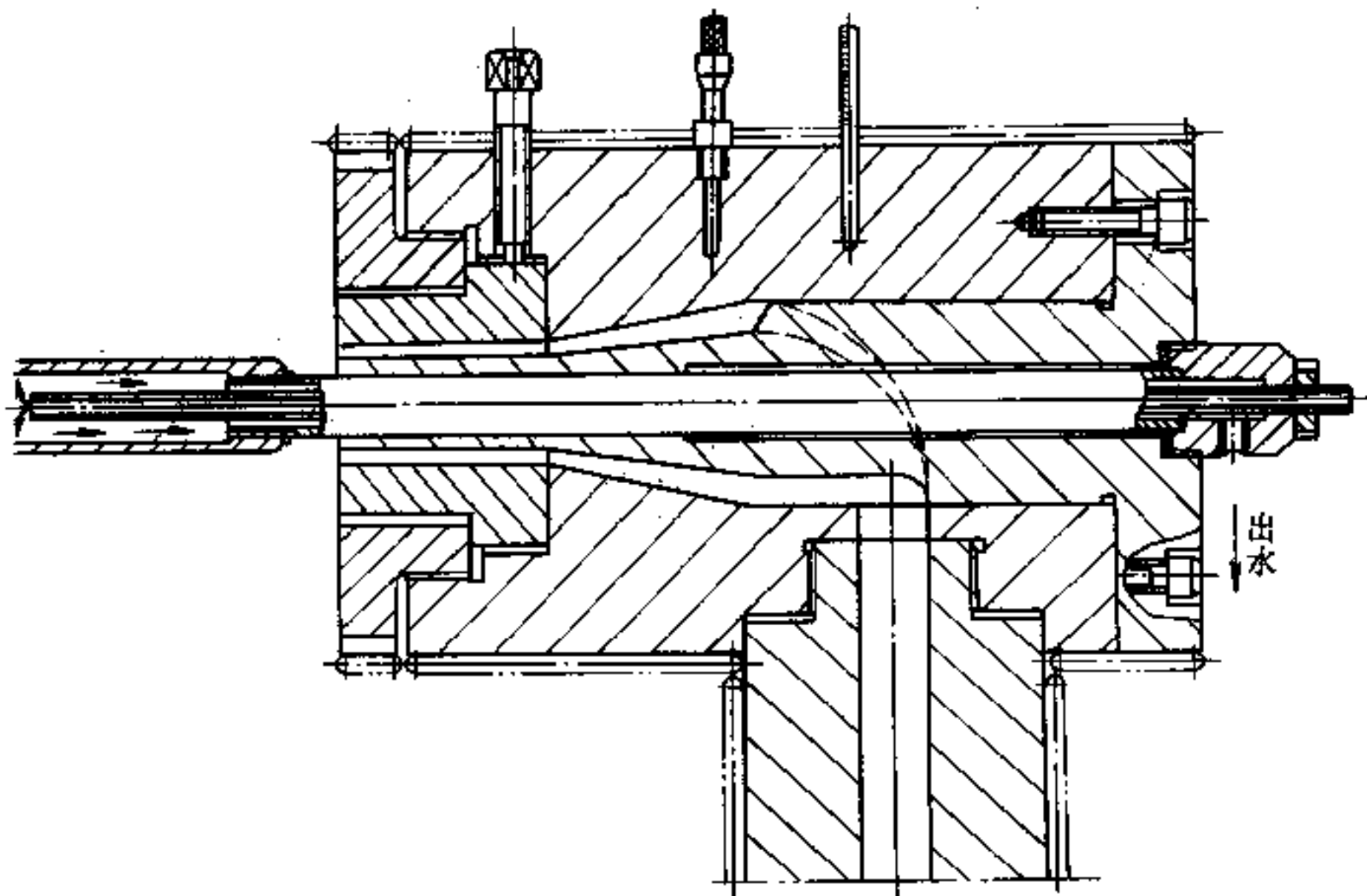


图 7.5-6 侧向供料机头

- (6) 可实现低温下的高产量操作；
- (7) 产品性能均匀，外观质量好。

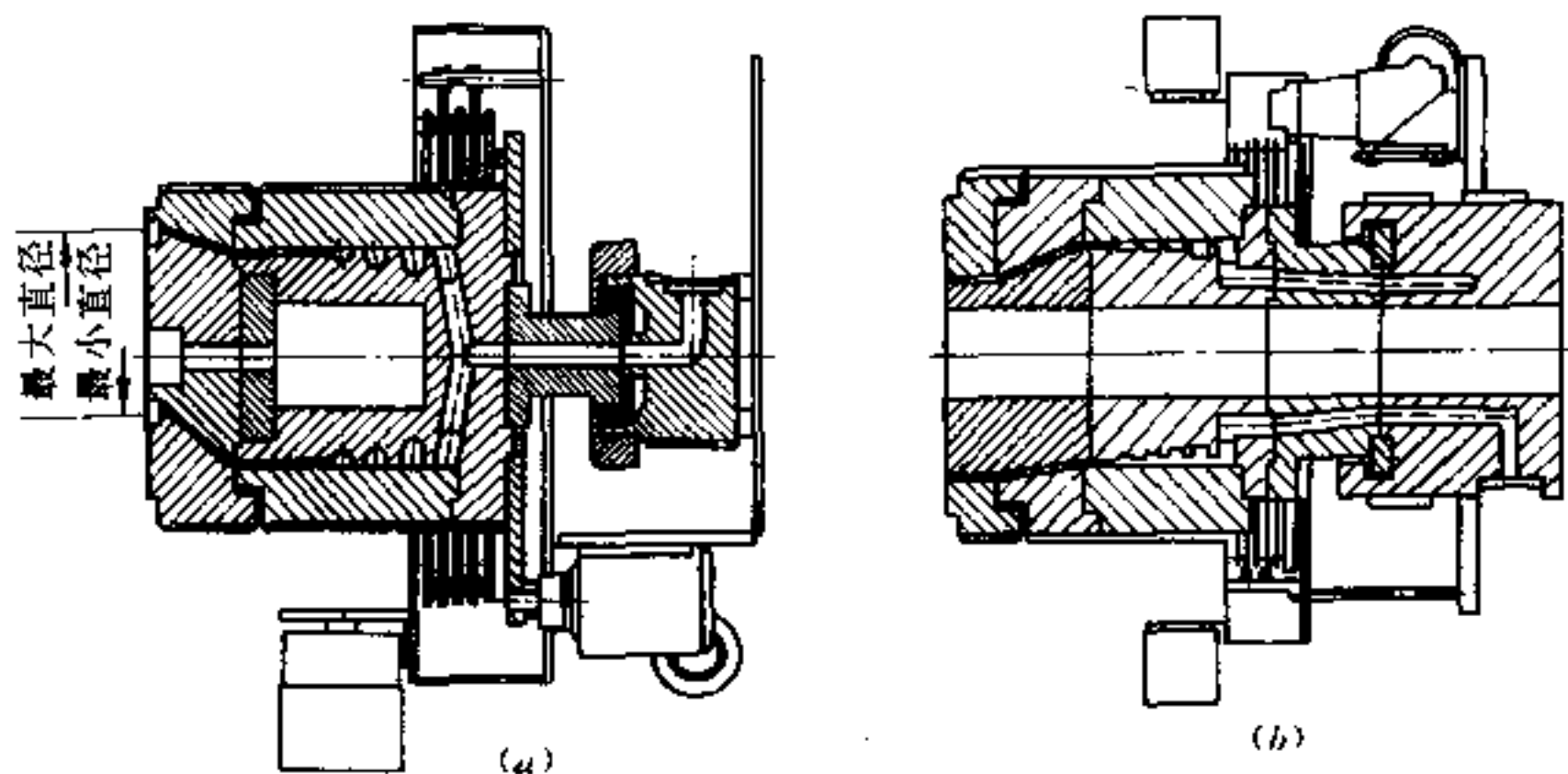


图 7.5-7 螺旋供料机头

- (a) 星形螺旋供料机头：中心供料—星形流道—径向孔—螺旋流道；  
 (b) 环形螺旋供料机头：热空气交换中心孔—环形熔体分配—轴向流道。

#### 4. 筛孔供料机头

主要用于挤塑成型大型聚烯烃管材（如图 7.5-8 所示）。由挤塑机供给的塑料熔体，流向圆锥形鱼雷体的同时，被众多筛孔（直径为 1~2.5mm，各孔相互错开，孔圈间距 1.8~4.5mm）改道流向外侧，在芯模与模套的环形间隙中，再次改沿轴线方向流动，然后流过具有可调间隙的平直成型区。在这样的机头中，处于筛孔框之后的各部分，也是可以更换的。由于筛孔框上的巨大通道面积，致使此种机头仅有低的压力损失（约 7~12MPa）。如此低的压力损失，导致经济效益及挤出物的质量大为提高。与中心供料机头相比，筛孔供料机头的结构更趋紧凑。结果使得此种机头相当轻便，其重量仅为类似中心供料机头的 50%~60%，因而更容易装卸。

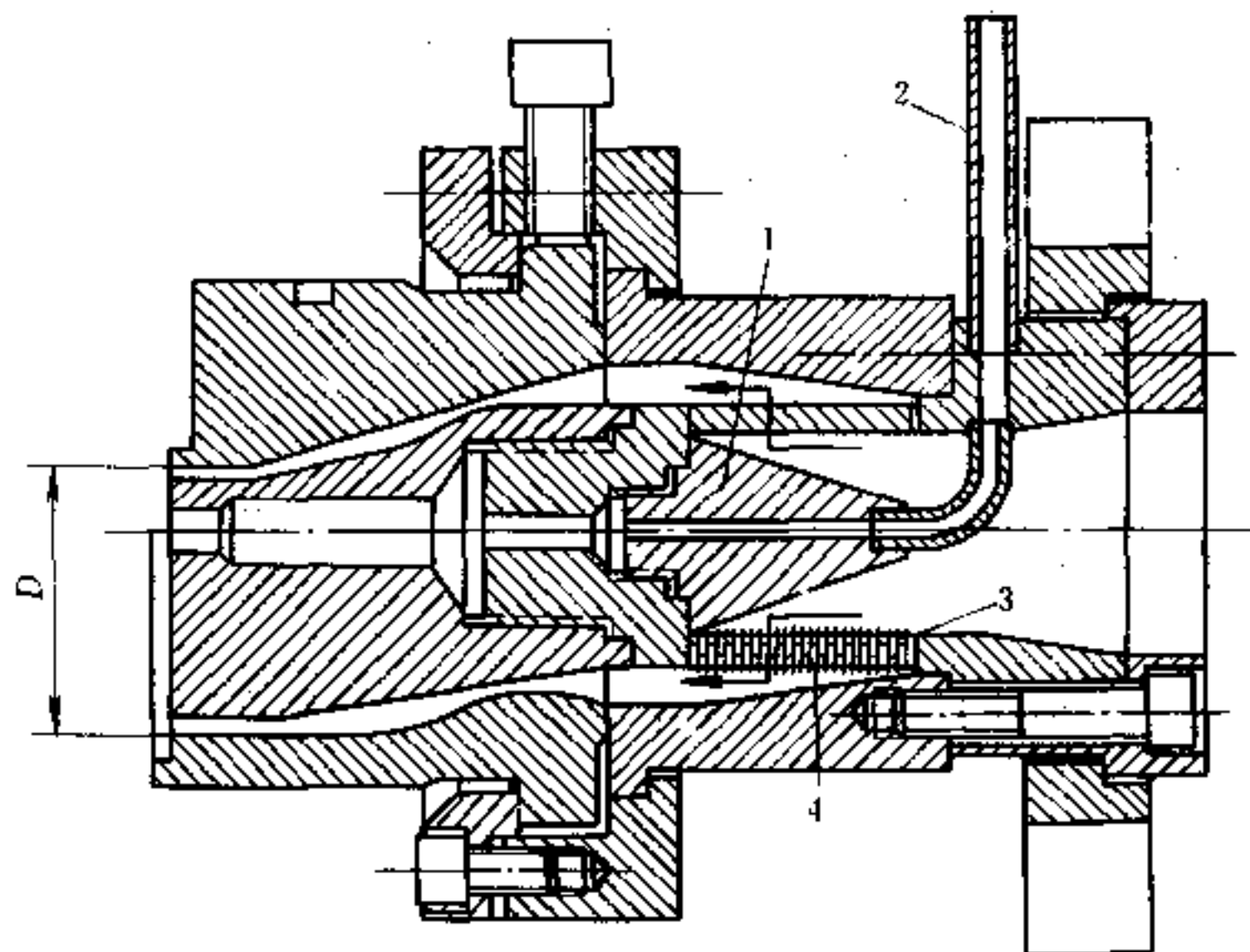


图 7.5-8 筛孔供料机头

- 1—鱼雷体；2—供气管；3—筛框；4—筛孔。

## 二、成型段长度计算

成型段长度，是挤管机头设计的关键。视管材壁厚的不同，通常有两种处理方法。

### 1. 薄壁管材

当管材外半径与内半径之比，即  $R_o/R_i < 3$ ，可把圆环隙口模展开，按平行板模型处理。于是其成型段长度可用下式计算

$$L = \frac{\Delta P}{2K^n} \left[ \frac{\pi (R_o + R_i)}{6Q} \right]^n (R_o - R_i)^{2n+1} \quad (7.5-1)$$

### 2. 厚壁管材

当  $R_o/R_i \geq 3$  时，需按圆环隙模型处理。其成型段长应按下式计算确定：

$$L = \frac{\Delta P}{2K'} \left[ \frac{2\pi}{Q} \psi(\rho) \right]^n R_o^{3n+1} \quad (7.5-2)$$

式中  $\psi(\rho)$  ——与塑料熔体特性参数  $K$  和  $n$  有关的函数，其值见表 7.5-3。

### 3. 芯模半径

根据  $k = R_i/R_o$ ，亦可计算确定芯模半径为

$$R_i = kR_o \quad (7.5-3)$$

表 7.5-3  $\psi(\rho)$  随  $K$  和  $n$  变化的函数值

n	$k = R_i/R_o$						
	0.01	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9
1.00	$9.79 \times 10^{-2}$	$7.18 \times 10^{-2}$	$5.32 \times 10^{-2}$	$2.55 \times 10^{-2}$	$8.57 \times 10^{-3}$	$1.20 \times 10^{-3}$	$1.58 \times 10^{-4}$
0.50	$8.32 \times 10^{-2}$	$5.14 \times 10^{-2}$	$3.30 \times 10^{-2}$	$1.16 \times 10^{-2}$	$2.58 \times 10^{-3}$	$1.80 \times 10^{-4}$	$1.19 \times 10^{-5}$
0.33	$7.06 \times 10^{-2}$	$3.84 \times 10^{-2}$	$2.15 \times 10^{-2}$	$5.60 \times 10^{-3}$	$8.23 \times 10^{-4}$	$2.87 \times 10^{-5}$	$9.45 \times 10^{-7}$
0.20	$5.37 \times 10^{-2}$	$2.36 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-2}$	$1.47 \times 10^{-3}$	$9.51 \times 10^{-5}$	$8.25 \times 10^{-7}$	$6.79 \times 10^{-9}$
0.10	$3.21 \times 10^{-2}$	$8.68 \times 10^{-3}$	$2.04 \times 10^{-3}$	$6.77 \times 10^{-5}$	$5.73 \times 10^{-7}$	$1.55 \times 10^{-10}$	$3.97 \times 10^{-14}$

4. 经验确定法 当工艺参数及幂律参数不可得时，可凭经验公式计算确定

$$L = \beta t \quad (7.5-4)$$

式中  $\beta$  ——经验系数，与塑料品种有关，详见表 7.5-4；

$t$  ——管材壁厚。

表 7.5-4 成型段长度与塑料品种的关系

塑料品种	RPVC	SPVC	PA	PE	PP
经验系数 $\beta$	18~33	15~25	13~23	14~22	14~22

## 三、机头结构参数确定

### 1. 分流锥尺寸

(1) 锥角  $\alpha$  与塑料粘性有关，低粘度  $\alpha = 30^\circ \sim 80^\circ$ ，高粘度  $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ 。

(2) 尖角半径  $R \geq 2.5\text{mm}$ 。

(3) 长度  $L$  由如下经验公式确定

$$L = (1.0 \sim 1.5) d_o \quad (7.5-5)$$

式中  $d_o$  ——栅板出口直径，mm。

(4) 锥尖与栅板间的距离  $L = 10 \sim 25\text{mm} \leq 0.1d_s$ ， $d_s$  为螺杆直径。

## 2. 压缩区尺寸

(1) 压缩角  $\beta$  塑料熔体离开分流锥后应极好地融合, 因此,  $\beta$  角应小于扩张角  $\alpha$ , 其值与物料流动性有关。高粘性塑料如 RPVC, 取  $\beta = 10^\circ \sim 30^\circ$ , 低粘性塑料如聚烯烃, 取  $\beta = 20^\circ \sim 40^\circ$  为宜。

(2) 压缩区长度  $L$  可由经验公式计算确定

$$L = (1.5 \sim 2.5) d_0 \quad (7.5-6)$$

(3) 压缩比  $C$  机头流道应有足够的压缩比, 以使产品致密。管机头压缩比, 在此定义为分流区支架出口处截面积与成型区环隙截面积之比。其值因塑料粘度特性而异。对于高粘性塑料, 取  $C = 4 \sim 10$ ; 对于低粘性塑料, 取  $C = 3 \sim 6$  为宜。

## 3. 拉伸比 $T$

经过牵引的管材, 可明显提高其力学性能。管材拉伸比, 在此定义为机头成型区环隙截面积与管材截面积之比, 即

$$T = \frac{R_o^2 - R_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (7.5-7)$$

式中  $R_o$ ——管材公称外半径 (mm);

$R_i$ ——管材规定内半径 (mm)。

管材拉伸比, 随塑料品种而异, 常用值见表 7.5-5。

表 7.5-5 常用塑料挤管拉伸比

塑料	ABS	HDPE	LDPE	PA	PP	PVC	其他
T 值	1.0/1.1	1.0/1.2	1.2/1.5	1.4/3.0	1.0/1.2	1.0/1.5	1.0/1.2

## 7.5.2 管材定型模设计

定型与冷却, 具有固定管材尺寸、几何形状、乃至表面粗糙度的任务。因而定径套设计, 是挤塑模设计不可分割的部分。定径方法选用及其尺寸确定至关重要。

### 一、定径方法

管材定径方法, 通常有三种:

#### 1. 压缩空气外定径

简称压空定型。此种方法仅适用于管径大于 350mm 的聚氯乙烯管材, 以及直径大于 90~110mm 的聚烯烃管材。在此种方法中, 如图 7.5-7 所示, 定型模 (亦称“定型套”) 与管材外壁间的接触, 是由空气压力 (约 0.02~0.1MPa) 造成的。为此, 须由挤管机头的芯模送入压缩空气, 并在管材内用浮塞封闭。此浮塞视管径规格不同, 由一系列不同直径的圆形橡胶密封件组成。浮塞用绳索或链条系于芯模上, 并保证绳索或链条不在管内拖曳, 且能阻抗管材的最大牵引的能力。

采用此种定径方法时, 定型模与挤管机头间须对中, 并用法兰连接, 以防止内压力胀开或撕裂管材。此外, 在定型模与挤管机头间, 还应备有良好的绝热措施, 以确保生产正常运行。

#### 2. 真空外定径

即真空吸附定径, 是管材生产的重要定径方法。管材外观质量好、尺寸精度高、壁

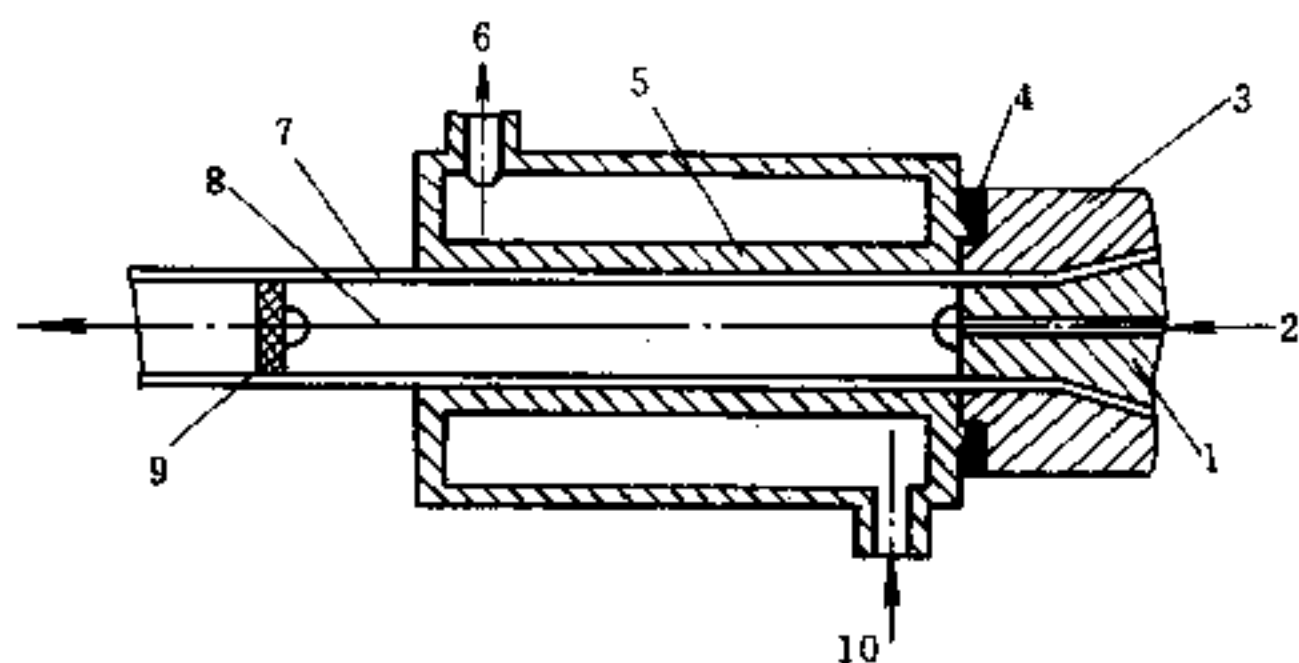


图 7.5-9 压空外定径

1—芯模；2—压空入口；3—管机头；4—绝热垫；5—定径套；6—冷却水出口；  
7—塑料管材；8—绳索；9—浮塞；10—冷却水入口。

厚均匀性好、产品内应力小。真空外定径装置的典型结构如图 7.5-10 所示，借助真空吸附力将管材外壁紧贴于定径套内壁。与此同时，在定径套夹层内通入冷却水。管坯伴随真空吸附过程的进行，而被冷却硬化，从而获得规定尺寸和形状的管材。此种方法的主要优点是：在管内无浮塞，只需维持大气压力即可。

真空度一般要求在 53~67kPa (400~500mmHg)。真空孔径在  $\phi 0.6\sim 1.2\text{mm}$  范围内选取，它与塑料粘性和管壁厚度有关。以高粘性的 RPVC 为例，壁厚  $\leq 2\text{mm}$  以下，真空孔径取  $\phi 0.8\sim 0.7\text{mm}$ ，壁厚  $\geq 3\text{mm}$  以上，真空孔径可取为  $\phi 0.9\sim 1.2\text{mm}$ 。关于真空吸附及吸附面积计算，将在 7.8.3 节介绍。

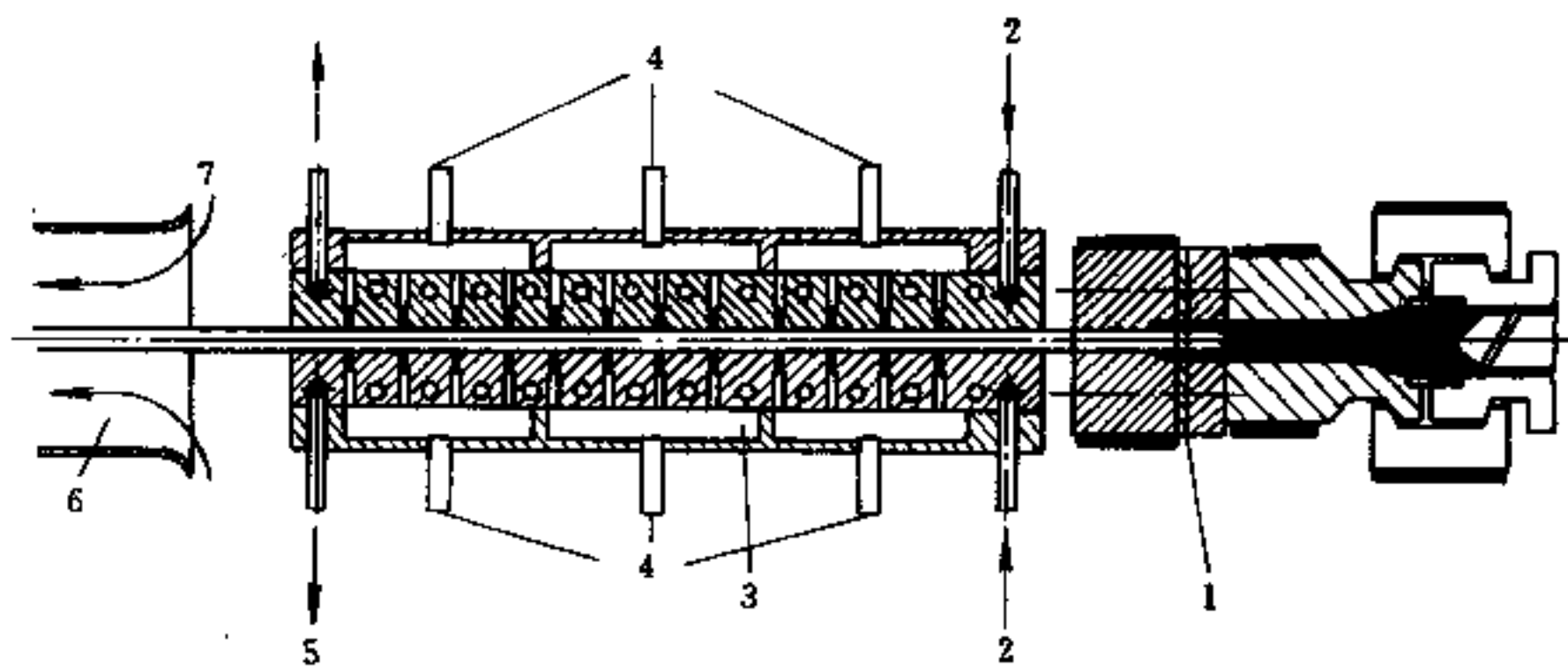


图 7.5-10 真空外定径

1—挤管机头；2—入水口；3—真空定径模；4—抽真空；5—出水口；6—空冷通道；7—冷却空气。

### 3. 内定径

顾名思义，内定径是固定管材内径尺寸的一种定径方法。此种定径方法特适用于侧向供料或直角挤管机头。该定径装置如图 7.5-11 所示，定径芯模与挤管芯模相连，在定型芯模内通入冷却水。当管坯通过定径芯模后，便获得内径尺寸准确、圆柱度较好的塑料管材。这种方法，现时很少使用，因为管材的标准化系列，多以外径为准。但内径公差要求严格、用于压力输送的管道，是这种定径方法的唯一应用，同时内定径管壁的内应力分布较合理，如图 7.5-12 所示。

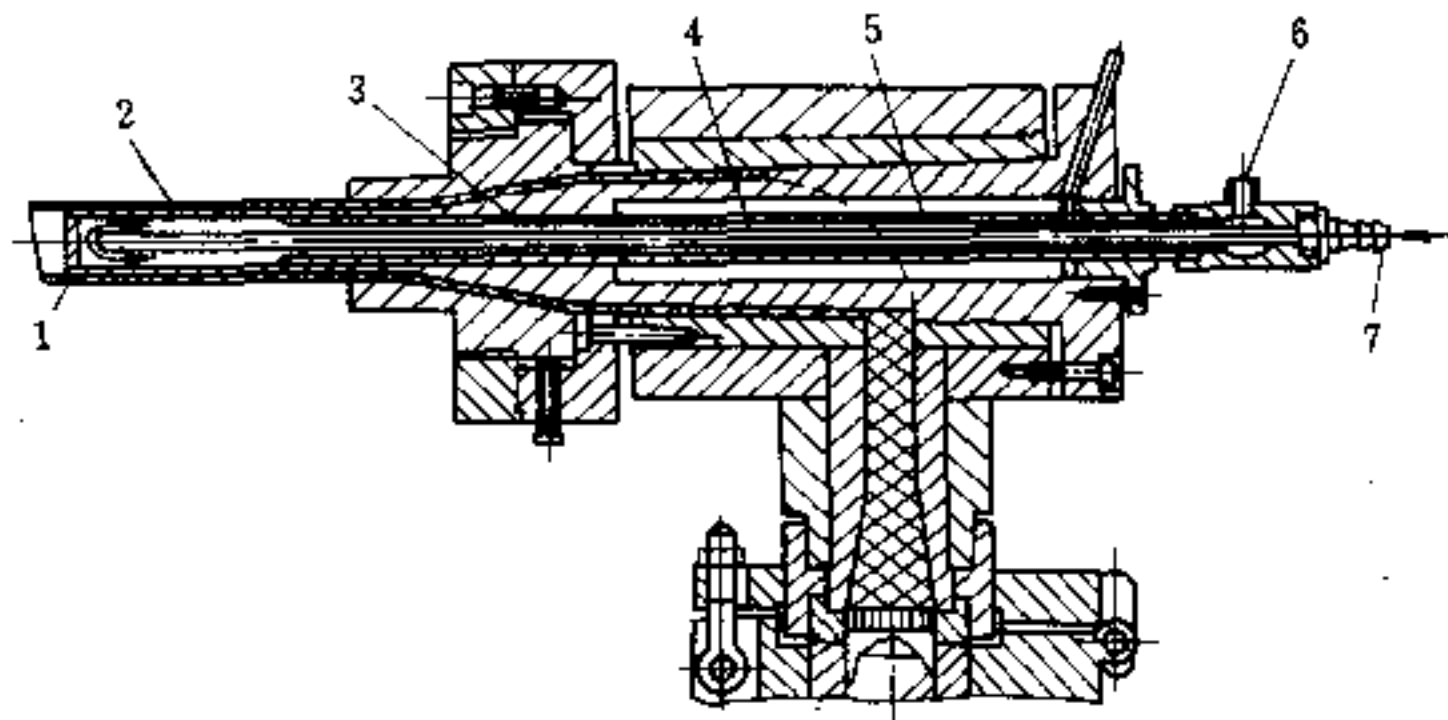


图 7.5-11 内定径的应用

1—管材；2—定径芯模；3—芯棒；4—回水流道；  
5—进水管；6—排水嘴；7—进水嘴。

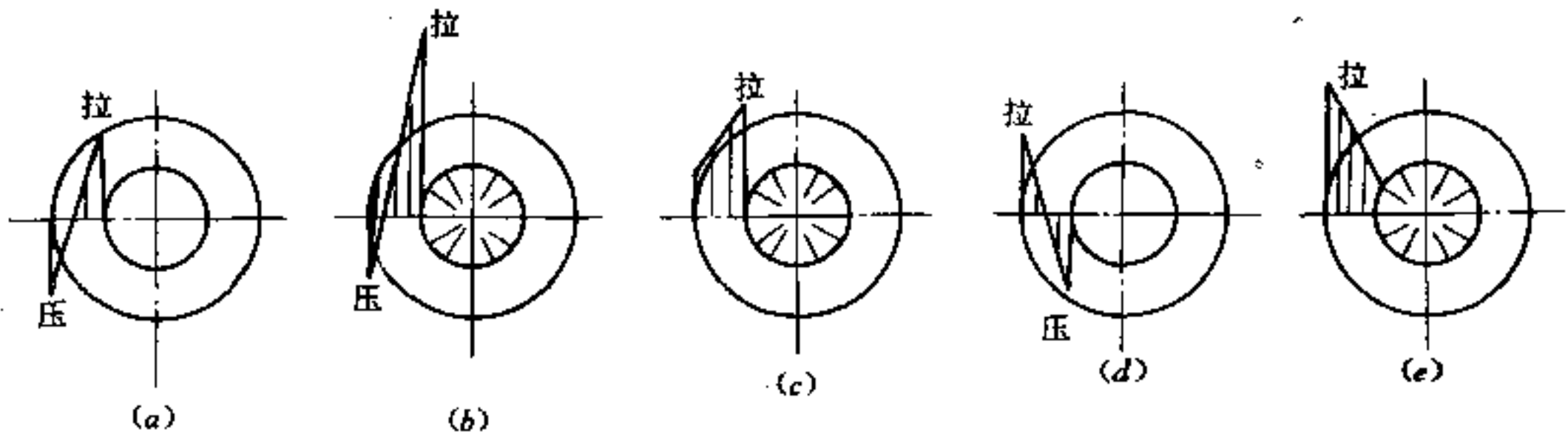


图 7.5-12 管壁应力分布

(a) 外定径应力分布；(b) 外定径受内压应力分布；(c) 受内压应力分布；  
(d) 内定径应力分布；(e) 内定径受内压应力分布。

## 二、定径套尺寸

定径套是定型模设计中的关键尺寸，设计合理与否，对管材冷却与定型影响极大。

### 1. 定径套长度

定径套长度是一个重要的设计参数。在这段长度内，管坯表面必须形成足够的“冻结层”，达到定型的目的。定径套长度取决于管材尺寸、塑料性能、管坯温度、挤出速度、冷却效率及热传导性能，应予以恰当选择。据成功的经验指出，对直径小于300mm RPVC的管材，其定径套长度为管径的3~6倍，且倍数随管径减小而增加。当管径小于35mm时，定径套长度可增至管径的10倍。就聚烯烃管材而言，定径套长度为管径的2~5倍，小直径管子可大于5倍。对于内定径的芯模长度，通常取为80~300mm，且外径通常比管材内径大2%~4%，有利于管材内径公差控制。

### 2. 定径套直径

就外定径而言，通常定径套内径比口模内径大0.8%~1.2%为妥。例如管径为100~300mm时，其定径套内径约大1~3mm。定径套内径也应慎重选择，它亦会影响到管材质量与产量。

### 3. 定径套锥度

通常定径套的出口直径应比进口直径略小，即带有锥度。在定型过程中，管坯因冷



却而收缩，其收缩幅度随冷却水温度、管子材料不同而异，其锥度应满足此种变化的需要。使用带锥度的定径套，可使管子与定径套内壁形成较大面积接触，从而保证了管材的冷却效果及其外观质量。就内定径的芯模而言，通常取 6% ~ 10% 的轴向锥度为妥。

#### 4. 定径套材料

定径套宜以导热性良好的金属材料制成。通常选用铝合金较好，但也可用一般钢材或无缝钢管制成，内壁须镀铬处理，表面粗糙度达 0.2 以下。定径套与机头口模之间应有绝热圈，以确保生产操作正常进行。绝热圈材料，以采用聚四氟乙烯较为理想。但使用布基酚醛塑料板，也有较好效果。

### 7.5.3 吹膜机头设计

塑料吹塑薄膜机头，简称吹膜机头。在吹塑薄膜生产中，无论使用何种生产方式与吹模结构，均要求这类机头具有圆环隙出料口。来自挤塑机料筒的塑料熔体，进入机头口模内，须沿口模环隙周向均匀分布，经模唇挤出厚薄均匀的膜坯，进而配合以吹胀、风环及操作技术，才能获得厚度公差符合要求的薄膜制品。

#### 一、吹膜机头类型

在吹塑薄膜生产中，主要采用芯棒式机头、十字形机头和螺旋式机头。这 3 种机头均有广泛应用，其特点见表 7.5-6。

表 7.5-6 常用吹膜机头的比较

机头类型	薄膜均匀性	可旋转性	应用范围	适用塑料	熔接纹
芯棒式	取决于设计	坏	广	各种塑料	一条
十字形	易于调整	好	好	各种塑料	多条
螺旋式	取决于设计	好	有限	通用塑料	无

具有径向流道系统的莲花瓣（或多流道）机头，以及具有周向（拖曳）流动的旋转机头，亦为颇具特色的吹膜机头。具有径向流道系统的吹膜机头，如图 7.5-13 所示，将这样的流道体系安排成一个在另一个之上，相互错开。与此类似的还有分配板吹膜机

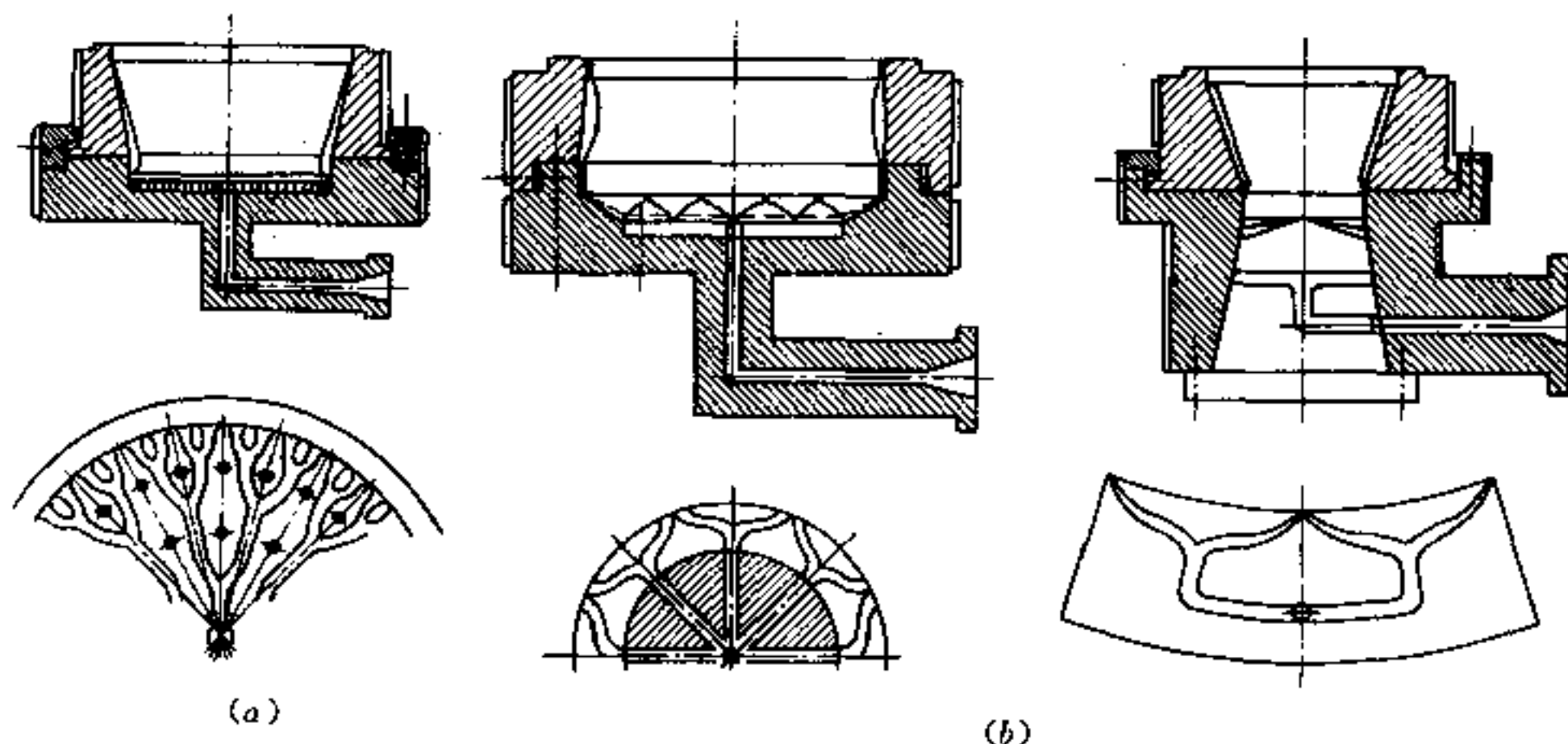


图 7.5-13 具有径向流动的吹膜机头  
(a) 莲花瓣形；(b) 多流道形。

头,如图 7.5-14 所示。像这样的结构类型多用于大型吹膜机头,能使机头总高度降低,且易于更换芯模和口模。这类机头口模出口处的模缝宽度,通常为 0.6~1.6mm 之间,出口直径可从几厘米至 256cm 之间变化。口模成型段长度将影响薄膜容差和质量,流道表面缺陷具有特别有害的影响。当成型段长度增大时,则吹塑膜的光学性能有所改善。

现代高性能吹塑薄膜生产,多采用性能优异、结构复杂的旋转机头。

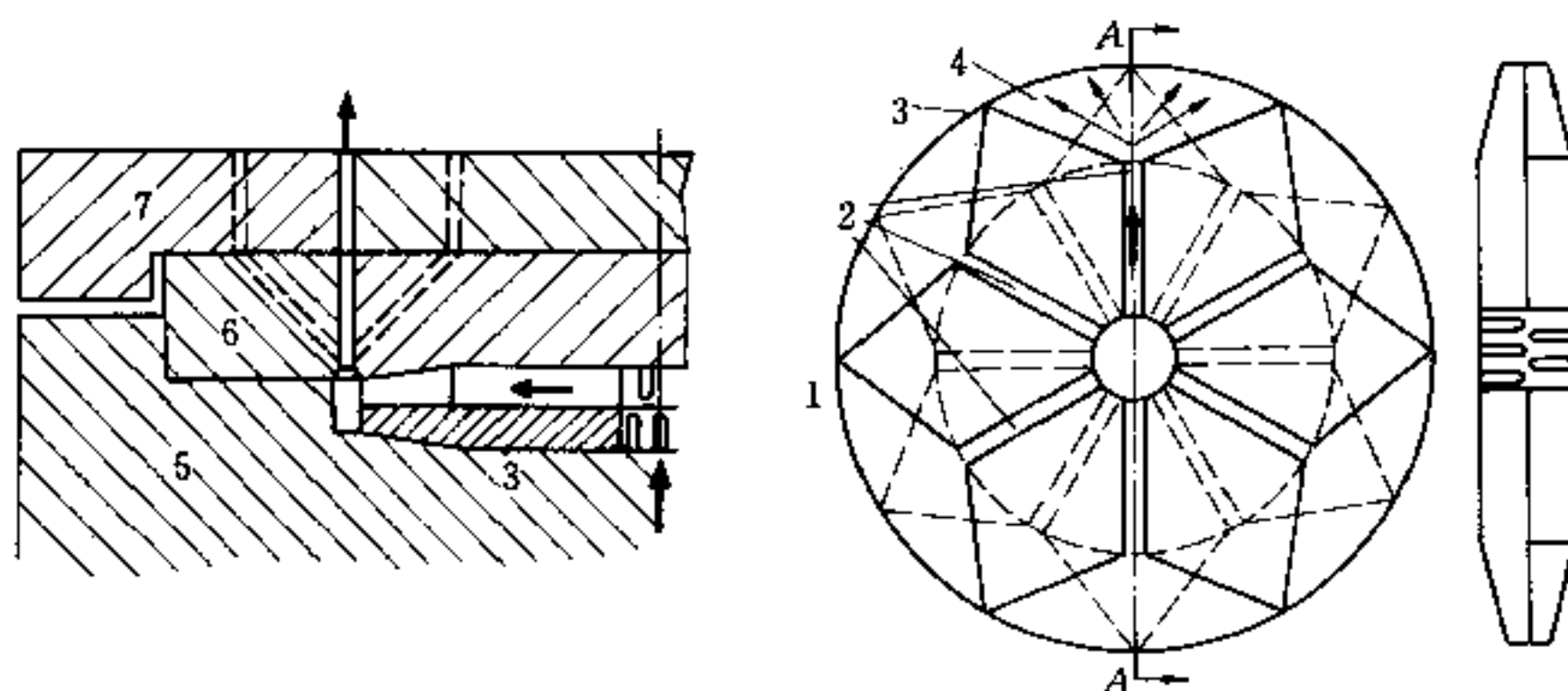


图 7.5-14 具有分配板的吹膜机头

1—料流入口; 2—径向流道; 3—分配板; 4—阻流区; 5—模体; 6—芯模; 7—口模圈。

## 二、结构与工艺参数

有资料表明:芯棒式机头和螺旋式机头,在实际生产中的总压降为 20~23MPa。在聚烯烃薄膜生产中,压力损失可高达 25MPa。但在机头结构设计时,应按 50MPa 压力考虑为妥。无论设计何种结构形式的吹膜机头,以下工艺参数必不可少。

### 1. 挤塑机的匹配

在设计吹膜机头时,首先须考虑膜管规格及产量,可参见表 7.5-7。

表 7.5-7 吹膜机头与挤塑机的关系

口模内径/mm	<120	75~220	150~300	>220	>250
螺杆直径/mm	φ45	φ65	φ90	φ120	φ150

### 2. 口模成型段长度

根据平行板模型原理,吹膜机头口模成型段长度  $L$  应为

$$L = \frac{\Delta P}{2K'} \left( \frac{\pi (R_o + R_i)}{6Q} \right)^n (R_o - R_i)^{2n+1} \quad (7.5-8)$$

其中,  $R_i$  为芯模外半径 (cm);  $R_o$  为口模内半径 (cm);  $K'$  为塑料熔体粘度系数,见表 18.1-1;  $n$  为塑料熔体非牛指数,见表 18.1-1;  $P$  为熔体压力 (N/cm)。

当无材料流变特性参数时,其定型段长度可凭经验确定。对此,表 7.5-8 中的数据可供参考。

表 7.5-8 吹膜机头设计经验数据

适用塑料品种	PA	PE	PP	PVC
$L/h$ 值	15~20	25~40	25~40	16~30

### 3. 口模环隙

口模与芯模间的环形间隙  $h$ ，通常取为  $0.5 \sim 1.3 \text{mm}$  为宜，常用  $0.8 \sim 2.0 \text{mm}$ 。在此  $h = R_o - R_i$ 。

### 4. 吹胀比

吹胀比此定义为吹胀后膜管直径与口模内径之比。即

$$\zeta = D/d \quad (7.5-9)$$

其中， $D$  为膜管直径 (cm)； $d$  为口模内径  $= 2R$  (cm)； $\zeta$  为吹胀比，与环隙  $h$  有关，常取  $\zeta = 2 \sim 3$ 。

于是，当需生产膜管折径为  $D_0$  的薄膜时，其机头口模内半径应为

$$R = D_0 / (\pi \zeta) = 0.32 D_0 / \zeta \quad (7.5-10)$$

### 5. 缓冲槽尺寸

缓冲槽又称储料段，通常开在芯模定型区入口处，以消除多股熔料汇合时产生的熔接痕迹，有利于改善膜坯流动的均匀性，并提高膜的力学性能。该槽的截面通常呈弓形，弦长（沿芯模轴向）即槽宽  $b = (15 \sim 30) h$ ，弦高（沿芯模径向）即槽深  $\delta = (4 \sim 8) h$ 。

### 6. 流道扩张角

塑料熔体由流道向成型段过渡，在芯模上形成的倒锥角  $\alpha$ ，称为流道扩张角。常取  $\alpha = 80^\circ \sim 100^\circ$  为宜，但最大不超过  $120^\circ$ 。

## 三、机头结构设计

吹塑薄膜机头，目前最广泛应用的，通常有以下 5 种结构形式：

### 1. 芯棒式机头

如图 7.5-15 所示，来自挤塑机的塑料熔体，通过机颈 5 到达芯棒轴 1，并分成两股沿芯棒轴分料线流动，在其末端尖处汇合后，沿机头流道环隙挤成管坯。由芯棒中通入的压缩空气 4，将管坯吹胀成膜。管坯可用调节螺钉 3，调节其厚薄均匀性。

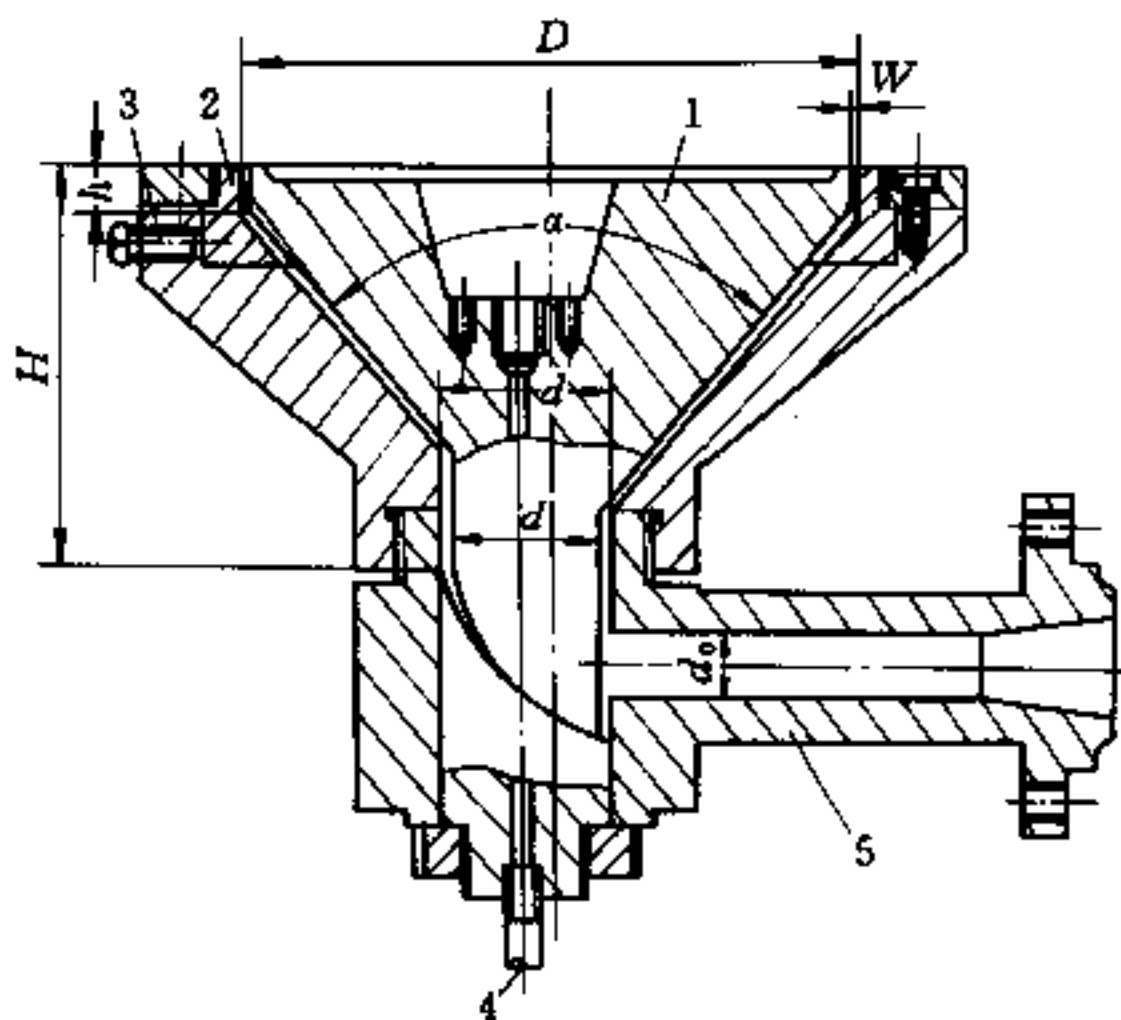


图 7.5-15 芯棒式机头

1—芯棒轴；2—口模；3—调节螺钉；4—压空管入口；5—机颈。

芯棒式机头的结构设计，除需满足前述结构参数外，还应着重注意以下3点：

(1) 分料线尖夹角，取  $20^{\circ} \sim 28^{\circ}$  为宜。以使熔体在该处汇合后，有足够向口模流动的动力；并可防止在该处出现滞流区；且其熔接强度亦可得到保证。

(2) 确保芯棒刚度，是防止产生“偏中”现象的关键。为此，可用刚性极好的 Cr12 钢制造，或用相同截面积的厚壁空芯金属管材做芯棒，其刚性亦可极好。

(3) 设计平衡式进料芯棒，使料流沿芯棒轴向方向，最终达到平衡流动。

## 2. 十字形机头

吹塑薄膜的十字形机头，属中心进料机头之列。其典型结构如图 7.5-16 所示，塑料熔体通过分流锥支架 2 后，极易形成明显的熔接线。为此，应在支架上方的芯模上开设缓冲槽，用以提高汇合料的熔接牢度。此种结构机头的主要优点，一是料流均匀，薄膜厚度易于控制；二是芯模无侧压力，可从根本上消除“偏中”现象。但模腔空间大、存料易分解，故不宜用于 PVC 加工。

## 3. 螺旋式机头

其典型结构如图 7.5-17 所示。塑料熔体从机头中央 1 进入，通过 3~8 个螺纹槽的芯轴 3，向上作螺旋运动，并进入圆环隙流道 4。熔料在环形缓冲槽 5 内消除熔接痕之后，进入成型区挤成膜坯，并立即被压缩空气吹胀成膜。螺旋式机头的主要尺寸见表 7.5-9，图 7.5-18 为其螺旋式芯轴的设计实例。

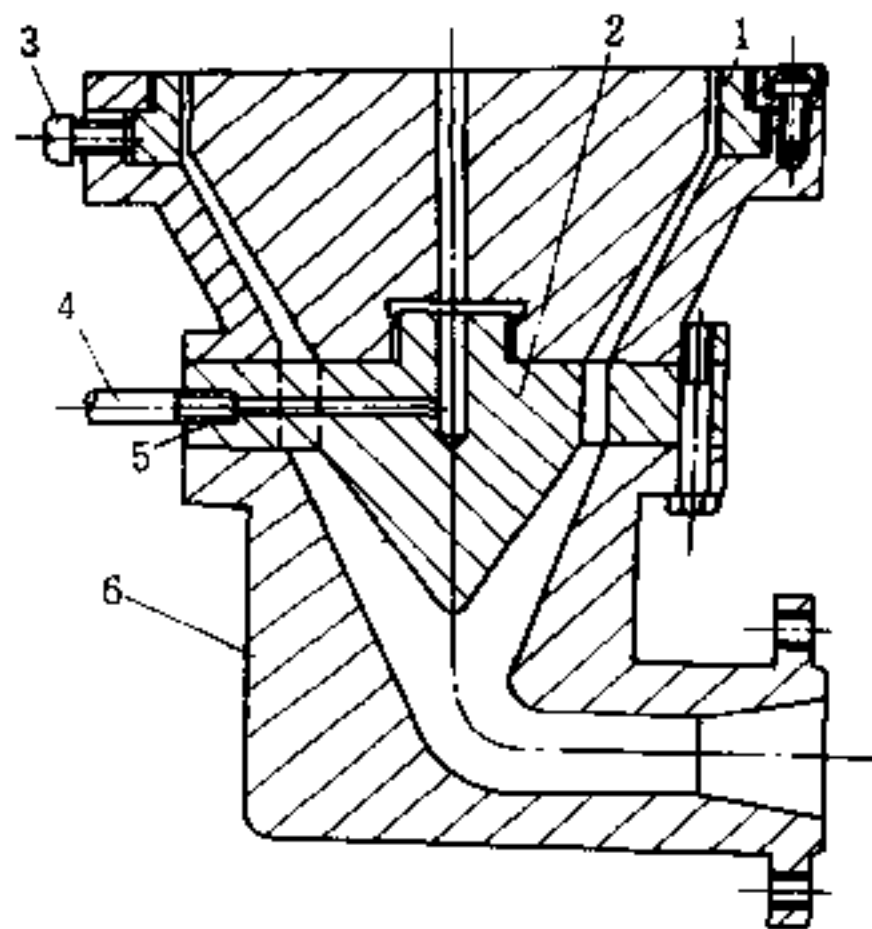


图 7.5-16 十字形机头

1—口模；2—分流锥；3—调节螺钉；  
4—进气管；5—分流器支架；6—模体。

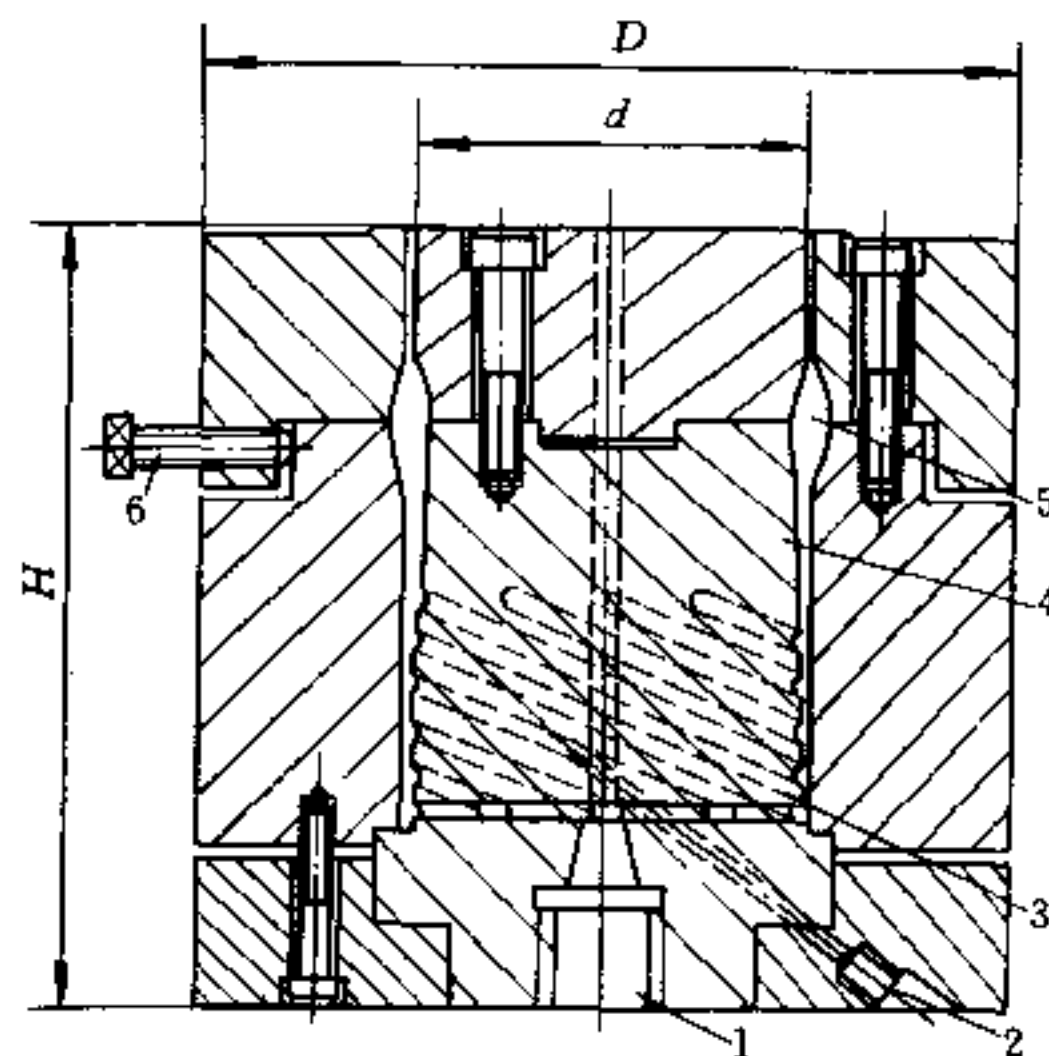


图 7.5-17 螺旋式机头

1—熔体入口；2—进气孔；3—芯轴；  
4—流道；5—缓冲槽；6—调节螺钉。

表 7.5-9 吹膜螺旋式机头规格尺寸 (mm)

公称尺寸 $d$	50	80	100	150	200	250	300	400	500
最大外径 $D$	160	200	240	280	330	380	460	550	660
高度尺寸 $H$	240	240	240	240	250	300	300	350	350

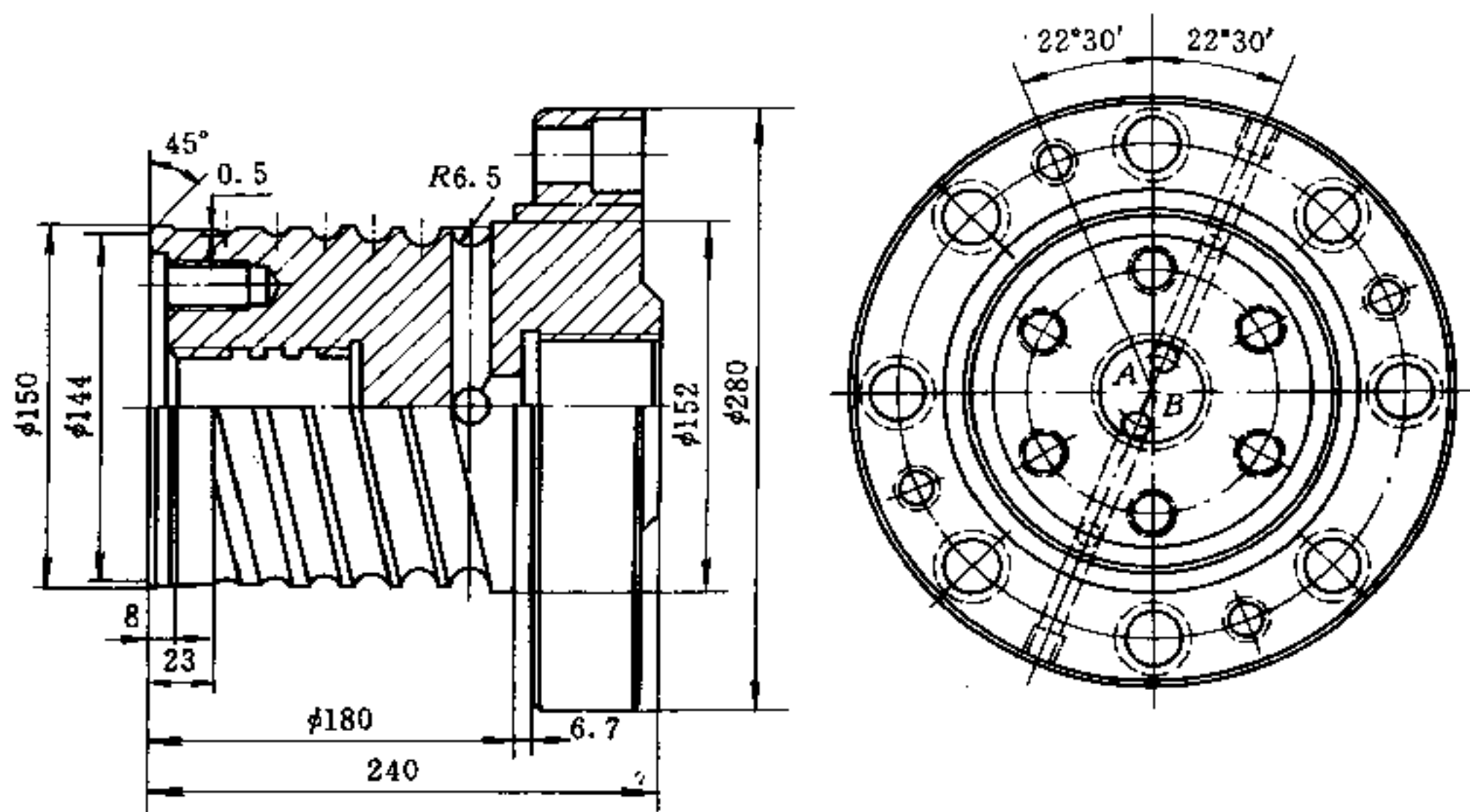


图 7.5-18 螺旋式芯轴结构设计

#### 4. 莲花瓣流道机头

属具有径向流动特征之列，亦称多流道吹膜机头，其典型结构如图 7.5-19 所示。为加工方便起见，将其流道均设在芯模端部，构成莲花瓣形。为消除多流道所产生的熔接线痕迹，于流道内、沿芯模周向、设有截面为半圆形的缓冲槽。当膜坯出现厚薄不均时，可用调节螺钉 1 调节。此种机头宜于生产大折径的聚烯烃薄膜，但不适用于高粘度或热敏性树脂，如 PVC 等。

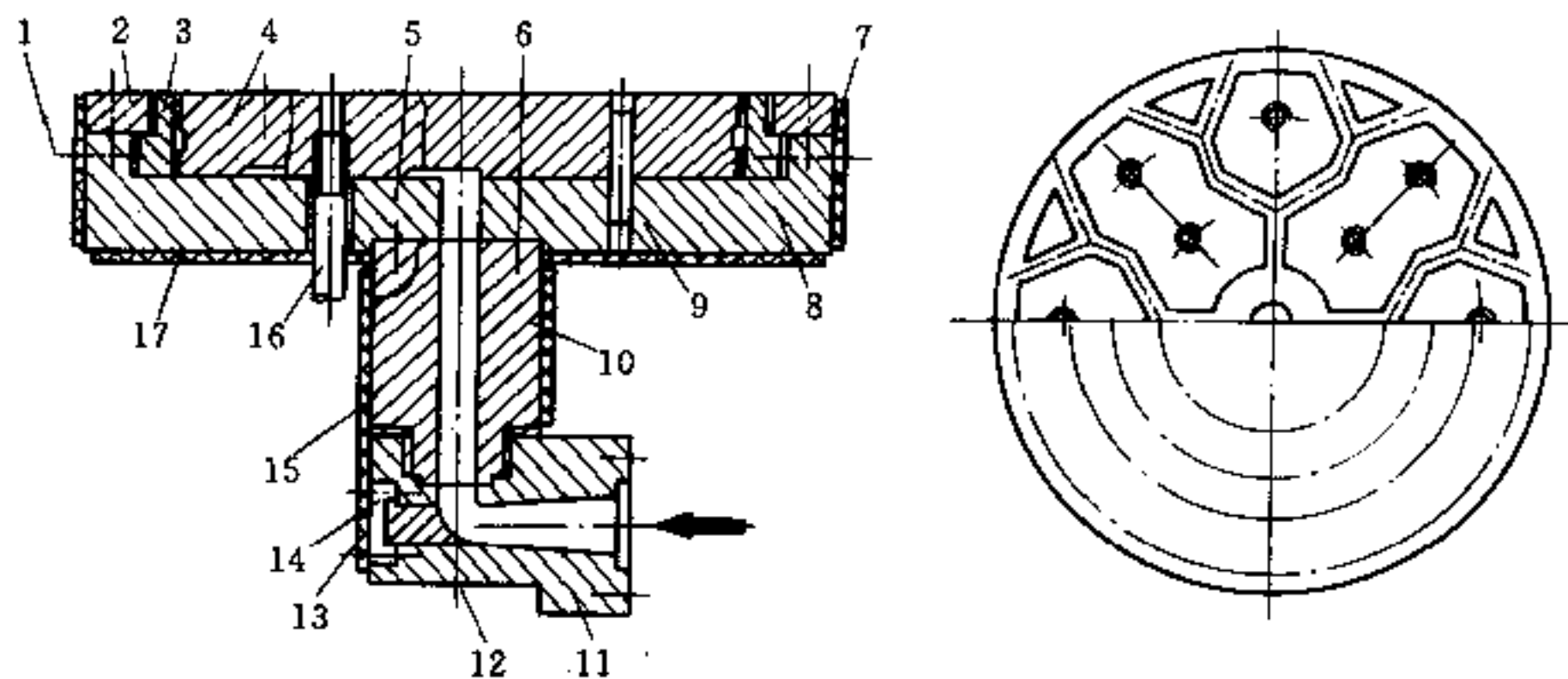


图 7.5-19 莲花瓣流道机头

1—调节螺钉；2—压环；3—口模；4—芯模；5, 6, 13—内六角螺钉；7, 15, 17—电热圈；  
8—口模体；9—圆柱销；10—机头体；11—接颈；12—堵头；14—压盘；16—供气嘴。

#### 5. 旋转式机头

可有效克服熔接线对薄膜质量的明显影响，并能使熔体在机头内的停留时间接近一致，从而保证被挤出物料温度的均匀性及膜坯的均一性。据知用旋转式机头生产的聚丙烯

烯膜，其厚度公差可达 $0.0001\text{mm}$ 。

旋转式机头设计，除遵循一般机头设计通则外，尤其要注意解决好旋转件的密封问题、高温下轴承润滑问题以及电热元件的调整与绝缘问题。此外，像熔体流动、压力分布、模具尺寸计算等，也是必须考虑和正确处理的问题。

常用旋转式机头，有以下3种结构形式：

(1) 芯棒式旋转机头 其结构设计如图7.5-20所示。它们通常分别由带有减速器的两台直流电机驱动，芯模和口模可以同速、异速；或同向、异向旋转，转速通常在 $0.2\sim 4.0\text{r/min}$ 。

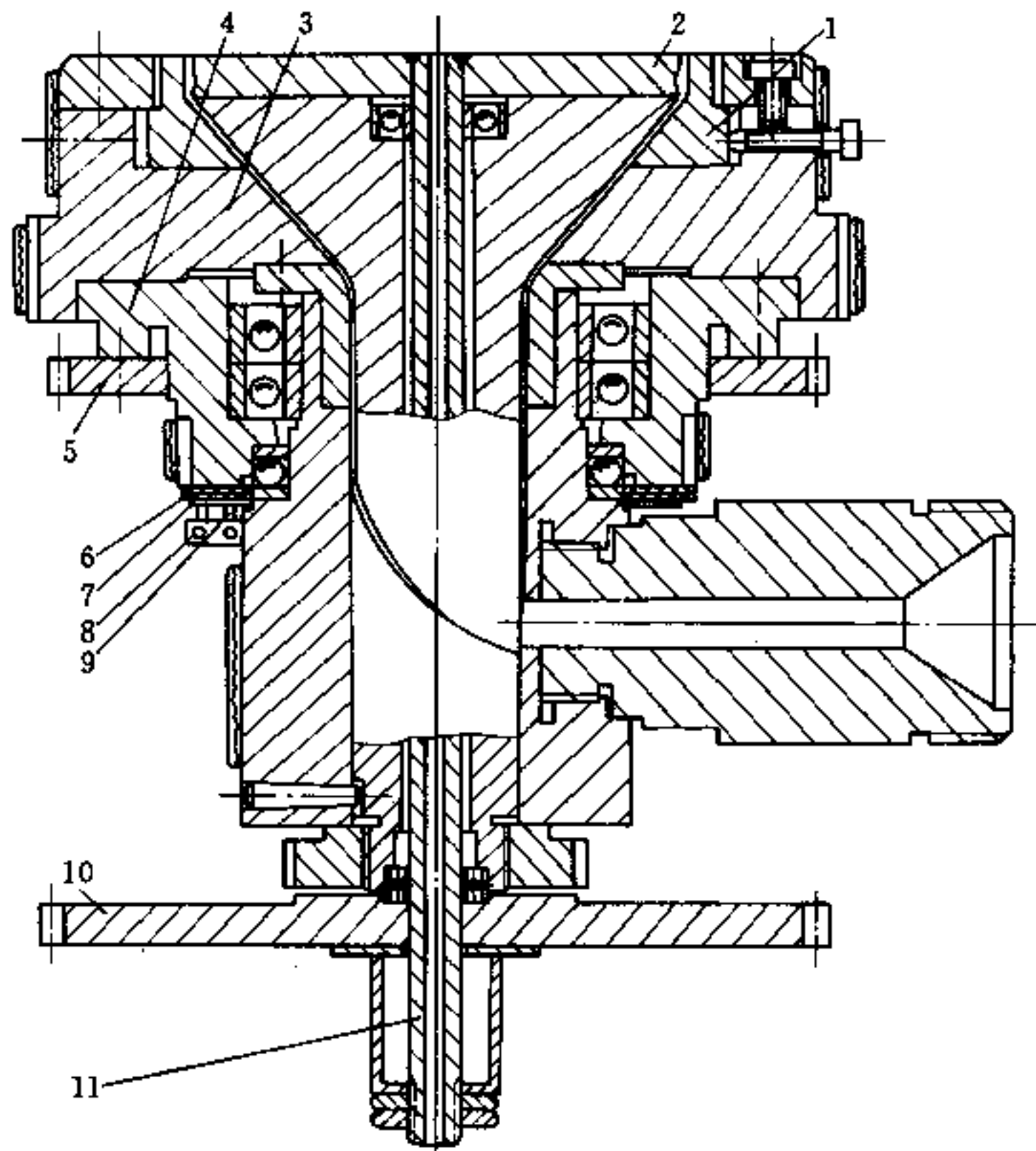


图 7.5-20 芯棒式旋转机头

1—口模；2—芯模；3—旋转体；4—支承体；5、10—齿轮；  
6—绝缘环；7、9—铜环；8—碳刷；11—空芯轴。

(2) 螺旋式旋转机头 其典型结构如图7.5-21所示，它主要由壳体6、螺旋体8、芯模3以及联接螺栓2组成。机头壳体6的对中，由插入耐磨材料制成的套垫14之凸出部13来保证。大螺母11通过轴承使压紧部件13，向套垫14内表面施压，以防止熔料从流道溢出。电机12的扭矩经齿轮9传递给壳体，壳体6可作 $270^\circ\sim 360^\circ$ 的摆动旋转。来自挤塑机的塑料熔体，进入机头中心后，经径向流道流入螺旋体8的分配流道，在此均匀混合后，沿成型缝隙周向进行分配。目前，该种机头结构最广泛地用于生产宽 $200\sim 6000\text{mm}$ 的管状膜。

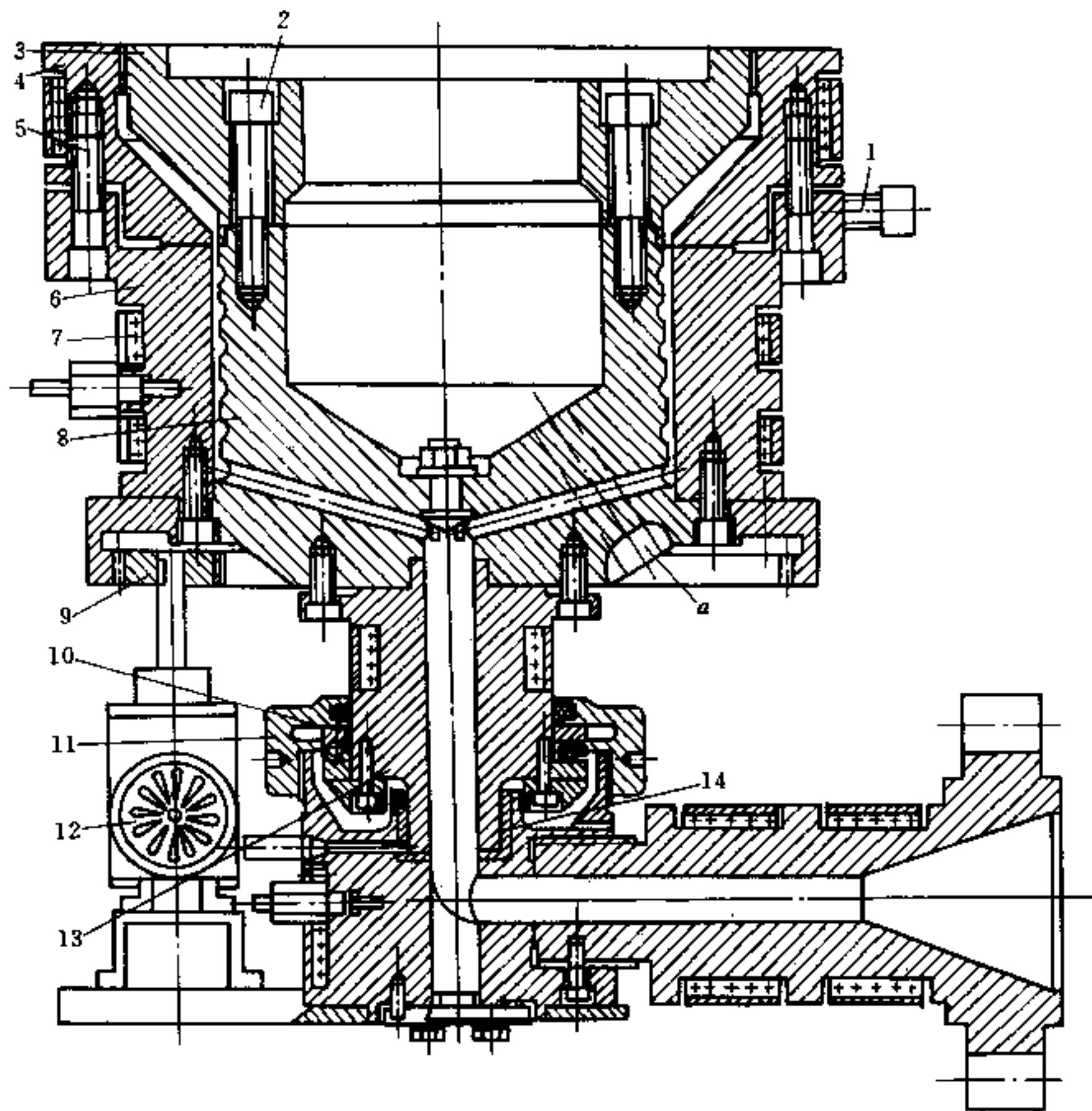


图 7.5-21 螺旋式旋转机头

1—调节螺钉；2, 5—螺栓；3—芯模；4—口模；6—机头壳体；7—电热圈；8—螺旋体；  
9—齿轮；10—轴承部件；11—大螺母；12—电机；13—压紧套；14—耐磨套垫。

(3) 十字形旋转机头 亦称回转型角式机头，其结构如图 7.5-22 所示，主要由调节螺钉 3、口模 4、芯模 5、壳体 7 和芯模支架 6 组成。由传动装置 10 经齿轮 11 驱动机头壳体 7 旋转。此种机头多用于折径在 1000mm 以下的窄幅薄膜生产，厚度公差为  $\pm 5\mu\text{m}$ 。

#### 7.5.4 型坯机头设计

中空吹塑制品成形，首先需要合格的型坯。满足中空吹塑制品壁厚、物理性能及机械强度等要求的关键因素，取决于吹塑型坯机头设计。

##### 一、设计要求

一副合格的吹塑型坯机头，应是径向对称的。不仅能满足吹塑制品壁厚要求，而且应有足够的硬度和刚度。温度场分布要均匀，粗糙度要低，流道要大，熔体压降要低，同时必须勿泄漏。还必须有适应不同熔料体积变化、流率易于调整和控制的能力。

中空吹塑制品的形状是多种多样的。因此，型坯截面不应仅是圆环形的。客观上要



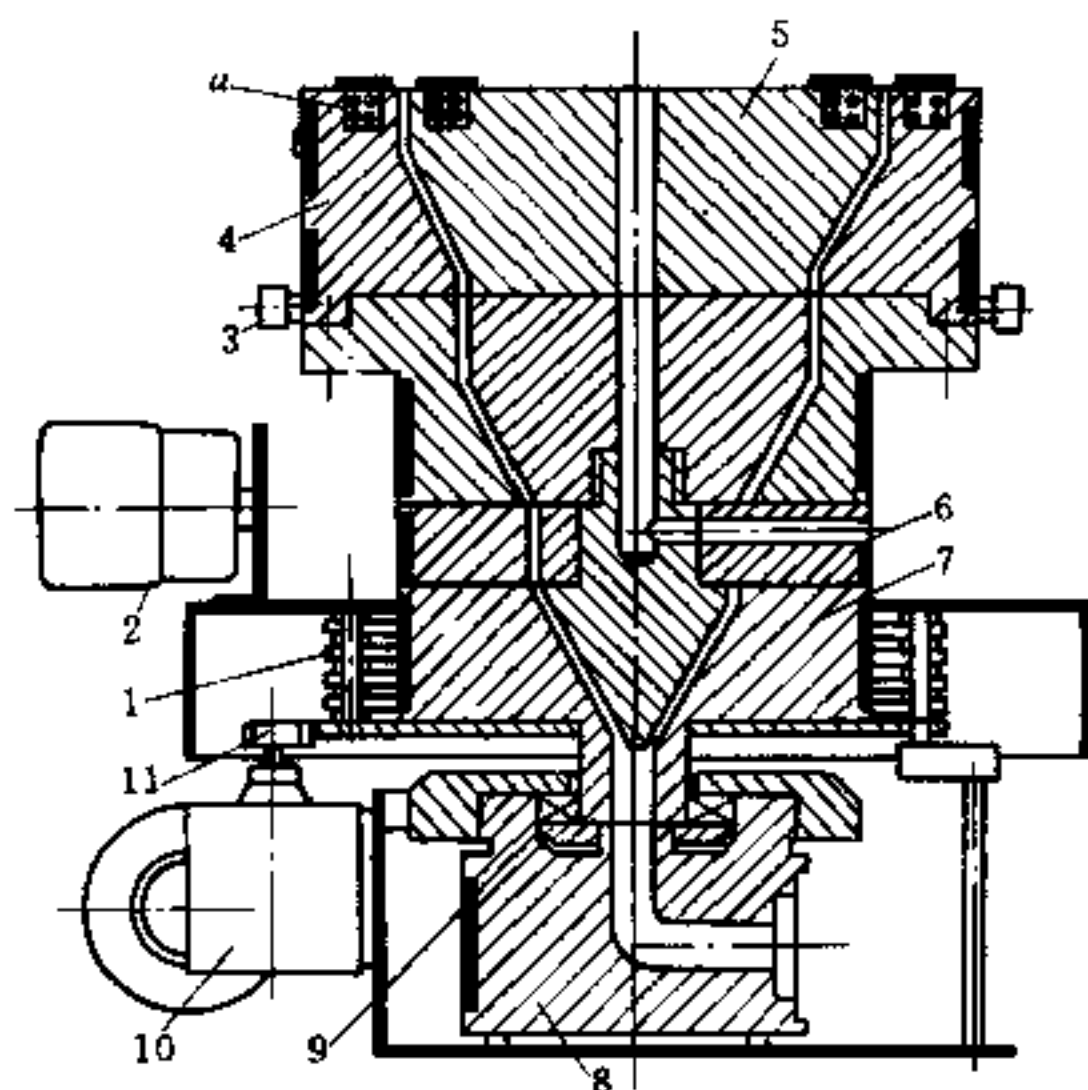


图 7.5-22 十字形旋转机头

1—换向接触环；2—热电表；3—调节螺钉；4—口模；5—芯模；6—芯模支架；  
7—机头壳体；8—联接体；9—轴承部件；10—传动装置；11—齿轮。

求其口模截面形状，须与制品形状基本保持一致，以满足吹塑制品壁厚均匀的要求。

型坯机头还应适合形状相近的多种中空吹塑制品，对其型坯尺寸所提出的要求。为此，通常将口模做成截锥形，其芯模能轴向上下调整，以此来满足多种制品不同壁厚的要求。

为提高吹塑制品的物理机械性能，并满足吹塑过程的工艺要求，坯管直径必须小于吹塑制品径向尺寸。这就形成了吹胀比，并定义为

$$\epsilon = D/d = 2 \sim 4 \quad (7.5-11)$$

其中， $\epsilon$  为吹胀比，是确定机头口模径向尺寸的依据； $D$  为中空制品径向尺寸； $d$  为坯管径向尺寸。

## 二、型坯机头主要参数

### 1. 成型段长度 $L$

型坯机头口模多为圆环形，故其成型段长度可借助于吹膜机头的计算公式 (7.5-8) 来确定。当缺少流变参数时，也可由如下经验公式确定，或由表 7.5-10 选取。

$$L = (7 \sim 18) h \quad (7.5-12)$$

表 7.5-10 型坯机头  $L$  与环隙  $h$  的关系

口模环隙 $h/\text{mm}$	<1	1~2.5	>2.5
成型段长度 $L/\text{mm}$	<20	20~25	>25

### 2. 环隙尺寸 $h$

型坯口模成型段环隙尺寸，主要取决于口模膨胀系数  $B$ 。型坯机头设计，通常取  $B = 1.15 \sim 1.70$  左右。如表 7.5-11 所示，口模膨胀系数  $B$  随剪切速率的提高而增加。



表 7.5-11 剪切速率  $\dot{\gamma}$  对口模膨胀系数  $B$  的影响

塑料名称	剪切速率 $\dot{\gamma}$ / (1/s)		
	10	100	400
抗冲聚丙烯酸酯	1.17	1.27	1.35
低密度聚乙烯	1.45	1.58	1.70
高密度聚乙烯	1.49	1.92	2.15
共聚聚丙烯	1.52	1.84	2.10
均聚聚丙烯	1.61	1.90	2.05
通用聚苯乙烯	1.37	1.70	1.88
增韧聚苯乙烯	1.22	1.40	1.62
高抗冲聚氯乙烯	1.35	1.50	1.62

### 3. 压降估算

略去锥形流道中拉伸流动的影响, 并将复杂流道的几何形状作必要的简化处理, 机头总压降应等于流道各部分压降之和

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \quad (7.5-13)$$

为方便起见, 现将有关流道几何单元体的压降方程, 列于表 7.5-12 中。

表 7.5-12 流道单元体压降方程

流通形状	压降方程	注 释
圆形	$\Delta P = \left(\frac{4Q}{\pi}\right)^n \frac{2K'L}{R^{3n+1}}$	$K' = K \left(\frac{3n+1}{4n}\right)^n$
楔形	$\Delta P = \frac{K'L}{n(h_1-h_2)} \left(\frac{6Q}{W}\right)^n [h_2^{-2n} - h_1^{-2n}]$	$K'' = K \left(\frac{2n+1}{3n}\right)^n$ $h_1$ —入口间隙 $h_2$ —出口间隙
环隙形	$\Delta P = \frac{2K''(6Q)^n}{[\pi(R_0+R_i)]^n} \frac{L}{(R_0-R_i)^{2n+1}}$	$R_0$ —口模外半径 $R_i$ —芯模内半径

### 三、结构类型

在中空制品吹塑成形中, 吹塑型坯常从机头垂直向下挤出。根据吹塑制品容量的不同要求, 可分为连续成型型坯机头和带储料缸型坯机头两大类型。用于连续成形的型坯机头, 通常设计成芯模支架式或弯管机头。弯管半径  $R_b$ 、与流道半径  $R_k$  之比值, 应选用 6~8 为好, 以防止产生次级流动。对于流道设计, 推荐最大张角为  $30^\circ$  (具有收敛型环形缝隙流道取  $25^\circ$ )。对于收敛型圆形流道, 其内外角之差取  $15^\circ$  为好。

连续成型型坯机头的结构, 与 7.5.1 节的挤管机头类似。常用的结构形式有芯棒式、筛孔式、螺旋式等型坯机头。由图 7.5-23 和图 7.5-24 可知, 在其流道中均须设有流动收敛区, 以使熔体进一步均化, 并受到适当压缩, 以使型坯壁厚均匀和密实。但在型坯机头设计中, 这种要求并非很严格。

从结构合理性考虑，以螺旋式型坯机头为好。熔体沿螺旋槽压缩，并同时产生回转运动，物料熔合性好，型坯无熔痕。

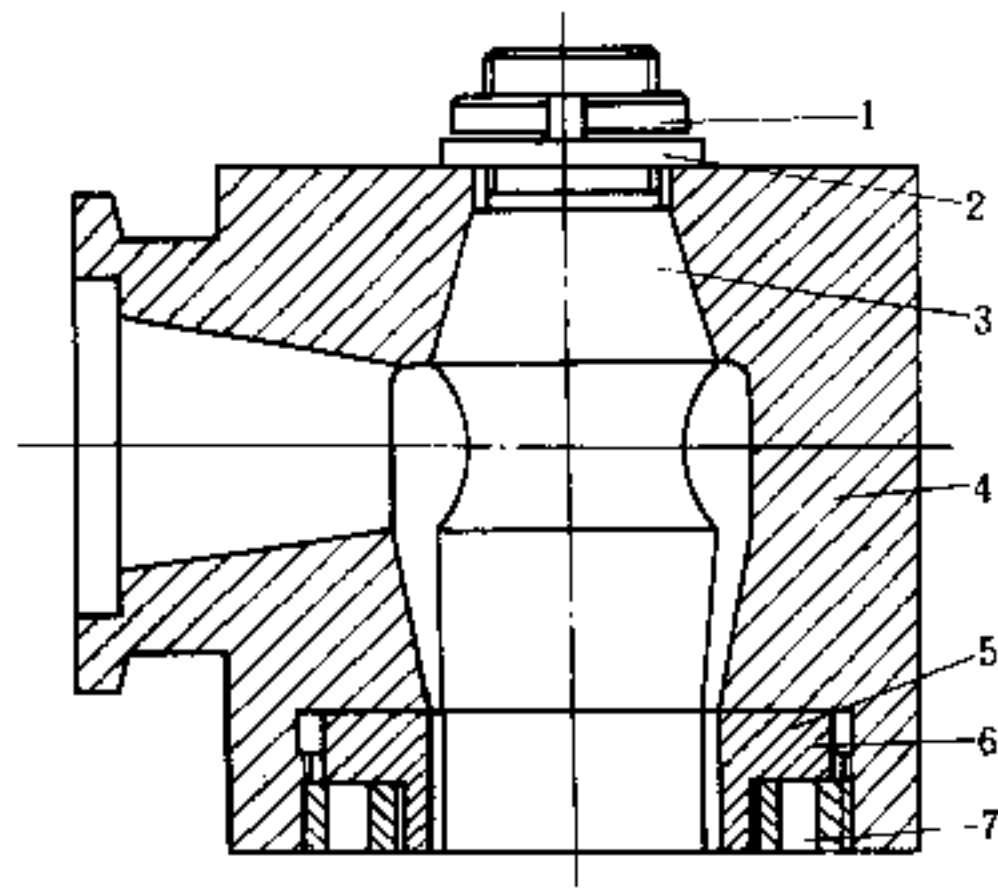


图 7.5-23 芯棒式型坯机头

1—大螺母；2—垫圈；3—芯棒；4—机头体；5—口模；6—调节螺钉；7—压环。

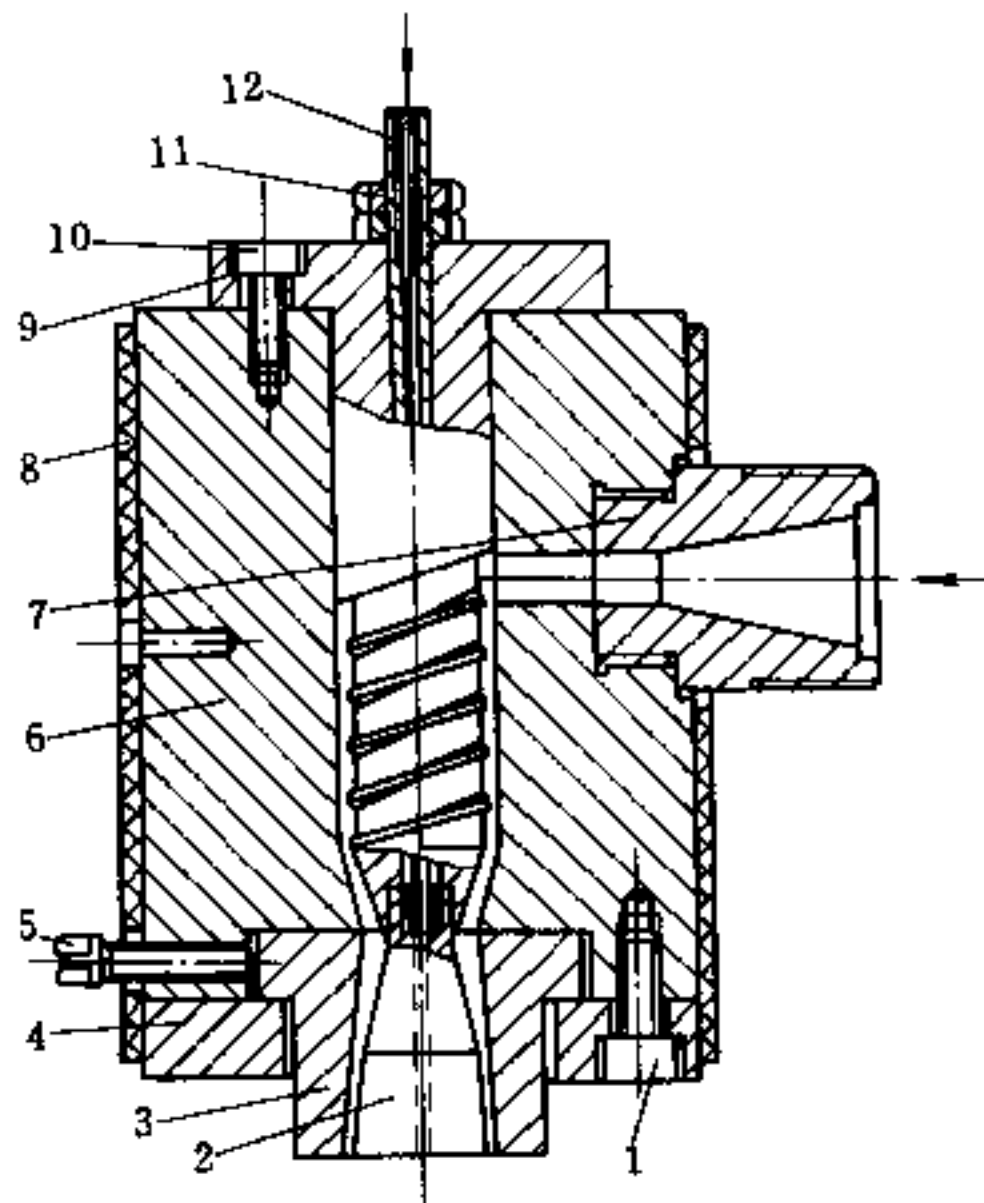


图 7.5-24 螺旋式型坯机头

1—内六角螺钉；2—芯模；3—口模；4—压环；5—调节螺钉；6—机头体；  
7—接颈；8—电热圈；9—芯棒；10—内六角螺钉；11—螺母；12—芯轴。

#### 四、储料缸设计

当吹塑制品用料量较大（约 2500mL），挤塑机的容量难以满足要求时，此时宜采用带有储料缸的型坯机头。储料缸型坯机头，目前其最大储料容量可达 150L。

这类结构形式的主要优点，在于其尺寸的决定几乎与挤塑机规格无关；且在储料缸

充料时，挤塑机螺杆仍能保持其有效长度。目前，储料缸有两类结构。

### 1. 分离式储料缸

有4种结构形式：

(1) 活塞式 如图7.5-25 (a) 所示。当熔体从储料缸挤出时，挤塑机所施加的压力（约50~70MPa）防止了熔体反入挤塑机。此类装置不宜于聚氯乙烯加工。

(2) 柱塞式 如图7.5-25 (b) 所示。在此种储料缸的情况下，柱塞通常受到充分的“洗刷”，无滞料之虞。而且，通过储料缸两侧的两个通孔，提供了同时挤出两个型坯的可能性。

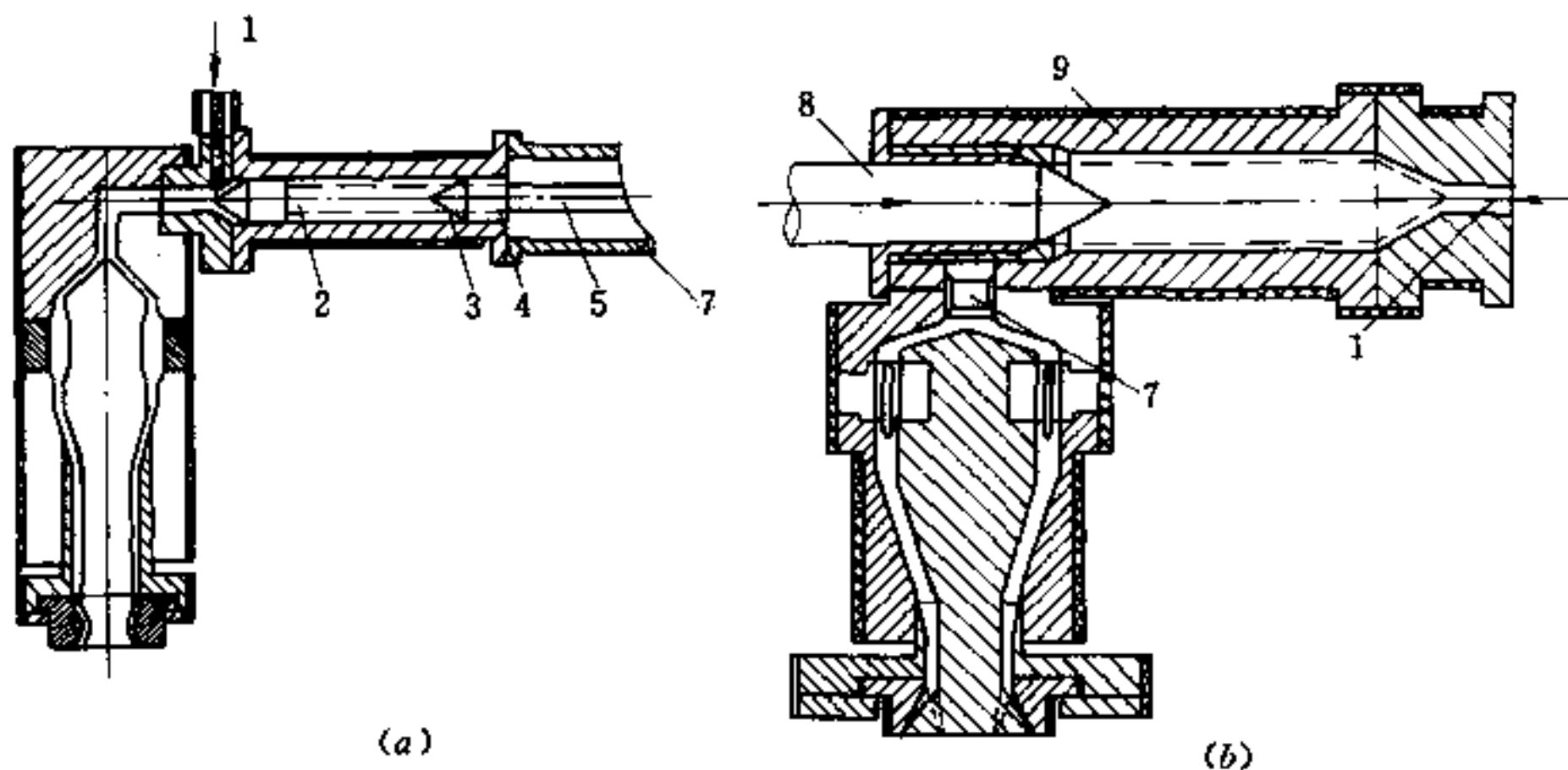


图7.5-25 分离式储料缸设计

(a) 活塞式储料缸；(b) 柱塞式储料缸。

1—熔体入口；2—储料缸；3—活塞头；4—活塞端；5—活塞杆；

6—液压缸；7—出口孔；8—柱塞；9—储料缸。

(3) 往复螺杆式 如图7.5-27 (a) 所示。此种储料缸的极限约为4000mL，因为受螺杆直径及允许螺杆轴向位移（约3D）的限制。

(4) 往复料筒式 如图7.5-27 (b) 所示。

### 2. 一体式储料缸

这类储料缸比分离式重要得多，通常有两种结构形式。

(1) 圆柱活塞式 如图7.5-27 (a) 所示，在此种储料缸中，塑化时熔体推动活塞后移。操作时，仅将存在于型坯机头芯模支架后的熔体，向流动方向挤出，使已经通过芯模支架的熔体，有时间进行松弛。但此种结构形式难满足熔体“先进先出”的要求，故不适宜于热敏性塑料加工。

(2) 管状活塞式 如图7.5-27 (b) 所示。由挤塑机供给的熔体，环绕芯模进行分配之后，形成一管状储料，从而避免了径向流动，可实现熔体“先进先出”的原则。因而，此种结构形式，不受热敏性树脂的限制。

图7.5-28 为一体式圆柱活塞储料缸设计实例。

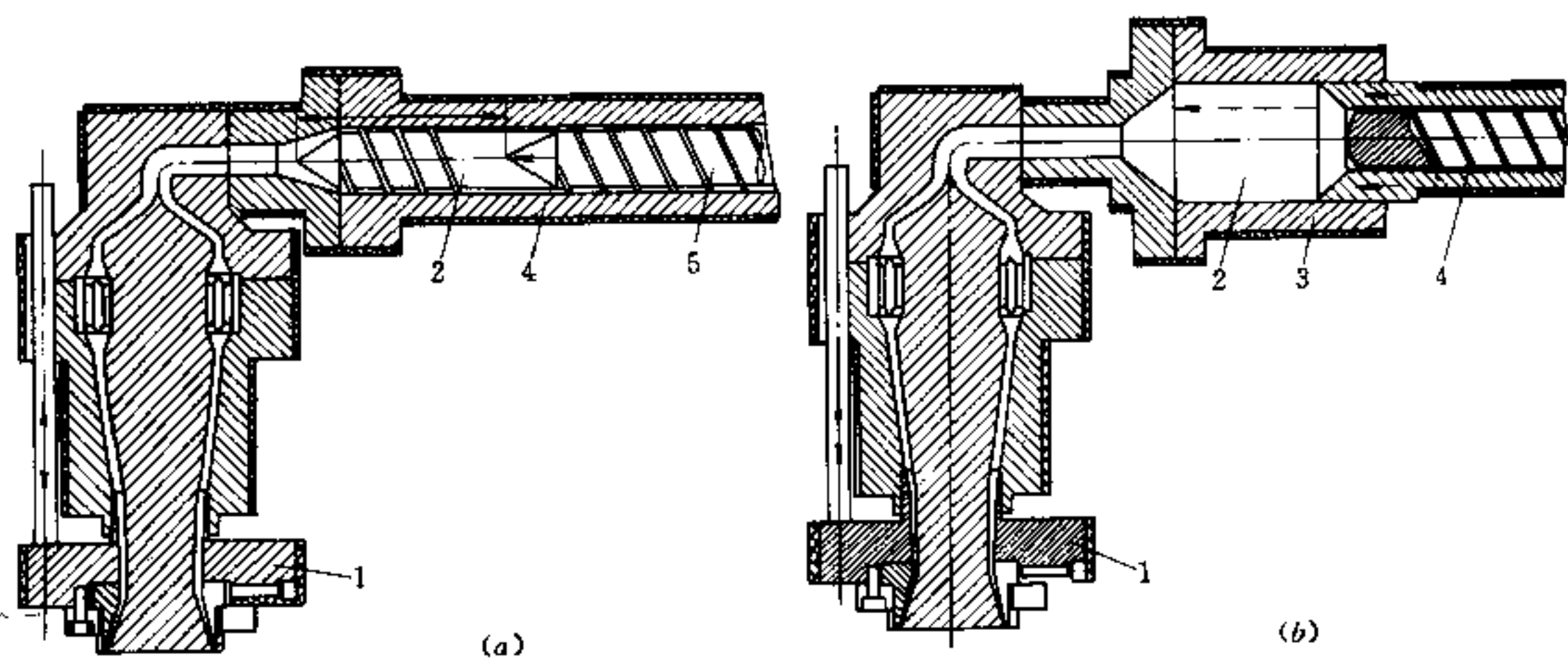


图 7.5-26 分离式熔体储料缸设计

(a) 往复螺杆式; (b) 往复料筒式。

1—可调模唇; 2—储料缸; 3—储料缸; 4—料筒; 5—螺杆。

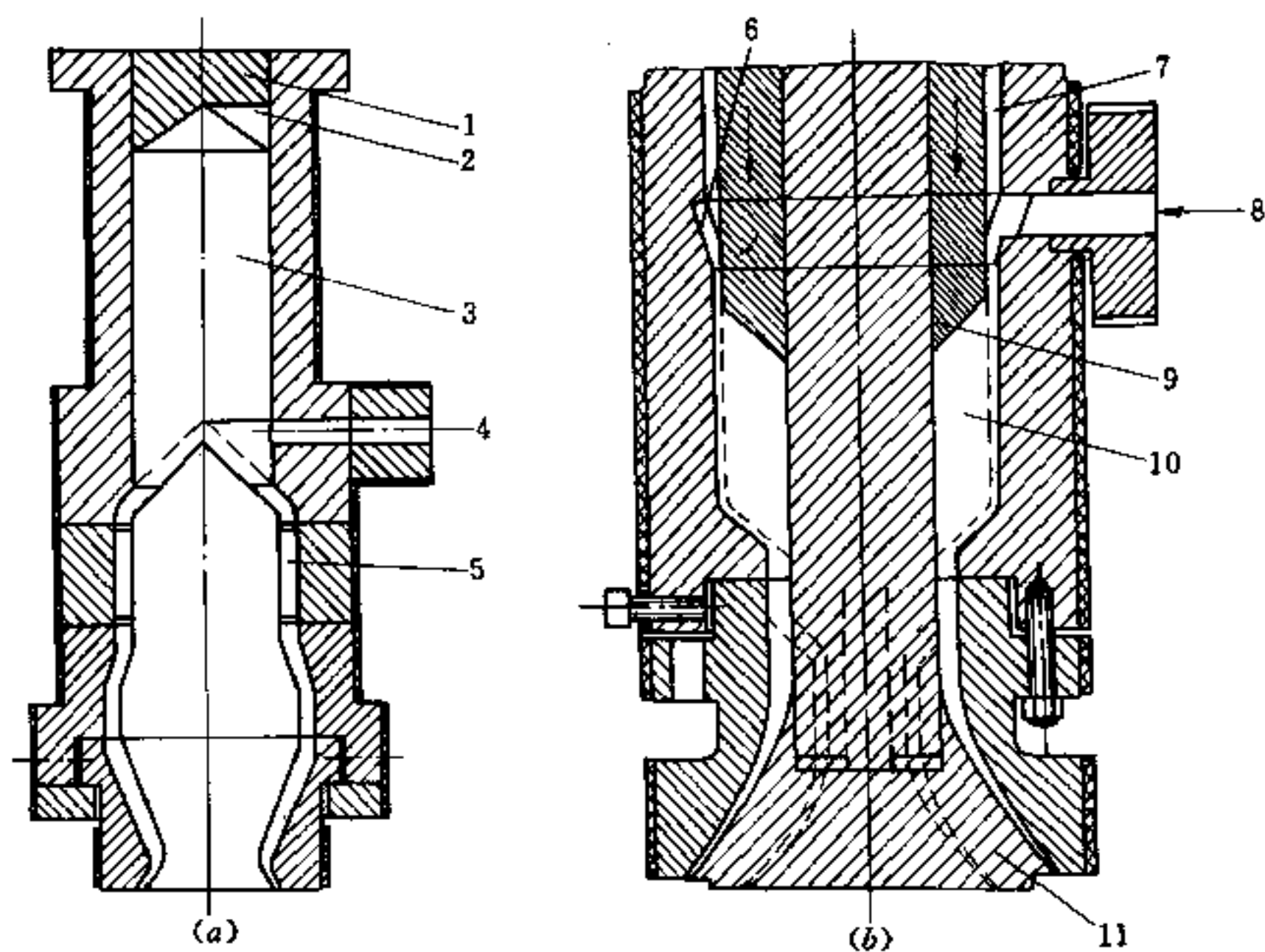


图 7.5-27 一体式储料缸设计

(a) 柱状活塞式储料缸; (b) 管状活塞式储料缸。

1—柱状活塞; 2—豁口; 3—储料缸; 4—熔体入口; 5—芯模支架;  
6—环形槽; 7—套筒; 8—熔体入口; 9—管状活塞; 10—储料缸; 11—芯模。

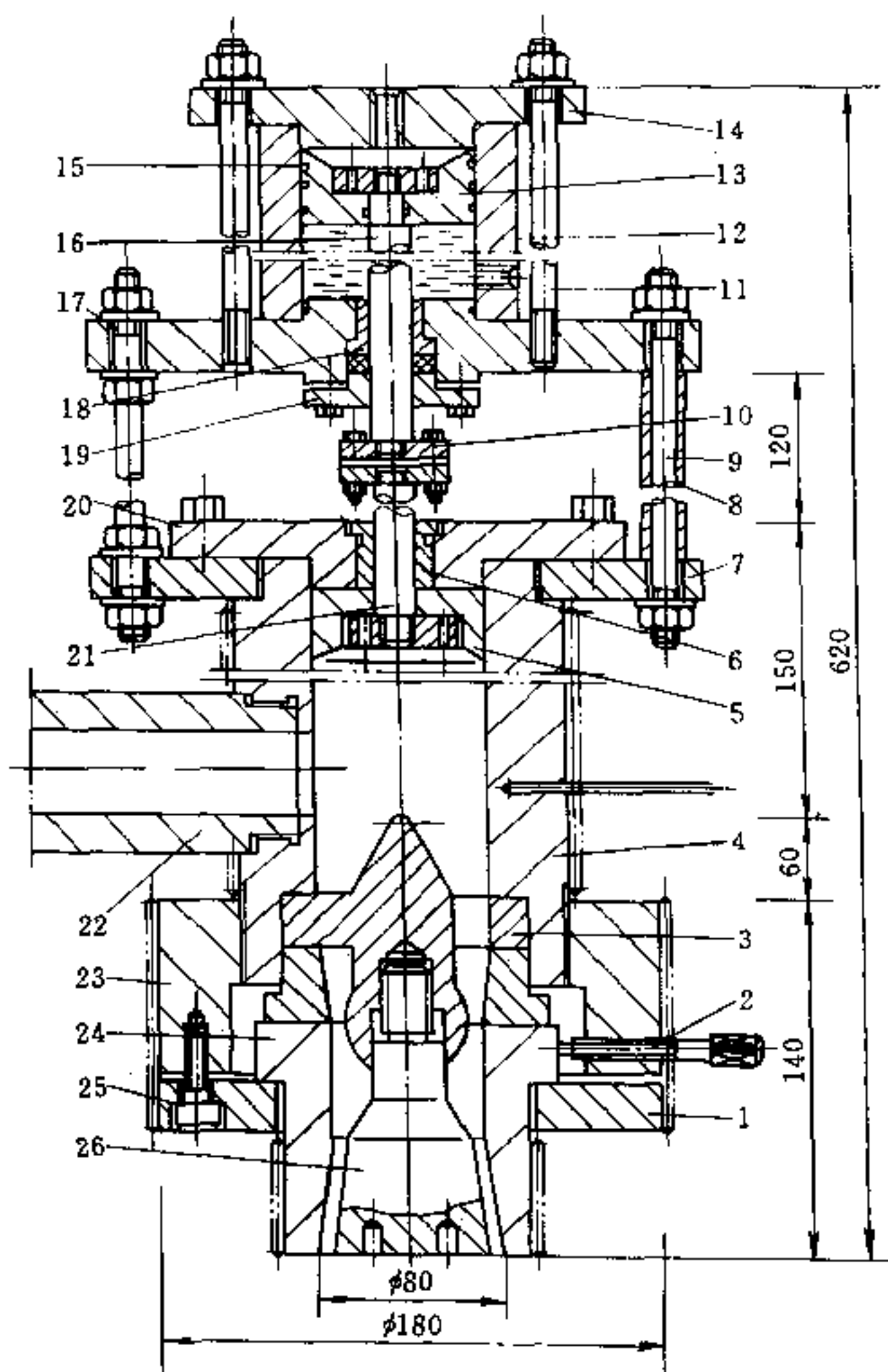


图 7.5-28 带储料缸型坯机头结构设计

- 1—压环；2—调节螺钉；3—分流锥；4—储料缸；5, 13—活塞；6—轴套；  
7, 10—法兰；8—限位套；9, 11—拉杆；12—缸体；14—上盖；15—密封环；  
16—活塞杆；17—定位杆；18—轴套；19—压盖；20—缸盖；21—柱塞杆；  
22—机颈；23—机体；24—口模；25—内六角螺钉；26—芯模。

## 7.6 平缝形挤塑模设计

凡成型段横截面具有平缝形特征的机头，通常称之为“平缝形挤塑模”或“平缝形机头”，简称“平缝模”。主要用于塑料板材、片材和平膜加工。

塑料板材、片材和平膜之间的厚度界限，尚无明确规定。习惯上通常把厚度大于1.0mm以上者称之为板材，厚度介于0.25~1.0mm之间者称之为片材，厚度小于0.25mm以下者称之为平膜。塑料板材、片材和平膜的挤塑成形，广泛使用平缝形机头。在其定型过程中，均须由压光机、牵引机、切断机等辅机完成。平缝形机头，在其结构设计上均有相似或相同的要求。如图7.6-1与图7.6-2所示，由挤塑机供给的塑料

熔体，从圆形逐渐过渡到平缝形，并要求在其出口横向全宽方向上，熔体流速均匀一致，这是平缝形挤塑模设计取得成功的关键。其次，要求物料流经整个机头流道的压降要适度；以及停留时间要尽可能短，且无滞料现象发生。

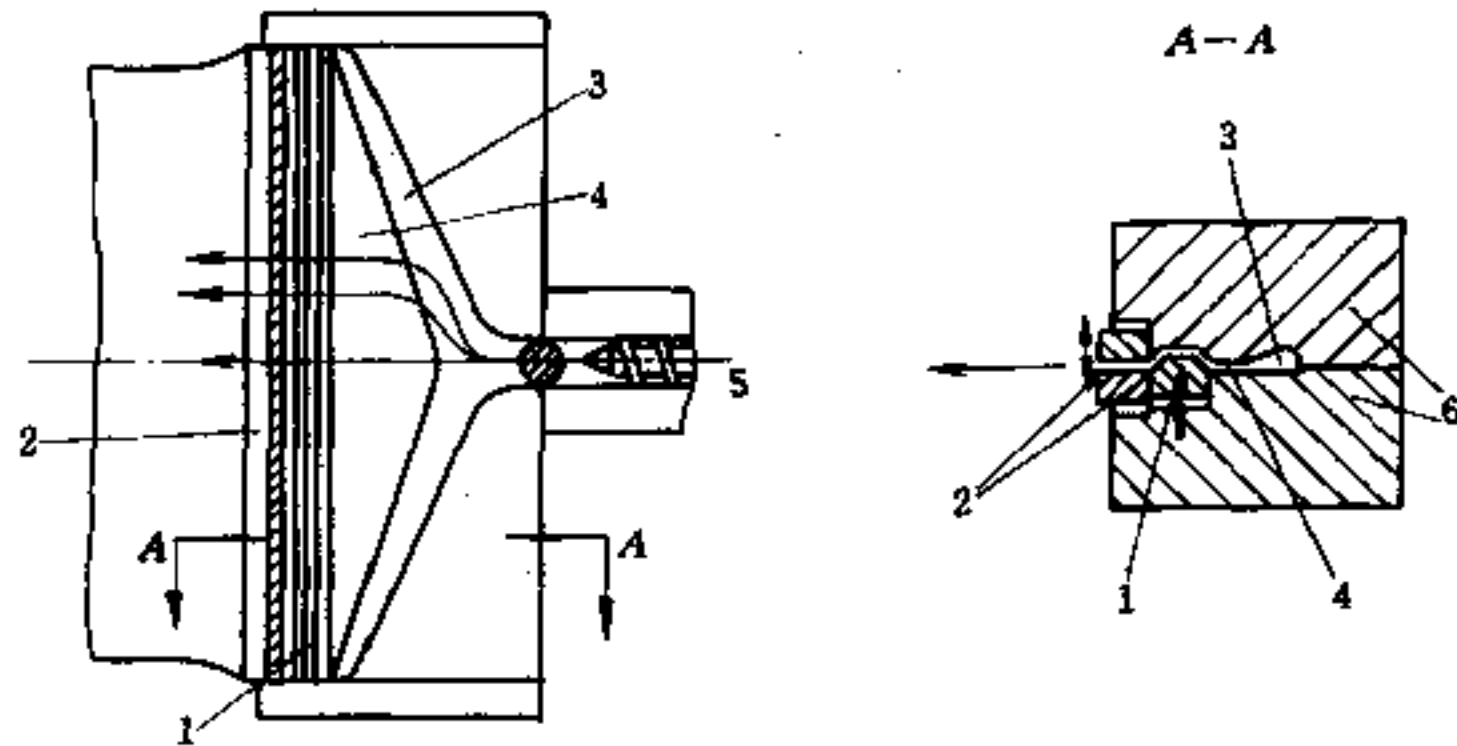


图 7.6-1 片材挤塑模

1—调节排；2—模唇；3—歧管；4—阻流区；5—挤塑机；6—模体。

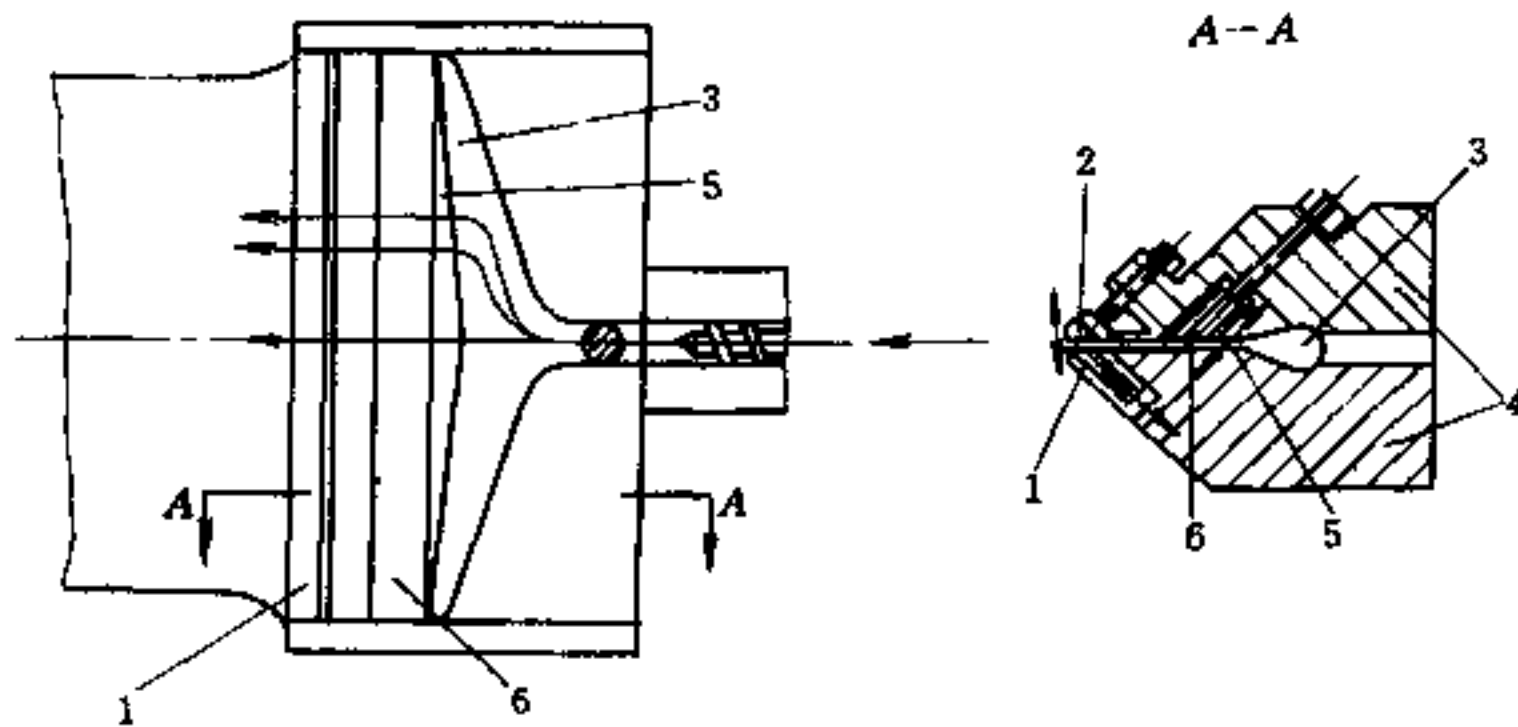


图 7.6-2 平膜挤塑模

1—模唇；2—弹性模唇；3—歧管；4—模体；5—阻流区；6—调节排。

现在，已能挤塑成型达 40mm 厚度的板材。但通常认为仅在 15mm 以内的，才可视作“已经掌握”的厚度。板片材宽度可达 4000mm，平膜宽度在 1500~2200mm 之间。平膜和涂饰膜口模间隙在 0.25~0.75mm 之间。平缝形挤塑模的压力损失，通常在 10~20MPa 之间。但在加工高粘度熔体，如 PC 及 RPVC 等时，可高达 40MPa。

### 7.6.1 平缝模结构设计

常用平缝形口模的结构，有如图 7.6-3 所示 3 种形式，且具有如下共同特点：

(1) 对称中央分型面，即流道置于上下两个半模之正中。非对称流道布置，虽有加工制造简便之利，但从流动观点看，不及具有对称分型面结构好。

(2) 均设有调节排，沿口模横向以 40~60mm 的间距，使用拉伸或压缩螺栓。在个别情况下，可使用差动螺丝，按顺时针或反时针方向，让调节排上下运动来完成其间隙的调整。如图 7.6-3 (a) 所示，安装成 45° 的调节排是很有利的。然而，设置调节排，会出现“死点”，可导致熔体的局部过热分解，以及添加剂、填料和色料的沉积。因此，

在加工 PVC 时, 应尽力避免采用调节排。

(3) 平膜口模设有微调设施, 如图 7.6-3 (b) 所示。在口模下部接近流道区域, 有一部分被显著削弱了。此处安有压缩螺栓, 可使模唇产生轻度变形, 从而达到微调料流的目的。

(4) 在口模上方或下方, 均开有一横向凹槽, 贯通整个机头宽度, 并与料流调节机构相连。此槽的目的, 在于使机头出口区中的压力均衡, 从而使料流均匀。

(5) 在模体内外, 均设有筒型和平板型加热器, 用以较准确控制模温。

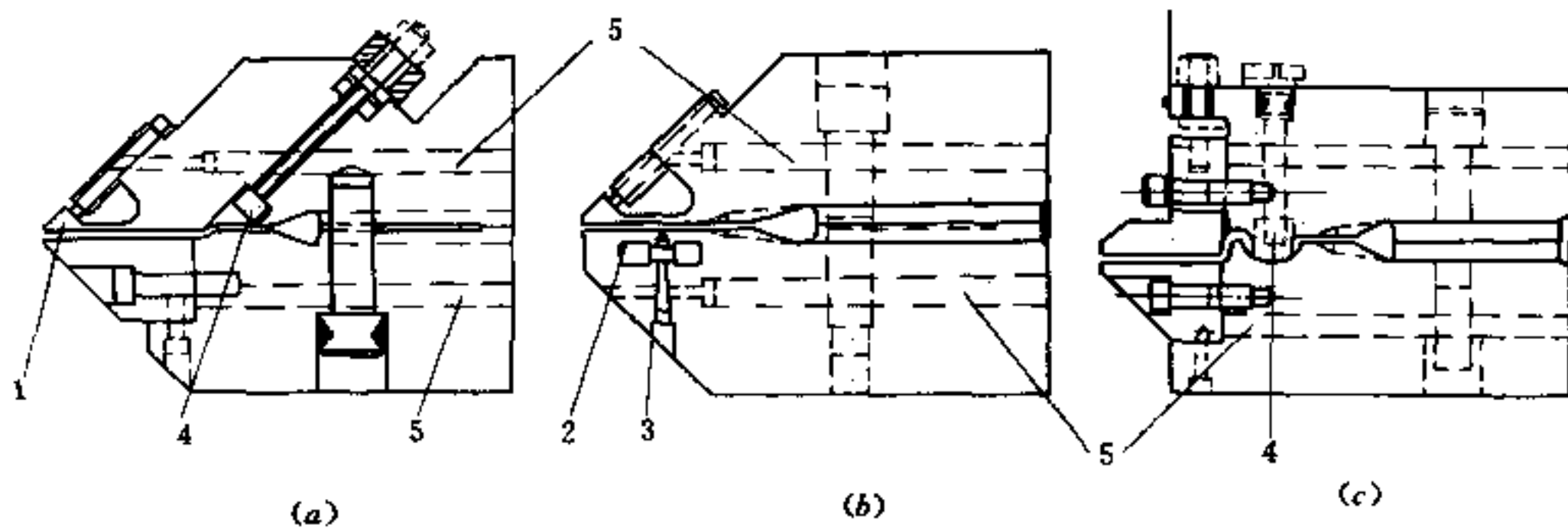


图 7.6-3 平缝形机头结构类型

(a) 平膜与片材机头; (b) 平膜机头; (c) 板片材机头。

1—柔性模唇; 2—横向凹槽; 3—可挠曲流道壁; 4—调节排; 5—筒型加热器。

## 7.6.2 平缝模流道设计

平缝模流道具有分配料流的任务和要求, 其几何形状可以有多种形式。其中最重要的有 T 形、鱼尾形、衣架形、螺旋形和莲花瓣形等。根据流变学理论分析表明, 只有衣架式平缝模流道设计, 不受生产操作点的限制, 并已在实践中获得广泛应用。

### 一、T 形机头流道设计

T 形机头的典型结构, 如图 7.6-4 所示。它主要由储料分配歧管 3、构成平缝形的下模体 1 及上模体 7 所组成。按歧管 3 几何特征不同, T 形机头可分为直歧管型、渐变型和弯歧管型 3 种。按熔体进入机头位置的不同, T 形机头又可分为中间进料和侧端进料两种结构形式。

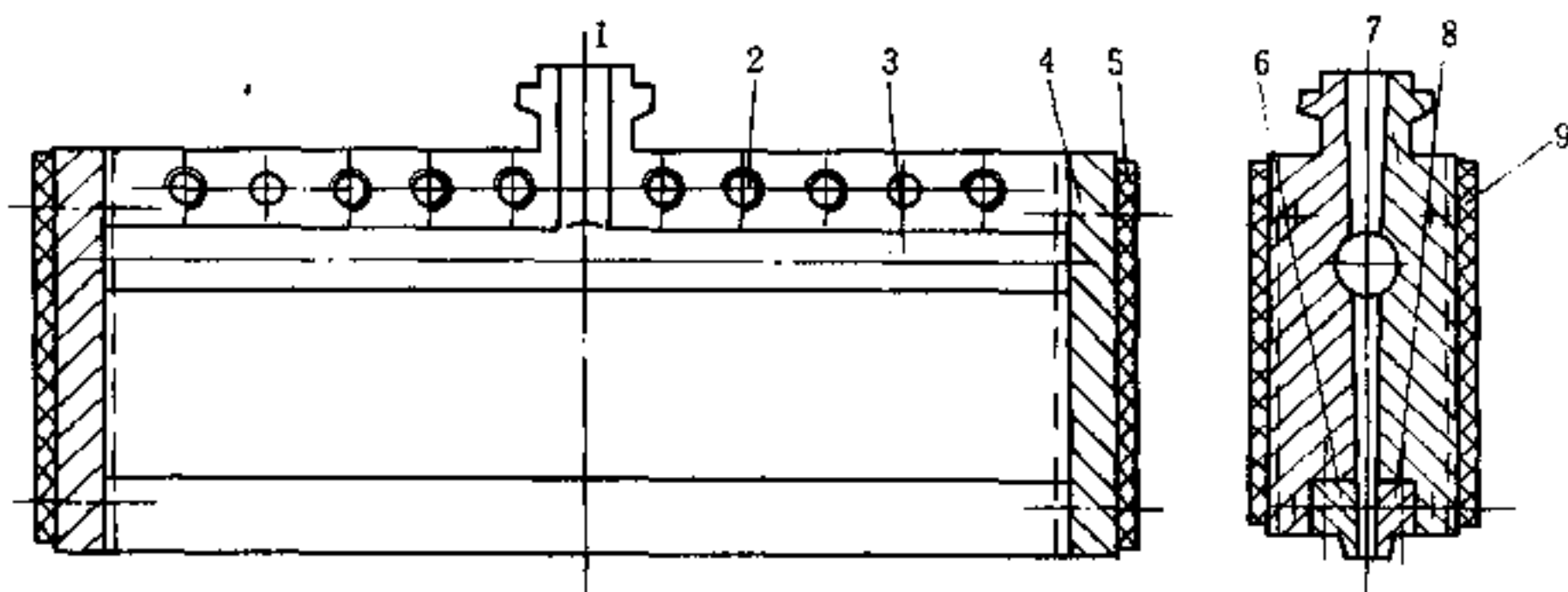


图 7.6-4 T 形机头结构设计

1—下模体; 2—内六角螺钉; 3—歧管; 4—侧板; 5、9—电热器; 6—下模唇; 7—上模体; 8—上模唇。

### 1. 流道设计模拟分析

侧端进料 T 形机头的流道设计, 可简化为如图 7.6-5 所示的数理模型。由于歧管内压力梯度的存在, 致使熔体通过平缝  $h$  各点的流速, 将是位置  $z$  的函数。通过建立熔体流动数学模拟分析, 可得熔体在歧管内的压力分布方程

$$P = P_0 + (P_i - P_0) \left\{ 1 - \frac{(n + 0.05)^n}{n^n (n + 1)} \left[ \frac{3n + 1}{2\pi (2n + 1)} \right]^n \left[ \frac{h^{2n+1} B^{n+1}}{R^{3n+1} L} \right] \left[ 1 - \left( \frac{z}{B} \right)^{n+1} \right] \right\} \quad (7.6-1)$$

式 (7.6-1) 表明, 塑料熔体进入平缝形模唇前的压力  $P$ , 是材料函数  $n$  和流道几何尺寸 ( $R$ 、 $B$ 、 $h$ 、 $L$ ) 的复杂函数。当  $z = 0$  时,  $P = P_f$  (歧管末端熔体压力), 其值为最小; 当  $z = B$  时,  $P = P_i$  (歧管入口压力), 其值为最大。

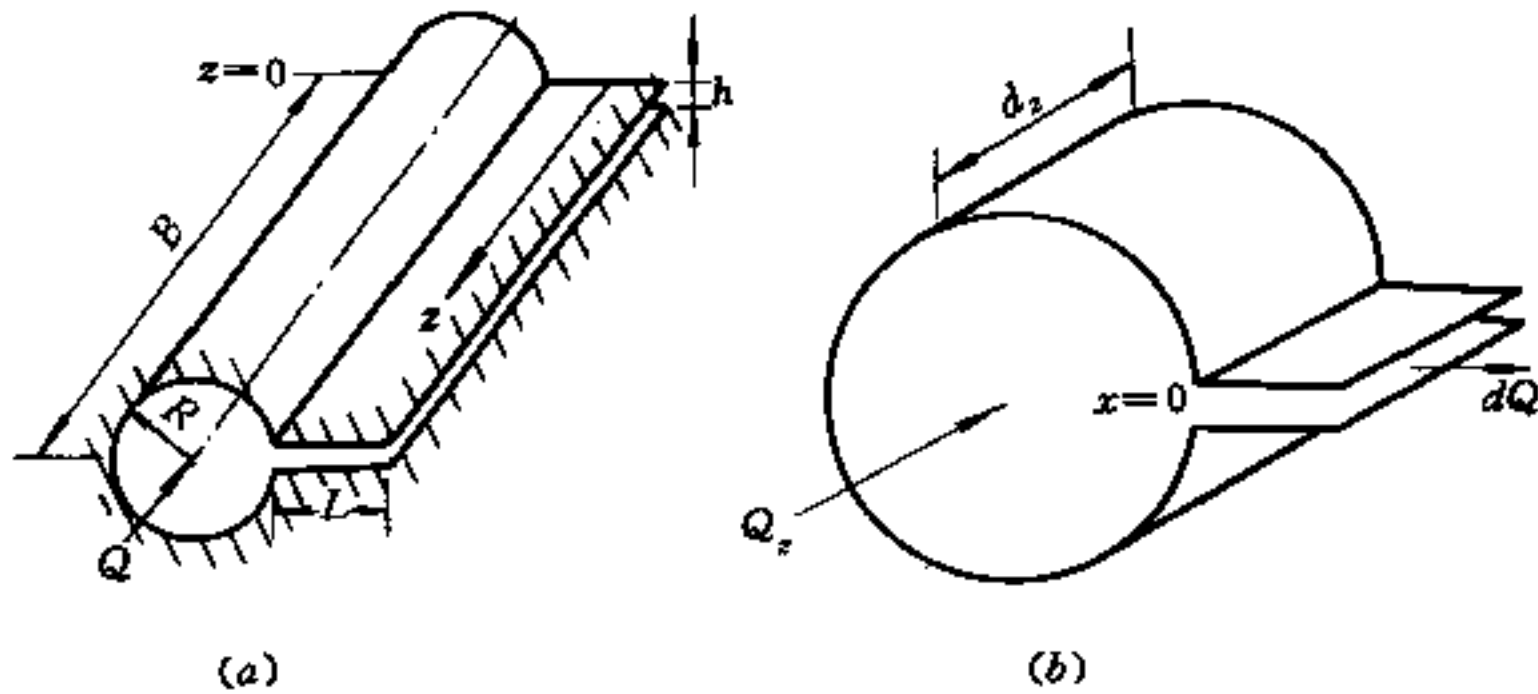


图 7.6-5 T 形机头熔体流动模型

(a) 侧端进料 T 形机头; (b) 体积单元物料平衡。

由此可见, 在 T 形机头内, 塑料熔体压力  $P$  从进料位置 ( $z = B$ ) 起, 随模唇宽度的增加, 而呈非线性关系地减小, 致使熔体流速也呈非线性变化, 从而最终导致板、片材或平膜厚度的不均匀性。

### 2. 熔体流动均匀性考虑

为表征挤塑成型板片材厚薄均匀性的程度, 可将熔体在歧管封闭端单位宽度的体积流量, 与其入口端单位宽度的体积流量之比, 定义为流动均匀性指数 UI, 则得

$$UI = \left[ 1 - \frac{(n + 0.05)^n}{n^n (n + 1)} \left( \frac{3n + 1}{2\pi (2n + 1)} \right)^n a^{2n+1} \cdot b^n \cdot c \right]^{\frac{1}{n}} \quad (7.6-2)$$

式 (7.6-2) 说明, T 形机头挤塑成型板片材厚薄的不均匀性, 是材料函数  $n$  和流道几何参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  的复杂函数, 而与塑料熔体的粘度无关。就其影响程度来看, 以流道几何参数  $a$  ( $= h/R$ ) 为最大,  $b$  ( $= B/R$ ) 最小,  $c$  ( $= B/L$ ) 居中。图 7.6-6 给出了 UI 与  $a$ 、 $b$ 、 $c$  及  $n$  的依赖关系, 可作为 T 形机头流道设计的依据。通常, 可取  $B = 50 \sim 100\text{cm}$ ,  $R = 2 \sim 5\text{cm}$ ,  $L = 5 \sim 7\text{cm}$  进行预算, 直至  $UI \geq 0.95$  为止。

### 3. 流道尺寸设计

塑料板片材厚薄公差, 是其生产质量控制的重要指标。因此, 提高熔体在其机头道内流动均匀性指数 UI, 是平缝模流道设计的技术关键。从式 (7.6-2) 已经看到, 当机头平缝间隙  $h$  及成型段长度  $L$  恒定不变时, 要想把 UI 提高到或接近于 1.0 是非常困难



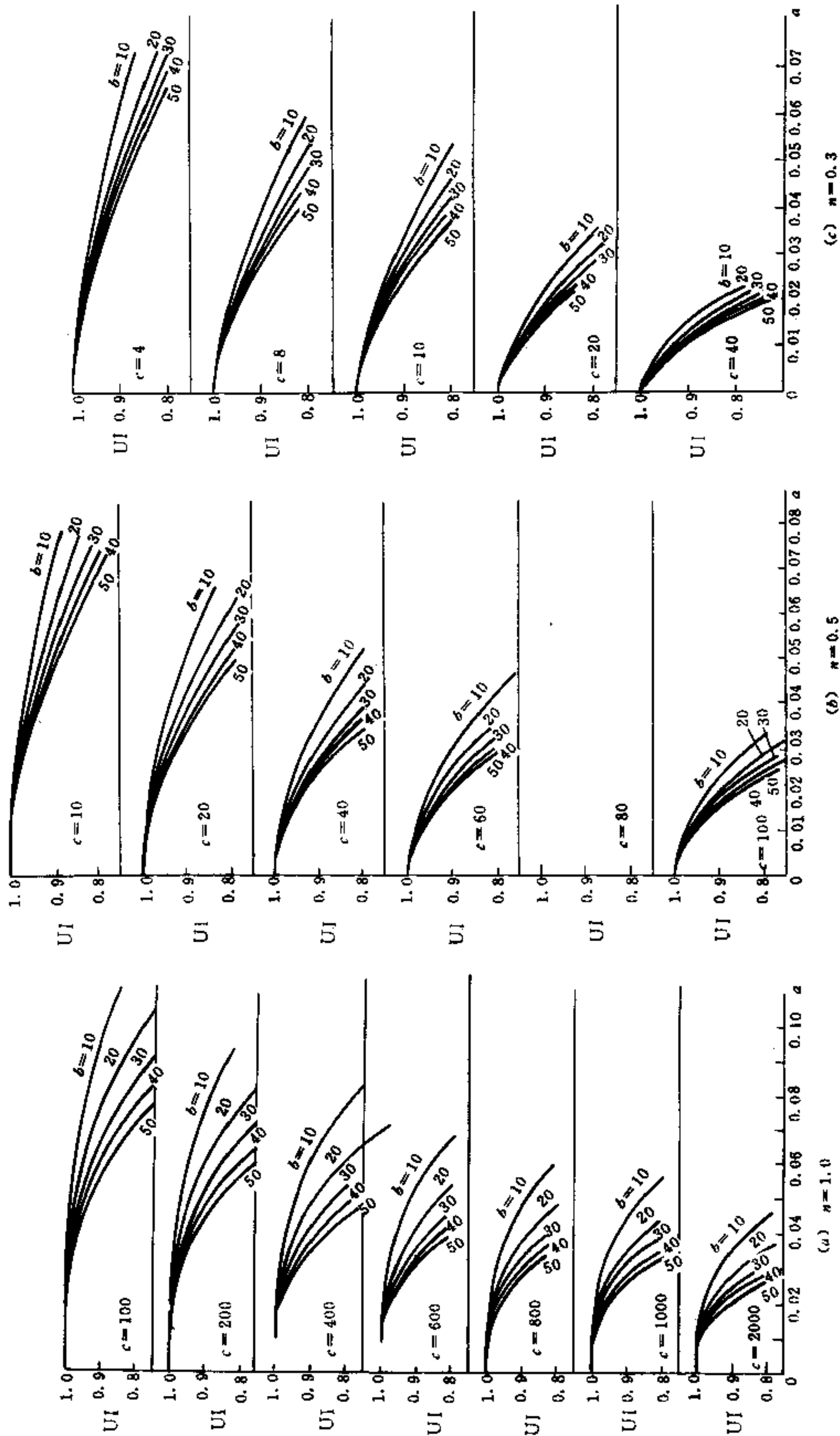


图 7.6-6 均匀性指数 UI 随  $n$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$  参量变化的依赖关系

的。为此，从机头流道几何形状和结构设计考虑，提高流动均匀性指数 UI 值，有以下三种途径，值得设计师重视。

(1) 可变模唇长度设计 即将模唇长度  $L$  作为变量来考虑。工程上，常用无量纲可变模唇长度描述方程

$$\frac{L}{L_i} = 1 - \left[ \frac{3n+1}{2\pi(2n+1)} \right]^n a_i^{2n+1} \cdot b^n \left( \frac{c_i}{n+1} \right) [1 - \lambda^{n+1}] \quad (7.6-3)$$

表明， $L/L_i$  随模唇相对宽度  $\lambda$  ( $= z/B$ ) 而变化。当  $\lambda = 1$  (即  $z = B$ ) 时， $L/L_i = 1.0$ ，其值最大，即为中心长度  $L_i$ 。当  $\lambda = 0$  (即  $z = 0$ )，其值为最小，即为两侧边缘长度  $L_f$ 。对此，图 7.6-7 可作为其流道设计的依据。

(2) 可变模唇间隙设计 即把模唇间隙  $h$  作为变量来对待，认为在成型段  $L$  恒定的情况下，模唇间隙应由中心向两侧逐渐增大，以使流道横向阻力趋于一致，从而达到熔体流速沿模唇全宽均匀一致的目的。对此，可得无量纲模唇间隙描述式为

$$\frac{h_i}{h} = \left\{ 1 - \left[ \frac{3n+1}{2\pi(2n+1)} \right]^n a_i^{2n+1} \cdot b^n \left( \frac{c}{n+1} \right) [1 - \lambda^{n+1}] \right\} \quad (7.6-4)$$

显然，式中  $h_i$  为模唇中心最小间隙。就其流道几何参数而言，以  $a_i$  ( $= h_i/R$ ) 影响为最大， $b$  为最小， $c$  居中。 $h_i/h$  值与  $a_i$ 、 $b$ 、 $c$  的依赖关系，如图 7.6-8 所示，可供流道几何形状及结构设计参考。

(3) 带有节流棒的流道设计 即在 T 形机头内、于歧管与模唇之间、沿幅宽方向设置节流棒或阻力块，是提高流动均匀性指数的又一重要途径，也是扩大机头使用范围的有效方法。带有节流棒的 T 形机头，如图 7.6-9 所示。

#### 4. 熔体停留时间分析

实验证明，热塑性塑料的热降解量，与受热时间成正比地增加。因此，塑料熔体在流道内的停留时间，必然成为 T 形机头设计的又一重要关注内容。中间进料的 T 形机头模型，如图 7.6-10 所示。由机头中心进入的塑料熔体流量  $Q_0$ ，流经机头整个流道所占用时间，可描述为流经歧管任意位  $z$  及通过整个机头所占用的时间之和，即

$$t = \frac{\pi R^2 E}{2Q_0} + \frac{\pi R^2 B}{Q_0} \ln \left( \frac{B}{z} \right) + \frac{hBL}{Q_0} \quad (7.6-5)$$

式中  $R$ ——机头入口及歧管半径，cm；

$E$ ——机头入口长度，cm。

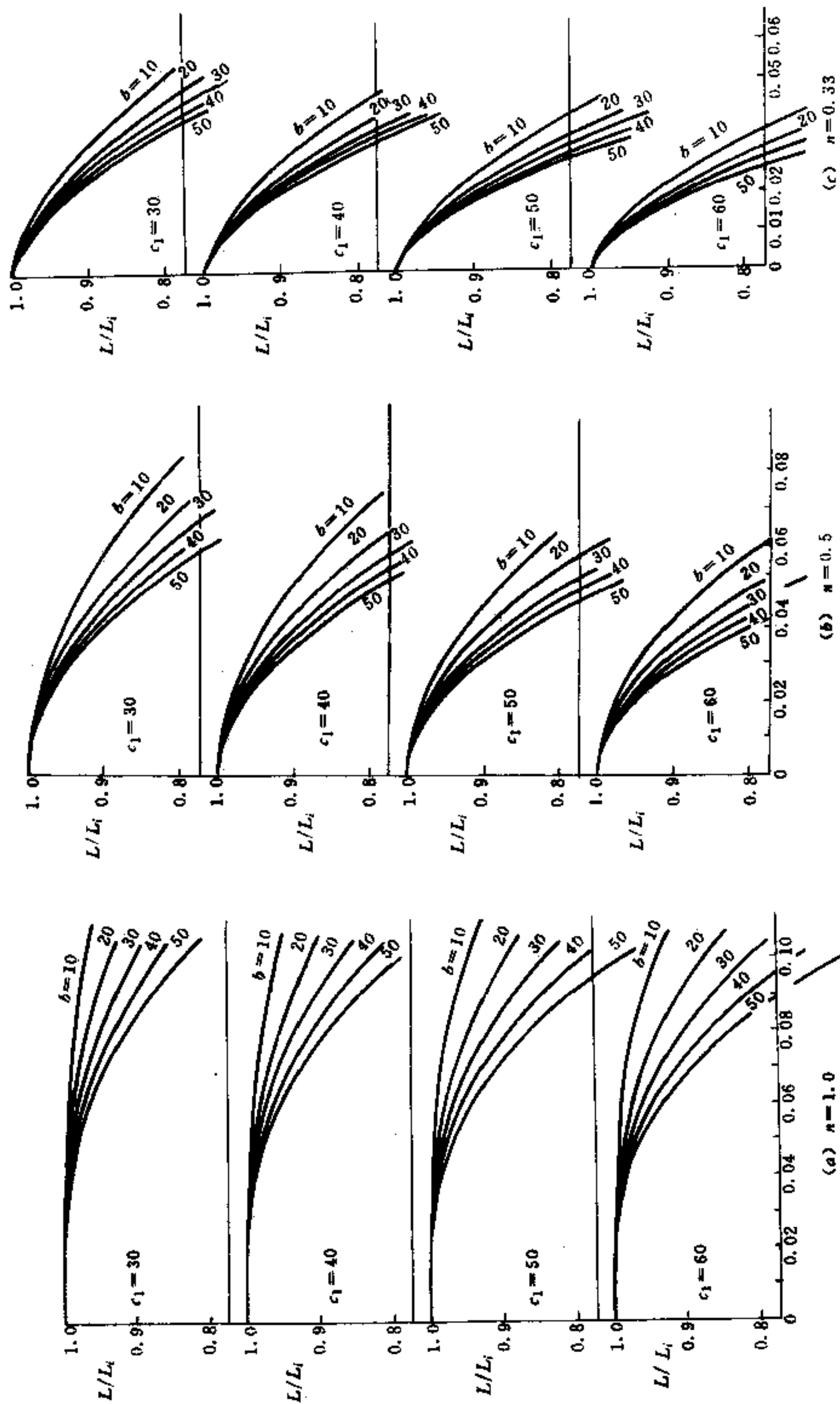
若设  $t_c$  为塑料熔体流经狭缝口模的时间，由此可得相对（无量纲）停留时间为

$$\frac{t}{t_c} = \frac{\pi R^2 E}{2hBL} + \frac{\pi R^2}{hL} \ln \left( \frac{B}{z} \right) + 1 \quad (7.6-6)$$

它可用于判断 T 形机头设计的完善程度及其可行性效果。由上式可知，只有降低 ( $R^2/L$ ) 值，才有可能缩短相对停留时间。但为获得较高流动均匀性指数 UI，又必须增大 ( $LR^{3n+1}$ ) 值，这可从式 (7.6-2) 中获得证明。

总的说来，塑料熔体在 T 形机头流道内，只能有相当窄的停留时间分布，这就为歧管半径  $R$ 、成型段长度  $L$ ，提供了良好的选择依据。

【例】要求用中心进料的 T 形流道机头，挤塑成型 RPVC 片材。已知该机头几何参数如下：

图 7.6-7  $L/L_i$  随诸因素变化的依赖关系

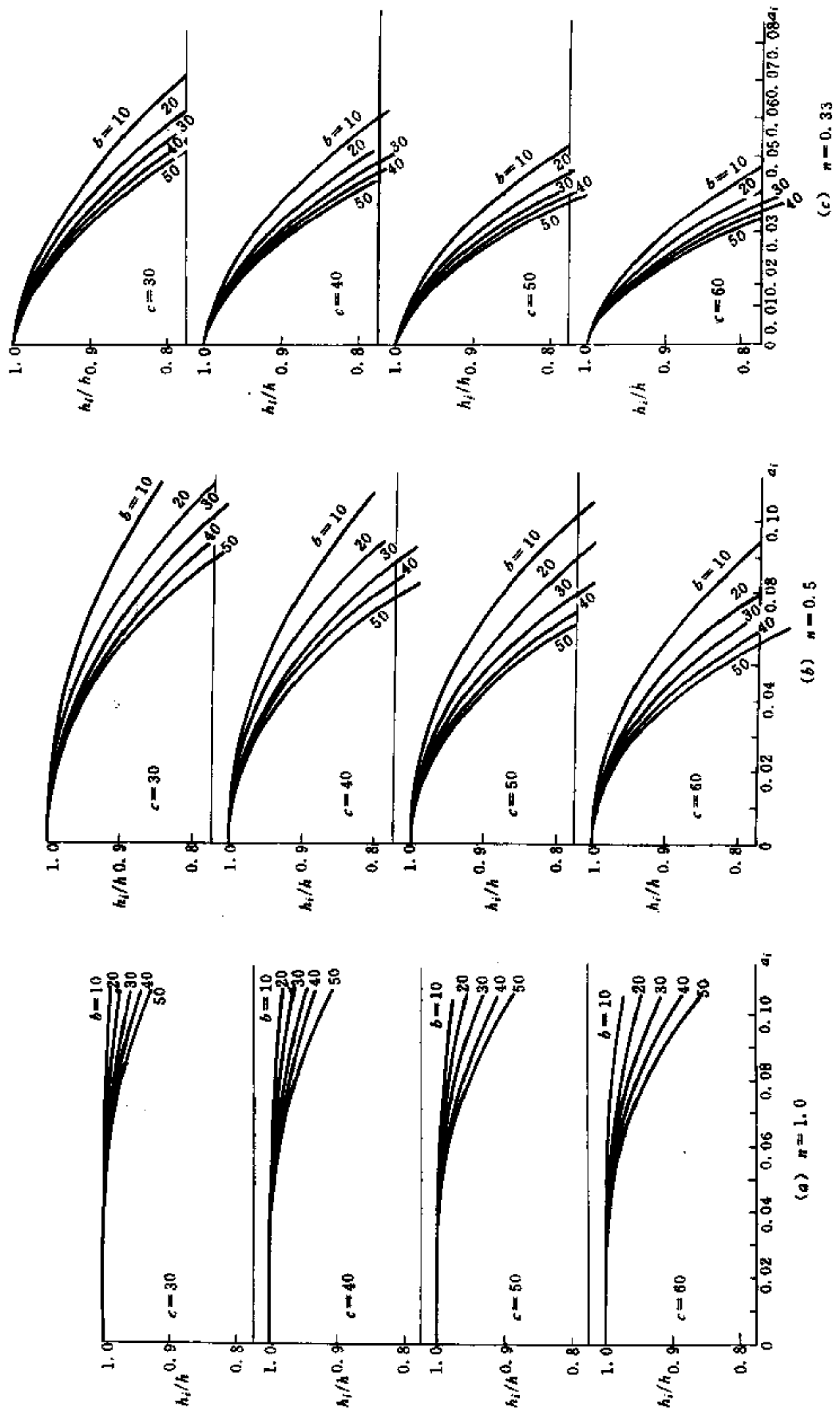


图 7.6-8  $h_i/h$  与诸因素的依赖关系

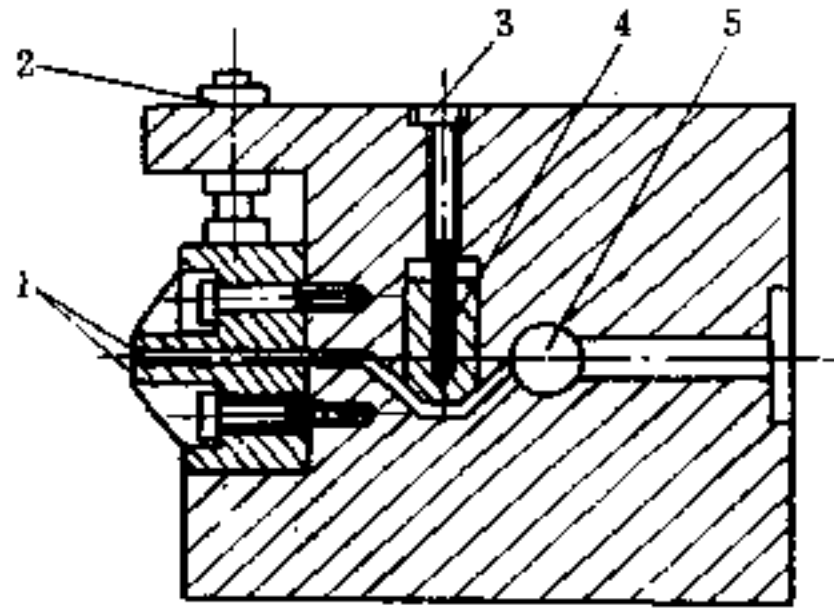


图 7.6-9 带有节流棒的 T 形机头

1—模唇；2—间隙调节螺钉；  
3—料流调节螺钉；4—节流棒；5—歧管。

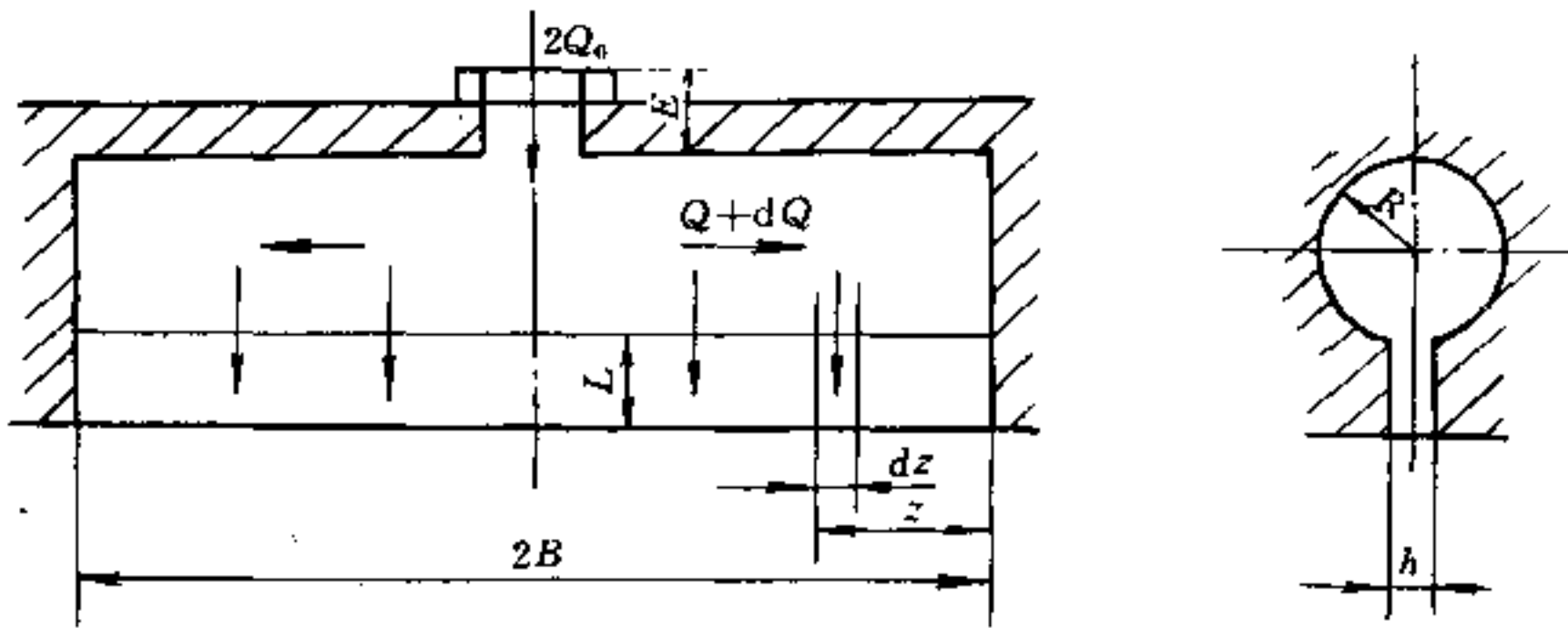


图 7.6-10 T 形机头模型

平缝宽度  $2B = 120.00\text{cm}$ ；平缝间隙  $h = 0.04\text{cm}$

平缝长度  $L = 3.00\text{cm}$ ；歧管直径  $2R = 4.00\text{cm}$

试求：(1) 当  $n = 0.5$  时，核校其流动均匀性指数是否满足  $UI \geq 0.95$  的要求？若材料参数改用  $n = 0.33$  者，有何良策可极简便地使之达到均匀性要求？试求解之；(2) 当要求片材产量为  $70\text{kg/h}$ ，且机头入口流道长度  $E = 12\text{cm}$  时，试求该熔体通过坐标  $z = 0.1B$  处的整个流道，所需停留时间（见图 7.6-10）为多少？

【解】由题意知， $a = h/R = 0.02$ ， $b = B/R = 30$ ， $c = B/L = 20$

(1) 校核  $UI$  根据  $n = 0.5$ ，由图 7.6-6 (b) 查得  $UI = 0.97 > 0.95$ ，满足均匀性要求。当改用  $n = 0.33$  的熔体时，由图 7.6-6 (c) 查得  $UI = 0.90 < 0.95$ 。为此，以增大歧管半径为宜。于是可设  $a$  为未知数，由式 (7.6-2) 解得  $a = 0.00935 = h/R$ ，故得  $R = 0.04/0.00935 \approx 4\text{cm}$ ，从而得  $b = 60/4 = 15$ 。再将所得数据代入式 (7.6-2) 进行校核，得  $UI = 0.954 > 0.95$ ，符合均匀性要求，故歧管直径增至  $8\text{cm}$  为妥。

(2) 熔体停留时间 先由式 (7.6-6) 求出相对停留时间  $t/t_c = 116$ ，再由式 (7.4-4) 求得  $Q_0 = 70 / (4.12 \times 1.4 \times 2) = 6\text{cm}^3/\text{s}$ ，从而得  $t_c = 3 \times 0.04 \times 60/6 = 1.2\text{s}$ 。故得塑料熔体流经  $z = 0.1B$  处的整个流道，所需停留时间为

$$t = 116t_c = 116 \times 1.2 = 139.2\text{s} = 2.32 (\text{min})$$

## 二、鱼尾形机头流道设计

鱼尾形机头，因其流道酷似鱼尾状而得名。它是为克服 T 形机头歧管带来的弊端、扩大使用面、经改进的一种平缝机头，其典型结构如图 7.6-11 所示。

### 1. 熔体流动模拟分析

在鱼尾形机头流道内，塑料熔体呈放射状流动，如图 7.6-12 所示。熔体从机头入口  $O$  点到扇形区出口之间的距离  $r$  随扩散角  $\theta$  的变化而异。因此，由于熔体所经历的

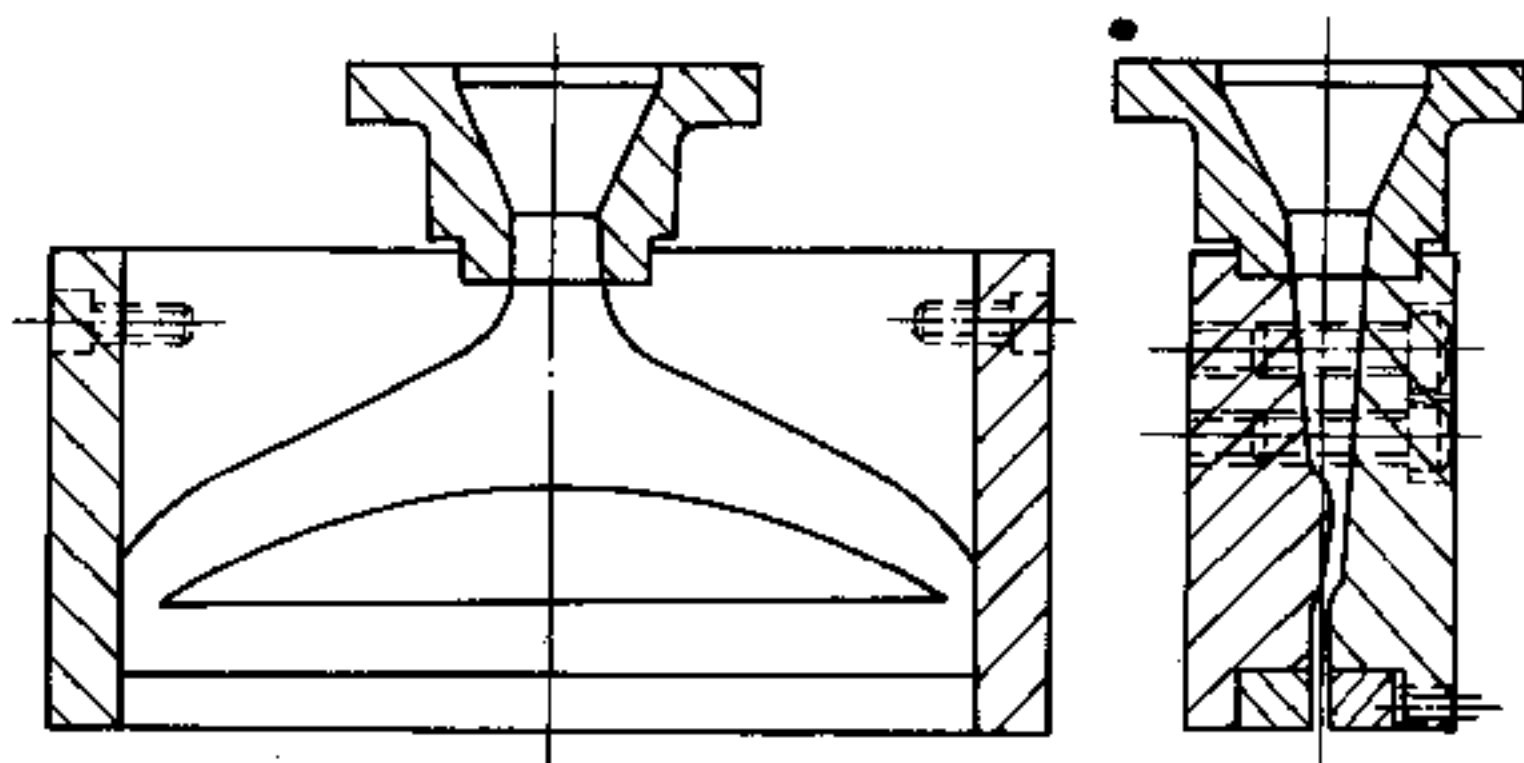


图 7.6-11 鱼尾形流道机头

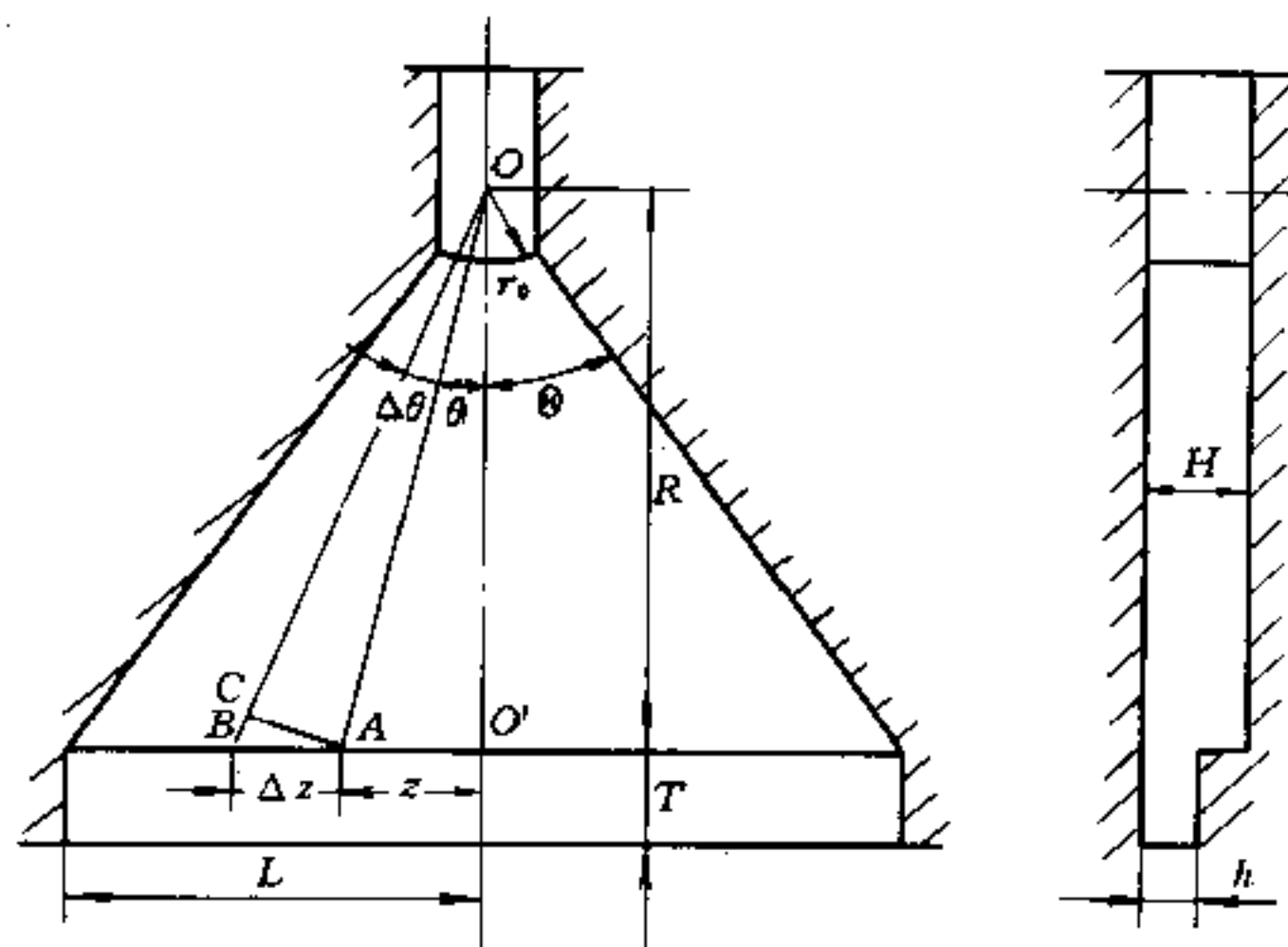


图 7.6-12 鱼尾形机头流动模型

路径不同，必然会在模唇出口处，沿幅宽方向呈现出流动的不均匀性。由所建立的流动模型分析，可把这种具有放射状流动的、沿幅宽方向的流动均匀性指数定义为

$$UI = \left[ \frac{1 + (c - b) a^{2n+1}}{1 + \left(\frac{1}{\cos \theta}\right)^n \left(\frac{c}{\cos \theta} - b\right) a^{2n+1}} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (7.6-7)$$

式 (7.6-7) 表明，UI 是鱼尾形流道几何尺寸和材料参数  $n$  的复杂函数。其中以  $a$  ( $= h/H$ ) 的影响为最大；且扩张角  $\theta$  增大，UI 减小。当鱼尾形机头流道的特征尺寸

$a$  ( $=h/H$ )、 $b$  ( $=r_0/L$ )、 $c$  ( $=R/L$ ) 和材料参数  $n$  为已知时, 可由图 7.6-13 或图 7.6-14 估算出板片材厚薄均匀性的可行性效果。当然, 此两图及式 (7.6-7) 便是鱼尾形机头流道设计的基本依据。但由图 7.6-14 可知, 此类机头流道不宜用于生产宽幅制品, 通常只在 500mm 以内。设有阻力块的, 或具有 Z 形出料口的鱼尾形机头, 可生产出幅宽达 900mm 的制品。

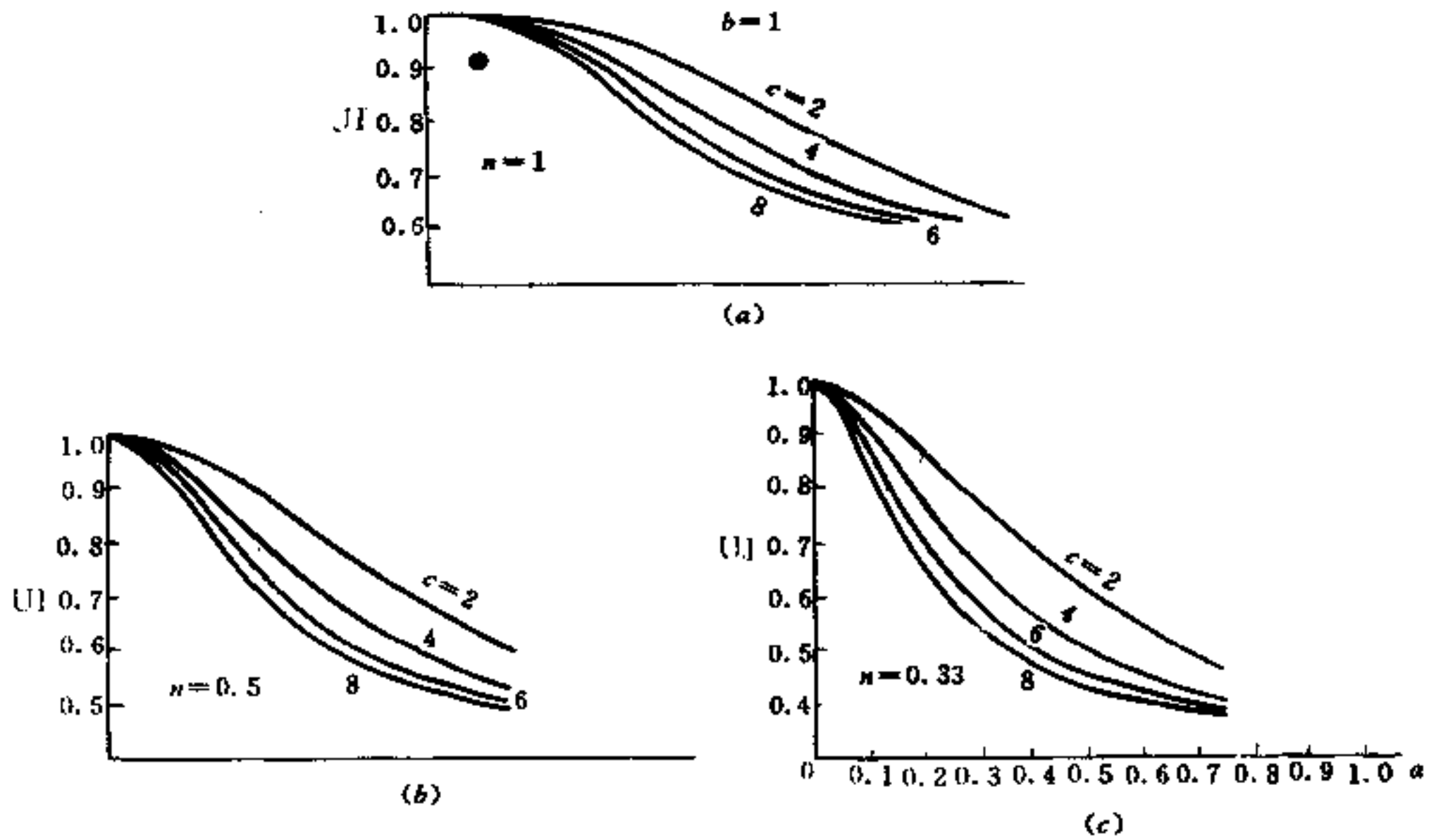


图 7.6-13 UI 随  $a$ 、 $b$ 、 $c$  及  $n$  的依赖关系  
 (a)  $n=1.0$ ; (b)  $n=0.5$ ; (c)  $n=0.3$ 。

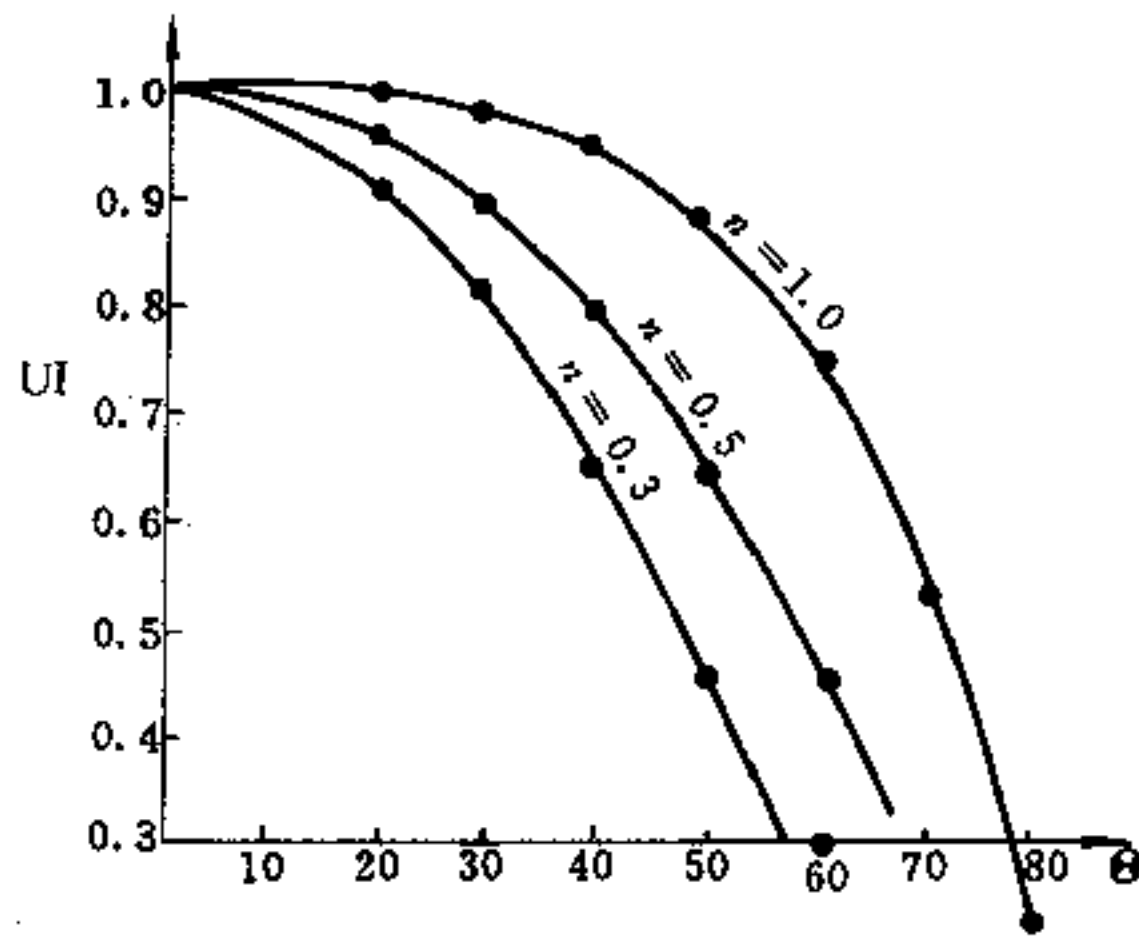


图 7.6-14 UI 随扩张角  $\theta$  和  $n$  的依赖关系

### 2. 流道尺寸设计分析

前已指出, 由于塑料熔体在鱼尾形机头内呈放射状、扩散型流动, 当成型段长度  $L$  和平缝间隙  $h$  恒定不变时, 企图将 UI 提高到或接近于 1.0, 实践表明这是难以实现的。为此, 可从机头流道组成及结构设计上, 提出以下三种改进途径。

### (1) 可变模唇长度设计

为使塑料熔体流动有足够的均匀性, 可考虑沿幅宽方向的模唇长度  $L$  为变量, 且中心长度  $L_0$  为最长。据此, 工程上常用无量纲模唇长度表达式:

$$\frac{L}{L_0} = 1 - a^{2n+1} \left[ \left( \frac{1}{\cos\theta} \right)^n \left( \frac{c_0}{\cos\theta} - b_0 \right) - (c_0 - b_0) \right] \quad (7.6-8)$$

式中几何参数  $a = h/H$ ,  $c_0 = R/L_0$ ,  $b_0 = r_0/L$ , 由图 7.6-12 定义。

为使  $L/L_0$  与  $\lambda (= Z/B)$  变成函数关系, 更为直观和有效, 由图 7.6-12 可得另一无量纲模唇长度表达式

$$\frac{L}{L_0} = 1 - a^{2n+1} \left[ \left( \frac{\sqrt{\lambda^2 + \cot^2\Theta}}{\cot\Theta} \right)^n \left( \frac{\sqrt{\lambda^2 + \cot^2\Theta}}{\cot\Theta} c_0 - b_0 \right) - (c_0 - b_0) \right] \quad (7.6-9)$$

上式表明, 机头流道几何参数  $H$ 、 $h$ 、 $R$ 、 $L_0$ 、 $r_0$  及材料参数  $n$  为已知时,  $L/L_0$  随  $\lambda (= Z/B)$  的变化关系, 是从模唇中心逐渐向两侧缩短。就其影响程度而论, 以  $a$  为最大。 $L/L_0$  与  $a$ 、 $c_0$  和  $\lambda$  的依赖关系, 如图 7.6-15 所示。据此, 可确定机头流道最佳尺寸设计。在工程实际中, 通常将模唇由向外凸改成向内凸为妥。

### (2) 可变模唇间隙设计

无量纲模唇间隙, 对于解决工程设计中的实际问题, 显得十分方便。为此, 可令  $\theta = 0$ , 则得  $h = h_0$  (模唇中心最小间隙), 再设  $a_0 = h_0/H$ 、 $b = r_0/L$  和  $c = R/L$ , 则可得无量纲模唇间隙表达式

$$\frac{h_0}{h} = \left\{ 1 - a_0^{2n+1} \left[ \left( \frac{1}{\cos\theta} \right)^n \left( \frac{c}{\cos\theta} - b \right) - (c - b) \right] \right\}^{\frac{1}{2n+1}} \quad (7.6-10)$$

同理, 无量纲模唇间隙也可表示为  $\lambda (= Z/B)$  的函数形式

$$\frac{h_0}{h} = \left\{ 1 - a_0^{2n+1} \left[ \left( \frac{\sqrt{\lambda^2 + \cot^2\Theta}}{\cot\Theta} \right)^n \left( \frac{\sqrt{\lambda^2 + \cot^2\Theta}}{\cot\Theta} c - b \right) - (c - b) \right] \right\} \quad (7.6-11)$$

$h/h_0$  与  $a_0$ 、 $c$  及  $\lambda$  之间的依赖关系, 如图 7.6-16 所示, 可作为流道设计的依据。

### (3) 带阻力块的流道设计

在鱼尾形机头流道上设置阻力块, 是提高熔体流动均匀性最有效的一种方法。设置阻力块的鱼尾形机头流道模型, 如图 7.6-17 所示。阻力块设计的关键, 是其前缘轮廓的几何图形。当模唇半幅宽度  $B$ 、鱼尾半扩张角  $\Theta$  为已知, 并令流道几何参数  $a = H_1/H_2$ 、 $b = r_0/R_2$  及  $X = r_1/R_2$ , 则由图可得阻力块前缘轮廓线的轨迹方程

$$(X - b) \left( \frac{1}{X \cos\theta} \right)^n + a^{-(2n+1)} \left( \frac{1}{\cos\theta} - X \right) = \left( \frac{\cos\theta}{\cos\Theta} \right)^n \left( \frac{1}{\cos\Theta} - b \right) \quad (7.6-12)$$

$X$  与  $a$ 、 $b$ 、 $n$  间的关系, 如图 7.6-18 所示。据此绘制的阻力块前缘轨迹曲线如图 7.6-19 所示, 当  $a$  值越大, 阻力块前缘轮廓越呈凸状形; 当  $a$  恒定 (0.7),  $n$  值变小 (0.33) 时, 阻力块前缘轮廓线有向外凸的趋势 (如虚线所示)。表明  $n$  越小, 熔体在模唇中心的流速越大, 越须提前施行节流术。

**[例]** 拟用鱼尾形机头, 挤塑成型幅宽为 80cm 的某种塑料板材。为提高其流动均匀性, 需在流道内设置阻力块。已知流道有关几何参数  $b = 0.14$ 、 $a = 0.5$ 、 $\Theta = 45^\circ$ , 且该料流近似为牛顿液体。试求: (1) 阻力块最前缘距机头入口处的距  $R_1$ ; (2) 当鱼尾扩散角  $\theta = 30^\circ$  时,  $r_1$  为多少? (3) 入口半径  $r_0$  为多少?



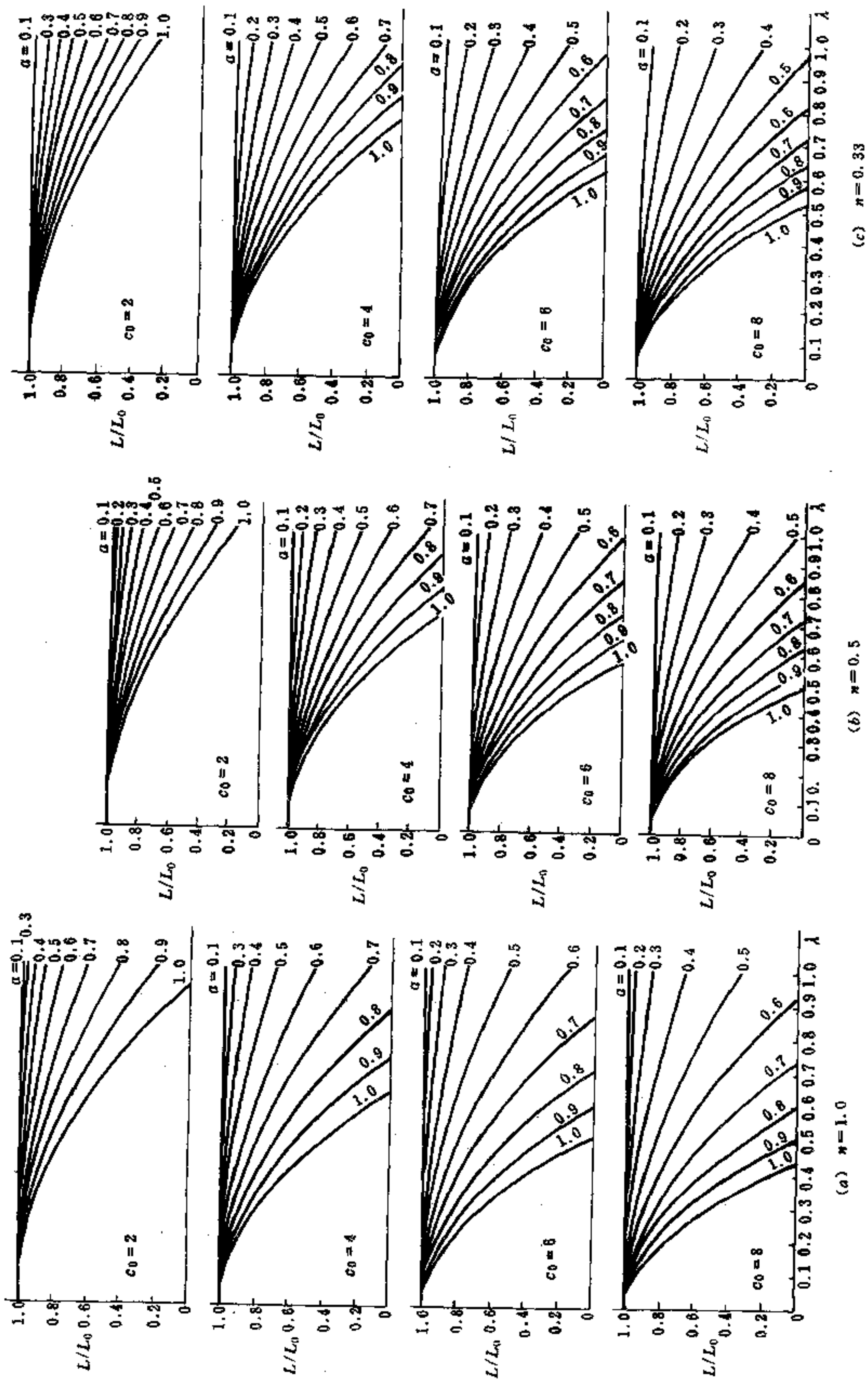


图7.6-15  $L/L_0$  与  $a$ 、 $c_0$  和  $\lambda$  的依赖关系

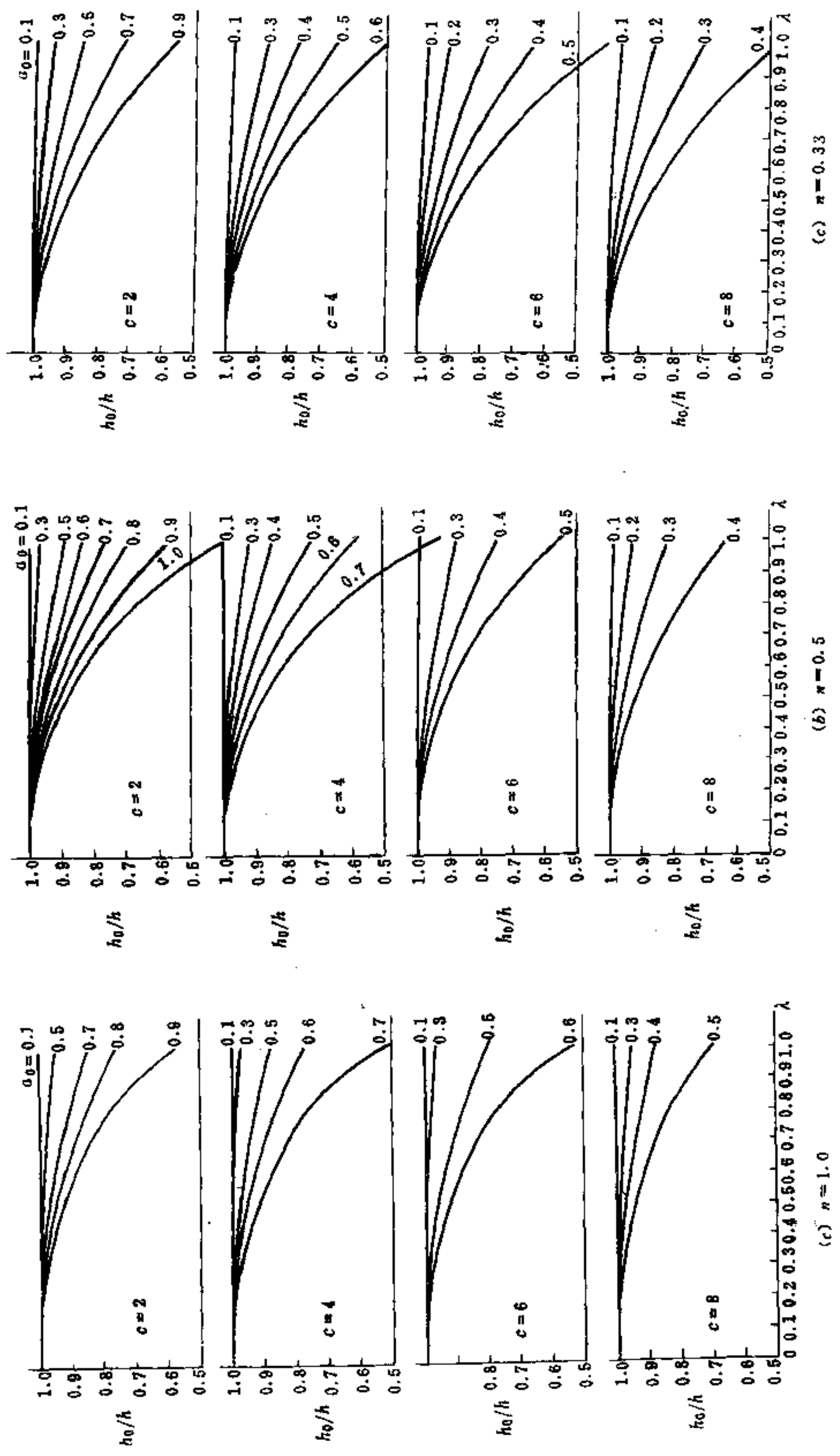


图 7.6-16  $h_0/h$  与  $u_0$ 、 $c$  和  $\lambda$  的关系

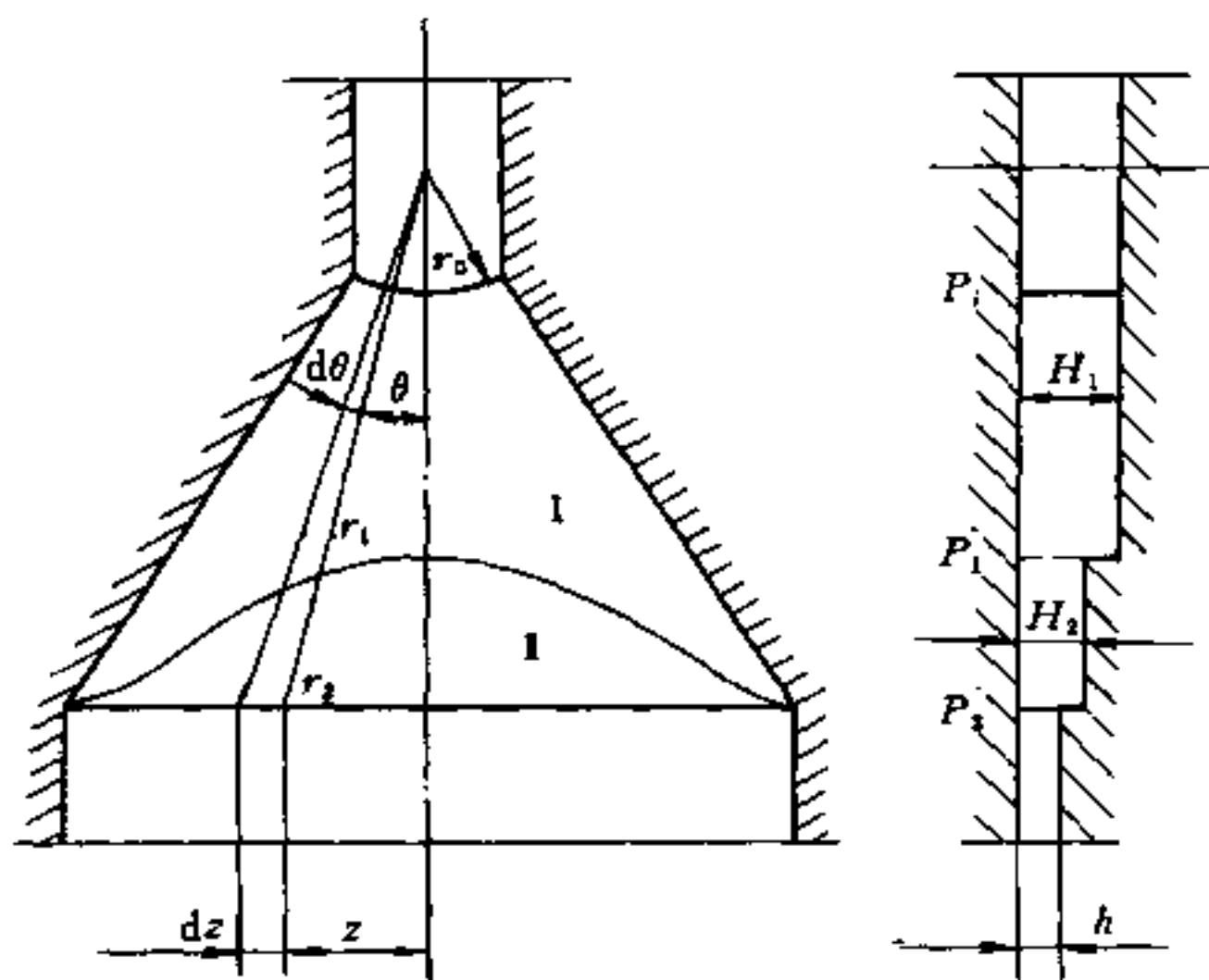
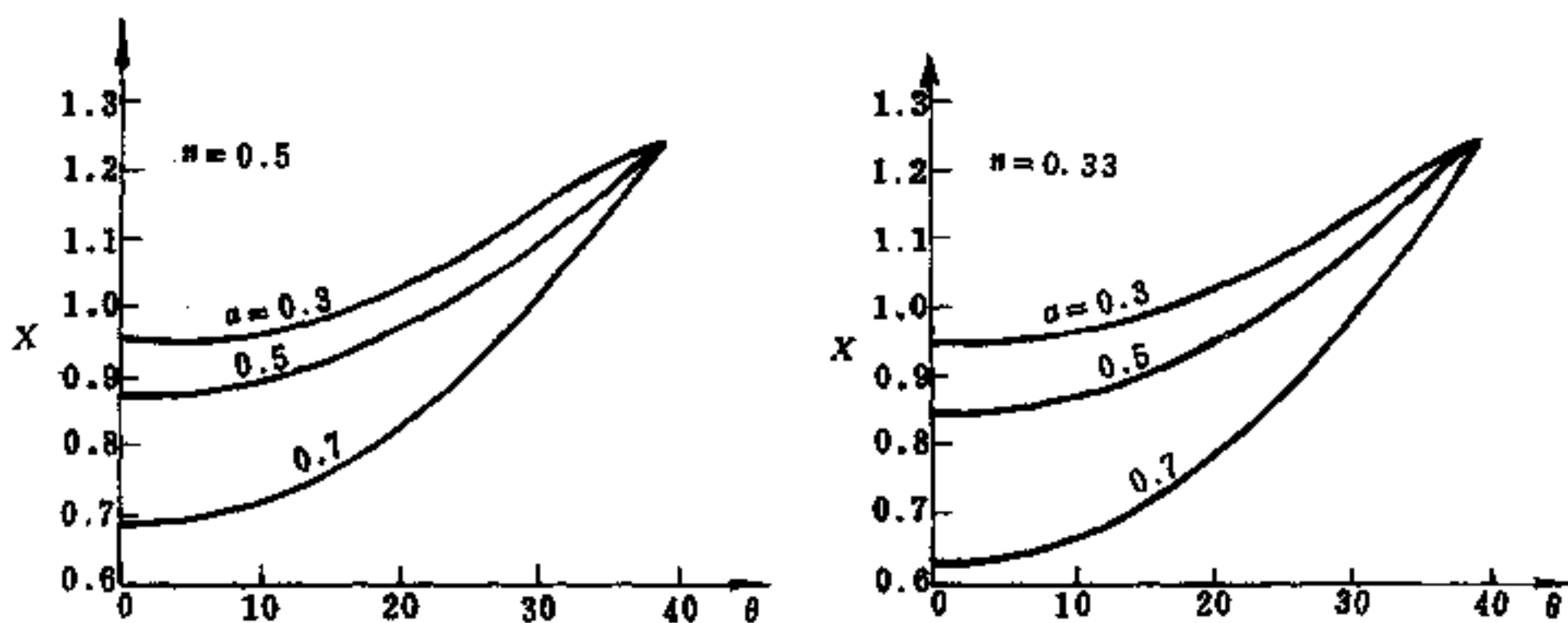


图 7.6-17 带阻力块的鱼尾形机头流道模型

图 7.6-18  $X$  与  $a$ 、 $\theta$  和  $n$  间的关系  
( $b=0.14$   $\theta=45^\circ$ )

【解】已知  $b=0.14$ ,  $a=0.5$ ,  $\cos 45^\circ=0.707$  及  $n=1.0$

(1) 求  $R_1$  由题意知  $\theta=0$ ,  $\cos\theta=1$ , 并将已知数据代入式 (7.6-12), 解得  $X=0.88$ , 由此得  $R_1=XR_2=XB=0.88\times 40=35.2$  (cm)

(2) 求  $r_1$  当  $\theta=30^\circ$ ,  $\cos\theta=0.866$ , 以相同的方法解得  $X=1.085$ , 于是可得  $r_1=XR_2=XB=1.035\times 40=43.4$  (cm)

(3)  $r_0=bR_2=bB=0.14\times 40=5.6$  (cm)

### 三、衣架式机头流道设计

衣架式机头, 以其流道酷似衣架而得名。衣架式机头的典型结构如图 7.6-20 所示, 它集 T 形机头和鱼尾形机头优点于一身, 具有许多公认的优点, 特别适宜宽幅板片材生产, 其最大幅宽可达 4000~5000mm。

#### 1. 流道尺寸设计

衣架式机头流道尺寸, 如图 7.6-21 所示, 应由歧管半径、歧管坐标和模唇长度组

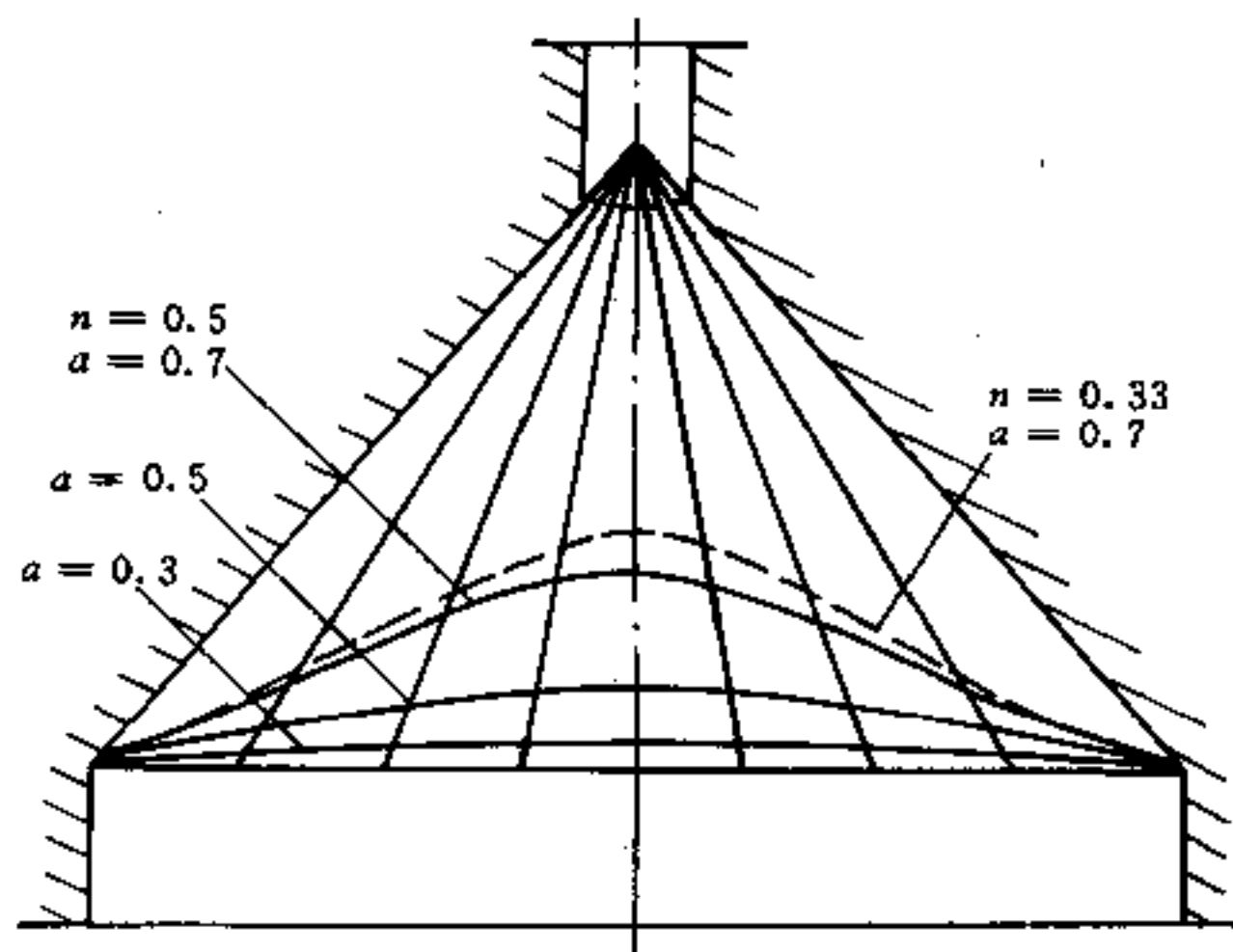
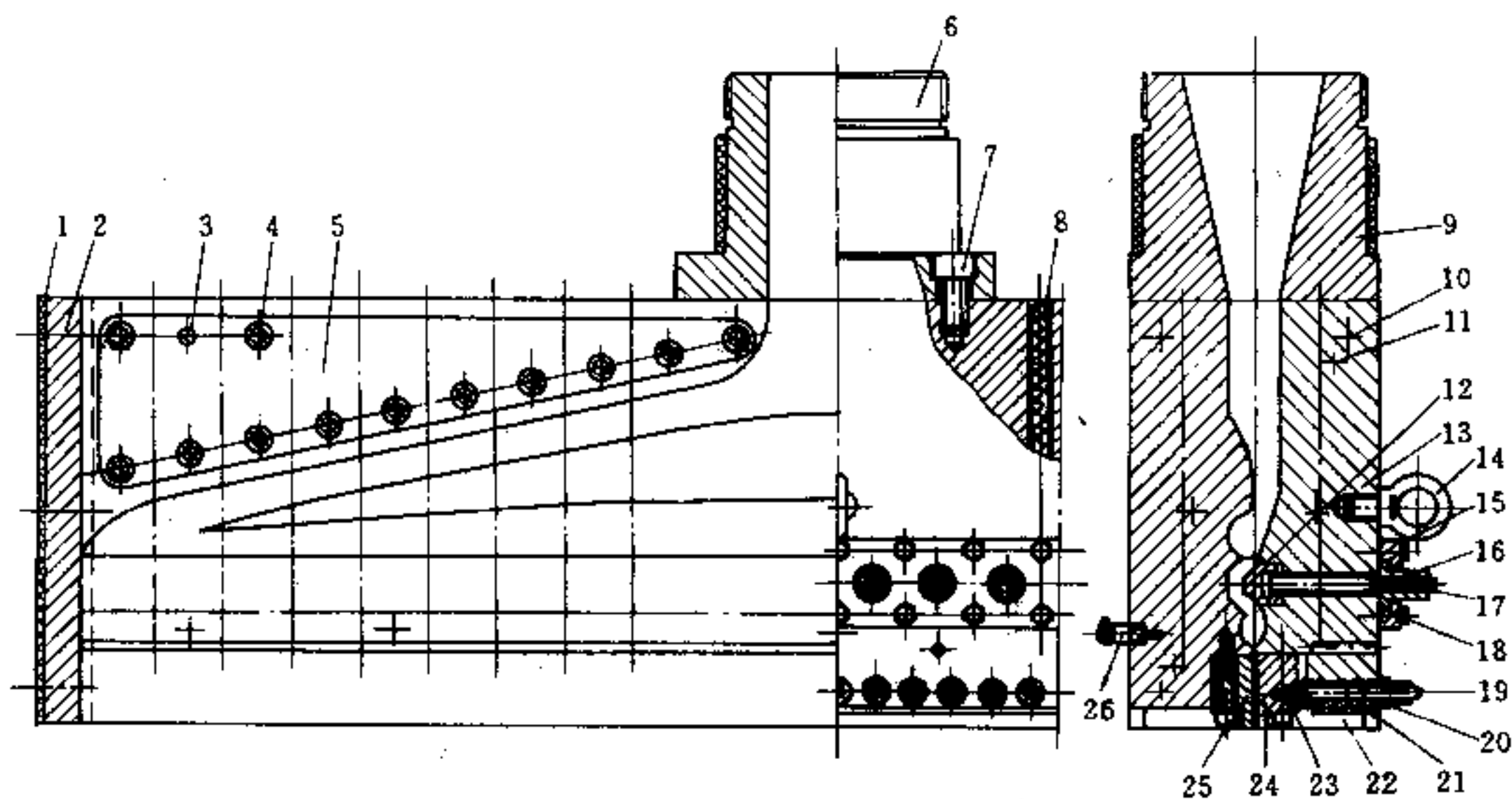
图 7.6-19  $n$  和  $a$  对阻力线的影响

图 7.6-20 衣架式机头结构设计

- 1—电热板；2—侧板；3, 10—圆柱销；4, 7, 11, 26—内六角螺钉；5—下模体；6—接颈；  
8—电热棒；9—电热圈；12—调节排；13—上模体；14—吊环；15—压条；16—调节螺母；  
17—长螺钉；18, 19, 23—螺栓；20—调节螺母；21—固定座；22—面板；24—上模唇；25—下模唇。

成。

### (1) 歧管管半径

在实际设计中须把歧管半径  $r$  看成是流道横向坐标  $Z$  的函数。为此，经建立流道模型分析，得歧管半径函数表达式

$$r = \left[ \frac{3n+1}{2(2n+1)} \right]^{3n+1} \pi^{-1/3} H^{2/3} Z^{1/3} \approx 0.65 (H^2 Z)^{1/3} \quad (7.6-13)$$

该式表明，当材料参数  $n$  和扇形区间隙  $H$  为已知时，歧管半径  $r$  仅与  $Z$  成正比。

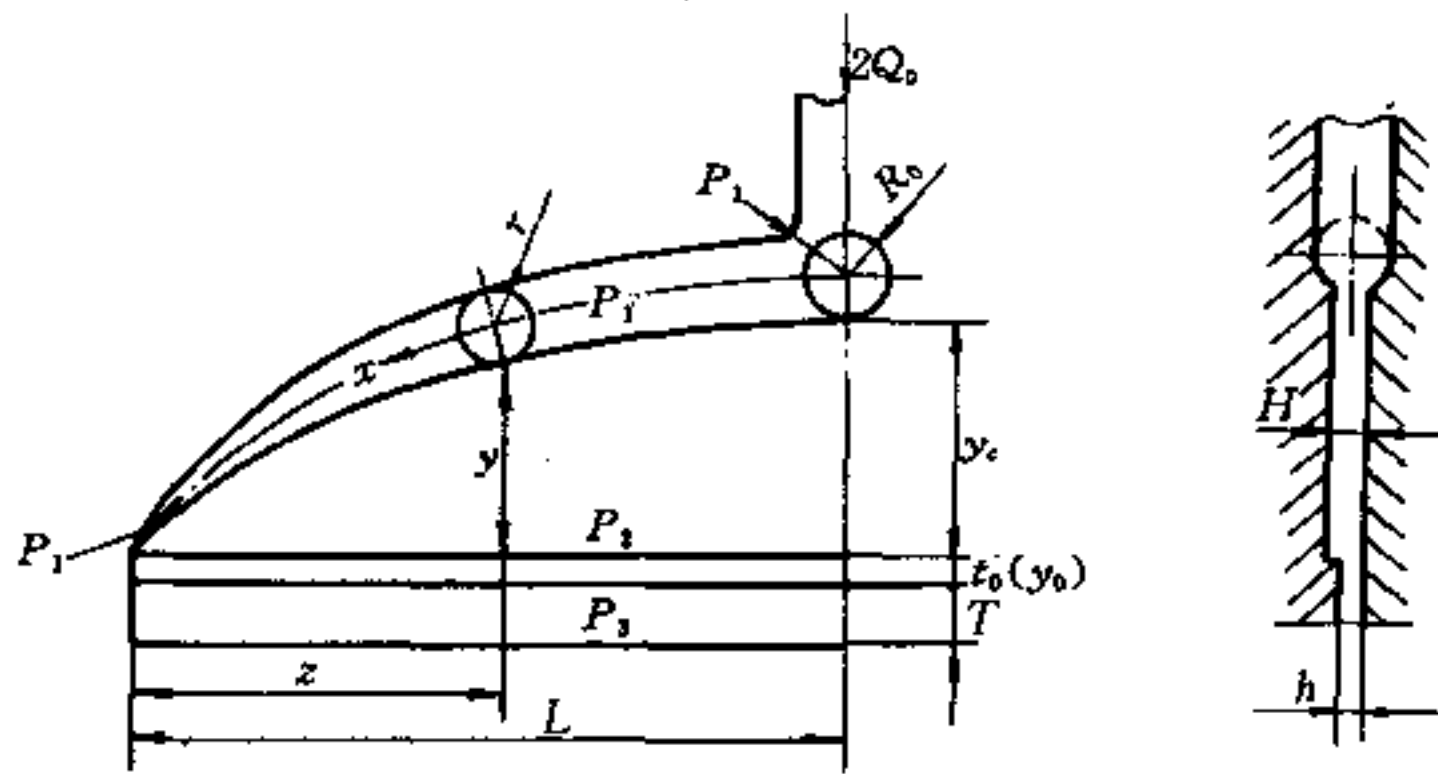


图 7.6-21 衣架式机头流道设计模型

当  $Z = B$  时,  $r = R_0$ , 得歧管入口半径

$$R_0 = \left[ \frac{3n+1}{2(2n+1)} \right]^{3(n+1)} \pi^{-1/3} (H^2 B)^{1/3} \approx 0.65 (H^2 B)^{1/3} \quad (7.6-14)$$

或

$$r = R_0 \left( \frac{Z}{B} \right)^{1/3} \quad (7.6-15)$$

当材料参数  $n = 0.50, 0.33, 0.25$  时, 流道几何参数  $R_0 - H - B$  间的关系值, 列于表 7.6-1 中, 供流道尺寸设计选用。

表 7.6-1  $R_0 - H - B$  间的关系值 (cm)

$n = 0.50$					$n = 0.33$					$n = 0.25$				
$H$	$R_0$				$H$	$R_0$				$H$	$R_0$			
	$B = 25$	$B = 50$	$B = 75$	$B = 100$		$B = 25$	$B = 50$	$B = 75$	$B = 100$		$B = 25$	$B = 50$	$B = 75$	$B = 100$
0.1	0.408	0.514	0.589	0.648	0.1	0.412	0.519	0.594	0.654	0.1	0.415	0.523	0.598	0.659
0.2	0.648	0.816	0.934	1.028	0.2	0.654	0.824	0.943	1.038	0.2	0.659	0.830	0.950	1.048
0.3	0.849	1.068	1.224	1.347	0.3	0.857	1.080	1.236	1.360	0.3	0.863	1.087	1.245	1.370
0.4	1.028	1.300	1.483	1.632	0.4	1.038	1.308	1.497	1.648	0.4	1.046	1.317	1.508	1.660
0.5	1.193	1.503	1.721	1.894	0.5	1.212	1.518	1.737	1.912	0.5	1.213	1.529	1.750	1.926
0.6	1.347	1.698	1.943	2.139	0.6	1.360	1.714	1.662	2.159	0.6	1.370	1.726	1.976	2.175

$$\frac{dy}{dz} = \left[ \frac{\phi}{Z^{2/3} - \phi} \right]^{1/2} \quad (7.6-16)$$

式中  $\phi$ ——常数 =  $(\pi H)^{2/3} \left[ \frac{3n+1}{2(2n+1)} \right]^{3(n+1)} \approx 1.85 (H)^{2/3}$  (7.6-17)

将式 (7.6-16) 用置换法积分后可得

$$y - y_0 = \frac{3}{2} \phi^{1/2} \left[ Z^{1/3} \sqrt{Z^{2/3} - \phi} + \phi \ln (Z^{1/3} + \sqrt{Z^{2/3} - \phi}) \right]_{\phi^{3/2}}^Z \quad (7.6-18)$$

由式 (7.6-18) 得到的歧管轴线  $x$  的轨迹曲线  $(y, z)$ , 实际上是令式 (7.6-16) 的分母为零所得边界条件  $Z = \phi^{3/2}$ ,  $y = y_0$ ;  $z = z$ ,  $y = y$  的定积分解。因此扇形区的三角形高度, 可由如下定积分而得

$$y_c = \int_{\phi}^B \left[ \frac{\phi}{Z^{2/3} - \phi} \right]^{1/2} dz$$

$$= \frac{3}{2} \phi^{1/2} \{ [B^{1/3} \sqrt{B^{2/3} - \phi} + \phi \ln(B^{1/3} + \sqrt{B^{2/3} - \phi})] - \phi \ln \phi^{1/2} \}$$
(7.6-19)

在式(7.6-18)中,当  $Z = \phi^{3/2}$  时,  $y = 0$ , 得

$$y_0 = \frac{3}{4} \phi^{3/2} \ln \phi$$
(7.6-20)

须指出的是,  $y_0$  就是图 7.6-21 中的  $t_0$ 。因此扇形区的高度  $T_1 = y_0 + y_c$ ,  $y_0(t_0)$  称为稳压区高度,  $y_c$  称为三角区高度。

表 7.6-2 ( $y_c - y_0$ )— $H$ — $B$  间的关系值

n	0.50				0.33				0.25			
	$y_c - y_0$				$y_c - y_0$				$y_c - y_0$			
	B = 25	B = 50	B = 75	B = 100	B = 25	B = 50	B = 75	B = 100	B = 25	B = 50	B = 75	B = 100
0.1	8.07	12.81	16.78	20.33	8.15	13.35	16.94	20.53	8.21	13.04	17.08	20.69
0.2	10.16	16.13	21.14	25.61	10.26	16.29	21.35	25.86	10.35	16.44	21.54	26.09
0.3	11.63	18.48	24.20	29.32	11.75	18.62	24.44	29.60	11.84	18.80	24.63	29.84
0.4	12.81	20.33	26.64	32.27	12.93	20.52	26.90	32.58	13.04	20.71	27.13	32.87
0.5	13.79	21.90	28.69	34.76	13.93	22.11	28.99	35.10	14.05	22.31	29.23	35.41
0.6	14.96	23.27	30.49	36.94	14.80	23.50	30.88	37.30	14.92	23.69	31.03	37.60

由于式(7.6-19)计算复杂,工程上也常用近似函数法计算扇形区高度,即

$$y = \frac{3}{2} \pi^{1/3} \left[ \frac{3n+1}{2(2n+1)} \right]^{2n/[3(n+1)]} H^{1/3} Z^{2/3} + y_0$$
(7.6-21)

当  $Z = B$ ,  $n = 0.5, 0.3, 0.25$  时,得扇形区高度尺寸计算式为

$$y_c = 2(HB^2)^{1/3} + y_0$$
(7.6-22)

但此法中的  $y_0$ , 只能由式(7.6-20)计算,或随  $B$  的大小不同取经验值。 $y - y_0$  与  $H$ 、 $B$  的关系,见表 7.6-2。

## (2) 模唇长度

根据模唇在板片材成型中的作用,应尽可能地消除因熔体弹性恢复而引起的出模膨胀。为此,熔体流经模唇时需有一定的应力松弛时间。因此,模唇长度  $L$  应为

$$L = \frac{Q_0 t_s}{Bh}$$
(7.6-23)

式中  $t_s$ ——熔体应力松弛时间。

## 2. 熔体停留时间分析

根据衣架式机头流道组成,熔体停留时间,应为在歧管内停留时间、扇形区停留时间及模唇内停留时间三者之和。

### (1) 在歧管内的停留时间 经分析解得

$$t_x = - \frac{3\pi^{1/3}}{2Q_0} \left[ \frac{3n+1}{2(2n+1)} \right]^{2n/[3(n+1)]} H^{4/3} B (Z^{2/3} - B^{2/3})$$
(7.6-24)

(2) 在扇形区的停留时间 我们解得为

$$t_y = \frac{3\pi^{1/3}}{2Q_0} \left[ \frac{3n+1}{2(2n+1)} \right]^{3(n+1)} H^{4/3} BZ^{2/3} + \frac{HBy_0}{Q_0} \quad (7.6-25)$$

(3) 在模唇区的停留时间 由式(7.8-23)解得

$$t_s = \frac{BhL}{Q_0} \quad (7.6-26)$$

因此,熔体流经衣架式机头幅宽方向任意位置  $Z$ , 通过模腔流道所停留的总时间  $t$ , 应是上述三部分停留时间之和。于是得

$$t = \frac{3\pi^{1/3}}{2Q_0} \left[ \frac{3n+1}{2(2n+1)} \right]^{3(n+1)} H^{4/3} B^{5/3} + \frac{HBy_0}{Q_0} + \frac{BhL}{Q_0} \quad (7.6-27)$$

式(7.6-27)表明,熔体在机头内流动所需停留时间与路径  $Z$  无关,这是衣架式机头获得广泛应用的又一重要原因。

尽管如此,在实际衣架式机头的设计中,仍然使用了可调节的调节排,如图 7.6-20 中的件号 12,以改善熔体在稳压区沿幅宽方向流动的均匀性,从而获得厚薄更趋完善的板片材制品。

### 3. 剪切速率考虑

我们已经注意到,塑料熔体在衣架式机头流道各区间,所受到的剪切速率,是各不相同的。但在各流区应以恒剪切速为好。

(1) 在歧管内的剪切速率  $\dot{\gamma}_x$  把歧管视为标准圆管,则在其壁上的剪切速率为:

$$\dot{\gamma}_x = \left( \frac{3n+1}{n} \right) \frac{Q}{\pi r^3}$$

将式(7.6-15)和  $Q = Q_0(Z/B)$  代入上式得

$$\dot{\gamma}_x = \left( \frac{3n+1}{n} \right) \frac{Q_0}{\pi R_0^3} \quad (7.6-28)$$

(2) 在扇形区的剪切速率  $\dot{\gamma}_y$  扇形区属狭缝隙流道,熔体在其壁面上的剪切速率为:

$$\dot{\gamma}_y = \frac{2(2n+1)}{n} \cdot \frac{Q}{ZH^2}$$

将  $Q = Q_0(Z/B)$  代入,上式可改写为

$$\dot{\gamma}_y = \frac{2(2n+1)}{n} \cdot \frac{Q_0}{BH^2} \quad (7.6-29)$$

(3) 在模唇区的剪切速率  $\dot{\gamma}_s$  当模唇间隙为  $h_s$ ,半幅宽为  $B$ ,则其剪切速率应为:

$$\dot{\gamma}_s = \frac{2(2n+1)}{n} \cdot \frac{Q_0}{Bh_s^2} \quad (7.6-30)$$

由以上分析可知,熔体在衣架式机头各流区内的流动,均属恒剪切速率流动。但其数量有别,通常有如下规律:

$$\dot{\gamma}_x \leq \dot{\gamma}_y \leq \dot{\gamma}_s \quad (7.6-31)$$

[例] 有人拟用衣架式机头挤塑成型 ABS 片材,厚度为 1mm,幅宽 2000mm。已知 ABS 熔体的非牛指数  $n = 0.25$ ,  $\rho_0 = 1.04\text{g/cm}^3$ 。当要求该机头的产率为 160kg/h 时,试求其流道几何尺寸,熔体停留时间及各流动区的剪切速率。

[解] 根据题意可得  $Q_0 = \frac{80 \times 1000}{3600 \times 1.04} = 21.368(\text{cm}^3/\text{s})$  或  $Q_0 = 21.368 \times 60 \approx 1282(\text{cm}^3/\text{min})$

(1) 机头入口截面积 实验证明, 熔体入口线速度低于  $1.0\text{m}/\text{min}$ , 在模腔内流动稳定性较好。现取熔体入口线速度  $U_0 = 0.8\text{m}/\text{min}$ , 则得机头入口截面积

$$S = \frac{2Q_0}{U_0} = \frac{2 \times 1282}{80} = 32(\text{cm}^2)$$

(2) 歧管最大半径 由  $Q_0 = \pi R_0^2 U_0$  得

$$R_0 = \left( \frac{Q_0}{\pi U_0} \right)^{\frac{1}{2}} = \left( \frac{1282}{80\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 2.26(\text{cm})$$

(3) 扇形区间隙 由式(7.6-14)得

$$\begin{aligned} H &= \left[ \frac{2(2n+1)}{(3n+1)} \right]^{\frac{n}{2(n+1)}} \pi^{\frac{1}{2}} B^{-\frac{1}{2}} R_0^{\frac{3}{2}} \\ &= \left[ \frac{2(0.25+1)}{3 \times 0.25+1} \right]^{\frac{0.25}{2(0.25+1)}} (\pi)^{\frac{1}{2}} (100)^{-\frac{1}{2}} (2.26)^{\frac{3}{2}} \\ &\approx 0.624(\text{cm}) \end{aligned}$$

(4) 歧管半径 由式(7.6-15)得

$$r = R_0 \left( \frac{Z}{B} \right)^{\frac{1}{3}} = 2.26 \left( \frac{Z}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

幅宽坐标 $Z$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
歧管半径 $r$	1.05	1.32	1.51	1.67	1.79	1.91	2.01	2.10	2.18	2.26

(5) 扇形区高度 先由式(7.6-17)求出

$$\phi = (\pi H)^{\frac{2}{3}} \left[ \frac{3n+1}{2(2n+1)} \right]^{\frac{4n}{3(n+1)}} = (0.624\pi)^{\frac{2}{3}} \left[ \frac{3 \times 0.25+1}{2(2 \times 0.25+1)} \right]^{\frac{4 \times 0.25}{3(0.25+1)}} = 1.356$$

1) 稳压区高度: 由式(7.6-20)得

$$y_0(t_0) = \frac{3}{4} \phi^{\frac{3}{2}} \ln \phi = 0.75 \times (1.356)^{\frac{3}{2}} \ln(1.356) = 0.361(\text{cm})$$

2) 三角区高度: 由式(7.6-19), 将  $B = 100\text{cm}$  和  $\phi = 1.356$  代入解得

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{3}{2} \times (1.356)^{\frac{1}{2}} \left\{ \left[ 100^{\frac{1}{3}} \sqrt{(100)^{\frac{2}{3}} - 1.356} + 1.356 \ln(100)^{\frac{1}{3}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sqrt{100^{\frac{2}{3}} - 1.356} \right] - 1.356 \ln(1.356)^{\frac{1}{2}} \right\} = 41.29(\text{cm}) \end{aligned}$$

3) 扇形区高度:  $T_1 = y_c + y_0 = 41.7(\text{cm})$

(6) 歧管末端最小半径 由式(7.6-15)得

$$\begin{aligned} R_{\min} &= 2.26 \left( \frac{\phi^{\frac{3}{2}}}{B} \right)^{\frac{1}{3}} = 2.26 \left( \frac{(1.356)^{\frac{3}{2}}}{100} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0.567(\text{cm}) \end{aligned}$$

(7) 模唇长度, 就 ABS 来说, 可取  $L/h = 30$ , 即模唇长度

$$L = 30 \times 0.1 = 3.0(\text{cm})$$



(8) 熔体停留时间 由式(7.6-27) 得

$$t = \frac{3\pi^{\frac{1}{3}}}{2 \times 21.368} \left[ \frac{3 \times 0.25 + 1}{2(2 \times 0.25 + 1)} \right]^{\frac{2 \times 0.25}{3(0.25+1)}} (0.624)^{\frac{4}{3}} (100)^{\frac{5}{3}} \\ + \frac{0.624 \times 100 \times 0.361}{21.368} + \frac{100 \times 0.1 \times 3.0}{21.368} \\ = 112.85(\text{s}) = 1.9(\text{min})$$

(9) 各流区剪切速率

歧管区:由式(7.6-28) 得

$$\dot{\gamma}_x = \left( \frac{3 \times 0.25 + 1}{0.25} \right) \cdot \frac{21.368}{\pi(2.26)^3} = 4.12(1/\text{s})$$

扇形区:由式(7.6-29) 得

$$\dot{\gamma}_y = \left[ \frac{2(2 \times 0.25 + 1)}{0.25} \right] \cdot \frac{21.368}{100 \times (0.624)^2} = 6.58(1/\text{s})$$

模唇区:由式(7.6-30) 得

$$\dot{\gamma}_z = \left[ \frac{2(2 \times 0.25 + 1)}{0.25} \right] \cdot \frac{21.368}{100 \times (0.1)^2} = 256.42(1/\text{s})$$

#### 四、螺杆分配机头流道设计

螺杆分配机头,实际上就是在 T 形机头的直歧管内,安装一根旋转螺杆,使料流沿螺槽强制推进,并进行分配,从而达到熔体沿模唇全宽方向,具有流动均匀性的目的。因此,螺杆分配机头不仅适宜于宽幅制品(4000mm)生产,而且能用于生产达 40mm 的特厚板材。此外,还对热稳定性差的树脂(如 PVC 等)和粘度特大、流动困难、加有各种填料的复合型板片材加工,具有特殊的适应性。

##### 1. 机头结构设计

按供料方式的不同,螺杆分配机头通常可分为两种类型。

(1) 端部供料螺杆分配机头 其典型结构如图 7.6-22 所示,挤塑机向机头一端供料。为确保有足够的塑料熔体,进入螺杆分配机头,以实现连续挤出和分配,机头分配螺杆直径,须比挤塑机螺杆稍小,且其根径应为渐变型。机头分配螺杆多为 4~6 头螺纹。

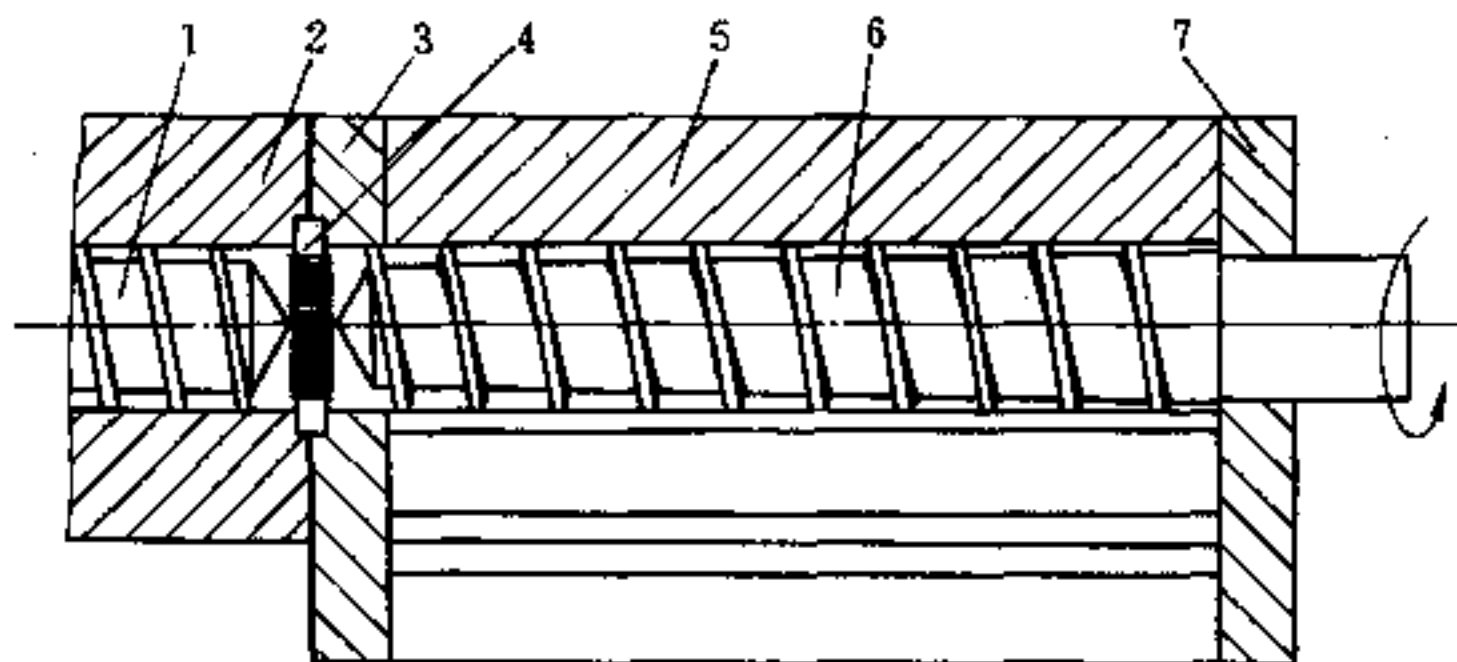


图 7.6-22 端部供料螺杆分配机头

1—挤塑机螺杆;2—机筒;3—左侧板;4—栅板;5—机头体;6—分配螺杆;7—右侧板。

(2) 中央供料螺杆分配机头 其结构如图 7.6-23 所示。此种机头的分配螺杆,从中央向两端按正反螺纹设计。其根径仍为渐变型,但两段方向相反。

##### 2. 流道尺寸设计

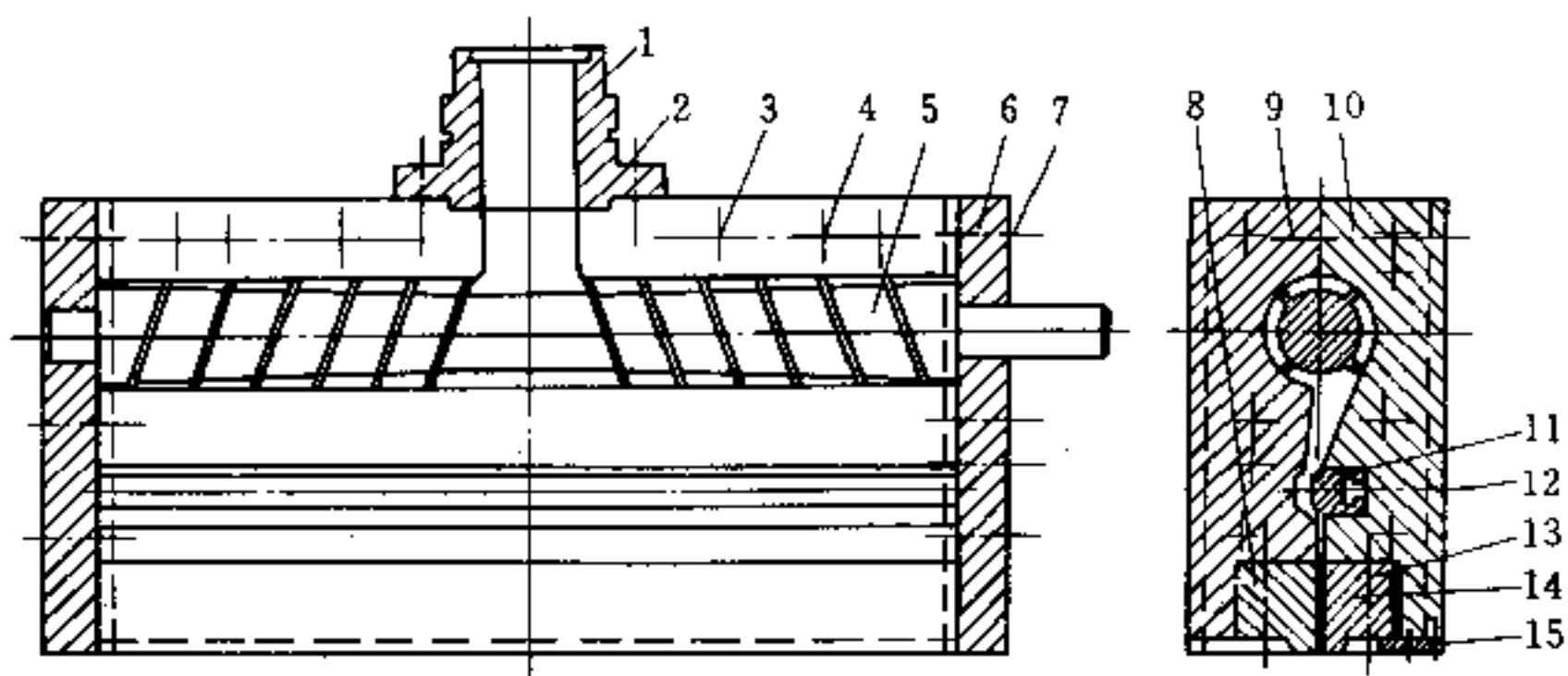


图 7.6-23 中央供料螺杆分配机头

1—机颈;2,14—螺栓;3,7—内六角螺钉;4—圆柱销;5—分配螺杆;6—侧板;8—下模唇;  
9—下模体;10—上模体;11—调节排;12—螺钉;13—上模唇;15—挡板。

螺杆分配机头的纵向流道如图 7.6-24 所示,塑料熔体流经模唇,是通过具有多头螺纹的分配螺杆 10 旋转,迫使熔料压力分布均匀,并要求沿模唇横向流速均一的一种流道设计。显然,其流道设计的理论基础,应是螺杆泵送理论和熔体压力流理论。模拟分析十分复杂,且某些参数难以取得,故一些经验数据显得十分珍贵。图 7.6-25 所示,为螺杆分配机头流道设计的剖视图,已获成功的经验数据列于表 7.6-3 中。

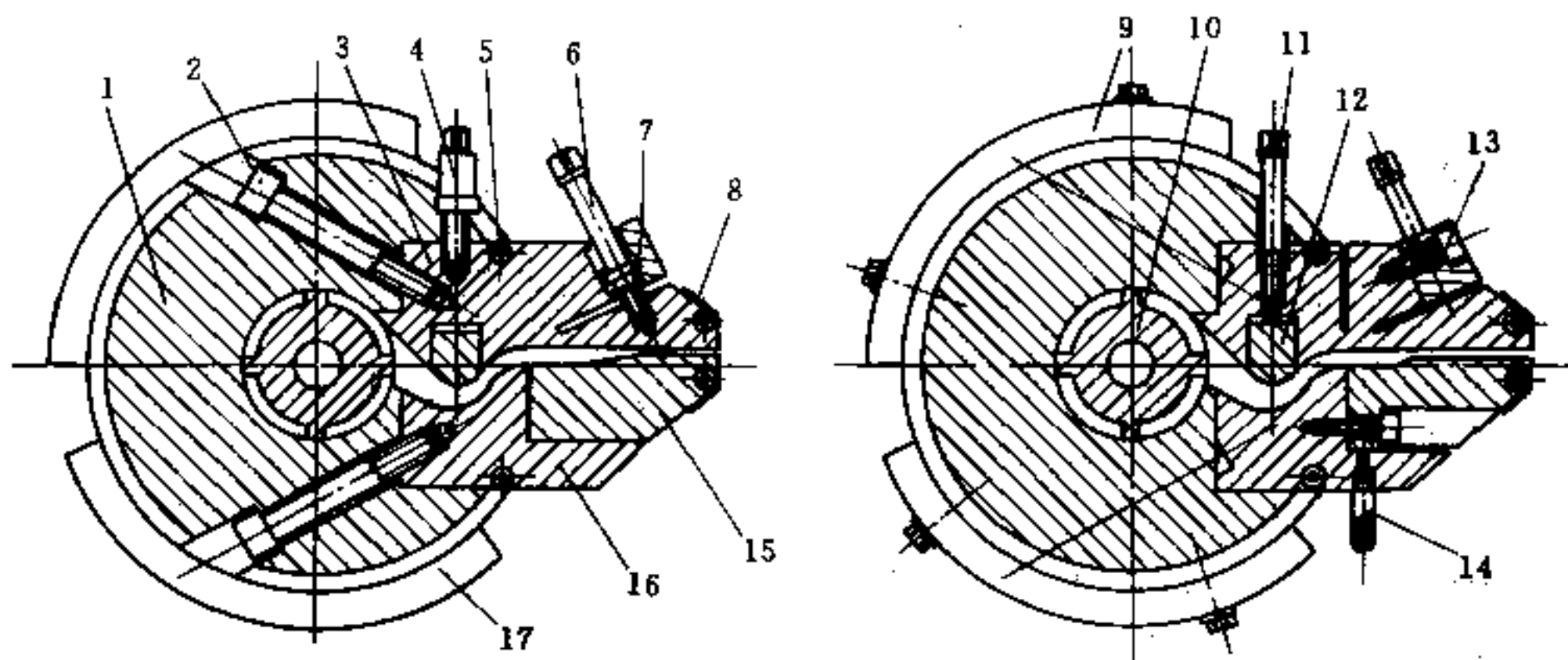


图 7.6-24 螺杆分配机头纵向剖视

1—机头体;2,13—内六角螺钉;3—上模唇;4—调节螺钉;5—管状加热器;  
6,11—顶紧螺钉;7—调整块;8—上模唇;9,17—铸铝加热器;10—分配螺杆;  
12—调节排;14—热电偶插座;15—下模唇;16—下模唇座。

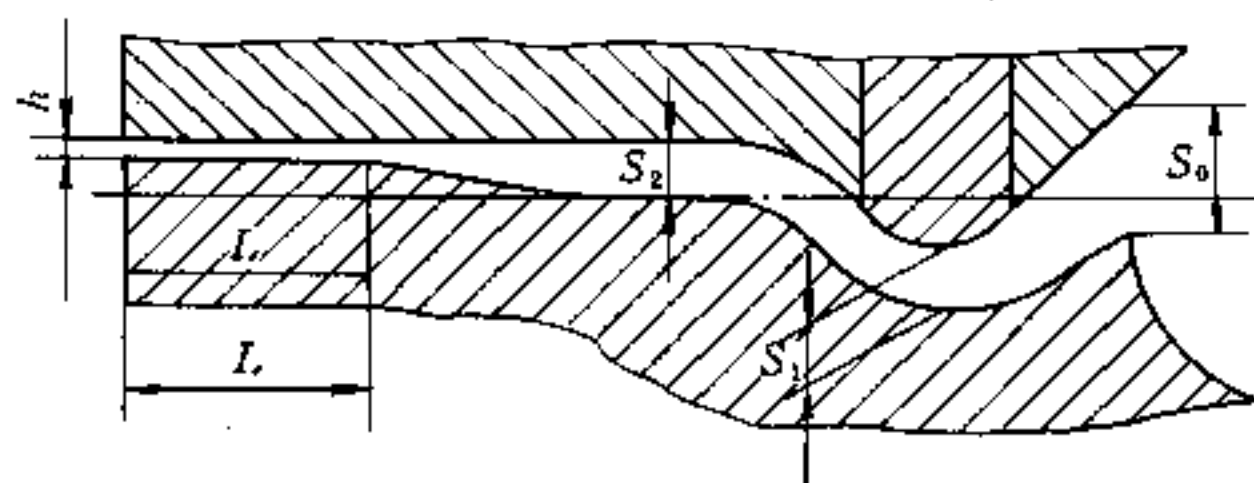


图 7.6-25 螺杆分配机头流道尺寸设计

表 7.6-3 螺杆分配机头流道经验数据(mm)

板片材厚度	$h$	$L$	$S_0$	$S_1$	$S_2$
1.5 ~ 3.0	2.5	50	24	13	10.5
3.0 ~ 5.0	5.5	60	24	13	10.5
5.0 ~ 6.0	8.0	80	24	13	10.5
7.0 ~ 8.0	10.5	100	24	13	10.5

### 7.6.3 自动调节式平缝机头

由于平缝形机头特宽,模唇及调节排螺钉数量多,需要操作者有丰富经验,方可恰如其分地校正熔体流量;另外,整个机头处于高温之下,拥有相当大的热辐射源,实现流速均匀性操作,确实能成为一种“流汗”运动。为此,已开发了两种具有实用价值的自动调节式平缝形机头。

#### 1. 热螺栓自动调节式平缝机头

该平缝机头的调节原理如图 7.6-26 所示。首先,在机头横向轨道上,安装有一液压传动的拧转螺丝系统,能够移向调节排的每一个调节螺栓 1, 并进行调整。用谱线记录仪,将测量所得片材厚度分布显示于控制屏上,并由操作者转换成各个螺栓的调整脉冲,将螺栓调整顺序及调整量编成程序。其次,还设有一微调系统,用热膨胀螺栓 2 来调整柔性模唇,作为辅助调节。当调节过量时,切断加热器 3 电源,用空气对螺栓补充冷却,能迅速使模唇复位。

#### 2. 微机控制平缝机头

该机头的自动调节原理如图 7.6-27 所示。为了减少开车时间,此机头设计成层状结构,包括柔性模唇在内的整个流道区,均采用带状加热器加热,并用石棉板与周围刚性支承体隔热。筒型加热器 3 直

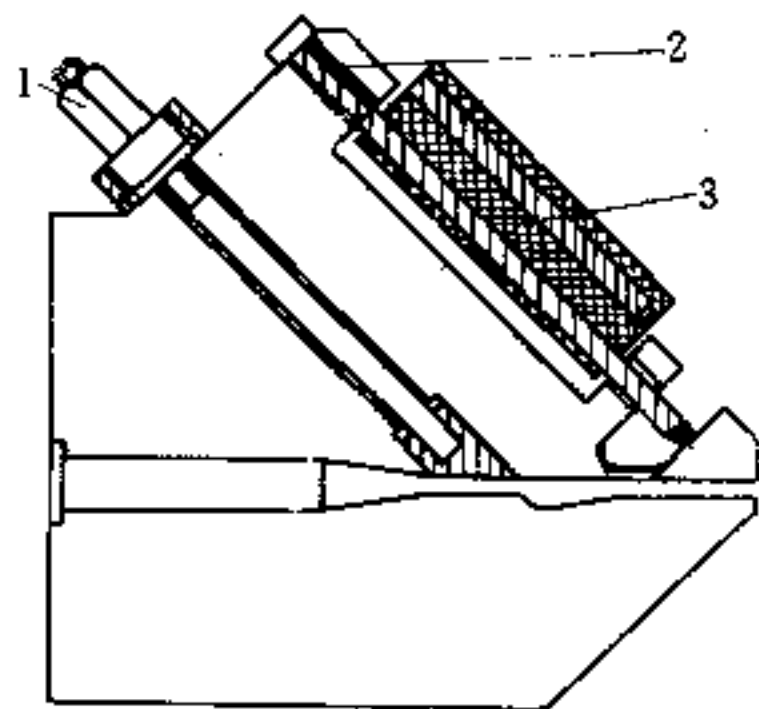


图 7.6-26 热螺栓自动调节式平缝机头  
1—调节排螺栓;2—模唇微调螺栓;3—电加热器。

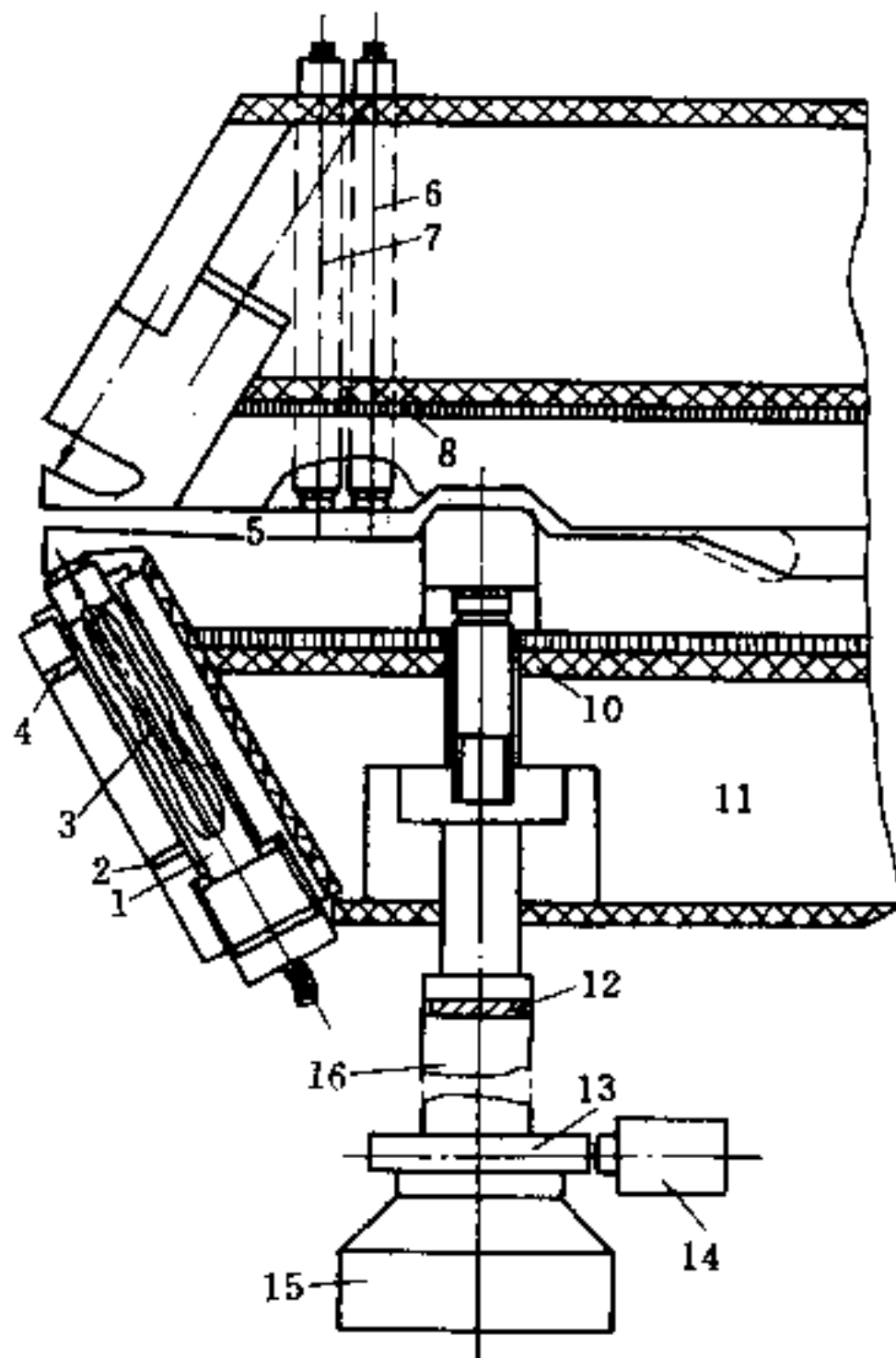


图 7.6-27 微机控制式平缝机头  
1—膨胀螺栓;2—空气入口;3—筒型加热器;  
4—空气出口;5—流道测量;6—压力测量;  
7—温度测量;8—带状加热器;9—温度可控模体;  
10—隔热层;11—支承体;12—剪切销;  
13—脉冲发生器;14—可调变速电机;  
15—万向接头轴;16—联接轴套。

接安装于膨胀螺栓 1 中,以便对模唇进行微调。调节排的调节,采用大减速比的小齿轮系统、直流电机驱动。在调节排中央轴向安装有调节螺丝,可按正反向旋转,升高或降低调节排。在调节排后方整个机头宽度的恒定高度上,可进行模唇间隙测量、流道压降测量和熔体温度测量,以获得瞬间流量变化情况,从而获得板片材的厚度信息,并将这些信息显示于微机控制屏幕上,构成板片材厚度分布。据此,由中央指令系统发出指令,微机操纵,随时进行调整。

## 7.7 线缆包覆挤塑模设计

用于电线电缆包覆成型、并赋予一定几何形状与尺寸的工艺装备,通称为线缆包覆挤塑模,或简称线缆包覆模。由于此种装备通常安装在挤塑机头部,进行包覆成型生产,故也有线缆挤塑成型机头之称。虽然,线缆包覆挤塑模属于环隙口模之列,但与前述管材模相比,熔体在环隙中除压力流之外,还有由于芯线连续牵引运动所引起的拖曳流动。

### 7.7.1 线缆包覆模结构类型

根据包覆对象的不同,通常有两种结构形式。

#### 1. 挤压式包覆机头

用于电线包覆成型的工艺装备,称为挤压式包覆机头,其典型结构如图 7.7-1 所示。具有一定压力的熔料进入机头体 10 中,绕过芯棒 2,汇合成一个封闭的熔料环后,经阻流环 11 和口模 15 最终包覆在芯线 5 上。此种机头特适合于多股导线包覆,熔体可渗入导线之间的空隙,使聚合物和导线间有良好的粘附效果。为了防止夹入空气引起质量缺陷,可采用抽真空予以帮助。

口模 15 与机头体 10 分为两体,芯棒 2 须与导向套 3 紧密配合,并与口模 15 共心。为此,调节螺钉 13 必不可少。改变(或更换)口模尺寸、挤出速度、芯线 5 的移动速度及导向锥 1 轴向位置,都将使电线包覆层厚度得到调整。口模成型段长度  $L$ ,为其内径  $D$  的  $1.0 \sim 1.5$  倍。导向锥 1 前端与口模 15 入口之间的距离取为  $1.0 \sim 1.5D$ 。

#### 2. 套管式包覆机头

多用于电缆包覆或已绝缘导线的“二次包覆”。套管式包覆机头的典型结构如图 7.7-2 所示,芯线导向棒 1 与机头体 7 构成桃形通道,导向棒 1 左端起芯模作用,与口模 6 构成一完整的熔体流动通道。塑料熔体在此通道中挤塑成管坯,借助芯线 2 轴向运动的拖曳,在口模 6 外靠管坯的热收缩(或抽真空),使其包覆在芯线上。包覆层厚度随口模尺寸、导向棒头部位置、挤出速度与芯线移动速度等变化而异。口模定型段长度  $L$ ,为口模出口直径  $D$  的  $0.5$  倍以下,  $M = 1.0 \sim 1.5D$ 。否则,螺杆背压过大,不仅产量低,而且会在电缆表面出现流痕,影响外观质量。

### 7.7.2 线缆包覆模结构设计

#### 1. 芯模几何设计

鉴于包覆层可达到的厚度分布,与流道分配系统几何形状的关系至关重要。实际上,此分配系统必须由不同流径长度,环绕芯模向前扩展,形成完整的圆环形熔体流道。要求

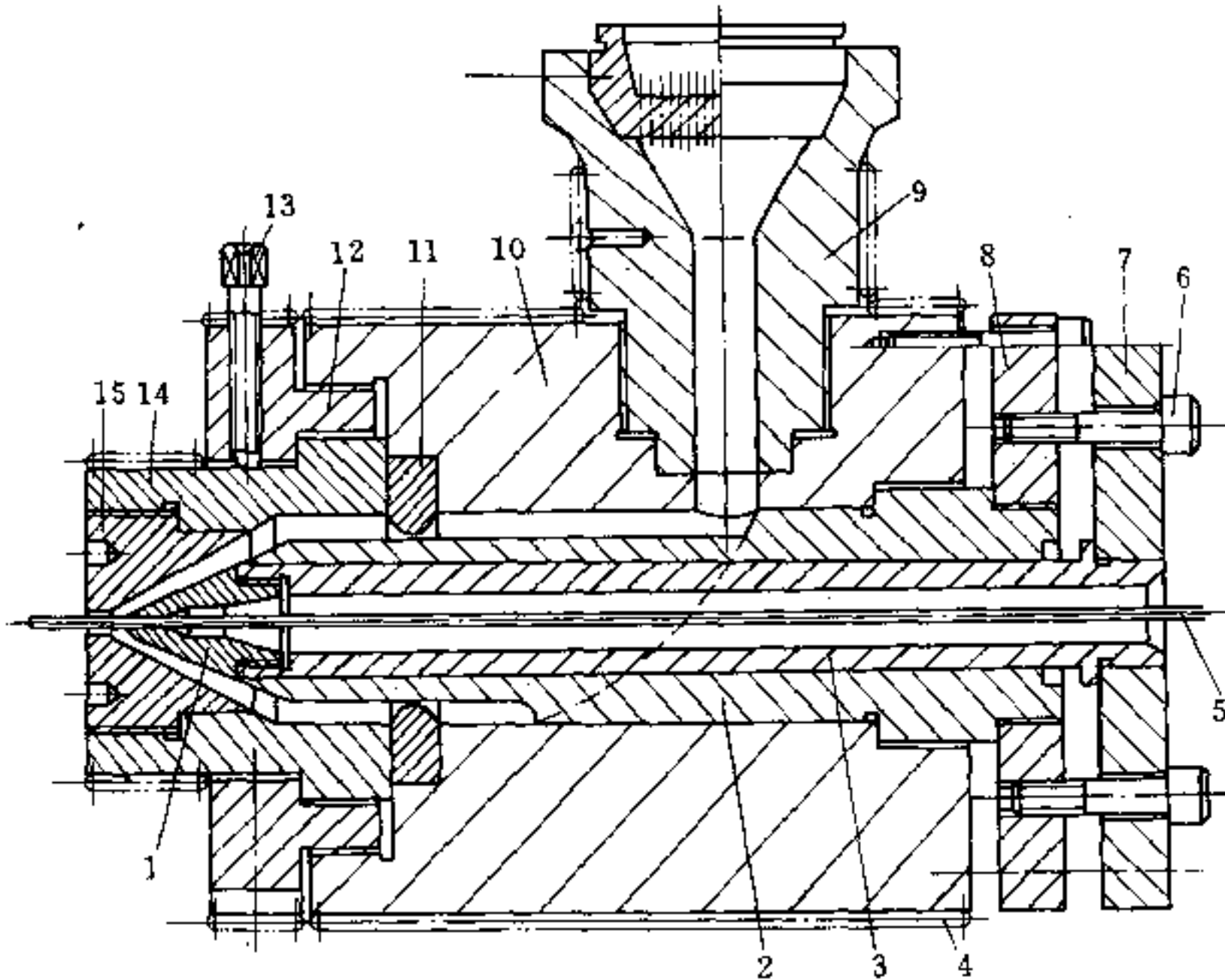


图 7.7-1 挤压式包覆机头

1—导向锥；2—芯棒；3—导向套；4—电热器；5—芯线；6—螺钉；7—挡板；8—支承板；  
9—机颈；10—机头体；11—阻流环；12—锁母；13—调节钉；14—口模体；15—口模。

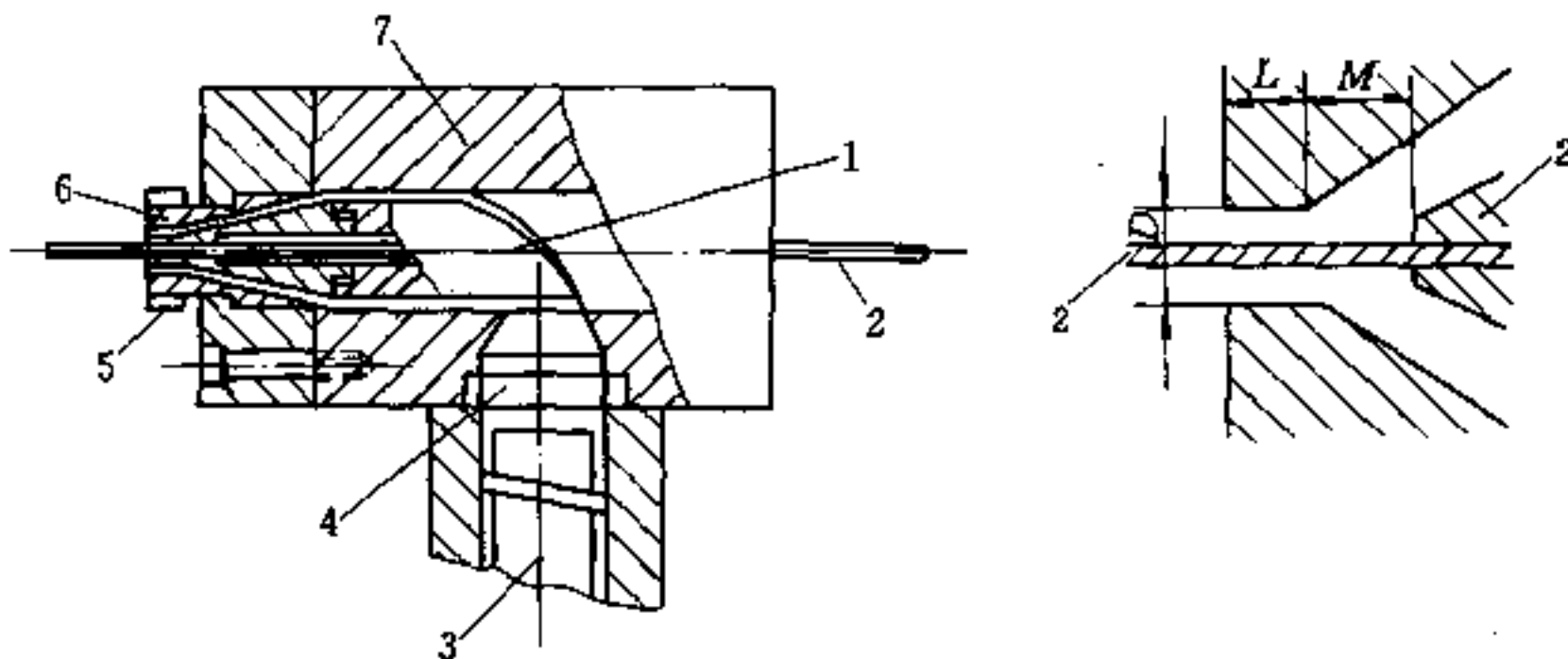


图 7.7-2 套管式包覆机头

1—导向棒；2—芯线；3—挤塑机；4—栅板；5—电热圈；6—口模；7—机头体。

熔体流经此流道后，在其被包覆的导线圆周上产生相同的流速，从而确保线缆包覆层具均匀的厚度分布。为达此目的，通常有如下三种芯模几何形状设计。

(1) 螺旋式芯模线缆包覆机头 如图 7.7-3 所示，从切向进入的塑料熔体，在此被引入螺旋形流道。其螺旋螺距连续减小，因而熔体的螺旋运动逐渐转变成轴向运动，以此达熔体沿轴向的均匀流动。

(2) 心形曲线线缆包覆机头 如图 7.7-4 所示，沿平行于芯模的斜刃面，将挤塑机供给的熔体，分成两股独立的熔体流。随后流道变宽，而深度变浅(见图 7.7-4(b))。位于斜刃面下方，并在内弧线 12 上延伸，流经心形部分 10 起补偿作用。此心形部分流动边缘长度尺寸的决定，要使内弧上熔体的流径与外弧、由弯曲边缘决定的流径大致相等，方能满足均匀性流动要求。

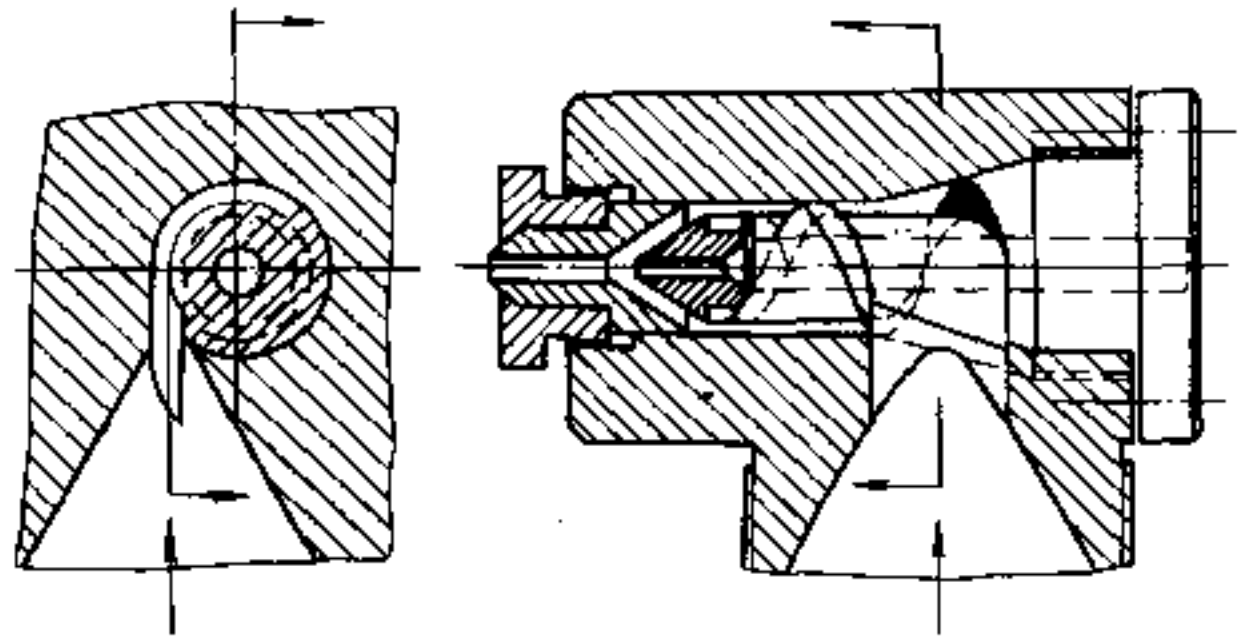


图 7.7-3 螺旋芯模线缆包覆机头

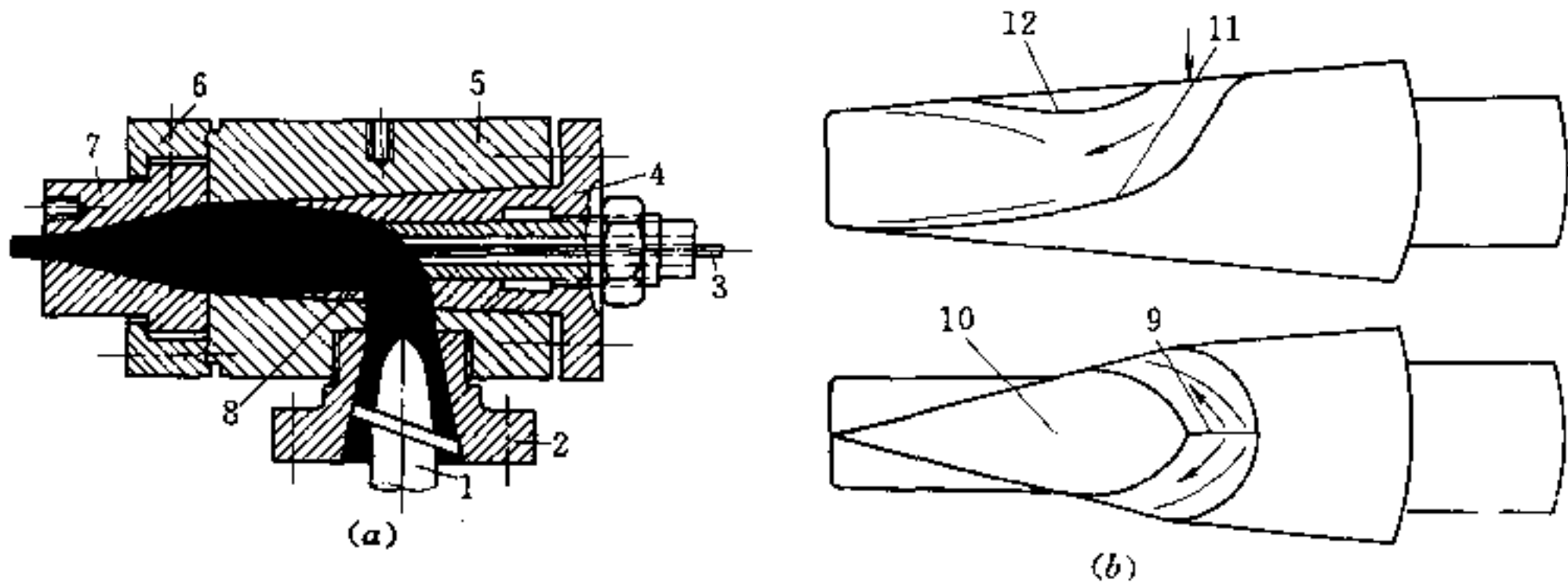


图 7.7-4 心形曲线线缆包覆机头

(a) 机头结构设计; (b) 芯模分配系统设计。

1—螺杆头; 2—机颈; 3—导线; 4—芯模; 5—机头体; 6—口模体; 7—口模;  
8—心形件; 9—分割棱; 10—心形部分; 11—外弧线; 12—内弧线。

(3) 双鱼尾形流道线缆包覆机头 其流道分配系统的原理如图 7.7-5 所示。来自挤塑机的塑料熔体, 首先分成两股分别进入两个半环状沟槽, 随后流入双鱼尾形流道, 使之形成轴向均匀流动。显然, 此种流道分配系统是“心形曲线”式的一种改良。

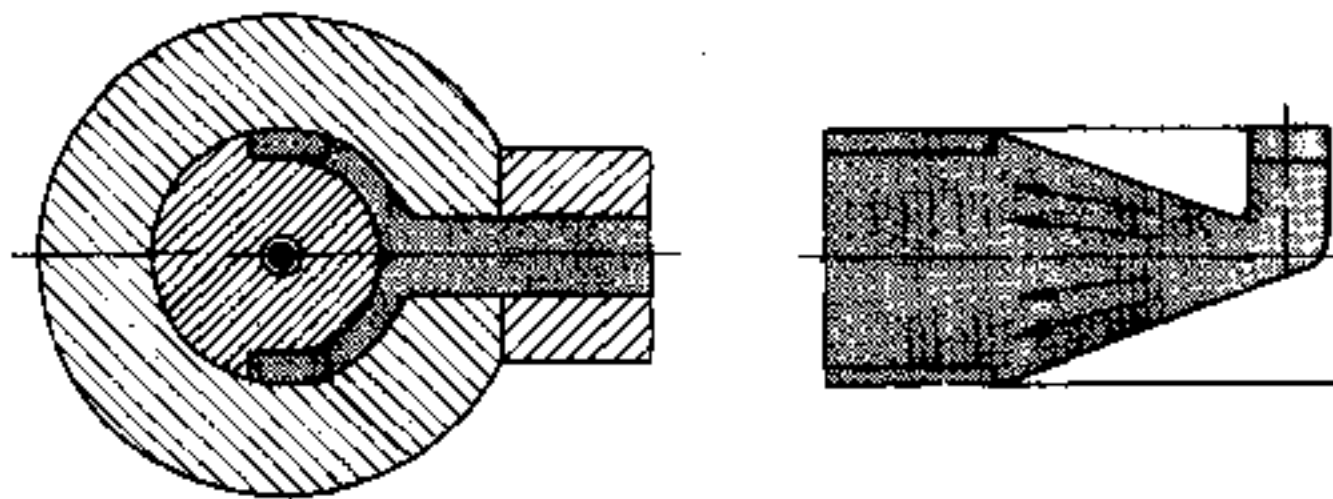


图 7.7-5 双鱼尾形流道分配系统

## 2. 流道锥角设计

在流道分配系统之后, 芯模和模套构成的圆环形间隙, 沿导线运动方向变窄, 导致熔体流速逐渐升高, 并力图使之与导线运动速度吻合。如果需要达到高的包覆速度, 则模芯和模套之间的夹角, 最好是恒定地变小直至包覆区。在此情况下, 便形成一所谓“喇叭形”流道, 它有助于抑制涡流, 使熔体被拉伸而更均匀。鱼雷体梢部(即导向锥)及模套, 通常是可更换的, 因而能用一个机头, 包覆多种不同规格的导线。

### 3. 导向锥间隙设计

在线缆包覆机头中,通常有高达 50MPa 的熔体压力。为了防止塑料熔体渗入导向锥内孔,芯线与鱼雷体梢部内孔间的间隙应很小,通常约为 0.05mm。但在套管式包覆机头中,此间隙可放大为 0.2 ~ 0.3mm。由于小直径导线的包覆速度极高,如电话线的包覆速度,通常为 800 ~ 1200m/min,最高可达 2400m/min。正是由于间隙小、导线速度高,故鱼雷体梢部的磨损特大。在某些情况下,应在鱼雷体梢部装有金刚石、硅酸铝或硬质合金的嵌件。当加工填充材料时,最好用耐磨材料制造所有的可更换零件,或采用耐磨嵌件。

### 4. 口模对中设计

虽然,理论上三个螺钉已足够,但通常采用数个螺钉,以改善圆周上的载荷分布。口模预对中机头如图 7.7-6 所示,对于此类机头,无需采取补充对中措施。此种机头的另一个优点是,当芯线通过内导向环 1 时,即已被一薄熔体所包围,从而导致磨损小、芯线与熔体间粘附性好。

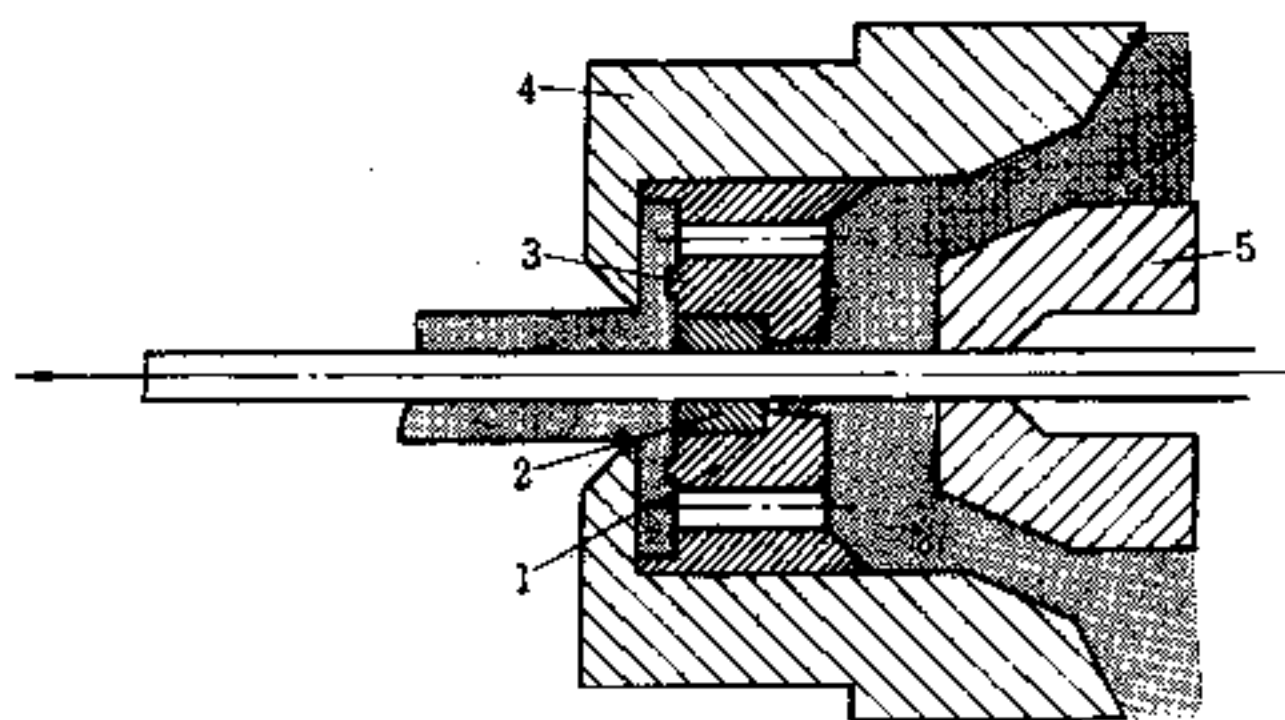


图 7.7-6 预对中挤压式包覆机头

1—内导向环;2—耐磨嵌件;3—阻力环;4—口模座;5—导向锥。

### 5. 口模形状设计

口模孔几何形状及成型段长度,对包覆速度及包覆质量具有重要影响。圆锥度较小、成型段较长的口模,能生产出外观质量较好的线缆。对于 SPVC,口模成型段长度为 0.2 ~ 2.0D,对于聚烯烃则为 2 ~ 5D。包覆产品质量受到机头尺寸的影响。若机头过大,则停留时间长;若机头过小,则因螺杆与口模间的机头“缓冲垫作用”不足,致使产品偏差过量。

## 7.7.3 芯模分配系统设计

根据芯模的几何形状,具有分配塑料熔体,沿轴向流动均匀的作用。因而定量地确定芯模几何形状,是塑料模设计师追求的目标。应该指出,仅当芯模直径比流道间隙尺寸大得多时,下述结论才适用。

### 一、圆柱形芯模分配系统尺寸

在此可借助于衣架机头流道设计的分析结论,视圆柱形芯模分配系统,是由分配歧管和狭缝阻流区组成。为此建立其流道分配模型,如图 7.7-7 所示,并假定符合:

(1) 塑料熔体从机头入口至口模出口的所有流径上,均具有相同的压力降,从而保持在整个出口的圆周上具有恒定的流速;



- (2) 熔体沿分配流道流动的每一个路径上, 具有恒定的剪切速率或表观粘度;  
 (3) 熔体流经每条路径所停留的时间大致相等, 或保持一特定的最大流速。  
 据此, 利用图 7.7-7 中的坐标, 推导出圆柱形芯模流道的尺寸关系如下:

1. 歧管半径及最大半径

$$R(\zeta) = R_0(\zeta/\pi)^{1/3} \quad R_0 = 0.95(rH^2)^{1/3} \quad (7.7-1)$$

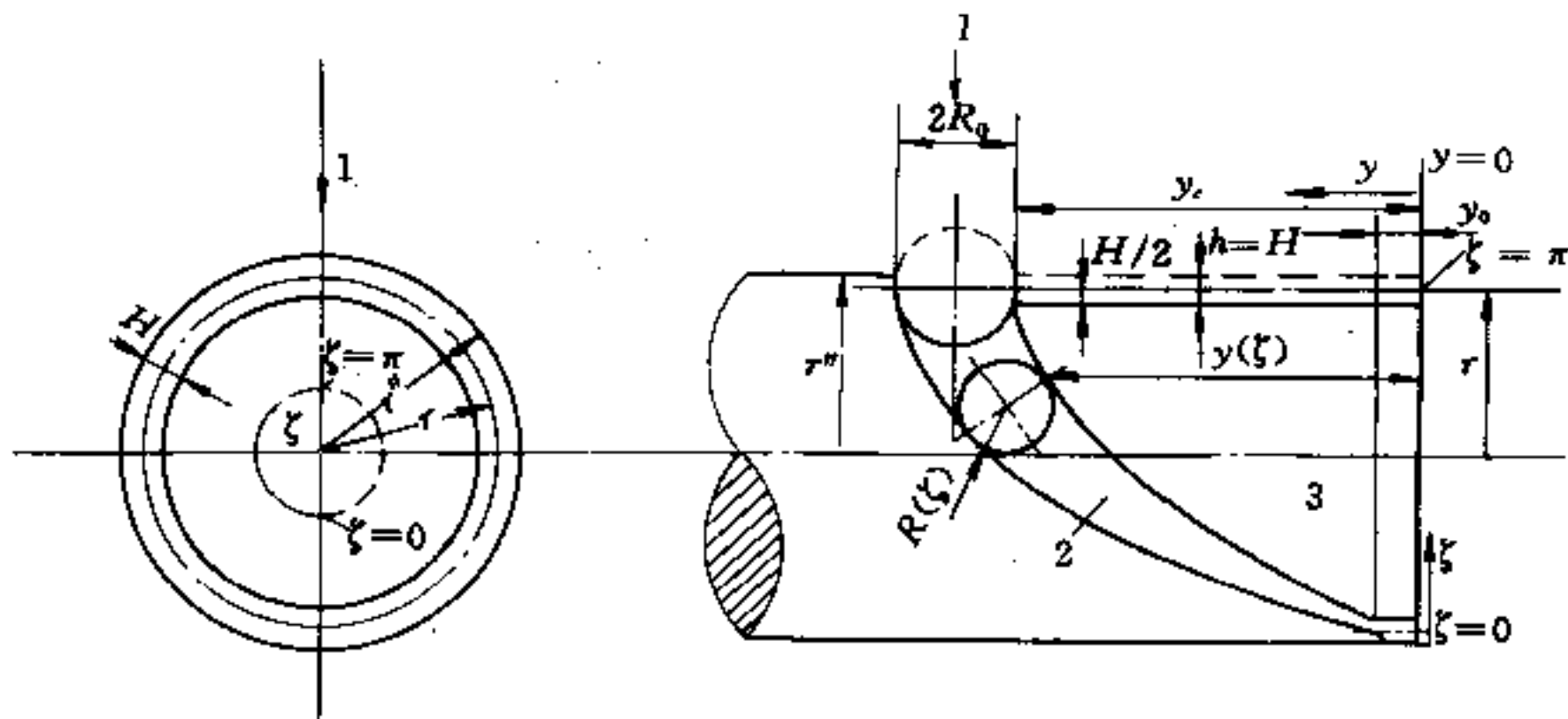


图 7.7-7 圆柱形芯模流道分配模型

1—熔体入口; 2—歧管; 3—狭缝阻流区。

2. 阻流区高度及最大高度

$$y(\zeta) = y_c(\zeta/\pi)^{2/3} \quad y_c = 4.3(Hr^2)^{1/3} + y_0 \quad (7.7-2)$$

3. 歧管与阻流区的表观剪切速率

$$\dot{\gamma}_R = \frac{1.038Q_0\zeta}{\pi R^3(\zeta)} \quad \dot{\gamma}_s = \frac{4.632Q_0}{\pi rH^2} \quad (7.7-3)$$

4. 歧管与阻流区的表观粘度

$$\eta_s = 4.632Q_0/(2\pi rH^2) \quad (7.7-4)$$

5. 总压力损失

$$\Delta P_{\text{总}} = \frac{12Q_0\eta_s(y_c + y_0)}{\pi rH^3} \quad (7.7-5)$$

6. 熔体平均停留时间

$$t \approx \frac{\pi rH(y_c + y_0)}{Q_0} \quad (7.7-6)$$

图 7.7-8 为圆柱形芯模流道设计程序流程图。当给定芯模半径  $r$  时, 必须按左侧路线进行。

## 二、截锥形芯模分配系统尺寸

截锥形芯模流道分配模型, 如图 7.7-9 所示。如果要求在分配系统中有恒定的剪切速率, 则在阻流区沿流动方向上的缝隙高度, 就必须增加。

据此, 经推导可得如下设计关系式:

1. 阻流区表观剪切速率

$$\dot{\gamma}_s = \frac{4.632Q_0}{\pi r(y)h^2(y)} \quad (7.7-7)$$



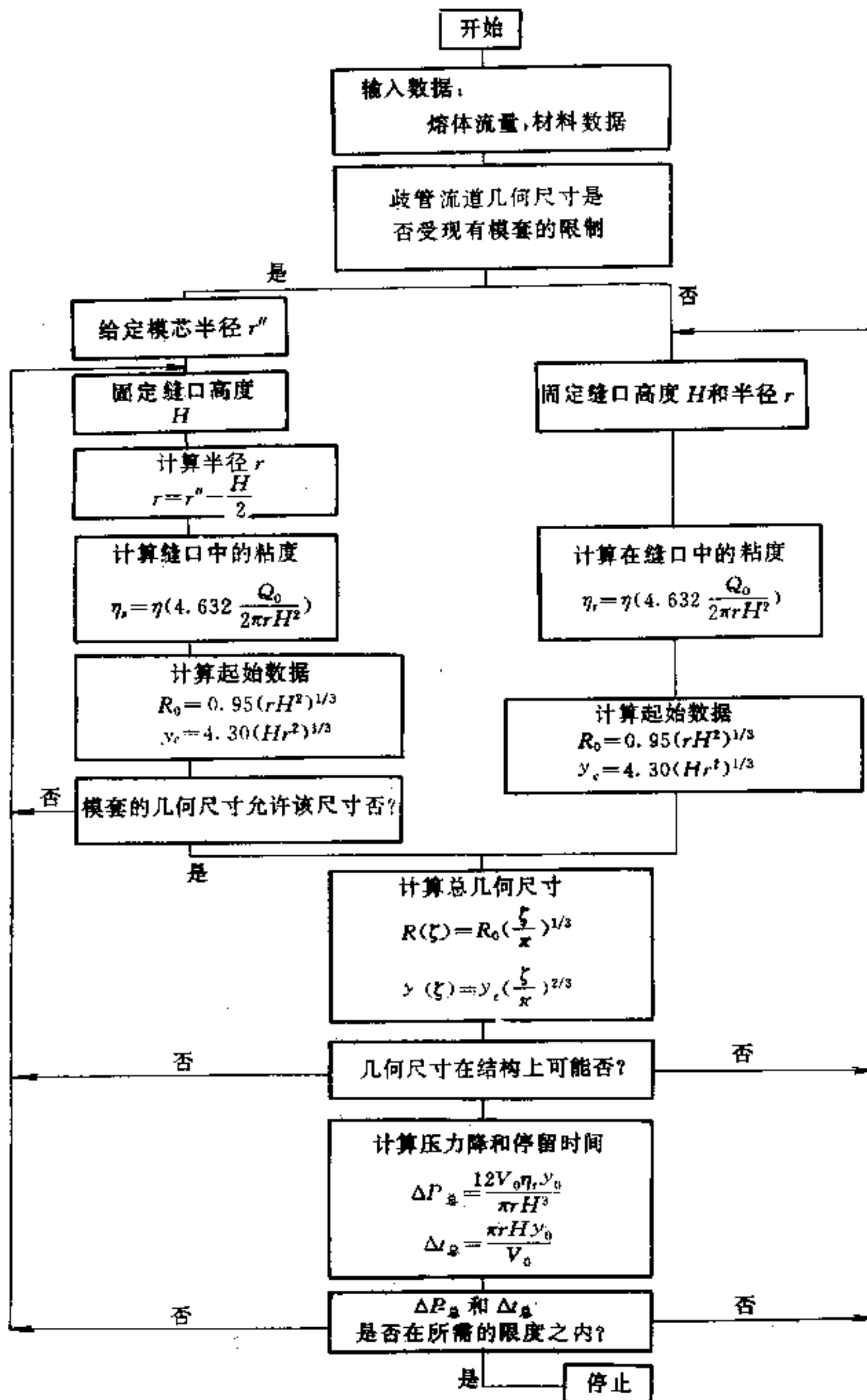


图 7.7-8 圆柱形芯模分配系统设计程序

## 2. 狭缝间隙与芯模尺寸

$$h(y) = \sqrt{\frac{r_{\min}}{r(y)}} h_{\max} \quad (7.7-8)$$

$$r(y) = r_{\min} + y \sin \alpha \quad (7.7-9)$$

$$r'_{\max} = r_{\min} + (2R_0 + y_0) \sin \alpha + \frac{h_{\max}}{2} \cos \alpha \quad (7.7-10)$$

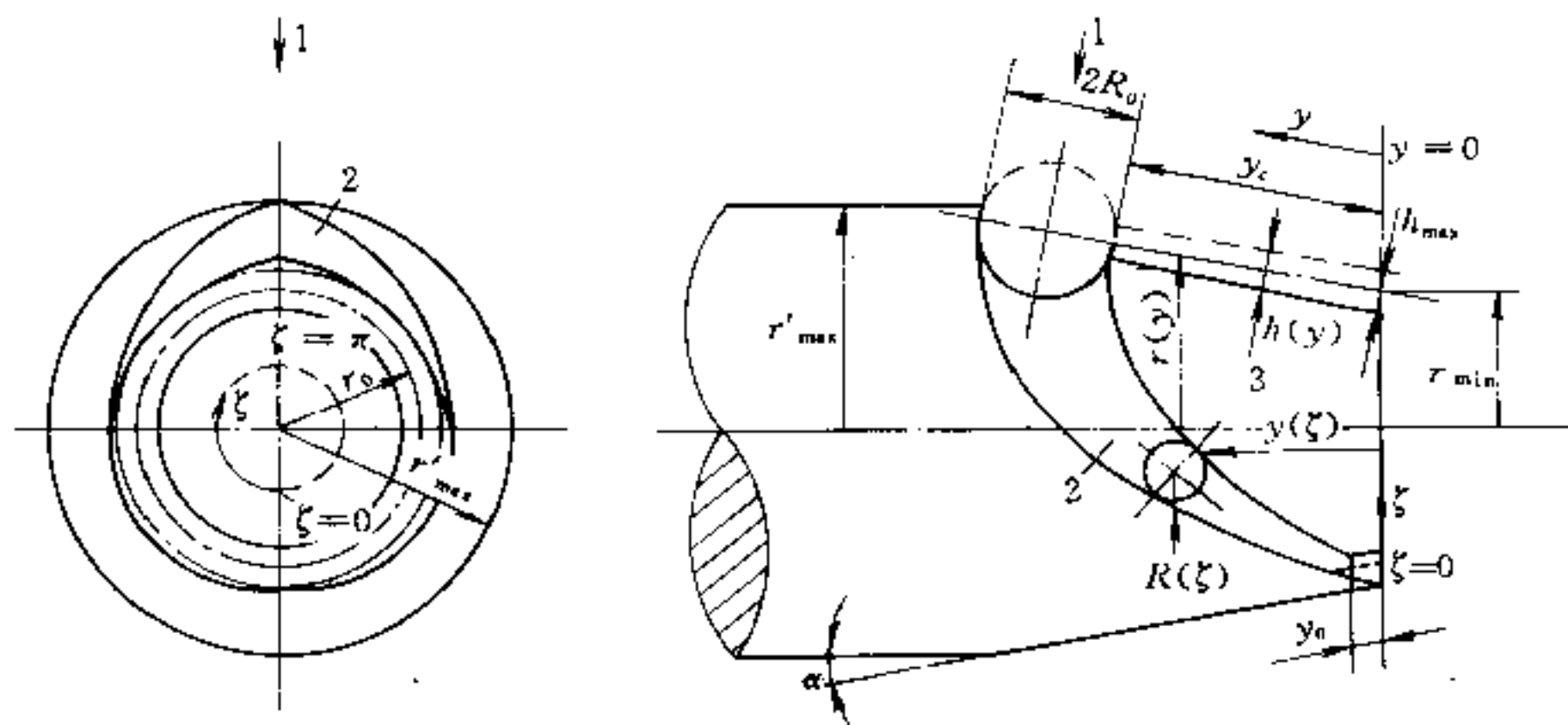


图 7.7-9 截锥形芯模流道分配模型

1—熔体入口;2—歧管;3—狭缝阻流区。

## 3. 歧管半径与最大半径

$$R(\zeta) = R_0 \left( \frac{\zeta}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad R_0 = 0.95 (r_{\min} h_{\max}^2)^{\frac{1}{3}} \quad (7.7-11)$$

## 4. 阻流区高度及最大高度

$$y(\zeta) = \left( \frac{\zeta}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \left[ \frac{\pi^{\frac{1}{3}} \zeta^{\frac{2}{3}} h_{\max}^3 r_{\min} \sin \alpha + 4R_0^4}{\pi h_{\max}^3 r_{\min} \sin \alpha + 4R_0^4} \right] (y_c + y_0) \quad (7.7-12)$$

$$y_c = h_{\max}^{\frac{1}{3}} r_{\min}^{\frac{1}{3}} (6.29 h_{\max}^{\frac{1}{3}} \sin \alpha + 5.016 r_{\min}^{\frac{1}{3}}) \quad (7.7-13)$$

## 5. 流道中的压力损失

$$\Delta P_{\text{总}} = \frac{8}{\sin \alpha} \cdot \frac{Q_0 \eta_s}{\pi h_{\max}^3 r_{\min}^{\frac{3}{2}}} \left[ (r_{\min} + (y_c + y_0) \sin \alpha)^{\frac{3}{2}} - r_{\min}^{\frac{3}{2}} \right] \quad (7.7-14)$$

## 6. 熔体在流道中的平均停留时间

$$t \approx \frac{2}{3 \sin \alpha} \frac{\pi r_{\min}^2 h_{\max}}{Q_0} \left[ (r_{\min} + (y_c + y_0) \sin \alpha)^{\frac{3}{2}} - r_{\min}^{\frac{3}{2}} \right] \quad (7.7-15)$$

如图 7.7-10 为截锥形芯模分配流道设计程序,类似于图 7.7-8 中的程序。

## 7.7.4 交联聚乙烯线缆包覆模设计

交联聚乙烯电线电缆,以其固有的优异性能,业已受到普遍关注。但用于其包覆成型的挤塑模设计,有其特殊要求。借助在流道中设置“剪切缝”所具有的特殊效果,就是交联聚乙烯包覆模设计的技术关键。

具有“剪切缝”的线缆包覆模结构,如图 7.7-11 所示。添加有过氧化物作为交联剂的聚乙烯,在挤塑机中约 130℃ 便可熔融和塑化。随后便进入挤塑模流道中,经歧管区 III 分配流道转向后,被迫通过一窄锥形缝(即“剪切缝”)的剪切区 II。熔体在此受到高剪切而产生粘滞热,致使温度急剧上升,过氧化物分解,并引发交联反应,使线缆包覆过程得以连续进行。而在此过程中,口模区 IV 只能有少量交联(最高为 3%)。

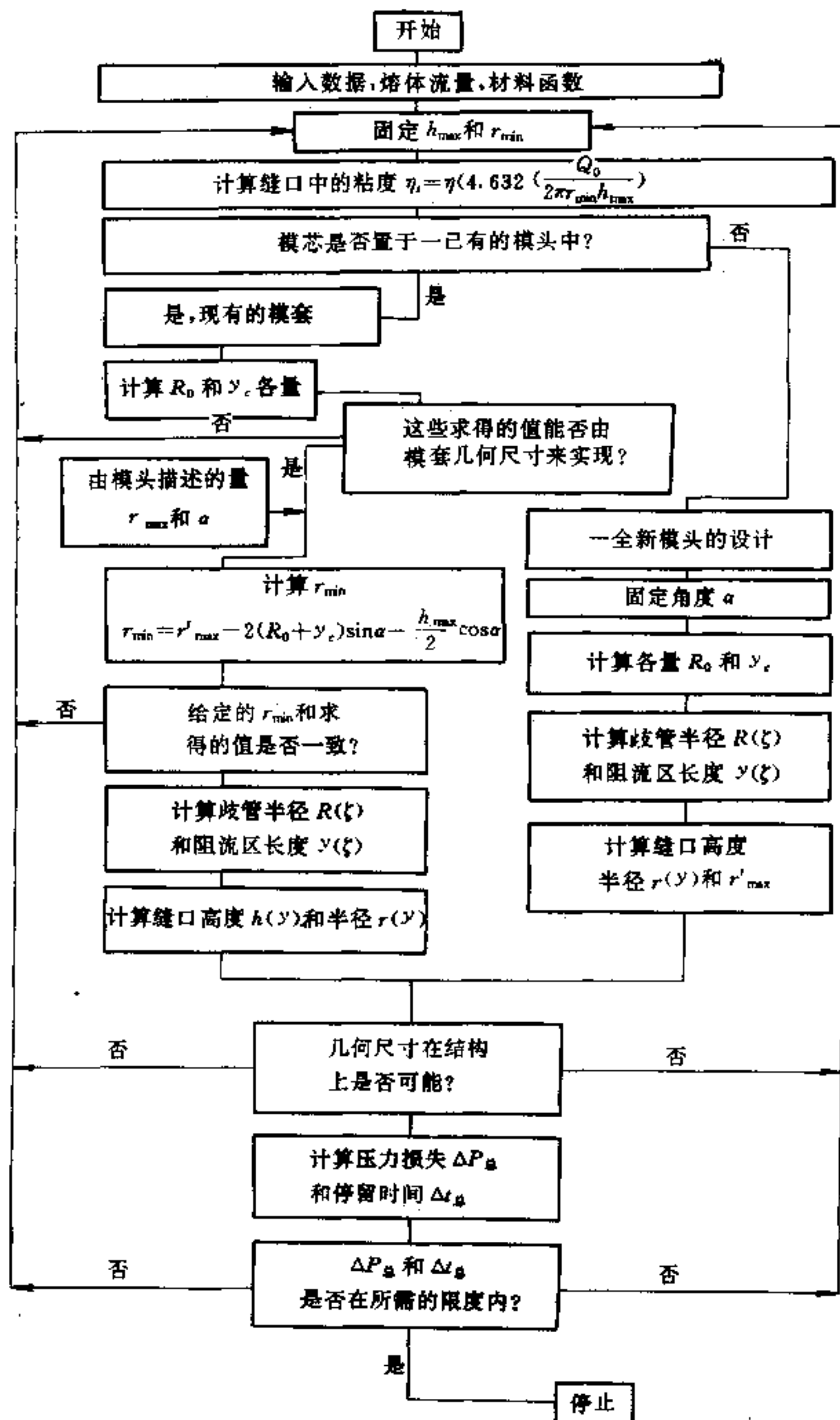


图 7.7-10 截锥形芯模分配流道设计程序

基于此, 交联聚乙烯包覆模设计的第一步首先是计算剪切区中熔体的速度分布、剪切速率、温度分布、停留时间和压力损失。这样的计算方法, 已在第 7.2 节中详述。有人用计算机程序模拟“剪切缝”中的条件, 并分析了如图 7.7-12 所示的狭缝剪切区, 其几何尺寸见表 7.7-1。模拟分析结果, 在剪切终了处(即 E 点)熔体温度分布如图 7.7-13 所示。正如所料, 在受到最强烈剪切的、接近模壁层的温度为最高。挤出量较高时的边界层, 比挤出量

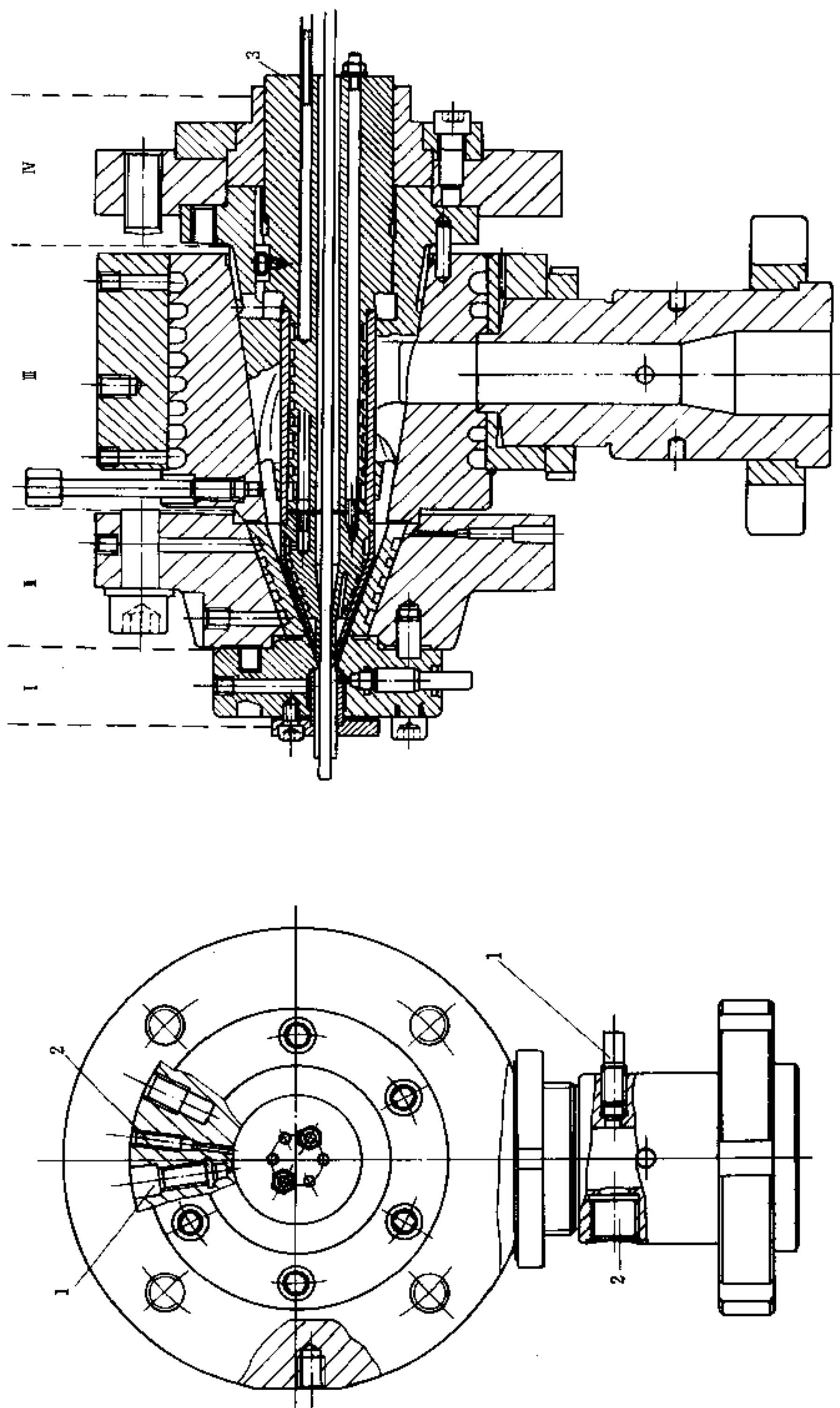


图 7.7-11 具有剪切缝的线缆包覆模

I—芯模调整区; II—歧管区; III—剪切区; IV—口模区。  
1—压力传感器; 2—温度探测器; 3—芯模温度控制。

较低时受热更多。因为熔体流速高,在剪切缝中停留时间短,温升仅能局限于这些层。熔体流速较低时,情况就不相同。虽然由剪切引起的、边界层中的温升峰值较小,但由于熔体停留时间长,允许有较多的热量传至内层。

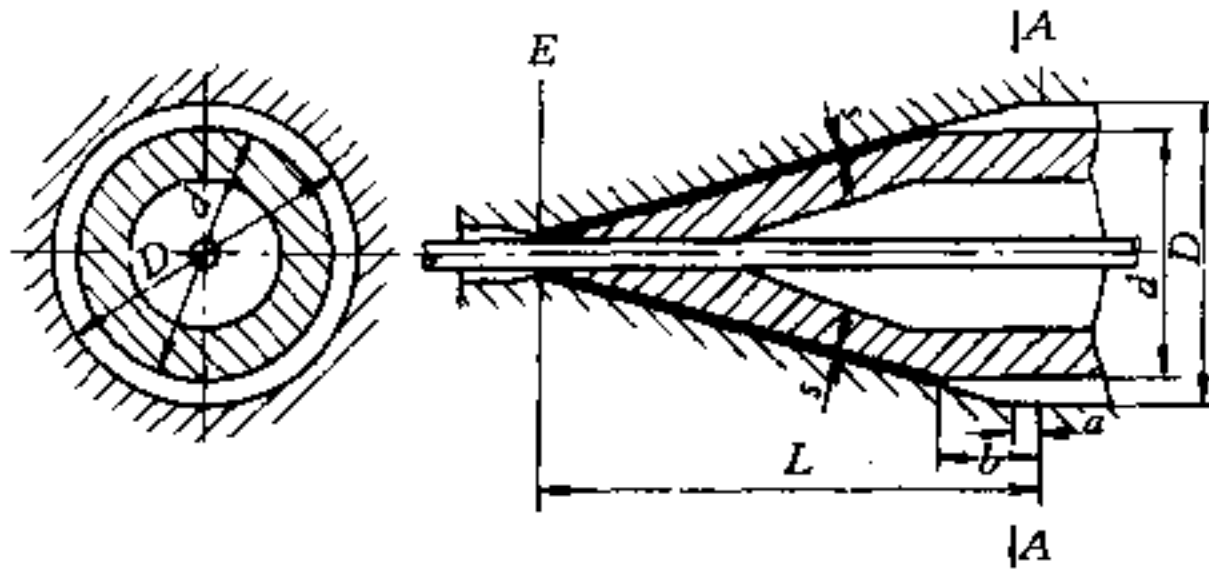


图 7.7-12 模拟考察中剪切缝几何尺寸示意

表 7.7-1 模拟考察中剪切缝的几何尺寸(mm)

剪切狭缝	D	d	L	a	b	s
1	60	50	100	5	25	0.8
2	60	50	80	7	20	0.8
3	80	50	160	4	20	1.1

温度分布和停留时间,决定了线缆包覆过程中交联反应的进程。因为在此,这两个参数存在有最大值。所以,在接近模壁的边界层中,首先须达到临界转变。这是此类包覆模设计的首要条件。图 7.7-14 表明,不同模壁温度对剪切終了处(E 点),可达到的熔体平均温

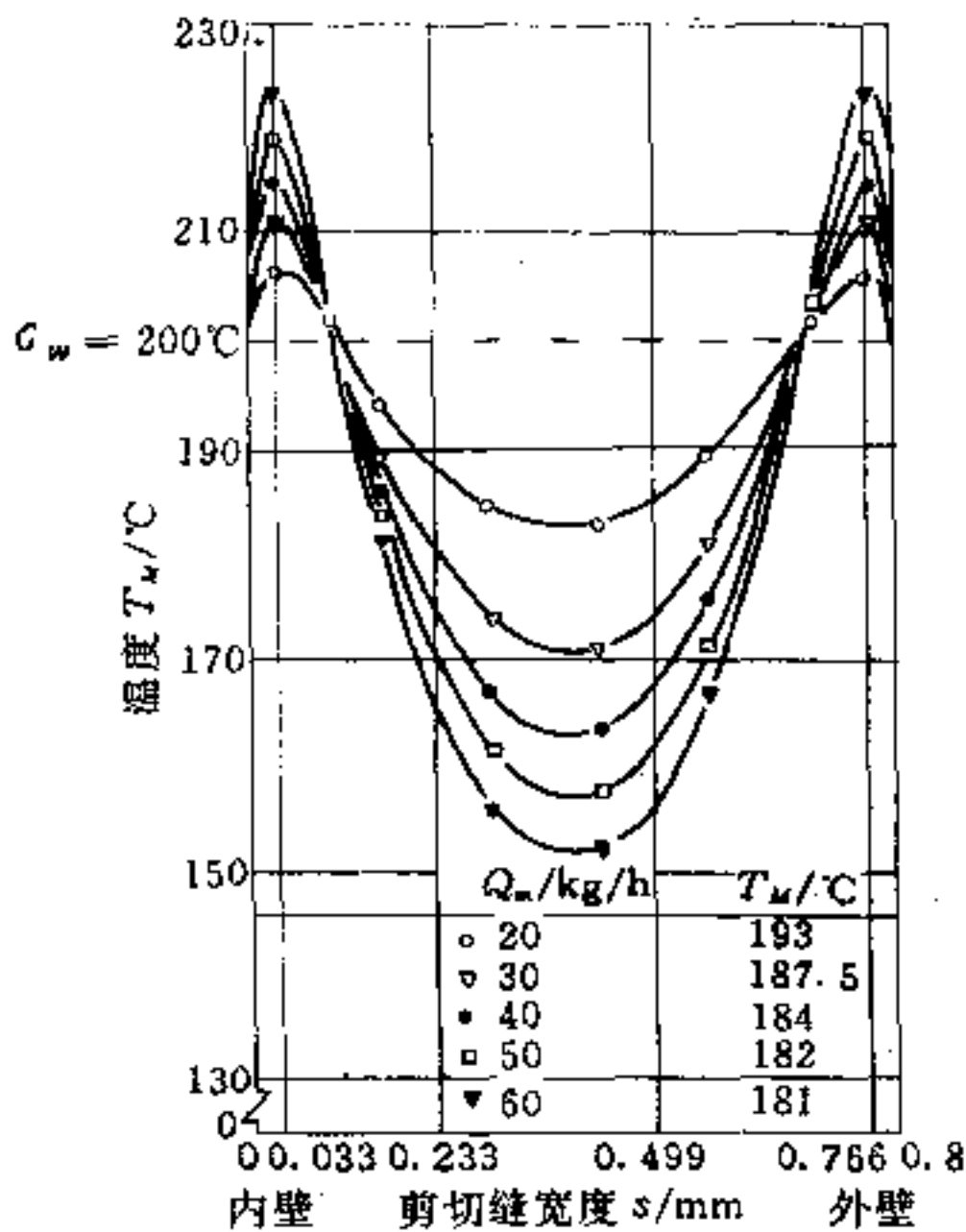


图 7.7-13 剪切缝 1 计算的温度分布

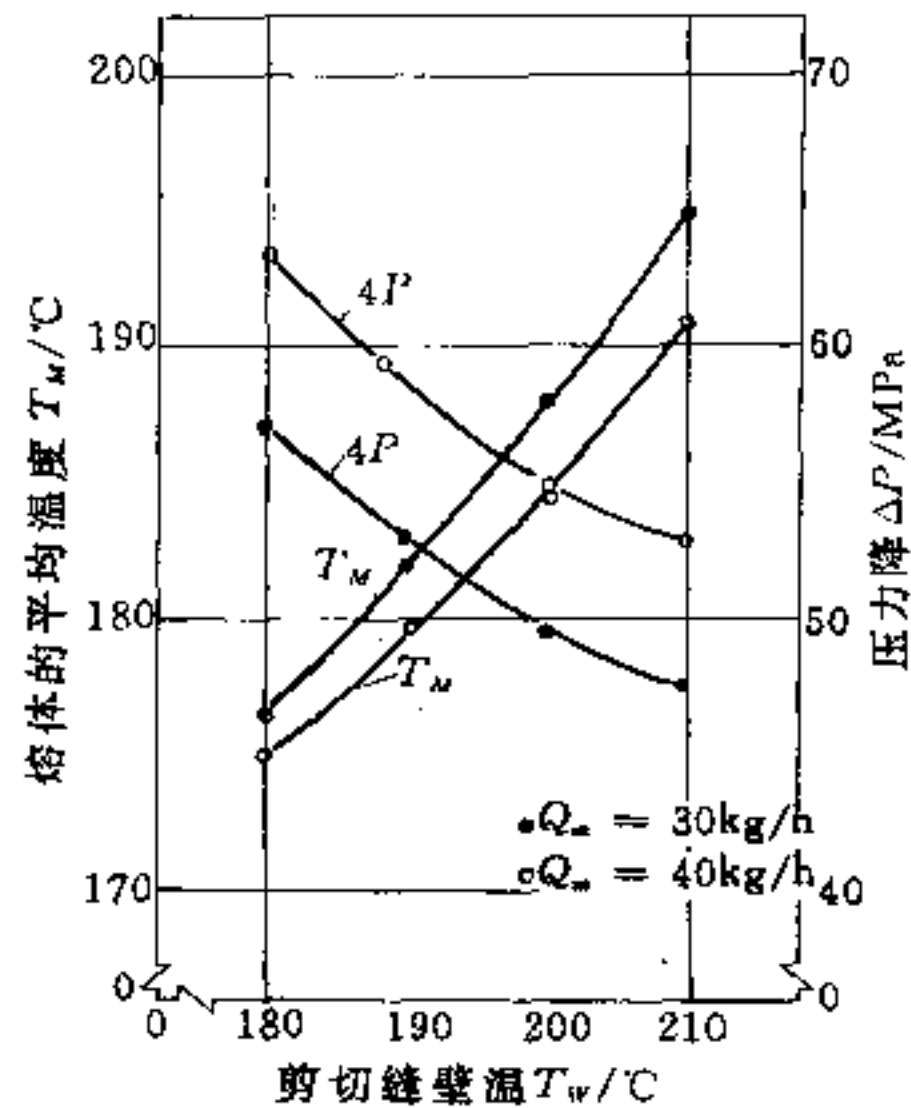


图 7.7-14 模壁温度  $T_w$  和挤出量  $Q_m$  对剪切缝 1 中  $T_m$  和  $P$  的影响

度,以及对两种不同挤出量所预期压力损失的影响。

以这样的计算结果为依据,在所选定的剪切缝和操作条件下,就可期望以最大温度升高和最少的压损失为度,而不至于超过规定的交联度。在设计具有剪缝的线缆包覆模中,要直接考虑这些研究成果。

## 7.8 异型材挤塑模设计

现代塑料制品生产中,已从单一技术逐步向着复合技术方向发展,尤以挤塑成型技术为甚。迄今已发展到用塑料与橡胶、钢材、木材、纤维、无机材料等复合挤塑成型。这种复杂的异型材与复合挤塑成型,以其独特的技术生产出独特的产品。塑料异型材与复合型材,以其固有的优异性能,广泛应用于建筑、汽车、电子等工业部门,且其需求量还在不断扩大。

### 7.8.1 异型材分类及设计原则

按异型材截面特征,可将异型材分成如图 7.8-1 所示 7 大类。分节异型材,是指不同颜色材料共挤复合异型材;镶嵌异型材,是指塑料与金属、木材、纤维织物等共挤镶嵌在一起的异型材。

异型管材	中空异型材	隔塞式异型材	开放式异型材	分节异型材	镶嵌异型材	实心异型材
					 螺旋弹簧	
					 纤维带	
					 铝箔	
					 型钢	
					 多股绞合金 属丝	

图 7.8-1 异型材分类图

虽然,不同类型异型材,其挤塑模流道和定型模结构,可以显著不同。但对塑料异型材的设计,仍应遵循如下原则。

(1) 塑料异型材断面很难达到高精度。在满足使用要求的前提下,以选用低精度为宜。具体可选用部颁标准 SJ1372-78 的 7 级或 8 级,或选用国家标准 GB/T-14486-93 中的 MT5 或 MT6 级,最低为 MT7 级。

(2) 塑料异型材表面粗糙度,主要取决于模具流道和定型模的粗糙度。其次还与塑料品种及模温控制精度有关。一般取  $R_a = 0.8$  为宜,透明材  $R_a < 0.6$ 。

(3) 塑料异型材断面形状,力求简单,呈对称布置,且壁厚均匀,以利于挤塑成型和冷却定型。

(4) 塑料异型材壁厚,必须处处均匀。这是挤塑模设计取得成功的关键。常用 RPVC 异型材,其最小壁厚为 0.5mm,最大为 20mm。但具有商品价值的壁厚应为 1.2 ~ 4.0mm。

(5) 塑料异型材断面转角处,必须圆弧过渡。外侧转角圆弧至少为 0.4mm 或壁厚的 1/2。同一部位的内处侧转角圆弧,以取同心圆弧过渡为好。在条件允许下,以尽可能大的圆弧过渡为佳。

(6) 在中空异型材内部,若须设置具有功能作用的隔腔或加强筋时,其厚度必须小于型材壁厚的 20%。否则,筋或隔腔将发生挠曲变形,难以起到预定功能的作用。筋或隔腔的间距不能过小,并防止非对称布置,以有利于模具的结构设计。

(7) 在设有筋或隔腔背侧表面,常常会出现凹陷条痕。在设计异型材时,应有意识地在该部位,设计若干沿条痕方向的掩饰花纹。

(8) 在确定异型材尺寸及规格时,须考虑机组的生产能力。对此,可参考表 7.8-1。

表 7.8-1 异型材机组及其产量上限(kg/ m)

塑料品种	ABS	CA/CAB	HDPE	LDPE	PMMA	PP	PS	RPVC	SPVC
螺杆 L/D	20	20	25	25	25	25	20	20	20
螺 杆 直 径	45	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.26	0.36	0.30
	65	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70
	90	2.80	2.00	1.50	2.30	1.50	1.50	2.00	1.60
	120	4.50	2.70	2.70	3.50	2.80	2.70	3.20	2.30

## 7.8.2 异型材机头类型

异型材机头几乎都是轴向供料的。在通常情况下,根据成型塑料品种、型材大小及截面形状复杂程度的不同,异型材机头有以下三种类型。

### 1. 孔板式机头

如图 7.8-2 所示,由一模座和一口模板组成。口模板能容易而迅速更换,适用于小规

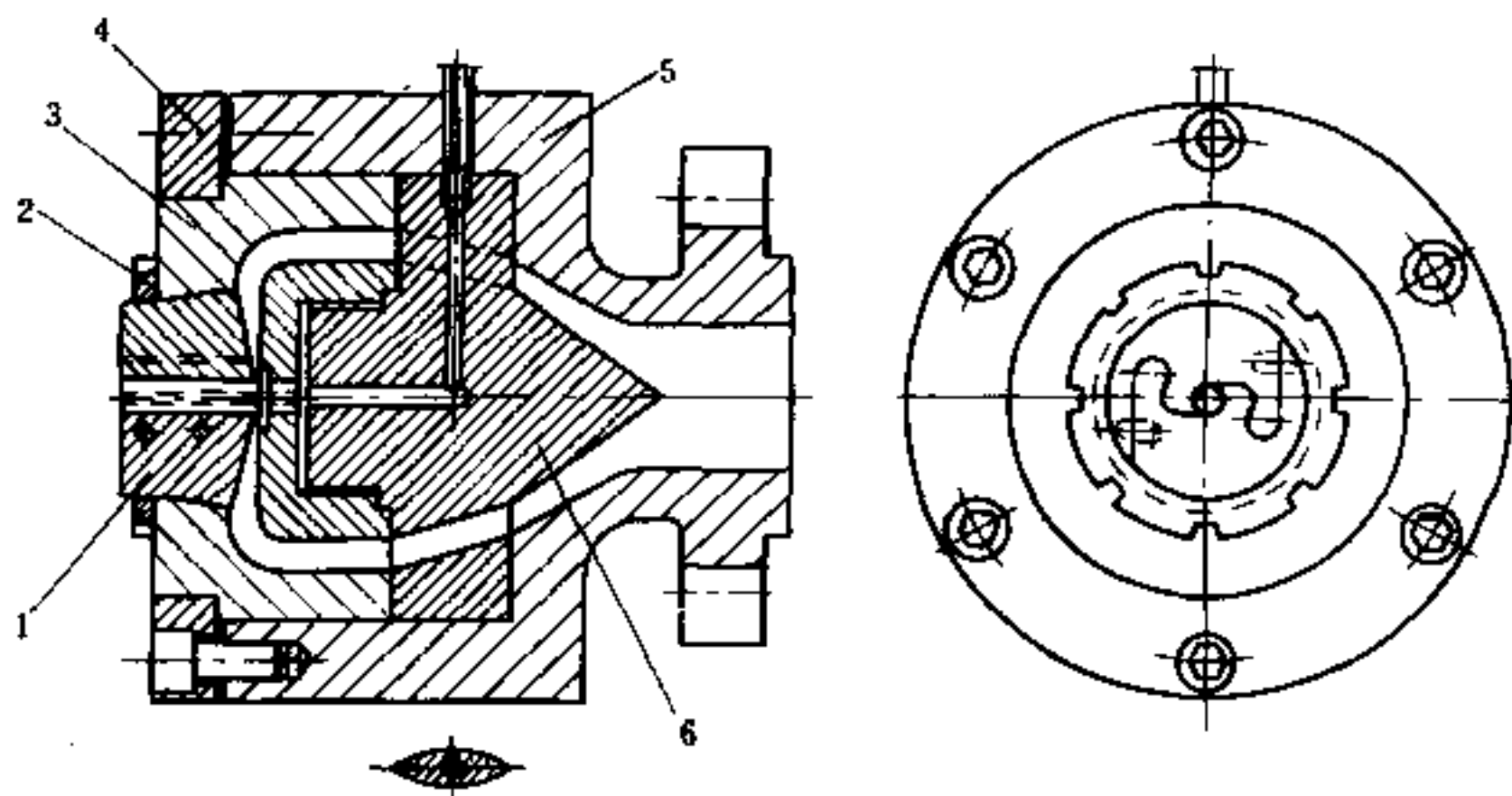


图 7.8-2 孔板式机头

1—口模板;2—锁紧螺母;3—模座;4—压环;5—模体;6—鱼雷体。

格、小批量、多品种的异型材生产。但由于在这种口模内存在有横截面的急剧变化,易引起局部滞料、发生热分解或烧焦。此外,型材也难以达到高的尺寸准确性。目前多用于软聚氯乙烯型材的小批量订货和广泛用于橡胶密封型材加工。

## 2. 多级式机头

如图 7.8-3 所示,流道的逐渐变化,是由多块孔板经串联构成。每块孔板经单独加工其外形,且其走向平行于每一块孔板的轴线;仅于每块孔板的入口边缘具有倒角。此种机头的流道加工,虽简便易行,但仍不能适应热敏性塑料,如聚氯乙烯等的加工。

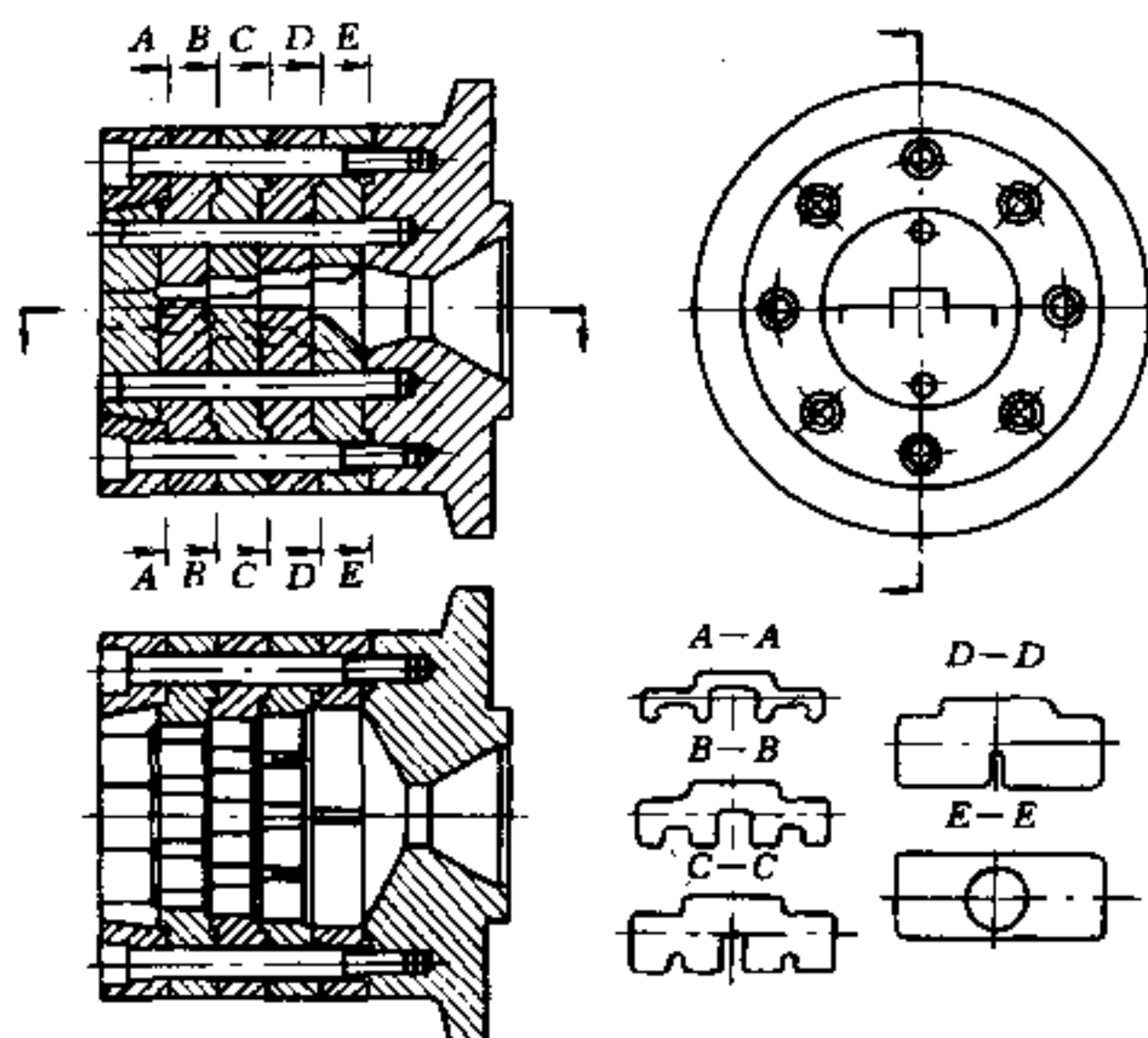


图 7.8-3 多级式机头

## 3. 流线型机头

如图 7.8-4 所示,整个流道无任何“死点”,截面逐渐减小,直至成型区达恒截面。这样的机头流道,熔体无滞留点,且流速恒定增加,能获最佳型材质量。但机头流道加工较苛刻,须经过特殊加工整体制成。

### 7.8.3 异型材机头结构设计

在设计如图 7.8-1 所示异型材的挤塑成型模具时,最重要的是口模形状与尺寸。以此为主要线索,现举例说明如下。

#### 一、口模尺寸

异型材制品既有厚薄一致的,也有各部分厚薄不一致的。因此,要区别情况作不同的设计。壁厚各处不一致者,情况相当复杂。对此,视具体条件,须做出若干简化处理,即便如此,要做出恰如其分的设计,也会有很大的困难;甚至在某些情况下存在有不可能性。因此,可以预见设计异型材机头,仍包含有很大程度的经验性,相当分量的经验存在于实际模塑工作者中。

#### 1. 口模长度

图 7.8-5 所示为壁厚一致的异型材口模形状,各截面均可视为是狭缝形口模的一种。



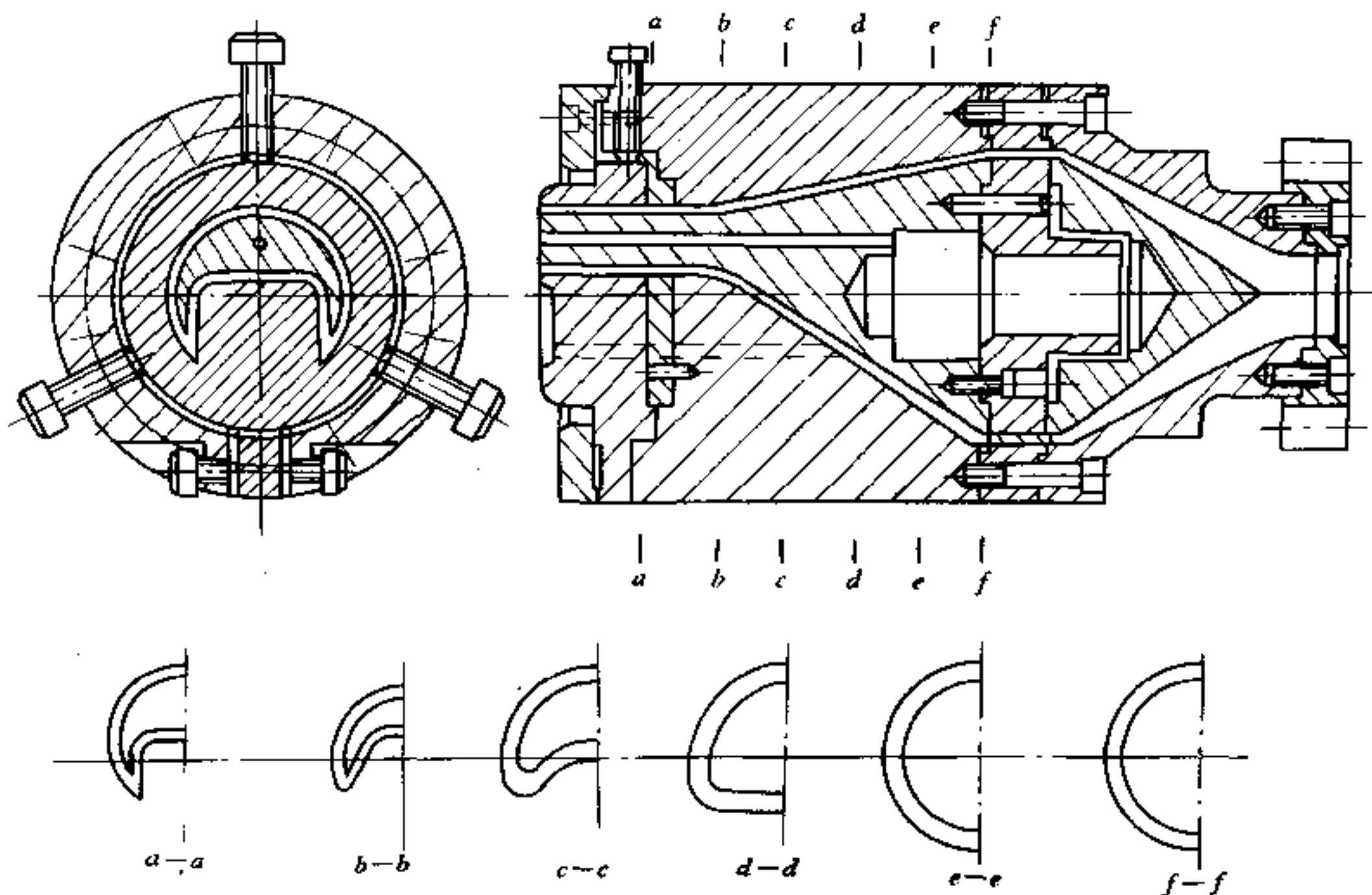


图 7.8-4 流线型机头

根据式(2.6-8b), 其口模成型段长度可按下式计算确定

$$L = \frac{\Delta P}{2K''} \left( \frac{W}{bQ} \right)^n H^{2n+1} \quad (7.8-1)$$

式中几何参数  $H = R_0 - R_i$ ,  $W$  的计算方法详见表 7.8-2, 材料幂律参数  $K''$ 、 $n$  值, 见附录表 18.1-2。

工艺参数  $P$  值, 视塑料品种及异型材截面复杂程度不同, 一般可在 10 ~ 35MPa 间选取; 体积流量  $Q$ , 须由式(2.4-12) 或式(7.4-6) 计算确定。

当材料幂律参数不可得时, 口模成型段长度  $L$ , 也可由表 7.8-3 中的经验数据估算确定。但无论用何方法取值,  $L$  的最大长度不应超过 80 ~ 90mm。

表 7.8-2 几何参数  $W$  的计算方法

几何图形	计算公式
见图 7.8-5(a)	$W = \pi(R_0 + R_i) = 3.14(R_0 + R_i)$
见图 7.8-5(b)	$W = \pi(R_0 + R_i)/2 - 1.57(R_0 + R_i)$
见图 7.8-5(c)	$W = W_1 + W_2$
见图 7.8-5(d)	$W = 4(R_0 + R_i)$
见图 7.8-5(e)	$W = 3.46(R_0 + R_i)$
见图 7.8-5(f)	$W = W_1 + W_2 + W_3$
见图 7.8-5(g)	$W = W_1 + W_2 + W_3$
见图 7.8-5(h)	$W = \pi(R_0 + R_i)/2 + 2R_i = 1.57R_0 + 3.57R_i$
见图 7.8-5(i)	$W = (R_0 + R_i)(\theta + \sin\theta), \cos\theta = 2R_i/(R_0 + R_i)$
见图 7.8-5(j)	$W = \pi(R_0 + R_i) + 2R_i = 3.14R_0 + 5.14R_i$
见图 7.8-5(k)	$W = \pi(R_0 + R_i) + 4R_i = 3.14R_0 + 7.14R_i$
见图 7.8-5(l)	$W = \pi(R_0 + R_i) + W_1 = 3.14(R_0 + R_i) + W_1$
见图 7.8-5(m)	$W = 1.57R_0 + 3.57R_i + W_1 + W_2$
见图 7.8-5(n)	$W = \pi(R_0 + R_i) + 4R_i + 2[6.5R_0 + 2(R_0 - R_i)] = 20.1R_0 + 3.1R_i$

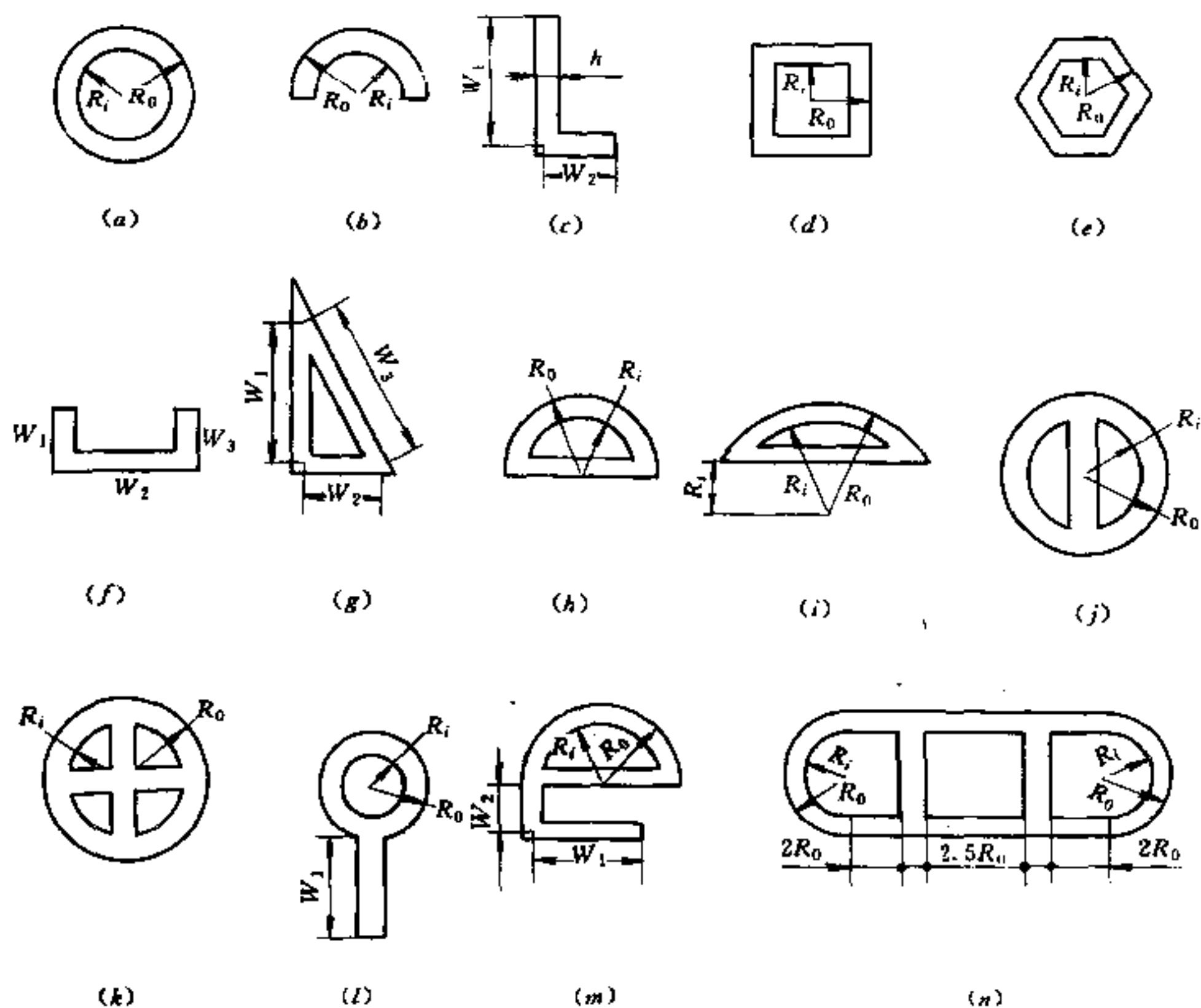


图 7.8-5 若干可视为狭缝形口模的截面形状

表 7.8-3 异型材机头设计经验数据

塑料名称	CA	EC	PE	RPVC	SPVC	其他
$L/H$	17 ~ 22	4 ~ 10	14 ~ 20	20 ~ 50	5 ~ 11	30 ~ 40
$H_i/H$	0.70 ~ 0.90	—	0.85 ~ 0.90	1.10 ~ 1.20	0.83 ~ 0.90	—
$A_i/A$	1.05 ~ 1.15	—	0.85 ~ 0.95	0.80 ~ 0.93	0.80 ~ 0.90	—
$B_i/B$	0.80 ~ 0.95	—	0.75 ~ 0.90	0.90 ~ 0.97	0.70 ~ 0.85	—

## 2. 径向尺寸

确定口模径向尺寸是一大难题。因为口模膨胀、牵引和工艺因工件波动等因素的影响,致使口模间隙  $H$  不可能是异型材壁厚  $H_s$ 。中空异型材高度  $B_s$ 、宽度  $A_s$ , 与其相应的口模径向尺寸  $B$  和  $A$  亦均有差别。由于理论计算难度很大,在工程上多凭经验确定。对此,表 7.8-3 可供参考。

## 二、机头结构参数

### 1. 扩张角 $\alpha$

当异型材截面高度小于机筒内径,而宽度大于机筒内径时,机头过渡体内腔的扩张角  $\alpha$  应控制在  $70^\circ$  以下。对于 RPVC 等热敏性塑料应控制在  $60^\circ$  左右为好。

### 2. 压缩比 $\epsilon$

和管材模一样,将分流锥支架出口处截面积与异型材口模流道截面积之比,定义为压缩比 $\epsilon$ 。其值与塑料特性有关,一般在 $\epsilon = 3 \sim 12$ 范围内选取。

### 3. 收敛角 $\beta$

熔料离开分流锥支架后,应能很好地熔合形成异型材管坯。因此,应有一收敛角(亦称压缩角) $\beta$ 。通常取 $\beta = 25^\circ \sim 50^\circ$ 。

### 4. 过渡体

机头流道过渡体设计十分重要,其结构形式如图 7.8-6 所示。

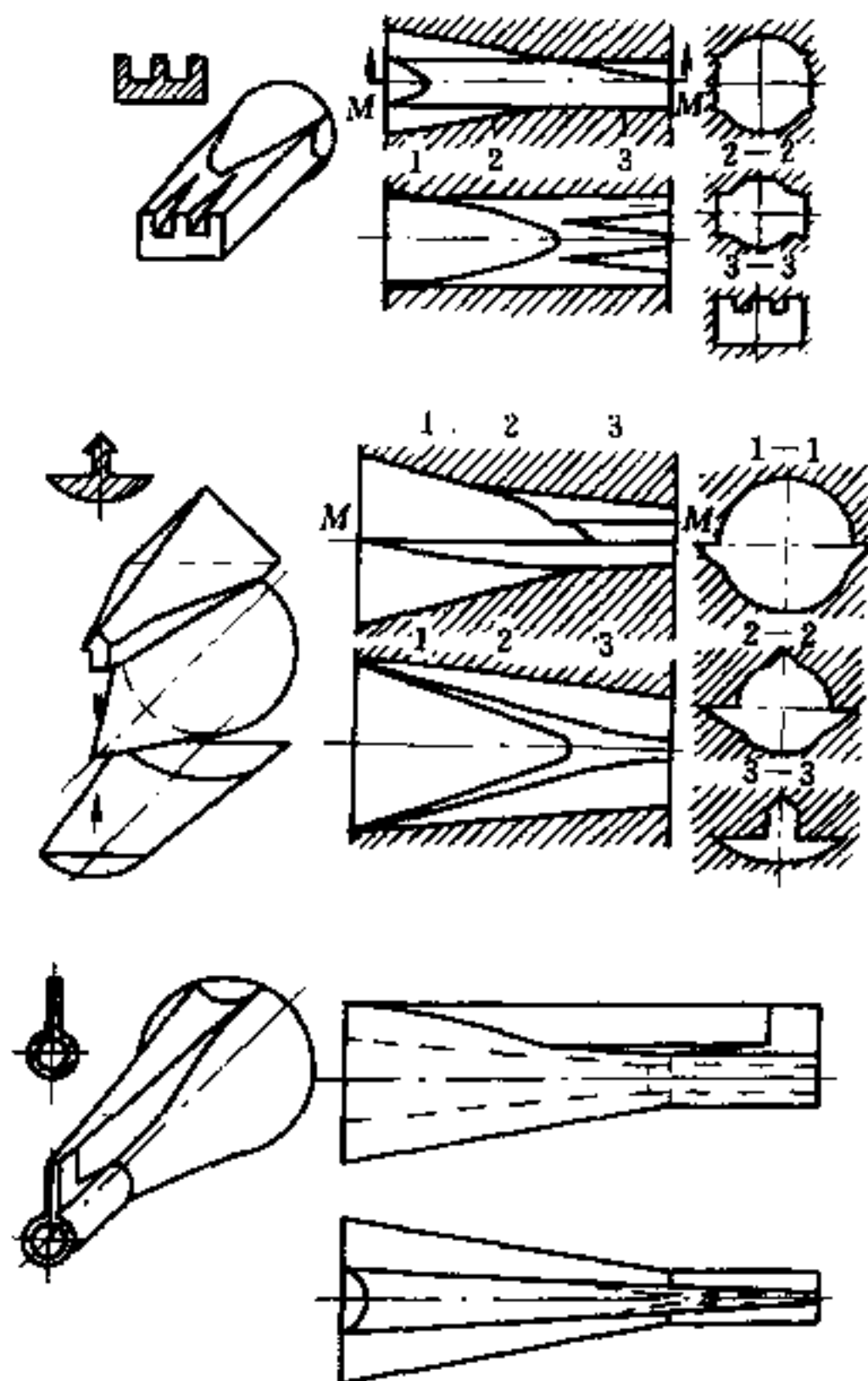


图 7.8-6 异型材机头过渡体

## 7.8.4 异型材定型模设计

异型材尺寸公差,有越来越小的趋势。因此,提高尺寸精度已成为异型材挤出面临的重要课题。生产实践表明,异型材挤出的难易程度及其尺寸精度,主要取决于定型和冷却装置的完善程度。

### 一、异型材定型方法

异型材定型方法,通常是按制品种类、截面形状、精度要求及挤塑速度等来确定的。异型材定型方法有以下 7 种,但最常用的是前 5 种。

#### 1. 多板式定型

如图 7.8-7 所示,将一块至数块定型板排列在水中,挤出物从第一块定型板进入,并

从依次缩小的定型孔中通过,而达逐级定型之目的。定型板材料用3~5mm厚的黄铜板、青铜板或铝板制成。考虑到离开定型冷却水槽后,型材还进一步收缩,最后一块定型板的定型孔的尺寸,必须比型材截面大2%~3%。

定型板的定型段长度,因异型材不同而异。中空异型材为3mm左右,入口处的R为1mm。实芯异型材为2.5mm,入口处R为0.5mm。此外,使用多板定型时,冷却水槽中的水会有倒入口模中的危险,故采取防漏措施至关重要。

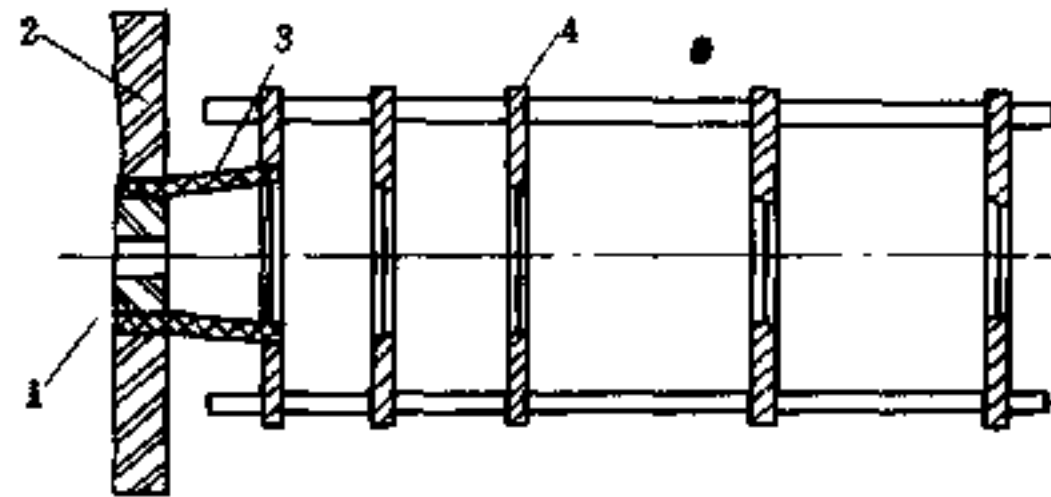


图 7.8-7 多板式定型

1—芯模;2—口模;3—型材;4—定型板。

## 2. 滑移式定型

滑移式定型是用于开放式异型材定型的主要方法。有以下3种形式:

(1) 上下对合滑移式定型 如图7.8-8所示,定型模要制成与型材外部轮廓一致。对于具有内凹的复杂型材,须将定型模分成几段,经组装而成。为改善定型模对制品的摩擦,可在定型模表面涂以聚四氟乙烯分散体,并用弹簧或平衡锤来调节它对型材的压力。在设计定型装置时,必须使型材沿牵引方向保持笔直,截面形状不得变化,且冷却速度须保持恒定。冷却水须与挤出方向呈对流状态进行冷却。

与其他定型方法一样,其定型速度在很大程度上,取决于异型材的几何形状。对于1mm壁厚,其定型速度约为3~4.5m/min,对于4mm的壁厚约为0.5~0.7m/min。

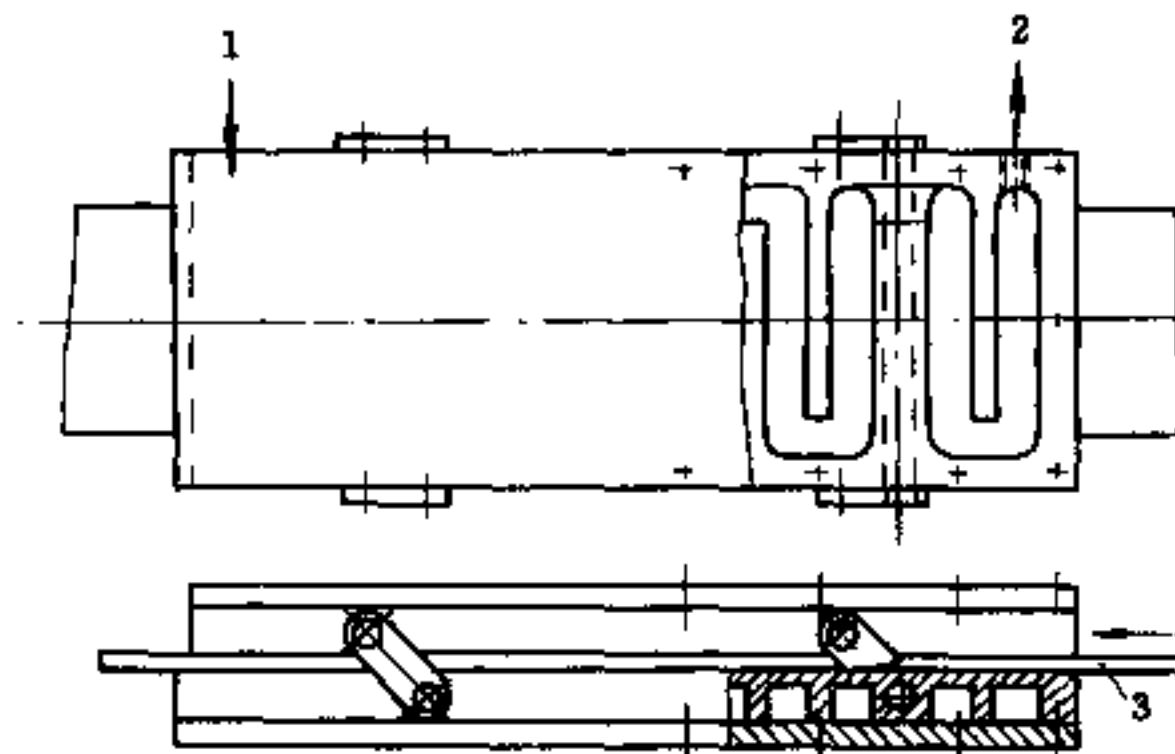


图 7.8-8 上下对合滑移式定型

1—冷却水入口;2—冷却水出口;3—型材。

(2) 波纹板滑移式定型 在制造瓦楞板时,先用管材模挤出管状物,再沿挤出方向将管剖开,并展开成平板(或用平缝模直接挤出板材),经波纹形辊筒压成粗波纹,接着通过如图7.8-9所示的滑移式定型模,冷却定型成为所要求的波纹板。在此过程中,冷却定型

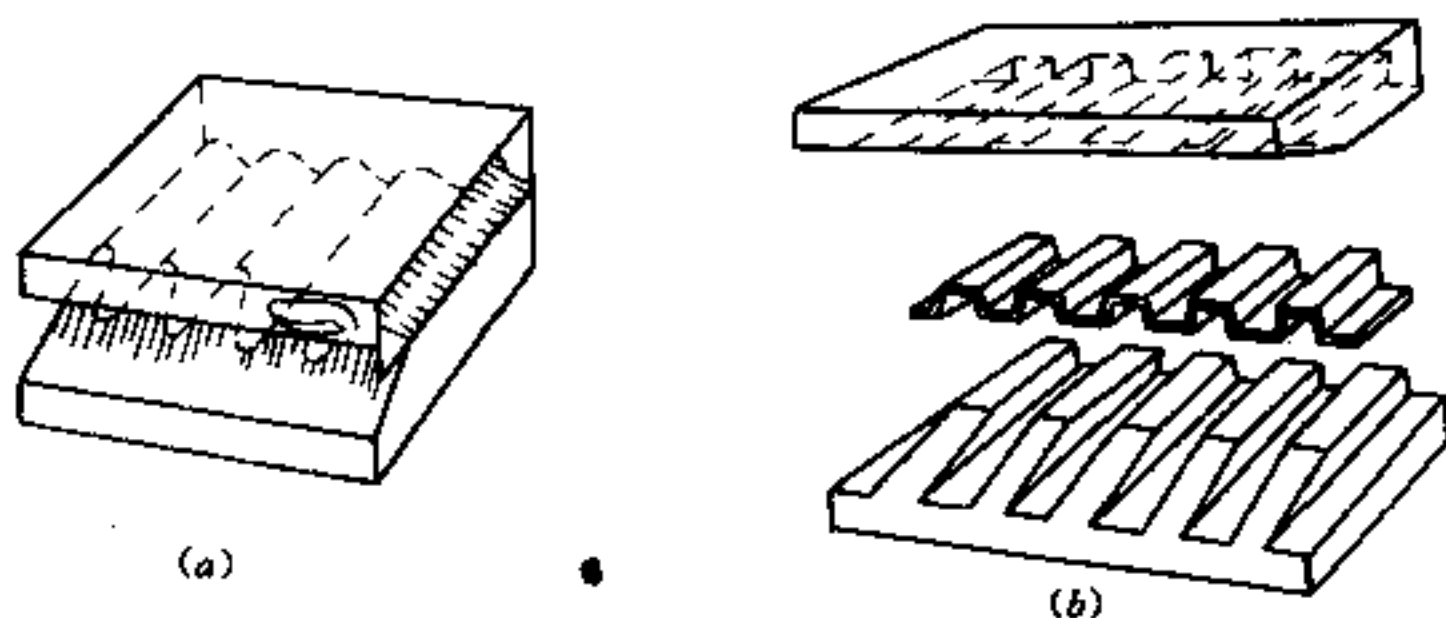


图 7.8-9 波纹板滑动式定型

(a) 定型模;(b) 分解形式。

温度须分三段控制。

(3) 折弯型材滑动式定型 如图 7.8-10 所示,将从平缝模挤出的板材,在滑动式定型模中折弯成所需要的异型材截面形状,并冷却定型。此法能用形状简单的模具,制造出极复杂的大型异型材来。

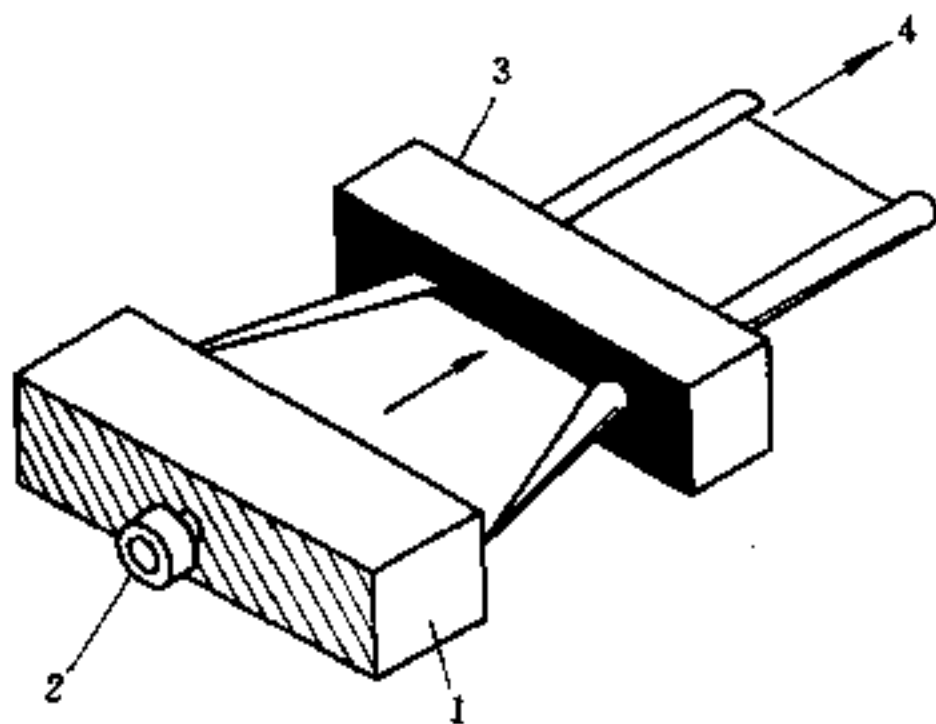


图 7.8-10 折弯型材滑动式定型

1—平缝模;2—挤塑机;3—定型模;4—冷却。

### 3. 压空定型

亦称压缩空气外定型,通常仅适用于当量直径大于 25mm 以上的中空异型材。此法如图 7.8-11 所示,定型模 5 与挤出物 8 之间的接触,是由空气压力(0.02 ~ 0.1MPa)造成的。为此,压缩空气须由机头芯模 1 导入型材 8 内,并用浮塞 11 封闭。采用此种定型方法时,定型模与成型模间应有良好的对中性,最好用法兰直接联接,并有绝热措施。

### 4. 真空定型

亦称真空外定型,如图 7.8-12 所示。在此法中,型材与定型模间的紧密接触,是靠给定型模周围壁上的细孔或缝口抽真空来达到的。此法的主要优点,是在型材内无浮塞,只须维持大气压力即可。对于闭式空心型材,通常串联几个定型装置,例如窗用异型材定型装置就分三段,每段约长 400 ~ 500mm。当型材引入第一段中,由于受到拉挤压力而发生塑性变形,并沿壁贴合,形成与定型模截面相一致的型材外形。若想在型材上形成沟槽、突缘或凸起部,就留在定型模后一段进行,以减少卡塞的危险。

### 5. 内芯定型

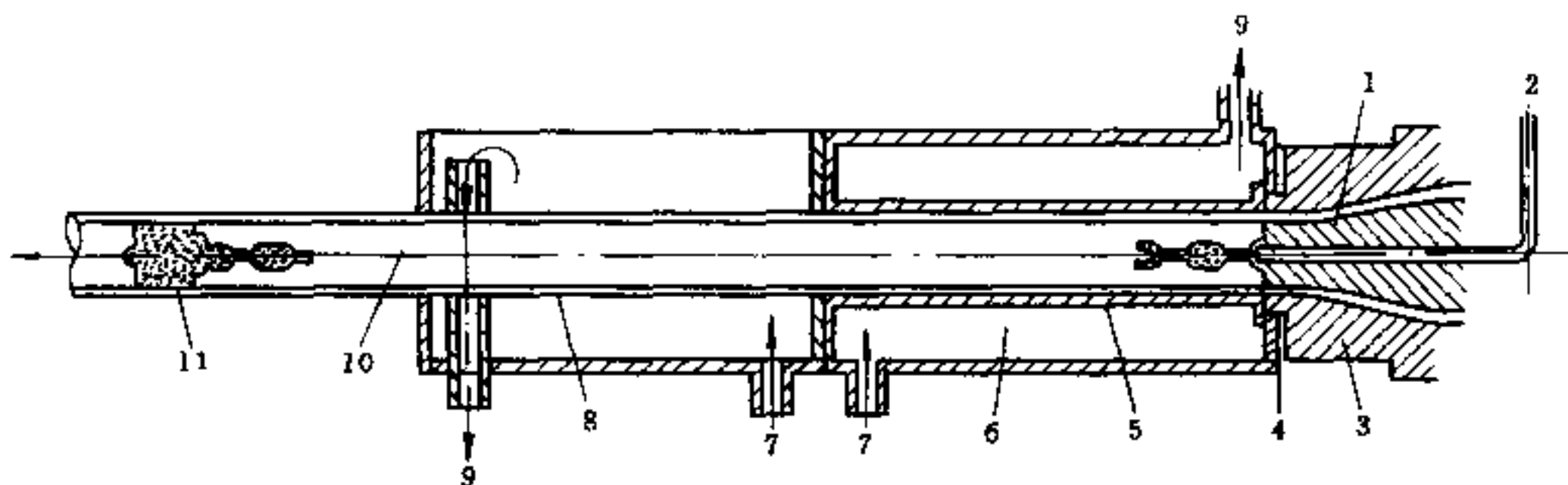


图 7.8-11 压空外定型

1—芯模;2—压空入口;3—机头体;4—绝热垫;5—定型模;6—冷却水;  
7—水入口;8—型材;9—水出口;10—链索;11—浮塞。

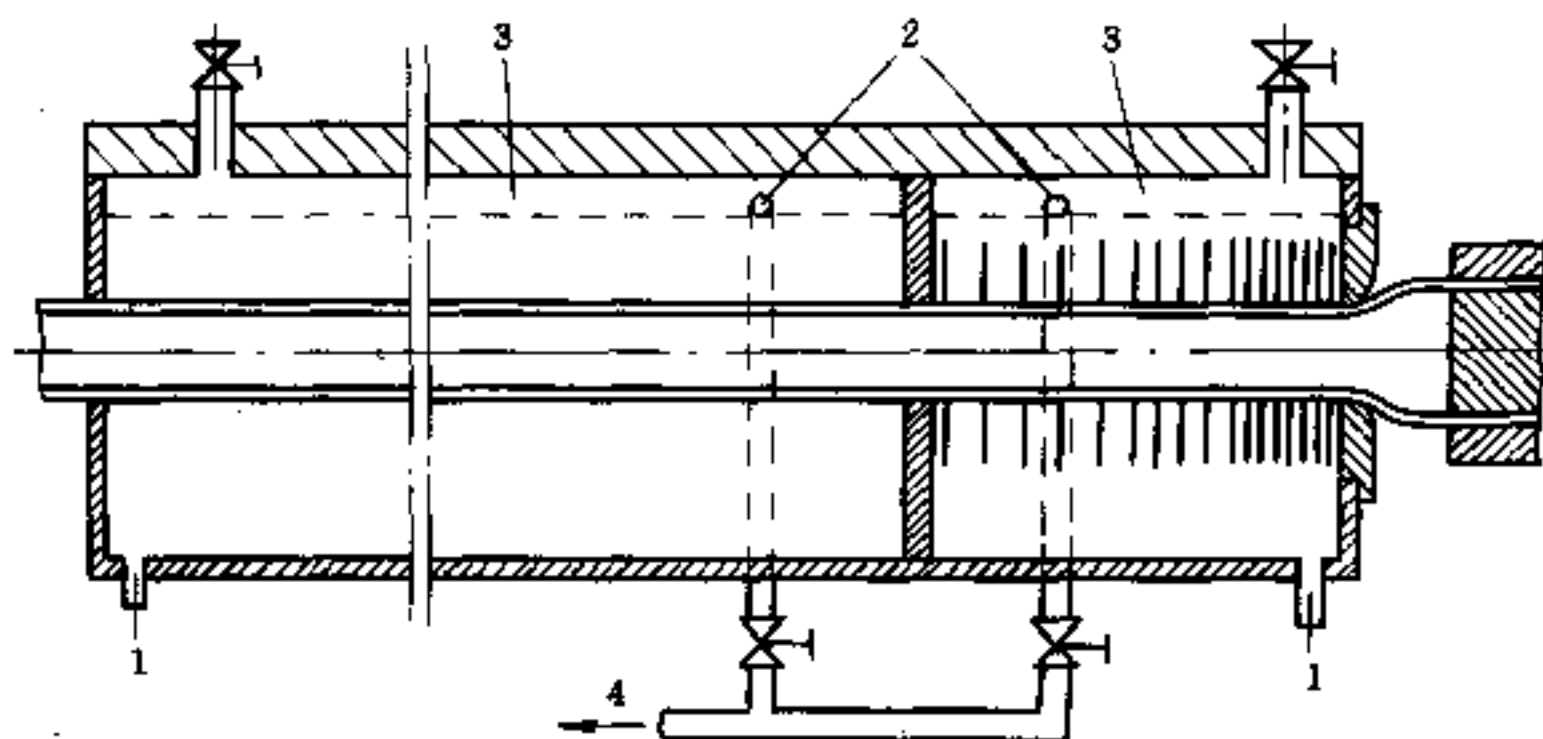


图 7.8-12 真空外定型

1—冷却水入口;2—冷却水出口;3—真空;4—至真空泵。

顾名思义,是固定空芯型材内部尺寸的一种定型方法。如图 7.8-13 所示,机头芯模与可冷却的定型芯棒相连接,所挤出的管坯环绕此定型芯棒周围被拉出的同时,即被定型和冷却。在此法中可用管材机头,借助于定型芯棒的简单造型生产出简单的异型材,如街道标志杆等。常须使用弯机头,以便能牢固地固定定型芯模及定型冷却系统。

## 6. 瓦楞管材定型

瓦楞管材加工在定型领域中占有特殊地位。如图 7.8-14 所示,用普通管材模 1 提供合格的管坯,由开有半圆螺纹槽的履带式牵引装置进行牵引的同时,管坯被此螺纹模施压或抽真空而定型为所需瓦楞管材。在此定型过程中热量从整个金属螺纹模中散失。为使压力或真空定型有实效,管坯必须与螺纹模入口尽可能地靠近,使经延长的外模套通过,以防止管坯被吹破,致使真空定型失效。此外,由于外模套难以分段加热,因而应用高导热系数材料,如铍铜合金制成。

## 二、定型模结构设计

在生产异型材时,如果机头设计是合理的,则异型材截面的几何形状及尺寸精度,主要取决于定型模设计的合理性。一副成功的定型模,对提高生产效率及产品质量具有决定性影响。

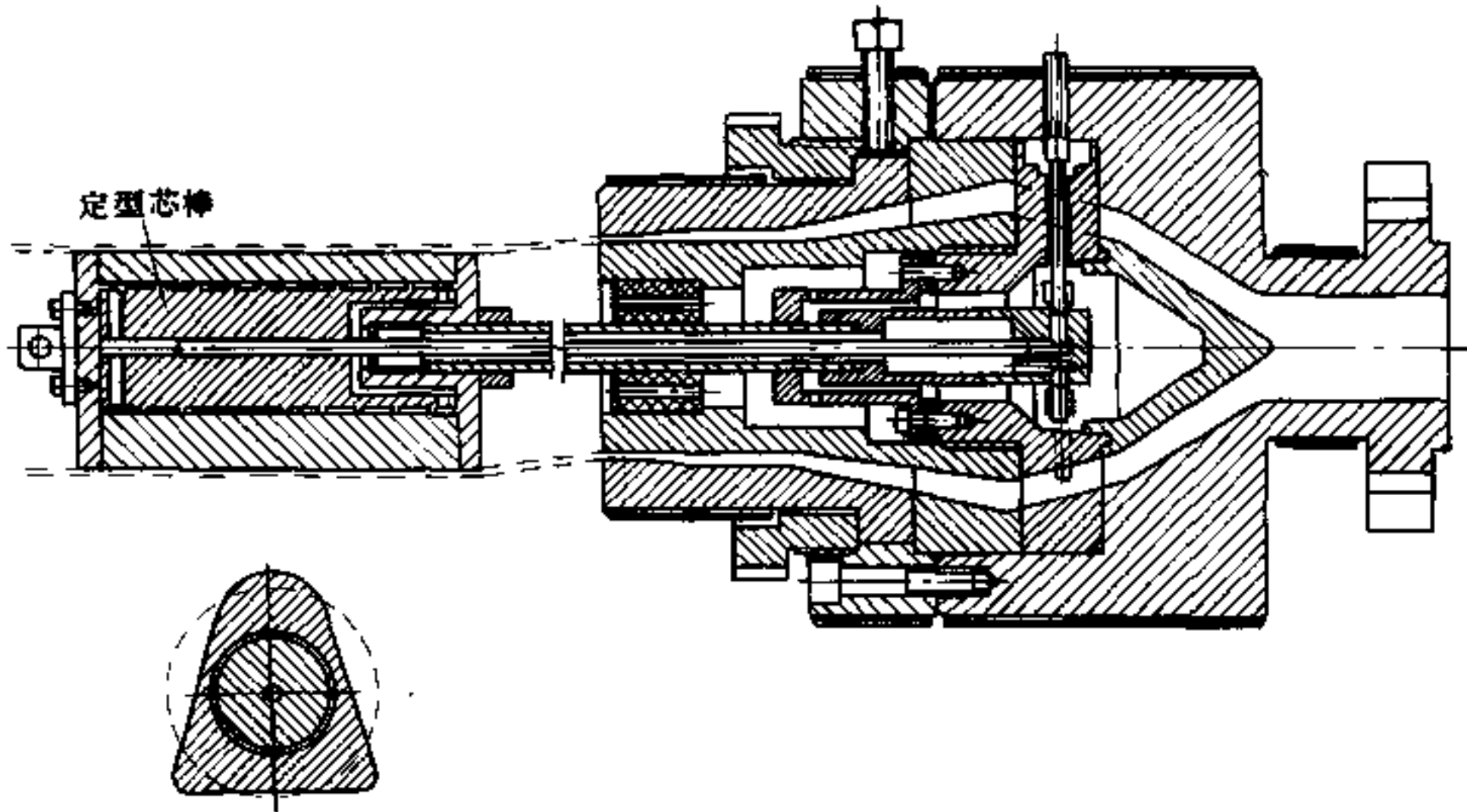


图 7.8-13 内芯定型

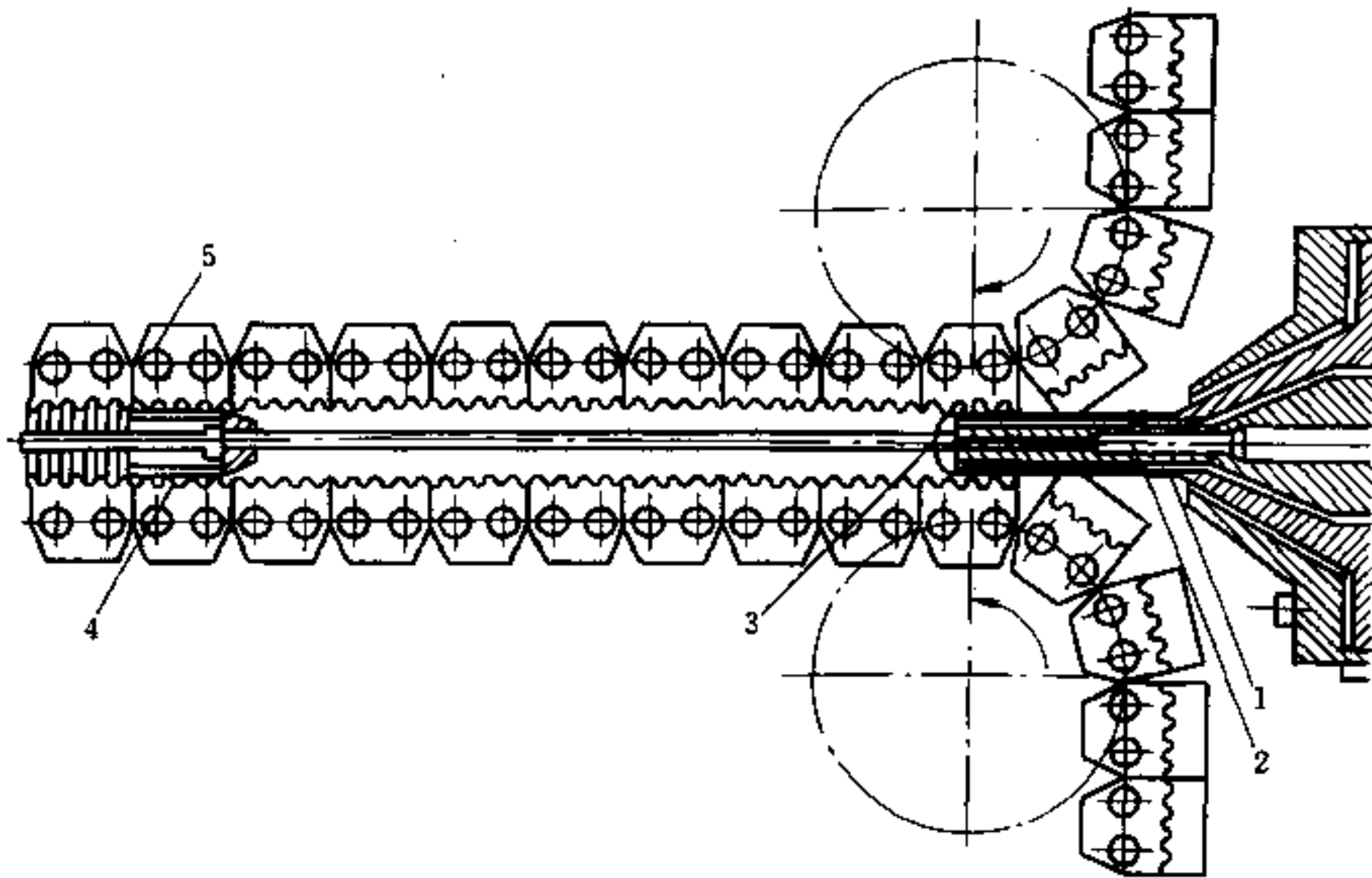


图 7.8-14 瓦楞管材加工定型

1—管材模；2—芯模；3—压空入口；4—浮塞；5—螺纹模链条。

如前所述,异型材品种繁多,定型方法各异,在此难以全面涉及。实际上,中空异型材定型模设计,最具有典型性和代表性,故予以详述。

### 1. 结构设计

当异型材型坯进入定型模后,在真空吸附力作用下,与定型模型腔壁呈紧密接触,并依靠冷却回路中介质的传热效应,从而确定异型材截面形状及尺寸精度。为此,异型材定型模结构设计,须考虑以下诸因素:

(1) 引入异型材型坯容易,且操作方便,易于拆卸与清理;

- (2) 选择导热性良好的材料制造,并使之具有尽可能大的散热面积;
- (3) 锁紧可靠,密闭性好,无论是真空回路,还是冷却回路,均应如此;
- (4) 真空室应无死角,且易于清理,保持真空孔常通;

(5) 通常定型模长度,均在 1600 ~ 2600mm 以上,虽然要分段制造,但其冷却水通道及真空孔的加工工艺,仍须慎重考虑。

嵌条异型材(属中空型材)真空定型模的典型结构,如图 7.8-15 所示。上下定型模由铰链联接,并可自由张开,闭合后由螺栓锁紧。上下盖板由铝合金制成,其外表高,有散热翅片。在盖板与定型模间用尼龙密封垫涂层密封。盖板内设有真空室,各段真空度可任意调节,以适应定型的需要。在定型板内的冷却回路,视需要可分成三段或四段。每一段的冷却水流量可任意调整,以适应型材均匀散热的需要。定型模的安装与调整装置,如图 7.8-16 所示。

## 2. 长度确定

根据加工工艺要求,异型材定型模长度,须由冷却传热所需面积和真空吸附所需面积来确定。

(1) 冷却传热面积计算 在定型模中异型材与冷却水流向,通常可分为“并错流”和“逆错流”两种类型,如图 7.8-17 所示,冷却回路分为三段,上下型板总共为 6 个回路。冷却水孔直径通常在  $\phi 10 \sim 20\text{mm}$  范围内选取,在可能条件下以尽可能选用较大直径的流道为好,以有利于提高冷却效果。冷却水流动状态,以保持紊流为佳,即  $Re > 10\,000$  以上。水温以  $10 \sim 18^\circ\text{C}$  为宜。

根据传热学及牛顿冷却定律,定型模冷却介质所需传热面积应为

$$F = \frac{GC_p(T_2 - T_1)}{\alpha \Delta t_m} \quad (7.8-2)$$

其中,  $G$  为异型材型坯质量流量( $\text{kg/h}$ );  $C_p$  为塑料比热容( $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$ );  $T_2$  为型坯入口温度( $^\circ\text{C}$ );  $T_1$  为型材出口温度( $^\circ\text{C}$ );  $t_m$  为定型模与冷却水平均温差( $^\circ\text{C}$ );  $\alpha$  为传热系数,与水温、管径及水的流速有关,可用下式计算

$$\alpha = A_0 \frac{(\rho v)^{0.8}}{d^{0.2}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (7.8-3)$$

且  $v$  和  $d$ , 分别为水的流速及管径;  $A_0$  仅为水温的函数,可由表 4.9-3 查找。

于是,冷却水通道长度应为

$$L_w = \frac{F}{\pi d} \quad (7.8-4)$$

式中  $d$ ——冷却水通道直径,取  $\phi 10 \sim 20\text{mm}$ 。

(2) 真空吸附面积计算 异型材型坯进入定型模后,在真空吸附力作用下,才能与型腔壁紧密接触,达到异型材最终定型的目的。为此,真空吸附面积可用下式进行计算:

$$F_R = 0.76 f_r \frac{G}{M_r} \quad (7.8-5)$$

式中  $f_r$ ——与壁厚有关的系数,通常取  $f_r = 16 \sim 30$ ,厚壁取大值,反之取小值;

$G$ ——异型材质量,  $\text{kg/m}$ ;

$M_r$ ——定型装置真空度,一般取  $53 \sim 66\text{kPa}$ 。



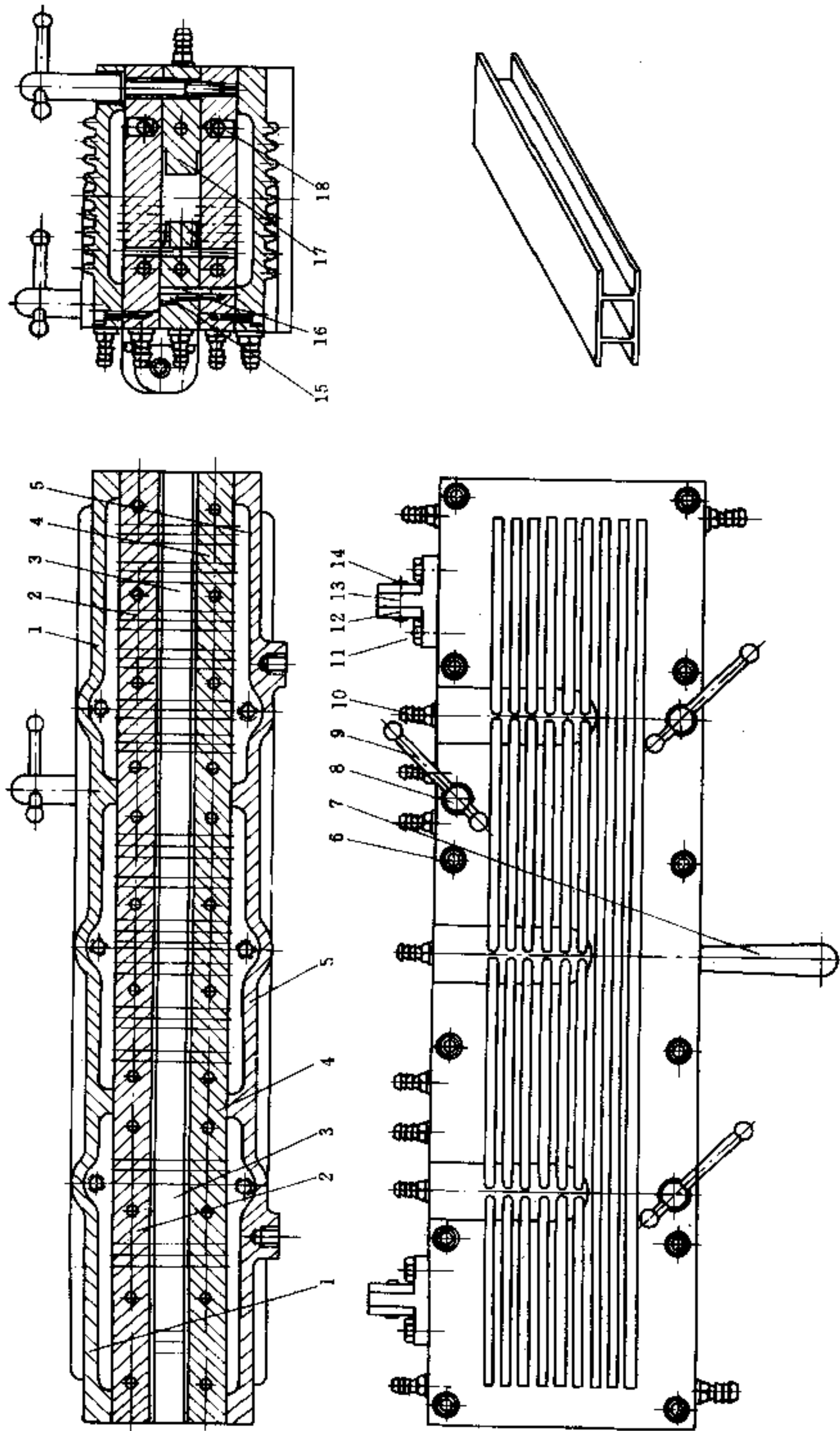


图 7.8-15 真空定型模典型结构

1,5—上下盖板;2,4—上下型板;3,17—侧型板;6,15—内六角螺钉;7,9—手柄;8—锁紧螺栓;  
10—接头;11—螺栓;12,13—上下铰链片;14—铰链轴;16—销钉;18—冷却水堵头。

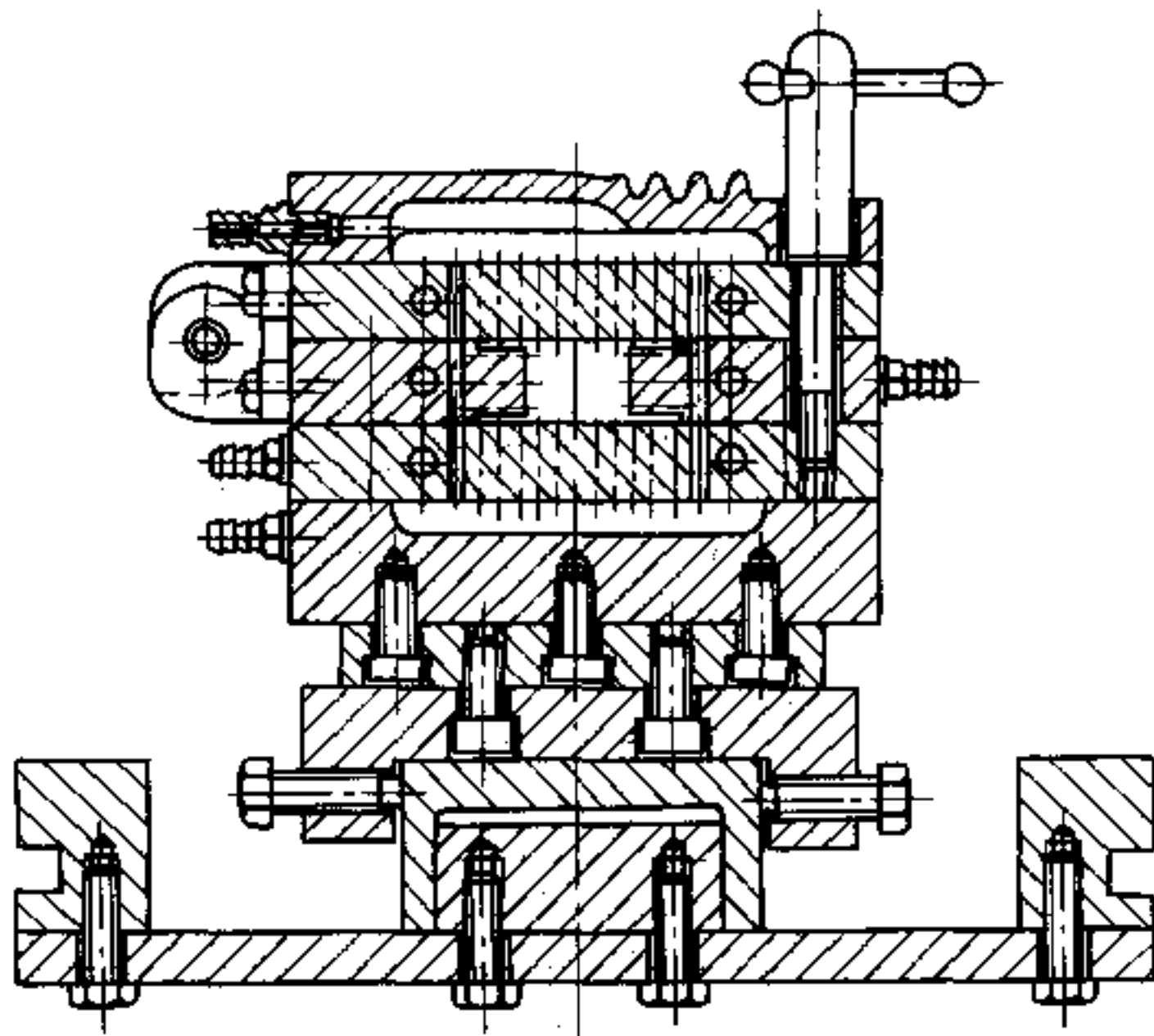


图 7.8-16 定型模安装与调整装置

如果真空孔直径  $d_0$  为已知, 则真空孔数应为

$$n = \frac{4F_R}{\pi d_0^2} = \frac{3f_R G}{\pi d_0^2 M_R} \quad (7.8-6)$$

式中  $d_0$ ——真空孔直径, 一般在  $\phi 0.4 \sim 1.8\text{mm}$  范围内选取, 常用值取  $\phi 0.8 \sim 1.2\text{mm}$  为佳。

(3) 冷却回路布置 在上下及左右型板内, 所设置的冷却水回路, 应确保完全对称, 以使异型材冷却均匀, 各向收缩趋于一致, 内应力为最小。冷却水通道的间距布置, 从定型模入口至出口, 应由窄逐渐变宽; 各段回路的长度, 应由短逐渐变长, 以使各段冷却水进出口温差保持相同。如果定型模冷却水回路分为两段, 则其回路长度比取  $1:1.5$ ; 三段可取为  $1:1.5:2$ ; 四段取为  $1:1.5:2:2.5$  为宜。

(4) 真空孔布置 定型模上下及左右型面上的真空面积, 应一一对应相等; 但从定型模入口至出口, 不可均布。为其有效吸附, 达到定型之目的, 从定型模入口至出口, 真空吸附面积分布, 应由大逐渐变小, 真空孔分布由密变疏。

(5) 定型模长度 通常由冷却水孔总长度  $L_w$  和定型模上的真空孔数及其布局来确定。但由于冷却水量和真空度均可调节, 故定型模总长度的确定, 并非十分严格。实践表明, 当异型材壁厚达  $2.5 \sim 3.5\text{mm}$  范围时, 定型模总长度在  $1600 \sim 2600\text{mm}$  左右, 这将给

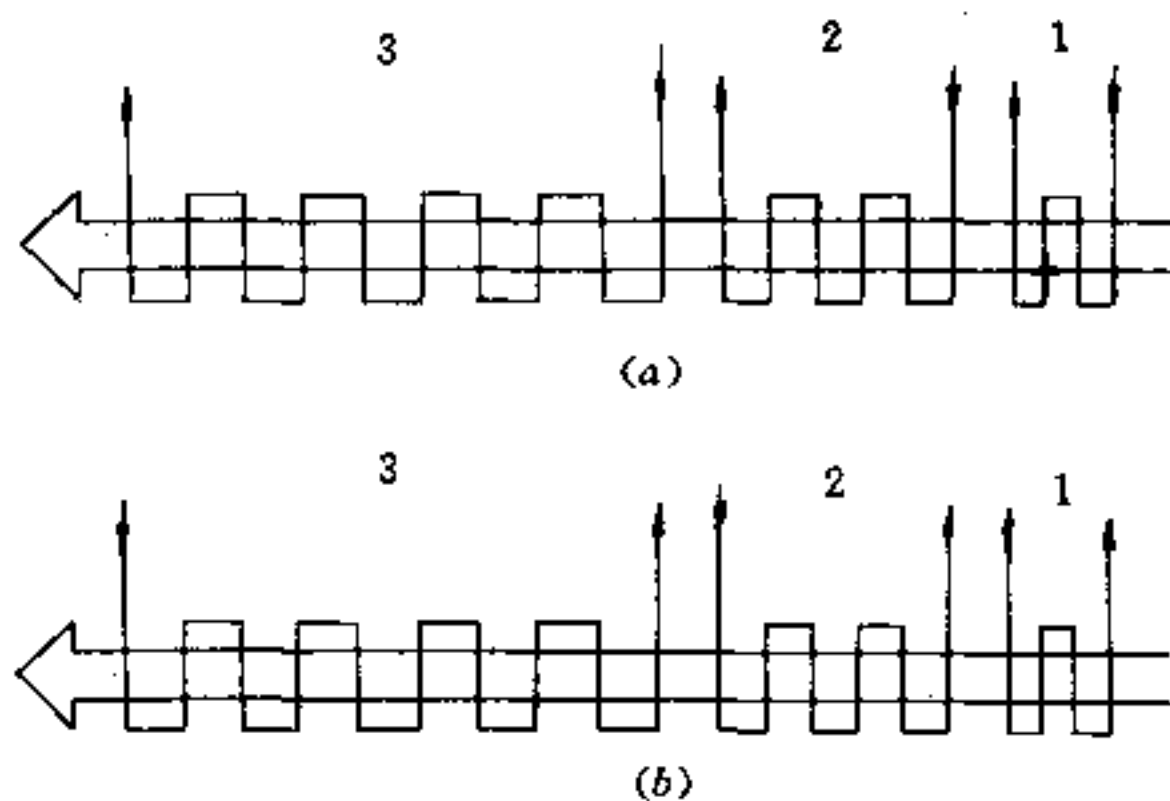


图 7.8-17 异型材定型走向与冷却水流向

(a) 并错流; (b) 逆错流。

加工带来极大困难。为此,常将长定型模分成多段制造,然后组装使用。其分段依据见表 7.8-4。

### 3. 定型模型腔尺寸

由于异型材型坯在定型过程中,要经历冷却收缩和牵引拉长的物理变化,致使定型后异型材的截面尺寸缩小,故定型模径向尺寸必须适当放大。尺寸放大的唯一依据,是异型材定型收缩率。对此,表 7.8-5 中的数据可供参考。

表 7.8-4 异型材定型模分段参考数据

异型材截面尺寸/mm		定型模总长度/mm	可分段数(段)
壁厚	高×宽		
1.50 以下	40×200 以下	500~1300	1~2
1.5~3.0	80×300 以下	1200~2200	2~3
3.00 以上	80×300 以下	2000 以上	3 以上

表 7.8-5 异型材定型收缩率

塑料名称	ABS	CA	PA610	PA66	PE	PP	RPVC	SPVC
收缩率/%	1~2	1.5~2	1.5~2.5	1.5~2.5	4~6	3~5	0.8~1.3	3.5~5.5

### 7.8.5 设计实例

一套成功的异型材机头及其定型模,应能生产出符合产品要求的异型材制品。机头口模和定型模型腔尺寸,决定了异型材截面尺寸及其精度。如前所述,口模和定型模径向尺寸,是根据异型材截面形状、壁厚及物料性能确定的。由于其影响因素十分复杂,难以获得定量分析结果。因此,在设计实践中仍离不开经验,先留出足够的富裕量,然后经试模逐次修正。

现举 3 例,如图 7.8-18 ~ 图 7.8-20 所示,说明异型材截面尺寸与口模及定型模间的关系。

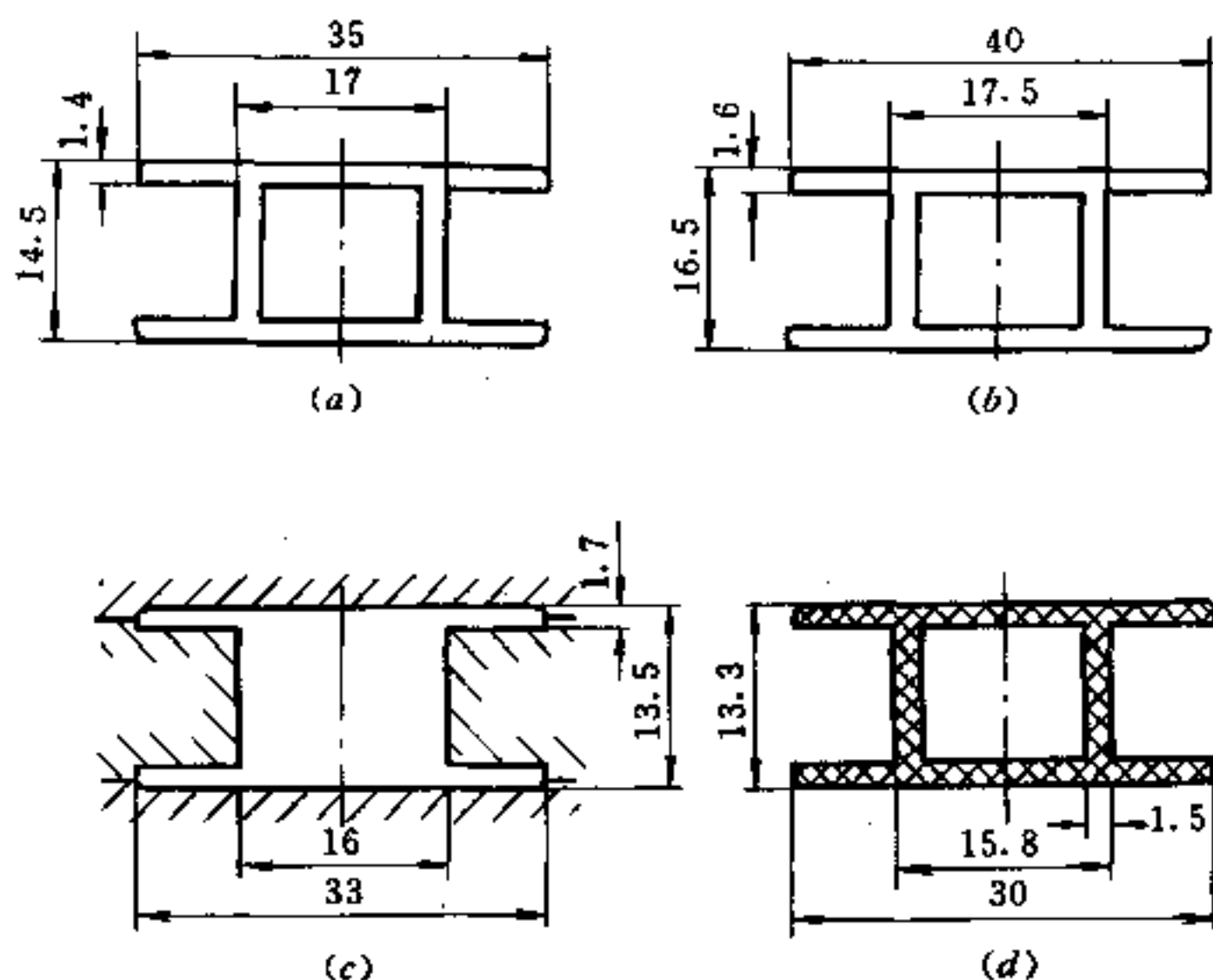


图 7.8-18 RPVC 嵌条从口模至产品的尺寸关系

(a) 口模;(b) 出口型坯;(c) 定型模;(d) 最终产品。

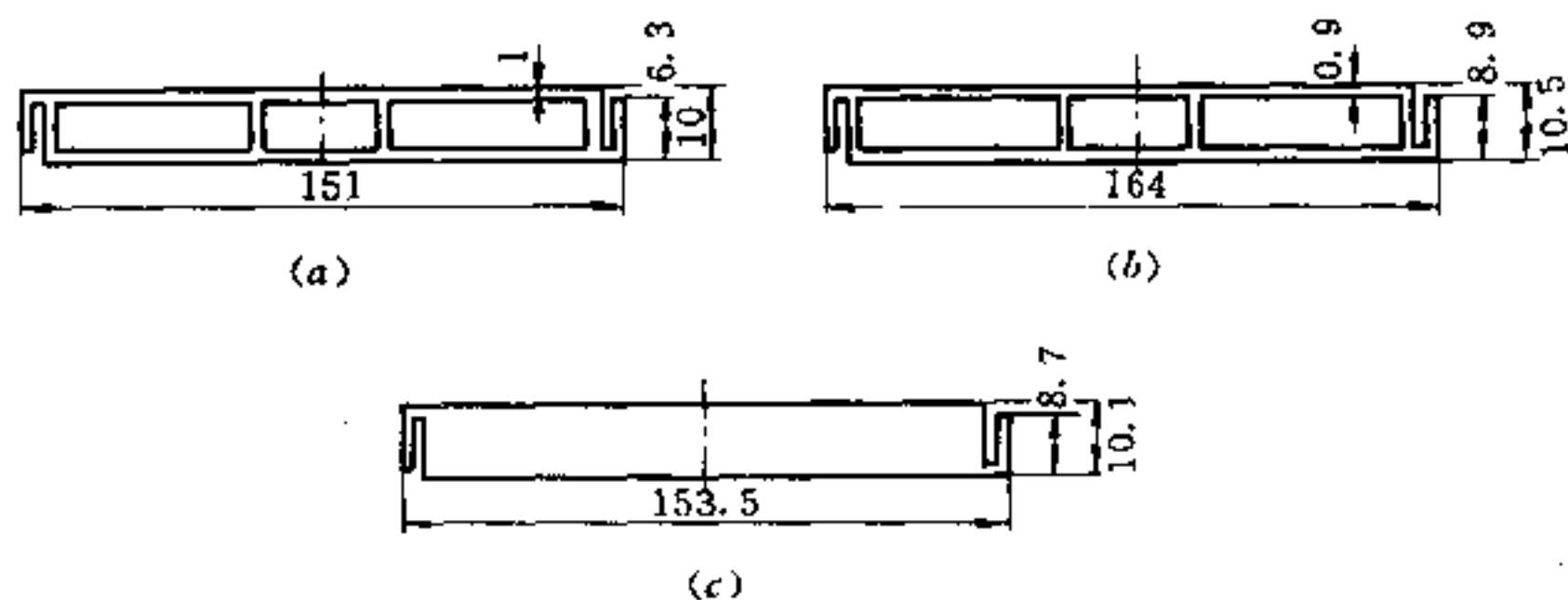


图 7.8-19 RPVC 隔板与口模及定型模的尺寸关系  
(a) 隔板产品; (b) 口模; (c) 定型模。

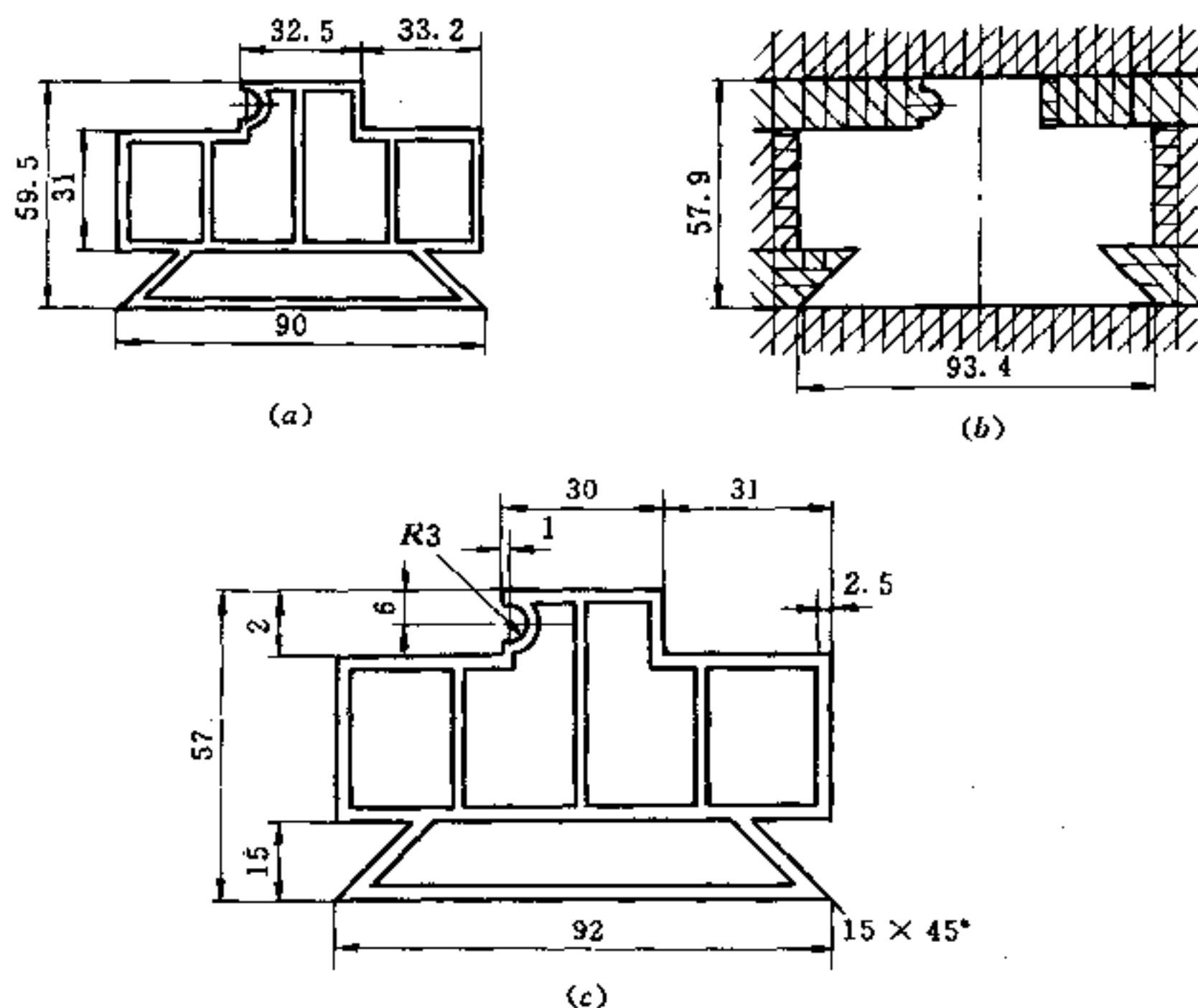


图 7.8-20 RPVC 插板框与口模及定型模的尺寸关系  
(a) 口模; (b) 定型模; (c) 最终产品。

## 7.9 低发泡型材挤塑模设计

低发泡异型材,作为人工合成木材技术,已有较长历史。近年来,由于其相关成型技术的不断发展,更使低发泡挤塑成型日新月异。

低发泡型材的相对密度接近于1,一般均在0.6~0.95之间,发泡倍率为1.3~2。用ABS、PE、PP、PS、PVC等树脂,所成型的低发泡异型材,已广泛向家具、建筑装饰、结构材

料等多方面普及。

### 7.9.1 低发泡型材的发泡方法

挤塑成型发泡型材,基本上有两种方法。

(1) 离模发泡法 即含有发泡剂的塑料熔体,在离开口模后立即发泡。此时型坯向外侧自由膨胀,并随之进入用法兰连接于口模的定型和冷却设备中,继续发泡,直至定型结束。

(2) 烘箱发泡法 此种方法通常用于加工含有发泡剂和交联剂之类的聚乙烯。在常规生产过程中,挤塑未交联和未发泡的型坯片材。这类挤出物离开口模后,并不立即发泡,而是在随后的烘箱中交联发泡。

低发泡型材生产的工艺特点是:

(1) 必须保证发泡剂分解的时机恰到好处,即不能过早在挤塑机或挤塑模中发泡,否则过早发泡会造成气泡流经模壁时被撕破,致使型材表面不良或粗糙;

(2) 含有发泡气体的塑料熔体,其粘度特低,易于很快流出口模,因而必须借助于机头流道的特定构型,增加流动阻力,降低熔体流速;

(3) 支架支柱在发泡片材上,留下的熔接痕,比致密片材上更清晰。因而,此种机头的支架支柱数量要少,以至多两个为限,且应设在日后剖开发泡片材的切割面中为好。

(4) 熔体流动压力较低。如 RPVC,一般认为达到 10 ~ 30MPa 为适当。

### 7.9.2 发泡型材挤塑模结构类型

为适应发泡型材生产的工艺特性要求,发泡型材挤塑模可有以下结构类型。

#### 1. 纵向高阻力实芯型材机头

此种机头特适用于横截面积小的异型材,如图 7.9-1 所示。与致密同类型异型材机头相比,在其模套内圈出口处,有一短(约 1 ~ 2mm 长)而窄(约为流道高度的 10%)的阻流区。用以大大降低熔体在出口区的压力,以此引发发泡过程的发生。

#### 2. 分流锥孔板式机头

这种机头类似于一般异型材机头,如图 7.8-2 所示。分流锥用于保证熔体在挤塑机中产生适当的压力。更换口模板,允许以同一机头生产几种类型的发泡型材。同时,口模板处的流速,也易于得到控制。

#### 3. 发泡中空型材机头

这类机头与一般异型材机头的结构并无两样,只在一些细节上略有差别:(1) 在口模孔中设有一阻力区;(2) 口模成型段较短,一般  $L = 6 \sim 10H$ ;(3) 芯模支承区与口模间隙之间的压缩比较大,一般为 10 ~ 16。

#### 4. 栅格分流梭机头

此种机头设计如图 7.9-2 所示,特别适用于生产具有横截面积大、壁厚,且分布不均的发泡型材。由栅格阻流器形成的各独立料股,在口模中汇集并熔合。这样的栅格也适用于分流梭,它们能影响熔体流动分布,大大改变某些选定区域中发泡型材的密度,甚至形成空洞。

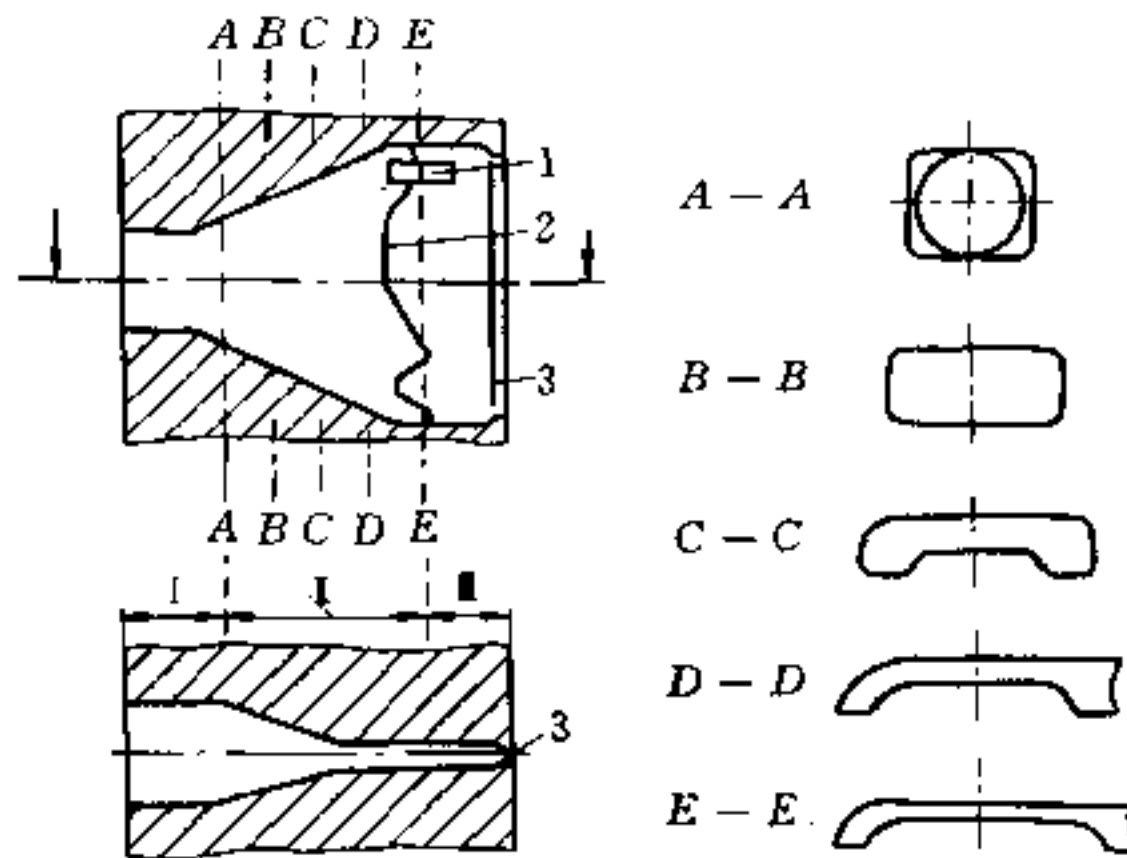


图 7.9-1 纵向高阻力实芯型材机头  
 I—供料区；II—过渡区；III—口模成型区；  
 1—导向槽；2—变化的口模成型段长度；3—阻力区。

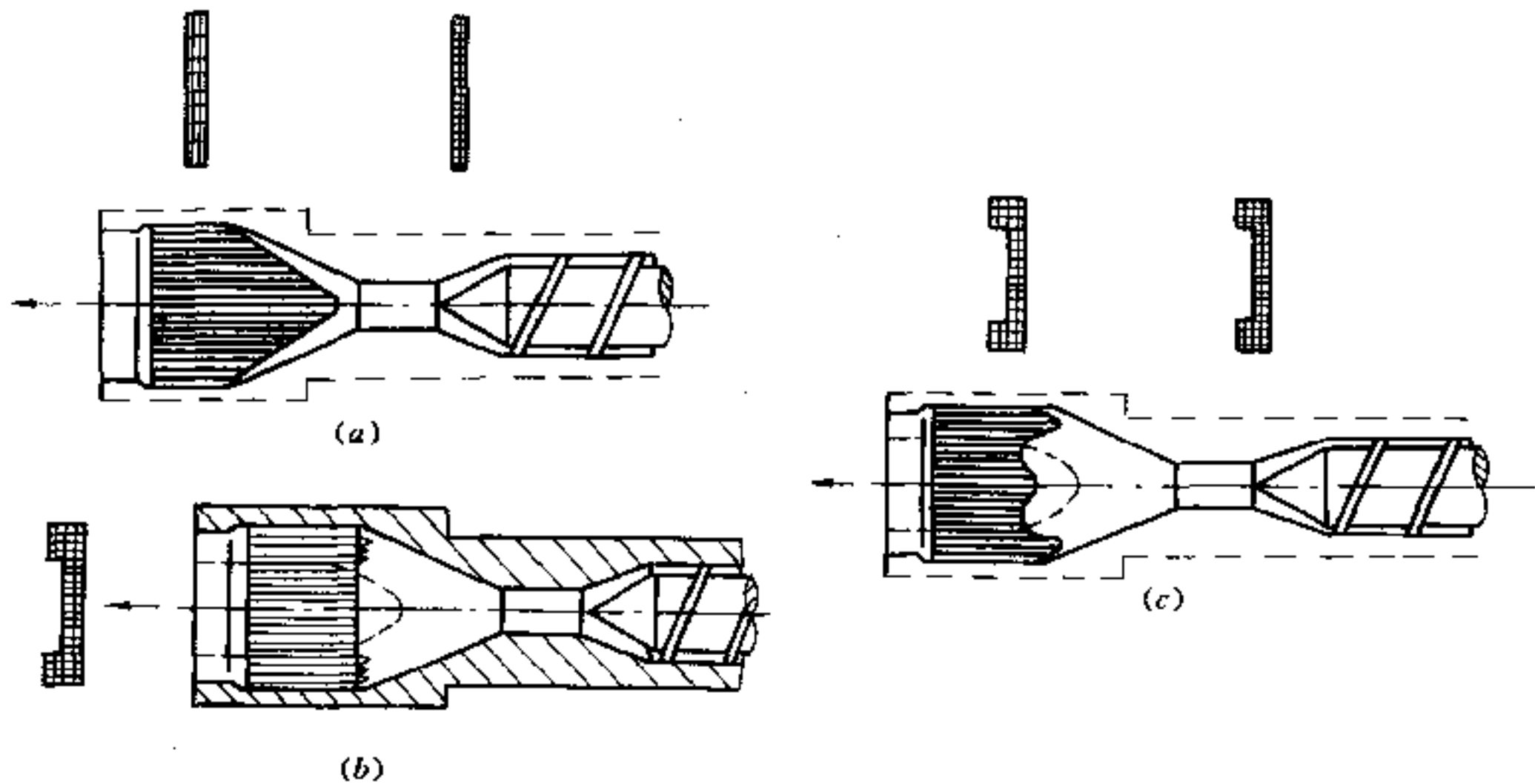


图 7.9-2 栅格分流梭机头  
 (a) 单梭型；(b) 栅格型；(c) 多梭型。

### 7.9.3 模腔流道设计

设计发泡 RPVC 型材机头，比设计其致密型材机头更为困难。因为在熔体离开口模时，除了口模膨胀和速度分布重排外，还有物料的发泡膨胀。这种发泡膨胀过程，又取决于千差万别的作用变量，如发泡剂类型、聚氯乙烯配方、填料比例、温度及混合程度等。在缺乏实际经验时，表 7.9-1 中的数据可作为选定口模尺寸的指南。

表 7.9-1 RPVC 发泡型材定型尺寸与口模尺寸的关系

最终型材尺寸 (定型尺寸) mm	口模孔尺寸	
	mm	相对于最终尺寸的百分数
型材宽度: 10 ~ 30 30 ~ 60 60 ~ 100 100 ~ 150 150 以上	6 ~ 18	60
	21 ~ 42	70
	48 ~ 80	80
	90 ~ 130	90
	150	100
型材厚度: 3 以下 3 ~ 8 8 ~ 12	1.5 以下	50
	1.4 ~ 3.6	45
	4.0 ~ 6.0	50

设计发泡型材机头时须特别注意,必须使流道向口模方向连续变窄,力戒流道截面扩大及滞料区发生。与一般型材机头设计一样,熔体流动可借助口模板的形状、口模成型段高度和长度以及栅格阻流器来调整。

向后续定型工序提供超尺寸(百分之几)的发泡型材,能使表面平滑,并能弥补细小的差异。

## 7.10 其他挤塑模设计

### 7.10.1 喷丝机头设计

常用单丝以 PA、PVC、PVDC、PE、PP 等树脂为原料,通过机头挤出,冷却初定型后,再经高倍热拉伸卷取,获得所需单丝。经高倍热拉伸的单丝,分子沿轴向方向取向程度大增,力学性能显著提高。由于机头喷丝孔很小,产量受分丝机限制,通常采用  $\phi 45$  或  $\phi 65$  挤塑机已足够。机头入口处须设栅板和滤网,滤网常用 40 ~ 80 目。PVC 使用 1 ~ 3 层,PE 使用 2 ~ 3 层。

#### 一、机头结构设计

喷丝机头有水平式和垂直式两种结构类型,如图 7.10-1 和 7.10-2 所示,但以垂直式结构应用居多。机头内流道入口呈圆锥形,其收敛角通常为  $30^\circ$ ,塑料熔体由单丝孔板喷出。

#### 二、喷丝板参数

(1) 喷丝孔径 它与单丝直径间的关系,须视塑料品种及其拉伸比的不同而异。所谓拉伸比,在此定义为喷丝板孔径与被挤出物经充分松弛后直径之比。表 7.10-1 列有 PVC 和 PE 单丝及其成型孔径间的关系,表中  $\epsilon$  为拉伸比。同一喷丝板上的喷丝孔径、中心距及成型段长度,均应保持一致。否则将无法生产。孔径误差必须控制在 5% 以下,当孔径误差为 10%,单丝误差达 20%。

(2) 喷丝孔数 通常在同一圆上均匀分布,以求其流速、流量与阻力一致。常用孔数为 6 的倍数。但一般以不超过 72 孔为宜。孔数多,分丝困难。对于无须分丝的绳索,孔数可适当增加。

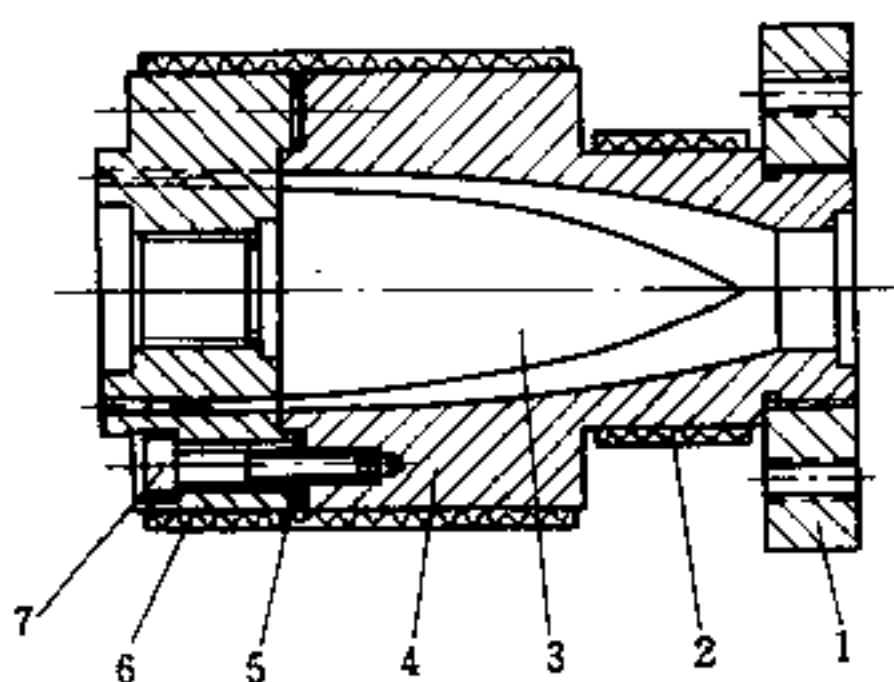


图 7.10-1 水平式喷丝机头

1—机头法兰;2—加热圈;3—分流梭;4—机头体;  
5—电热圈;6—喷丝板;7—内六角螺钉。

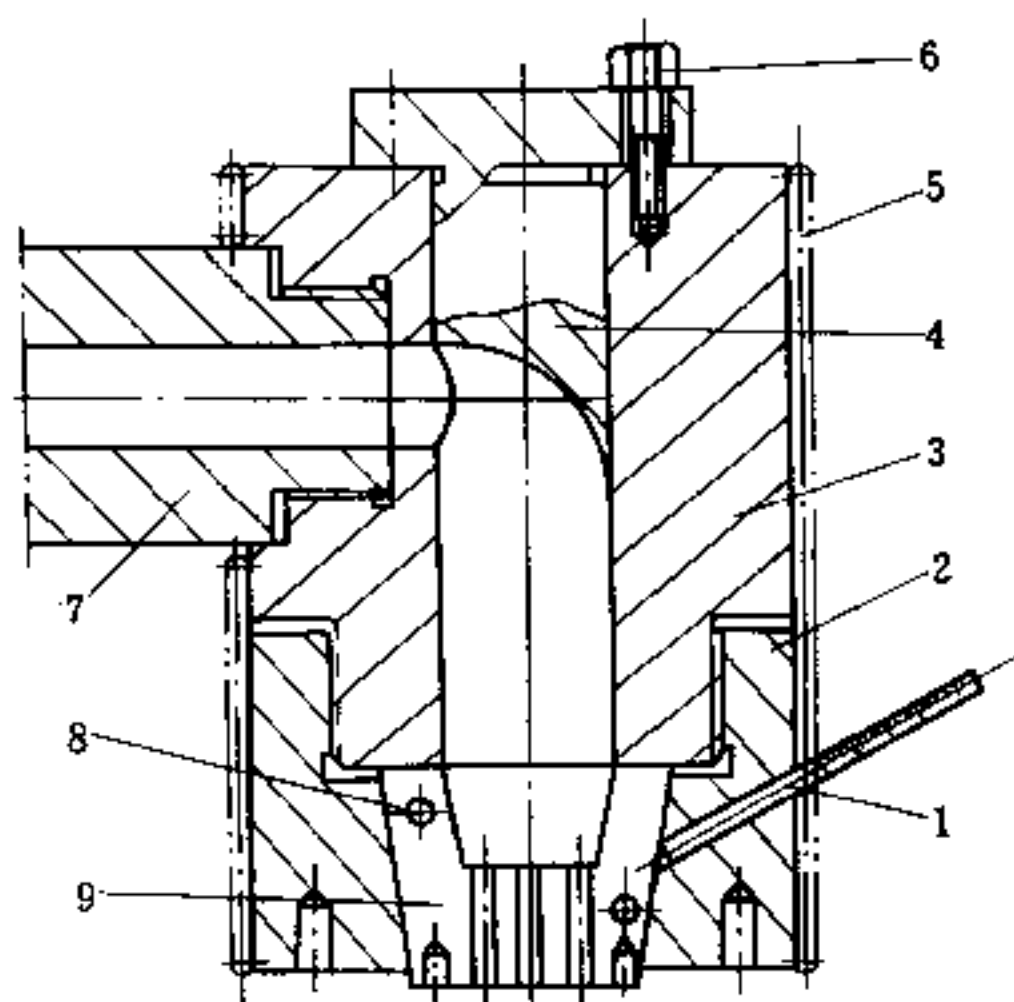


图 7.10-2 垂直式喷丝机头

1—温度计;2—锁母;3—模体;4—堵头;5—加热圈;  
6—螺钉;7—机颈;8—横销;9—哈夫块。

表 7.10-1 喷丝孔直径参考值(mm)

单丝直径 /mm	聚 乙 烯		聚 氯 乙 烯	
	LDPE( $\epsilon = 6$ )	HDPE( $\epsilon = 8 \sim 10$ )	( $\epsilon = 2.5$ )	( $\epsilon = 6$ )
0.2	0.5	0.8	0.4	0.5
0.3	0.8	1.1	0.6	0.8
0.4	1.1	1.2	0.8	1.1
0.5	1.2	1.7	0.9	1.2
0.6	1.5	2.0	1.1	1.5
0.7	1.7	2.3	1.2	1.7

(3) 喷丝孔成型段长  $L$  可参照圆形截面棒材口模成型段长度公式(7.4-1) 计算确定,也可凭经验确定。一般取喷丝孔长径比为  $L/d = 4 \sim 5$  为宜。当  $L/d$  较小时,塑料加工温度和剪切速率较宽的条件下,生产操作易控制,单丝质量较好。

(4) 喷丝孔入口角  $\alpha$  一般为  $\alpha = 20^\circ \sim 60^\circ$ , PP 取  $\alpha = 20^\circ$ , PE 取  $\alpha = 60^\circ$ 。其他塑料的入口角在此范围之内。

(5) 喷丝板强度 喷丝板要在高达  $300^\circ\text{C}$ 、承受  $30\text{MPa}$  的压力下工作,并经受清洗液的强烈腐蚀应力,故喷丝板的材料应予以选择,并有足够的机械强度。

## 7.10.2 造粒机头设计

### 一、造粒工艺与操作条件

在造粒生产工艺中,虽有热造粒和冷造粒之分,但造粒机头均担负着挤出线材的任务;在热造粒中,它还起着切粒底刀的作用。在热造粒生产过程中,刀轴排列有同心和偏心两种排列类型,如图 7.10-3 所示。采用刀轴偏心排列,无须用鱼雷头使熔体转向,对热敏性塑料尤为有用。表 7.10-2 列举了热造粒过程中不同冷却过程及其典型操作条件。



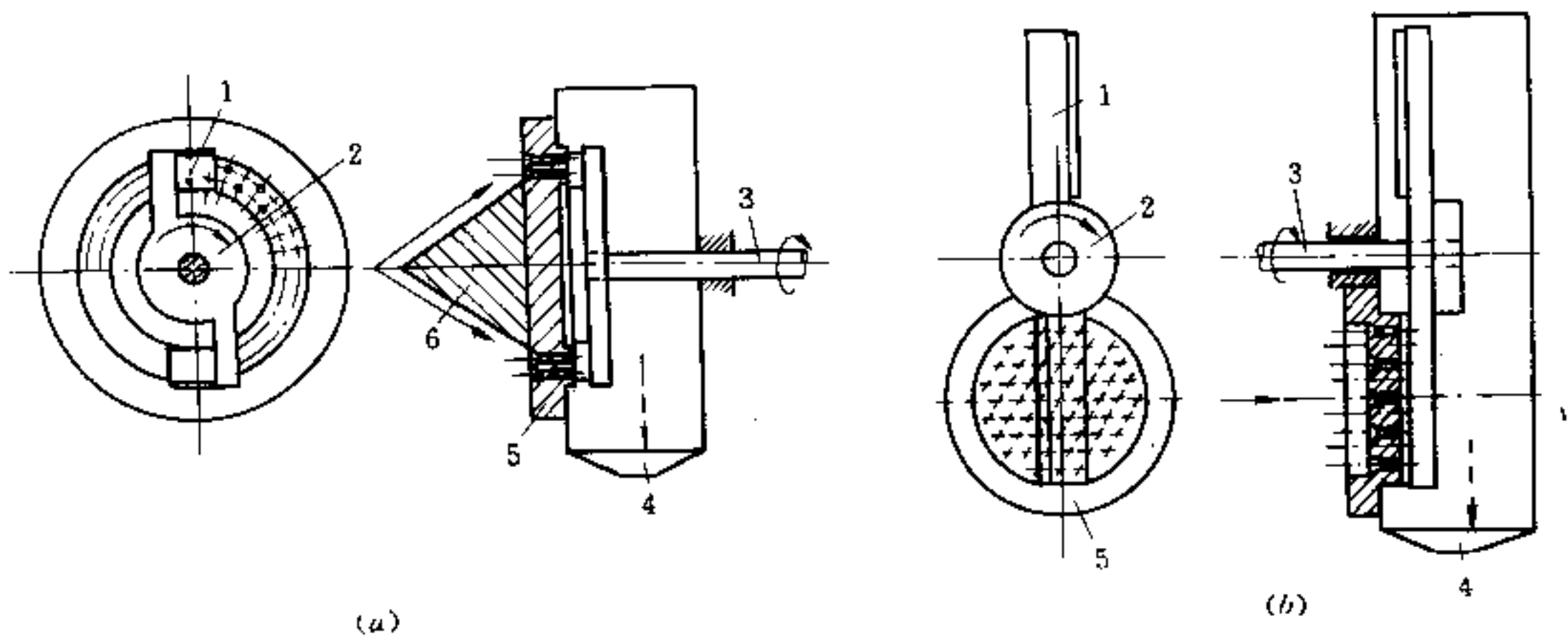


图 7.10-3 造粒机头结构设计

(a) 刀轴同心排列式; (b) 刀轴偏心排列式。

1—切粒刀; 2—刀支架; 3—刀轴; 4—料粒收集器; 5—口模板; 6—分流锥。

表 7.10-2 热造粒法典型操作条件

切削介质 / 冷却介质	产品类型	产量 / (kg · h <sup>-1</sup> )	造粒机口模		熔体压力 / MPa	粒料膨胀	切 刀				冷却水		
			加热	孔数			每孔产量 / (kg · h <sup>-1</sup> )	数量	圆周速度 / (m/s)	输入功率 / kW	工作寿命 / h	用量 / (m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> )	温度 / °C
空气 / 空气	软、硬 PVC	600 ~ 1800	电	1100	0.55 ~ 1.65	—	0.6	2	5 ~ 8	2	50 ~ 500	—	—
空气 / 水	HDPE	1700 ~ 2800	蒸汽	286	6 ~ 10	2 ~ 4	0.8	2	22 ~ 27	9	400 ~ 500	60	50 ~ 70
水 / 水	PP	1900 ~ 2800	蒸汽	192	10 ~ 12	6 ~ 10	0.7	6	20	44	250 ~ 600	60	30 ~ 50

## 二、口模板设计

造粒机头设计的关键是口模板, 优化口模板设计的任务包括: 使熔体压力损失最小, 有足够的机械强度, 以及由于大量钻孔使其力学性能降低。

造粒口模板的钻孔, 通常应具有较小的长径比 ( $L/d \leq 10$ ), 且为锥形入口, 如图 7.10-4 所示。考虑到出模膨胀, 钻孔直径 ( $d = 2R$ ) 取 3.7mm 为好。入口锥角  $\alpha \leq 30^\circ$  为宜。

成型段长度  $L$ , 须考虑入口效应, 故其理想长度应为:

$$L = ((L/R) + E)R \quad (7.10-1)$$

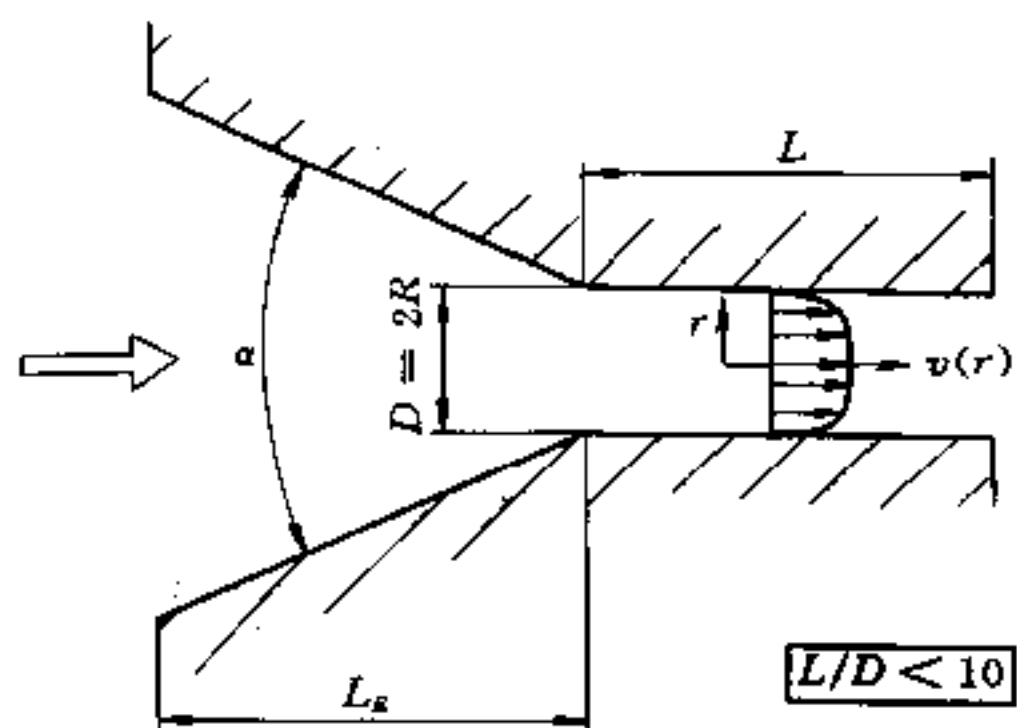


图 7.10-4 口模板钻孔几何形状

式中  $E$ ——修正系数,通常取  $E = 6$ 。

口模板上孔的排列,视刀轴排列类型(见图 7.10-3)的不同,可按同心排列(图 7.10-3(a)),也可按偏心排列(图 7.10-3(b))。在机械设计时,应注意口模前缘熔体将有 50 ~ 70MPa 的峰值压力。在稳态操作中,已知其压力损失约为 25MPa。

### 7.10.3 挤网机头设计

塑料网材在建筑、防虫、养鱼、装饰、包装等众多方面,具有广泛用途。

#### 一、塑料网的构成

挤塑成型塑料网有两种方式:一种是片状塑料网;另一种是管状塑料网。片状塑料网机头是由上下两个模唇组成。上下模唇上分别设有相应的半圆槽,且均可单独或分别作方向相反的往复运动。当有塑料熔体通过彼此相重合的半圆槽时,即形成一段圆形线条,构成网的“结节”;但当上下模唇的两半圆槽错开时,则形成两条半圆形线条,构成网的“孔眼”。调节上下模唇往复运动的方向、速度及料流的挤出速度,则可构成多种多样的网型,如图 7.10-5 所示。管状塑料网的构成如图 7.10-6 所示。



图 7.10-5 常见塑料网型

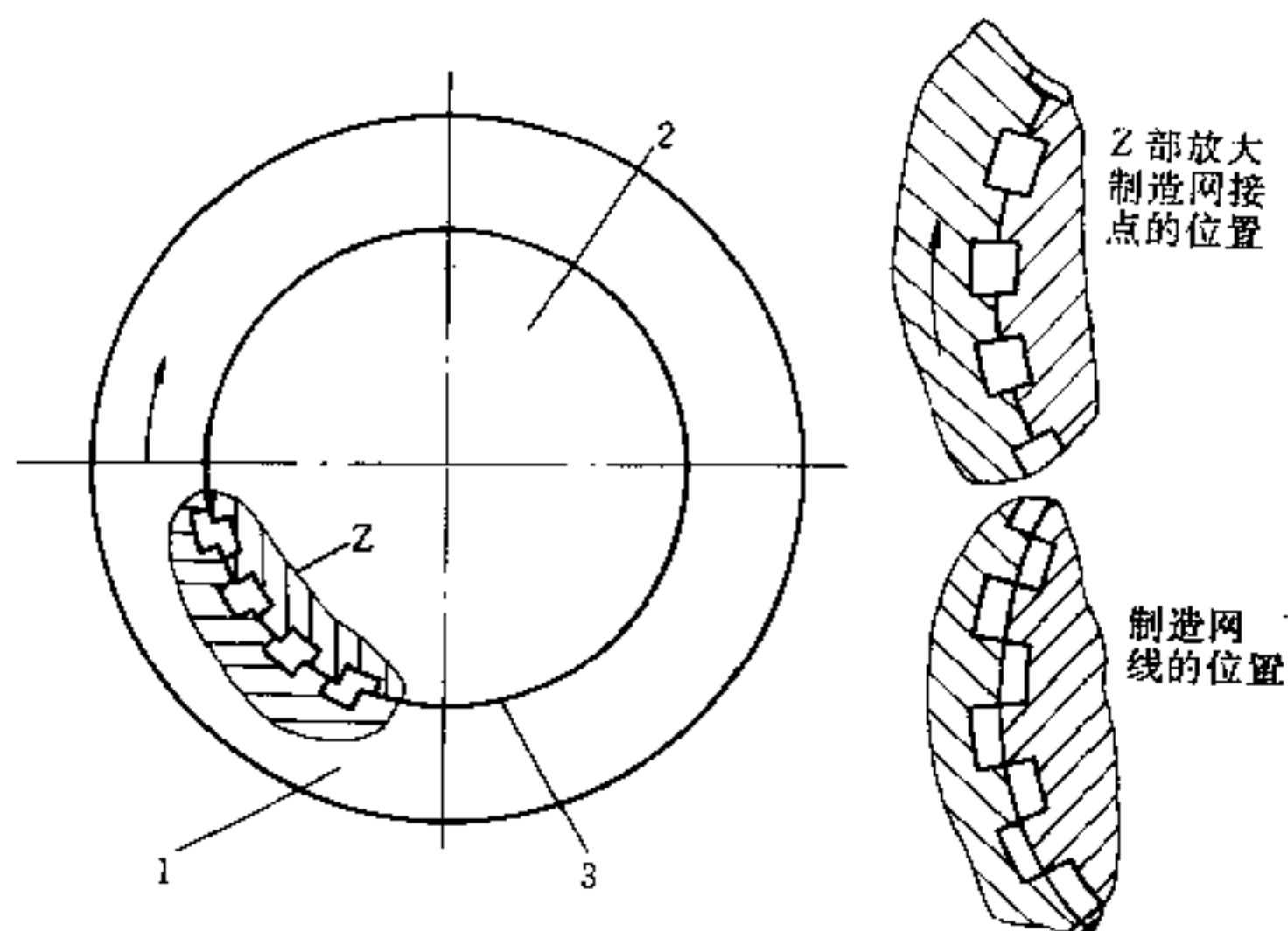


图 7.10-6 管状塑料网口模

1—可旋转的口模外圈;2—固定或可旋转的芯模;3—熔体出口。

#### 二、挤网机头结构

管状塑料网的挤塑成型机头结构,如图 7.10-7 所示。口模 16 和芯模 3 分别设有相应

的半圆槽,并相互形成紧密配合。当口模 16 与芯模 3,单独或分别以不同的速度相对旋转时,便能生产出多种管状塑料网型。管状塑料网的工艺装置如图 7.10-8 所示。将管状塑料网剖开冷却定型,也可获得宽幅塑料网材。

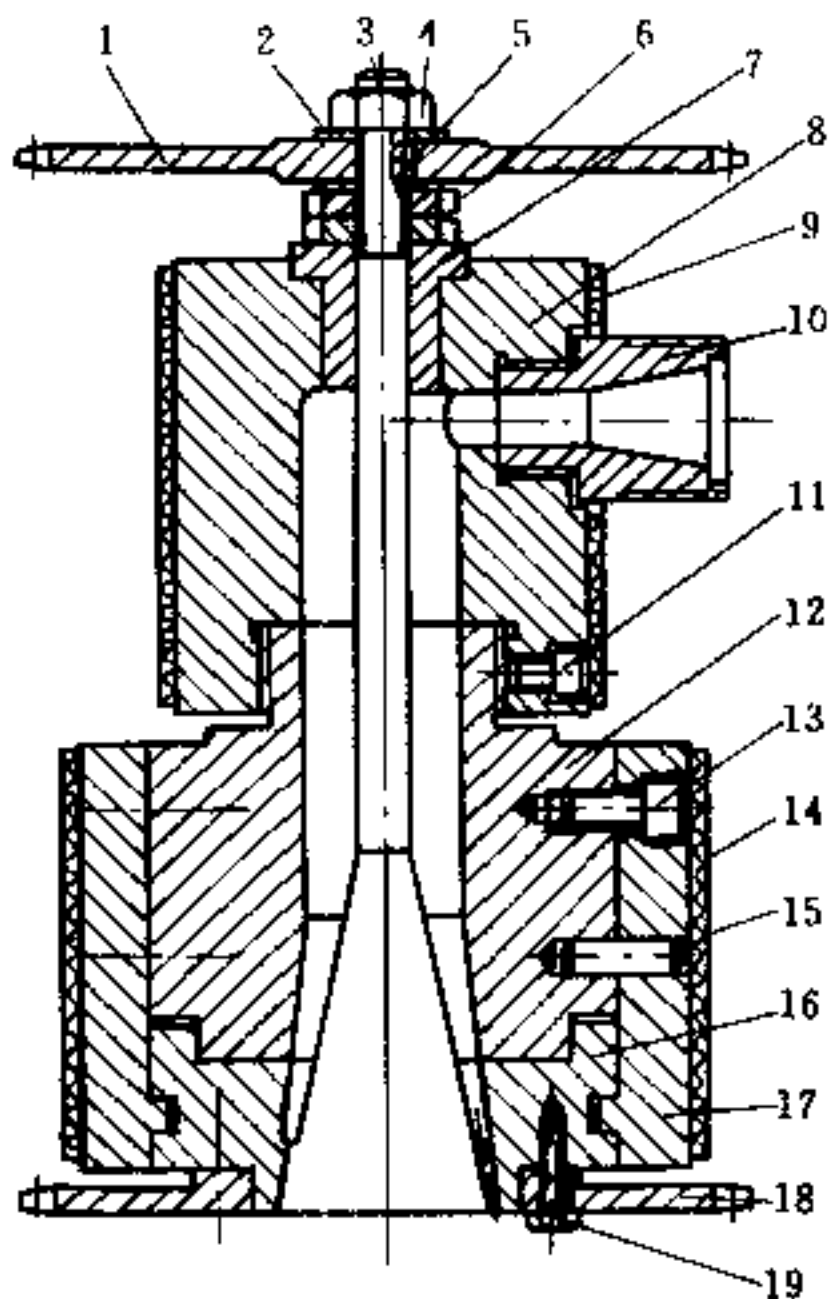


图 7.10-7 管状塑料网挤出机头

1—链轮;2—垫圈;3—芯模;4—螺帽;5—键;6—螺母;7—轴瓦;8—机头体;9,14—电热圈;  
10—接颈;11,13—内六角螺钉;12—过渡体;15—圆柱销;16—口模;17—接环;18—链轮;19—螺栓。

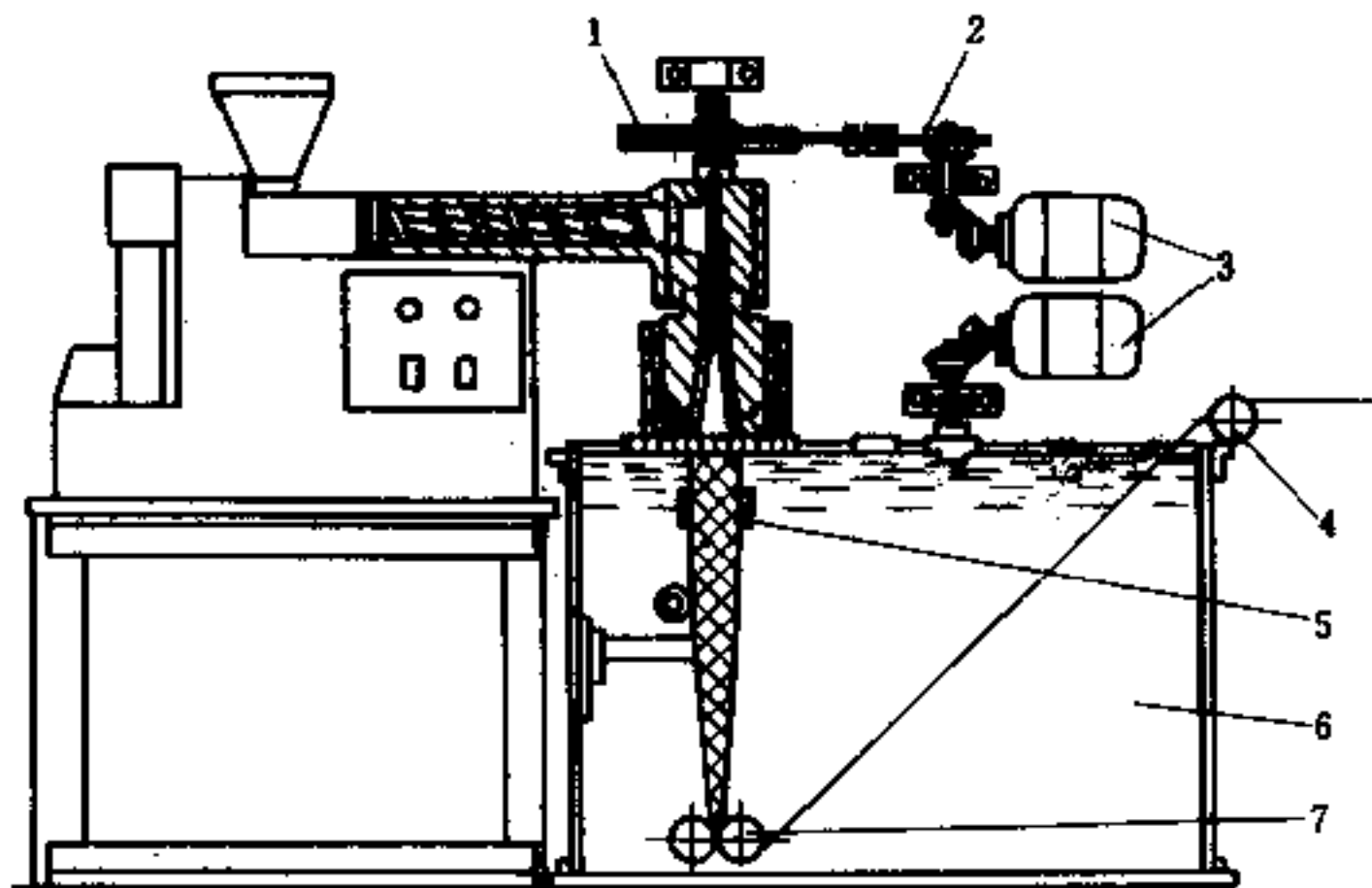


图 7.10-8 管状塑料网挤塑成型装置

1,2—皮带轮;3—电机;4—牵引辊;5—支架;6—冷却辊;7—导辊。

## 7.11 共挤塑模设计

### 7.11.1 共挤特性与工艺原理

共挤塑成型技术,是当代应用颇广、技术先进、属复合挤塑成型的一种塑料型材加工方法。它能赋予塑料型材(薄膜)以特殊性能,并能大幅度降低生产成本。

所谓“共挤技术”,就是将来自多台挤塑机的、经塑化好的、不同品种或牌号的塑料熔体,送入一“共用挤塑模”中,在压力与温度作用下,这些熔体“各行其道”,经口模区熔合成为型坯,再经冷却和定型后,便得所需复合型材的一类成型方法。这类成型加工方法,具有如下特点:

- (1) 能充分发挥各种塑料的固有特性,使其在复合型材中起到应有的主导作用;
- (2) 属多种塑料一起成型的整体技术,勿须粘接或贴合,故效率高成本低;
- (3) 将硬质材料与软质材料复合,集强度与弹性于一体,构成特殊用途材料;
- (4) 将多孔材料与致密材料复合,构成质轻、强度高的材料,赋予其特定性能;
- (5) 可构成品种多、花样新、性能优的各种型材,以满足特殊场合使用的材料;
- (6) 共挤复合塑料薄膜,已在包装工业(尤其在食品包装)中,显示出无可比拟的优越性。

共挤复合技术,为开发全新的、多品种塑料型材,展示了广阔的前景。但无论是用于开发或生产任何种类复合材料或复合塑件,其关键是共挤模设计的合理性。

### 7.11.2 共挤塑模结构类型

根据塑料复合型材工艺方法的不同,共挤塑模结构大致有4种类型。

#### 1. 模外复合共挤模

如图7.11-1所示,塑料熔体在各个完全独立的流道中流经口模,且仅于离开口模后才汇集在一起。图7.11-1(a)所示为平缝模的共挤场合,两熔体可凭借压辊2贴合在一起(若有第三层,亦在此喂入)。当然,此种共挤模也可设计成具有“双缝形”的挤塑模。图7.11-1(b)所示为共挤复合吹膜场合,各层膜坯很简单地汇合在一起。为增加其复合附着力,可在离开口模后于两膜坯间引入表面活性气体3。此种结构的共挤模,仅外层料流可得到调整。

这类结构共挤模的主要优点,是在两流道间的隔热十分简单,仅须采用一空隙即可,且两种熔体可在温度极不相同的条件下( $\Delta T = 50^{\circ}\text{C}$ 左右),因而熔体的加工特性(粘度)会有很大差异下进行。在设计此类共挤模时,还必须注意各流道中的熔体压力,存在有颇大不相同的可能性。由此,在力学上各流道零部件的任何变形,都产生不良后果,因而应予以避免。

#### 2. 模内复合共挤模

各熔体起始在独立的流道中流动,然后在离开口模前不远处汇合,并一起被挤出模外。如图7.11-2所示,由于熔体在口模内汇合,因而可改善其层间复合的附着力,且可调整复合型材的整个厚度分布。如图7.11-2(a)所示三层平缝复合型材那样,各流道均装有

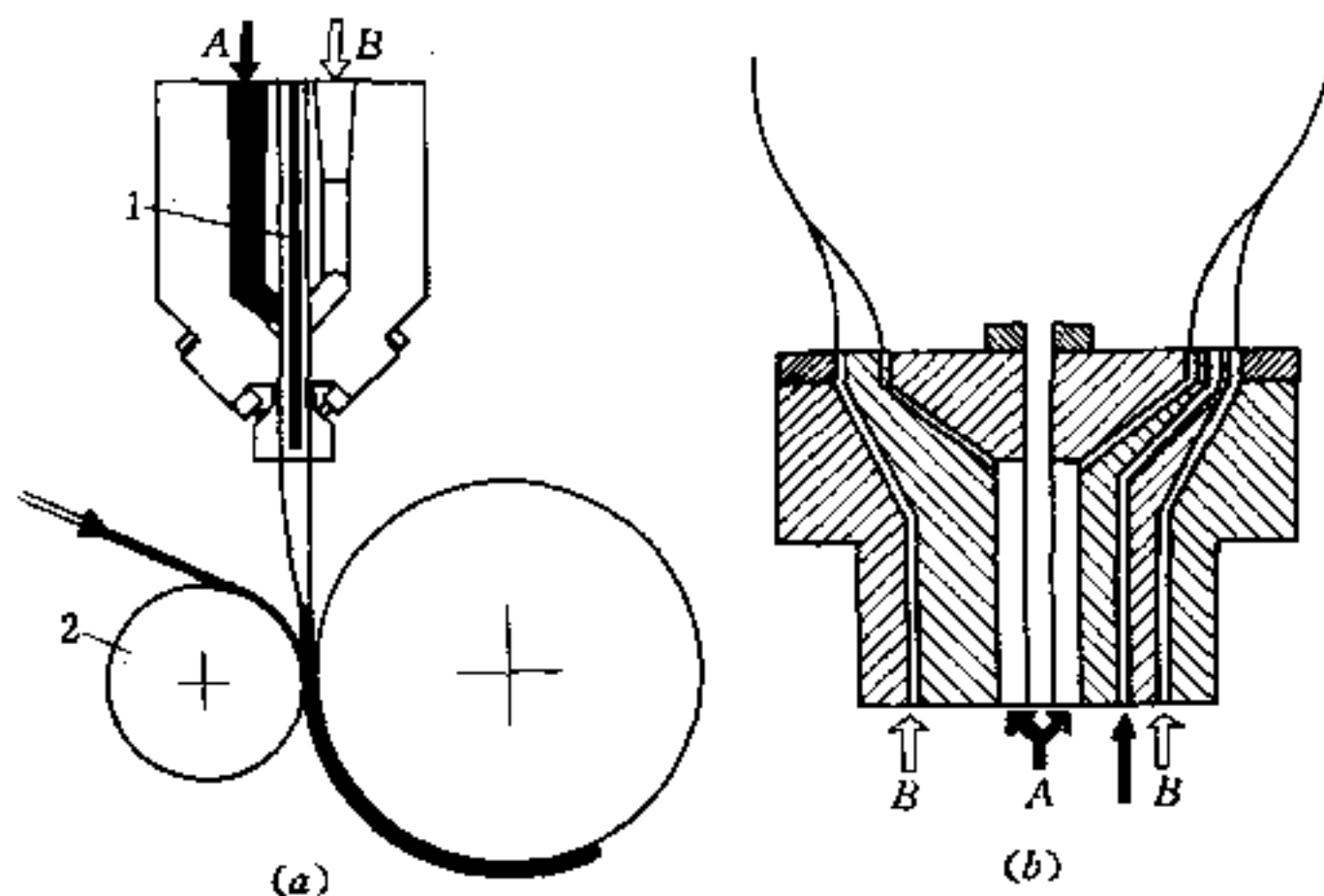


图 7.11-1 模外复合共挤模  
(a) 平缝复合共挤模; (b) 吹塑复合共挤模。  
1—隔热气隙; 2—压辊; 3—活性气体。

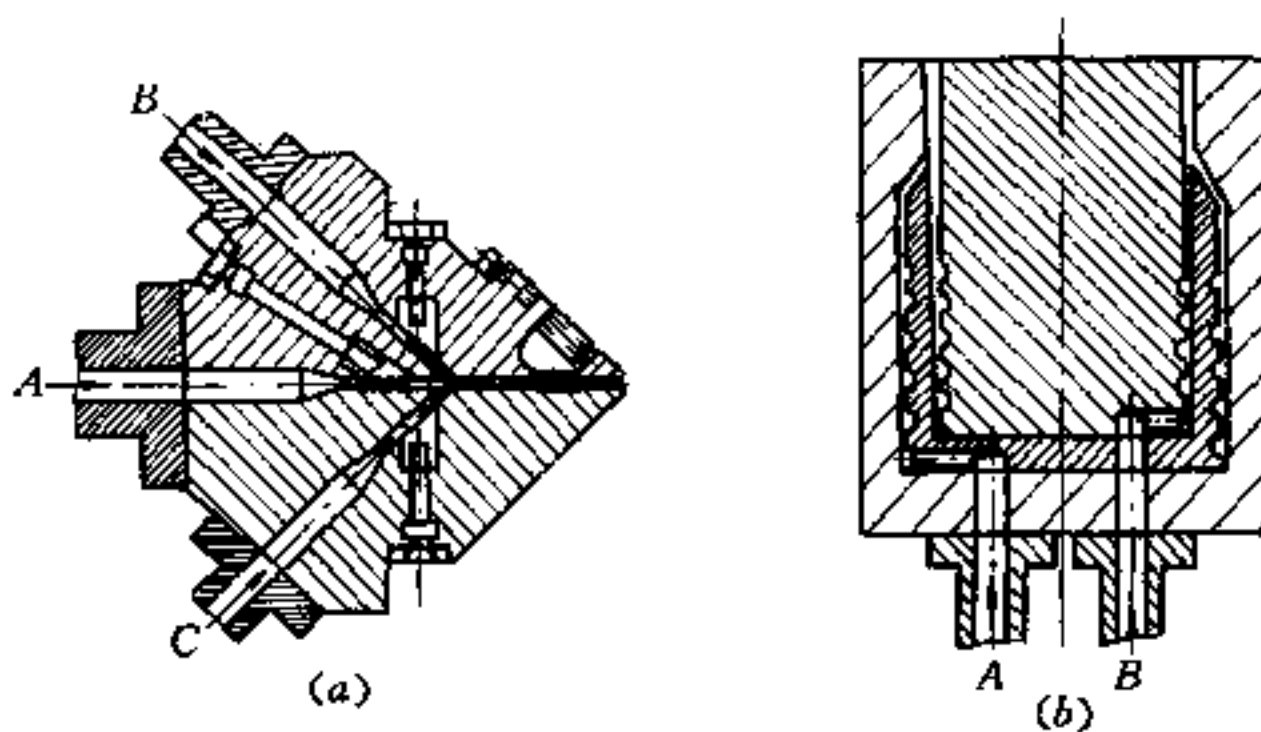


图 7.11-2 模内复合共挤模  
(a) 三层平缝共挤模; (b) 两层吹塑共挤模。

调节排, 使各料流均可得到独立调整。

### 3. 多层复合共挤模

其设计必须考虑到各分流道相距不应太远, 且流径应尽可能缩短, 并大致相等。这必然意味着模具结构的复杂化, 使其难于得到不同温度的熔体流。图 7.11-3 所示为多层复合共挤模, 图 7.11-3(a) 为四层复合共挤板材模; 图 7.11-3(b) 为两层复合共挤片材模, 采用钻孔形成气隙来绝热, 使两熔体流保持不同温度。图 7.11-4 所示为多层复合共挤吹塑模, 并具有螺旋式芯模结构。

### 4. 可控型坯共挤模

图 7.11-5 所示为可控型坯共挤模工作原理图, 依靠计算机程序控制管状活塞 2 的运动速度, 能局部实现型坯中熔料的不同分布, 以恰到好处地改善中空吹塑制品的性能。

## 7.11.3 多层共挤流动模拟分析

当流变性质不同的两种塑料熔体通过一共同流道时, 我们所关注的是在这一共同流

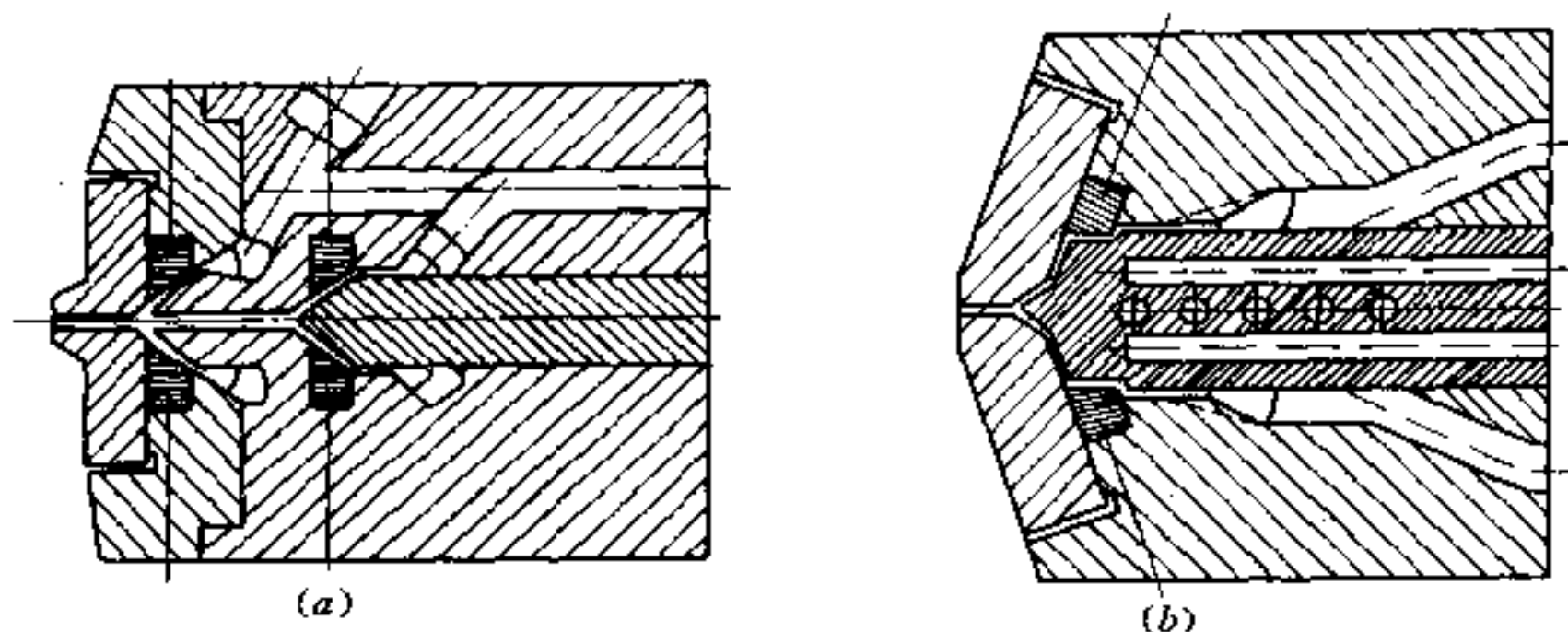


图 7.11-3 多层复合平缝共挤模  
(a) 四层复合共挤板材模; (b) 两层复合共挤片材模。

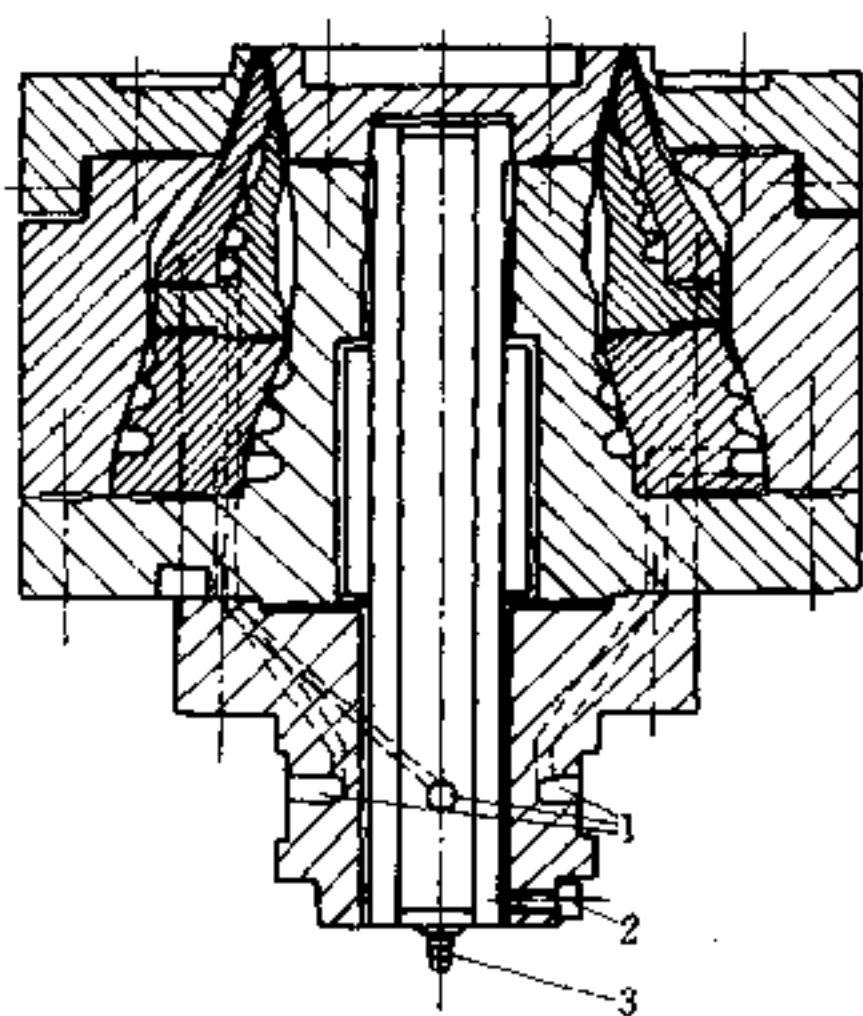


图 7.11-4 多层复合共挤吹塑模  
1—三种熔体流道入口; 2—内层流动调节; 3—压空入口。

道中所产生的压力损失、速度和温度分布、可提供熔体停留时间及热应力和机械应力状况。为计算和估价这些问题,可采用与单层流动(见 2.6 节)相同的办法进行处理。然而,对共挤塑流动所特有的不同边界条件必须予以考虑,这样会使所描述问题的方程求解,显得更加困难。

为了从数学上列出上述两种熔体,通过一共同流道的流动过程公式,予以描述,则必须区分对称流动和非对称流动,如图 7.11-6 所示。在此两种情况下,熔体形成不连续边界层。在对称流动中,芯层熔体(图 7.11-6(a) 下标“1”)被两个类似的覆盖层(下标为“2”的熔体)所包围。在非对称流动中,如图 7.11-6(b) 所示,两种熔体相互紧挨着流动,且两种熔体中的每一种均有机会与流道壁接触,并有共同的边界层。在这两种情况下,边界层的位置取决于两种共挤熔体的流量和粘度关系。

### 一、流量与压降计算

#### 1. 共挤棒材模

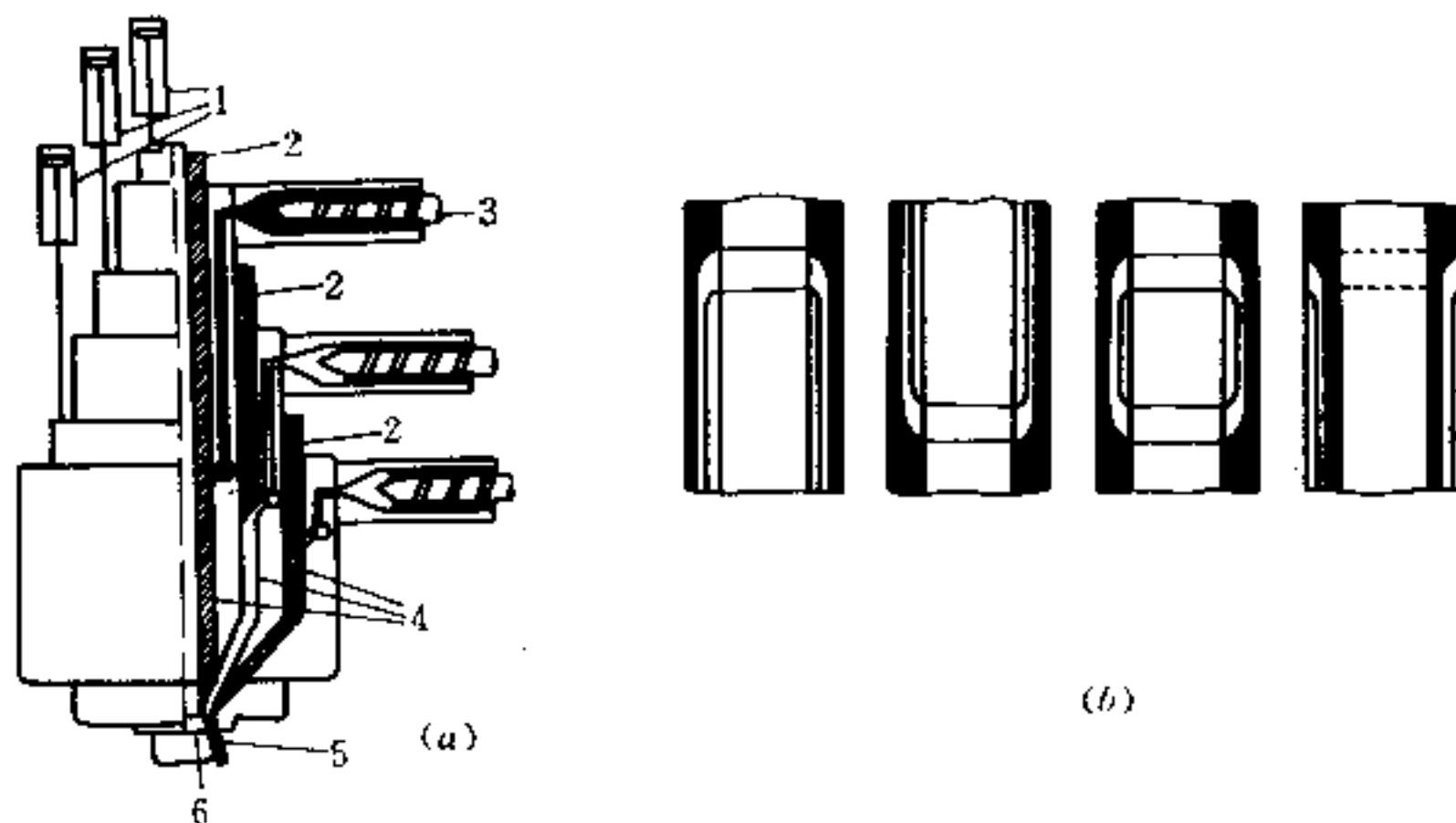


图 7.11-5 可控型坯共挤原理图

(a) 可控型坯共挤模; (b) 型坯料层分布。

1—液压油缸; 2—管状活塞; 3—挤塑机; 4—储料器; 5—型坯; 6—芯模。

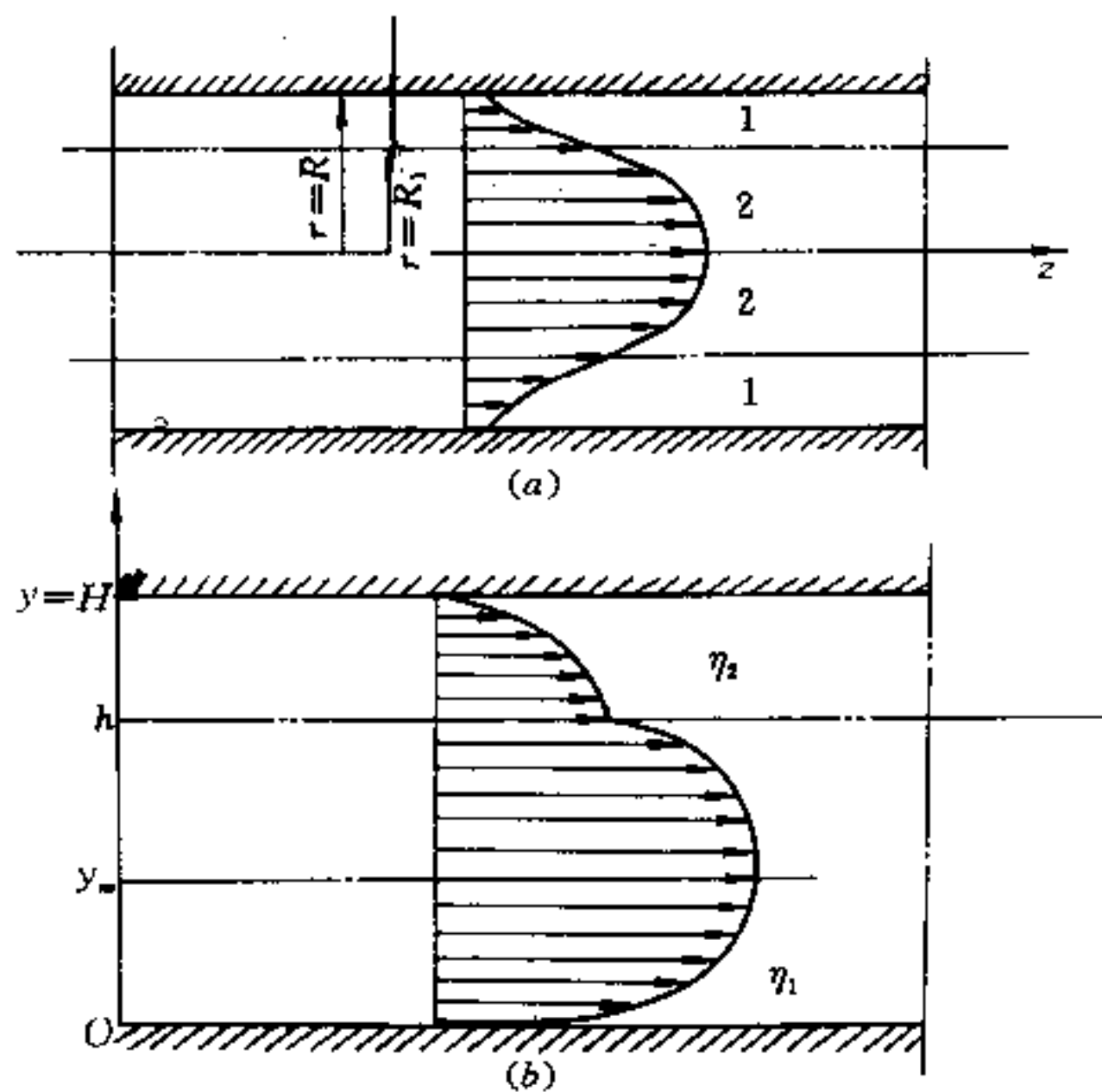


图 7.11-6 两组份熔体共挤流动模型

(a) 轴对称圆形流道; (b) 非对称平缝形流道。

根据 1.3 节动量方程表 1.3-2 所示的标量式, 圆柱坐标系沿  $z$  轴流动的分量可简化为

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\tau_{rz}) \quad (7.11-1)$$

再由塑料熔体的假塑性幂律方程(2.4-4), 利用其流动状的边界条件, 经联立求解可得, 外层熔体 1 与芯层熔体 2 的速度分布方程分别为

$$v_1 = \left( \frac{n_1}{n_1 + 1} \right) \left[ \frac{1}{2K_1} \left( \frac{dp}{dz} \right) \right]^{1/n_1} R^{\frac{n_1+1}{n_1}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{n_1+1}{n_1}} \right] \quad (7.11-2)$$

和

$$v_2 = (v_1)_{r=R_1} + \left( \frac{n_2}{n_2+1} \right) \left[ \frac{1}{2K_2} \left( \frac{dp}{dz} \right) \right]^{1/n_2} R_1^{\frac{n_2+1}{n_2}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R_1} \right)^{\frac{n_2+1}{n_2}} \right] \quad (7.11-3)$$

于是可得其相应的体积流量方程分别为

$$Q_1 = \frac{\pi n_1}{3n_1+1} \left[ \frac{1}{2K_1} \left( \frac{dp}{dz} \right) \right]^{1/n_1} R^{\frac{3n_1+1}{n_1}} \left[ 1 - \left( \frac{R_1}{R} \right)^{\frac{3n_1+1}{n_1}} \right] \quad (7.11-4)$$

及

$$Q_2 = \frac{\pi n_1}{3n_1+1} \left[ \frac{1}{2K_1} \left( \frac{dp}{dz} \right) \right]^{1/n_1} R^{\frac{3n_1+1}{n_1}} \left[ 1 - \left( \frac{R_1}{R} \right)^{\frac{3n_1+1}{n_1}} \right] + \frac{\pi n_2}{3n_2+1} \left[ \frac{1}{2K_2} \left( \frac{dp}{dz} \right) \right]^{1/n_2} R_1^{\frac{3n_2+1}{n_2}} \quad (7.11-5)$$

由于共挤棒材的体积流量,应为两种熔体的流量之和,故得两组份复合共挤棒材模流道中,其总的体积流量为

$$Q = \frac{2\pi n_1}{3n_1+1} \left[ \frac{1}{2K_1} \left( \frac{dp}{dz} \right) \right]^{1/n_1} R^{\frac{3n_1+1}{n_1}} \left[ 1 - \left( \frac{R_1}{R} \right)^{\frac{3n_1+1}{n_1}} \right] + \frac{\pi n_2}{3n_2+1} \left[ \frac{1}{2K_2} \left( \frac{dp}{dz} \right) \right]^{1/n_2} R_1^{\frac{3n_2+1}{n_2}} \quad (7.11-6)$$

当两种熔体的幂律参数  $n_1$ 、 $n_2$  和  $K_1$ 、 $K_2$  及界面位置  $R_1$  为已知时,便可定量地计算出流量与压降的关系。根据允许的压降及产量,便可计算出这种口模所必须的有关尺寸来。

## 2. 共挤板材模

当高粘度熔体 1 和低粘度熔体 2 在平缝形口模中流动,如图 7.11-6(b) 所示。在直角坐标系中的动量方程(见表 1.3-2),沿  $x$  轴方向上的分量可简化为

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \quad (7.11-7)$$

当熔体 1 和熔体 2 均为幂律流体时,则由式(2.4-4) 可分改写成如下形式:

$$\text{对于熔体 1,则有:} \quad \tau_{yx} = K_1 \left( \frac{dv_1}{dy} \right)^{n_1} = K_1 \dot{\gamma}_1^{n_1} \quad (7.11-8)$$

$$\text{式中,} \dot{\gamma}_1 = \frac{dv_1}{dy} > 0 (0 \leq y \leq y_m) \quad \dot{\gamma}_1 = \frac{dv_1}{dy} < 0 (y_m \leq y \leq h) \quad (7.11-9)$$

$$\text{对于熔体 2,应有} \quad \tau_{yx} = K_2 \left( \frac{dv_2}{dy} \right)^{n_2} = K_2 \dot{\gamma}_2^{n_2} \quad (7.11-10)$$

$$\text{式中} \quad \dot{\gamma}_2 = \frac{dv_2}{dy} < 0 (h \leq y \leq H)$$

将式(7.11-7) 积分化简,消去  $\tau_{yx}$  并整理后,得

$$y = y_m + \frac{K_1}{\left( \frac{dp}{dx} \right)} \cdot \dot{\gamma}_1^{n_1} \quad (7.11-11)$$



将上式两端微分,得

$$dy = \frac{K_1}{\left(\frac{dp}{dx}\right)^{n_1}} \dot{\gamma}_1^{(n_1-1)} d\dot{\gamma}_1 \quad (7.11-12)$$

对式(7.11-9)积分,并将式(7.11-14)代入

$$v_1 = \int_0^y \dot{\gamma}_1 dy = \frac{K_1}{\left(\frac{dp}{dx}\right)^{n_1}} \int_0^y \dot{\gamma}_1^{n_1} d\dot{\gamma}_1 = \left[ \frac{K_1}{\left(\frac{dp}{dx}\right)} \right] \left( \frac{n_1}{n_1+1} \right) (\dot{\gamma}_{10}^{n_1+1} - \dot{\gamma}_1^{n_1+1}) \quad (7.11-13)$$

$$\text{式中} \quad \dot{\gamma}_{10} = (\dot{\gamma}_1)_{y=0} = \left[ - \left( \frac{dp}{dx} \right) \frac{y_m}{K_1} \right]^{\frac{1}{n_1}} \quad (7.11-14)$$

由于  $\dot{\gamma}_1$  在最大速度位置  $y_m$  的两侧,其符号相反。因此,将熔体 1 的剪切速率定义为

$$\dot{\gamma}_1 = \left[ \frac{\left(\frac{dp}{dx}\right) |y - y_m|}{K_1} \right]^{\frac{1}{n_1}} \quad (0 \leq y \leq F) \quad (7.11-15)$$

同理,对于熔体 2,其剪切速率应为

$$\dot{\gamma}_2 = \left[ \frac{\left(\frac{dp}{dx}\right) |y_m - y|}{K_2} \right]^{\frac{1}{n_2}} \quad (F \leq y \leq H) \quad (7.11-16)$$

$$v_2 = \int \dot{\gamma}_2 dy = - \left[ \frac{K_2}{(dp/dx)} \right]^{n_2} \int \dot{\gamma}_2^{n_2} d\dot{\gamma}_2 = \left[ \frac{K_2}{(dp/dx)} \right] \left( \frac{n_2}{n_2+1} \right) (\dot{\gamma}_{2h}^{n_2+1} - \dot{\gamma}_2^{n_2+1}) \quad (7.11-17)$$

$$\text{式中} \quad \dot{\gamma}_{2n} = (\dot{\gamma}_2)_{y=H} = \left[ \left( \frac{dp}{dx} \right) \frac{H - y_m}{K_2} \right]^{\frac{1}{n_2}} \quad (7.11-18)$$

在两种熔体的界面上,即  $y = h$  时,  $v_1 = v_2$ ,可得

$$\frac{K_1 n_1}{n_1+1} (\dot{\gamma}_{10}^{n_1+1} - \dot{\gamma}_{1h}^{n_1+1}) = \frac{K_2 n_2}{n_2+1} (\dot{\gamma}_{2H}^{n_2+1} - \dot{\gamma}_{2h}^{n_2+1}) \quad (7.11-19)$$

式中  $\dot{\gamma}_{1h}$  和  $\dot{\gamma}_{2h}$ ——在式(7.11-15)和式(7.11-19)中,当  $y = h$  时的剪切速率。

对于单位宽度(即  $dz = 1$ )的体积流量,分别对已求得的速度分布函数进行积分:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \int_0^F v_1 dy = \left[ \frac{K_1}{dp/dx} \right]^2 \left( \frac{n_1^2}{n_1+1} \right) \int_{\dot{\gamma}_{1h}}^{\dot{\gamma}_{10}} (\dot{\gamma}_{10}^{n_1+1} - \dot{\gamma}_1^{n_1+1}) \dot{\gamma}_1^{n_1-1} d\dot{\gamma}_1 \\ &= \left[ \frac{K_1}{(dp/dx)} \right]^2 \left( \frac{n_1}{n_1+1} \right) \left[ \left( \frac{n_1+1}{2n_1+1} \right) \dot{\gamma}_{10}^{2n_1+1} - \dot{\gamma}_{10}^{n_1+1} \cdot \dot{\gamma}_{1h}^{n_1} + \left( \frac{n_1}{2n_1+1} \right) \dot{\gamma}_{1h}^{2n_1+1} \right] \end{aligned} \quad (7.11-20)$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= \int_F^H v_2 dy = \left[ \frac{K_2}{(dp/dx)} \right]^2 \left( \frac{n_2^2}{n_2 + 1} \right) \int_{\dot{\gamma}_{2h}}^{\dot{\gamma}_{2H}} (\dot{\gamma}_{2H}^{n_2+1} - \dot{\gamma}_{2h}^{n_2+1}) \dot{\gamma}_{2h}^{n_2-1} d\dot{\gamma}_2 \\
 &= \left[ \frac{K_2}{(dp/dx)} \right]^2 \left( \frac{n_2}{n_2 + 1} \right) \left[ \left( \frac{n_2 + 1}{2n_2 + 1} \right) \dot{\gamma}_{2H}^{2n_2+1} - \dot{\gamma}_{2H}^{n_2+1} \cdot \dot{\gamma}_{2h}^{n_2} + \left( \frac{n_2}{2n_2 + 1} \right) \dot{\gamma}_{2h}^{2n_2+1} \right]
 \end{aligned}
 \tag{7.11-21}$$

幂律流体在平行狭缝形口模中进行共挤出的体积流量  $Q$ , 应为高粘性熔体 1 的体积流量  $Q_1$  与低粘性熔体 2 的体积流量  $Q_2$  之和, 即

$$Q = Q_1 + Q_2 \tag{7.11-22}$$

### 3. 两相共轴流动分析

首先, 我们考虑通过一圆环形空间分两相的共轴流动, 且两共轴圆筒的内表面以恒速沿轴向运动。本流动问题可模拟为两种聚合物熔体的拖曳流与压力流相结合的模式, 并在压力型线缆包覆口模中形成同心层的问题。

如图 7.11-7 所示, 设最大速度发生在 A 相, 则速度场可写为

$$v_z = v_z(r) \quad v_r = v_\theta = 0$$

且 A 相与 B 相的动量方程之  $z$  向分量, 可分别简化为(柱面坐标系):

$$-\frac{\partial p_A}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\tau_{rz(A)}) = 0 \quad (R_{int} \leq r \leq R_0) \tag{7.11-23}$$

$$-\frac{\partial p_B}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\tau_{rz(B)}) = 0 \quad (R_i \leq r \leq R_{int}) \tag{7.11-24}$$

式中  $R_0$ ——口模半径;

$R_i$ ——金属芯线半径;

$R_{int}$ ——A、B 两相形成的界面半径位置。

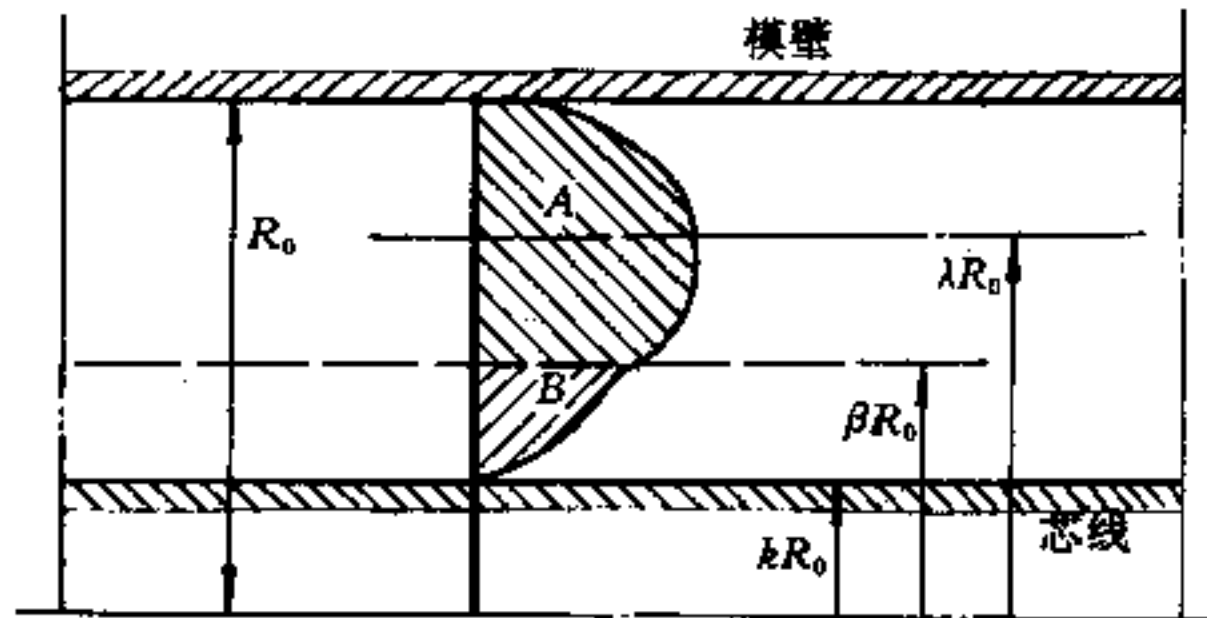


图 7.11-7 两相共轴流动模型

就整个流动来看, 可表示为

$$-\frac{\partial p_A}{\partial z} = -\frac{\partial p_B}{\partial z} = \zeta \tag{7.11-25}$$

令  $\lambda$  为流体产生最大速度处 ( $\tau_{rz(A)} = 0$ ) 的无量纲半径坐标。然后, 使用无量纲半径

坐标  $\rho = r/R_0$ , 解得流体 A 的速度分布式, 分别为

$$v_{z(A)}(\rho) = R_0 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_A} \right)^{\frac{1}{n_A}} \int_{\rho}^1 \left( \frac{\rho^2 - \lambda^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho \quad (\lambda \leq \rho \leq 1) \quad (7.11-26)$$

$$v_{z(A)}(\rho) = R_0 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_A} \right)^{\frac{1}{n_A}} \int_{\beta}^{\rho} \left( \frac{\lambda^2 - \rho^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho + v_{z(A)}(\beta) \quad (\beta \leq \rho \leq \lambda) \quad (7.11-27)$$

同理, 可解得流体 B 的速度分布式, 即

$$v_{z(B)}(\rho) = R_0 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_B} \right)^{\frac{1}{n_B}} \int_k^{\rho} \left( \frac{\lambda^2 - \rho^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_B}} d\rho + V_W \quad (k \leq \rho \leq \beta) \quad (7.11-28)$$

$$v_{z(A)}(\beta) = v_{\beta} = R_0 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_A} \right)^{\frac{1}{n_A}} \left[ \int_{\lambda}^1 \left( \frac{\rho^2 - \lambda^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho - \int_{\beta}^{\lambda} \left( \frac{\lambda^2 - \rho^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho \right] \quad (7.11-29)$$

$$\begin{aligned} V_W = R_0 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_A} \right)^{\frac{1}{n_A}} \left[ \int_{\lambda}^1 \left( \frac{\rho^2 - \lambda^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho - \int_{\beta}^{\lambda} \left( \frac{\lambda^2 - \rho^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho \right] \\ - R_0 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_B} \right)^{\frac{1}{n_B}} \int_k^{\beta} \left( \frac{\lambda^2 - \rho^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_B}} d\rho \end{aligned} \quad (7.11-30)$$

在求得 A 相与 B 相熔体的速度分布函数之后, 其体积流量可分别用下述表达式求得:

$$Q_A = 2\pi R_0 \int_{\beta}^1 v_{z(A)}(\rho) \rho d\rho = \pi R_0^2 v_{\beta} (\lambda^2 - \beta^2) + \pi R_0^3 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_A} \right)^{\frac{1}{n_A}} \int_{\beta}^1 \frac{|\lambda^2 - \rho^2|^{\frac{n_A+1}{n_A}}}{\rho^{\frac{1}{n_A}}} d\rho \quad (7.11-31)$$

$$\begin{aligned} Q_B = 2\pi R_0^2 \int_k^{\beta} v_{z(B)}(\rho) \rho d\rho = \pi R_0^2 V_W (\beta^2 - k^2) \\ + \pi R_0^3 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_B} \right)^{\frac{1}{n_B}} \int_k^{\beta} \frac{(\beta^2 - \rho^2)(\lambda^2 - \rho^2)^{\frac{1}{n_B}}}{\rho^{\frac{1}{n_B}}} d\rho \end{aligned} \quad (7.11-32)$$

式中,  $v_{\beta}$  和  $V_W$  分别为式(7.11-31)和式(7.11-32)所定义。

这样就得

$$\begin{aligned} Q = Q_A + Q_B \\ = \pi R_0^3 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_A} \right)^{\frac{1}{n_A}} \int_{\beta}^1 \frac{|\lambda^2 - \rho^2|^{\frac{n_A+1}{n_A}}}{\rho^{\frac{1}{n_A}}} d\rho + \pi R_0^2 V_W (\lambda^2 - k^2) \\ + \pi R_0^3 \left( \frac{\zeta R_0}{2K_B} \right)^{\frac{1}{n_B}} \int_k^{\beta} \frac{(\lambda^2 - \rho^2)^{\frac{n_B+1}{n_B}}}{\rho^{\frac{1}{n_B}}} d\rho \end{aligned} \quad (7.11-33)$$

A 相与 B 相的体积流量比为

$$\begin{aligned} \frac{Q_A}{Q_B} = & \left\{ (\lambda^2 - \beta^2) \left[ \int_{\lambda}^1 \left( \frac{\rho^2 - \lambda^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho - \int_{\beta}^{\lambda} \left( \frac{\lambda^2 - \rho^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho \right] \right. \\ & \left. + \int_{\beta}^1 \frac{|\lambda^2 - \beta^2|^{\frac{n_A+1}{n_A}}}{\rho^{n_A}} d\rho \right\} \\ & / \left\{ (\beta^2 - k^2) \left[ \int_{\lambda}^1 \left( \frac{\rho^2 - \lambda^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho - \int_{\beta}^{\lambda} \left( \frac{\lambda^2 - \rho^2}{\rho} \right)^{\frac{1}{n_A}} d\rho \right] \right. \\ & \left. + \left( \frac{2K_A}{\zeta R_0} \right)^{\frac{1}{n_A}} \left( \frac{\zeta R_0}{2K_B} \right)^{\frac{1}{n_B}} \int_k^{\beta} \frac{(\rho^2 - k^2)(\lambda^2 - \rho^2)^{\frac{1}{n_B}}}{\rho^{n_B}} d\rho \right\} \quad (7.11-34) \end{aligned}$$

式(7.11-36)表明,当  $n_A \neq n_B$  时,两种聚合物熔体的流量比,也是压力梯度  $\zeta$  的函数。

注意线缆速度  $V_w$ 、压力梯度  $\zeta$ 、无量纲芯线半径  $k$ 、口模半径  $R_0$ 、两相流变参数  $K$  和  $n$  以及流量比( $Q_A/Q_B$ ),必须予以规定。在确定正确的  $\beta$  和  $\lambda$  值时,须遵循以下原则:

(1) 最大速度位置  $\lambda$ ,一定倾向处于低粘度相一边;

(2) 两相界面位置  $\beta$ ,强烈地依赖于体积流量比,当( $Q_A/Q_B$ )增大时, $\beta$  值降低,反之亦然;

(3) 最大速度位置  $\lambda$ ,强烈地依赖于电线速度  $V_w$  和压力梯度  $\zeta$ 。

在假定  $\beta$  和  $\lambda$  值均能同时满足式(7.11-25)和式(7.11-34)时,应使用试差法求解。 $\beta$  和  $\lambda$  值一旦被确定以后,就能由式(7.11-23)和式(7.11-24)计算出剪切应力分布,由式(7.11-26)至式(7.11-28)求得速度分布,由式(7.11-31)和式(7.11-32)算得体积流量  $Q_A$  和  $Q_B$ 。

若最大速度分布发生在 B 相,则将 A 相代替有关方程,可获得类似的结果。

## 二、共挤流动数值计算

由前述可知,多层共挤流动的数值解十分复杂。对此,可借助于计算机编程进行处理。为达此目的,可将平缝口模中非对称多层流处理为如图 7.11-8 所示的数学模型。仅当  $\zeta$  和  $h$  为已知数,且  $\eta_1$  和  $\eta_2$  为常数,则可得出连续解。对于假塑性流体,必须采用迭代数值解法。

和单层流动一样(见 2.6 节),先从恒定粘度值开始求解,并计算剪切速率分布,由此得到与剪切速率有依赖关系的粘度值。在新的计算步骤中,此粘度值导致对以前的剪切速率分布的修正。当两连续计算的速度分布间之差小于一规定极限  $F$  时,才停止这种迭代。

由于通常并不知道压力梯度  $\zeta$  和边界坐标  $h$ ,所以首先必须设定两者的起始值。这样,就能计算体积能量  $Q_1$  和  $Q_2$ 。当分别与总体流量进行比较时,使  $\zeta$  能用进一步的迭代予以修正。同时,用  $Q_1/Q_2$  之比也能在迭代中,用于修正边界坐标  $h$ 。

由于式(7.11-22)至式(7.11-23)过于具体和复杂,对此可采用下述一组简化方程,对于非对称的多层流动仍然有效。

$$\therefore \quad \tau(y) = -\zeta(y - y_m); \quad \zeta = \frac{dp}{dx} \neq f(y) \quad (7.11-35)$$

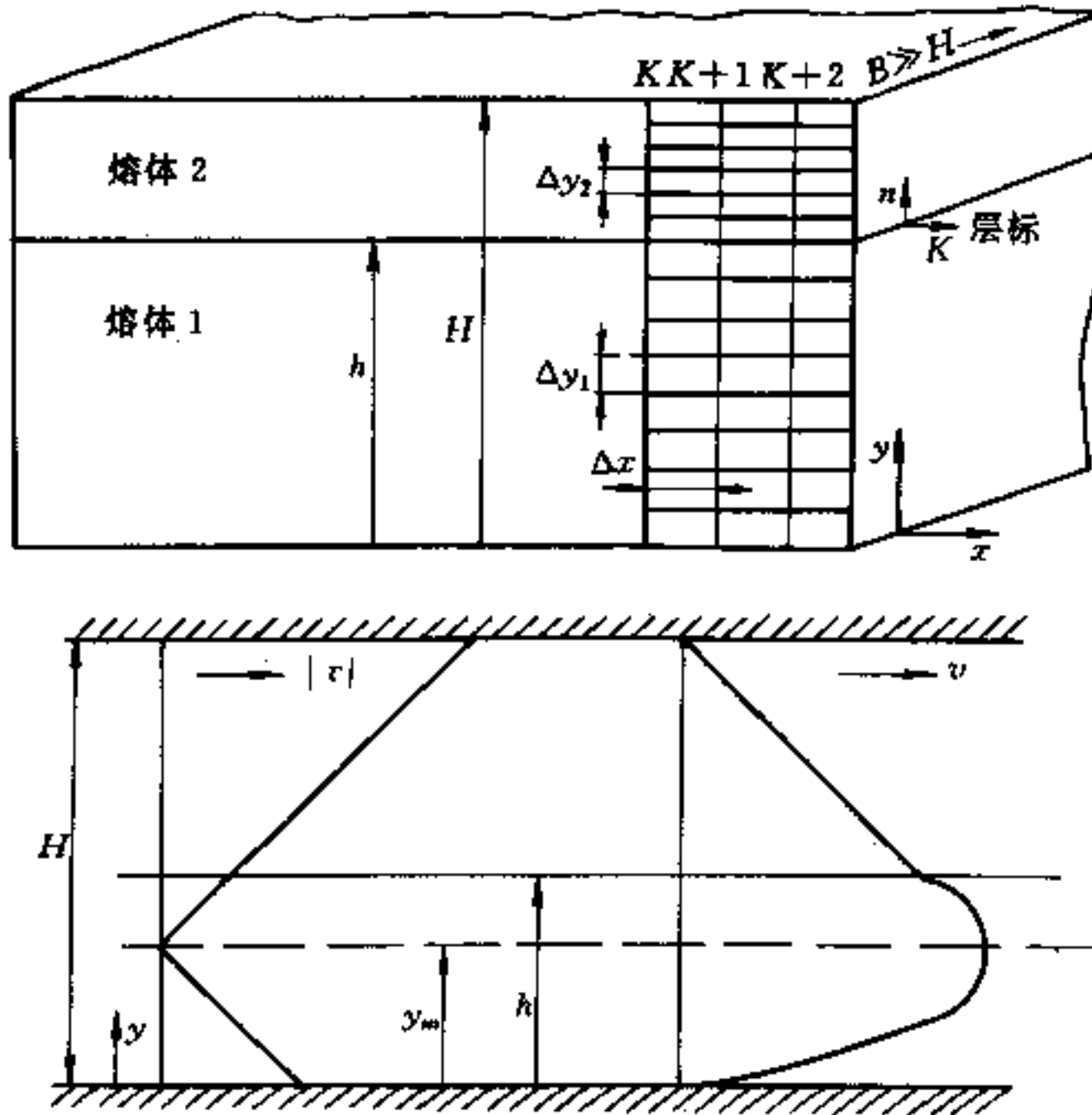


图 7.11-8 平缝口模中非对称多层流动模型

和

$$\eta_i = \frac{\tau(y)}{\dot{\gamma}_i} \text{ 及 } \dot{\gamma}_i = -\zeta \frac{y}{\eta_i(\dot{\gamma})} \quad (7.11-36)$$

因此

$$\text{对于 } y_m \geq y, v_i(y) = -\zeta \int_0^y \frac{(y_m - y)}{\eta_i(\dot{\gamma})} dy \quad (7.11-37)$$

$$\text{对于 } y_m \leq y, v_i(y) = -\zeta \int_{(H-y)}^H \frac{(y - y_m)}{\eta_i(\dot{\gamma})} dy \quad (7.11-38)$$

当  $y = h$  时, 使式(7.11-36) 等于式(7.11-37), 则可得与  $y_m$  的联系。

$$\text{对于 } y_m \geq h, \int_0^h \frac{(y_m - y)}{\eta_1} dy = \int_{(2y_m - h)}^H \frac{(y - y_m)}{\eta_2} dy \quad (7.11-39)$$

对于  $y_m \leq h$  也类似。

在数值计算中, 首先就给定的体积流量估计  $h$ , 并用恒定粘度确定  $y_m$

$$y_m = \frac{\left(\frac{\eta_2}{\eta_1} - 1\right) h^2 + H^2}{2 \left[ \left(\frac{\eta_2}{\eta_1} - 1\right) h + H \right]} \quad (7.11-40)$$

图 7.11-9 为其计算框图, 表明需要极为复杂的算法。若按流道的一半进行计算, 则此种计算程序也适用于对称多层流动分析。

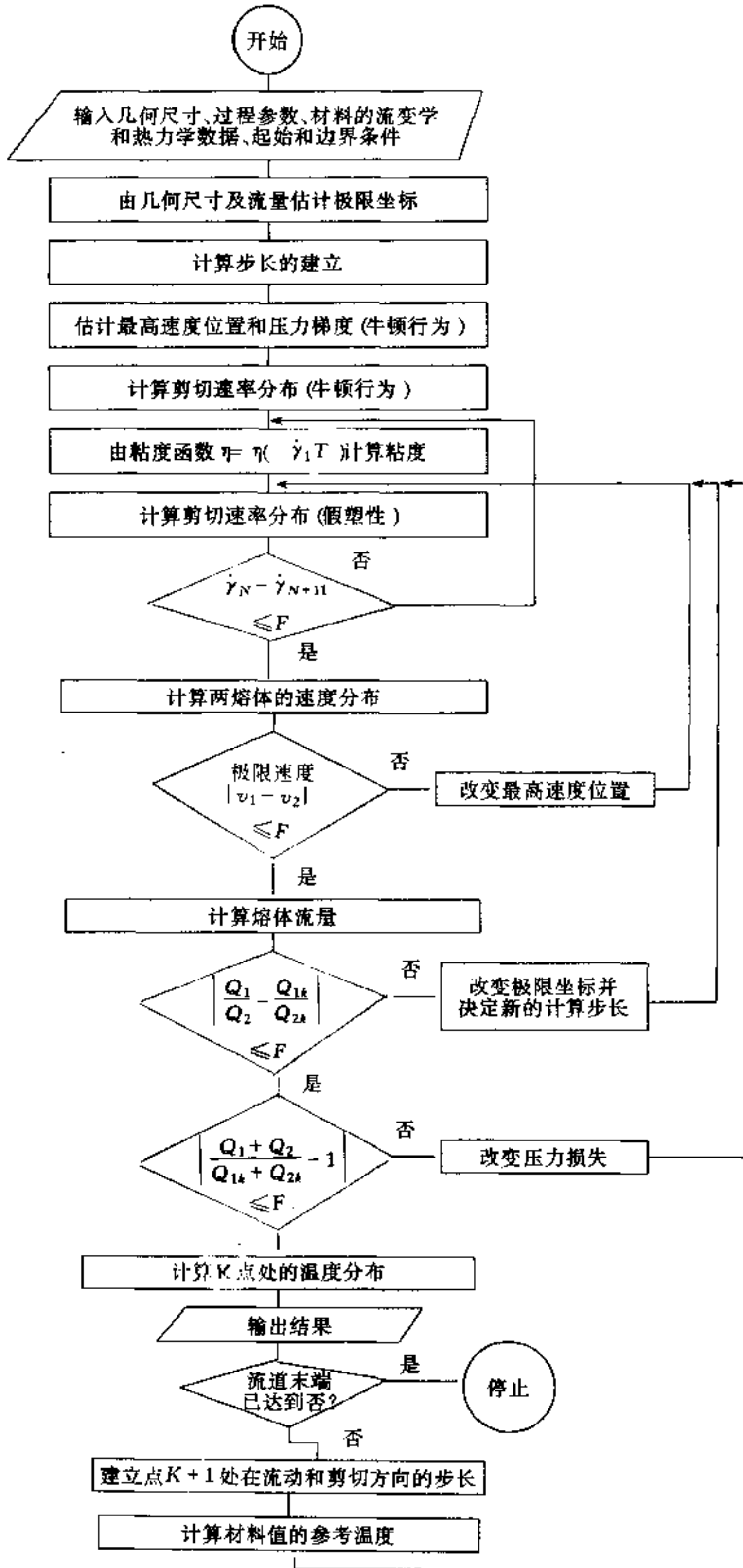


图 7.11-9 平缝口模中非对称多层流动分析计算机程序框图

## 7.12 挤塑模加热与压力测量

挤塑模的温度条件,对局部的熔体流量、压力降和温度分布有明显影响;并且还和物料弹性的各种效应有关,如膨胀和收缩,对意料中或偶然的温度偏差十分敏感。因此,必须十分认真地考虑挤塑模的温度控制,以便不会仅因未恰当考虑热边界条件,而使已经包括到流道设计中的流变学考虑成为无效。就此而论,应再次强调,由挤塑机供给模具的熔体,必须有尽可能好的热均匀性。

因此,加热形式与温度调节方法,是挤塑模设计的重要内容。它不仅关系到产品内在与外观质量,而且还直接影响到生产效率。此外,挤塑模型腔压力是设计师十分关注的重要参数,是其结构设计的基本依据,在设计工作进行之前,必须予以认可。最好的办法,是在类似的操作条件下,予以实测确定。

### 7.12.1 加热功率计算

#### 1. 按挤塑模质量确定加热功率

可用如下公式计算

$$N_m = \frac{GC(t - t_0)}{3600\eta \cdot \tau} \quad (\text{kW}) \quad (7.12-1)$$

其中,  $G$  为挤塑模质量(kg);  $C$  为模具材料比热容(碳钢为0.46),  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $t$  为挤塑模工作温度( $^\circ\text{C}$ );  $t_0$  为模具起始温度( $^\circ\text{C}$ );  $\eta$  为加热器效率,通常取  $\eta = 0.3 \sim 0.5$ ;  $\tau$  为加热时间(h)。

#### 2. 按挤塑模散热面积确定加热功率

可用如下经验式计算

$$N_m = \Phi_m \sum_{i=1}^n F_{mi} \quad (\text{kW}) \quad (7.12-2)$$

其中,  $\Phi_m$  为与挤塑模类型有关的效率系数,可由表 7.12-1 选取;  $F_{mi}$  为模具表面积( $\text{m}^2$ )。

表 7.12-1 挤塑模加热效率系数( $\text{kW}/\text{m}^2$ )

挤塑模类型	挤管模	平缝模	型坯模	吹塑模
效率系数 $\Phi_m$	0.4 ~ 0.7	0.5 ~ 0.6	0.3 ~ 0.5	0.4 ~ 0.6

#### 3. 按热散失所需补充的热量计算

用以下公式分别计算

##### (1) 挤塑模周围空气对流散失的热量

$$Q_L = F_W \alpha_L (t - t_0) \quad (\text{W}) \quad (7.12-3)$$

其中,  $F_W$  为挤塑模表面积( $\text{m}^2$ );  $\alpha_L$  为空气对流传热系数,通常取  $\alpha_L = 8 \text{W}/\text{m}^2$ ;  $t$  为模具表面温度( $^\circ\text{C}$ );  $t_0$  为环境温度( $^\circ\text{C}$ )。

##### (2) 挤塑模热辐射损失的热量

$$Q_R = F_W \cdot \epsilon \cdot C_S \left[ \left( \frac{t + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (\text{W}) \quad (7.12-4)$$

其中,  $\epsilon$  为热辐射系数, 取  $\epsilon = 0.25 \sim 0.75$ ;  $C_S$  为黑体辐射系数, 其值为  $5.8\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。

(3) 挤塑模需补充热量 应为上述两项之和, 即

$$Q = Q_L + Q_R \quad (\text{W}) \quad (7.12-5)$$

4. 挤塑模升温所需时间

按下式计算

$$\tau = \frac{GC(t - t_0)\eta}{Q_{\max}} \quad (\text{h}) \quad (7.12-6)$$

## 7.12.2 加热方式选择

### 1. 电阻加热器

在挤塑模上应用最广泛、最有效、最流行的加热方式, 就是电阻加热器。可根据其几何形状及特殊要求订做或专制。通常, 在电阻加热器的外表面, 用  $0.6 \sim 1.0\text{mm}$  厚的不锈钢板覆盖, 内表面用  $0.4 \sim 0.6\text{mm}$  厚的紫铜, 内部为电阻丝及云母片制成。其基本结构形式如图 7.12-1 至图 7.12-4 所示。

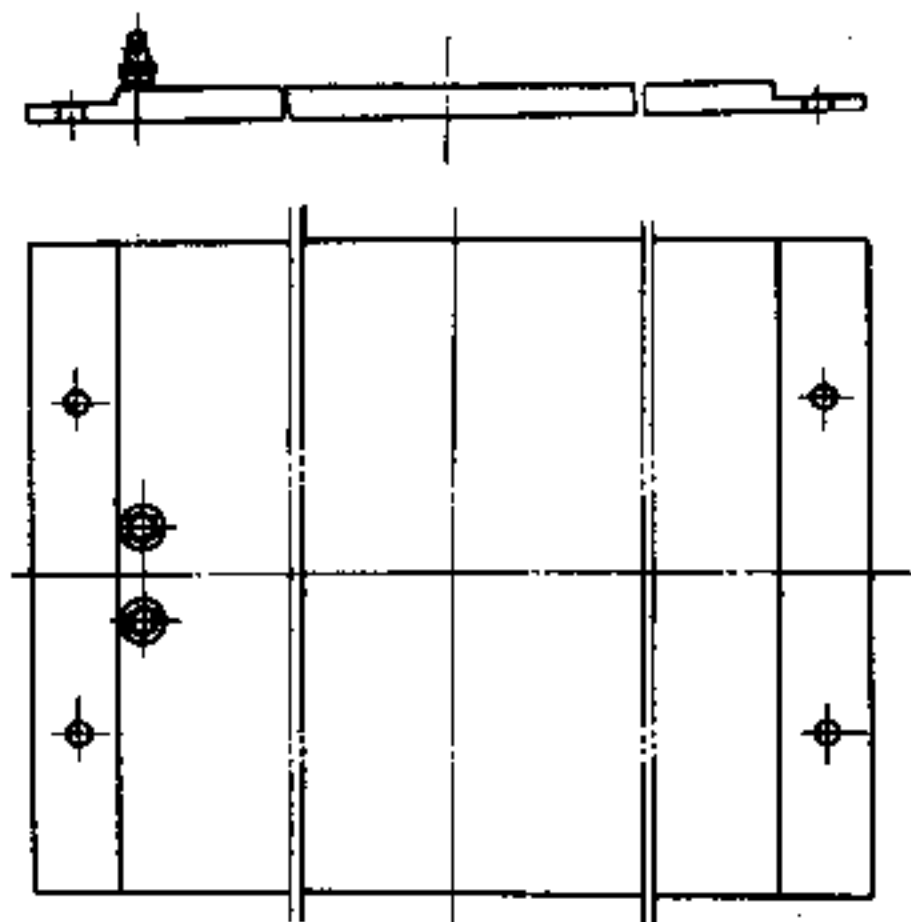


图 7.12-1 板状电阻加热器

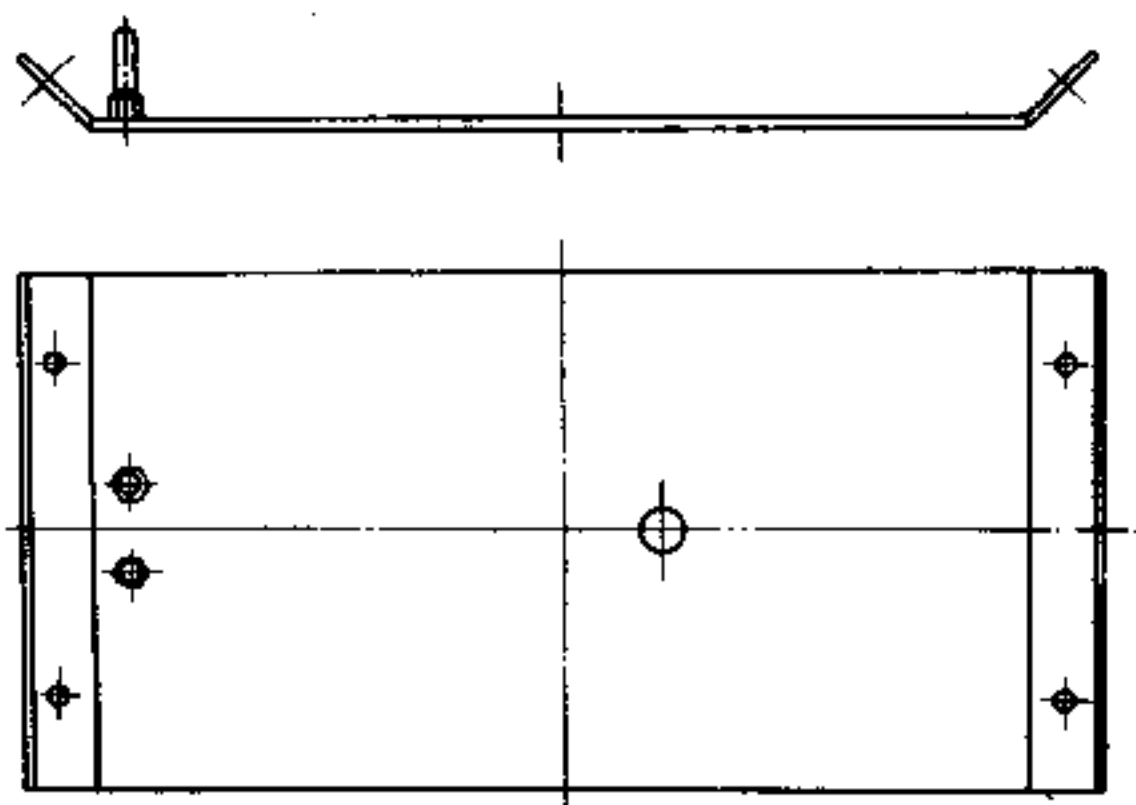


图 7.12-2 片状电阻加热器

当有温度计、热电偶、螺栓等过孔通过加热器时, 应在相应部位预留出稍大的通孔, 如图 7.12-3 所示正上方的大孔, 为安压力传感器之用; 下方的小孔为热电偶控温用。当使用片状加热器时, 外表面需用石棉板(绝热), 通过压板与供热面固牢, 如图 7.12-5 所示, 以利于延长片状加热器的使用寿命, 防止热散失, 提高加热效率。

### 2. 铸铝加热器

根据加热功率额度及挤塑模几何形状的不同, 可以选购或订做。铸铝加热器, 可以做成整体式, 也可以做成单片经组装而成。铸铝加热器的使用寿命, 一般均高于电阻加热器。铸铝加热器的基本结构如图 7.12-6 所示, 加热管须均匀分布, 经模具浇铸而成。它是将电阻丝装于加热管内经密实的氧化镁粉中, 再将加热管浇于铝合金中制成。因而, 具有防氧化、防潮、防振、防爆等优异的性能, 是挤塑模加热之佳品。



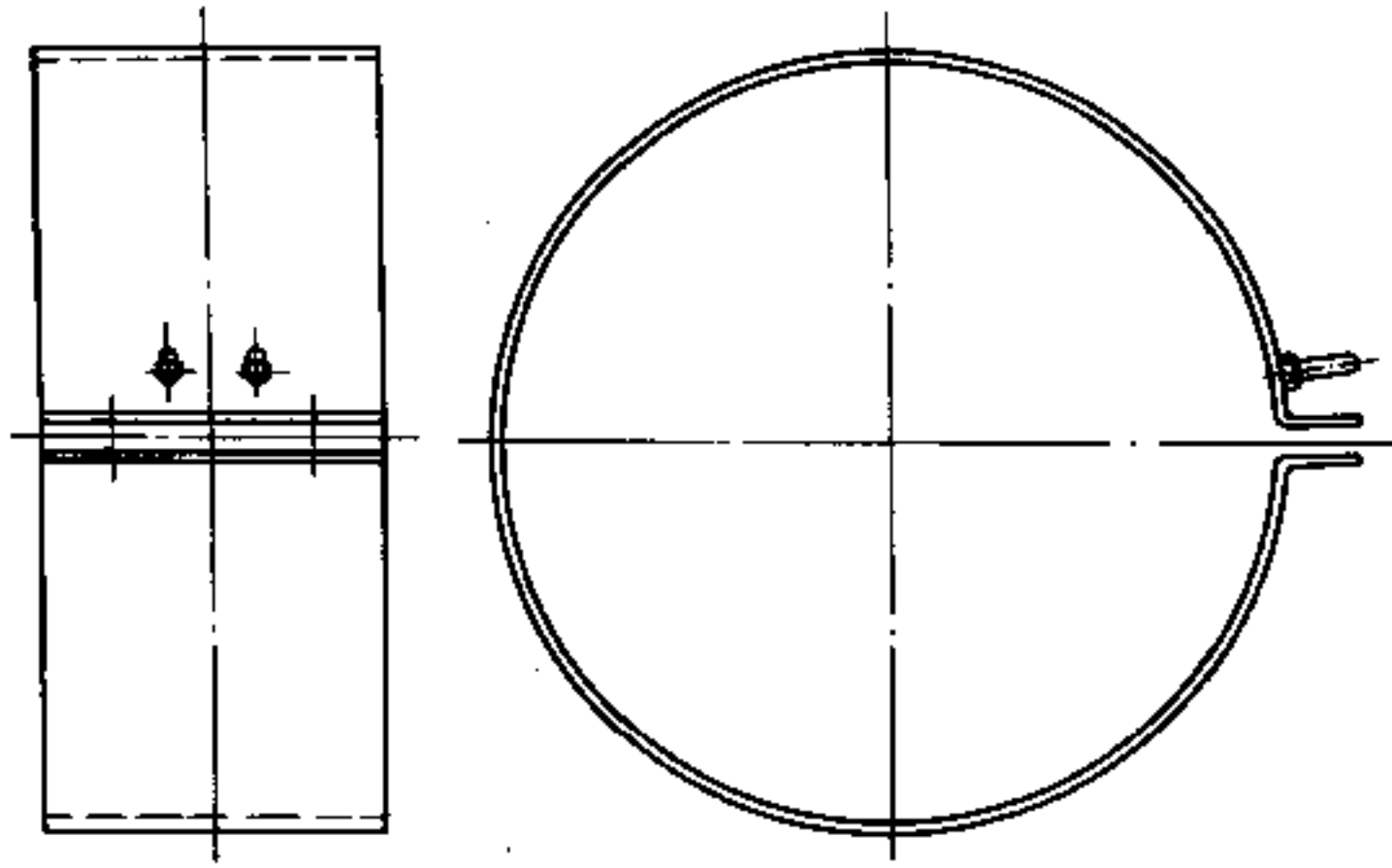


图 7.12-3 环状电阻加热器

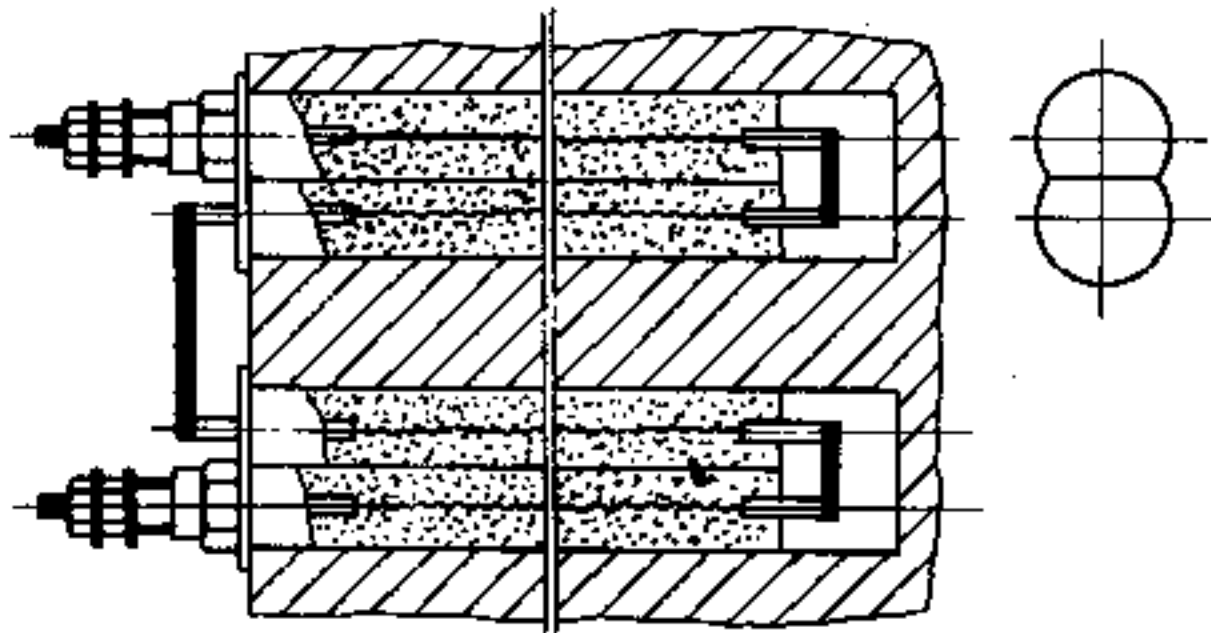


图 7.12-4 管状电阻加热器

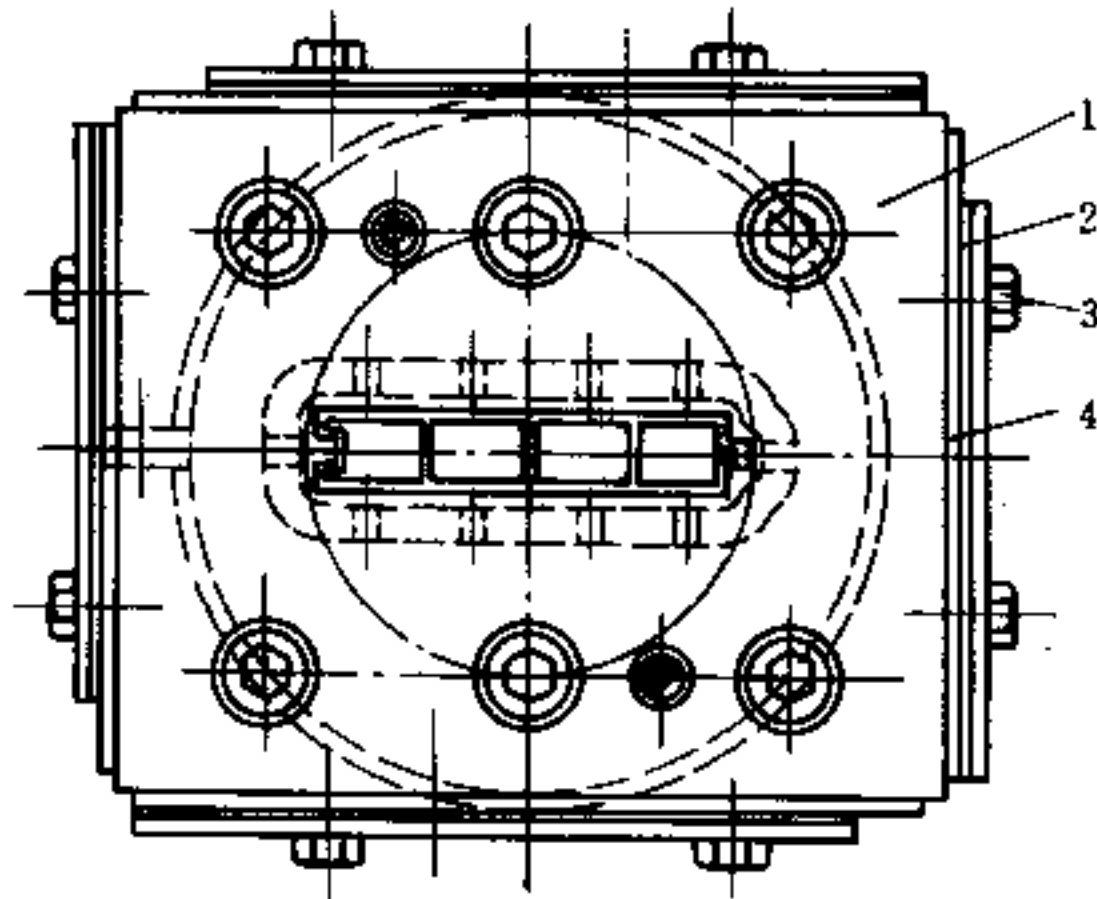


图 7.12-5 片环状加热器的安装

1—隔板挤塑模；2—石棉板；3—紧固螺钉；4—片状电阻加热器。

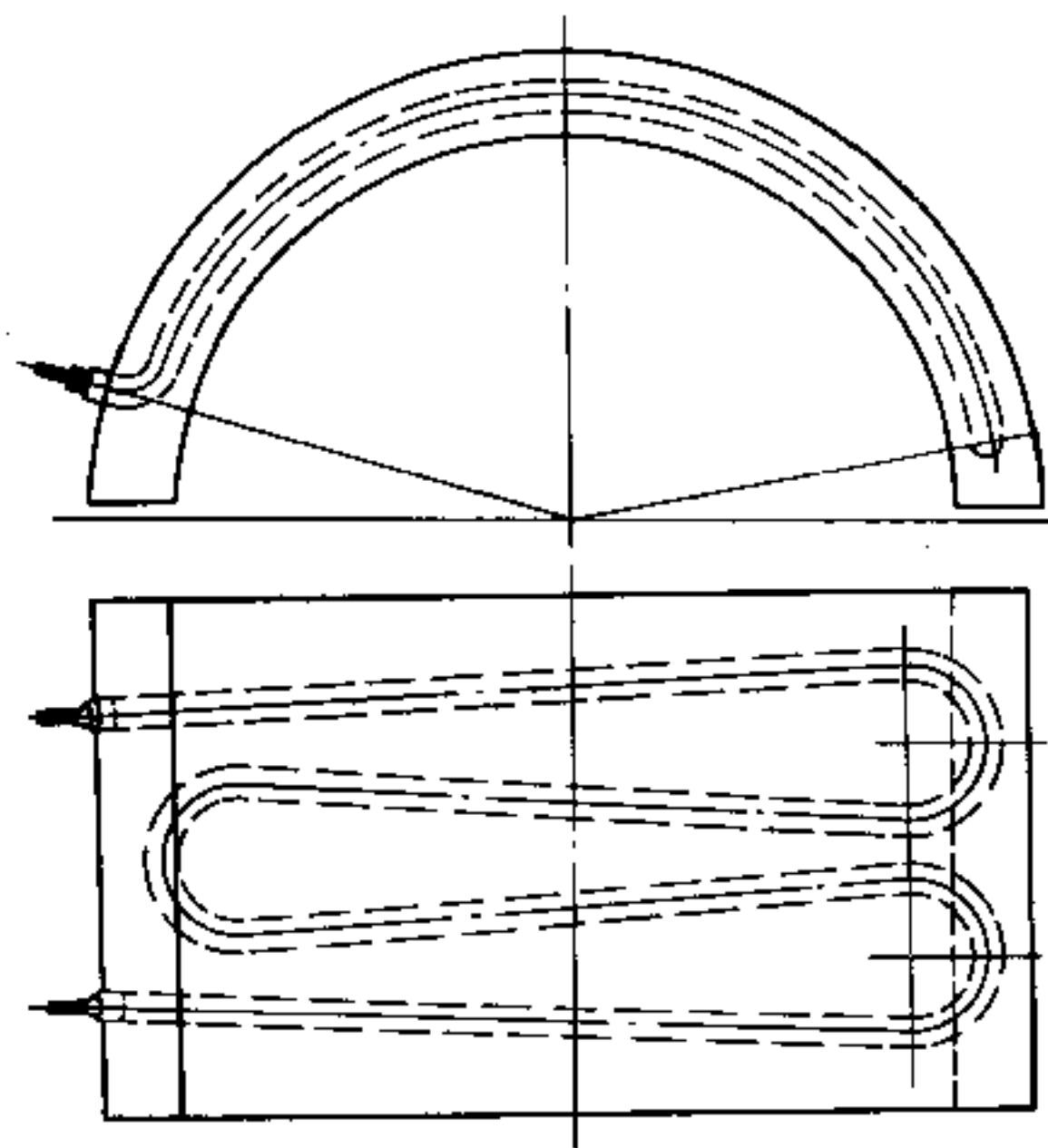


图 7.12-6 圆环状铸铝加热器

### 7.12.3 温度控制与调节

挤塑模温度控制优劣,直接影响型材质量。温度调节方式合理与否,将直接影响型材生产操作难易程度及生产效率。挤塑模温度,多由热电偶(见图 7.12-7)通过毫伏计控制。温度调节,多由操作者设定或手动旋钮选择。

异型材挤塑模,多用片状加热器,如图 7.12-5 所示,4 片加热器可分别控制温度。当口模流道中熔体流速稍有不均时,可通过改变流道温差达到流速均匀的目的。如果挤塑模流道完全均匀对称,其加热方式也可整体控制,但灵活性甚小,调节极不方便。因此,真正的整体加热器使用甚少。

### 7.12.4 机头压力测量

机头压力,是挤塑模设计的重要参数之一。一副成功的挤塑模设计,首先须合理确定模腔压力。型材生产效率、表观质量、口模成型段长度、模具强度和刚性要求等,无不与压力参数密切相关。为此,实际测量压力必不可少。

机头压力测量,通常采用高压熔体压力传感器,将其安装在挤塑模流道合适的部位上。原则是既不能造成流道堵塞,又要避开流道死角,以确保压力测量的准确性。压力传感器与流道壁的配合间隙,须小于 0.03mm,以防止熔体渗漏,造成物料过热分解。压力传感器端面的弹性膜片,应与流道内壁平齐。当膜片有圆弧过渡倒角时,其倒角应除外,以膜片平面与流道内壁面平齐为准。

拆卸压力传感器时,须待模腔内熔体压力降至大气压时进行,以防止发生熔料喷射伤人的危险。当然,也不允许熔体冷却固化后,才拆卸压力传感器,因有损坏弹性膜片的危险。

GYZ 型高温熔体压力传感器的结构,如图 7.12-8 所示。它适用温度高达 300℃ 的熔体压力测量与控制场合。量程有 0 ~ 15MPa 和 0 ~ 50MPa 两档。熔体压力通过端面弹性膜片和传压杆传递给应变盘,使之形变牵制绕线架,致使绕线架上的应变丝产生相应的应变,从而使电阻值发生变化。绕线架上的一组应变丝相增长,电阻值增大;而下面一组应变丝相应缩短,电阻值减小。其差值经转换放大后,即为所测熔体压力。

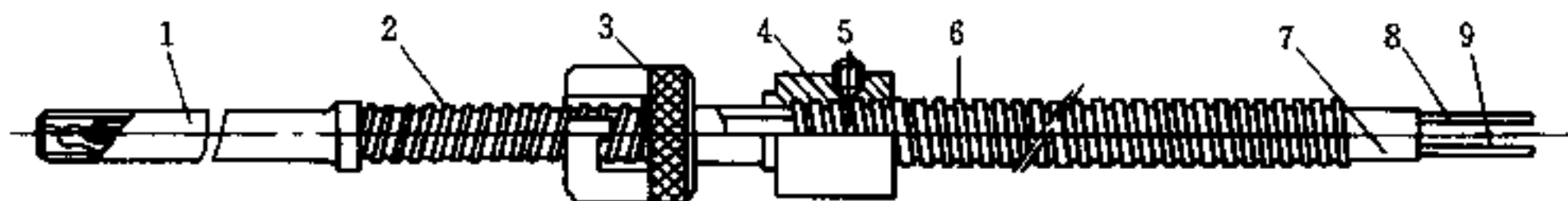


图 7.12-7 挤塑模控温用热电偶

- 1—保护管(H62);2—弹簧(65Mn);3—固定螺帽(H62);4—软管接头(H62);  
5—紧固螺钉;6—金属软管;7—玻璃丝导管;8—烤铜丝(Ni44%,Cu56%);  
9—镍铬丝(Ni89%,Cr10%,Fe1%)。

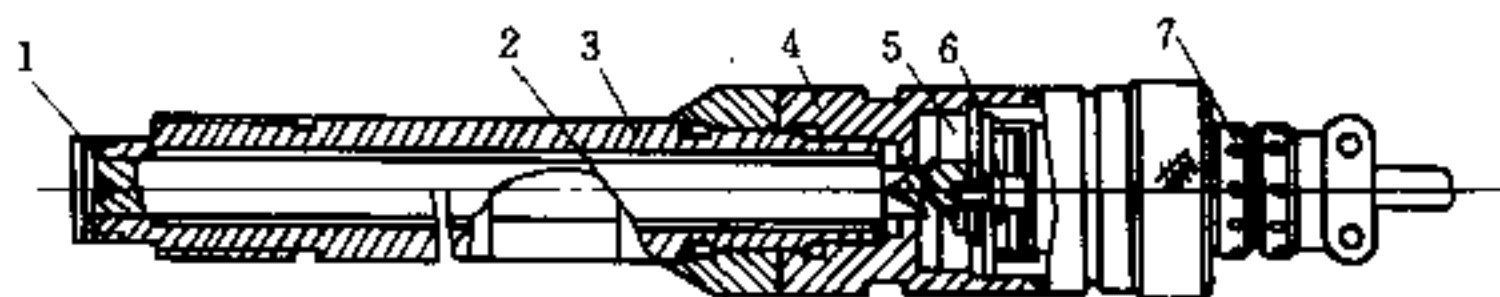


图 7.12-8 GYZ 型高温压力测量传感器

- 1—弹性膜片;2—传压杆;3—下壳体;4—上壳体;5—弹性元件;6—应变盘;7—接线座。

## 7.13 挤塑模机械设计

挤塑模的机械设计,即由生产操作中所产生的力、引起的形变,及由此经计算确定的挤塑模结构尺寸,在很大程度上取决于熔体流变性能及热条件,以及由设计师所赋予机头的构型。

### 7.13.1 机械设计基本原则

在挤塑模机械设计时,首先必须遵循经实践证明、并行之有效的一些基本原则。不管在前面已进行了何种评论,必须再次强调,在确定挤塑模结构及其流道构型时,通常必须遵守以下基本原则。

#### 1. 机头结构设计基本原则

(1) 为使装配和清理时间减至最少,机头应由尽可能少的零部件组成。就此而言务必注意机头各零部件间的相互准确对中,且零件设计应为紧配合。

(2) 正是由于机头零件数量少,可导致模体内流道区域接头少。因为在这些接头处,不仅存在由于密封不当而发生漏料的可能性,而且也存在由于滞料而引起分解的危险。因此,这些接头总是保持尽可能少为好,且接头应设置在“有利”的横截面上,以便于密封和清理。

(3) 密封面应尽可能平而小,以便借助螺钉预拉应力,以保证在整个密封面上“密封力”之均匀分布。

(4) 机头紧固部件与活动部件之间的间隙,应予以密封。其方法是在固定部件的矩形或半圆形截面的凹槽中,嵌入径向尺寸超过的填料绳或密封条。填料绳或密封条材料,可以是软金属(如铝等),也可以是耐温高分子材料(如聚四氟乙烯等)。

(5) 应尽可能用少的大直径螺钉,将机头各零部件固定在一起(而不用大量的小直径螺钉)。这样的设计,不仅有利于提高螺钉使用寿命,而且可再次减少机头的装卸时间。

(6) 在机头重力中心的正上方应设有吊环,在其端部应设有铰链法兰或快速更换机头装置。大型挤塑模还应设有相应的可调及可移动支架,以利于调整和操作。

(7) 为达较好的载荷分布,例如在吹塑模对中时,应设有可调螺钉,以供调整口模间隙之用。

(8) 模体尺寸需保持压力变形在允许范围内。还须考虑由于装配螺钉孔、安装加热器、压力和温度测量探头孔等,使模体强度削弱的因素。

(9) 当机头各零部件间存在有明显温差时,须考虑热膨胀引起的后果。

(10) 在挤塑模内使用锥形流道,比横截面流道在不致出现“熔体破裂”的情况下所获产量更高。同时可消除由于截面突然改变所形成的“死角”,并能减少熔体受到的拉伸应力。

## 2. 流道构型设计基本原则

(1) 若有可能,熔体应尽可能由中央供入模具。

(2) 流道中不允许有任何死区或死角(熔体滞流区)。这意味着,须极力避免流道横截面急剧或突然变小、变大或转向。而且,流道中的所有半径必须大于 3mm。

(3) 流道横截面大的区域,通常会导致热敏性塑料,如聚氯乙烯的热分解。对使用这类物料的挤塑模设计,应遵循“最小流道体积的原则”。

(4) 熔接痕定会导致挤塑型材质量降低。因此,应采取恰当的设计方法,在流道中予以避免,或使其淡化,并尽可能减少熔接痕数量。

(5) 在缝口模设计中,必须将作用于分配流道(歧管或阻流区)的熔体压力减至最小,以使挤塑模轴向长度缩至最短,并能满足熔体均匀分布的要求。

(6) 生产半成品或加工原材料,应设有平行的口模成型区,以使熔体的可逆形变在流道末端衰减至最小,且其温度应单独控制。

(7) 流道表面须抛光或研磨。表面粗糙度应小于  $0.2\mu\text{m}$ 。若有必要也可镀铬。镀铬层将减少熔体粘附流道表面的倾向,因而缩短了熔体在模具中的停留时间,加快并简化了流道的清理顺序。

(8) 如聚酯和聚酰胺这类聚合物熔体,冷却时会在模壁上产生巨大拉拔力,甚至撕下镀铬层。因而,在挤塑模设计中,日益增多使用耐腐钢材。用此类钢材制成的流道表面,仅需硬化和抛光(珩磨和精研)。

### 7.13.2 圆形流道挤塑模机械设计

现以直通式管材挤塑模为例,其流道简化为由五部分组成,如图 7.13-1 所示。整个芯模及其支承板设计成一件,由支架支撑(数量为  $n$ )固定于 III 段中,并由螺钉(数量为  $m$ )刚性地夹紧于 II、IV 之中。图 7.13-1(b)给出了两种操作情况 ①② 下的压降分布。对于给定操作点,利用适宜于流道几何形状的材料流变数据(见表 18.1-2),便可计算出此两种

操作情况下的压力降。计算结果表明, IV ~ V 段中的压降很小, 作为近似处理, 并与 ② 比较, 认为在 ① 的操作情况下, 此段压降可设定为零。

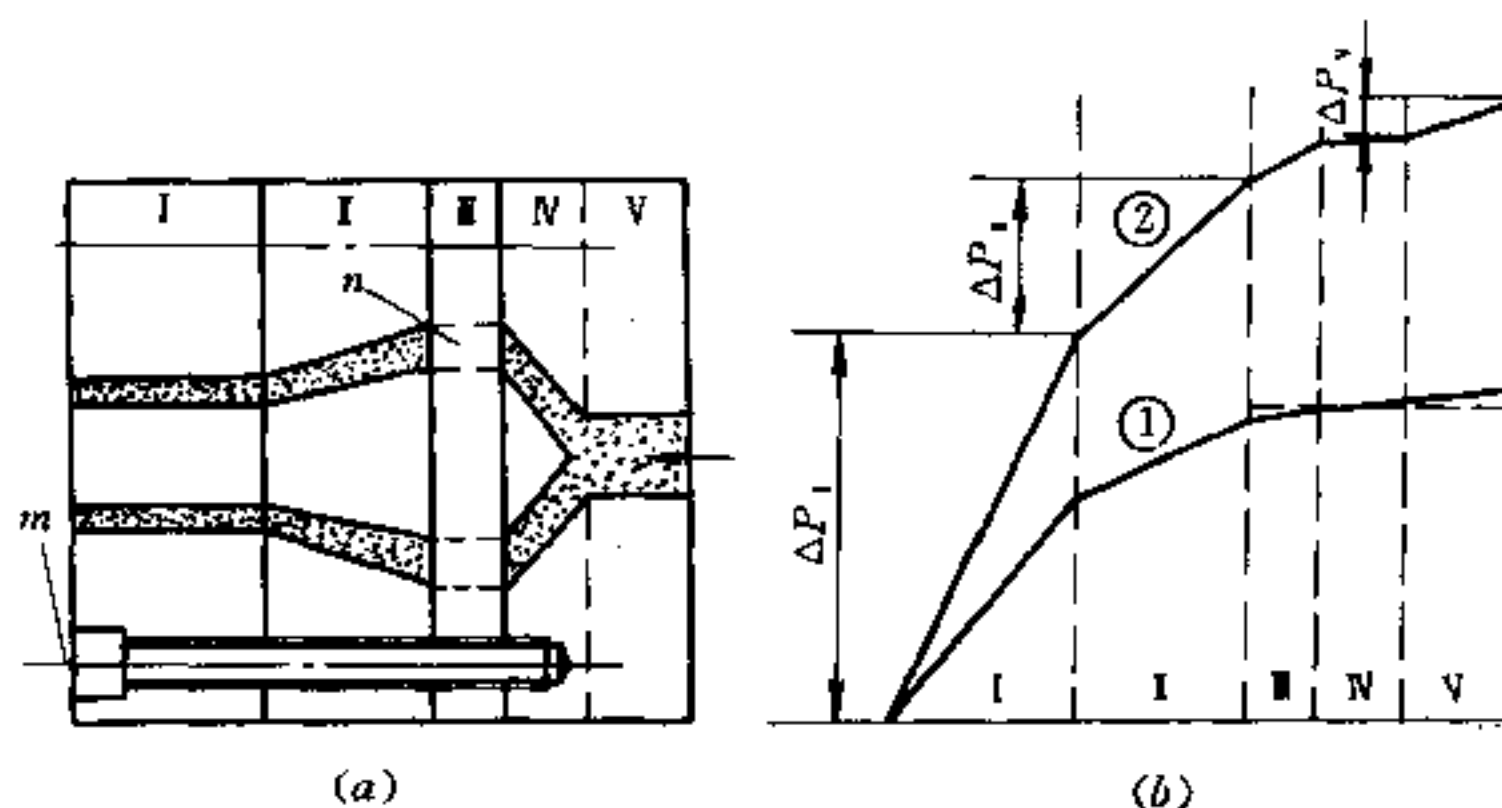


图 7.13-1 直通式管材模及其压力降

(a) 机头组成模型; (b) 流道压降分布。

当熔体通过此机头流道时, 粘性力  $F_z$  及压缩力  $F_p$  作用于芯模和流道壁上。熔体压力  $P$  导致流道径向胀大。  $F_z$  和  $F_p$  均导致各模板分离, 需要足够数量及抗拉强度的螺钉予以阻止。此外, 芯模支架支撑还受到弯曲与剪力, 亦要求有足够的力学性能。这些力作用于该机头的模拟分析, 如图 7.13-2 所示。

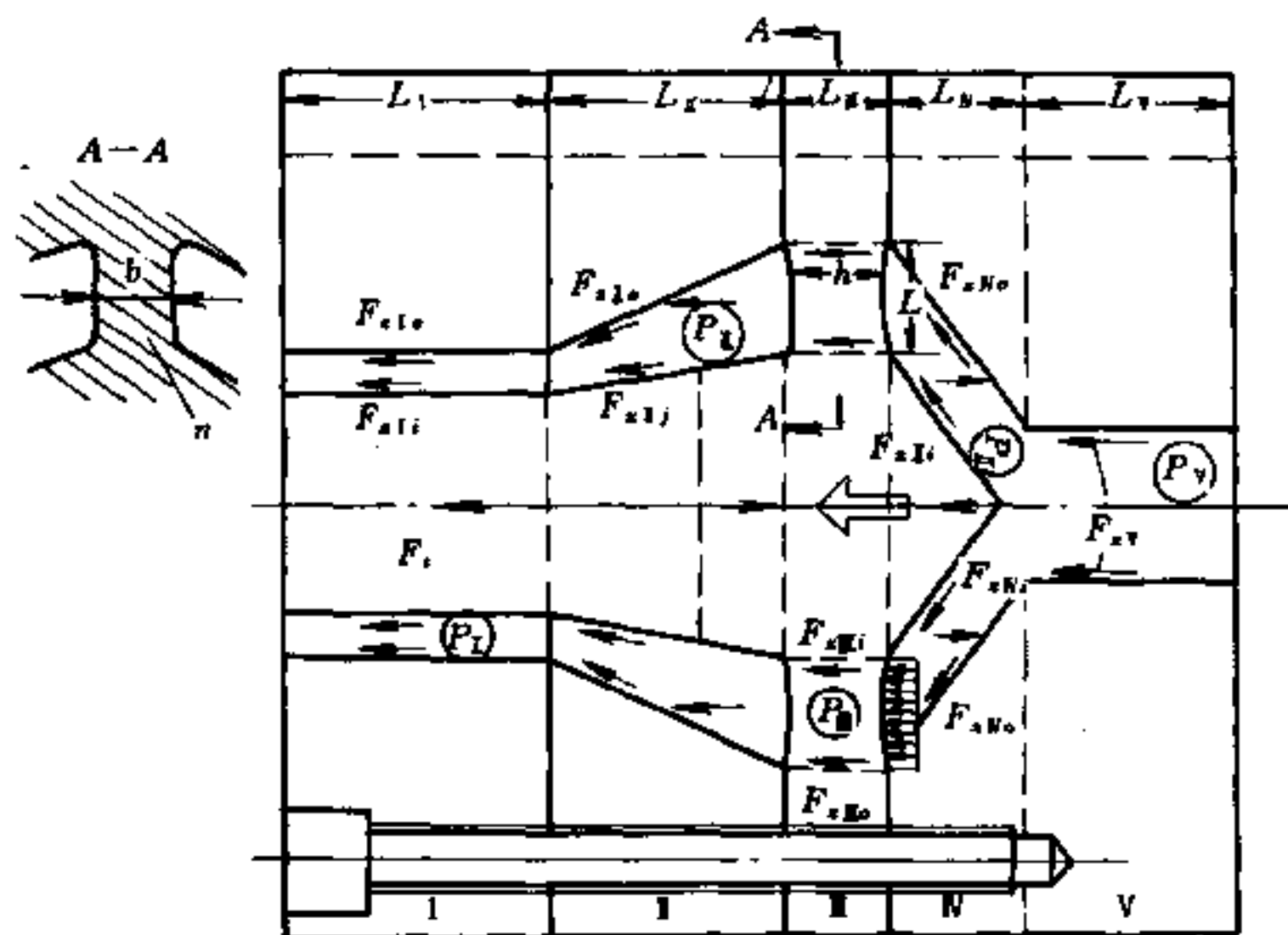


图 7.13-2 管材挤塑模操作受力分析

若按五部分计算力、变形及其结构尺寸, 就显得十分繁琐, 且没有必要。实际上, 只须考虑以下 3 个环节, 足以满足该挤塑模机械设计要求。

### 1. 第 I 段口模径向允许变形量

按受内压开口厚壁圆筒力学模型考虑, 则有

$$f_I = \frac{P_I R_{Ii}}{E} \left( \frac{R_{Io}^2 + R_{Ii}^2}{R_{Io}^2 - R_{Ii}^2} + \mu \right) \leq [f] \quad (7.13-1)$$

式中,  $P_I$  为熔体压力(MPa);  $E$  为机头口模材料杨氏模量(MPa);  $R_{Ii}$  为口模内半径, 即

管材外半径  $r_0$  (mm);  $R_{I_0}$  为口模外半径, 常为待求未知数 (mm);  $\mu$  为口模材料泊松比, 碳钢为 0.25;  $[f]$  为允许变形量, 通常取  $[f] \leq 0.05$  mm。

### 2. 第 III 段中支架支撑强度校核

根据其所受弯应力及剪应力的实际情况, 借助于形状能假设, 转换提供一等效力  $\sigma_V$ , 该应力必须小于或等于材料的许用强度, 另外作用于支架支撑上的弯应力与剪应力, 应分别为

$$\sigma_V = [(\sigma_b)^2 + 3(\tau)^2]^{\frac{1}{2}} \leq [\sigma] \quad (7.13-2)$$

且 
$$\sigma_b = \sigma_{b\max} = \frac{M_{BF} + M_{B\Delta P}}{W_X} \quad (7.13-3)$$

及 
$$\tau = \tau_{\max} = \frac{F + \Delta P b l}{A} \quad (7.13-4)$$

式中,  $M_{BF}$ 、 $M_{B\Delta P}$ 、 $A$ 、 $W_X$  由图 7.13-3 和图 7.13-4 查取。注意支架支撑长  $l$ 、宽  $b$  和厚  $h$  在各式中的物理意义。

由图 7.13-2 列出的作用于芯模上的合力, 设为  $F_{\text{res}}$ , 并设支架支撑数为  $n$ , 则每个支撑所承担的力必为

$$F = \frac{F_{\text{res}}}{n} \quad (7.13-5)$$

如果所选用的操作条件, 计算结果超出了材料许用强度 ( $\sigma_V > [\sigma]$ ), 则必须改变支架支撑尺寸, 或者须重新设计流道, 以求找到满足材料许用强度为准。

### 3. 联结螺钉计算

螺钉 (数量为  $m$ ) 必须承受的载荷, 可借助图 7.13-2 所示力的加和, 并须考虑力的方向。应该指出, 对于所选用的机头设计, 芯模上的全部载荷必须由联结螺钉承受。在此, 螺钉承担全部粘滞力  $F_z$  和压缩  $F_P$ 。

流道壁上的粘性力, 按定义应为

$$F_z = \sum_{i=1}^5 S_i \tau_i \quad (\text{N}) \quad (7.13-6)$$

式中  $S_i$  —— 任意段流道表面积,  $\text{m}^2$ ;

$\tau_i$  —— 任意段流道壁面上的剪应力, Pa, 其值随流道几何形状而异, 见表 7.13-1。

表 7.13-1 流道壁上剪切应力

流道形状	流道壁上剪应力 (Pa)	注 释
圆形	$\tau = \frac{R\Delta P}{2L}$	$R$ —— 流道半径 $\Delta P$ —— 熔体压降 $L$ —— 流道长度
矩形	$\tau = \frac{H\Delta P}{2L}$ (可用于环锥形流道)	$H$ —— $R_0 - R_i$ $R_0$ —— 环隙外半径 $R_i$ —— 环隙内半径
圆环形	$\tau = \frac{R_0\Delta P}{2L} \left[ \left( \frac{r}{R_0} \right) - \frac{1-k^2}{2\ln(1/k)} \left( \frac{R_0}{r} \right) \right]$	当 $r = R_0$ 外壁面力 $r = R_i$ 内壁内 $k = R_i/R_0$

须注意流道内外表面(即芯模表面与模套内表面)均存有粘滞力,应一并考虑。但当压降甚小时,其粘滞力可视为零。

对芯模端面的压缩力,可表示为

$$F_p \approx \psi \pi R_a^2 P \quad (\text{N}) \quad (7.13-7)$$

式中  $R_a$ ——分流梭最大截面半径(m);

$P$ ——熔体压力(Pa);

$\psi$ ——系数,通常取  $\psi = 1.6 \sim 2.0$ 。

在确定螺钉数量时,须注意螺钉的预拉力,以使模板各段相互界面上保持常密封状态。

表 7.13-2 35号正火钢螺钉许用载荷  $P_f$

螺钉直径 /mm		10	12	16	20	24	30	36
轴向许用载荷 /(kN)	无预应力锁紧	11.8	17.8	33.0	52.0	75.0	92.0	175.0
	载荷下锁紧	9.2	13.2	25.0	40.0	58.0	72.0	135.0
最大扭矩 /( $\text{N} \cdot \text{m}$ )		18.0	32.0	80.0	160.0	280.0	550.0	970.0

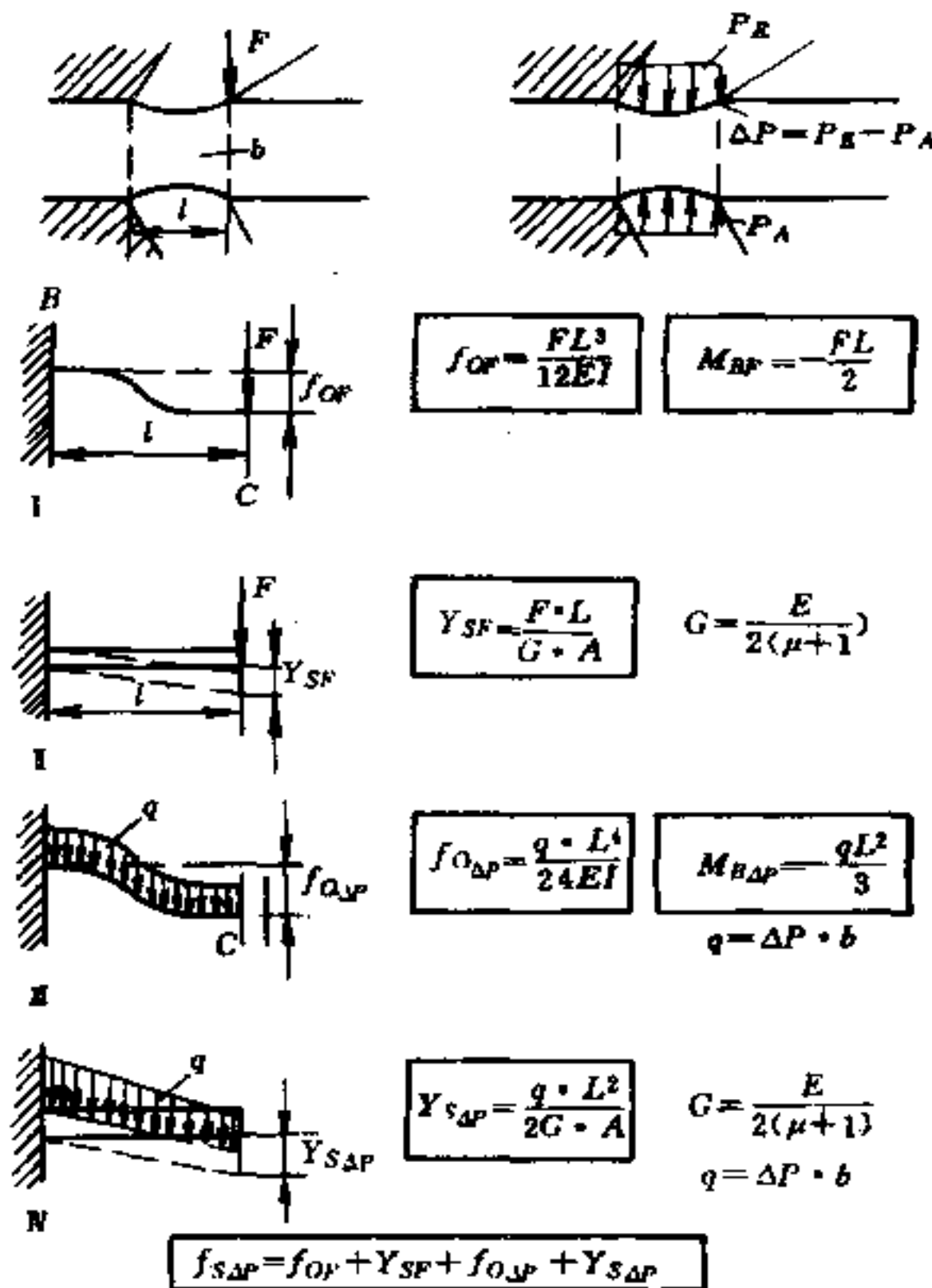


图 7.13-3 支架支撑的变形计算

I—力  $F$  引起的弯曲; II—力  $F$  引起的剪切; III—压力  $\Delta P$  引起的弯曲; IV—压力  $\Delta P$  引起的剪切;

$b$ —厚度;  $A$ —模截面积;  $C$ —末端可自由位移。

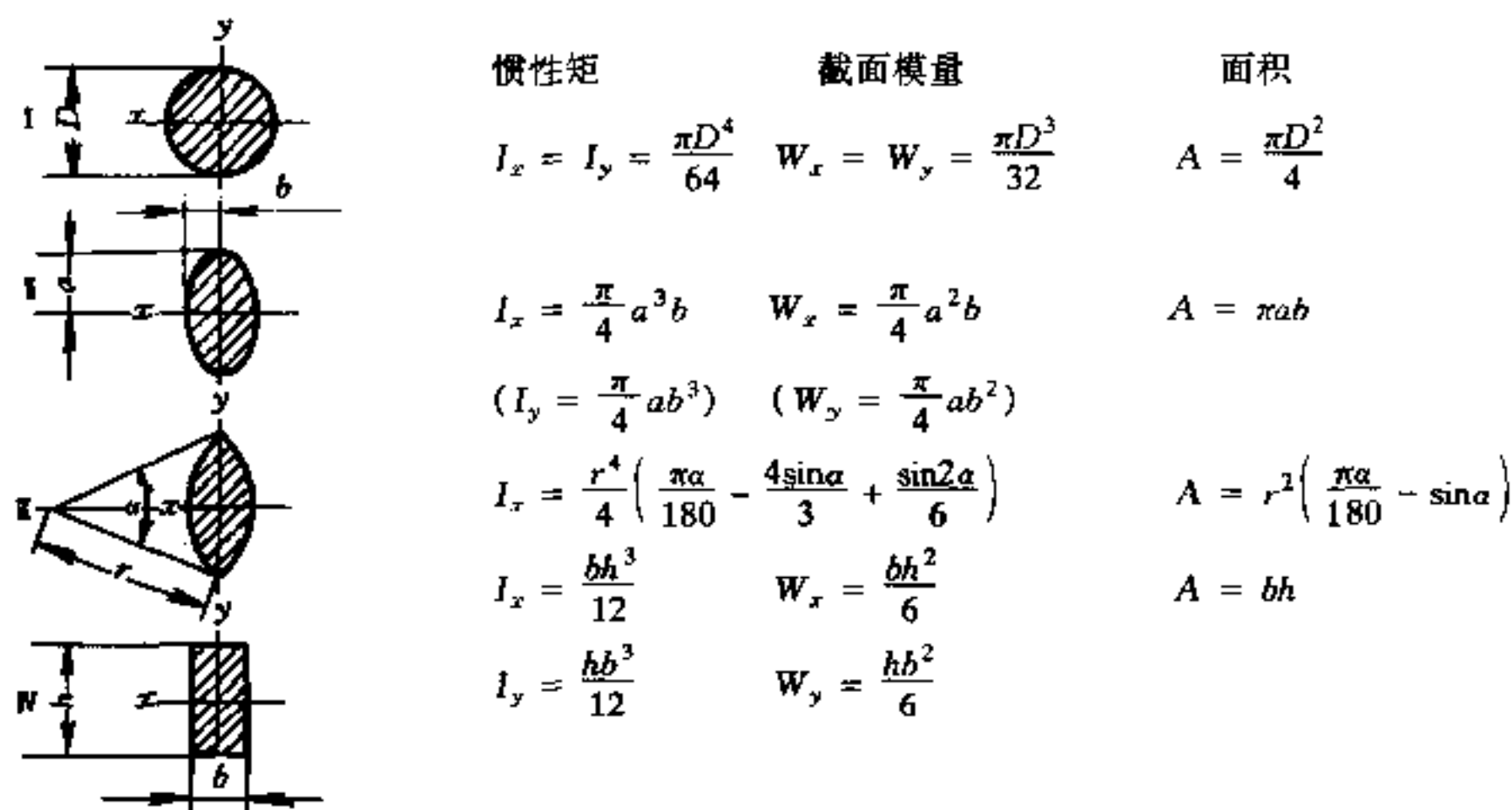


图 7.13-4 支撑惯性矩、截面模量、截面积

I—圆形；II—椭圆形；III—双圆弓形；IV—矩形。

### 7.13.3 平缝形流道挤塑模机械设计

现以给定操作点的衣架式机头的机械设计为例, 已知该机头流道的几何尺寸如图 7.13-5 所示。经推算该机头流道中的压力分布如图 7.13-6 所示, 最高压力存在于缝口模中央, 且此处轴向长度最大, 是机头流道产生最大变形的场所。显然, 此处存在有与机械设计很相关的压力关系, 如图 7.13-7 所示。

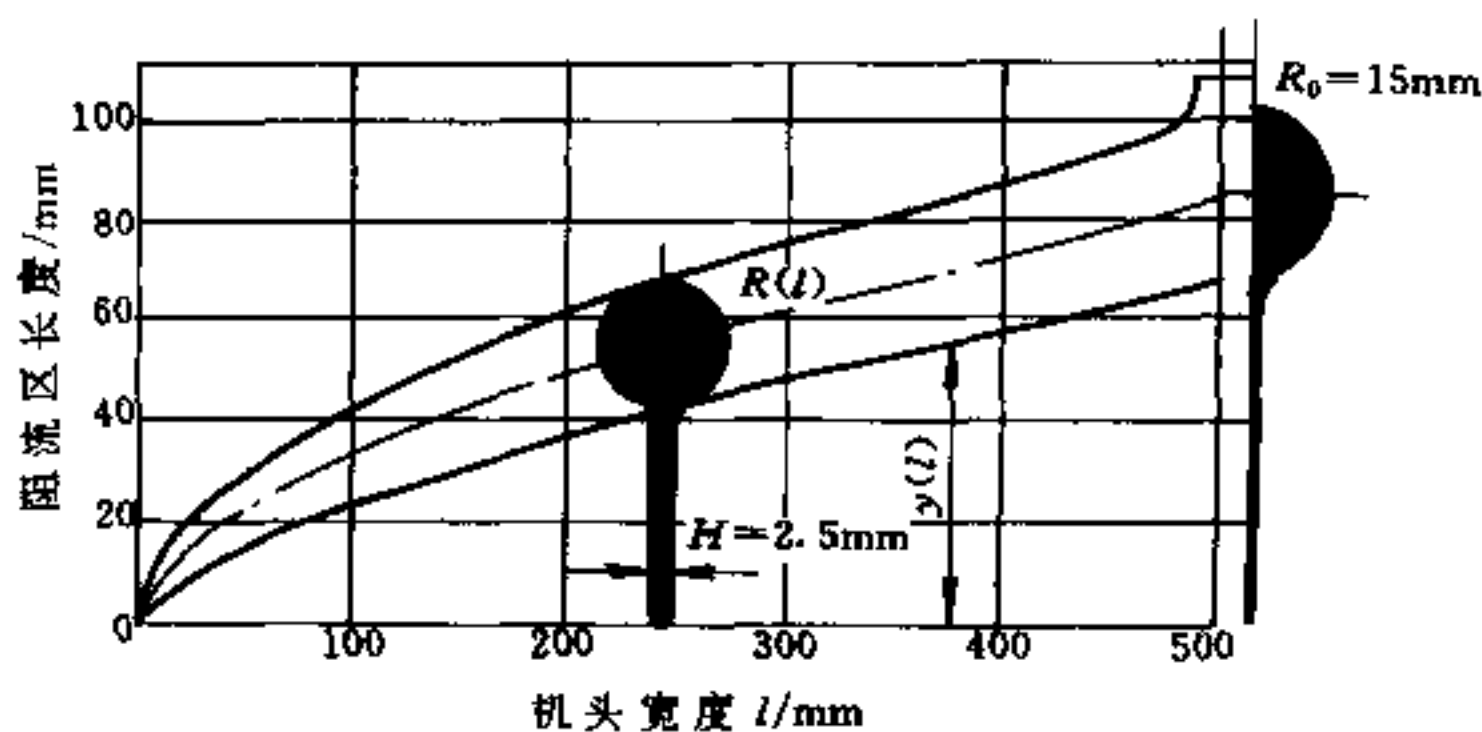


图 7.13-5 聚苯乙烯板材衣架式机头

 $T_m = 210^\circ\text{C}; Q_w = 200\text{kg/h}; h = 2.5\text{mm}; R_0 = 15\text{mm}; B = 500\text{mm}。$ 

#### 一、口模板厚度计算

从受力角度出发, 口模板厚度有多种计算方法。但均须考虑弯曲与剪切变形在允许范围内。通常认为其总变形量应控制在  $[f] \leq 0.05\text{mm}$ 。

##### 1. 最大压力法 ( $P_{\max}$ )

如图 7.13-8 所示, 视口模板沿 A-A 剖面方向为受均布载荷的悬臂梁。该梁截面为矩形, 宽  $B$ 、厚  $h$ 、长  $l$ 。据此, 在梁上的均布载荷, 按定义为



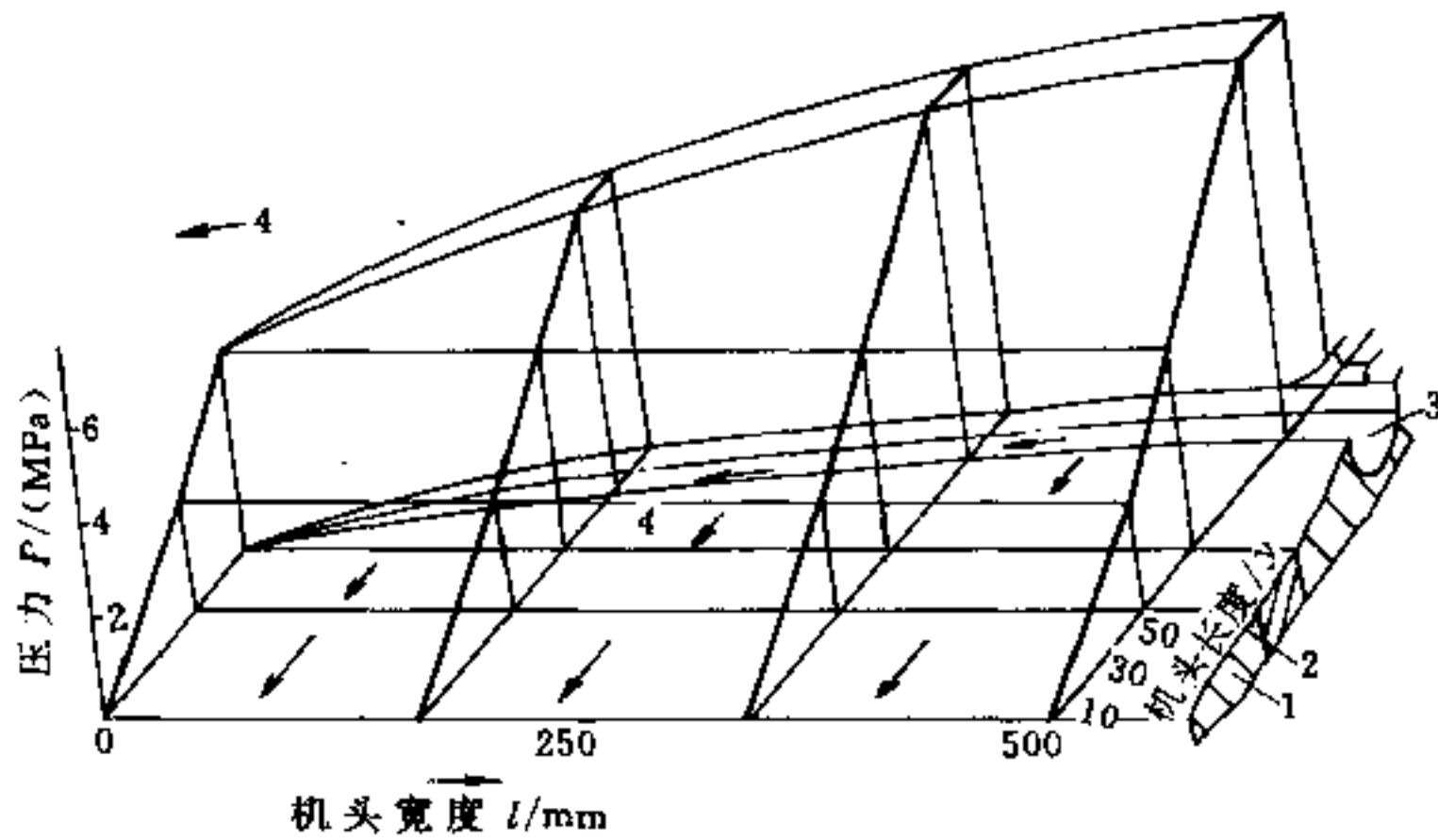


图 7.13-6 缝口模机头流道中压力分布  
(材料:GPS;产量:200kg/h;料温:210℃;板厚:2.5mm)  
1—模唇;2—调节排;3—歧管;4—熔体流动。

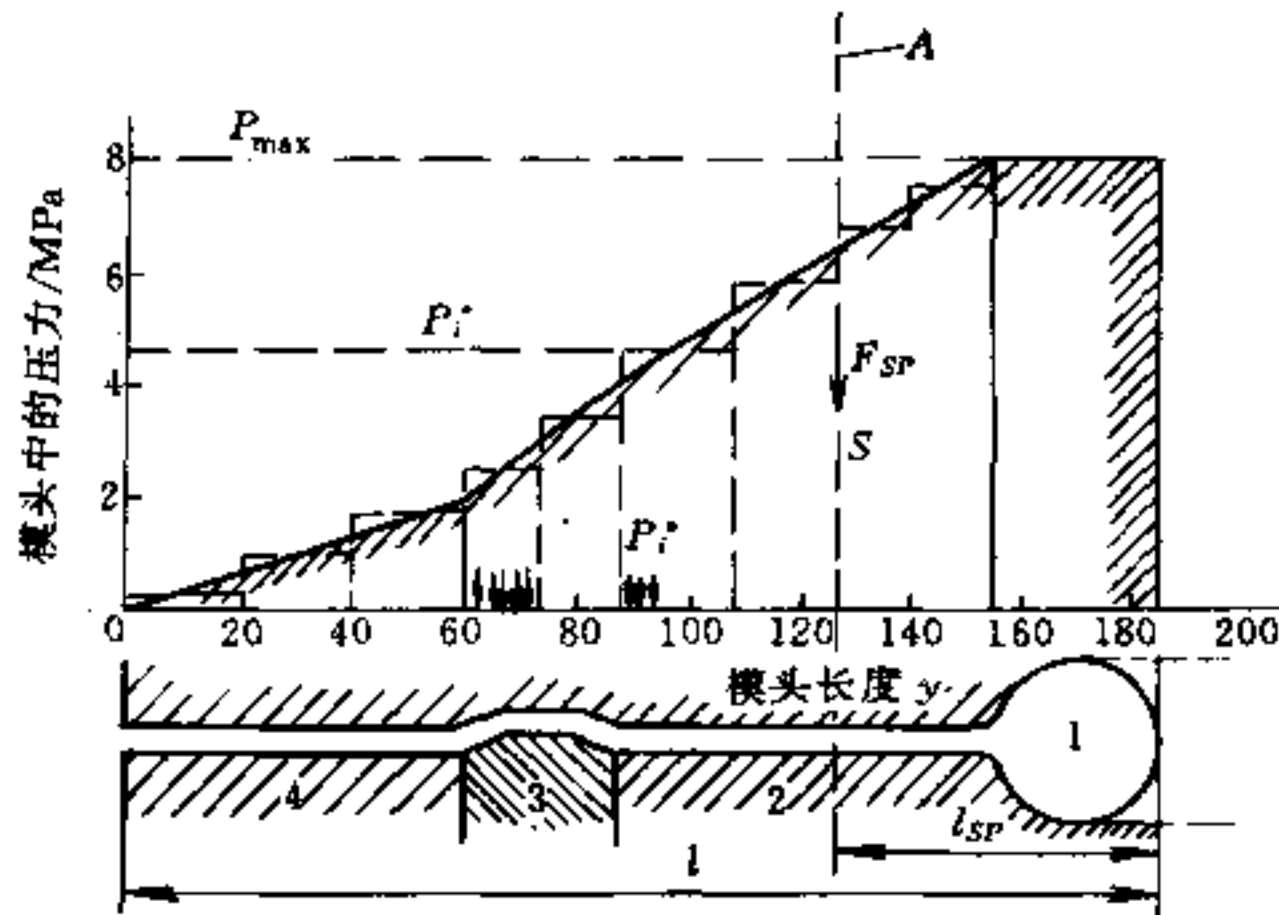


图 7.13-7 缝口模机头流道尺寸与中央压力  
A—压力重心线(等效力  $F_{SP}$  的作用线);作用力  $F_i = P_i \cdot A_i$ ;  
 $A_i$ —作用面积;1—歧管;2—阻流区;3—调节排;4—模唇。

$$q = \frac{F}{l} = \frac{P_{\max} B l}{l} = P_{\max} B \quad (7.13-8)$$

于是由图 7.13-9 得该模板的总变形量

$$f = f_m + y_m = \frac{ql^4}{8EI} + \frac{ql^2}{2GA_2} = \frac{P_{\max} l^2}{E} \left[ \frac{3l^2}{2h^3} + \frac{(1+\mu)}{h} \right] \leq [f] \quad (7.13-9)$$

当已知  $[f] \leq 0.05\text{mm}$  时,可按下式求模板厚度

$$h = \frac{1}{\sqrt[3]{\left(-\frac{q}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3} + \sqrt{\left(-\frac{q}{2}\right) - \sqrt{\left(-\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3}}} \quad (7.13-10)$$

式中  $q = -\frac{2E[f]}{3P_{\max}l^4}$  和  $p = \frac{2(1+\mu)}{3l^2}$ ;

$E$ ——模板材料弹性模量(MPa);

$\mu$ ——模板材料泊松比。

此种计算方法,由于使用了最大压力  $P_{\max}$ ,计算结果偏安全。

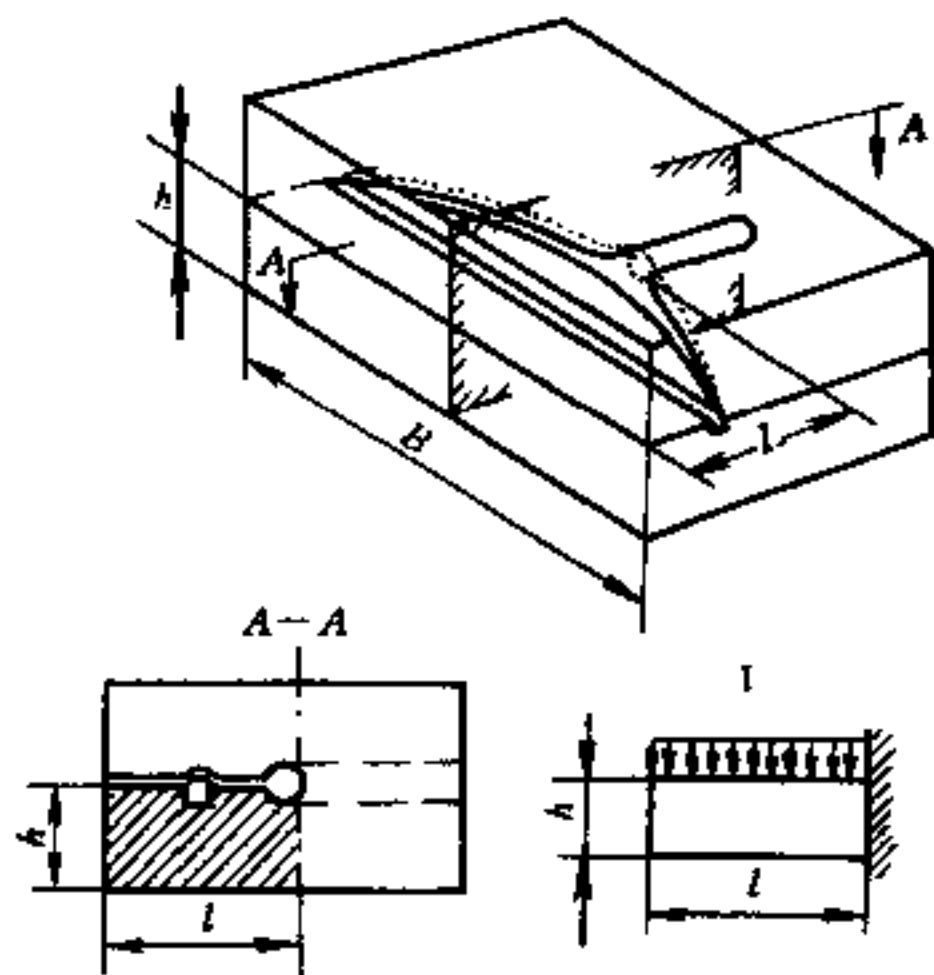


图 7.13-8 缝口模尺寸计算模型

A—A—口模产生挠曲变形最大截面; I—等效悬臂梁简图。

## 2. 名义力法( $F_{SP}$ )

如图 7.13-7 所示,用图解法确定压力曲线下的面积重心。通过此重心可绘出压力集中线,在此线上施加作用于流道表面上的总力,称之为名义力  $F_{SP}$ 。由该图得

$$F_{SP} = \sum F^* = \sum P_i^* \cdot A_i^* \quad (\text{N}) \quad (7.13-11)$$

实际上是将模板视为受集中载荷  $F_{SP}$  的悬臂梁来考虑。由图 7.13-9 得其总变形量为

$$f = f_m + y_m = (f_{m1} + f_{m2}) + y_m \leq [f]$$

经代入已知量化简后得  $f = \frac{2F_{SP}l^2}{EB} \left[ \frac{(3l - l_{SP})}{h^3} + \frac{(1 + \mu)}{hl_{SP}} \right] \leq [f] \quad (7.13-12)$

此种计算方法较为准确,但甚麻烦。

当给定  $[f]$  值后,可将方程(7.13-12)化为一元三次方程,用卡尔丹公式求解模板厚度  $h$ ,其方法是分别先求出:

$$P = \frac{1 + \mu}{l_{SP}(3l - l_{SP})} \quad q = -\frac{EB[f]}{2F_{SP}l_P^2(3l - l_{SP})} \quad (7.13-13)$$

然后,将  $P$  和  $q$  值代入式(7.13-10)中,便可求得“名义力法”的模板厚度,在相同条件下,用此法求得的模板厚度,肯定比“最大压力法”求得的模板厚度要薄一些,但无疑要合理些。

**[示例]** 已知缝口模机头如图 7.13-8 所示,  $B = 100\text{cm}$ ,  $h = 10\text{cm}$ ,  $l = 18.5\text{cm}$ 。模具材料参数  $E = 2.1 \times 10^5\text{MPa}$ ,  $\mu = 0.25$ 。试求

(1) 当模腔最大压力  $P_{\max} = 8\text{MPa}$  时,校核模板的挠曲变形量。若  $f > [f]$ , 求出  $[f] = 0.05\text{mm}$  时模板必须的厚度。

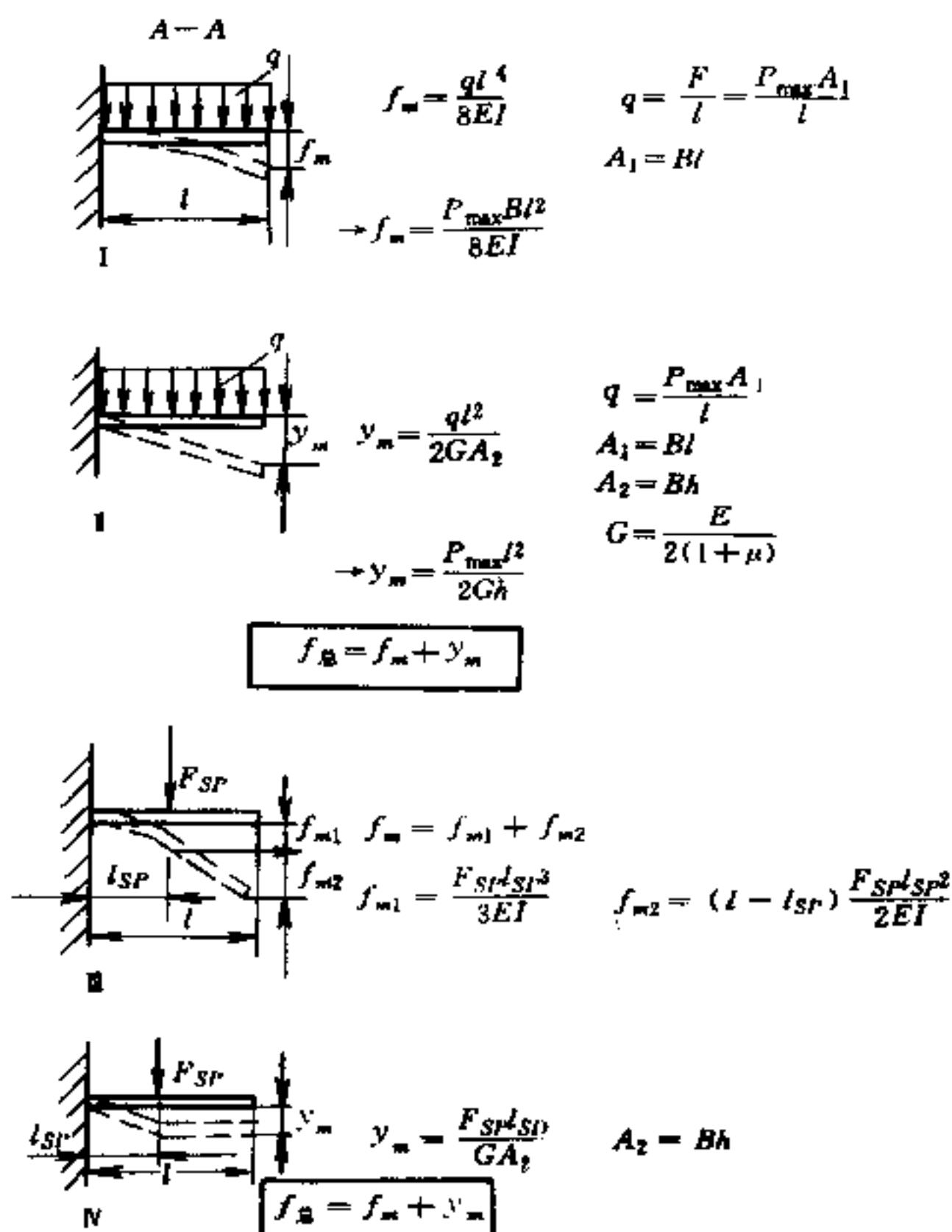


图 7.13-9 视为悬臂梁力学模型

I—压力  $P_{\max}$  引起的弯曲；II—压力  $P_{\max}$  引起的剪切；III—应力  $F_{SP}$  引起的弯曲；IV—应力  $F_{SP}$  引起的剪切。

(2) 如图 7.13-7 所示, 根据式 (7.13-11) 求得  $F_{SP} = 7.75 \times 10^5 \text{N}$ , 且  $l_{SP} = 5.9 \text{cm}$  时, 校核该模板在该受力状态下的挠曲变形量, 并求出  $[f] = 0.05 \text{mm}$  时模板的最小厚度。

[解](1) 将已知参数代入式 (7.13-9) 得

$$f = \frac{8 \times (18.5)^2}{2.1 \times 10^5} \left[ \frac{3 \times (18.5)^2}{2 \times 10^3} + \frac{1 + 0.25}{10} \right] = 0.083 \text{cm} > [f]$$

显然, 应增加模板厚度。为此, 须先求出

$$q = - \frac{2 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.005}{3 \times 8 \times (18.5)^4} = -7.47 \times 10^{-4}, \quad -\frac{q}{2} = 3.735 \times 10^{-4}$$

$$P = \frac{2(1+0.25)}{3 \times (18.5)^2} = 2.435 \times 10^{-3}, \quad P/3 = 8.115 \times 10^{-4} \quad \text{将 } (-q/2) \text{ 和 } (P/3) \text{ 的值}$$

代入式 (7.13-10) 中, 求得模板所必须的厚度  $h = 11.0 \text{cm}$ 。

(2) 将已知参数代入式 (7.13-12) 得

$$f = \frac{2 \times 7.75 \times 10^5 \times 5.9^2}{2.1 \times 10^7 \times 100} \left[ \frac{3 \times 18.5 - 5.9}{10^3} + \frac{1 + 0.25}{10 \times 5.9} \right] = 0.0182 \text{mm} \ll [f]$$

模板显得过厚, 应减薄至最小厚度。为此, 先由式 (7.13-13) 求出

$$P = \frac{1 + 0.25}{5.9(3 \times 18.5 - 5.9)} = 4.27 \times 10^{-3}; \quad P/3 = 1.42 \times 10^{-3}$$

$$q = -\frac{2.1 \times 10^7 \times 100 \times 0.005}{2 \times 7.75 \times 10^5 \times (5.9)^2 \times 49.6} = -3.92 \times 10^{-3}; \quad -\frac{q}{2} = 1.96 \times 10^{-30}$$

将 $(P/3)$ 和 $(q/2)$ 的值代入式(7.13-10)中,求得模板最小厚度 $h_{\min} = 6.34\text{cm}$ ,取 $h_{\min} = 6.5\text{cm}$ 。

表明两种不同处理方法,其结果有较大差别。但以“最大压力法”为简便,而偏安全。

## 二、联接螺钉计算

将平缝口模两半固定在一起,作用在螺钉上的力,可采用平衡机头后缘的轴向力矩来计算,如图 7.13-10 所示。这种平衡计算应在类似于 A-A 剖面的不同剖面中进行;但作用于各自的重力 $F_{spi}$ 及位置 $L_{spi}$ 须重新计算。设口模中央区的应力沿模宽方向均匀分布,则为螺钉尺寸计算提供了可靠途径。若选用标准螺钉的承载能力为 $F_S$ ,所需螺钉数为 $n$ ,则由图 7.13-10 得力矩方程

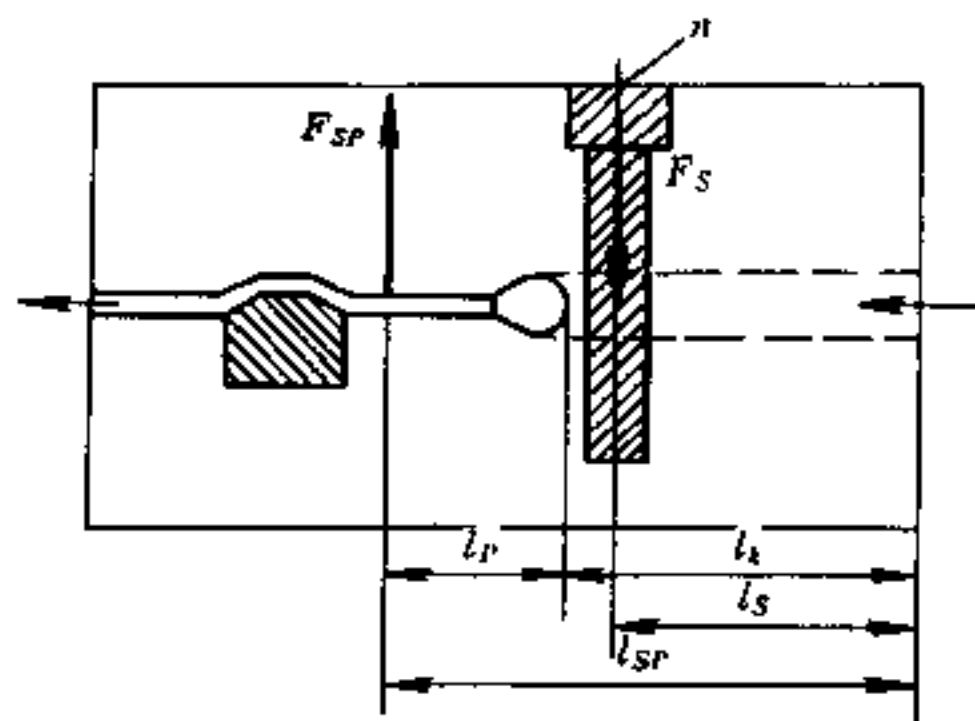


图 7.13-10 平缝口模联接螺钉计算模型

$$nF_S l_S = F_{SP} l_{SP}$$

于是所需最少螺钉数为

$$n = \frac{F_{SP} l_{SP}}{F_S l_S} = \frac{F_{SP} (l_P + l_k)}{F_S l_S} \quad (7.13-14)$$

上式表明,螺钉位置应尽可能靠近流道,且流道与机头后缘间的距离,选得较大为好。

## 三、衣架式机头结构尺寸

衣架式机头是平缝口模使用最广泛、最成功的一种形式,其结构尺寸具有一定的代表性。图 7.13-11 和表 7.13-3 列出了一些具有特征性的尺寸,可供设计参考。

表 7.13-3 衣架式机头特征尺寸一览表(mm)

序号	幅度 $B$	板材厚 $h$	全宽 $W$	全长 $L$	总长 $G$	颈外径 $D$	厚度 $H$	总高 $H_1$	总宽 $W_1$
1	900	0.5 ~ 3.0	970	260	455	240	240	480	1050
2	1000	0.5 ~ 3.0	1070	260	455	240	240	480	1155
3	1100	0.5 ~ 3.0	1170	260	500	240	240	480	1250
4	1300	0.5 ~ 3.0	1370	260	500	310	240	480	1450
5	1500	0.5 ~ 3.0	1570	260	500	310	240	480	1650
6	1700	0.5 ~ 3.0	1770	260	500	310	240	480	1850
7	1900	0.5 ~ 3.0	1970	260	500	310	240	480	2050
8	2100	0.5 ~ 3.0	2170	260	500	310	240	480	2250
9	900	3 ~ 6	970	450	690	310	290	550	1050
10	1100	3 ~ 6	1170	450	690	310	290	550	1250
11	1300	3 ~ 6	1370	450	690	310	290	550	1450
12	1500	3 ~ 6	1570	450	690	310	290	550	1650
13	1700	3 ~ 6	1770	450	690	310	290	550	1850
14	1900	3 ~ 6	1970	450	690	310	290	550	2050
15	2100	3 ~ 6	2170	450	690	310	290	550	2250

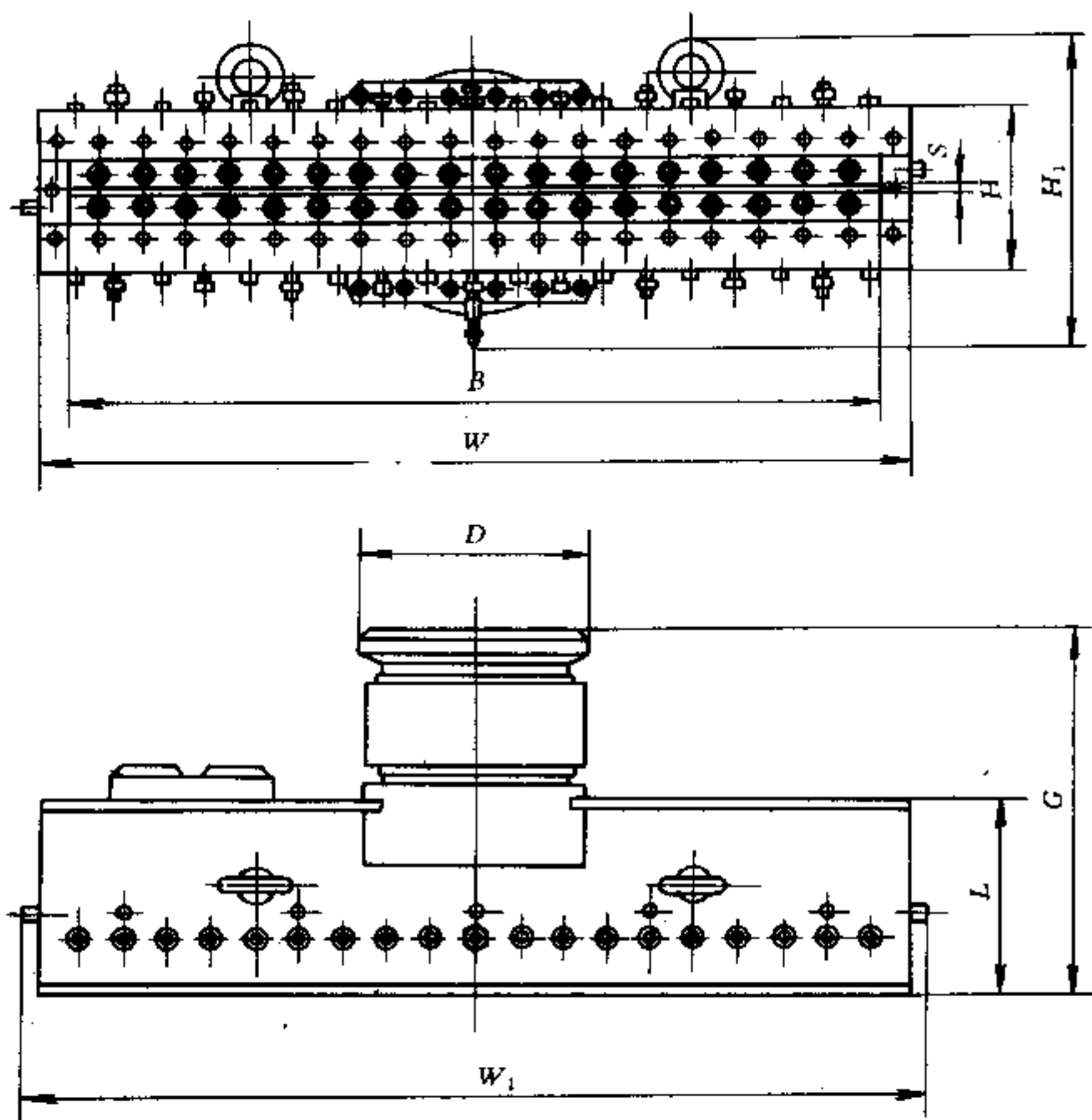


图 7.13-11 衣架式机头结构尺寸

#### 7.13.4 挤塑模用材料选择

##### 1. 材料须满足的条件

这些条件并非一定是挤塑模所特有,但是由单一材料难以满足以下要求。

- (1) 易于机械加工,如切削和腐蚀等;
- (2) 耐压、耐温、耐磨损;
- (3) 具有足够的强度和刚性;
- (4) 具有足够的表面硬度,便于抛光至满意的表面质量;
- (5) 能经受适当的热处理,变形小、尺寸变化不明显;
- (6) 耐化学浸蚀,防腐性能好;
- (7) 可提供表面处理的可能性,如镀铬、渗氮、渗碳等;
- (8) 具有良好的导热性,且无内应力。

##### 2. 选材须考虑的问题

根据机头设计实际,选择材料时必然会提出下述问题:

- (1) 加工何种类型的塑料,合适的加工温度范围,有无腐蚀性,含有何种填料,有可能加速磨损的程度等;

(2) 应力性质和大小,对选择材料关系重大,并有决定性意义。全硬化钢因性脆而不宜用于较大型机头;

(3) 机头采用何种方法制造;

(4) 需要何种热处理以及是否带来变形或尺寸的变化。

### 3. 符合挤塑模用钢材类型

在此仅介绍适用的钢材类型及其性能特征,具体钢材品种及牌号,以及其热处理操作,详见有关手册。

#### (1) 表面硬化钢

这类钢具有极低(小于 0.2%)的含碳量。其表面含碳量可通过渗碳热处理提高到约 0.8%,渗碳深度达 0.6 ~ 2.0mm。业已证明,这类钢对机头结构的价值。它们易于机械加工,经表面硬化处理后,不仅具有坚硬耐磨的表面,而且同时具有耐压缩强度和坚韧的内芯。渗碳时勿须硬化部分可被遮盖。

#### (2) 氮化钢

氮化钢是含有合金化添加剂的钢材。这些添加剂,如铬、铝、钼和钒等,在氮的存在下生成极硬的氮化物。此种氮化物的产生,形成高硬度耐磨表面,同时保留其坚韧的内芯。表面氮化后,勿需淬火,因而无畸变之虞。渗氮中于表面下约 0.03 ~ 0.08mm 处达到最高硬度,因此,备有可精加工的余量。

此外,如果需要得到非常高的耐磨表面,而又勿需增加表面硬度,则可在盐浴中进行“软氮化”处理。例如缝口模中用的调节螺钉之类零件,就是经“软氮化”处理的。

氮化钢不全耐腐蚀,但添加大量铬可达此要求性能。

#### (3) 全硬钢

全硬钢很硬,表现出良好的耐磨性。但与表面硬化钢及淬火和调质钢相比,其韧性小,脆性大,易形成裂纹。因此,它们并不常用,仅在小型机头中使用。

全硬钢的硬度很大,归因于加热后突然冷却所形成的马氏体所致。全硬钢所能达到的力学性能,在很大程度上取决于能达到的冷却速率。

#### (4) 淬火和调质钢

每当制造大型机头进行热处理,有可能产生畸变或尺寸变化时,均可直接使用淬火或调质钢。但在制造过程中,常须进行软化处理,这就减小了硬度和耐磨性,并提高了韧性和延展性,形成抛光性和耐磨性均差的表面。通常可采用表面渗氮或镀铬予以改善。

#### (5) 耐腐蚀钢

耐腐蚀钢是含铬量大于 12% 的合金钢材。每当挤出塑料制品时易释放出化学腐蚀性物质(如 HCl),或由于技术原因不能对流道镀铬或镀镍时,均采用耐腐蚀钢制造机头。

## 7.14 挤塑模结构设计实例

### 1. RPVC 管材及真空定型模设计

如图 7.14-1 所示。为装卸方便、减轻螺钉 10 的负担,口模 11 和分流锥支架 3,由模体 8 的两端装入。口模环隙的均匀性,可通过调节螺钉 2 来实现。口模 11 不仅需要耐热、耐磨、耐腐蚀,而且必须具有足够的强度和刚性,工作时的径向膨胀量,必须保证  $[f] \leq$

0.05mm。分流锥头部圆角  $r \leq 2.0\text{mm}$ 。真空定径套 14 与出料口之间的距离, 在 20 ~ 50mm 范围内取值为好。真空定径套 14 分为 3 段, 1、3 段冷却, 中段抽真空, 真空度为 53 ~ 66kPa。

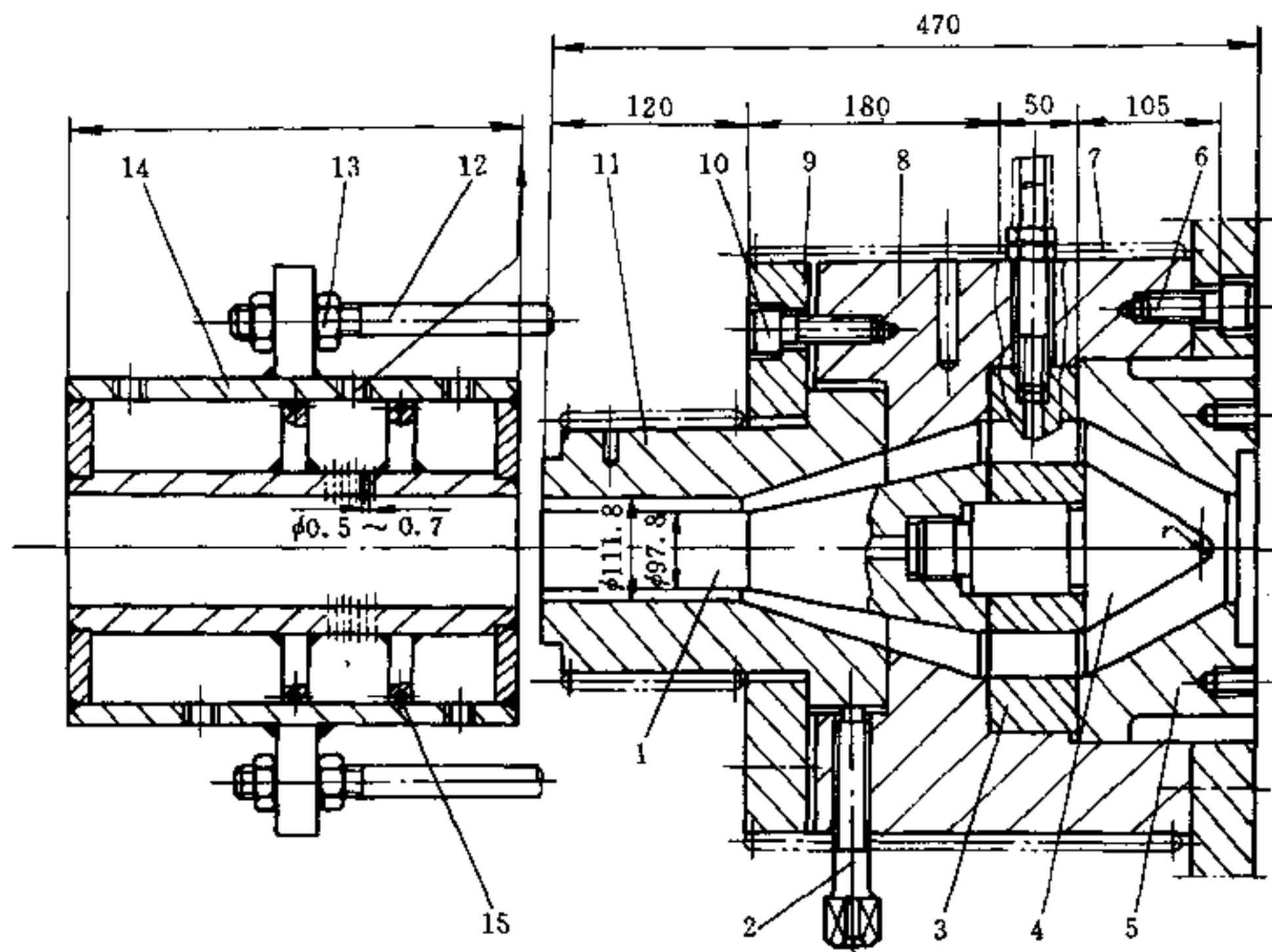


图 7.14-1 RPVC 管材及真空定型模设计

1—芯模; 2—调节螺钉; 3—分流锥支架; 4—分流锥; 5—模座; 6, 10—螺钉; 7—电加热;  
8—模体; 9—压环; 11—口模; 12—拉杆; 13—螺母; 14—真空定径套; 15—密封环。

## 2. 可调压力管材挤塑模设计

如图 7.14-2 所示, 为均匀控制机头流道内部的熔体压力, 于挤塑机螺杆 13 头部设置了调压阀 10。其与螺杆 13 头部的间隙, 可通过调节螺钉 8 进行调节。

## 3. 自增强复合管材挤塑模设计

如图 7.14-3 所示。由 A 口挤入 RPVC, B 口挤入 SPVC, 在旋转分配芯轴 17 的作用下, 即形成软硬相间的螺旋线条, 在通过芯模 2 和压环 3 后, 便成为自增强复合管材。设有单列向心球轴承 16 和圆锥滚子轴承 5, 以使分配芯轴 17 能按预定要求正常工作。此外, 还设置了向心球轴承 1, 以防止芯模 2 与旋转分配轴 17 的端面之间被锁死。

## 4. 波纹管挤塑模设计

如图 7.14-4 所示, 于模具流道内设有分流销 16, 以提高熔体塑化质量。在熔料挤出口模 12 后, 进入波纹成型模 4, 在齿轮 30 驱动下, 即形成波纹管。设置圆锥滚子轴承 6 和向心球轴承 10, 以确保波纹成型套 4 能正常运行。8 和 32 为冷却水进出水嘴。

## 5. 双型坯机头设计

如图 7.14-5 所示, 为提高生产效率, 可一次挤出两个型坯。熔料由机颈 1 挤入横流道 2, 被分成两股送入双型坯机头流道。型坯的均匀性可通过调螺钉 8 进行调节。

## 6. 衣架式机头结构设计

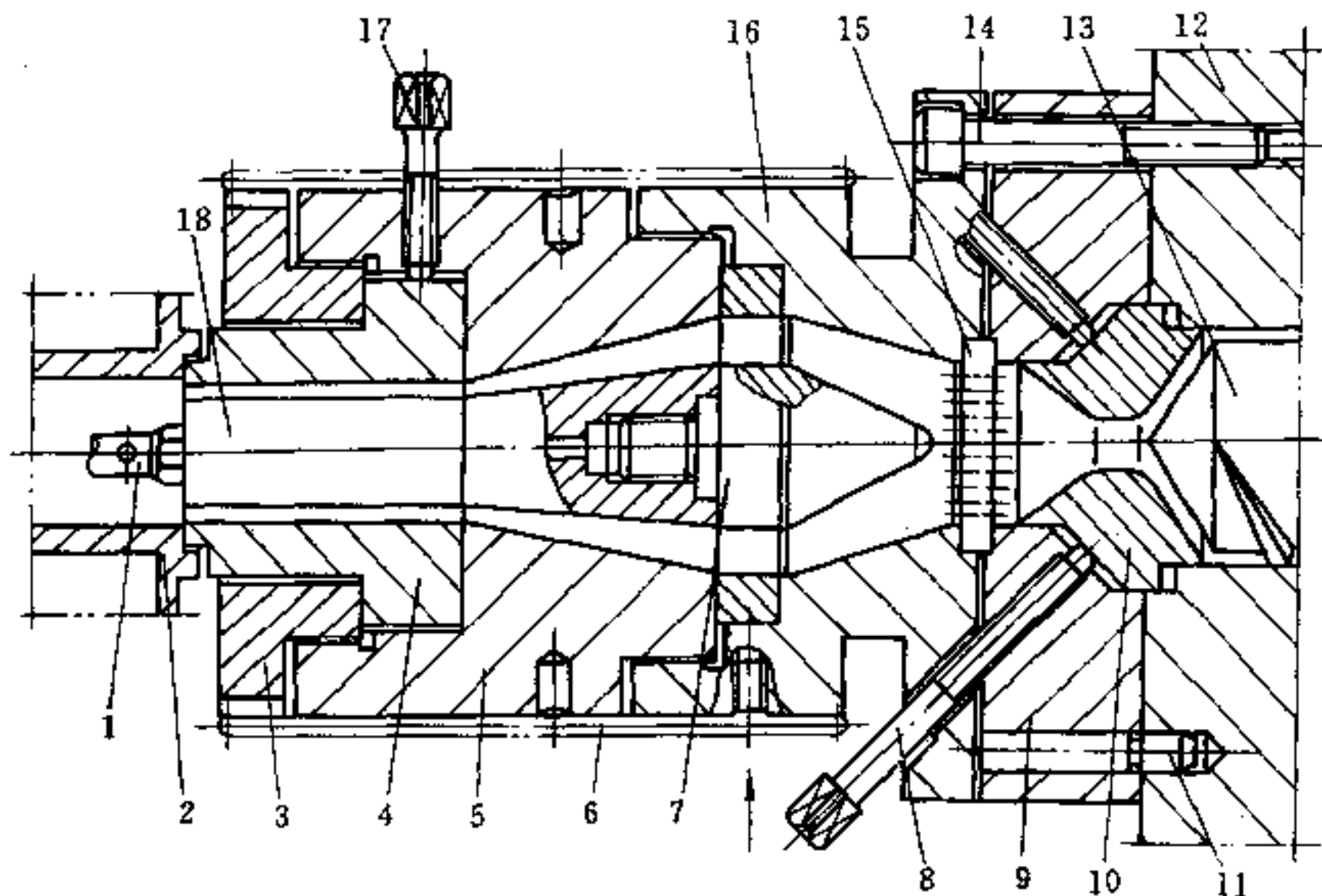


图 7.14-2 可调压力管材挤模设计

1—接头;2—定径套;3—锁母;4—口模;5—模体;6—电加热;7—分流锥;  
8—调节螺钉;9—模座;10—调压阀;11—定位销;12—机筒;13—挤塑机螺杆;  
14—内六角螺钉;15—栅板;16—流道体;17—调节螺钉;18—芯模。

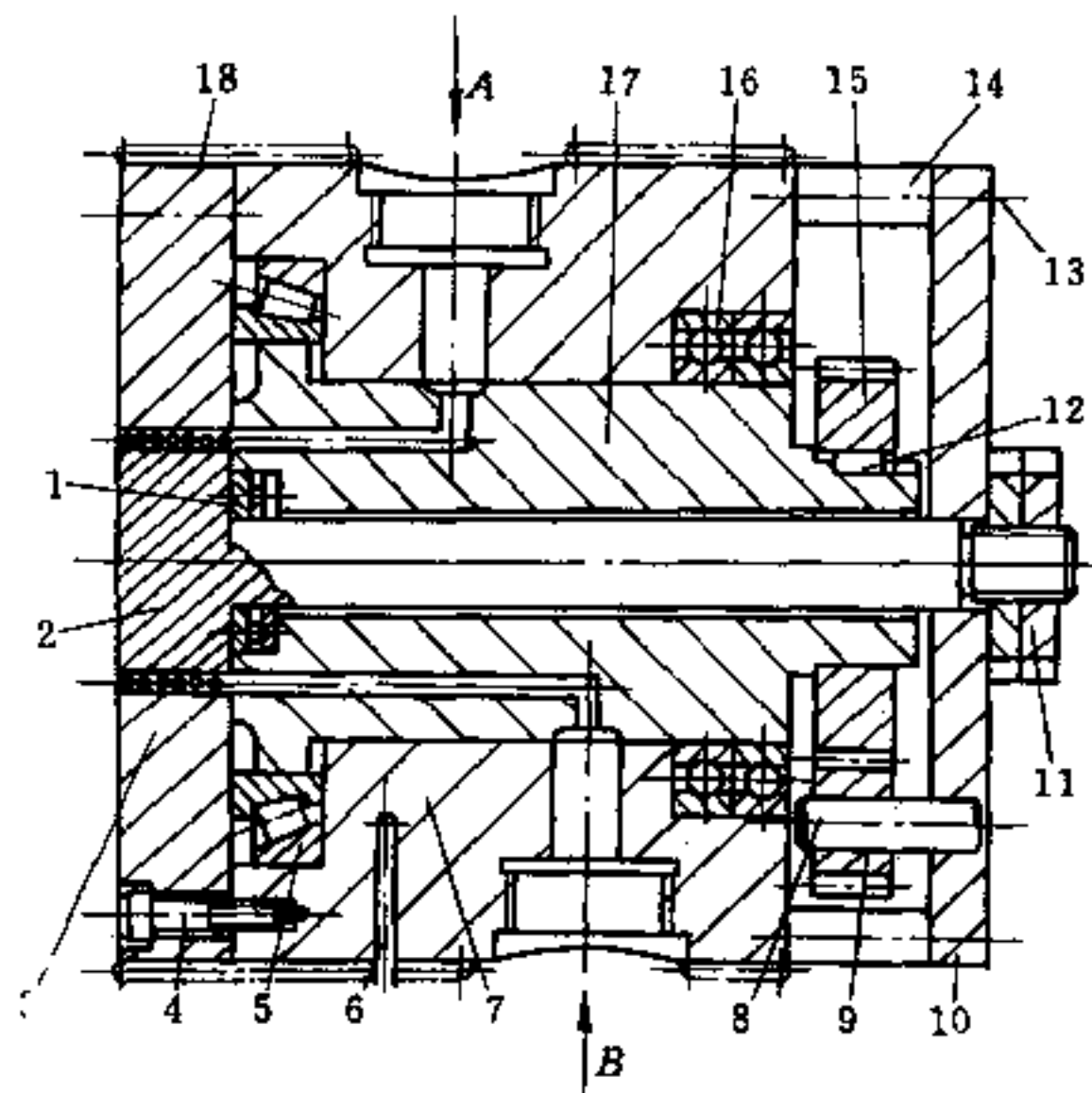


图 7.14-3 自增强复合管材挤塑模设计

1, 16—单列向心球轴承;2—芯模;3—压环;4, 13—内六角螺钉;5—圆锥滚子轴承;6—测温孔;7—模体;  
8—齿轮轴;9—小齿轮;10—支板;11—锁母;12—键;14—支柱;15—大齿轮;17—旋转分配芯轴;18—电加热。

如图 7.14-6 所示, 阻流区  $aa$  设于流道的中央, 用以调节物料流速。当熔体通过径向尺寸渐减的歧管  $b-c-d-e-f$  到达稳压区时, 横向流速已趋一致。再通过调节排 6 进行微调后, 熔料流速与压降便达均匀。通过调节上模唇 2, 可挤塑成型多种厚度规格的板片材。上下模唇的内表面, 须具备很低的粗糙度, 最好能镀铬, 以提高板片材的光亮度和平整度。



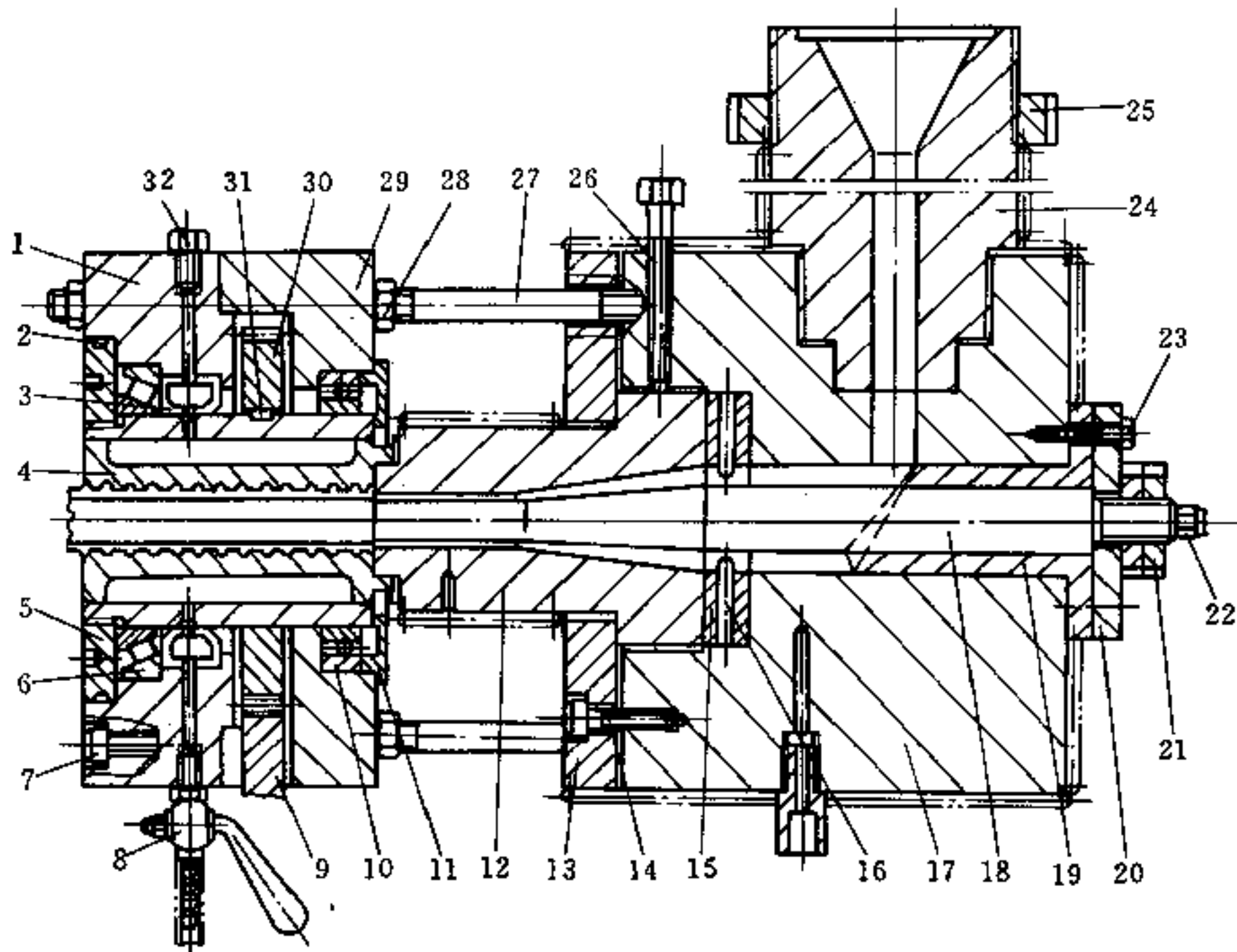


图 7.14-4 波纹管材挤塑模设计

1, 29— 支架; 2, 3— 密封环; 4— 波纹模; 5, 21, 25, 28— 锁母; 6— 圆锥滚子轴承;  
7, 14, 23— 螺钉; 8— 进水嘴; 9— 小齿轮; 10— 向心球轴承; 11— 轴承盖; 12— 口模;  
13— 模体法兰; 15— 支板; 16— 分流销; 17— 模体; 18— 芯模; 19— 内套; 20— 垫板;  
22— 气嘴; 24— 机颈; 26— 调节螺钉; 27— 拉杆; 30— 大齿轮; 31— 键; 32— 出水嘴。

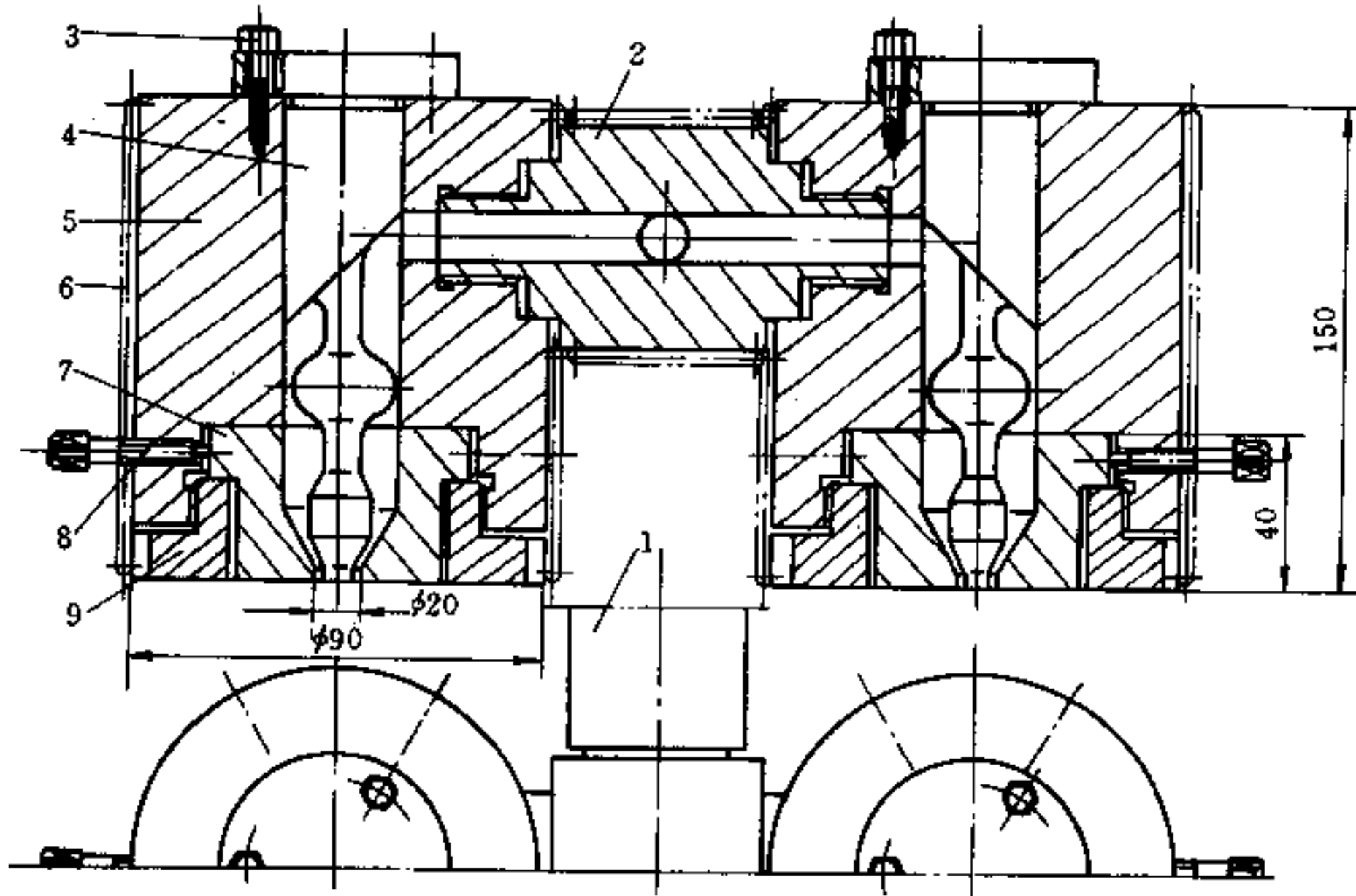


图 7.14-5 双型坯机头设计

1— 机颈; 2— 横流道; 3— 螺钉; 4— 芯模; 5— 模体; 6— 电热器; 7— 口模; 8— 调节螺钉; 9— 锁母。

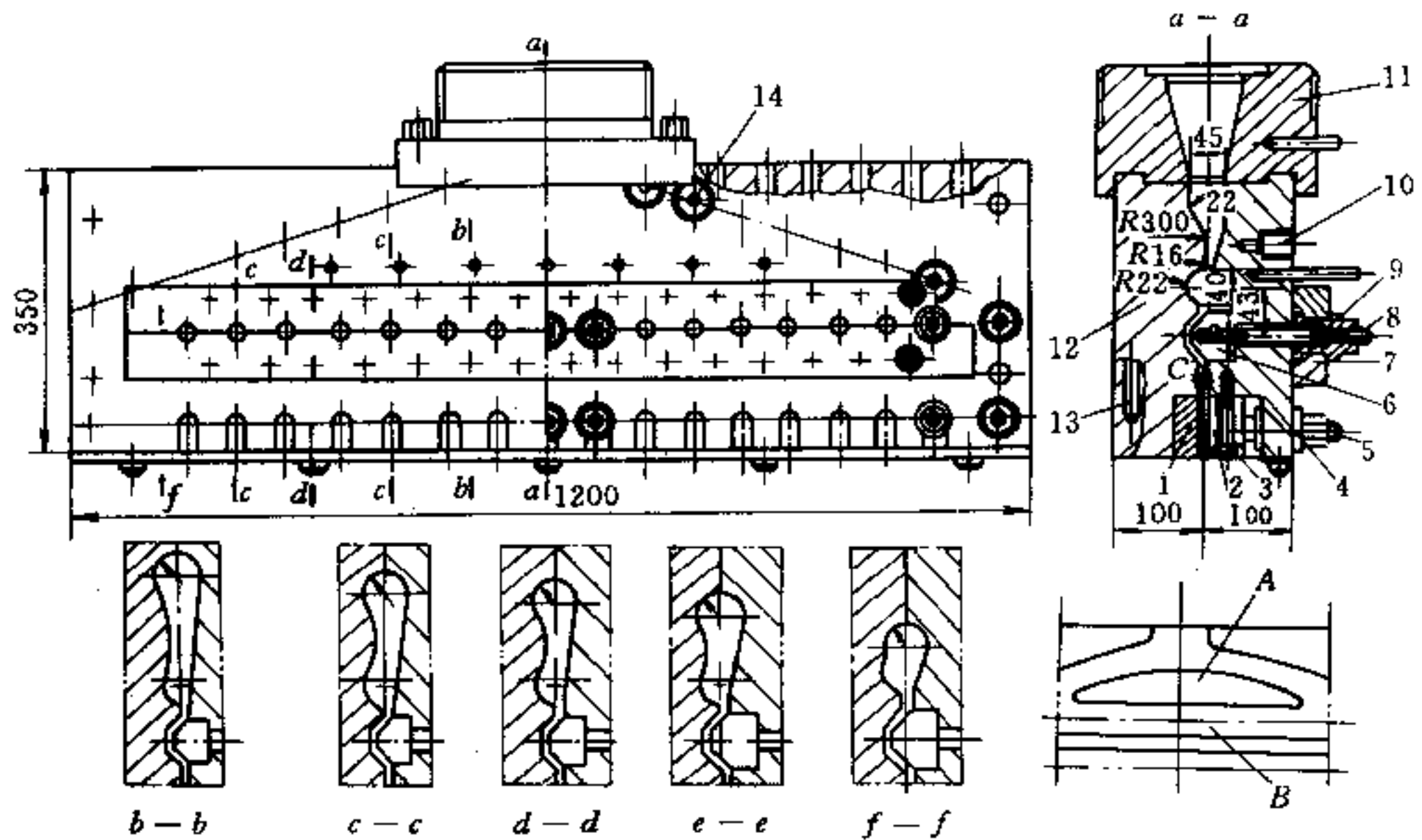


图 7.14-6 衣架式机头结构设计

1—下模唇;2—上模唇;3—螺钉;4—上模体;5—调节螺钉;6—调节排;7—压块;  
8—调节螺栓;9—螺母;10—测温孔;11—机颈;12—下模体;13—电热孔;14—螺钉。

### 7. 双色挤板机头结构设计

如图 7.14-7 所示,两种不同物料,分别由 A、B 流道挤入,流经缓冲区 C、D,于 E 处

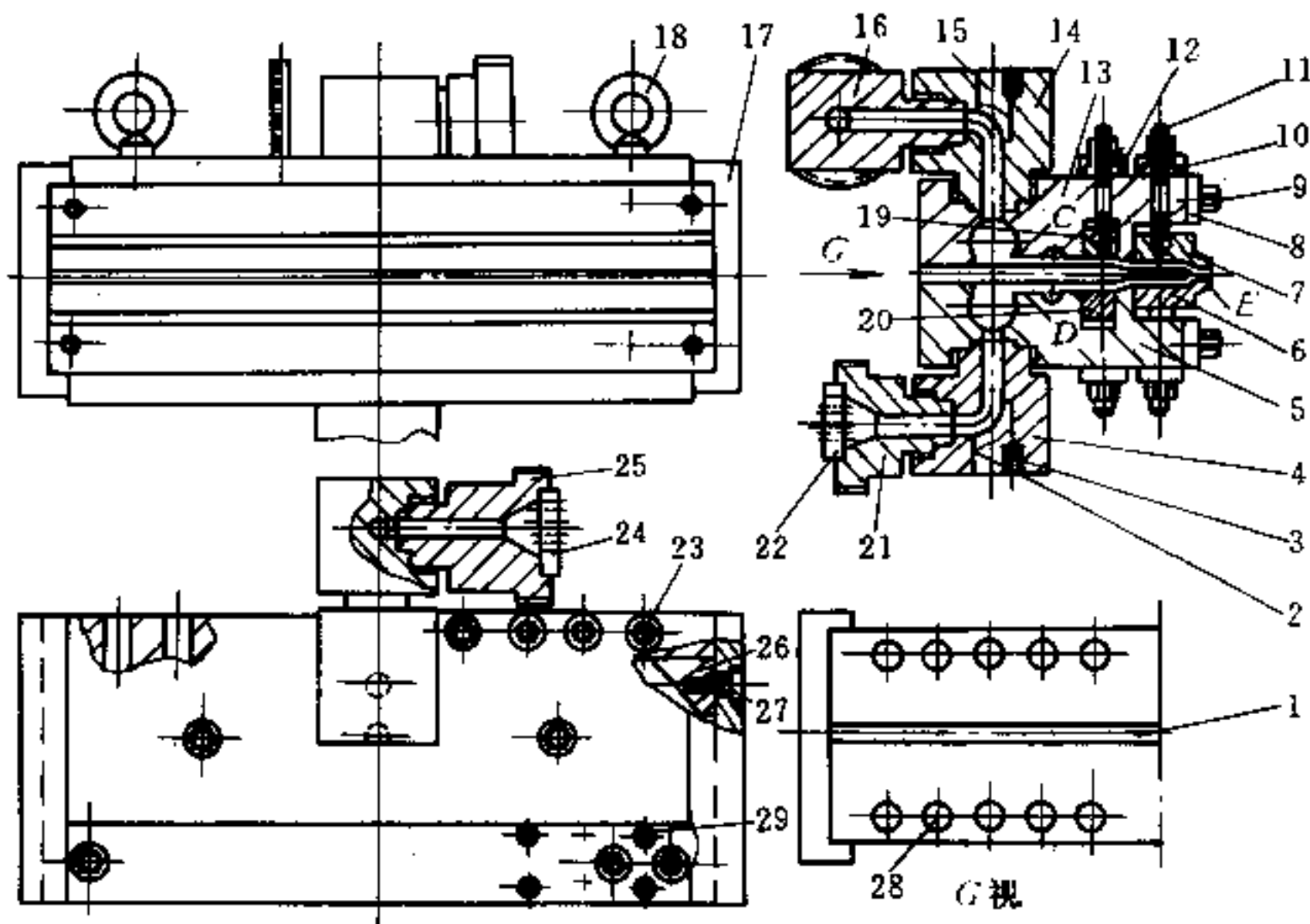


图 7.14-7 双色挤板机头结构设计

1—隔板;2,15—嵌件;3—定位钉;4,14,21,25—机颈;5—下模体;6—下模唇;7—上模唇;8—挡块;  
9,27,29—螺钉;10—调节螺母;11—调节螺钉;12—压板;13—上模体;14—机颈;16—连接件;  
17—增强板;18—吊环;19,20—调节排;22,24—栅板;23—内六角螺钉;26—镶件;28—加热棒孔。

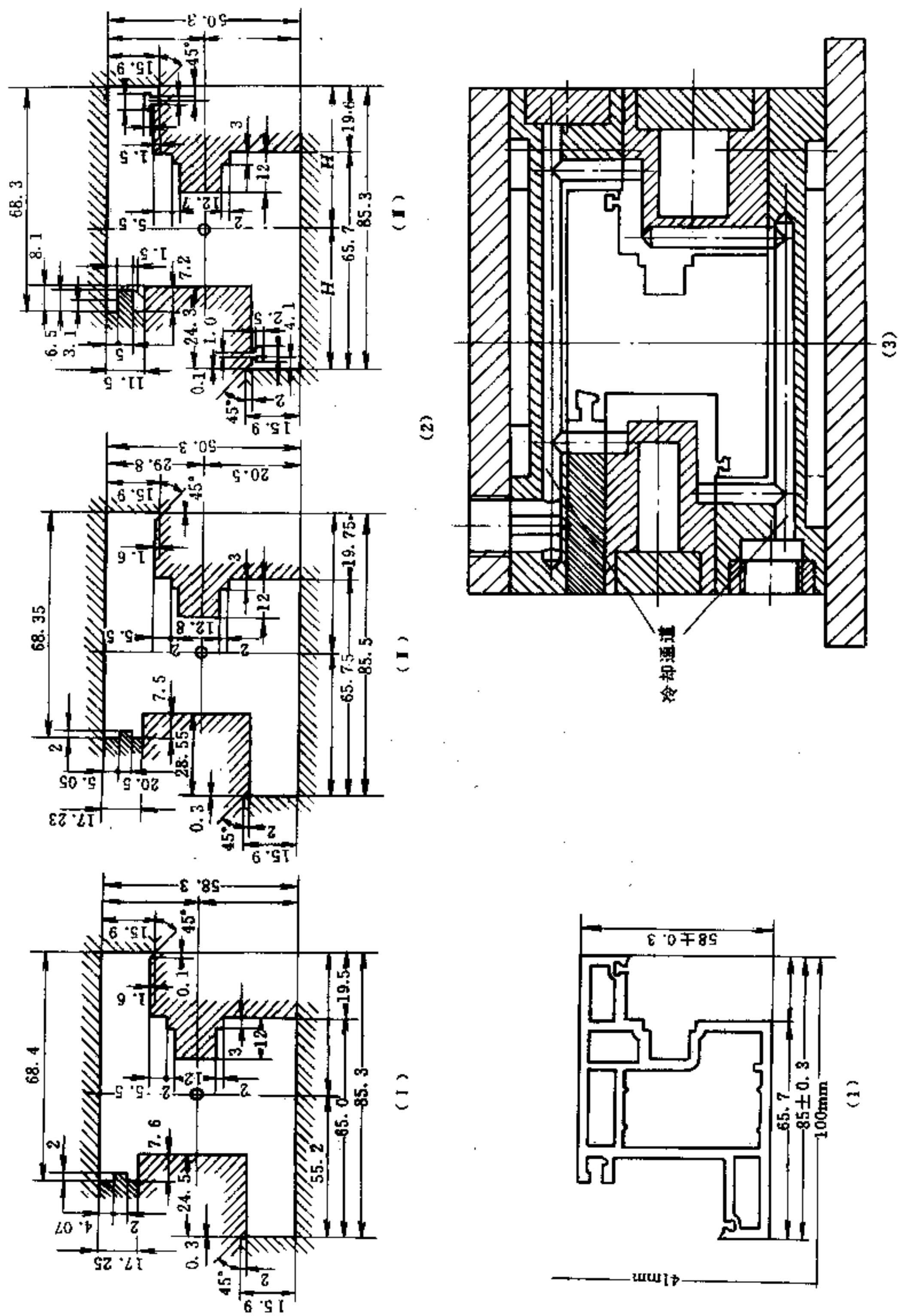


图 7.14-8 窗用异型材及其定型模设计  
 (a) 三个阶段定型尺寸; (b) 窗用异型材; (c) 冷却通道布局。

汇合,并靠两种物料的内压粘合在一起。上下调节排 19 和 20,可分别调节两种物料的流速;通过调节螺钉 11,可改变上下模唇 7 和 6 之间的距离,从而达到改变板材厚度的目的。

### 8. 窗用异型材及其定型模设计

图 7.14-8 为其截面尺寸间的关系,图 7.14-8(a) 为其定型模分 3 阶段的不同定型尺寸,图 7.14-8(b) 为型材截面几何形状及尺寸,图 7.14-8(c) 为其定型模冷却通道的布局设计。

### 9. 中空异型材定型模设计

如图 7.14-9 所示,采用真空吸附、水冷却定型,特别适用于壁厚小于 3mm 以下的中空 RPVC 异型材定型。上下盖板各有 2~4 个真空室,各室的真空度及吸附力均可分别调整。型板中的冷却水亦有 2~4 个回路,冷却水流量可任意调节。上下左右型板,采用导热系数高的铝合金,经铸造和机械加工而成。

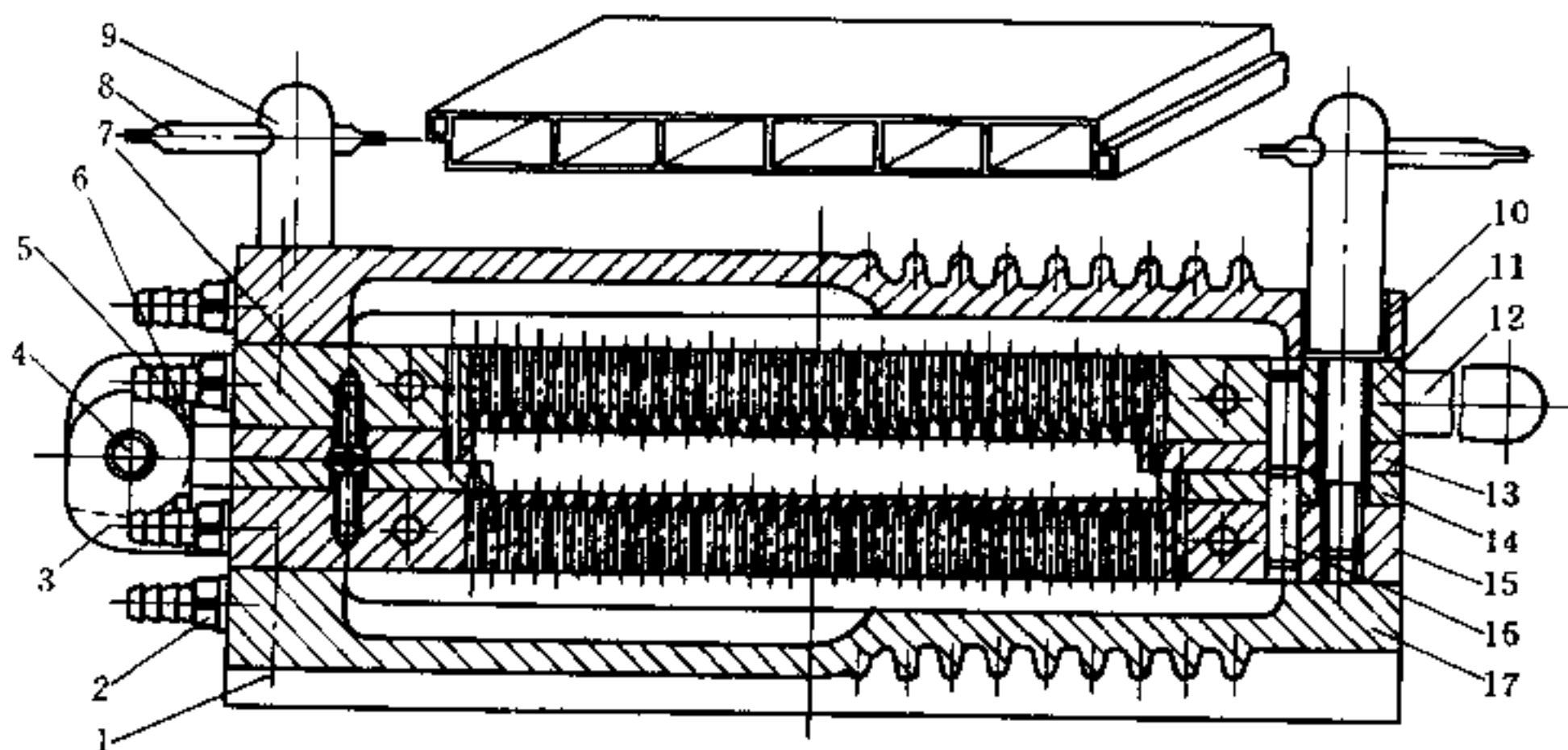


图 7.14-9 RPVC 格板定型模结构设计

1—内六角螺钉;2—气水接头;3,5—铰链片;4—轴;6—螺栓;7—螺钉;8,12—手柄;  
9—锁紧螺钉;10,17—上下盖板;11,15—上下型板;13,14—侧型板;16—圆柱销。

### 10. 芯层发泡棒材挤塑模设计

如图 7.14-10 所示,将发泡和不发泡的两种熔料,分别由 A、B 口送入,B 料通过冷却套 1 后,形成一管状壳体;A 料被挤入之后,即发泡定型,成为夹芯发泡棒材。在其芯轴 3 内设有冷却回路,以防止 A 料过早发泡,这是保持生产得以正常进行的关键。

### 11. 菱形网挤塑模设计

如图 7.14-11 所示,由链轮 1 通过传动轴 27 驱动芯模 18,由链轮 13 驱动口模 19,以形成相对旋转运动,完成菱形网材的成型过程。为确保生产过程的正常进行,分别设有单向推力球轴承 3 和单列向心球轴承 5 和 9,以及特殊单列球轴承 11 和特殊单向推力球轴承 23,并设有密封环 8。

### 12.3 层内复合吹膜机头设计

如图 7.14-12 所示。在各流道内分别设有缓冲槽,以提高熔料流动均匀性,并有利于消除料流痕迹。

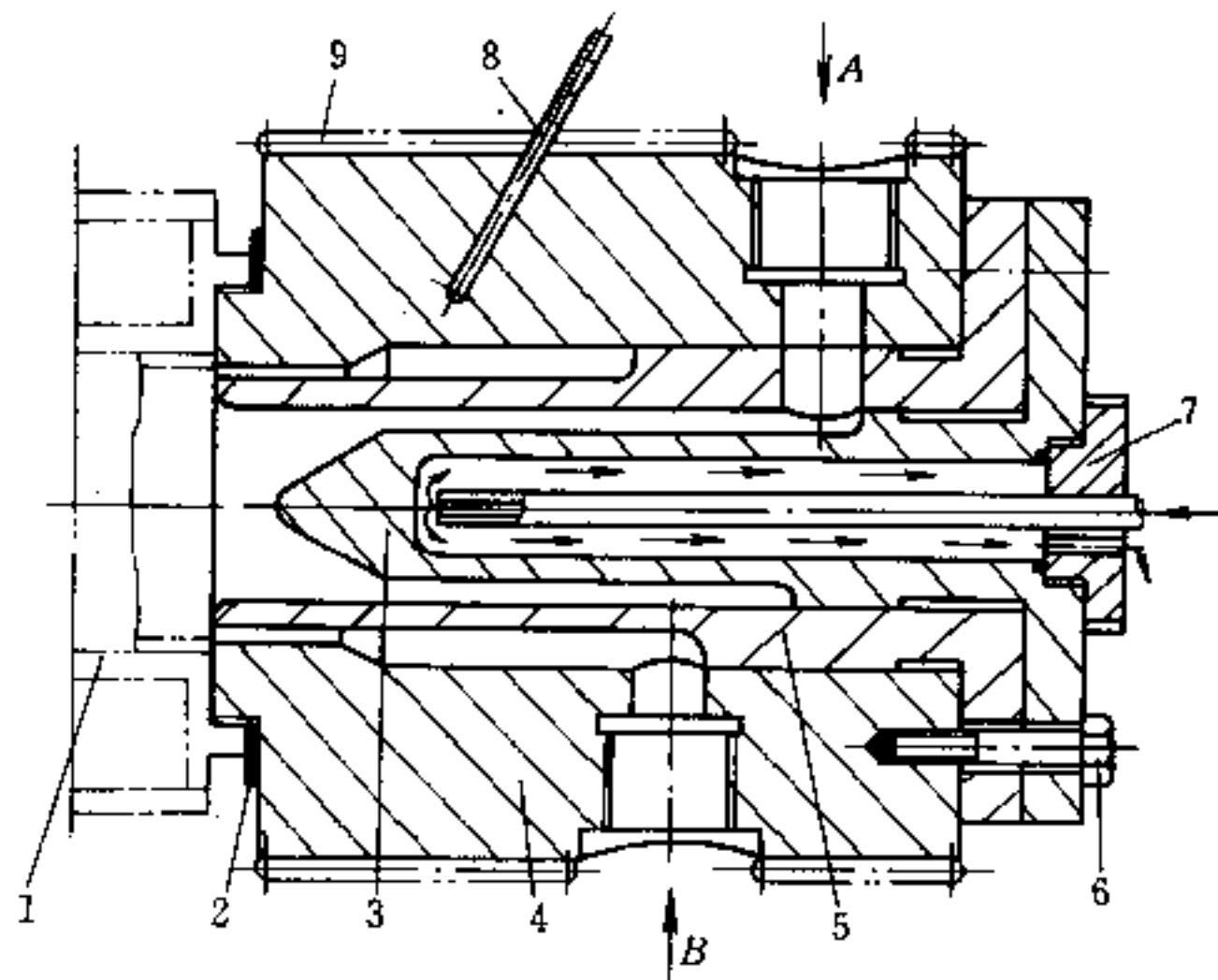


图 7.14-10 芯层发泡棒材挤塑模设计

1—冷却套;2—绝热垫;3—芯轴;4—模体;5—外芯;6—螺钉;7—端堵;8—温度计;9—电热器。

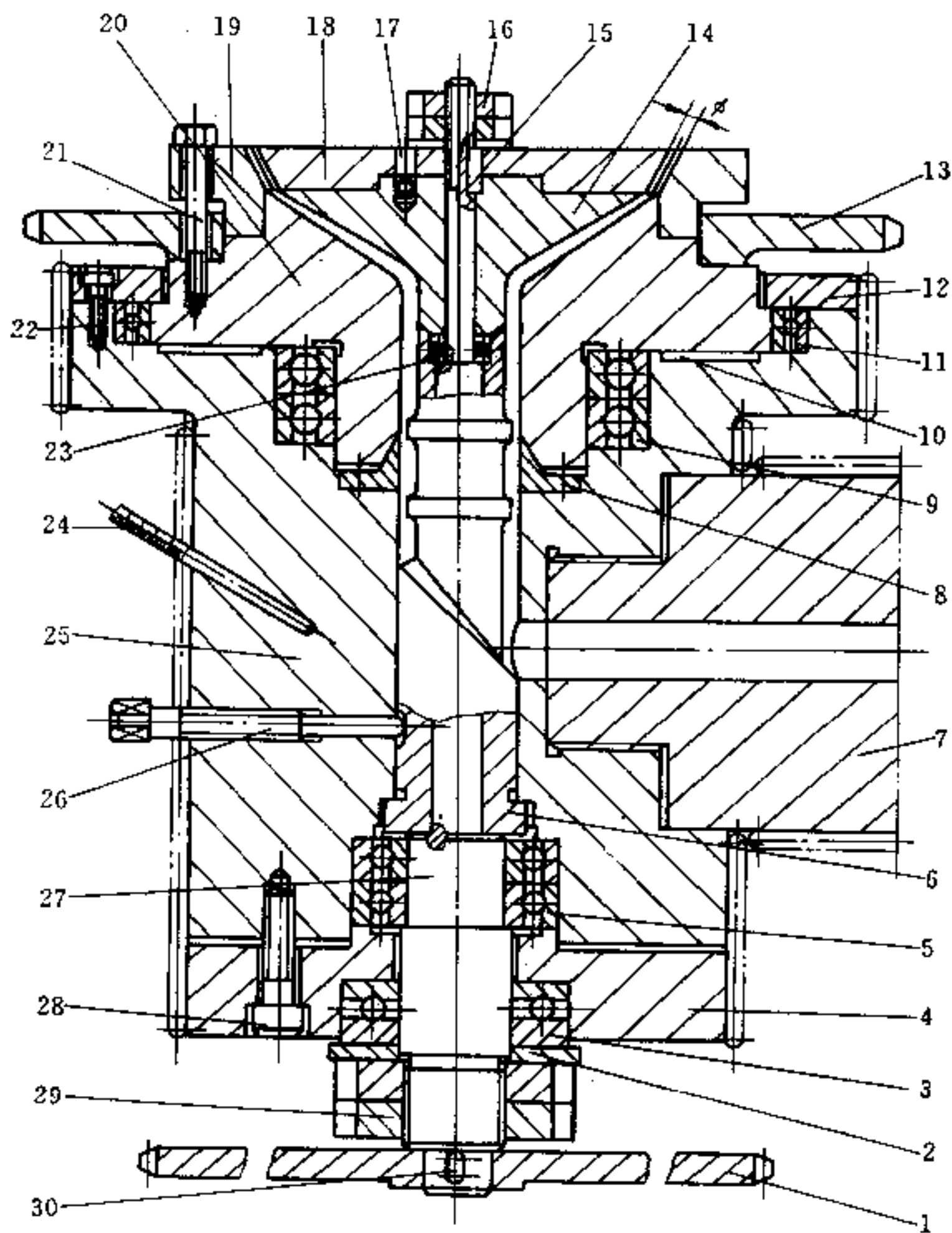


图 7.14-11 菱形网挤塑模设计

1, 13—链轮;2—垫圈;3, 23—单向推力球轴承;4, 12—盖板;5, 9, 11—单列向心球轴承;6—芯棒;  
7—机颈;8—密封环;10—环形槽;14—内模;15, 30—键;16, 29—锁母;17—销;18—芯模;  
19—口模;20—外模;21, 22, 28—螺钉;24—温度计;25—模体;26—定位螺钉;27—传动轴。

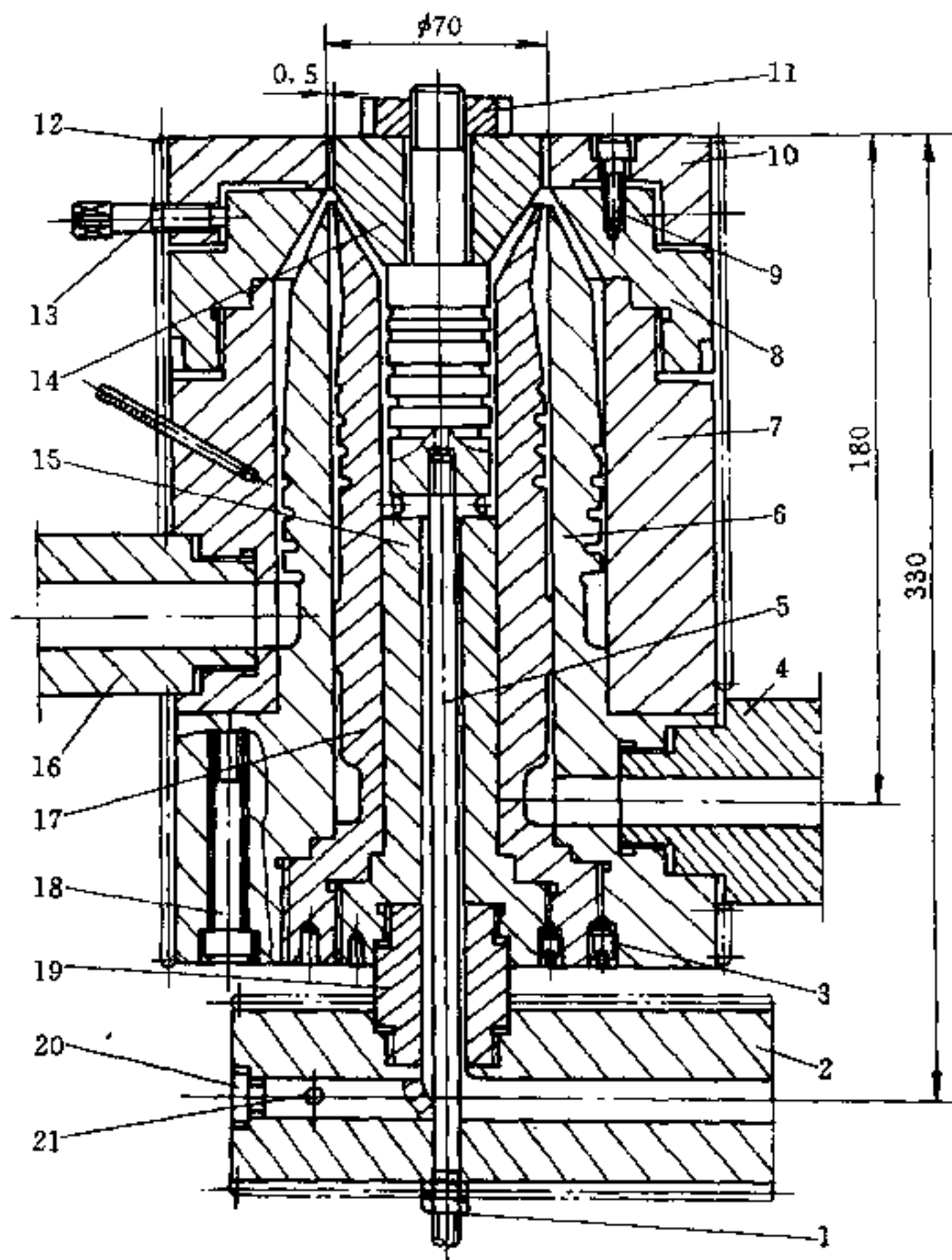


图 7.14-12 3层内复合吹膜机头设计

1—进气口；2—横套；3—骑缝钉；4, 16—机颈；5—进气管；6—外芯模；7—模体；  
8—模套；9, 18—内六角螺钉；10—口模；11—锁母；12—电加热；13—调节螺钉；  
14—芯模；15—芯棒；17—中层芯模；19—接头；20—堵头；21—横销。

### 参考文献

- 1 Walter Micheli. EXTRUSION DIES; Design and Engineering Comutions. Macmillan Publishing Co., Inc. New York, 1984
- 2 刁树森编著. 塑料挤出模具设计与制造. 哈尔滨: 黑龙江科技出版社, 1984
- 3 [苏] Ю.Е. 卢奇 A.Д. 别图霍夫 B.А. 谢那托斯 著. 高聚物薄膜生产设备. 许鸿洗 林炳鉴译. 北京: 轻工业出版社, 1988
- 4 马金骏编. 塑料模具设计 (修订版). 北京: 轻工业出版社, 1984
- 5 [日] 尺田庆司著. 塑料异型挤出与复合挤出. 张治华 冯兴根 间人浩生译. 北京: 轻工业出版社, 1983
- 6 马金骏编. 塑料挤出模具设计图册. 北京: 轻工业出版社, 1982
- 7 北京化工学院, 华南工学院合编. 塑料机械设计 (第10章机头设计). 北京: 轻工业出版社, 1983
- 8 [日] 尺田庆司著. 塑料异型挤出与复合型材的开发. 朱焯男译. 北京: 化学工业出版社, 1987
- 9 马金骏编著. 塑料挤出成型模具设计. 北京: 中国轻工业出版社, 1993

# 第八章 热成型模具设计

## 8.1 热成型及应用

### 8.1.1 热成型特点

热成型是将热塑性塑料片材或板材加热软化，在一定外力作用下，使加热软化的材料在特定的模具轮廓上冷却定型，经修剪而得敞口立体类型产品的方法，叫做热成型。

热成型虽然早在18世纪70年代就已诞生，但真正崭露头角的还是在19世纪50年代中期。目前已发展成为最重要的塑料二次加工方法之一，并正在不断地从热成型向着温成型和冷成型，即所谓的固相成型发展。因此，热成型有如下特点。

#### 1. 适应性强

用热成型法可制造特大、特小、特厚、特薄的制件，以满足不同场合和用户的要求。如热压成型的制件，其壁厚可大于20mm，而真空成型的制件，壁厚可小至0.01mm（10丝）；热成型面积，可以大到 $3 \times 12\text{m}^2$ ，也可小到一粒药片的包装。

#### 2. 应用范围广

由于热成型适应性强，其应用范围也就必然广泛。我国大约是在本世纪50年代后期开始研究这种成型加工技术的，现在已经能用部分热塑性通用和工程塑料（PVC、PE、PP、PS、PA、PMM、PC、PET等）生产小至杯、碟、盘、盖、罩、壳、箱、盆、架、窗等各类制品，大至汽车零部件、建筑构件等，其应用范围从日常生活到宇宙、航空航天，几乎遍及各个领域，如食品包装业，交通运输业；家用电器、文体体育、妇幼保健、学生文具、鞋类包装、广告、医疗、药品、日化包装及育苗、箱包、照相设备，乃至殡葬业等都极大地使用了塑料片材或板材的热成型制品。

#### 3. 设备投资少

热成型工艺简单，所需成型制品尺寸的精度不高，要求的总压力不大，无需大型或重型的高精度设备。因此，其一次性投资较少，大约为挤出或注射成型机械投资的20%左右即可。

#### 4. 模具制造方便

基于同样原因，热成型制品对模具材质的要求不高。不仅可用金属钢材，而且也可用铝、木、塑料和石膏等来制造。这些材料来源方便、价格低廉、易于制造，且修改方便、制造费用只有注射模的1/10或更低。因其制造模具费用低、周期短，特别适用小批量制品的生产，并具有产品变换快的特点。

热成型的板或片材，在加热成型制品和冷却过程中是一对矛盾，壁厚不均、边角废料较多，不能制造精度高和结构复杂的制品，是热成型加工的最大不足。尽管如此，热

成型仍是一种很有经济实用价值的成型方法，成为塑料加工中不可替代的成型方法之一。

### 8.1.2 热成型方法

热成型法的基本原理和金属片材的冷冲压技术有着某些相似之处，但它在成型时的拉伸比、宽深比，以及片或板材的分布与厚度选择等方面，均应有所考虑。此外，在模具设计时，还要考虑塑料板、片材的品种，其成型后收缩率变化的影响，型腔尺寸计算、脱模斜度大小，侧凹抽芯机构的设置，真空或压缩空气吸附孔尺寸的位置和大小，模具加热元件及温度的控制，以及板片材料加热时间长短等问题，以保证板片材在热成型温度下，具有最大的断裂伸长率和最低的拉伸强度，成型出所需的合格品。热成型工艺过程为：

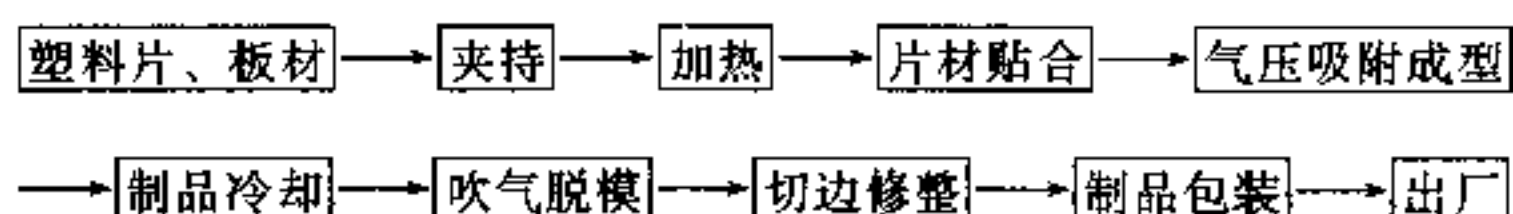


表 8.1-1 为一些常用热塑性塑料板、片材的热成型加工温度范围，可供参考。

表 8.1-1 塑料的热成型条件和热胀系数

塑料片、板材名称	热成型条件				线胀系数 / ( $\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ )
	成型温度/ $^{\circ}\text{C}$		模具温度 / $^{\circ}\text{C}$	柱塞温度 / $^{\circ}\text{C}$	
	最佳值	最低值			
硬聚氯乙烯	135~180	95~125	40~45	60~150	5~8.5
低密度聚乙烯	120~190	105	50~75	150	15~30
高密度聚乙烯	135~190	120	65~95	150	15~30
聚丙烯	150~200	148	70~90		11
双向拉伸聚苯乙烯	180~195	110	50~60	115~120	6~8
ABS	150~175	140~160	60~80		4.8~11.2
聚甲基丙烯酸甲酯 (浇铸)	145~180		60~80		5~9
醋酸纤维素	130~165	100~120	50~60		10~15
醋酸丁酸纤维素	95~120			30~40	11~17
硝酸纤维素	90~115			30~40	8~12
乙基纤维素	105~135			30~40	10~20
聚碳酸酯	225~245	215	75~95	275~315	7
尼龙 6	210~220	210			7.9~8.7
尼龙 66	220~250				9~10
涤纶 (拉伸定向)	175~255				
涤纶 (未定向)	175~205			6	
聚砒	220~280		160		

#### 一、模压成型

模压成型是采用单模 (凸模或凹模) 或对模，利用外加机械压力或自重，将被加热



的塑料片材或板材制成所需制品的成型方法。此法适用于所有热塑性塑料。

### 1. 单凸模法

对于直径大于 1m 以上的圆筒制品，一般可采用弧形板拼接，弧形板常采用单凸模成型法制备，见图 8.1-1。模具可采用木材制造，也可用钢制造以增加使用次数。但在金属的表面应加绝热材料（如石棉布等），以防坯料局部冷却过快而影响制品质量。

对于旋转体的制作，常采用由凸模、拉伸环、压边圈等组成的成型模来成型。凸模由木材制成，拉伸环的棱角应有较大的圆弧半径（不小于 10~20mm）和  $Ra0.8$  左右的粗糙度，凸模与拉伸环的间隙应比被拉伸成型的片材厚度大 15%~20%。凸模压入拉伸环的深度，一般比制品图纸要求的深度大 1~1.5mm。当制品冷却基本定型后，凸模方可退出。若直径和壁厚都较小的制品，可借夹具手工压制成型；而对直径和壁厚较大的制品，则需用压机成型。旋转单凸模制作方法如图 8.1-2 所示。

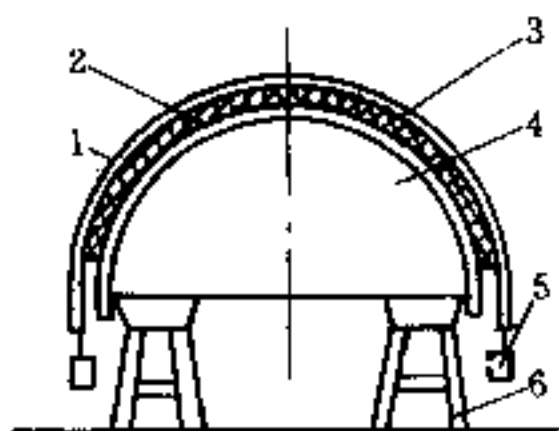


图 8.1-1 圆筒体单凸模制作方法

1—帆布；2—制品；3—绒布；  
4—木制空心模；5—重锤；6—支座。

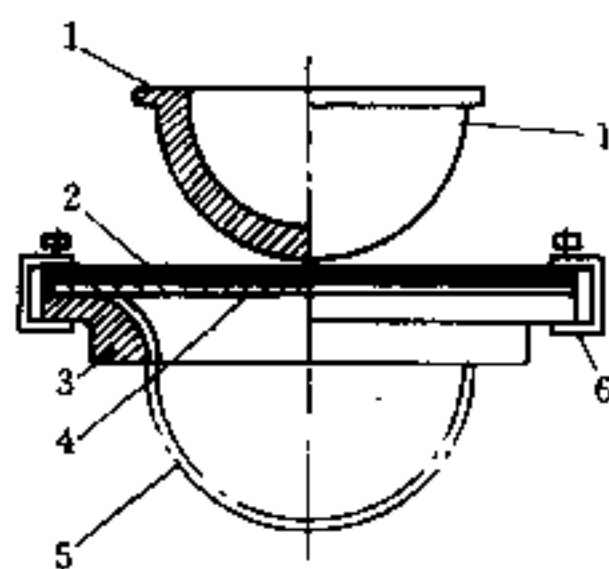


图 8.1-2 旋转体单凸模制作方法

1—凸模；2—压边圈；3—拉伸环；  
4—坯料；5—制品；6—夹具。

### 2. 单凹模法

对于直径大于 1m 的圆筒体，也可采用单凹模成型法，如图 8.1-3 所示。亦可使用弹性橡皮凸模和雕花凹模，制成凹纹不深、花纹清晰的制品，见图 8.1-4。这种成型方法需在压机上进行，才可获得制品。

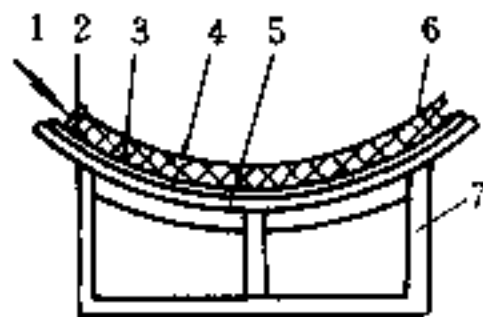


图 8.1-3 圆筒体单凹模制作方法

1—施力方向；2—活铬铁条；3—制品；4—帆布衬；  
5—钢凹模（4~10mm）；6—角钢；7—支架。

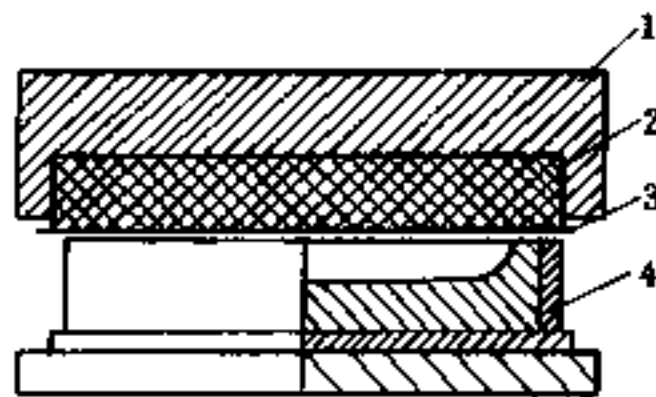


图 8.1-4 弹性凸模与凹模配合成型方法

1—容柜；2—偏平橡皮凸模；3—坯料；4—凹模。

### 3. 对模成型

对模成型的模具是由凸模、凹模、夹具和其他附件共同组成的。将板材、片材夹持于两模之间，并用可移式加热器对其加热，待达到要求的温度后，移去加热器，并用压

机将凹模和凸模合拢，并施加一定压力，成型冷却开模取出制品。其成型过程如图 8.1-5 所示。

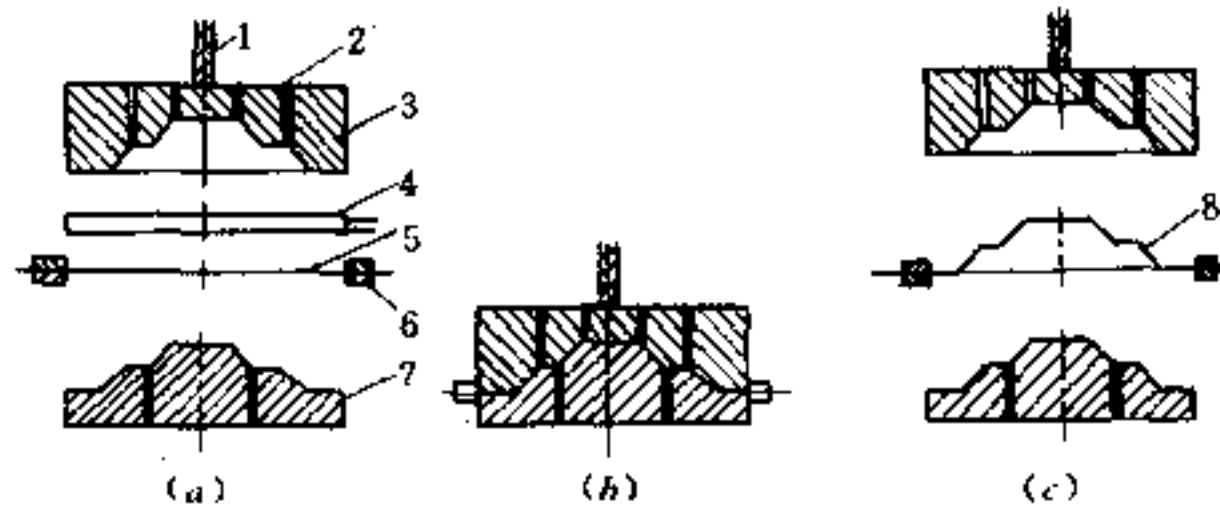


图 8.1-5 对模成型

(a) 片材加热；(b) 合模；(c) 开模取出制品。

1—压机柱塞；2—排气孔；3—凹模；

4—可移动式加热器；5—片材；6—夹具；7—凸模；8—制品。

#### (1) 对模成型制品的特点

- a. 复制性和准确性都较好，适宜有花纹图案的制品成型；
- b. 制品结构可相对复杂，而厚度分布在很大程度上依赖于制品的空间造形和模具尺寸精度的控制；
- c. 热塑性塑料片材无需加热至软化点，即可进行对模成型，而这种成型的典型用材是聚丙烯 (PP) 塑料。

#### (2) 设计对模应注意的问题

- a. 不要因上下模之间的压力波动而使制件厚度随之发生变化，即模具应设有导柱导向，以保持其对中性；
- b. 为确保上下模将片材压实，可将一个模的表面改为较软的材料，如采用泡沫橡胶覆盖。

#### 4. 复合模压成型

对某些制品，还可以采用复合模压成型的方法成型，如图 8.1-6 所示。

#### 二、差压成型

热塑性塑料板、片材被加热至高弹态达到可拉伸时，在气体差压作用下紧贴型面，经冷却定型后得其制品的方法，称为差压成型。使板、片材两面产生差压的措施，可以在模具底部抽真空（负压，一般只 70—88kPa）或在顶部通入压缩空气（正压，一般不大于 34.3kPa），亦可两者兼用。前者称真空成型，后者称气压成型，也可称压缩成型或加压成型。当真空成型压力不能满足要求时，则可选用气压成型，而选择压强数值大小的根据，是模具和设备的承压能力。

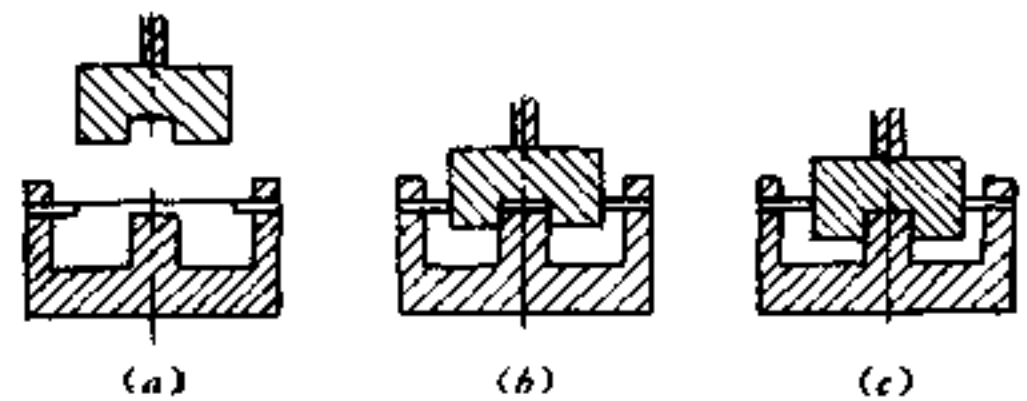


图 8.1-6 复合模压成型

差压成型的特点，是制品与型面贴合得比较鲜明和光滑，当有图案和花纹时也比较精细；在成型时，凡片材与型面贴合得最晚的部位，其壁厚最薄；它和模压成型相比，只能成型壁厚较小的制品，特别是真空成型。

差压成型时可以用不用模具（自由成型），也可以是单凸模或单凹模和对模成型。

### 1. 真空成型

真空成型的模具结构简单，根据制品结构通常只要一个凸（阳）模或凹（阴）模，有时也可不要模具。由于真空成型时，压力较小，它不宜用来成型外形结构过于复杂或高精密的制品，以及壁厚过大的塑料板材类制品。它最适于聚氯乙烯（PVC）、聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、聚苯乙烯（PS）、尼龙（PA6）等片材的日用品、仪表外壳、食品、医药、服装、玩具类包装制品。

#### (1) 无模真空成型

制做类似于碗状或拱顶的热成型制品是十分容易的。事实上，采用真空吸塑成型立体状的产品无需使用模具，成品完全借助空气压力差而成型。成型工艺是塑料片被夹持于片夹上加热软化后，将其置于真空室上，从片材的下方利用真空抽吸，使片材形成所需要的自由曲面体，经冷却而得到制品。所需拉伸度，可由时间和真空度来控制，也可通过人工观察或光电管高度调节来实现。

用该法制得的成品表面光泽很好，且不带任何瑕疵，如所用材料是透明的聚甲基丙烯酸甲酯塑料时，其光学性能几乎不发生变化，故常用来制造仪表罩和飞机座窗等透明制品，制品形状常与真空室开口尺寸大小形状有关。在成型过程中，随着拉伸程度的增加其最大变形区（片材中心）的厚度会不断改变，形变如图 8.1-7 所示，半球最深处的厚度只有片材厚度的 1/3 或更少，故成型前应对材料的厚度选择加以考虑，并可适当改变塑料板材或片材不同区域的加热温度，使其有一定温差来达到制品壁厚的均匀性。

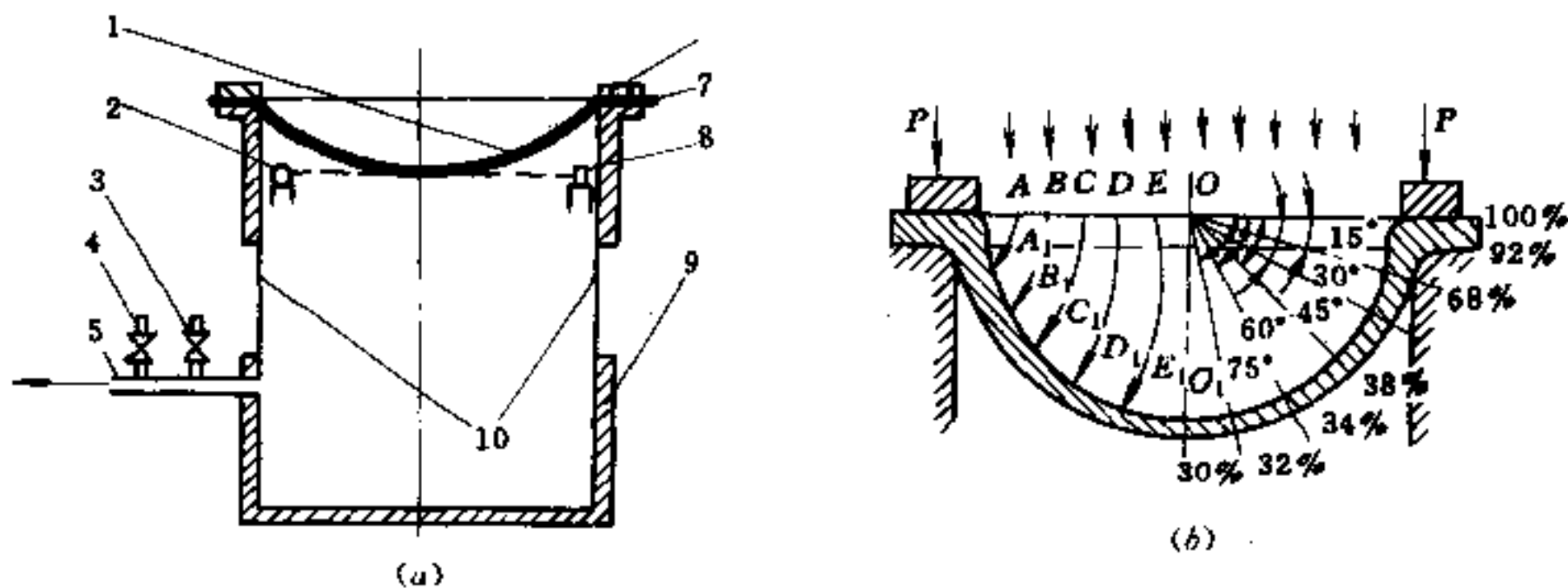


图 8.1-7 无模具真空成型壁厚变薄情况

(a) 无模具真空成型；(b) 壁厚变薄情况。

1—片材；2—光源；3—光电控制阀门；4—真空解除阀；

5—真空接嘴；6—夹具；7—拉伸环；8—光电管；9—真空室；10—视窗。

#### (2) 凸（阳）模真空成型

凸模真空成型如图 8.1-8 所示，使用这种方法成型时，需先将片材夹持在凸模上方一定的高度位置进行红外辐射加热；一旦片材达到预定加热温度，则由压环带动片材向下运动，或启动模具上升，以使凸模强制片材发生一定程度的拉伸塑性变形；当压环与模具接触之后，停止两者间的相对运动，同时用真空泵通过凸模下方气孔将已变形的片材与凸模型面之间的空气抽取干净，于是片材将在大气压力下继续进行塑性变形，直到

完全紧贴凸模型面。经一定时间冷却定型，然后才能向模内通压缩空气，将制品从凸模上脱下。凸模真空成型用来生产深度尺寸较大的薄壁制品（径向与深度尺寸之比值已达1:1甚至1:1.5），并可得到比较准确的内部形状和尺寸。另外，在凸模型面的约束下，还可以消除制品冷却定型时的收缩变形。但需要注意，由于片材初始变形需要通过凸模施加压力，所以与凸模顶面接触的片材部分将因为摩擦作用而导致其变形量不及侧面悬空部分，成型出的制品将会出现底部与侧壁厚度不均的现象。特别是低粘度、且加热后容易与冷模具粘附的塑料，如聚乙烯片材成型后的不均匀现象尤其严重，而其他粘附较小的塑料，其壁厚不均现象将会有所减轻。但凸模直角越少，对脆性材料存有引起开裂的弊病越大，如聚苯乙烯泡沫塑料片的成型。

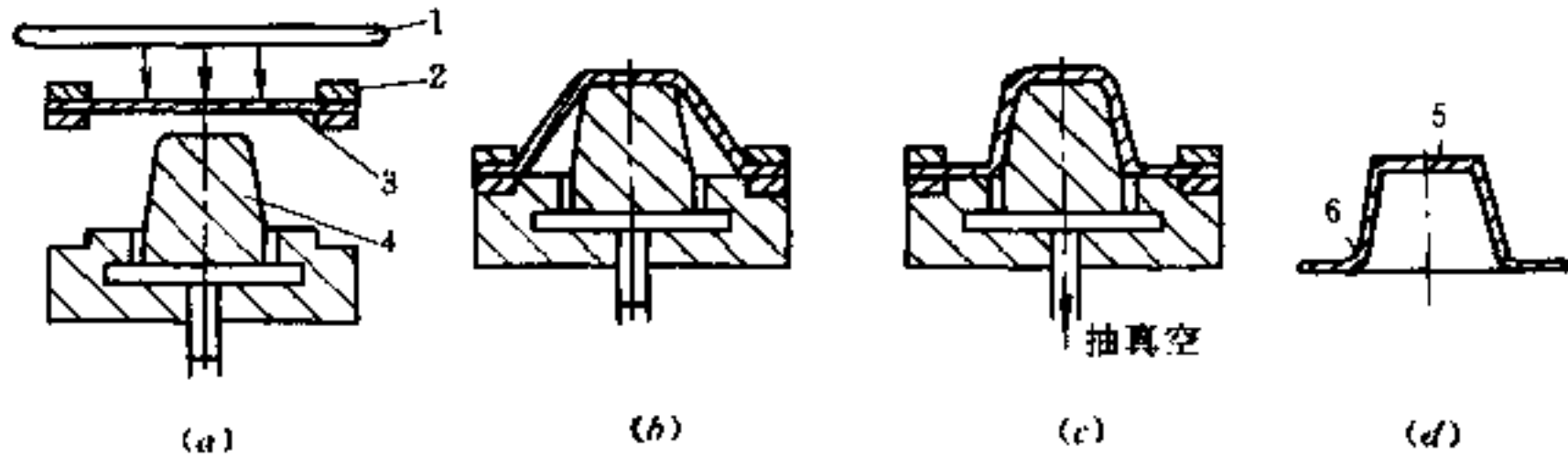


图 8.1-8 凸（阳）模真空成型

(a) 加热；(b) 拉伸；(c) 成型；(d) 制品。

1—辐射加热器；2—压环；3—片材；

4—凸模；5—厚壁区；6—薄壁区。

### (3) 凹（阴）模真空成型

凹模真空成型需用压环将塑料片或板材夹持固定在凹模上端，当可移动的红外辐射加热器在片材上方对其加热（如图 8.1-9 (a) 所示），并达到预定温度时，移去加热器，即可用真空泵将凹模底部空间的空气抽吸干净，于是片材在大气作用下发生拉伸塑性变形，直到完全紧贴在凹模的型腔面后经一定冷却定型（见图 8.1-9 (b)）。一旦冷却定型完成即可切换抽气孔为压缩空气入口，使制品从凹模中吹出，得到所需制品，见图 8.1-9 (c) 和 (d)。凹模真空成型主要适用于径向尺寸较大、深度尺寸较小（通常小于 50mm）的塑料制品，并可获得较精确的外部形状和尺寸，该法既适用于单腔模，也适用于多腔模的成型。

### (4) 反吸真空成型

反吸真空成型（Snapback Vacuum Forming）是深受欢迎并经常应用的极其简单的热成型方法。其普及性是由于采用此法能使材料分布大为改善，导致制品性能也改善。其成型过程见图 8.1-10 和图 8.1-11 所示。

## 2. 气压成型

由于真空所能形成的压差不是一个大气压，所以，若片材较厚或制品形状较复杂，成型压力就显得不足，会造成制品成型不良、轮廓不清、花纹模糊，甚至根本无法成型出合格制品，如双向拉伸的聚苯乙烯泡沫塑料。为此，可采用压缩空气的气压成型。该气压可达 343kPa，是真空压力成型的 4~5 倍。气压成型具有成型速度快，约为真空成型的 3 倍；能成型出与型面贴合较鲜明和精细花纹的表面，且制品的光洁度也高；但该

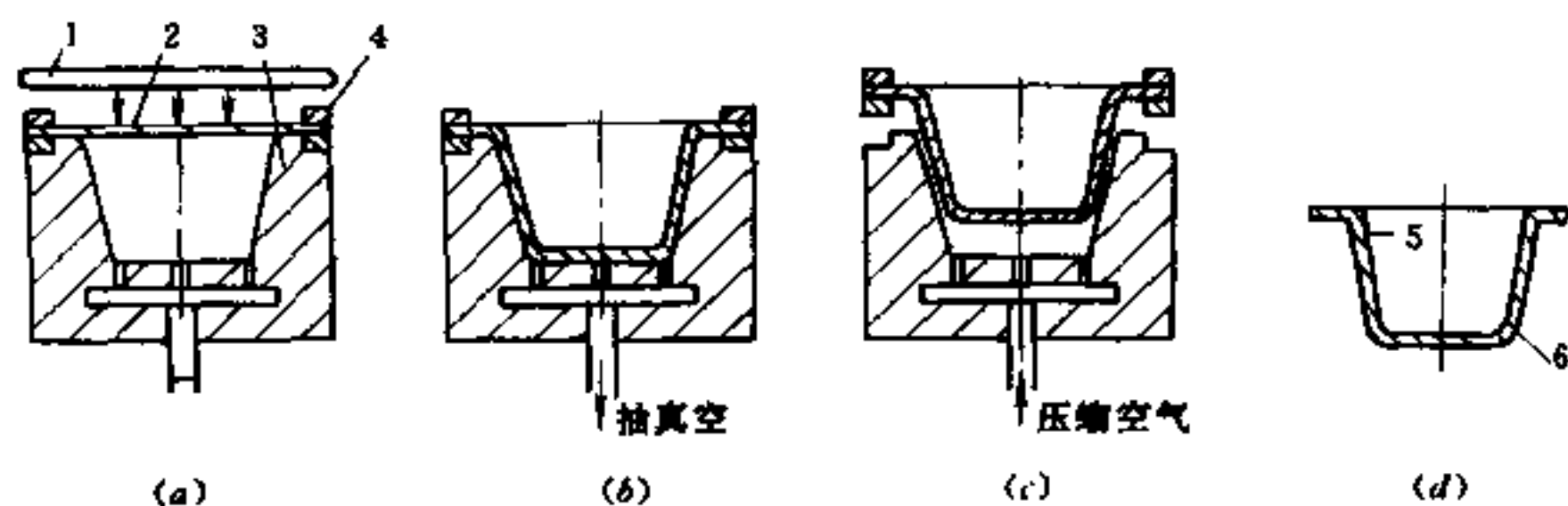


图 8.1-9 凹（阴）模真空成型  
 (a) 加热；(b) 抽真空；(c) 吹出；(d) 制品。  
 1—红外辐射加热器；2—塑料片材；3—凹模；  
 4—压环；5—厚壁区；6—薄壁区。

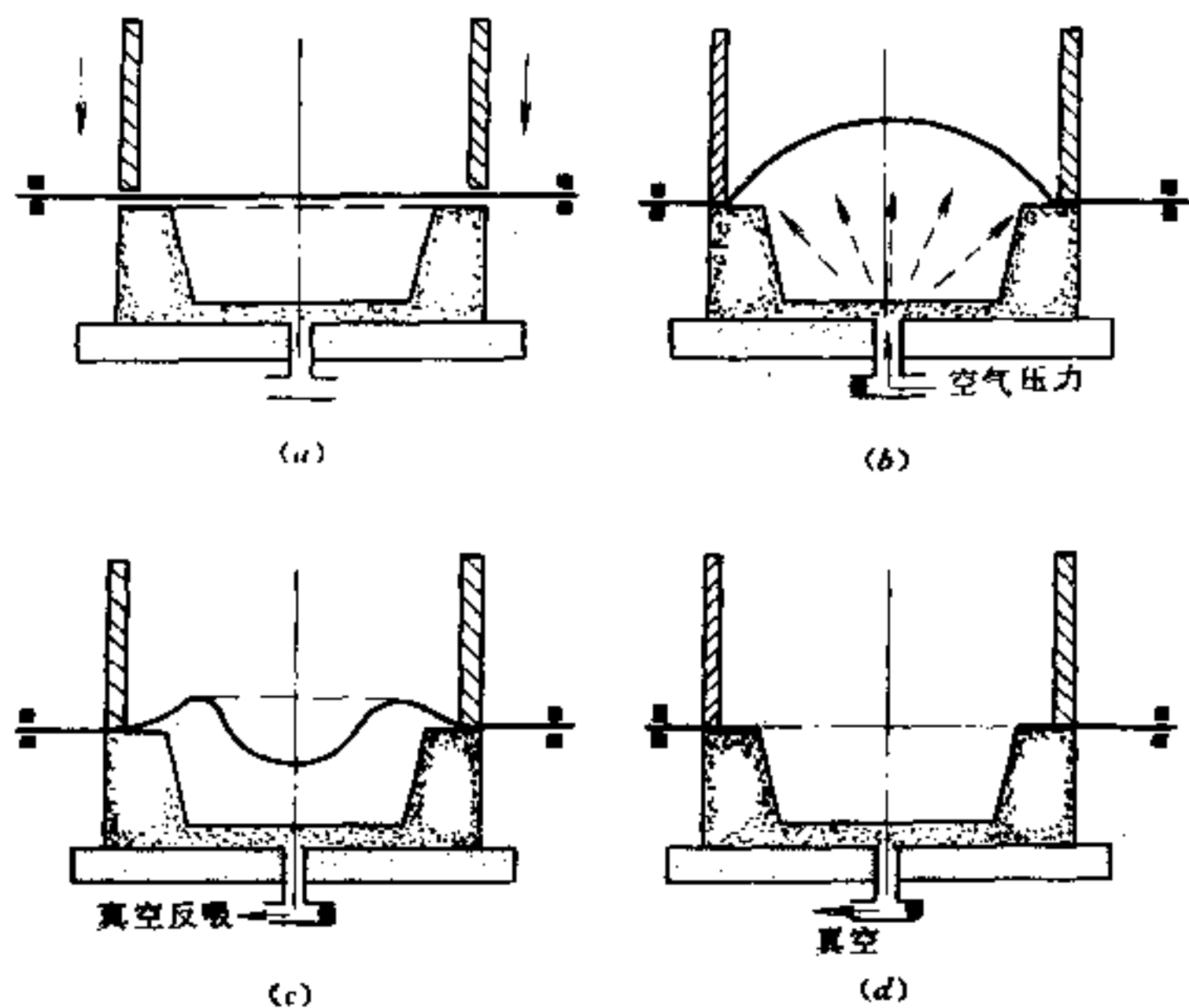


图 8.1-10 反吸凹（阴）模真空成型  
 (a) 预热片材夹持；(b) 鼓泡/材料预拉伸；(c) 片材被反吸；(d) 真空成型。

法仍存在有壁厚不均现象，如与型面贴合得越晚的部位显得越薄。

#### (1) 无模气压成型

无模具气压成型的优点与真空成型相同，其装置见图 8.1-12。对拉伸环的要求，与单凸模模压成型相同，在拉伸环和支承环内，可安装加热元件用以恒温，以防止片材温度急剧下降。一般恒温应控制在  $70\sim 80^{\circ}\text{C}$  之间，对通入的压缩空气也可以预热至  $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，成型压力可在  $20\sim 433\text{kPa}$  范围内选择。在成型过程中，片材应放置迅速，常控制在  $1\text{min}$  内完成，以免片材冷却无法成型出合格制品。

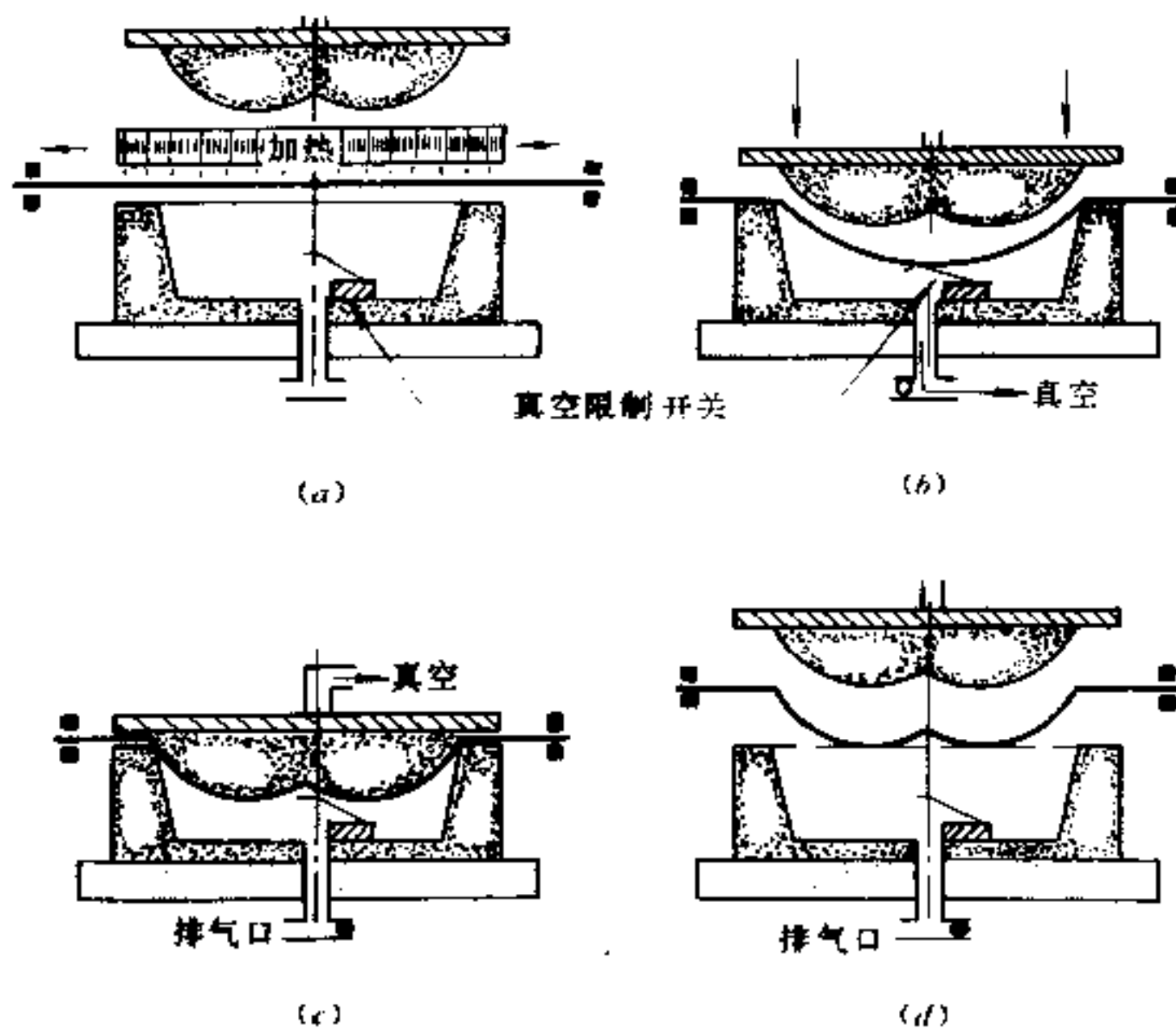


图 8.1-11 反吸凸(阳)模真空成型

(a) 片材加热; (b) 预拉伸; (c) 反吸真空成型; (d) 模具分离制品脱出。

### (2) 单凸(阳)模成型

单凸模气压成型装置如图 8.1-13 所示。成型时将已预热的片材快速压紧，由 9 通入压缩空气，将片材预拉成型，并使成型片材超过凸模 6 的高度，与此同时柱塞 8 将凸模 6 从片材下方升起紧贴预拉的片材冷却成型，成其为制品。用该成型方法可减少壁厚的不均匀程度。

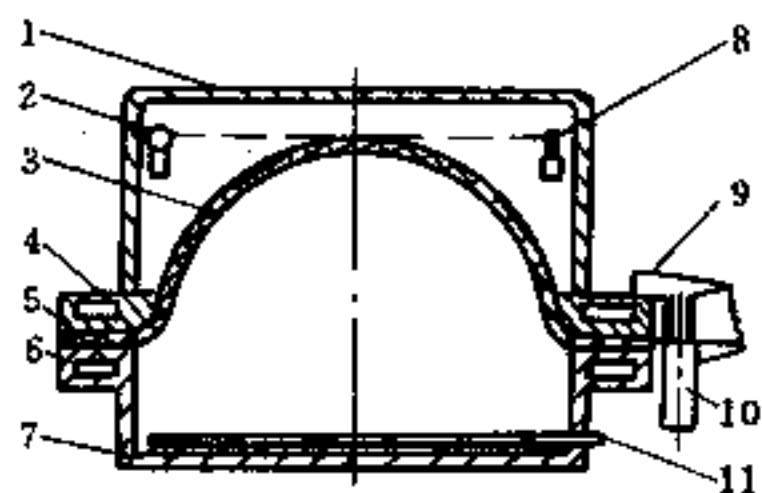


图 8.1-12 无模气压成型

1—绝热罩; 2—光源; 3—已拉伸的片材;  
4—拉伸环; 5—橡皮垫圈; 6—支承环;  
7—金属支座; 8—光电管; 9—压紧件;  
10—气缸(调节压紧件的压强);  
11—进气嘴(由光电管控制)。

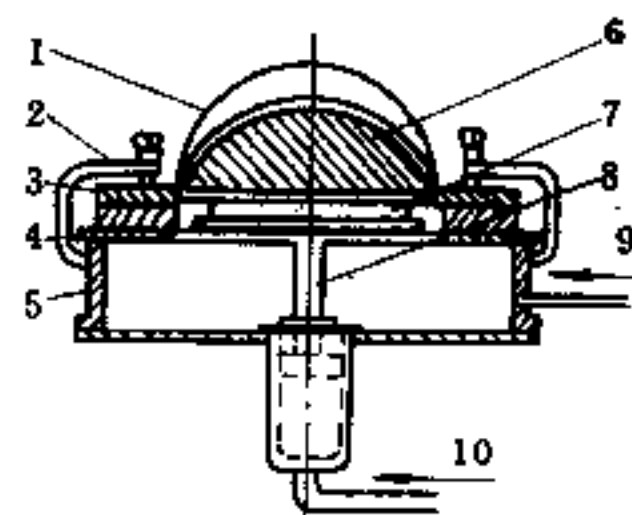


图 8.1-13 单凸(阳)模气压成型

1—拉伸片材; 2—快速夹紧体; 3—拉伸环;  
4—支承环; 5—气室; 6—凸模; 7—升降台;  
8—柱塞; 9、10—压缩空气入口。

### (3) 单凹(阴)模成型

单凹模气压成型模具及工作情况见图 8.1-14 和图 8.1-15。在图 8.1-15 中，管坯可以预热，当壁厚较薄时也可不预热。加热时可将蒸汽通入加热室，吹胀时可用压缩空

气，亦可用蒸汽。当加压约 2min 后，关闭压缩空气或蒸汽，用水冷却至室温后可开模取出制品。

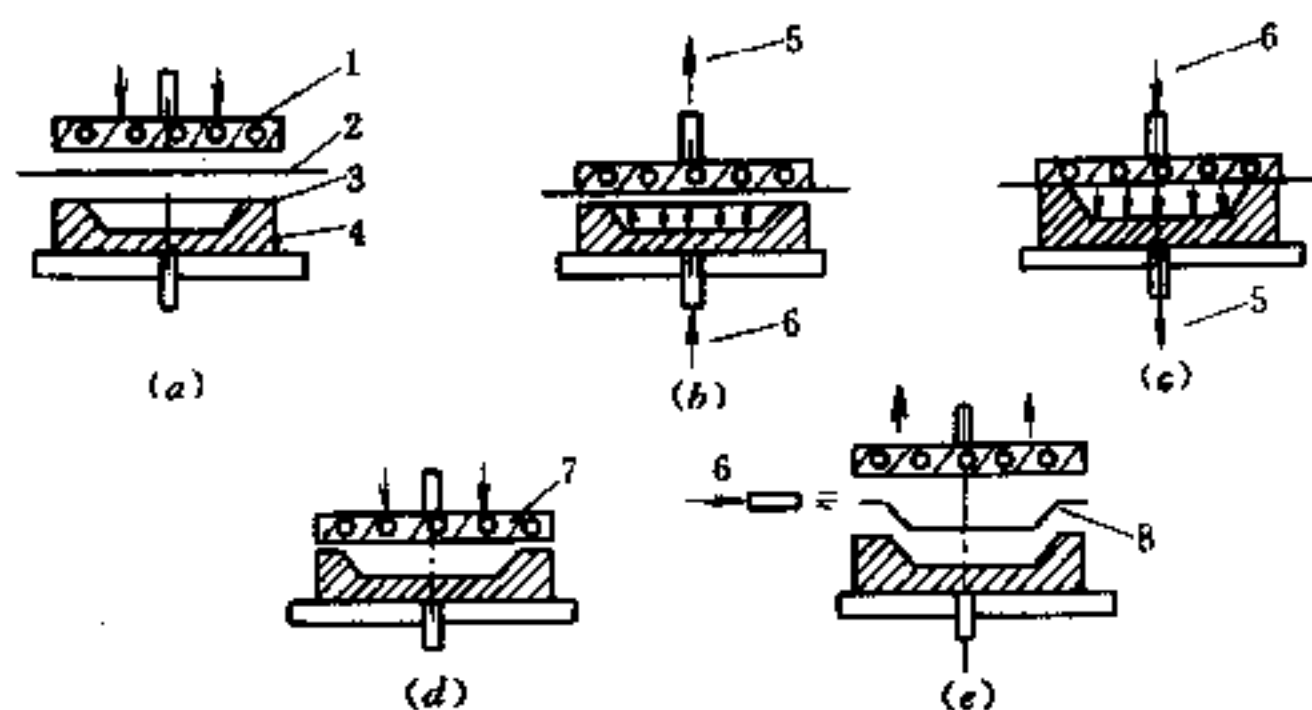


图 8.1-14 单凹（阴）模气压成型

(a) 加热；(b) 排气；(c) 加压成型；(d) 切边；(e) 吹气脱出制品。

1—加热板；2—片材；3—型刃；4—凹模；5—排气；6—压缩空气；7—切边；8—制品。

#### (4) 对模气压成型

对模（凹、凸模）气压成型模具及工作情况见图 8.1-16。凹模常采用弹性硅胶类材料，用这种方法可以使制品底部压出各种图案，其周边的抛物线形状大小，可用控制压缩空气来调节，亦可制成与凸模相似的形状。

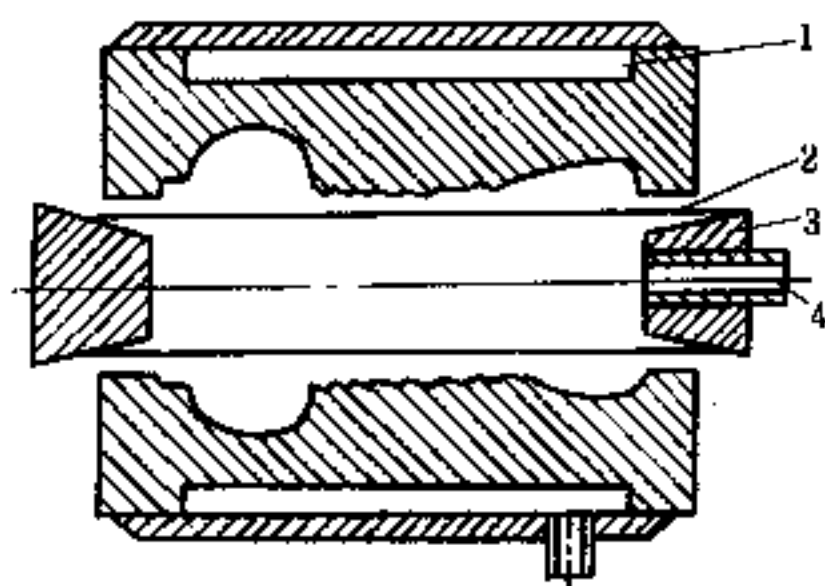


图 8.1-15 管坯凹（阴）模气压成型

1—加热、冷却室；2—管坯；  
3—金属内塞；4—压缩空气入口。

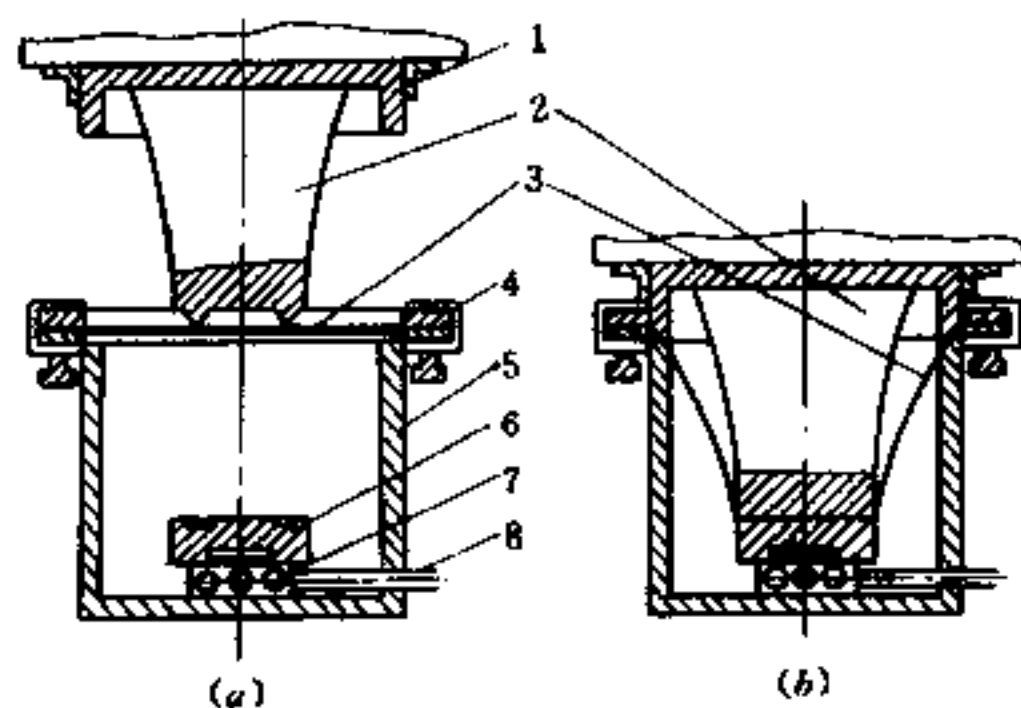


图 8.1-16 凹、凸模配合气压成型

(a) 凹、凸模分离、片材处于加热状态；  
(b) 凹、凸模压合，通入压缩空气时的状态。  
1—气室盖；2—阳模；3—坯料；4—压板；  
5—气室；6—阴模；7—空气分配室；8—进气管。

### 3. 复合差压成型

真空和气压成型的共同缺点，是制件壁厚不均匀，特别是当制品直径或宽度与深度比值越小，制品结构越复杂时，这种情况越显著。为了改善壁厚的均匀性，往往先将片材预拉伸，再进行真空或气压成型的方法，叫复合差压成型。常视复合差压成型工艺方法的不同而叫法各异，现分述如下。

#### (1) 模塞辅助真空（压空）凹模成型

先用凸模拉伸，再由模腔内抽真空，或在凸模内用压缩空气吹气成型，见图 8.1-



17, 它是片材深拉容器成型的主要热成型方法。在此种成型中, 由于使用了辅助凸模, 拉伸比有可能大于 1:1, 如果成型工艺条件得当, 则可能实现 1: (5~7) 的拉伸比。辅助凸模可能仅为凹模尺寸的 7/8 甚至 3/4, 故相对于凹模而言称为模塞辅助成型。此外, 成功的辅助凸模形状和温度的控制, 将易于改善材料拉伸时的分布, 生产出壁厚均匀的最佳热成型制品。

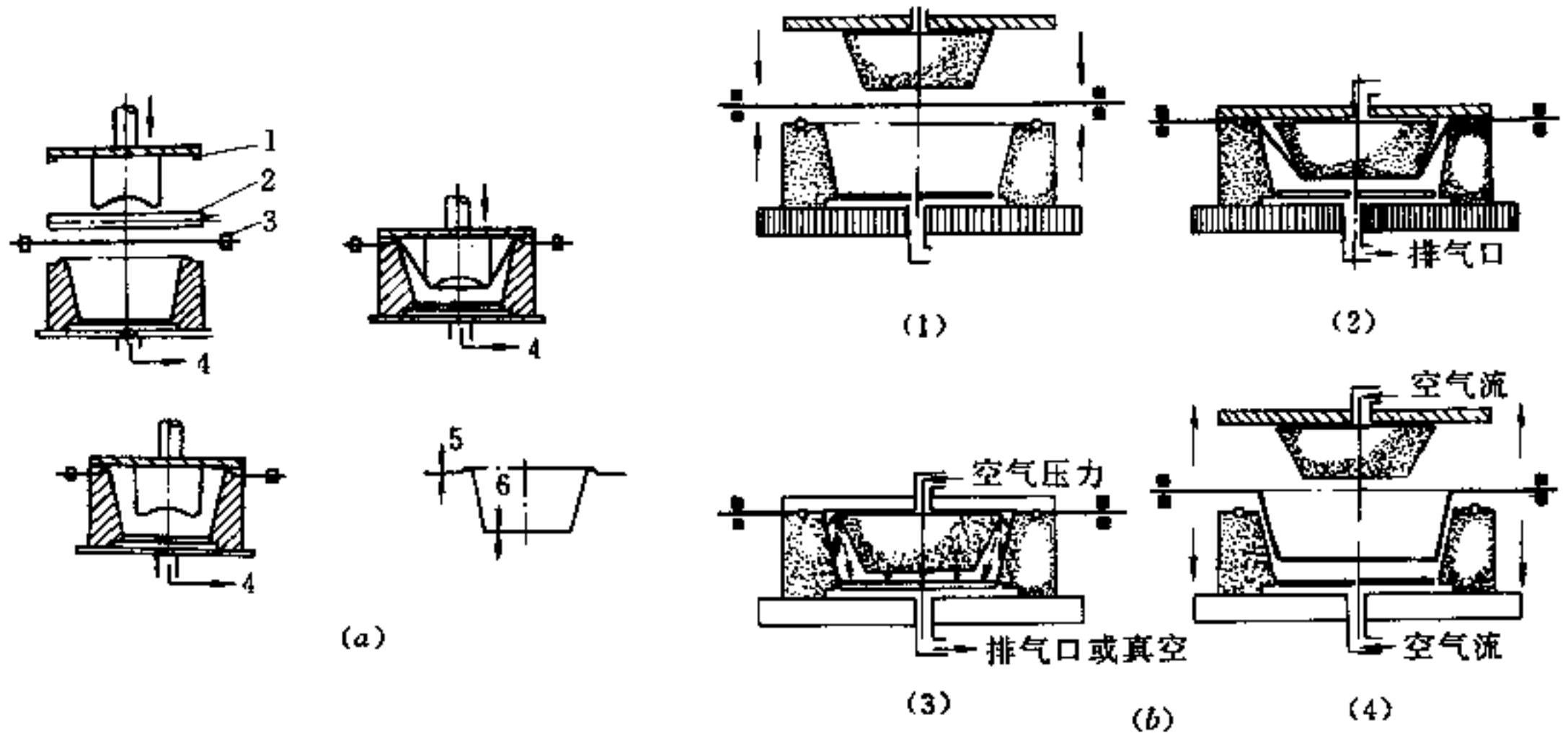


图 8.1-17 模塞辅助真空 (气压) 凹模成型

(a) 凸模拉伸真空成型; (b) 模塞辅助差压成型。

1—密封; 2—加热器; 3—夹具;

4—抽真空; 5—厚壁; 6—薄壁区。

## (2) 差压凸模真空成型

图 8.1-18 是差压凸模真空成型示意图。使用这种方法, 需用压环将塑料片材夹持固定在凹模框的上端, 并采用可移动的红外辐射加热器在片材上方加热; 当片材受热软化达预定温度时, 移去加热器, 启动凸模下移使之与凹模框闭合, 然后在凹模框内微抽真空, 并向凸模上方气孔送入少量压缩空气, 使片材在压缩空气和微真空双重作用下发

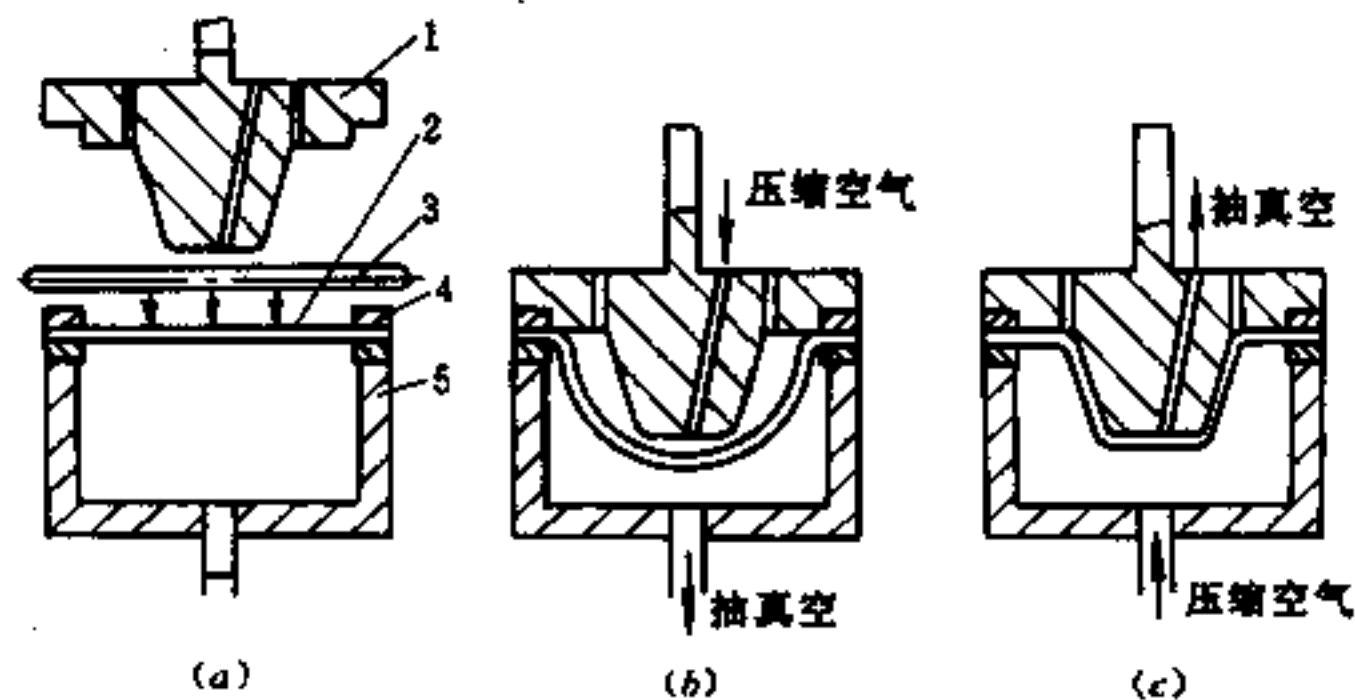


图 8.1-18 差压凸模真空成型

(a) 加热; (b) 微吸吹气; (c) 反吸吹空气。

1—凸模; 2—片材; 3—红外辐射加热器; 4—压环; 5—凹框。



生塑性变形；当这种变形达预定程度之后，同时切换真空抽气口与压缩空气入口位置，而使凹模框一方向模内吹入压缩空气，于是片材将在两种力的作用下完全紧贴靠在凸模型面上，再经冷却定型，便可完成整个成型过程。很明显，使用此种方法进行成型生产时，由于片材先后分别从凸、凹模的两个方向承受不同的压缩空气和真空吸附双重作用，故其发生的塑性变形比较均匀，与单纯的凸模真空成型相比，制品壁厚的不均匀程度将会得到改善，所以，该方法可用来成型宽深比较大的制品。

### (3) 压气鼓泡模塞辅助凹模成型

压气鼓泡模塞辅助成型技术用于片材被夹入部位的预拉伸，目的在于改善成品中的材料分布，并使壁厚均匀一致。它同样能用于薄、厚材料，以及大中型制品的成型。该技术共分四个单独成型步骤，也可同时动作并组合成十分快速的成型周期（如图 8.1-19 所示）。该法优于单独用模塞辅助拉伸气压凹模成型，因为当与图 8.1-17 (b) 相比较时，可明显地看出这一点。但在此过程中，必须减少泡体的形成，即减少预拉伸以避免制品产生皱纹和破裂。通过微调空气压力能减小已成型泡体的大小，调节辅助模塞行程速度或控制夹藏空气的流出量，都能减小辅助模塞周围产生的片材鼓胀。为了能成型出合格制品，必须将预拉伸限制在理想程度，并使空气流出量准确。

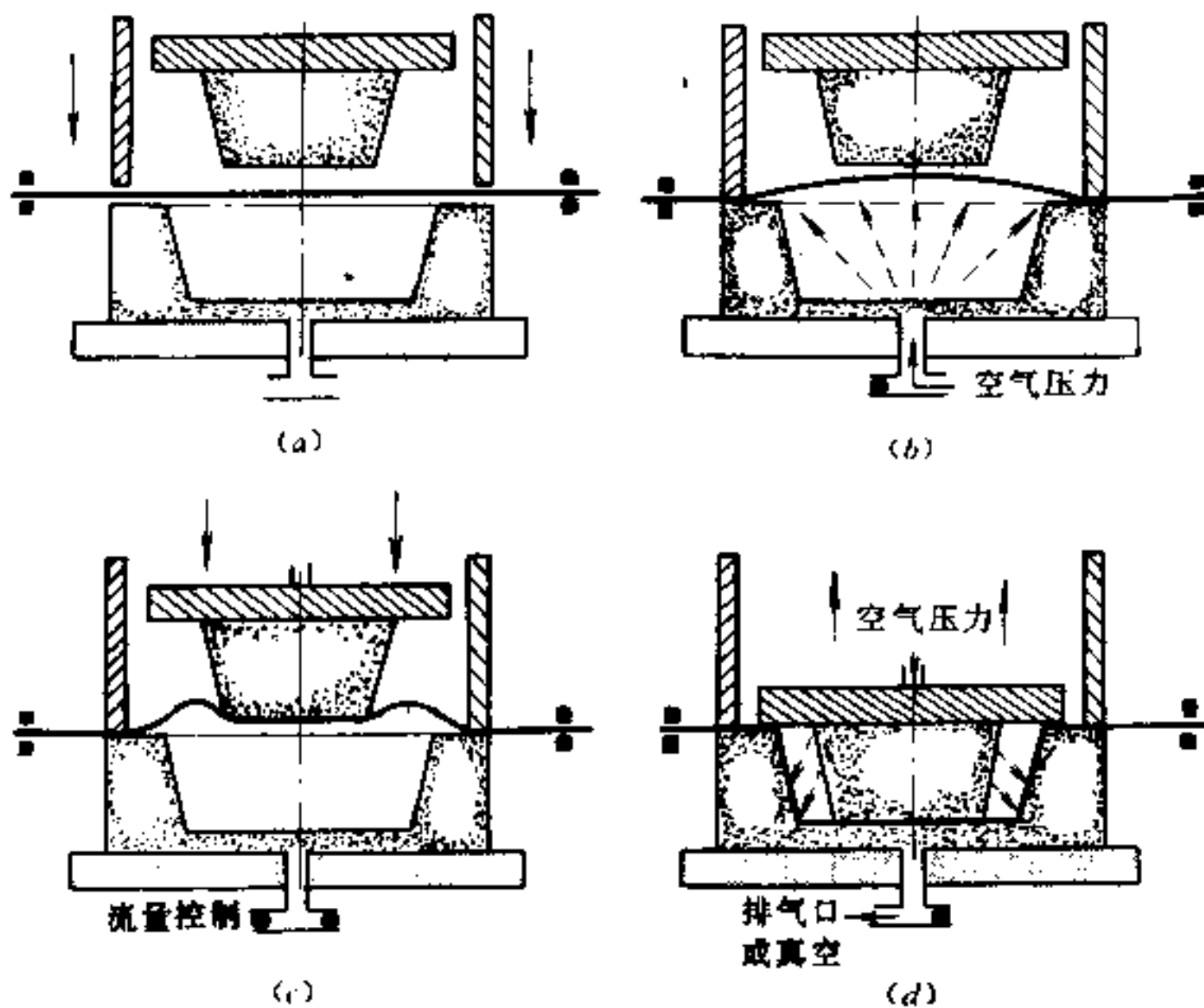


图 8.1-19 压气鼓泡模塞辅助凹模成型

(a) 预热片材并夹持；(b) 片材鼓泡预拉伸；(c) 模塞闭合；(d) 凹模抽真空压力成型。

### (4) 压气鼓泡反吸热成型

压气鼓泡反吸热成型与压气鼓泡模塞辅助成型相比，只在第四阶段上，塑料片材不是在凹模表面上成型，而是突然反吸在凸模表面上成型。凸模不仅起辅助模塞作用，而实际是使塑料制品成型，且还执行冷却的任务，凹模只起压力室作用。成型顺序见图 8.1-20，在图 8.1-20 (d) 步骤中，当凸模移动并将软化片材推入凹模腔时，片材与凹模间的夹藏空气仅部分排出或完全未排出。当两模合拢时，已形成的压力增大并将片材

压向凸模，待模具完全闭合时，开启凸模的真空，使片材与凸模间形成负压，继而片材紧贴凸模被反吸，经冷却定型即得制品。该反吸热成型法要求凸模应有较大的斜度，因而可大大改善被拉伸塑料片材的分布，以成型出较理想的制品。

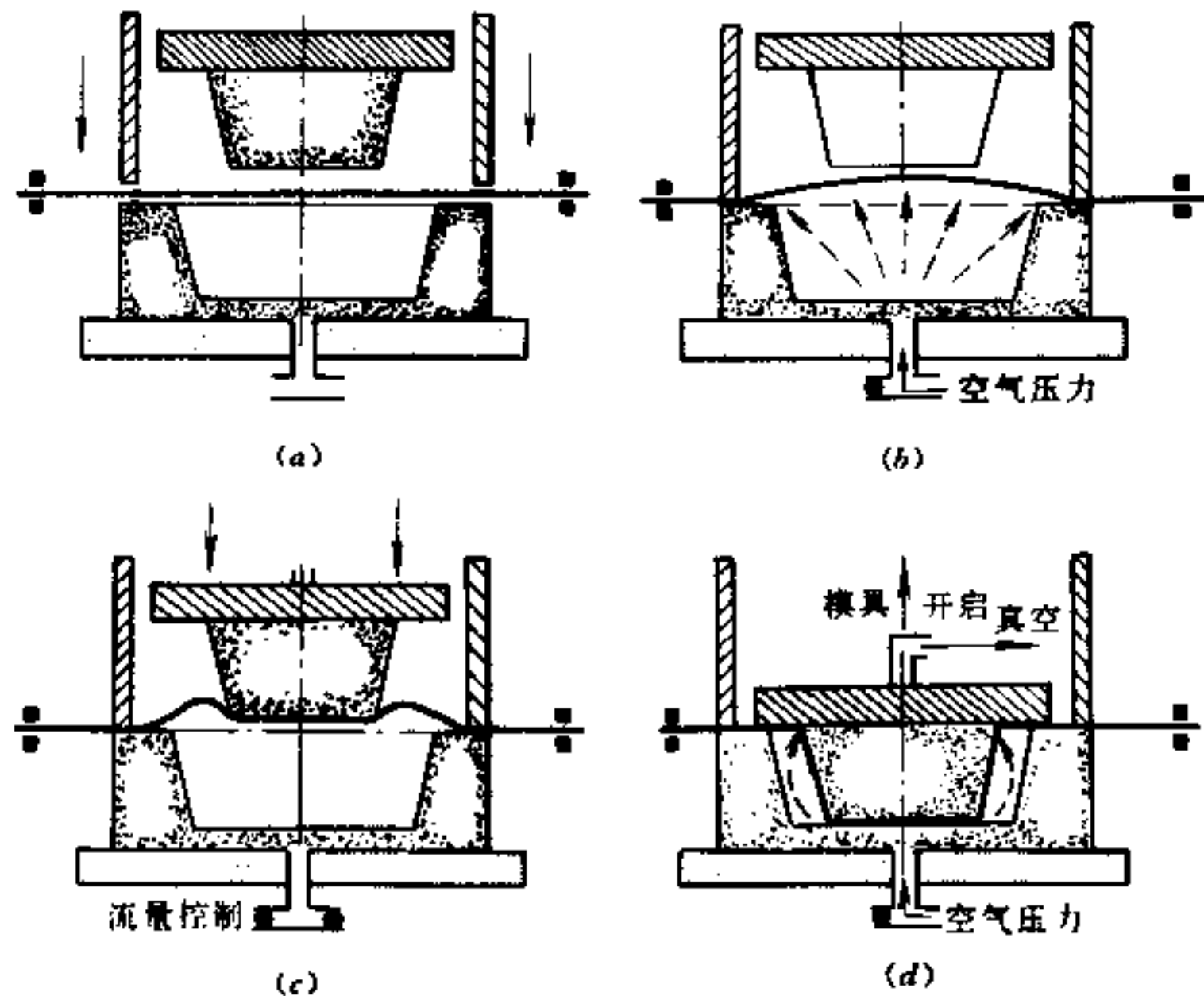


图 8.1-20 压气鼓泡反吸热成型

- (a) 预热片材并夹持；(b) 片材鼓泡预拉伸；  
(c) 模具闭合；(d) 凸模真空启动片材反吸。

在单凸或凹模装置的情况下，只要开动和施加空气压力或真空压力于不同模具一侧，即能生产两种不同材料分布的不同尺寸制品，即在成型方式上进行切换，可生产出不同尺寸的第二种产品，而不会增加模具成本。

#### (5) 夹气辅助成型

夹气辅助成型是一种较难掌握的热成型加工方法。该法成型的关键是要求夹持片材机构和辅助底板之间要有严格的密封作用。如果密封性能不良，即使最轻微的泄漏也会使整个成型方法无效。但如果能达到和保持良好的气密状态，则此成型方法也是热成型最好方法之一。所以，模具结构和密封设计的好坏将直接影响热成型制品的合格率，这在国外已有非常成功的事例，它的成型方法见图 8.1-21 所示。

#### 4. 差压热成型冲裁脱模自动化

为减少废品和降低损耗，提高片材利用率和热成型的生产效率，采用自动化连续生产流水线装置已成为必然的趋势。

##### (1) 夹片加热冲裁自动化

该法采用接触式加热，控制方便，虽然片材受热时间较长，但它不受环境温度和气流影响，最适合于大批量拉伸比在 1:1 的凹（阴）模、且片材厚度在 0.6mm 以内的薄片材制品成型。该成型模腔常用消除内应力且表面磨光的厚钢板制造，亦可采用铸铝和耐温在 300℃ 以上的热固性塑料模腔。周边切刀为钢制刀片或为整体锻制刀刃。为便于

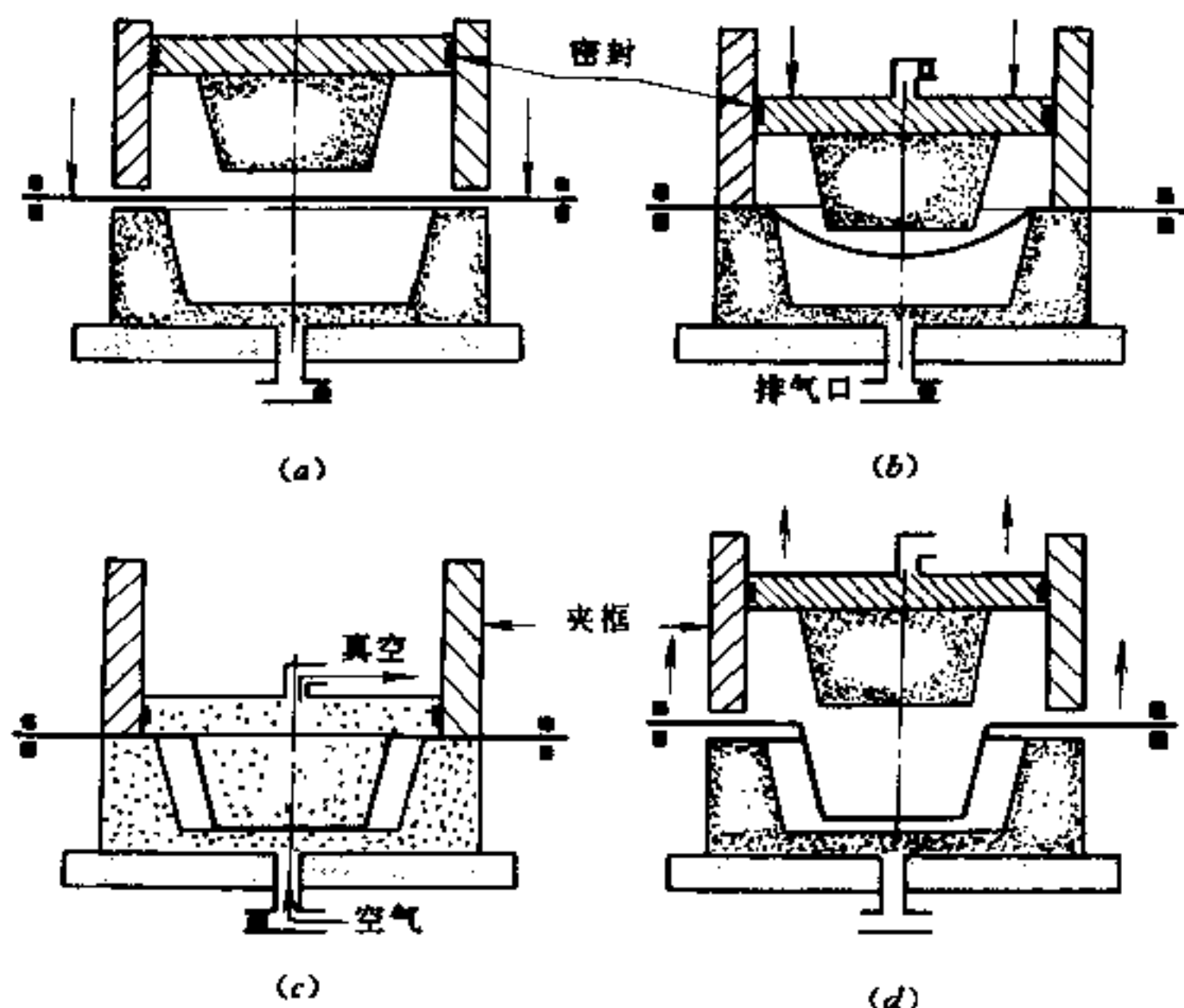


图 8.1-21 夹气反吸热成型

(a) 预热片材夹持；(b) 内夹藏空气预拉伸；(c) 反吸真空成型；(d) 模具开启制品顶脱。

连续加热成型冲裁和制品的脱离，可在切刀的刃口开设 4~6 个缺口，使热成型制品与其周边角余料间留下未切断的小联齿。当周边角余料离开成型区向前运动时，未切断的小联齿即可支承并带着成型制品与其同时离开，继而利用卸离辊将制品与边角余料分开，完成全自动化生产的夹片加热成型、冲裁自动及制品与边角余料分离的工艺流程。而带状的边角料则可成卷曲状被送回挤出机喂料口进行回收利用，它的成型过程如图 8.1-22 所示。

## (2) 模塞辅助冲裁自动化

该热成型技术是用模塞辅助差压成型的延伸，前四个步骤与图 8.1-17 (b) 相似，不同的是在凹凸模的周围装有独立可移动和紧密配合的环形（或矩形）框装置，见图 8.1-23。热成型时，当模具的凸模和凹模快要接近片材时，此专用夹框首先移动到位（见图 8.1-23 (b)），并起独立夹片机构的作用。该夹框将片材圈住不仅保证了成型部位一致，而且在使用多腔成型时还可防止挪用邻近成型部位的材料；当紧配框形机构夹片之后，辅助模塞（凸模）上移，并完成受热片材的预拉伸（见图 8.1-23 (c)）。因为在这种移动之前，独立活动式框形机构执行其圈片功能，所以拉伸仅出现在被夹入部位之内；就在模具闭合和达到片材最大拉伸的情况下施加成型压力。成型可依靠真空、压缩空气或两者共同来进行。预拉伸片材被压向凹模内表面，并在接触时使制品冷却成型（见图 8.1-23 (d)）；尔后，独立活动式框形机构执行其第二任务，修剪（冲裁）热成型制品除去周围部分。在此修剪过程中，凸凹两模或两两相对的夹片框，即离移其匹配的位置，将其框内的制品剪断。因为模具外表面与框形机构之间有很精密的公差配合，所以这种偏移冲裁的运动能产生整齐的切口，不会出现毛边和不对中心的现象（见图 8.1-23 (e)）。为保证正常冲切，该结构所用刀具不仅精度高，而且要求选用优质硬化

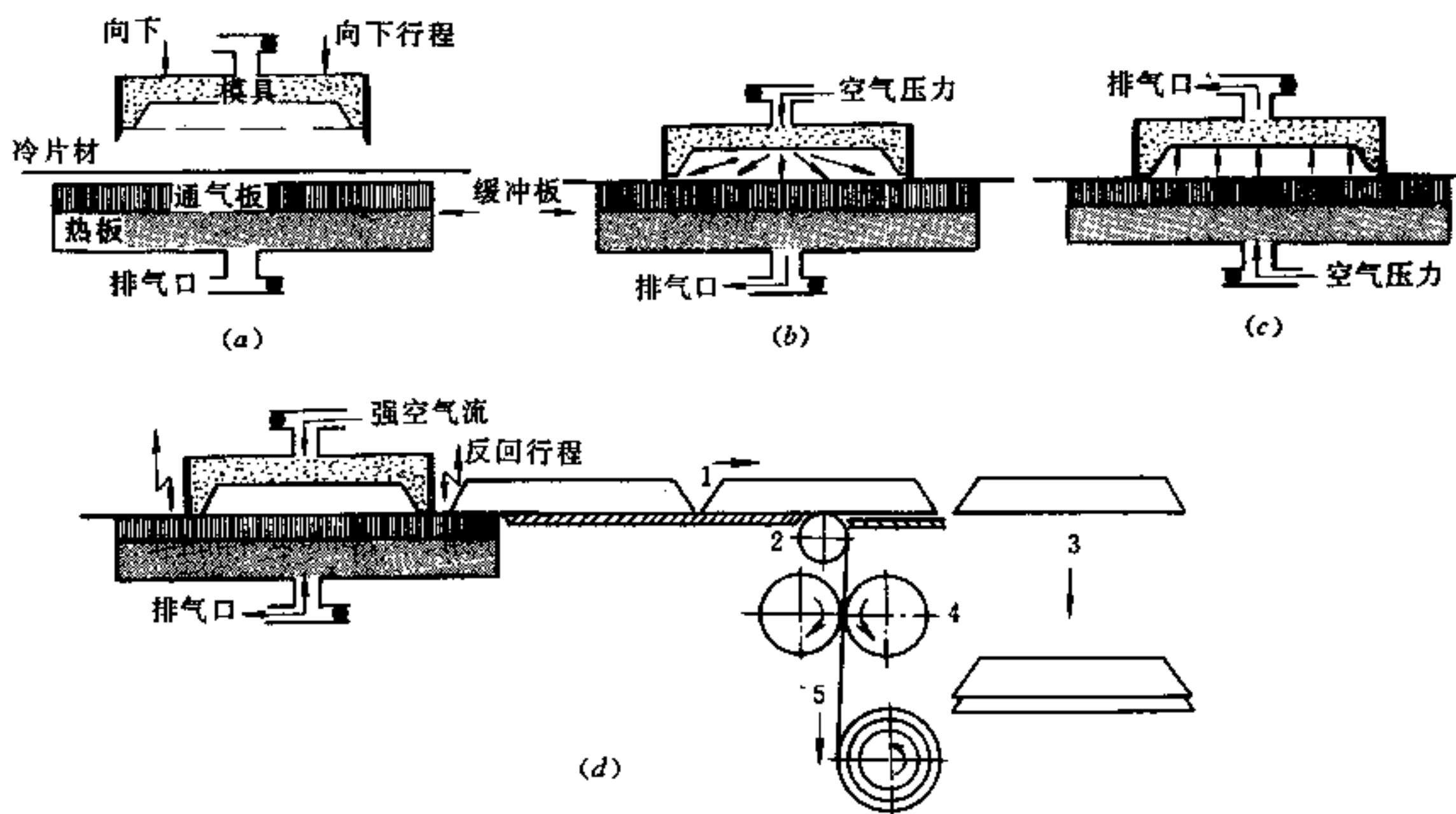


图 8.1-22 夹片加热/压力成型/自动冲裁及脱离

(a) 片材夹持; (b) 贴下模加热; (c) 吹气成型; (d) 制品冲裁切边及带状边角余料分离。

1—带状片材上的成型制品; 2—卸离辊; 3—卸离制品自由移向堆放处;

4—夹持牵引辊; 5—带状边角料回收卷取。

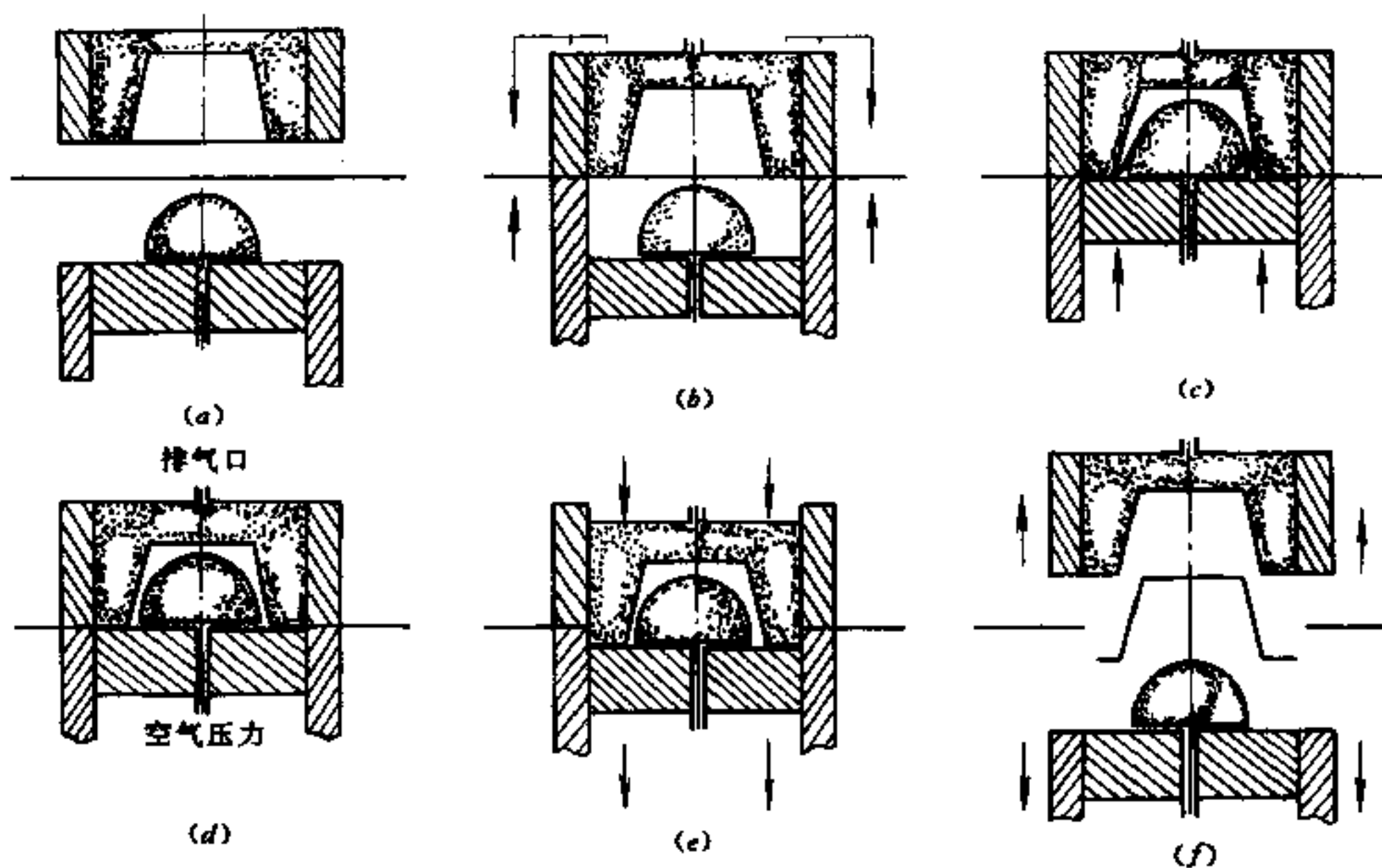


图 8.1-23 辅助模塞成型/就地修剪热成型

(a) 预热片材定位; (b) 片材夹持; (c) 凸模辅助预拉伸;

(d) 差压凹模成型; (e) 修剪冲切; (f) 开模取出制品。



工具钢制造，并能经重新磨利或可更换；如果需要连续生产，亦可如夹片加热冲裁自动化成型切刀刃口一样，开设4~6个缺口，使片材与制品间形成小联齿，利用后功位的分离器来实现制品与边角余料的自动分离。

### 8.1.3 热成型应用

塑料在替代木材、纸张、金属薄板方面的应用已很广泛，尤其是一次性包装的消耗量日益增加，塑料热成型制品已成为包装工业的一个重要方面军。

#### 1. 包装业

从热成型的开始，包装业即已成为热成型制品的最大用户。热成型泡罩能给大多数包装产品提供保护作用、单元化、甚至高附加价值的商品质量，并可陈列产品而减少失窃的机会。目前，国内市场不少产品都以简单而有效的泡罩包装来销售，特别是出口产品，更加注重外包装的质量，基本一改过去那种高质量、劣包装，低价出口的局面。

#### 2. 快餐业

国内一种新型快餐行业随着城乡交易市场的繁荣正在迅速发展。使得大量的热成型制品，诸如一次性使用的杯、盘、碗及饭盒等被采用。几乎在所有的快餐及市场都能见到。此外，快餐业还乐于使用彩印后的热成型制品，便于顾客对所盛装食品质量的识别，以提高其自身产品的知名度。

#### 3. 零售食品业

国内的自选市场是热成型容器的大宗用户，特别是大量的鲜肉、鸡蛋、水果、农产品及海鲜鱼类等，大都预包装在热成型的塑料托盘或容器中，这种托盘通常用透明聚丙烯薄膜进行外包装，以保护产品并具有可视性。

#### 4. 运输业

目前，国内新生产的汽车、火车和飞机的座席衬垫、扶手和折叠式托盘桌等都相继采用热成型法来生产，其中还包括这些运输工具内装饰物，都已转向了热成型制品，如轿车顶衬、门板、仪表板、行李箱内衬以及地面覆盖的材料，都可采用热成型法来生产和成型。国外还用热成型法生产出厚壁整体小货车地板衬里、仪表组件护罩、备用轮胎罩、汽车保险杠帽、风障、挡泥板、扰流器和掀背窗排气口等制品。

#### 5. 标牌制造业

商店的各类铭牌、标牌也是热成型制品发展的方向，其生产量可能和所用原料的吨数一样，特别引人注目。当代标牌结构，大多采用有机玻璃板成型附有凸纹字样的大型整体标牌。它通常由透明的聚甲基丙烯酸甲酯塑料板制成，然后用聚丙烯基清漆从内侧加以彩饰，将会制成无需维护、能抵抗日晒以及热和冷气候侵蚀的广告标牌。

#### 6. 家用电器业

家用电器厂制造、采购和安装大量的热成型制件。在目前所有冰箱和冷藏柜门内衬中，都是用热成型法制成的。在这些柜内衬结构上，还可设置加强搁板以支承零件供冰箱储存食物。此外，还有洗碗机、衣服甩干机、窗式空调机、加湿机、家用计算机、收音机和电视机柜及其部件，也都可用热成型法制造。

#### 7. 医疗药品工业

医疗药品工业是热成型制品的巨大消费部门，各种类型的预消毒外科的用具、设

备、注射器、针、软管和小药水瓶，都要加以包装供应使用。这类包装物大部分是一次性的，用后即弃。这类包装的整体性必须完善、严格消毒，且不能失效。某些包装还可凭借颜色的变化，提醒用户消毒是否已失效。此外，在各大小医院中，也使用其他热成型制品，诸如异型外科台，牙科椅和学生实习用的练习平台，病房中病人用的卫生洁具等，都可采用热成型法生产。

### 8. 园林育苗业

在发达国家中，所有的育秧植物都是在热成型法制造的托盘中培育出来的。商业性栽培业者通常选用可多次使用的托盘，这种托盘能经历几个生长季节都不会损坏。我国园林育苗也正在开始并逐步扩大使用，这类托盘通常被称为“花坛移植托盘 (bedding planttrays)”或“小型苗圃 (pony packs)”，一般有六至八个凹槽，每凹槽置一秧苗。此外，该行业的另一部分是室内外花盆的生产，也可采用热成型法来制造，可大大降低花盆的制造成本。

### 9. 房屋建筑业

随着建筑行业发展，房屋设施已广泛使用热成型制品，且正在呈上升趋势。有许多制件能用热成型制品取代，诸如整体拱形天窗和异型门窗之类的产品本身，就较理想地适宜于热成型。此外，还有塑料浴盆、浴盆衬里和有雕刻的木门板，装饰性建筑构件等大量待开发的新产品。

### 10. 箱包旅游业

箱包业早已发展到用塑料板、片材通过热成型法来生产各类型和规格的公文箱体或衣箱，这种热成型的箱包重量轻，外表美观且坚固，色泽、花纹图案可视要求设定，具有成本低，无应力开裂和耐冲击等方面的优点。此外，热成型制品在旅游业上的应用也十分广泛。

### 11. 殡葬业

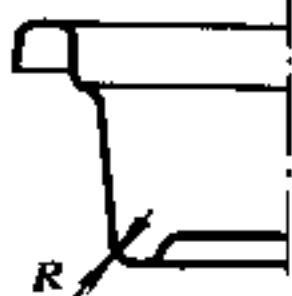

国外许多棺材目前都采用热成型法来生产，而不采用传统的木结构。这种整体热成型棺材甚至能模拟木纹，其内衬也用此法制作。它的外表面可装潢类似木材、丝织品或天鹅绒。我国殡葬业大都采用火化，但在遗体火化前后的包装上也可发展热成型制品。在遗体火化前，为了表示亲人和同事的哀思，选用既能冰冻又能可视性的热成型棺材是非常理想的。骨灰盒应朝着美观适用且经济大方的热成型容器方面发展，它必将会代替当前昂贵大理石和简易的土制容器而被广大家庭所接受。

## 8.2 制品设计及其工艺特性

### 8.2.1 几何形状设计

热成型制品常用于食品、医药、服装、玩具及零件包装，其制品几何形状和外观必须根据被包装物体外形大小、尺寸及使用要求来设计；还要考虑片材的厚度与拉伸强度以及模具的制造和成型工艺条件，使几何形状同美术造型、实用相结合。表 8.2-1 是热成型制品设计中常碰到的一些问题，改进后的设计不但使制品功能提高，且使外形更加美观。

表 8.2-1 热成型制品设计与改进设计效果

		上盖造型不美观，视角效果不好，强度也差
		模内壁斜度：凹模取 $1/60 \sim 1/120$ ，凸模取 $1/30 \sim 1/20$
		各拐角要取充分的圆角半径，以此缩小厚薄不匀，提高强度
		在大的平面上，带上凸凹和条格，在边上加上凸缘，进行增强
		对于增强侧壁，用环状的横凸凹要比用纵向凸凹为好
		杯状的成型品直径对深度之理想比值为 1:1，最大为 1:1.5
		尖角造形差，成品合格率少，尖角热成型时易产生开裂，上盖大于下盒，受力较差

### 8.2.2 脱模斜度

从热成型工艺原理考虑，片材受热拉伸后因冷却收缩及外力作用会紧贴模具的表面。当使用凹模成型时，由于制品收缩与模具内壁间自然形成空隙，即使模壁斜度小也能顺利脱出。但当成型如图 8.2-1 所示的多腔或高外壁的制品时，由于成型后收缩的原因，制品仍会咬住金属模壁，难以脱模。因此，制品应有一定的脱模斜度，一般在  $0.5^\circ \sim 1^\circ$  之间，特殊情况下允许达到  $3^\circ$ ，用凸模成型还可取得更大些。

另外，斜度大对减少制品角隅的薄化，防止聚苯乙烯泡沫之类制品开裂是有好处的。由于斜度小形成的转角尖，片材接触时冷却快，使其难以进行拉伸所致。因此，像

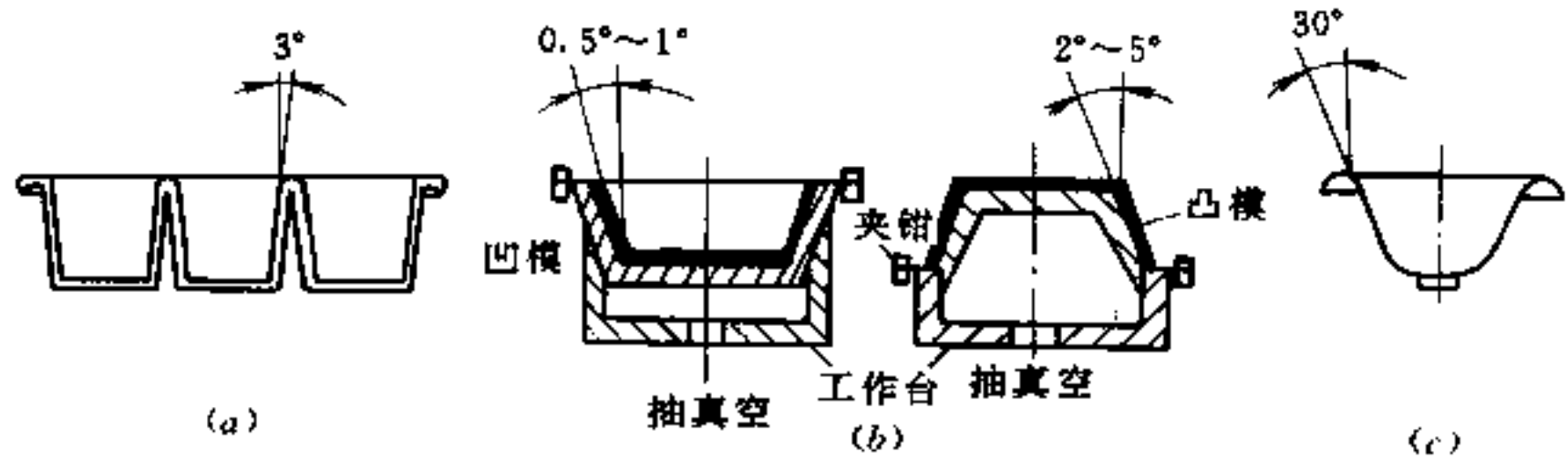


图 8.2-1 热成型制品的脱模斜度

(a) 多模腔高外壁制品；(b) 凸凹模成型制品；(c) 聚苯乙烯泡沫碗的造形。

这类塑料制品设计时，要如图 8.2-1 (c) 一样，斜度可达到  $30^\circ$  之大。

### 8.2.3 凹槽设计

热成型通常为大面积的敞口制品居多，而成型用板或片材不可能太厚，在热成型过程中材料还要受到外力的拉伸作用，将会使底和转角部分更薄。因此，应在塑料件的适当部位设计成波纹形凹槽以增强其刚性，如图 8.2-2 (a)、(b) 所示。一般深和窄的槽可开设在凹模中，而浅和宽的槽可开设在单凸模中，并要与制品斜度一致，便于脱模。

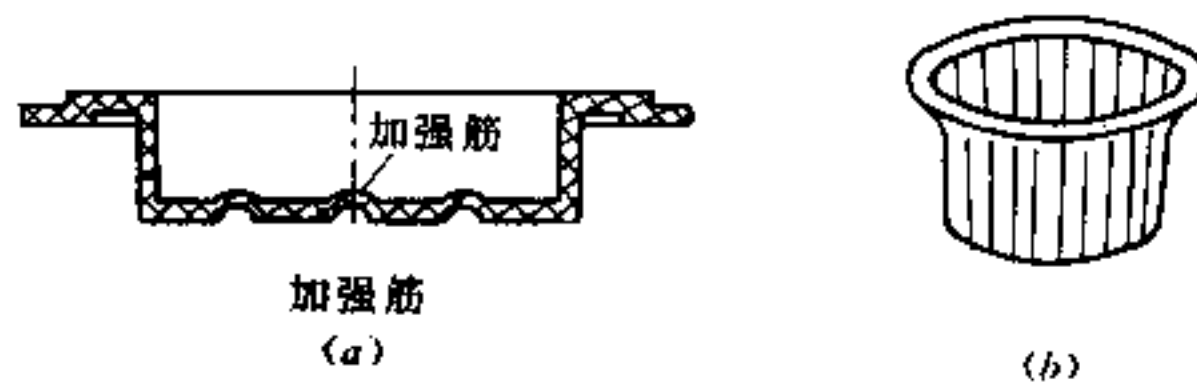
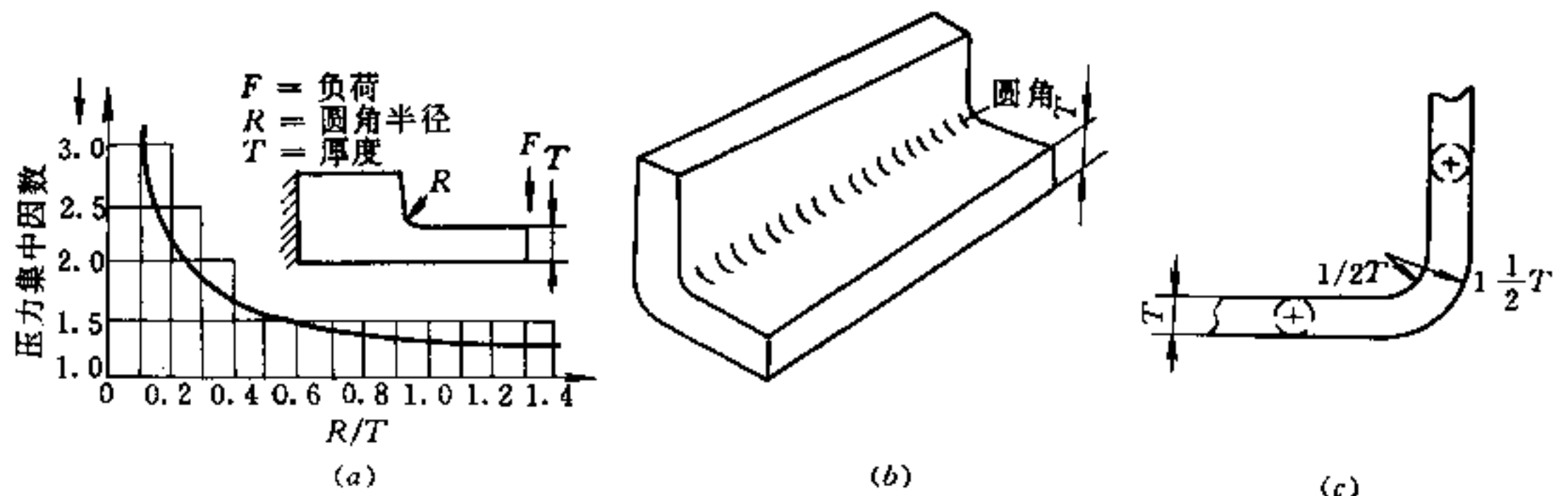


图 8.2-2 波纹增强的典型制品

(a) 敞口大面积制品；(b) 与斜度一致的波纹冰淇淋杯。

### 8.2.4 圆角设计

热成型制品角隅部分不允许有锐角。角隅处的圆弧  $R$  要尽可能大一些，至少要大于板材厚度  $5\sim 10$  倍，否则制品在角隅部位特别容易发生厚度减薄及应力集中现象，见图 8.2-3 (a)。塑料片材制品直角部位的曲率半径  $R$  也应取其充分值，它往往大于片材的  $3\sim 5$  倍，然而要使热成型制品棱线部位带有刚性、强度的话，圆角  $R$  则应取小值或

图 8.2-3 圆角半径  $R$  取值关系及影响

(a) 圆角半径与壁厚之比的应力集中因素曲线；

(b) 圆角半径最小尺寸与壁厚关系；(c) 正确圆角内外半径比值的设计。



倒角, 见图 8.2-3 (b) 和 (c)。

### 8.2.5 片材选择

由于塑料种类较多, 性能各异, 热成型制品的性能变化极大, 设计人员应根据制品应用要求, 以选择适合某一用途的实际配方和价格。见表 8.2-2。

表 8.2-2 热成型片或板材应具有的特性

特性分类 序号	通用特性	专用特性	
		食品专用	一般包装用
1	室外耐候性	防透气和防潮	透明、柔软性
2	光稳定性	热封合性能好	化学性能稳定有强度
3	尺寸稳定性	无味、无臭、无毒	防潮、防水性能强
4	冲击强度	耐热水和蒸汽	防腐蚀、耐油性能高
5	热变形温度	防紫外线照射	耐热、耐寒性能好
6	电绝缘性能	耐油性能好	可热焊性能好
7	阻燃性能	耐寒性能好	重量轻
8	耐酸碱性	耐腐蚀性能好	耐污染、卫生性好
9	含水量恒定	适应机械化操作	对气候适应性强

热成型制品壁厚的变更, 只须改变所用塑料片材规格即可, 如图 8.2-4 所示。

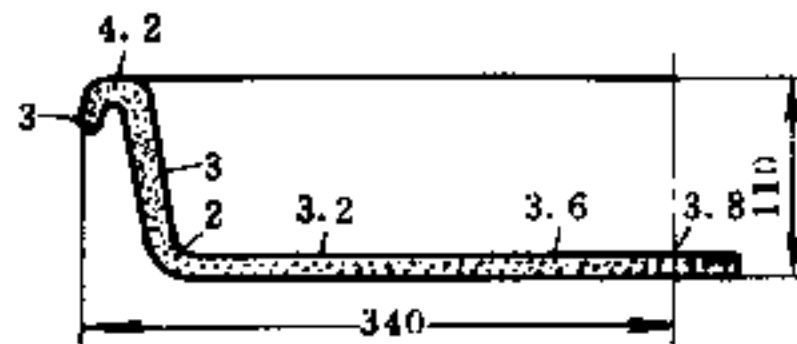


图 8.2-4 真空热成型制品片材厚薄选择

在选材时, 应根据制品不同用途来选择, 以便物尽其用, 节约原料和降低成本。表 8.2-3 为标准厚度片材及适宜用途, 表 8.2-4 为食品包装用国家标准。

表 8.2-3 标准塑料片材及适宜用途

片材厚 (mm)	适宜用途	可选材料
~0.10	浅拉成型特别精细花纹, 制作人造革花纹、桌面铺设物、主体图案等	软 PVC
0.15~0.25	最宜作包装用品、轻巧薄壁容器、冰淇淋杯等	硬 PVC、PP、PE
0.25~0.40	小型包装用品、玩具、照明器具、遮光罩、壁材等	硬 PVC、PP、PS
0.40~0.50	纺织部件、容器、箱子、盖子、瓦盖、瓷砖、壁材、主体地图、文具及玩具等	ABS、硬 PVC、PS
0.50~0.80	小型广告牌、容器、文具、玩具等	PP、PE、醋酸纤维素
0.8~1.0	洗衣内衬、机器的透明罩壳、建筑用材、工业配件、文具、玩具等	ABS、PS、PP、PE、PMMA
1.0~1.5	冰箱内衬、荧光灯罩、照明用具、大型广告牌机器罩壳等	PP、PE、改性 PS、ABS
1.5~3.0	冷藏库内用箱、渔具、安全帽、食品周转箱等	ABS 改性 PS、硬 PVC

表 8.2-4 食品包装用硬 PVC 片材 (mm)

项 目	规 格	允 许 公 差
长度	平 片	+200 0
	卷 片	不允许有负值
宽度		+5 0
厚 度	0.03 以下	±40%
	0.03~0.05	±30%
	0.05~0.10	±20%
	0.10~0.30	±15%
	0.30~0.50	±13%
	0.50~0.80	±10%

### 8.2.6 宽深比与引伸比

热成型制品外形特征尺寸一经确定,就可求出它的宽深比。宽深比为制品有效最小宽度与制品高度之比,它是衡量制品成型难易程度的一个常用参数。该参数愈大,制品愈易成型,反之愈困难。为此,我们可以根据该参数,正确选择热成型加工方法,用以指导实际的生产。一般宽深比可用下式表示:

$$B = \frac{W_{\min}}{H_{\max}} \quad \left( \text{或} = \frac{D_{\max}}{H_{\max}} \right) \quad (8.2-1)$$

式中  $B$ ——宽深比值;

$W_{\min}$ ——制品最小宽度 (mm);

$D_{\max}$ ——制品最大直径 (mm);

$H_{\max}$ ——制品有效深度 (mm)。

塑料片材受热拉伸变形而成制品。因此,热成型制品的壁厚总是小于加工前片材的厚度,制品局部会更薄。引伸比是衡量制品拉伸过程中的实际变形程度,即拉伸后制品表面积与拉伸前片材的有效面积之比,其比值愈大、变形程度愈大,成型愈困难,反之愈容易。一般引伸比可用下式表示:

$$L_s = \frac{F}{F_0} \quad (8.2-2)$$

式中  $L_s$ ——引伸比值;

$F$ ——制品表面积;

$F_0$ ——制品外缘以内投影的板料面积。

引伸比与塑料制品最小壁厚有关,一般说来,引伸比愈小成型塑件最小壁厚就大,因此可选用薄板成型,反之引伸比愈大,制件壁厚就愈小,就要用厚板成型;引伸比与制品几何形状有关,引伸比愈大,要求模腔斜度也愈大;引伸比还与塑料品种有关,引伸比愈大,要求塑料的可拉伸性愈大。引伸比过大的塑件将会出现起皱、甚至破裂等不良现象,而产生此类不良现象之前的最大引伸比被称为极限引伸比。在实际生产中,多在极限引伸比以下成型。一般单阴模真空成型采用引伸比为 1~2,当采用模塞或气压辅助成型时,引伸比可稍大些,且与塑料选材有关,如硬 PVC 为 3, PC 为 3~5, ABS

为 5~7。用 8.2-5 为引伸比与塑件最小壁厚的关系。

当引伸比  $L_s$  和制品壁厚  $t_{cp}$  确定之后，可按下式求出片材的原始厚度（实取大于  $t_0$ ）：

$$t_0 = L_s \times t_{cp} \quad (8.2-3)$$

式中  $t_0$ ——片材原始厚度 (mm)；

$L_s$ ——引伸比；

$t_{cp}$ ——制品平均壁厚 (mm)。

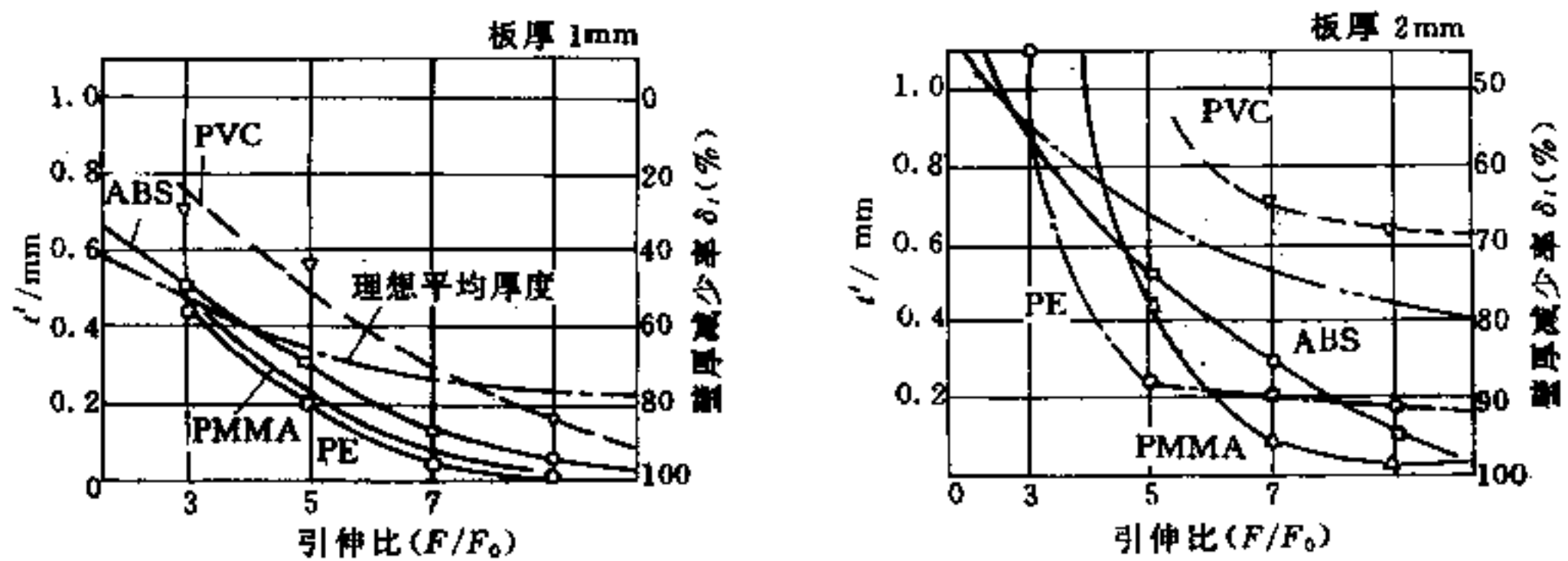


图 8.2-5 引伸比与塑件最小壁厚  $t'$  的关系

### 8.2.7 尺寸精度

由于热成型属二次加工，片材和模具间会有一定间隙和收缩变形，特别是凸起的部分壁变薄，使强度受到影响。因此，用于真空成型塑件的几何形状和尺寸精度不能要求过高，特别是 PE 和 PP 的收缩率较大，常因加工过程中因取向不同而产生方向差异，如 100mm 长度制品就有 2~6mm 的误差。用别的材料也同样会发生这类现象，而要控制误差在 1mm 以下是十分困难的。因此，热成型制品不能用作精密成型部件，其真空成型制品典型公差见表 8.2-5。

表 8.2-5 真空成型制品尺寸公差

数值 公差部位	类别	规格/mm	公差 $\pm \delta_z$ /mm
轮廓及部位 吸塑成型		<300	0.75
		300~900	1.50
		900~1500	2.50
吸塑后成型孔部位		<600	0.50
		600~1200	0.75
		1200~1500	1.20
圆形孔 或异形孔	凿削	<70	0.50
		70~300	0.75
	冲压	<70	0.25
		70~300	0.38

(续)

数值		类别	规格/mm	公差 $\pm \delta_z$ /mm
公差部位				
最大修边尺寸	材料厚度 <0.25mm		<750	0.75
			750~1200	1.2
			>1200	1.5
	材料厚度 >0.25mm		<750	1.2
			750~1200	1.5
			>1200	2.0
包装用成型品	模具			0.12
	制品			0.25

### 8.2.8 修边考虑

通常在热成型周期完毕时，必须考虑修除制品周围的多余片坯。图 8.2-6 是用于修边的三种方法。冲裁适用于大批量生产。

修边位置要在设计制品时就考虑好，这是很重要的。否则修边很难实现机械化，加工费用也会相应提高，还会出次品，我们应尽量避免复杂的修边加工。

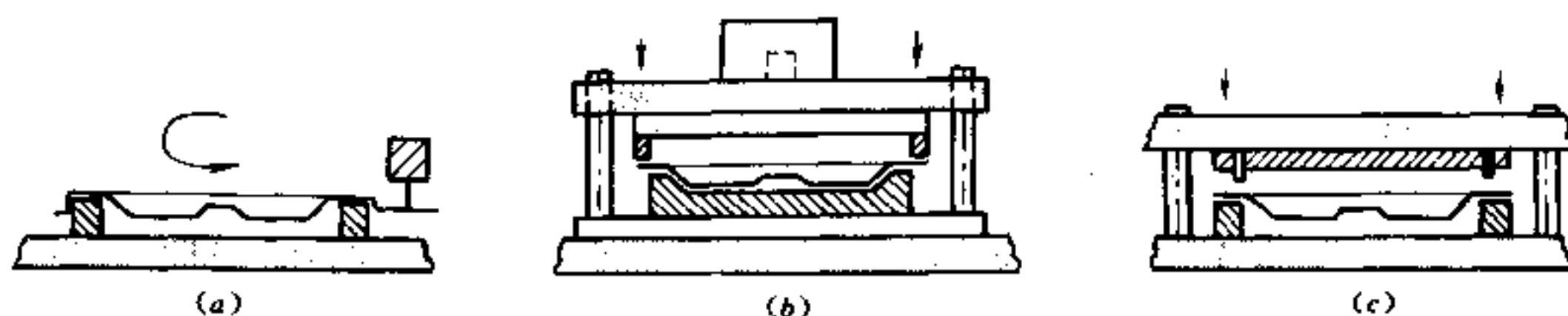


图 8.2-6 真空成型的三种修边方法，箭头为刀刃运动的方向  
(a) 水平旋转切边；(b) 斜面切边；(c) 垂直面切边。

## 8.3 吸塑成型模具设计

### 8.3.1 模具设计参数

#### 一、塑料收缩率

热成型塑件收缩量约有 50% 是从模具中取出时产生的，25% 是取出后在室温 1h 内产生的，其余 25% 将在以后的 8~24h 里产生。一般地说，在凹模上成型出的塑件收缩率要比在凸模上成型的大 25%~50%，这是因为在凹模上成型时，塑料片材紧贴在型腔表面不如在凸模上那样牢固，而且塑件在从模具中取出以前就已开始收缩，凸模则可以阻止这一收缩率的产生。因此，在设计模具时可参考表 8.3-1 和表 8.3-2 中的有关参数进行设计。

表 8.3-1 塑料热成型凸凹模的收缩率

数值 模具	塑料	塑件收缩率 / %					
		聚氯乙烯	ABS	聚碳酸酯	聚烯烃	增强 PS	双拉伸 PS
凸模		0.1~0.5	0.4~0.8	0.4~0.7	1.0~5.0	0.5~0.8	0.5~0.6
凹模		0.5~0.9	0.5~0.9	0.5~0.8	3.0~6.0	0.8~1.0	0.6~0.8

表 8.3-2 模具结构参数考虑

圆角半径 $r/\text{mm}$	模壁斜度 $\alpha/(\circ)$		真空成型模			
			角隅处每平方米孔数		孔径/mm	
	凹模	凸模	一般	复杂表面	一般	厚壁制件
等于原片厚 或不少于 0.5	2~5	0.5~2	不小于 500	3000~4000	0.5~1.0	1.0~1.5

## 二、型腔尺寸计算

真空吸塑成型模具的型腔尺寸，除受塑件尺寸因素的影响外，还与成型工艺中的温度有关（见图 8.3-1）。因此，要预先精确确定某一塑件的实际收缩率是困难的。如果生产批量大，尺寸精度要求高时，最好先用简易石膏模试制出产品，并测其实际收缩率，以此作为模具型腔尺寸计算的依据。目前工厂多按下式计算型腔尺寸及其误差率，见图 8.3-2。

### 1. 型腔凸凹模径向尺寸计算

$$L_M = (L + LS_{cp})^{\pm\delta_z} \quad (8.3-1)$$

式中  $L_M$ ——凸模或凹模径向尺寸 (mm)；

$L$ ——制品名义尺寸 (mm)；

$S_{cp}$ ——塑料平均收缩率；

$\delta_z$ ——模具制造公差，凹模取正，凸模取负。

### 2. 制品角隅尺寸计算

$$\delta_e = \frac{(\Delta l_{\max} + \Delta l_{\min})}{2L} \times 100\% \quad (8.3-2)$$

式中  $\delta_e$ ——热成型制品尺寸误差；

$\Delta l_{\max}$ ——角隅微小变形最大值 (mm)；

$\Delta l_{\min}$ ——角隅微小变形最小值 (mm)；

$L$ ——角隅规定值 (mm)。

## 三、抽气孔尺寸

在热成型中，抽气孔布置是最关键的问题之一。没有抽气孔，模具将不起作用，整个热成型将无法进行。成型力通过这些气孔，以及相互连通的沟道系统引入，并将受热之片材压向模具表面与其相吻合。抽气孔数目、大小和位置一样重要。因此，抽气孔尺寸须在不影响制品外观情况下尽可能减小，但过小尺寸机加工又较困难。一般常用 0.5~1.0mm 的钻头钻孔，最大不超过片材厚度的 1/2，见表 8.3-3 和图 8.3-3。

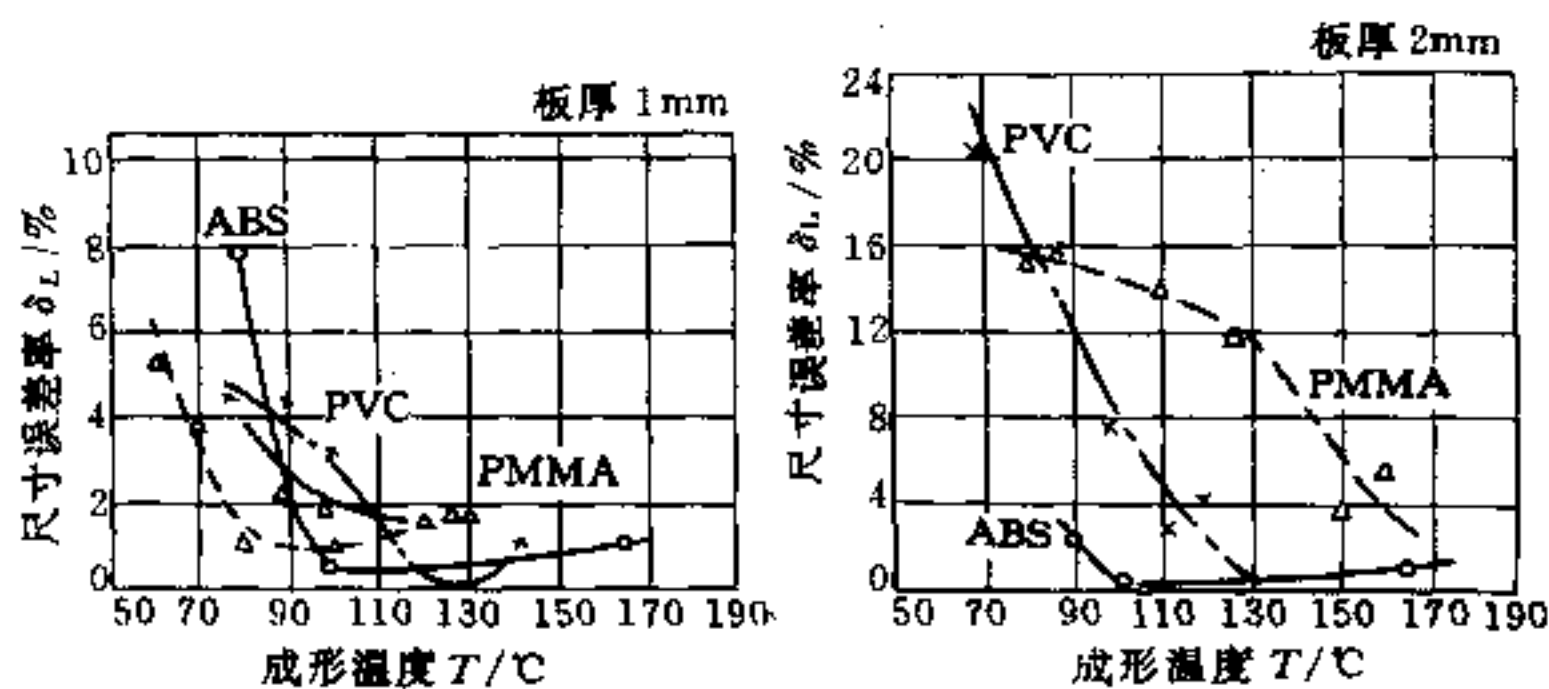


图 8.3-1 成型温度和尺寸误差率的关系

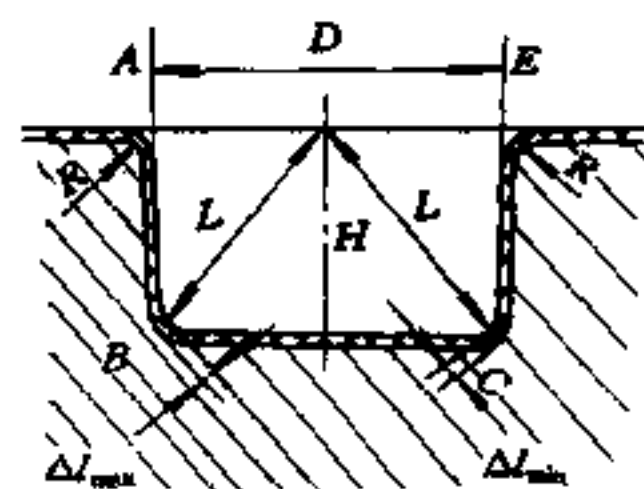


图 8.3-2 尺寸误差率

D—型腔内径；

H—型腔深度；L—角隅长度。

表 8.3-3 热成型模具所适用的真空孔径 (mm)

数值 塑料名称	类别	片厚	最大孔径	最大缝口宽	型腔中每平方米孔眼数	
					一般	复杂型面
PVC、PS、ABS 聚丙烯酯		<1.5	0.38~0.5	0.3~0.4	300~500	1500~2500
		>1.5	0.8~1.0	0.5~0.6		
聚碳酸酯		<1.5	0.5~0.6	0.4~0.5	400~600	2000~3000
聚烯烃薄膜		0.05~0.2	0.25~0.38	0.2~0.3	250~400	1000~2000
聚烯烃片材		<1.5	0.5~0.8	0.3~0.5	300~450	1500~2500

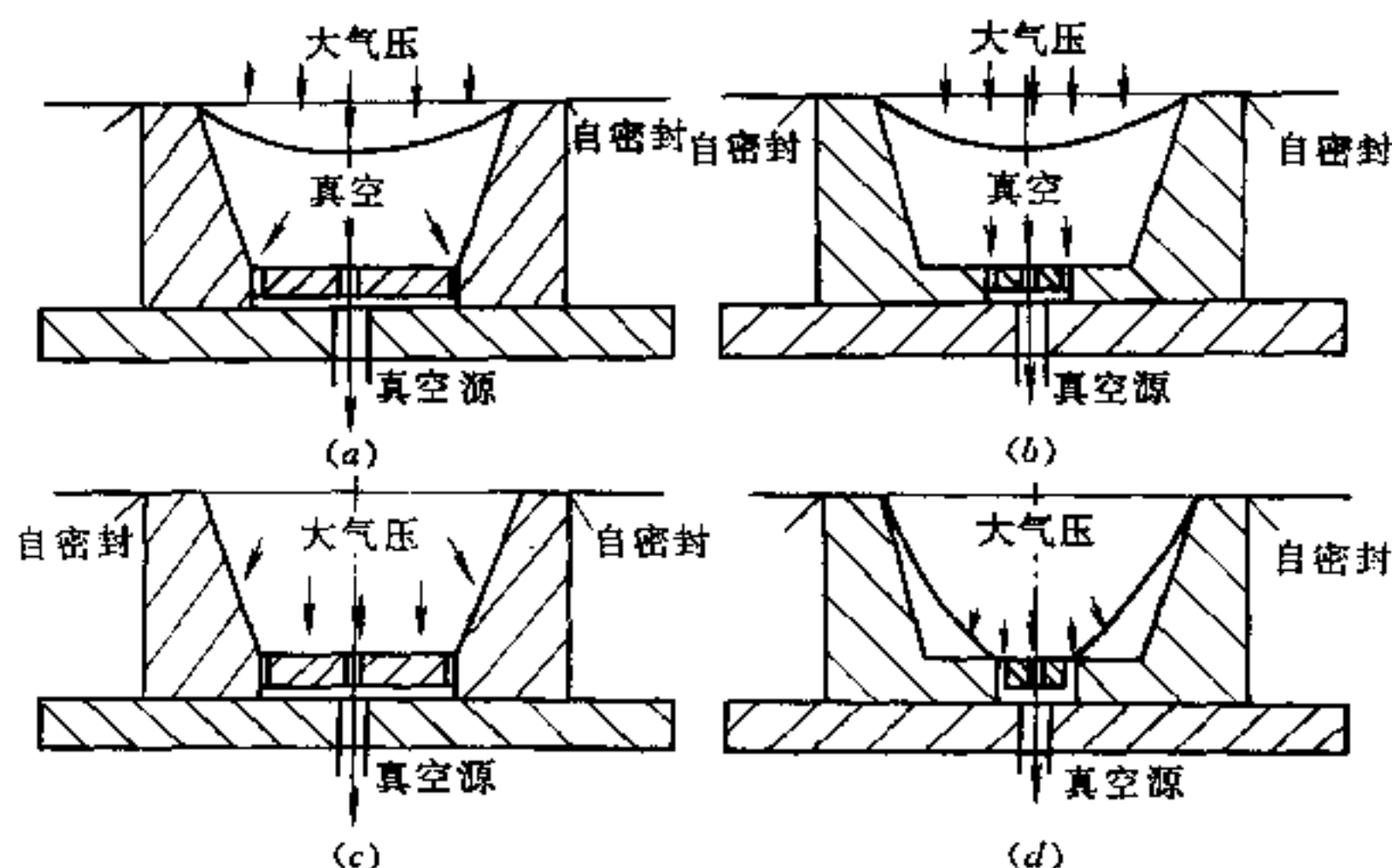


图 8.3-3 抽气孔布置对热成型制品质量影响

(a) 正确设孔开始成型；(b) 孔设不好的成型；(c) 获精细的制品；(d) 获夹空气的废次品。

但在实际生产中，为防止空气中的尘埃绒毛和湿气与腐蚀残余物对孔的堵塞，必须增加 25% 的抽气孔，以作补偿之用。

$$n_k = 1.25 \frac{R^2}{Nr^2} \quad (8.3-3)$$



式中  $n_k$ ——模具型腔应钻的孔数；  
 $R$ ——真空泵出气口半径 (mm)；  
 $N$ ——多型腔模具的型腔数；  
 $r$ ——所选抽气孔钻头半径 (mm)；

在真空泵和模具之间的管道上应安装流量调阀，以对真空力进行精密微调。纯真空度 (达 760mmHg) 产生成型力相当于 101.3kPa 的成型压力，表 8.3-4 为其换值。

表 8.3-4 真空度换为压力值

真空度/ (1333Pa)	127	155	203	228	259	304	330	355
压力/kPa	16.93	20.66	27.06	30.40	34.32	40.21	43.15	47.07
真空度/ (1333Pa)	362	381	406	414	431	457	466	482
压力/kPa	48.05	50.02	53.94	54.92	56.88	59.82	61.78	63.75
真空度/ (1333Pa)	508	518	533	558	569	584	609	621
压力/kPa	66.67	68.65	70.61	73.55	75.51	77.48	80.42	82.38
真空度 (1333Pa)	635	660	673	685	711	725	736	760
压力/kPa	84.34	87.28	89.24	91.79	94.15	96.11	97.09	101.32

### 8.3.2 型面粗糙度考虑

模具型腔表面粗糙度，须视制品使用要求而定。当制品为透明片材成型而接触模具的表面又成为制品外表面时，则模具型面应尽可能光滑些。反之，模具型面粗糙些也无关系。不过，真空吸塑热成型模具的型面粗糙度，还是高（粗）些为好。因为这样既有利于脱模，又便于降低模具加工成本。为此，对于非透明塑件成型模具的型面，在加工完成之后，通常用粗砂纸打毛或采用喷砂处理，以便在型面上形成空气流通道，从而消除塑件上的疵痕。

通常，真空吸塑模具型面粗糙度在  $R_a 0.8 \sim 1.6$  之间，而透明材料制件可更低（光滑）些。

当然，若条件允许，可在型面上镀硬铬，或涂覆聚四氟乙烯层更好；或用黄铜、铍铜、不锈钢制造模具，亦有更好的效果。

### 8.3.3 边缘密封设计

真空吸塑成型是借助负压成型制品的。在热成型抽真空的瞬间，受加热的片材应与模具的表面紧密接触，起到自密封作用，见图 8.3-3。当采用凸模成型时，夹片机构和凸模表面必须进一步相互靠近，以便在模具下表面的边缘处产生一种密封效应。受热塑料片材与凸模外表面的转角之间一经密封，则施加真空力立即完成成型过程。如果出现密封不良的问题，可在凸模下表面与片、板材接触处增加一层软垫，或适当调整凸模与片材间的空间位置，使之紧密接触，如图 8.3-4 所示。

### 8.3.4 加热与冷却设计

塑料片材在热成型过程中需要加热和冷却，才能达到其工艺要求，生产出合格制

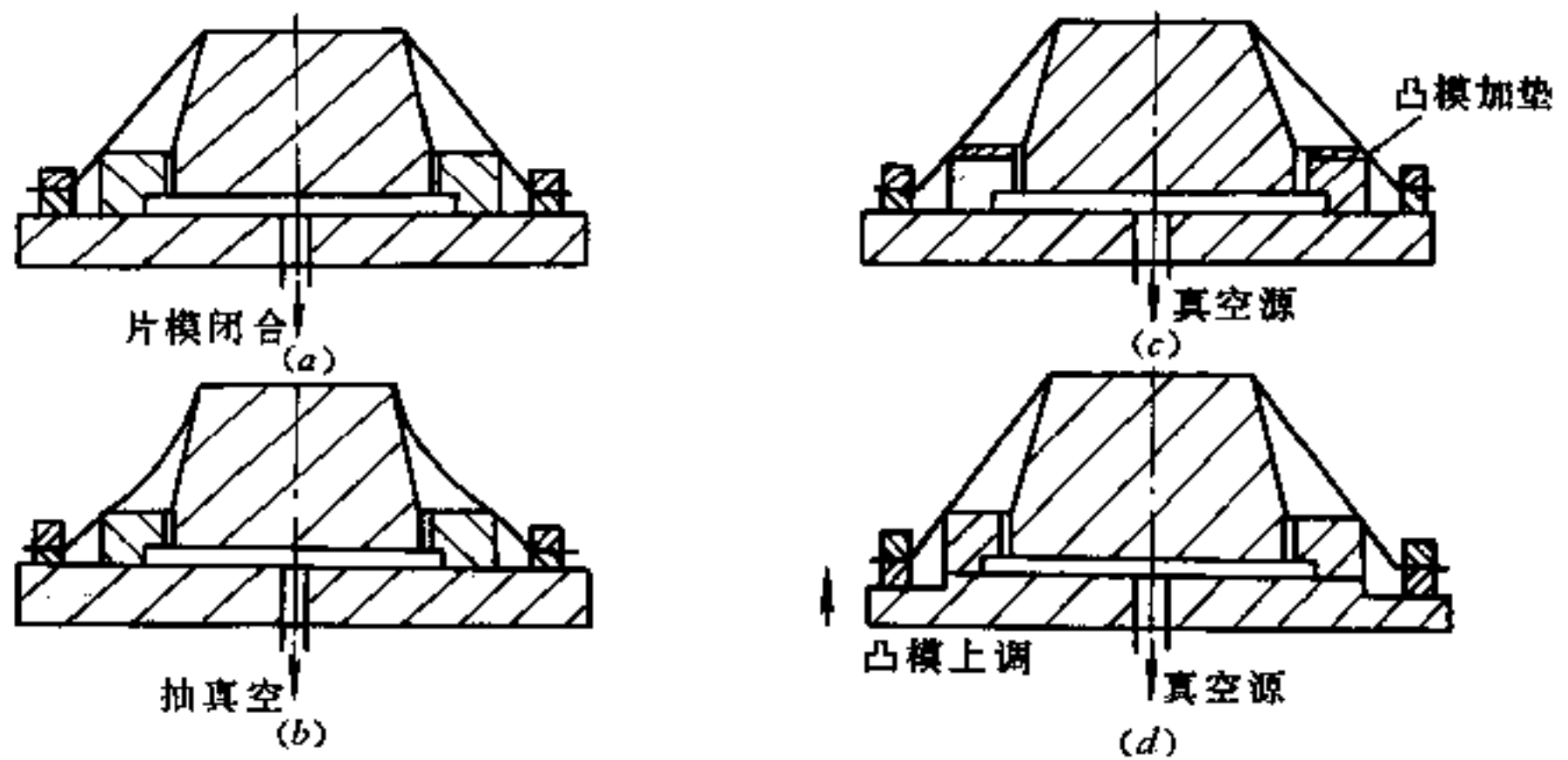


图 8.3-4 凸模真空成型密封结构

(a) 热片与凸模边缘贴合；(b) 片模贴合抽真空；

(c) 凸模下表面加软垫密封；(d) 凸模位移上调后，热片与模边缘贴合。

品。

### 1. 加热原则

片材加热有单面和双面之分。当片材厚度小于 2mm 时可采用单面加热，大于 2mm 应采用双面同时加热。而厚度大于 6mm 时，则应在烘箱内预热，提高材料内部温度以保证成型时内外温度一致。但对结晶性 PP、PE，即使片厚在 2mm 左右，也需进行预热方能成型。接触加热可单亦可双，但应严格控制加热钢板温度，上下钢板平行和压力均匀地接触。而选用红外线辐射加热时，单面加热应放在片材下方；双面加热时，下方热源温度应比上方低，仅为上方加热器功率的 0.5~0.8。如果用电热棒或电热板直接加热，其下方距片尺寸应远于上方的距离，以防片材热软化下垂而引起意外。

### 2. 红外辐射加热特性

红外线是波长为  $0.72 \sim 1000 \mu\text{m}$  的一种电磁波，当波长为  $5.6 \sim 1000 \mu\text{m}$  时叫远红外线。许多塑料正好在此波长范围内具有很好的吸收带，如 ABS 板材的波长为  $3 \sim 4 \mu\text{m}$ 、 $6 \sim 7 \mu\text{m}$  及  $12 \sim 15 \mu\text{m}$  的范围，PVC 的波长在  $3 \sim 4 \mu\text{m}$  和  $7 \sim 8 \mu\text{m}$ ；PMMA 的波长在  $3 \sim 4 \mu\text{m}$ 、 $5 \sim 6 \mu\text{m}$ 、 $8 \sim 9 \mu\text{m}$  和  $10 \sim 11 \mu\text{m}$  的范围，其穿透率均极低，即带有很好的吸收。因此，如选用这种与塑料吸收波长相同的红外加热器，其加热功效会很高，它不仅能大大缩短加热时间、节约能源，而且能使片材受热均匀，内外温差减小，有利于提高热成型制品的质量。其特点如下：

(1) 远红外加热无需中间媒体，其传播速度等于光速，因此加热时间短、速度快、能耗少，可提高生产效率 20%~30%；

(2) 远红外具有一定穿透能力，可以使物体在一定深度的内部和外表同时加热（即分子共振），从而避免了因热胀而产生的形变和质变；

(3) 远红外线具有光的一切性质及聚集反射性，我们可通过发射元件的选择与组合，设置适当的反射板、罩等，将散射和透过物质的远红外线聚集起来，对形状复杂、体积庞大、死角较多的物体进行立体加热；

(4) 与高频、微波加热相比，远红外设备投资费用低、占地面积少、对人体伤害



小，对环境无影响，可节电 30%~50%。

### 3. 常用加热元器件

常用加热元器件有：电热棒及电热板，陶瓷、石英电热器、红外灯及涂有 SiC 的远红外加热板，如图 8.3-5 所示。国外还有派瑞克斯玻璃电热器液浴法加热的。加热元器件尽管不同，但在加热器功率密度的选择上须根据塑料种类的需要进行选择，如图 8.3-5 所示。

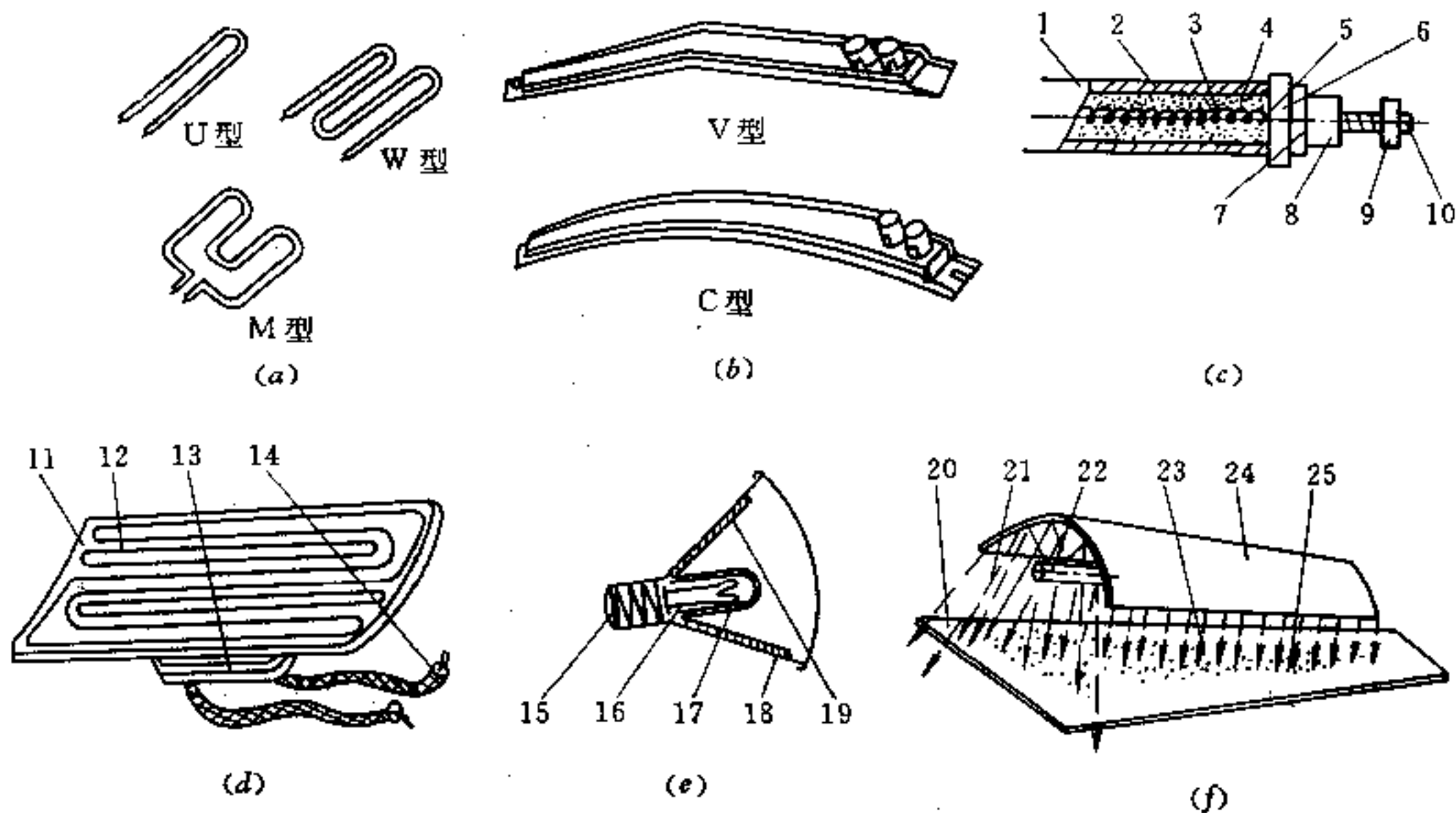


图 8.3-5 常用电加热设备形状与结构

(a) 管型电热元件；(b) 带型电热元件；(c) 远红外棒状发射元件结构；

(d) 陶瓷电热元件结构；(e) 远红外灯；(f) 石英反射红外线辐射器。

1—SiO<sub>2</sub> 涂层；2—金属导管；3—电热线；4—氧化镁粉；5—电极；

6—绝缘瓷环；7—垫圈；8—螺母；9—接线螺帽；10—接头螺钉；11—曲线形陶瓷体；

12—镶嵌电阻丝；13—安装座；14—连接线；15—螺丝插口；16—电热灯丝；

17—SiO<sub>2</sub> 涂层；18—金属罩；19—反射层；20—塑料片材；21—反射热；

22—管形电热元件；23—直射热；24—反射罩；25—片材上热量分布。

表 8.3-5 不同塑料所需加热功率密度

功率密度/(J·m <sup>-2</sup> )	塑料类别
1.5~3	PVC 增强 PS 醋酸纤维素
3.5~5	PP PE
≥5	PC PSU

### 4. 冷却

在整个热成型过程中，制品冷却时间几乎等于片材加热时间。最理想的情况是制品与模具接触的内表面和外表面均予以冷却。因此，模具温度的控制将对塑料制品质量及生产率产生重要影响。如果模温过低，塑料片和型腔一接触就会产生冷斑或内应力以致产生裂纹。而模温太高时，塑料片材可能粘附在型腔表面上，塑件脱模时会变形，且会

延长生产周期。因此模温应控制在一定范围，一般视塑料种类不同可控制在 50~60℃ 之间。制品的冷却一是来源于片材接触模具后的自然冷却，二是增设风冷或水冷装置而加速冷却。风冷设备简单，只要一台电风扇即可，水冷可分为喷雾式或在模内开设冷却水槽的方法。冷却水槽应沿塑件的周边设置，并在重要的凸起部分加强冷却，冷却水槽应距型腔表面 8mm 以上，以避免产生冷痂。冷却水槽开设的方法各异，大模具可以直接在模具上铣槽，然后加盖板和橡胶密封垫以防止漏水。中小型模具可直接钻孔，孔径为 5~8mm，也可在铸造铝模中埋设紫铜管或不锈钢管，管径可大至 12mm 左右。

## 8.4 压空成型模具设计

### 8.4.1 排气孔设计

真空吸塑成型模具上的抽气孔，在压缩空气成型中作为排气孔用。对排气孔的要求是快速将型腔内空气排出，因此排气孔数目，以尽可能多为好。在一般情况下，模具角隅处可每隔 10~20mm 设置一排气孔，而平面部分可每隔 20~100mm 设置一排气孔。薄片材比厚片材采用排气孔多，因为薄片材容易冷却，必须快速成型。

排气孔直径可按片材品种、厚度以及对制品外观要求而定。就材质而言，加工硬 PVC、高抗冲 PS、ABS 和 PMMA 时，排气孔可为 0.8~1mm；加工 PE、PP 塑料片时，由于他们的流动性好，孔径过大塑料易于吸入孔中造成堵塞或留下明显的凸痕，因此孔径应小些，大致可为 0.3~0.5mm。就不同材料厚度而言，厚片可取大些，薄片可取小些。作为一般规律而言，排气孔径应不超过片厚的 1/3~1/2。对制品外观要求较高，表面不允许留有排气孔痕迹时，排气孔要钻小些；反之大些也无妨。而在片材最后与模具接触成型的凹部角隅处，即使集中较大的孔也并不明显，因为这时的片材已接近冷却的边缘，如图 8.4-1 所示。

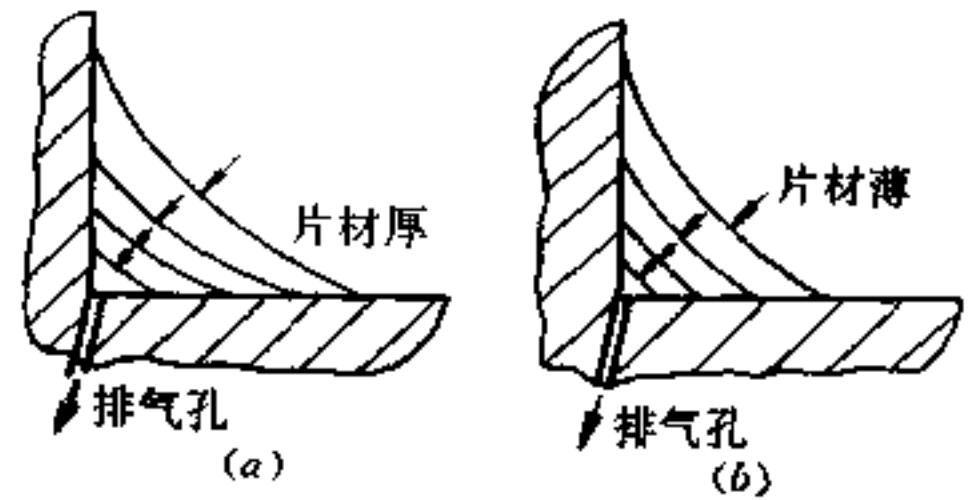


图 8.4-1 片材接触模具的顺序

由于模具的排气速度是与排气孔直径的平方成正比，与排气孔的深度成反比。因此当模具的壁较厚时，可在模具上钻背接孔，如图 8.4-2 所示，既可提高排气速度，又不降低模具的使用强度。另外，也可以缝隙来代替圆孔排气，如模具底部交界处的拼合缝则是最好的排气槽，如图 8.4-3 所示。

模具型腔内空气在不同压力下的排出量，可参见表 8.4-1 的空气排放体积  $k$ ，以计算在 0.5s 内单模腔排气所需孔眼数，其计算式如下：

$$n = \frac{2V}{k} \quad (8.4-1)$$

式中  $n$ ——不同表压下的孔眼数；

$V$ ——单个模腔体积 ( $\text{cm}^3$ )；

$k$ ——单孔或综合孔径每秒钟空气排放体积 ( $\text{cm}^3$ )。

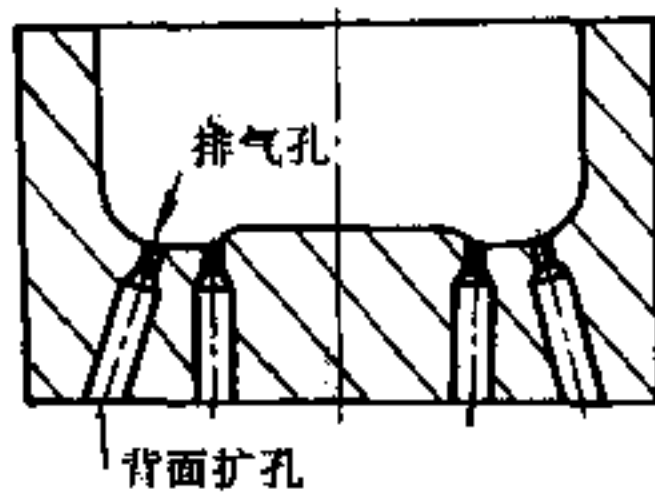


图 8.4-2 模腔背面扩孔排气

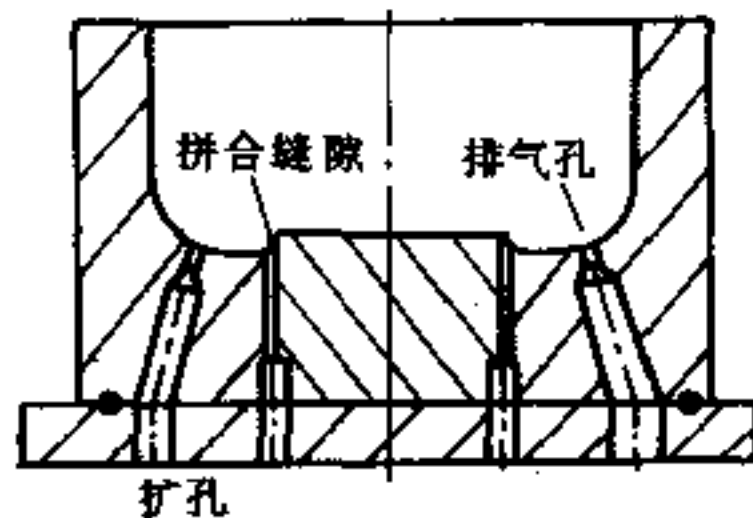


图 8.4-3 拼合缝隙排气

表 8.4-1 单孔或综合孔径空气排放率

空气体积 k/cm <sup>3</sup>	孔径/mm											
	0.4	0.8	1.6	3.2	6.4	9.6	12.8	16.0	19.1	22.3	25.4	
表压 / kPa												
21	0.013	0.053	0.082	0.847	3.387	7.593	13.519	21.167	30.316	41.514	54.077	
41	0.019	0.074	0.298	1.185	4.752	10.679	18.982	29.770	42.606	58.174	75.926	
62	0.023	0.090	0.361	1.448	5.763	13.028	23.133	36.051	52.165	71.010	92.587	
83	0.026	0.104	0.415	1.658	6.638	14.912	26.492	41.514	59.539	81.116	105.969	
103	0.029	0.115	0.459	1.835	7.347	16.524	29.497	66.094	78.111	89.855	117.440	
138	0.034	0.134	0.535	2.147	8.576	19.309	34.413	53.513	77.290	105.150	137.378	
172	0.038	0.153	0.615	2.453	9.805	22.095	39.329	61.451	88.217	120.171	157.042	
207	0.043	0.172	0.691	2.758	11.061	24.881	44.245	69.099	99.688	135.466	176.980	
241	0.048	0.191	0.767	3.086	12.290	27.585	49.161	76.746	110.612	150.487	196.644	
276	0.053	0.210	0.847	3.387	13.547	30.589	54.077	84.666	121.810	165.282	216.582	
310	0.058	0.229	0.923	3.687	14.776	33.320	58.993	92.313	133.008	180.803	236.248	
345	0.063	0.251	1.000	4.015	16.005	36.051	64.182	99.960	144.206	196.098	256.183	
414	0.072	0.290	1.155	4.616	18.463	41.514	74.015	115.528	166.328	226.141	295.512	
483	0.082	0.328	1.308	5.244	20.948	47.249	83.847	130.823	188.451	256.457	335.114	
552	0.091	0.366	1.464	5.845	23.406	52.712	93.679	146.391	210.573	286.773	374.443	
621	0.101	0.404	1.617	6.473	25.891	58.174	103.511	161.685	232.969	317.088	414.045	
689	0.111	0.442	1.773	7.101	28.404	63.909	113.343	177.253	255.091	347.404	453.647	
758	0.120	0.481	1.925	7.702	30.862	69.372	123.449	192.547	277.487	377.720	493.249	
827	0.130	0.522	2.081	8.330	33.320	74.843	131.915	208.115	299.609	408.036	532.851	

注：本表仅给出 38.9℃, 101kPa (1atm) 下的理论流率，流动摩擦将造成少量降低。

## 8.4.2 吹气孔设计

压缩空气成型模具还必须设有吹气孔，使预热压缩空气吹在被加热的塑料片材上贴于模具型面而成型。吹气孔可比排气孔大些，一般为 0.4~0.5mm，也有超过 0.5mm 的。为了减少小孔加工深度带来的困难，亦可从里面钻直径为 3mm 的扩孔与其相通，管路尽量避免弯折现象，以减少压力损失，其结构如图 8.4-4 和图 8.4-5 所示。

### 8.4.3 型刃设计

压缩空气成型模具另一特点，是在模具边缘设置有型刃。设计型刃应注意的是型刃的角度和顶端的形状，型刃不可太锋利，避免与塑料板或片材刚一接触就切断，影响成型；型刃也不能太钝，造成余料切不下来。

工作时压应力施加于型刃顶端，要使压应力尽可能均衡地负担，须把型刃顶端削平  $0.1 \sim 0.15\text{mm}$ ，并以  $R = 0.05\text{mm}$  的圆弧与两侧面相连，如图 8.4-6 所示。型刃顶端还须比型腔的顶端面加上片材厚度还高出  $0.1\text{mm}$ ，如图 8.4-7 所示。这样，在成型时，置于模具平直部分上的片材与加热板之间，就可以留有间隙，以免与加热板直接接触，造成片材过热而给产品带来缺陷。

型刃角度影响切断力，通常采用  $20^\circ \sim 30^\circ$  为宜。小于  $20^\circ$  时，切断力减小，但其寿命将缩短；如大于  $30^\circ$  而采用  $45^\circ$  的话，施加的负荷将比  $30^\circ$  时增加  $50\%$ 。

型刃材料可选用弹簧钢制成的钢带或钢块经锻造而成。型刃须具有刚性、耐磨性和可焊接性，热处理变形要小，硬度在 HRC45~52 为宜。锻钢型刃需淬火，硬度为 HRC45~52 即可，然后磨出刃口，切割片材损伤后，还可进行焊接修补再磨利使用。但不管选用什么材料作型刃，其热处理后的硬度至少应比加热面板金属表面硬度低  $10\% \sim 20\%$ ，这样型刃即使接触面板，也不会损伤其加热板的表面。

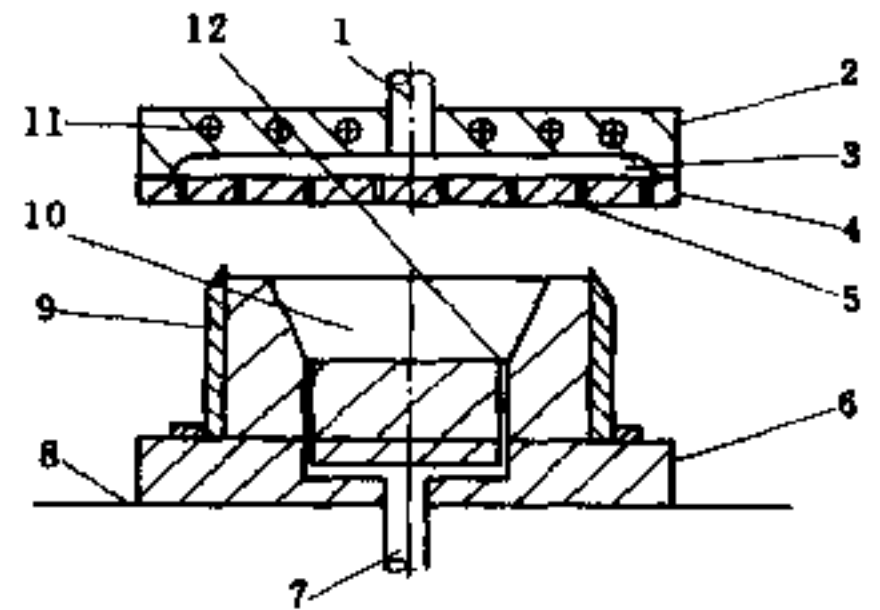


图 8.4-4 压缩空气成型模具  
1—压缩空气管；2—加热板；3—热空气室；  
4—面板；5—吹气孔；6—底板；  
7—通气管；8—工作台面；9—型刃；  
10—型腔；11—加热棒；12—吹气孔。

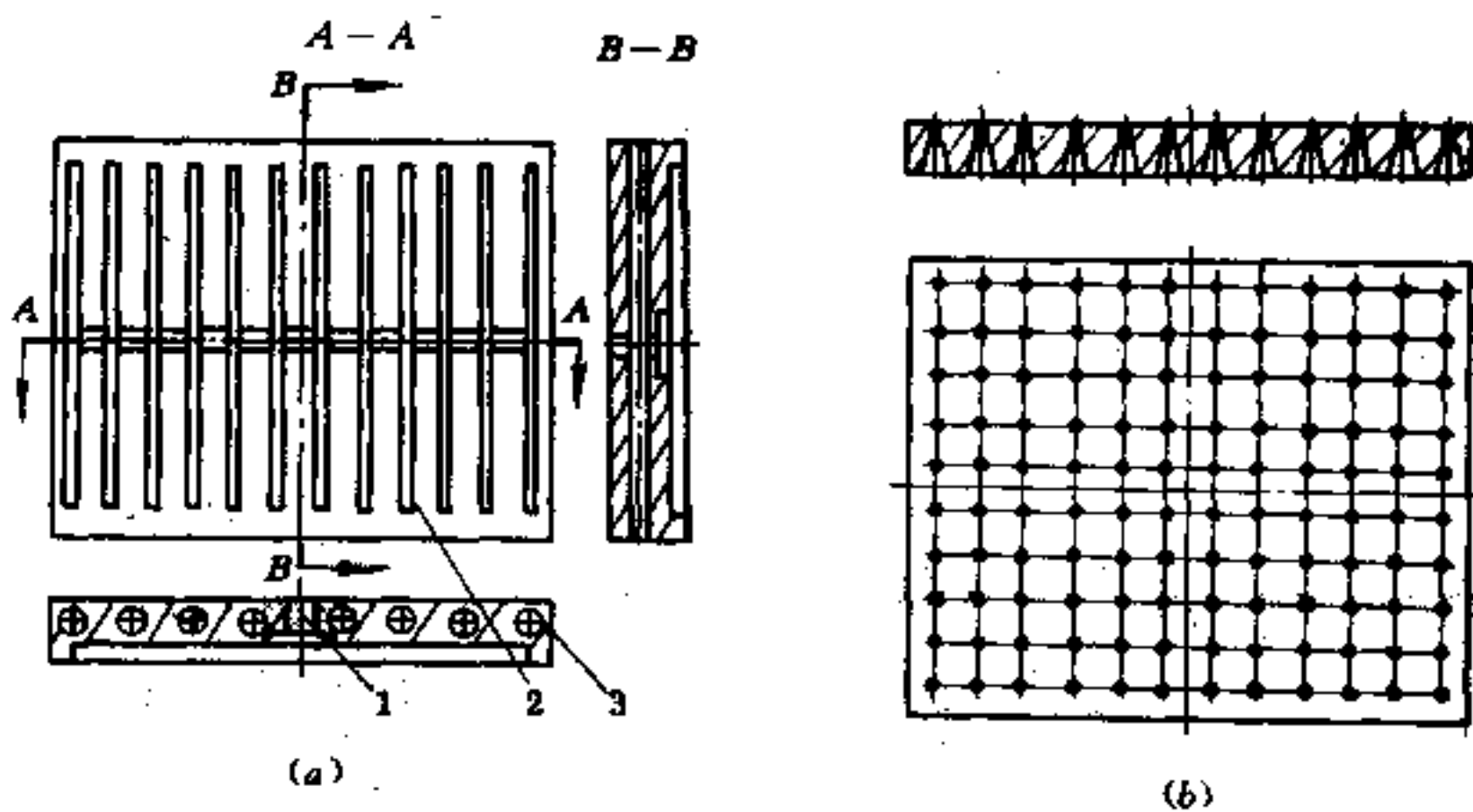


图 8.4-5 加热背板和面板的结构  
(a) 加热背板结构；(b) 加热面板结构。  
1—入口；2—气沟；3—管状加热器。

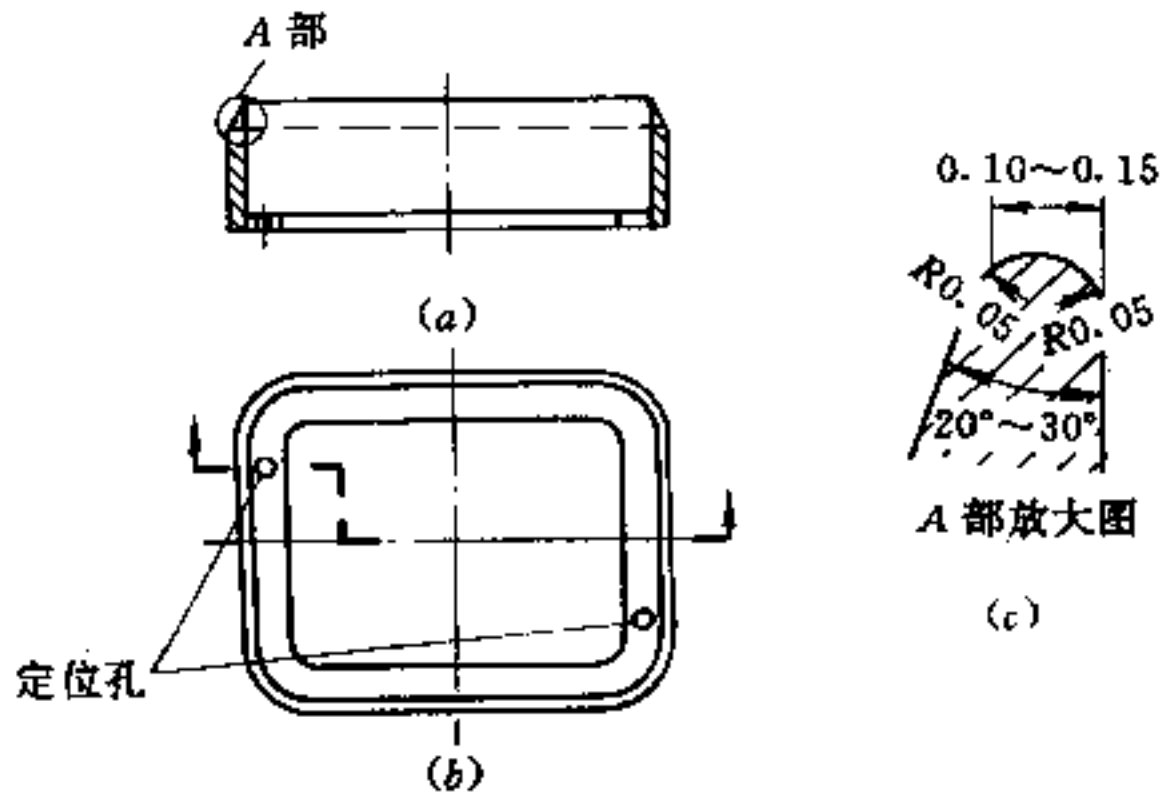


图 8.4-6 型刃的结构与尺寸

(a) 主视图; (b) 俯视图; (c) 局部放大图。

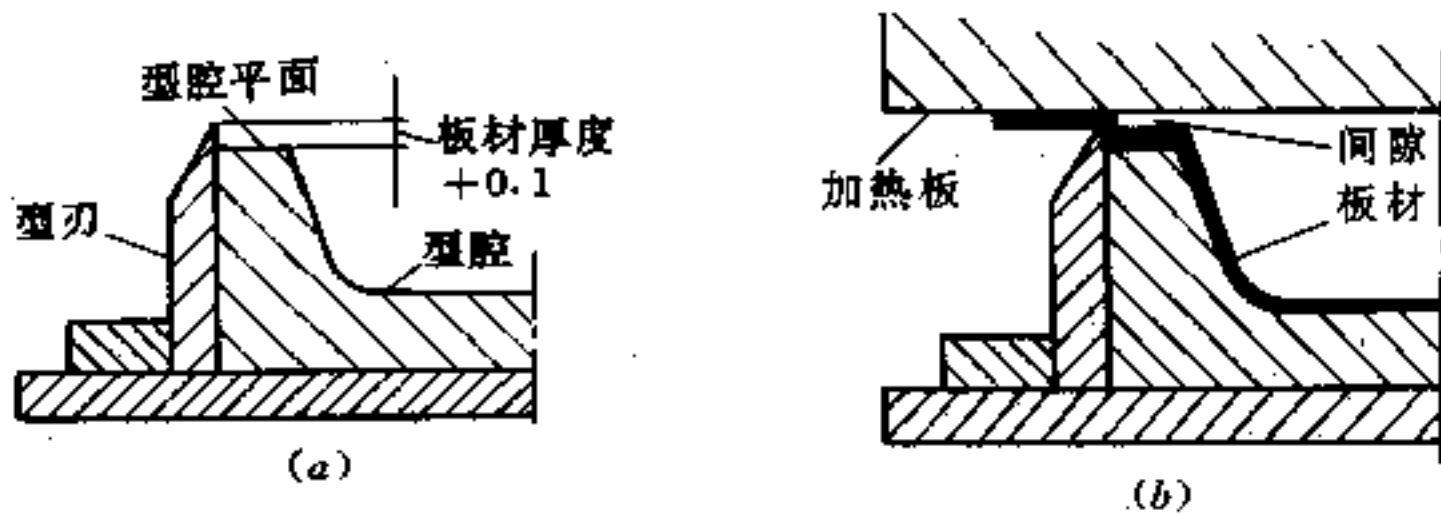


图 8.4-7 型刃顶端与成型时状态

(a) 型刃顶端形状; (b) 模具成型状态。

#### 8.4.4 缓冲垫设置

为了压紧片材，防止热成型过程中片材因吹胀拉伸时所带来的位移，必须凭借型刃将片材均匀地压在加热板上。为此，要求型刃的安装与片材的加热板应有较高的平面性和平行度。然而，无论型刃的机加工及研磨精度如何高，其加热板因受热及外力作用等均会发生一定的形变，使型刃的平行度受到影响，如图 8.4-8 所示。

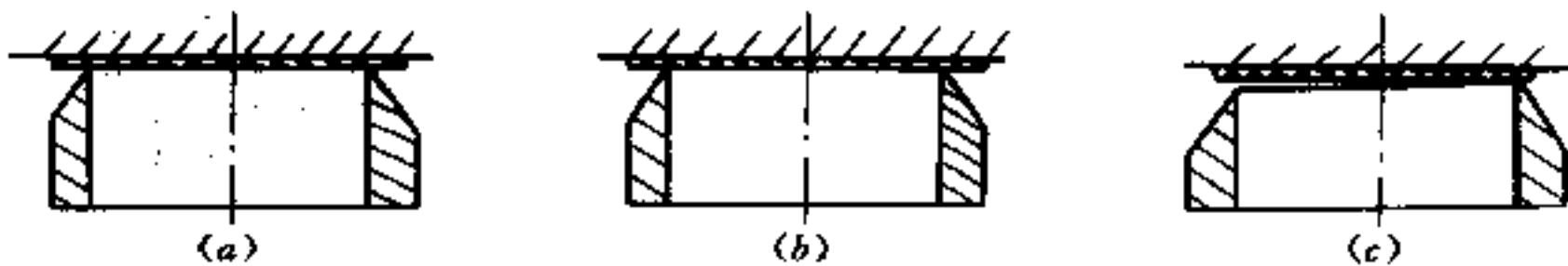


图 8.4-8 型刃安装的效果

(a) 型刃与加热板平行利于成型加工;

(b) 平行度不好会造成过早切断; (c) 平行度不良片材固紧差易产生空气泄漏。



(1) 为校正上述误差, 可将橡胶类弹性体材料置于型刃之下。既使用最小的力, 也能均匀地切断, 不会造成型刃负荷太大, 损伤刃口造成板面伤痕等危险。

(2) 为了能够补正 0.2mm 左右的不平行度, 缓冲垫必须有充分的压缩性, 以补偿误差, 对每一厘米型刃长度能耐 90kg 的切断负荷。

(3) 型刃与模型之间, 应留有 0.25~0.5mm 的间隙, 作为空气的通路, 也方便模具的安装。

### 8.4.5 锁模力计算

在差压成型中, 气源是由空气压缩机、贮压罐、管路、阀门等组成的空压系统供给。压缩机的额定排气量可为 0.15~0.3m<sup>3</sup>/min, 压力为 0.6~0.7MPa。但在实际使用时, 一般不会大于 0.4MPa。为使生产正常操作及生产出合格制品, 模具型腔的上下模必须切实锁牢; 常用下式计算锁模力:

$$F_s = 1.25F_c = 1.25PS \quad (8.4-2)$$

式中  $F_s$ ——实际锁模力 (N);

$F_c$ ——理论锁模力 (N);

$P$ ——压缩空气压力 (Pa);

$S$ ——热成型时的面积 (m<sup>2</sup>)。

真空吸塑成型时压力在 70~88kPa, 其锁模力亦可参照上述公式计算。但贮存罐应为实用耗量的 1.5 倍以上, 其真空泵功率一般在 2~4kW 之间。

## 8.5 热成型模具用材料

### 8.5.1 模具选材原则

热成型模是将受热的热塑性二维片材加工成三维制品, 并获得其特定形状的工具。把这种二维片材变成三维立体的造型中, 它必须工作良好, 尽可能完整地转移其细节, 并使制品脱模容易而无损伤, 所以模具的选材极为重要。

热成型制模材料有三大类, 一是以其成本低, 制模和修改容易的非金属类; 二是以制造周期相对长些、成本高些、耐用、尺寸精度要求高的金属及有色金属模具; 还有一种是介于两者之间的特种塑料模具。在生产中可根据下述原则进行选择:

- (1) 制品生产的批量;
- (2) 制品生产尺寸精度及外观质量;
- (3) 制品所采用热塑性塑料片或板材种类;
- (4) 制品热成型的工艺方法;
- (5) 模具制作允许的时间;
- (6) 热成型制品生产速率及自动化程度。

### 8.5.2 非金属材料

当生产规模较小, 且属研制或开发的新产品时, 为节约投资的总费用, 则在热成型

模具中选用非金属材料来制造。属于非金属材料的有木材和石膏两类。在木材中，国外有 *gllutong* 木、红木、美国椴木或糖松等；国内常选用红松、银杏、柏木、杉木、桦木来制作。上述多为优质纹理一致的木材，它们对于模型和模具形状的造型和拼合是很理想的。

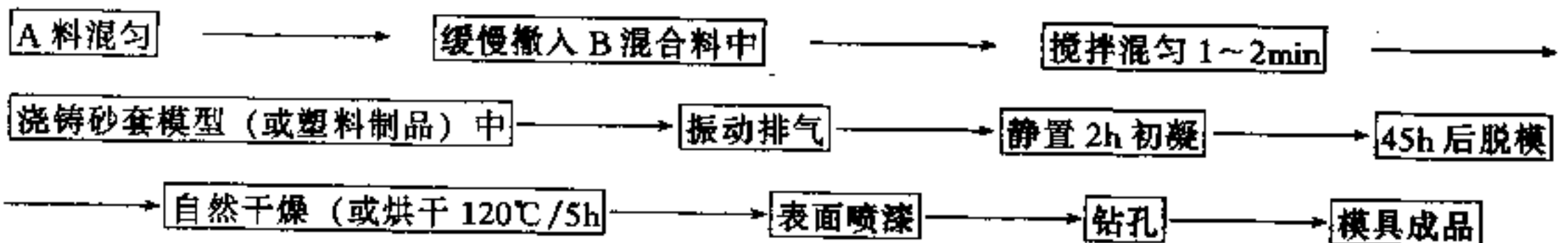
木材本身不能准确保持其原始尺寸，它常受环境温度、湿度等条件的影响而减小或增大其实际制作的尺寸。特别当模型的模具是由不同纹理方向的几件或几种木材制作时，在其拼合部件之间往往造成逐渐缩小或胀大。因此，木制模具应当考虑只能是过渡结构件。另外，由于木材热传递性差，在反复的热成型中，将会逐步使其表面温度升高，就会严重影响塑料片材在热成型中的冷却。这时必须停止操作，直至木制模具中的热量消散为止。其次，为获得最终符合尺寸要求的热成型制品，所制木模必须大于实际使用的尺寸，以补偿塑料收缩所带来的影响。如果以木模用于铸造翻砂，用以生产其永久性金属铝模时，尚需计入附加的（金属熔体冷却时的收缩率）收缩系数。

石膏是又一类非金属制模材料。它可提供较好的尺寸稳定性及优良的复印性，并能在较长使用期内保持其特性，但经不起外力的强烈冲击。石膏模通常由类似水泥状的混合石膏（hydrocal）制成。白色粉末的混合石膏与水泥混合后生成良好的粘性液体，形成具有可倾泻性的料浆，经过浇铸在模型和环绕在模型本体配备的护柜内，通过振动、排气、凝固而制得与模型相反的型腔形状，然后进行干燥、表面处理、喷涂有关涂料后即可使用。表 8.5-1 是经过笔者实验证实、并获得良好效果的石膏铸型配方，可供参考。

表 8.5-1 石膏浇铸模型配方

材 料 名		重 量/%		
		I	II	III
A 料	α 或 β 型石膏	80	70	
	525# 水泥	15	20	10
	滑石粉	5	10	5
	人造石膏			85
B 料	四硼酸钠	0.6	0.6	0.6
	无水乙醇	0~5	1~5	0~2
	戊 醇	0.01~0.03	0.1~0.03	0.1~0.05
	水	60~65	60~65	21~23

石膏模型制作工艺流程：



### 8.5.3 金属材料

当热成型制品批量极大、工艺条件成熟时，可选用金属铝或钢材来制作热成型模具。常用的金属有飞机合金铝、黄铜、铍铜或钛合金，其钢和铜合金制作的模具可以通过镀铬、镀镍，也可喷涂聚四氟乙烯粉末，它有助于成型制品的脱模。由于有色金属质轻、易成型、不腐蚀和优异的导热性能，因而在翻砂浇铸热成型模具中用得最多，其价

格比金属机加工价格更为合理。

在制作热成型金属模具前，要计算好或用石膏模型等测定出塑料热成型制品的收缩率。金属模加工应有一定的光洁表面，其型腔面粗糙度取决于特定热成型制品应用和产品的要求。各种机加工切削方法所产生的表面粗糙度范围见表 8.5-2。

表 8.5-2 模具机加工可达到的表面粗糙度

机械加工方法	微米 / $\mu\text{m}$								
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2
锯 割	_____								
砂型铸造成型	_____								
铣 削 加 工	_____								
钻 孔 加 工	_____								
精密浇铸成型	_____								
线切割 (EDM)	_____								
激 光	_____								
磨 削 加 工	_____								
抛 光	_____								

#### 8.5.4 特种塑料模用材料

在热成型模具中，还使用了一种类似液体的线性环氧树脂、硬质聚氨酯材料，当配以适当比例的固化剂和其他填料后，便能迅速制得具有网状结构的固体模型，即通过化学反应后使其由线性变成网状的环氧或聚氨酯的化合物。它能像石膏模型一样，充分提供更佳的复印表面每一个细节、尺寸稳定性和较高的强度。其密实性与耐久性，将使其成为制造低至中等产量模具的理想材料。它比石膏强度高，但尚不能与金属模相媲美。如果在环氧树脂模具制作过程中掺入适当的金属颗粒，可大为改善它的强度和热传递性质。常用的铝粉、铅丸及铅针、铁粉都可方便地掺入环氧树脂母体中，而紧密堆砌的金属颗粒，能使镶嵌件之间有更良好的热流通。制作时也可镶嵌金属软管以通冷却水，会获得更完善的冷却效果。

浇铸环氧树脂模具时，同样要防止其粘附在被浇铸件的表面上。因此，离型剂的选择是不可少的。另外，视配方不同可能要较长的固化时间，且在固化期中会产生较高的热，以致引起对被浇件的破坏。一付结构完善的环氧模具，可顺利生产达几百万件产品也不会破坏，表 8.5-3 为环氧模具浇铸时的组成配方，供参考。

表 8.5-3 环氧树脂模具浇铸用配方

药品剂量 / g	配方号						
		1	2	3 <sup>①</sup>	4	5	6 <sup>②</sup>
化工原料名称							
E-44 环氧树脂		100	100	100	100	100	100
二乙烯三胺		11	11	11	间苯二胺 14~15	间苯二胺 14~15	13/25℃
邻苯二甲酸二丁酯		25	25	25	15	/	10
金 粉 (200 目)		/	/	/	160	金刚砂 80	铁粉 300



(续)

药品剂量 / g	配方号	1	2	3 <sup>①</sup>	4	5	6 <sup>②</sup>
化工原料名称							
铝粉 (200目)		石棉粉 50	石英砂 500	200~300	/	/	/
石英粉 (270目)		50	100~200	200~300	/	50	/
冲击强度/MPa		1.2	2.5		24.6	33.7	
压缩强度/MPa		107.9	117.7		111.0	124.4	112.0
布氏硬度		18~19	12		25	30	21.1
①用于模具表面修补。							
②固化时间 30℃/8h 即可。							

环氧树脂配制固化处理条件如下:

- (1) 用于机械强度较高、模具与制造的依据能同时送入炉中加热固化, 可选 150℃/4h, 其升温加热时间不少于 50min;
- (2) 用塑料件作模型的环氧模, 可选 80℃/8h, 升温时间应不少于 30min;
- (3) 常温固化, (25~30)℃/24h 或 (20~30)℃/(1~5h) 取模;
- (4) 可采用分段加热固化, (60~80)℃/2h, 升温 30~60min, 再升温 150℃/2h, 降 (60~80)℃/2h, 随炉内冷却, 它可用于机械强度很高的模具处理。

### 8.5.5 模具用材性能比较

前述的各类材料中都各具特色, 但究竟选择何种材料更有利, 将是非常棘手的问题。对此, 表 8.5-4 可供参考。

表 8.5-4 模具材料及适用范围

模具材料	选用性质	制作方法	特点	适用范围
石膏模具	软型 β 石膏 硬型 α 石膏 特硬型人造石膏	混合均匀, 倒入模内静置, 脱模即可	价廉, 制模方便, 复制精致, 修复容易, 强度差	小批量生产的真空成型 1000~10000 件
木制模具	银杏、柏木、杉木、桦木或枫木, 要求低时可用松木	木模制作, 用于真空成型表面喷清漆, 如压时盖绒布	价廉, 但易变形, 散热差	小批量真空成型, 大制件热成型
金属模 总论 热喷涂模 铸造模 电铸模 机加模	无严格要求 锌铜线材 铝合金或铅合金 (铅 80% 锡, 10% 铜 10%) 铜、锌、镍 铁、铝、铜等	模内可插入冷却水管和加热管采用金属焊枪热喷涂层 1~2mm 铸造成型, 用电解法将金属镀于模具表面, 金属机加工	寿命长, 尺寸精度高, 导热, 散热好, 加工快, 专用设备可精密浇铸; 加工时间共 10 天; 周期长, 成本高	适合大批量生产制品成型, 表面有特殊要求的制品, 产品质量较高
特种塑料模	环氧树脂、酚醛树脂、聚酯树脂、硬质聚氨酯	主体树脂加固化剂、填料助剂混匀成型	可选金属铁、铝、石英粉增强、周期快、成本适中	适合中、小批量生产
组合模具	木模+金属模 木模+塑料模 塑料模+金属模	采用上述方法制作, 并用螺钉或粘合剂连接成模具	各取其长处	中批或大批量的热成型生产用模

## 参 考 文 献

- 1 栾华编. 塑料二次加工基本知识. 北京: 轻工业出版社, 1984
- 2 邹立谦编著. 塑料制品设计(上册). 北京: 机械工业出版社, 1994
- 3 (美) J. 弗洛里安著. 实用热成型原理及应用. 陈文英译. 北京: 中国石化出版社, 1992
- 4 陶国源. 塑料片热成型, 塑料. 1983 (4)
- 5 俞振胜. 热塑性塑料板真空成型模具设计, 塑料. 1991 (2)

# 第九章 中空吹塑模设计

## 9.1 中空吹塑成型及其应用

中空吹塑成型是在压缩空气作用下，使处于高弹态下的熔融塑料型坯，发生膨胀变形，然后再经冷却定型，获得肚大口小中空容器的一种加工方法。而凡用于此类中空制品加工的模具，便称之为中空吹塑成型模具。

中空吹塑成型制品，在化妆工业、油漆工业、医药行业、饮料及食用植物油等的包装中，占有越来越重要的地位。到目前为止，各种吹塑成型的中空制品，在国内市场的总需求量已接近 90~120 亿只。

中空制品质量优劣，除原料及其成型工艺参数外，模具结构设计、成型收缩率选择和加热与冷却装置设计，具有至关重要的影响。

### 9.1.1 中空吹塑成型方法

中空吹塑成型是在吹塑成型塑料容器时，将处于高弹态下的熔融塑料型坯，在特定温度下利用压缩空气进行纵横拉伸吹塑而成的一类方法。持不同见解的人有不同的分类方法，但一般可按型坯的成型、状态各工程步骤等 3 种方法进行分类，见表 9.1-1。随着生产技术的发展，目前用得最多的是挤-拉-吹塑和注-拉-吹塑一步法。前者以生产大中型产品为主，后者以生产中小型、高精度透明容器为主。

表 9.1-1 中空吹塑成型方法分类

按型坯成型方法分	按型坯冷热状态分	按工艺过程步骤分
挤出成型法 挤出注射成型法 注射成型法	热型坯法	一步法（挤拉吹，注拉吹）
挤出压缩成型法 挤出管坯成型法	冷型坯法	二步法（注吹分开，挤吹分开） 三步法（挤管、封口、吹塑分开）

#### 1. 按型坯成型方法分类

中空吹塑成型时，按型坯成型方法不同可分为 5 种，见表 9.1-1。挤出成型法，是利用挤出机螺杆将塑化成熔融状态高聚物，通过机头口模形成管状型坯；挤出注射法，是利用挤出机螺杆将已塑化成熔融状态的高聚物，通过分配阀注入模具内形成一端有封闭状的型坯；注射成型法，是通过注射机螺杆将塑成熔融状态的高聚物，通过喷嘴注入冷模具型腔内，经冷却凝固而成型坯；挤出压缩压型法，是利用挤出机螺杆将已塑化成熔融状态的熔体挤入特定的模腔内，尔后关闭浇口，使其在一定压力状态下经冷却而形成型坯；挤出管坯成型法，是将挤出机挤出的中空管坯，放在特定的模具上，将其一端

加热封口而形成的型坯。

## 2. 按型坯冷热状态分类

中空吹塑成型时，按型坯热历史不同，可分为热型坯法与冷型坯法两种。前者是在型坯尚无完全冷却状态下，经调整温度后进行拉伸吹塑成型，以充分利用型坯原有热量；后者是先将型坯冷却至室温，在行将拉伸吹塑时再加热至一定温度下，所进行的一类吹塑成型。由于加热方法选择的不同，有可能使型坯外壁温度高于内壁温度，或高于型坯中心材质的温度，从而对产品质量产生不良影响。

## 3. 按工艺过程步骤分类

在中空吹塑成型时，将型坯生产、拉伸吹塑成型放在同一成型机械内进行，此种成型方法称为一步法。由于一步法生产中的型坯，勿须冷却至室温，所以它也属于热型坯法。二步法是将型坯的成型和拉伸吹塑，完全分开进行；三步法是通过挤管机头挤出管坯，然后加热封口形成型坯，最后通过加热拉伸吹塑成为中空制品。由于二步法和三步法，均需将型坯冷却，故它们属于冷型坯法。

### 9.1.2 中空吹塑工艺特性

生产中空塑料瓶、桶或其他制品的两种重要方法，是挤出吹塑和注射吹塑，如图 9.1-1 和图 9.1-2 所示。中空制品的外形尺寸、年产量大小及其使用条件，通常是决定

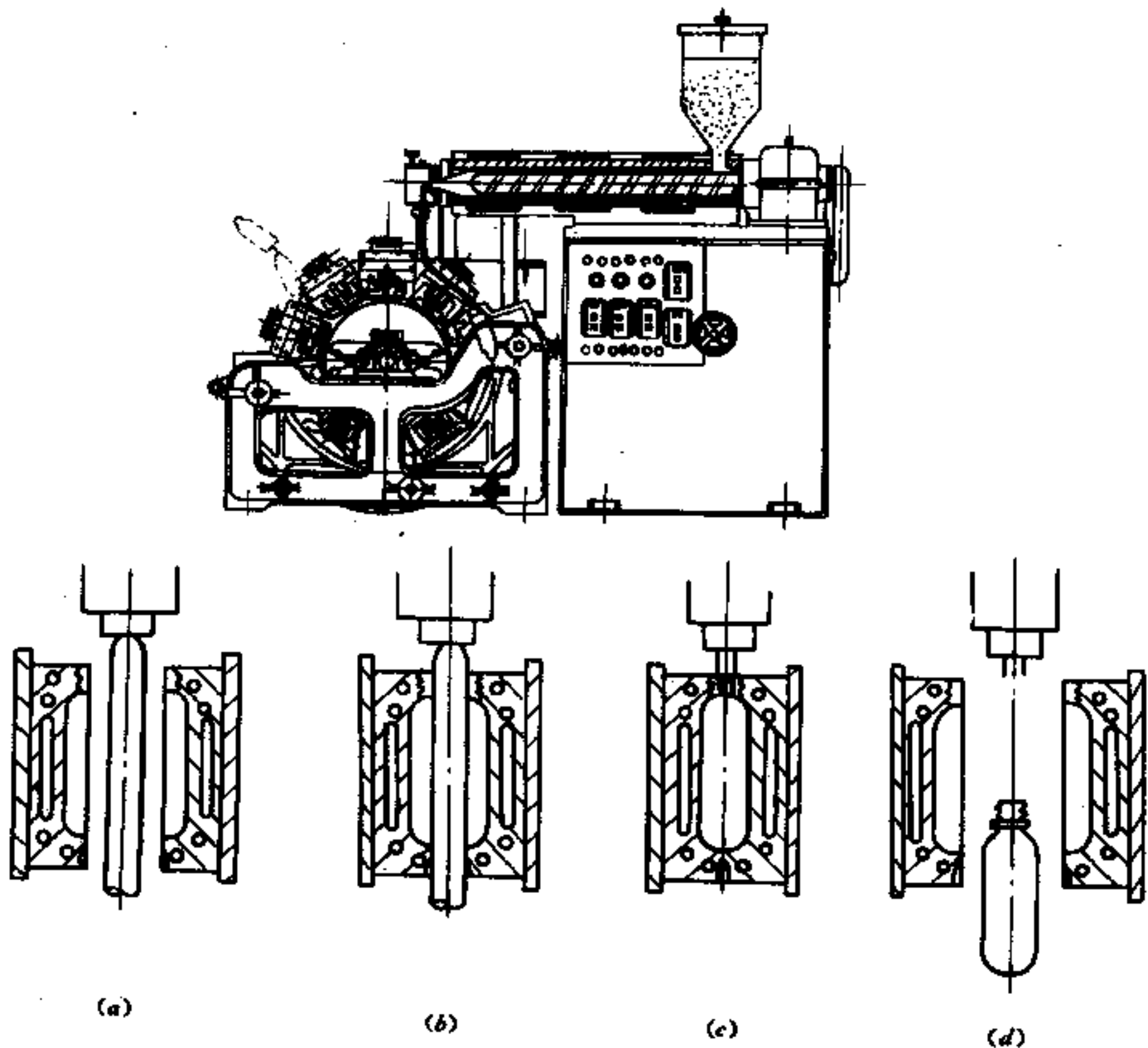


图 9.1-1 挤出吹塑中空成型

(a) 型坯挤出；(b) 模具闭合；(c) 吹塑成型；(d) 开模取出制品。

选择何种原料及中空吹塑成型方法的依据。随着新高分子材料的发展和实际需要，人们又发现了具有双向取向的挤-拉-吹和注-拉-吹两种更新的中空吹塑成型方法，分别如图 9.1-3 和图 9.1-4 所示。

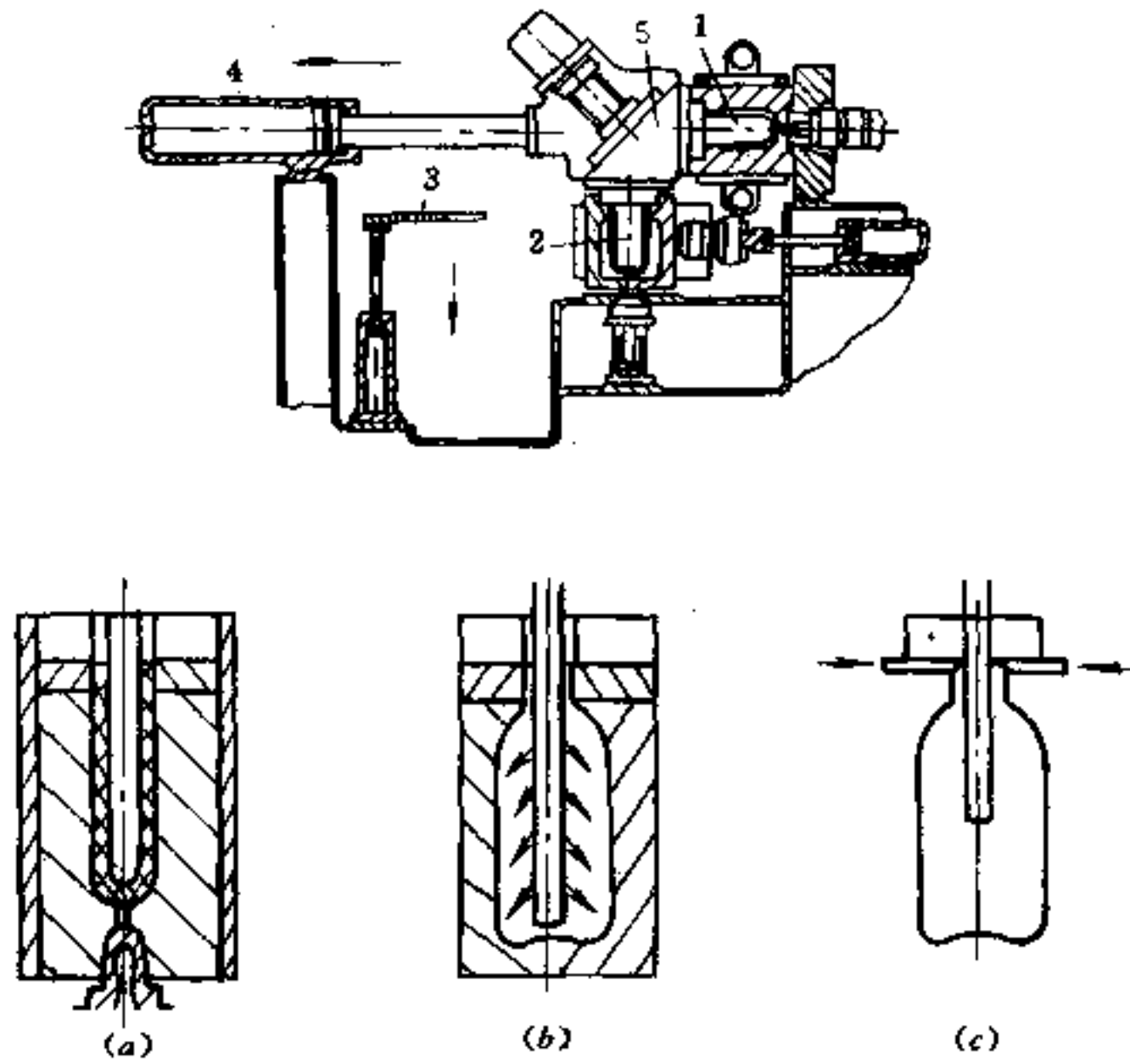


图 9.1-2 三工位注射吹塑中空成型

(a) 型坯注塑；(b) 拉伸吹塑成型；(c) 塑瓶脱落。

1—型坯注塑；2—吹塑成型；3—取出制品；4—移动芯模油缸；5—机构旋转。

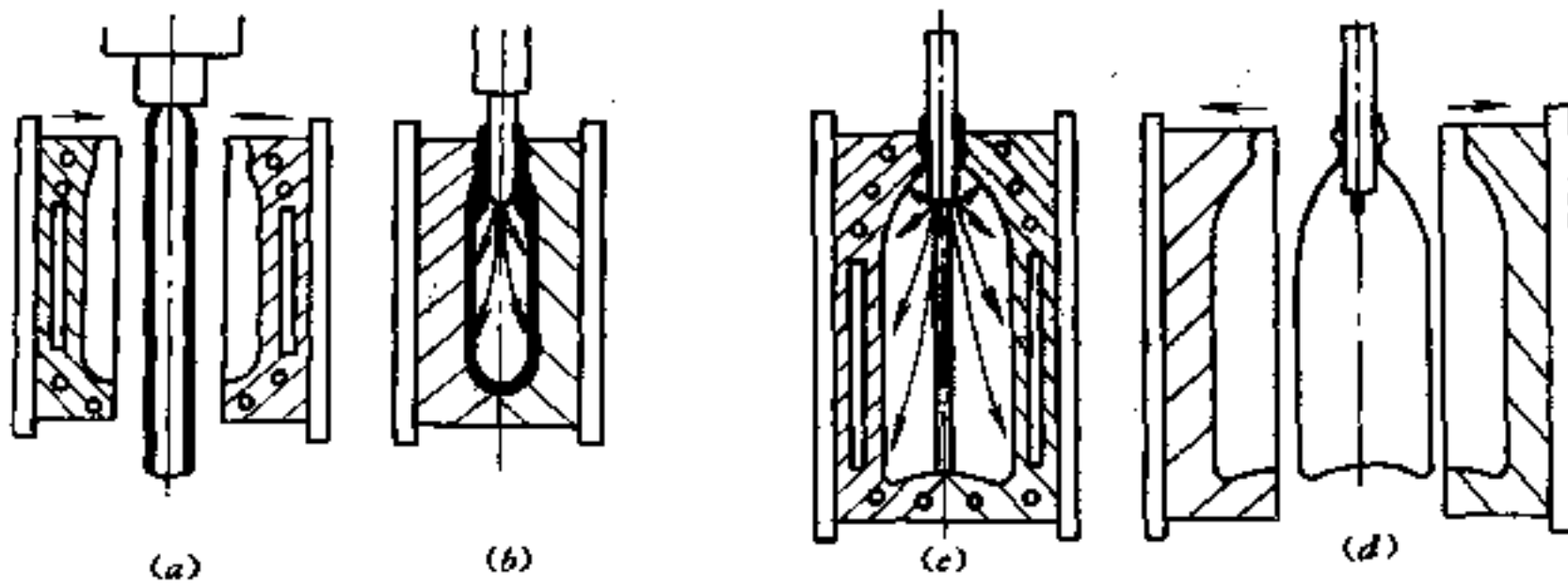


图 9.1-3 挤拉吹中空成型工艺过程

(a) 型坯挤出；(b) 合模熔合型坯底部；(c) 纵拉吹塑成型；(d) 取出制品。

另外的方法是，通过注射或挤出压缩获得冷至室温的型坯或管坯，经加热封口获得型坯，再经加热、吹塑成型，或通过加热、拉伸、吹胀成型制得中空制品。因而这类方法属冷型坯二步或三步法吹塑成型。

此外，为提高中空制品的遮光、绝热、阻隔、阻氧、防渗透等性能，又开发出了多层共挤出吹塑和多层注射吹塑成型技术。多层共挤型坯机头如图 9.1-5 所示。多层注射吹塑成型方法，大多是采用先内层型坯与后外层型坯依次成型方式；也有考虑将内外层型坯同时成型的方法。内外层依次成型中空吹塑制品方式见表 9.1-2。

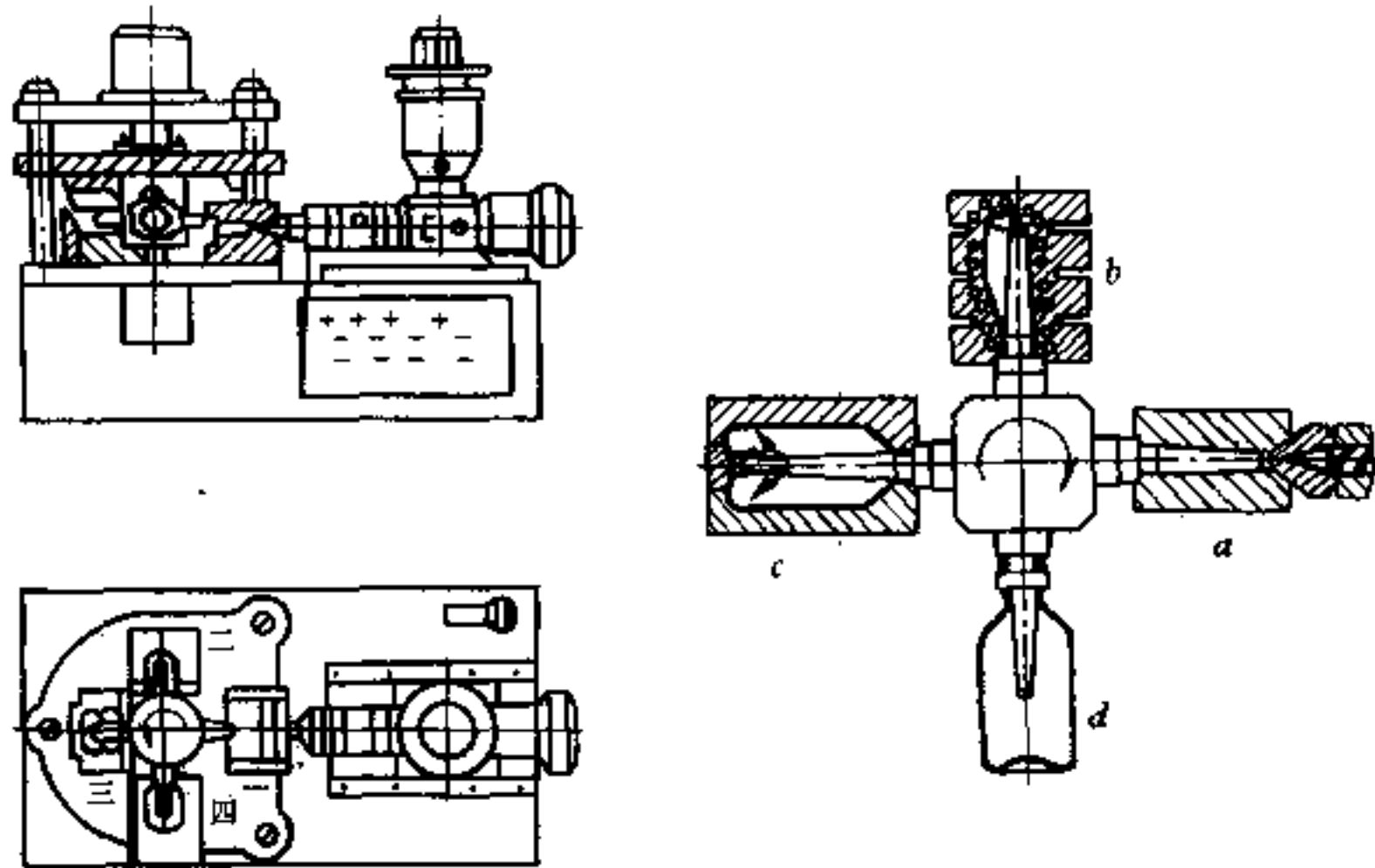


图 9.1-4 注拉吹四工位中空成型工艺过程

a—型坯注射；b—加热预拉伸；c—拉伸吹塑成型；d—开模气压脱模。

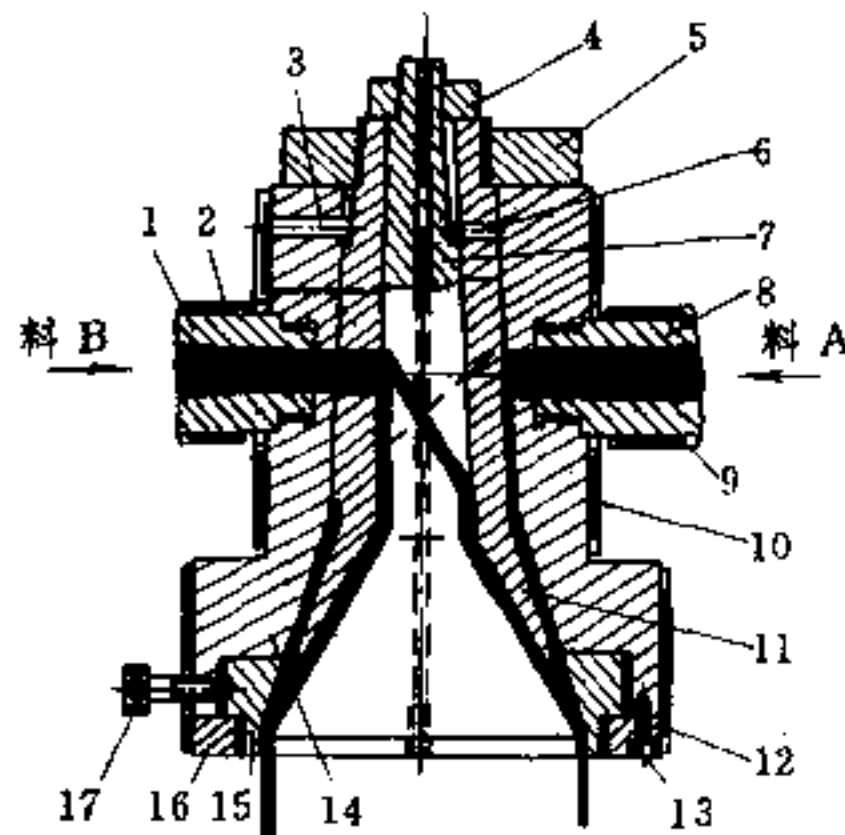


图 9.1-5 多层共挤复合型坯机头

1, 8—机颈；2, 9, 10, 12—加热圈；3, 6—锁钉；4, 5—锁母；7—内芯棒；  
11—外芯棒；13—内六角螺钉；14—模体；15—口模；16—压盘；17—调节螺钉。

表 9.1-2 多层吹塑型方法的比较

成型方式	内 容 简 介
先内层后外层然后吹塑	成型内层型坯后，将其移至另一模腔内，成型外层型坯将注射成型的内层型坯，安装在凸模上成型外层型坯，将内层有底型坯成型后，以环形浇口成型外层型坯
先外层后内层然后吹塑	将前端开有小孔的外层型坯安装在型腔中，通过小孔在外层型坯和型芯之间注入内层型坯，然后吹塑成型
先内层吹塑后外层型坯	将内层型坯吹塑成型的容器，装于用橡胶袋覆盖的吹模芯棒上，用高压空气将橡胶袋吹胀保持内层，在内层和型腔之间注射成型外层，以此复合成型中空制品
先外层吹塑后内层型坯	注射外层型坯，经吹塑成型后，将其作为吹模，再将挤入其中的内层型坯吹塑成型，得复合中空制品



### 9.1.3 中空吹塑制品常用塑料

中空吹塑制品几乎可由所有热塑性塑料制成，如高低密度聚乙烯（HDPE、LDPE）及超高分子量聚乙烯（UHMWPE）、聚丙烯（PP）、尼龙（PA）、结晶型聚苯乙烯（R-235 PS）、ABS、聚碳酸酯（PC）、聚丙烯腈（PAN）、聚 4-甲基戊烯-1（TPX）、聚砜（PSF）、丁腈（NBR）、苯乙烯-丙烯腈（S/AN）、对苯二甲酸乙二醇酯（PET）和氯乙烯树脂（PVC）类塑料。目前使用最多的是 PE、PP、PET 和 PVC 等常用塑料。

#### 一、中空制品用塑料应具备的特性

(1) 气密好 具有良好的阻氧和阻湿性，才能符合含有二氧化碳、氮气等气体的饮料、啤酒、油类产品的包装使用；

(2) 抗冲击性好 要求中空吹塑制品应具有较高的冲击韧性，按照日本标准：PE 瓶为 1200mm/次，PET 瓶为 1600mm/20 次，PVC 瓶为 1500mm/5 次；

(3) 耐药品性好 大型中空容器用于化工药品包装呈上升趋势。因此，用于这类制品的塑料应具有好的耐化学药品的特殊性能。如容器内装有两种以上的混合物，并添加了香料等时，使用前必须对内装物进行测定试验；

(4) 耐环境应力开裂性好 有些中空容器，由于长时间与表面活性剂类溶液接触，在应力作用下制品会产生龟裂现象。因此，凡盛装这类溶液时，应选择树脂分子量较大或密度较低的塑料，其耐环境应力开裂性就较好；

(5) 抗静电性好 一般说来塑料均有静电效应，易于吸附灰尘。所以在加工时，应采取适宜的抗静电剂混于其中，以提高其抗静电效果；

(6) 高低温性能好 我国地域辽阔，南北温差极大。中空制品选材应满足使用环境气温变化大的要求，防止低温变脆和高气温下变软；

(7) 透明性与抗紫外线 中空塑料容器作为饮料、汽水、啤酒等类商品包装时，应具有玻璃瓶样的可视性或透明性。为保持内装物鲜美，中空塑料瓶应有对紫外线的抵抗能力；

(8) 良好的可加工性 中空制品是在特定加工温度范围（高弹态区）内，借助空气压力在模腔内吹塑、膨胀拉伸、冷却定型而成。因此，其材料加工温度范围宽、具有优良的成型加工性。

#### 二、中空制品常用塑料

##### 1. 聚乙烯

聚乙烯是质轻、无毒、有优良的绝缘性能、耐化学腐蚀、耐低温的热塑性聚合物。高密度聚乙烯是最大量用于吹塑中空塑料瓶的塑料，其产品总量占市场销售聚乙烯总量的 80% 以上，且价格合适。因此，在中空制品工业中处于首要地位。高密度聚乙烯随分子密度增加，其刚性、屈服强度、硬度、耐蠕变性、软化温度和光泽性有所提高；而且，韧性、耐应力开裂性和渗透性随分子密度上升而下降。聚乙烯熔体流动指数与分子量大小有关，随着熔体流动指数的降低，渗透性、光泽性下降，但强度、硬度、蠕变、软化温度和耐油性提高。

聚乙烯耐绝大多数的酸和盐，但不耐强氧化剂，而低密度聚乙烯尤其容易受大多数溶剂和烃类侵蚀。其渗透性能见表 9.1-3。

表 9.1-3 聚乙烯在气液下的渗透量

物质名称		低密度聚乙烯 (0.92)	高密度聚乙烯		测定条件
			(0.95)	(0.96)	
气体渗透量/ ( $10^{-7}$ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ )	氧气	4.5	2.5	1.5	在 25℃ 下气体 渗透率测定
	氮气		0.4		
	CO <sub>2</sub>	20.0	9.3		
水汽渗透量/ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) (24h 通过 0.025mm 厚薄膜)		16.5	6.7	4.8	在 38℃ 及 90% 湿度
液体渗透量/ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) (24h 通过 0.025mm 厚薄膜)	丙酮	7.4		0.8	同上
	四氯化碳	80.0		52.0	
	醋酸乙烯	31.0		3.3	
	乙醇	0.9		0.1	
	水杨酸甲酯	7.0		0.9	
	甲苯	400.0		60.0	

## 2. 聚丙烯

聚丙烯为白色蜡状、外观似 PE，但比 PE 更透明更轻。它的密度仅为 0.90~0.91，其透气性更低，吸水性 < 0.02%，易着火燃烧。它无毒、且化学稳定性好，能耐 80℃ 以下的酸、碱、盐液及多数有机溶剂，在多数溶剂和去污剂、洗涤剂中不发生开裂，仅在某些氯代化合物、芳烃和高沸点脂肪烃作用下，才发生溶胀并轻微地侵蚀其表面；能耐 100℃ 以上的高温消毒，宜作医疗器械及食品、药品包装和日用杂品等。但在低温下带脆性、易老化，在加工和使用中易受光、热和氧的作用，使材料性能下降。所以常须加入必要的稳定剂、抗氧剂和紫外线吸收剂等，以改善其加工和使用性能。

聚丙烯由于是一种结晶性聚合物，加工时在结晶相熔化前几乎没有像聚氯乙烯那样的高弹态区域。在结晶熔化后，熔体强度又骤然下降得很低，所以难以加工成薄壁容器。但是，如果采用拉伸吹塑工艺，则可将聚丙烯加工成性能优良的中空容器。其注-拉-吹加工温度曲线如图 9.1-6 所示。

研究表明，聚丙烯在拉伸取向时，球晶发生形变，组成球晶的片晶之间发生倾斜，晶面滑移和转动，从而形成了新的微丝结构。同时，聚丙烯中原有褶皱链晶片也可部分地

被拉成伸直链晶体。微丝结构的产生或片晶之间伸直链段数量的增加，提高了聚丙烯容器的强度及气密性，且蠕变性能也减小；产品的韧性增加，低温脆性改善，透明性也有所提高。拉伸和抗张强度、延伸率和蠕变性的相互关系见图 9.1-7。聚丙烯取向前后的气密性和浊度见表 9.1-4。体积相同的同种原料，改变加热时间，所得制品的纵横抗强度与伸长率的比值见表 9.1-5。

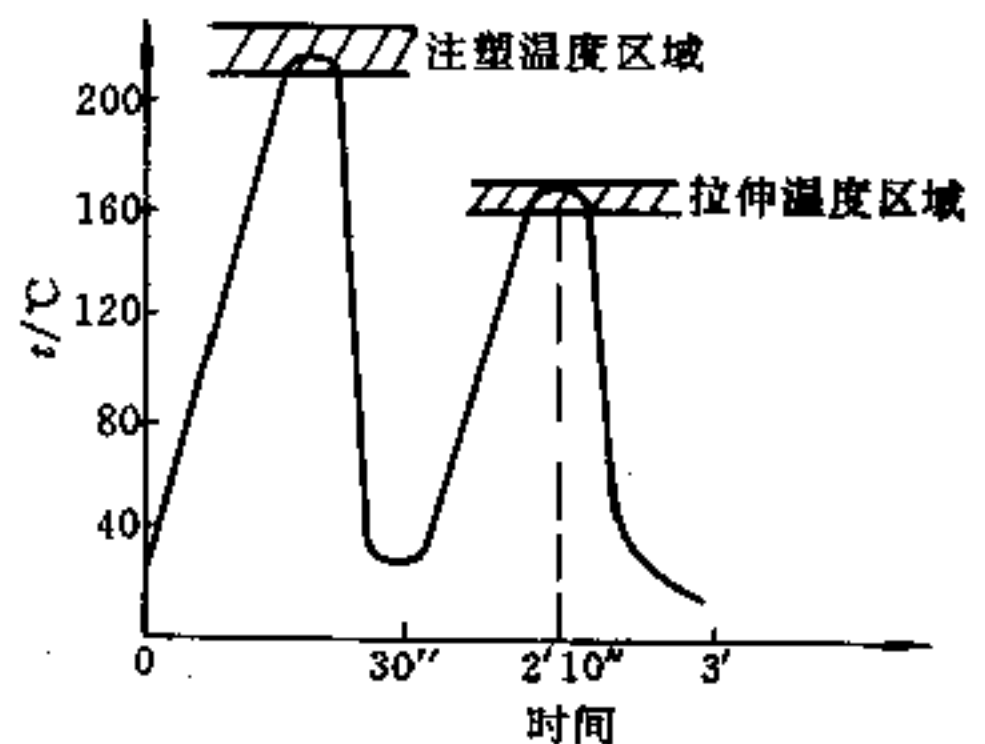


图 9.1-6 聚丙烯注拉吹塑加工温度曲线



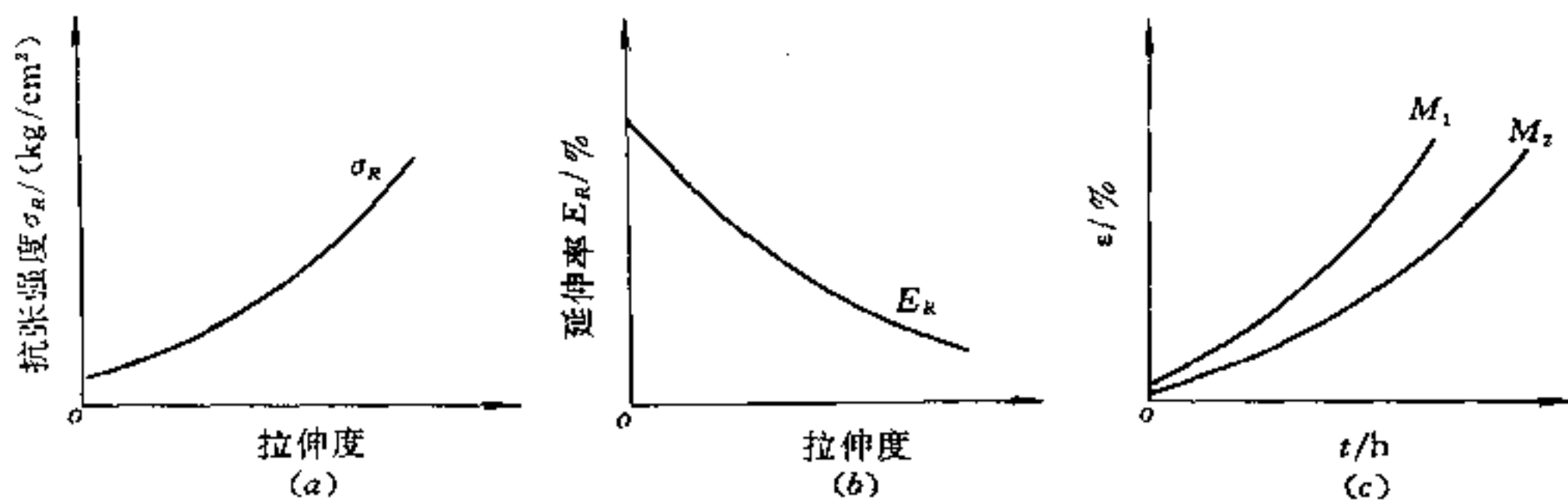


图 9.1-7 拉伸与抗张强度、延伸率和蠕变的关系

表 9.1-4 聚丙烯拉伸前后气密性和浊度比较<sup>①</sup>

测试项目	透 O <sub>2</sub> /(cm <sup>3</sup> ·mm·mm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> ·Pa <sup>-1</sup> )	透 CO <sub>2</sub> /(cm <sup>3</sup> ·mm·mm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> ·Pa <sup>-1</sup> )	透水/(mg·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	浊度/%
拉伸之前	8.0~9.0	30.0~32.0	0.10~0.15	30~70
拉伸取向	3.5~4.5	17.0~18.0	0.04~0.07	10~30

①测定时温度 21℃, 相对湿度 85%

表 9.1-5 1000mL 聚丙烯瓶不同加热时间拉伸性能比较

检测项目		拉伸强度/MPa		伸长率/%	
分组	加热时间/s	纵向	横向	纵向	横向
1	130	71.5	80.4	188	208
	135	71.9	86.0	204	163
	140	61.4	65.2	194	220
	150	45.2	57.0	128	243
2	150	77.5	75.4	925	248
	160	69.3	61.7	119	217
	165	62.3	70.0	120	191
3	110	68.4	85.0	145.5	122.5
	120	65.3	65.7	182.0	179.5

### 3. 聚对苯二甲酸乙二醇酯

它是对苯二甲酸与乙二醇的缩聚产物, 称为聚酯树脂, 简称 PET。聚酯塑料质轻 (相对密度为 1.30~1.38), 透明性好, 抗冲强度高, 无毒, 耐化学腐蚀性好, 吸水率低, 气密性好, 耗能低。聚酯树脂, 通常由无定形区和结晶区两部分组成。如果有球晶存在, 沿拉伸方向会促进结晶的形成。这时所得拉伸材料质地不均匀。因此, PET 拉伸时必须使其结晶度尽可能低, 需从粘流态快速冷却到拉伸温度之下, 快速穿过最易形成结晶态的温度范围, 然后再加热调整到 90~110℃ 进行拉伸吹塑。聚酯塑料瓶拉伸吹塑成型的操作曲线, 如图 9.1-8 所示。

注-拉-吹塑工艺对聚酯树脂的要求较为严格。在生产中须严格控制特性粘度、结晶度、水份及乙醛含量。

(1) 特性粘度 是聚酯树脂分子量的表征量度。特性粘度低, 不仅影响制品强度更重要的是极易产生白化现象。特性粘度与半结晶化时间、与制品透明度的关系, 分别如图 9.1-9 和表 9.1-6 所示。

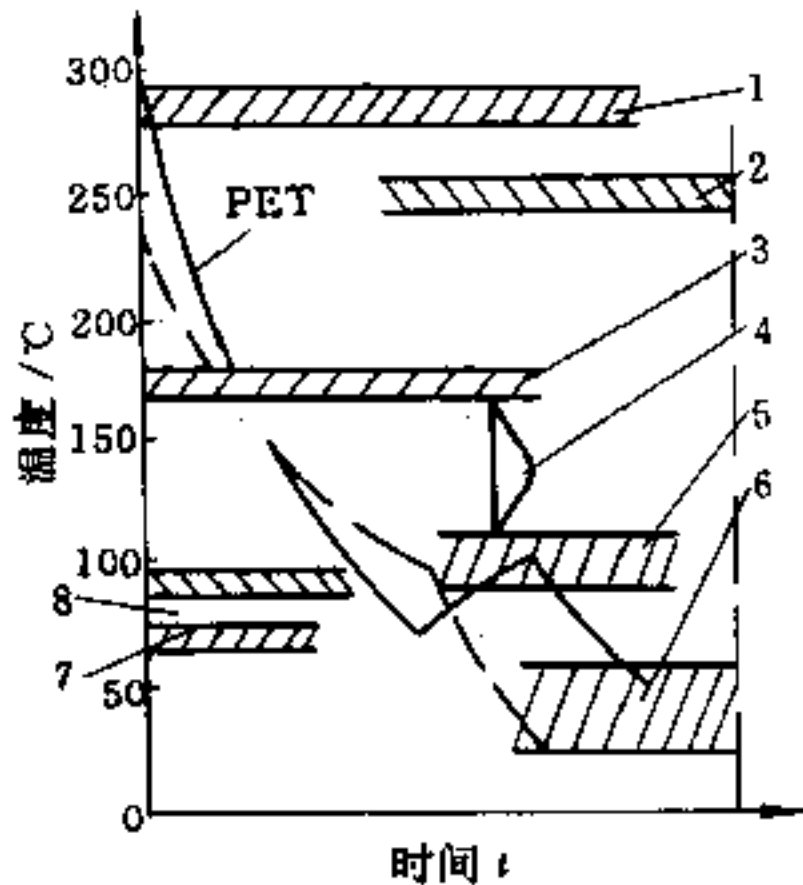


图 9.1-8 聚酯瓶吹塑成型操作曲线

- 1—PET 处于结晶态; 2—结晶熔融区; 3—球晶增大区;  
4—易形成结晶区; 5—拉伸成型区; 6—脱模温度区;  
7—玻璃化温度区; 8—晶核形成最快区。

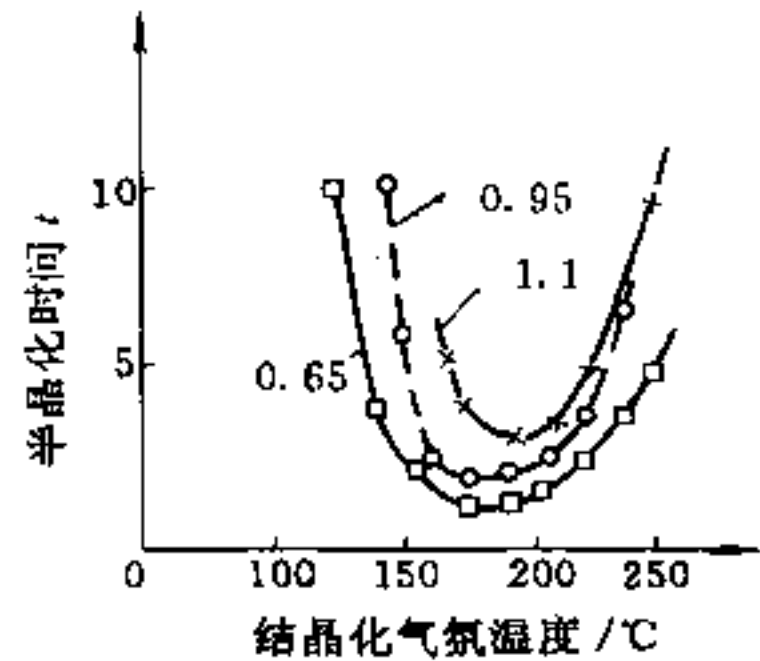


图 9.1-9 特性粘度与结晶速度的关系

表 9.1-6 特性粘度与制品透明度的关系

特性粘度/ $(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	制品壁厚/mm			
	3	4	5	6
0.60	透明	半透明	不透明	不透明
0.70	透明	透明	半透明	不透明
0.85	透明	透明	透明	半透明
1.00	透明	透明	透明	半透明

(2) 结晶度 是影响制品加工性能的关键。因此, PET 拉伸时必须使其结晶度尽可能低, 即速冷之后再加热至  $90 \sim 100^\circ\text{C}$  时, 进行拉伸吹塑成型, 如图 9.1-9 所示。

(3) 水分含量 聚酯水分含量高会产生气泡, 影响制品外观, 还直接关系到树脂中乙醛的含量。乙醛 (AA) 虽对人体健康无害, 但对盛装碳酸饮料的风味有不利影响。一般说来, AA 含量随料筒温度、热流道温度、浇口冲击升温、螺杆转速与背压的提高而上升, 随生产周期的延长而增加; 但随注射压力提高可使 AA 含量降低。这些因素与 AA 含量之间的关系, 如图 9.1-10 至图 9.1-14 所示。

注-拉-吹塑成型 PET 瓶与其他塑料瓶的物理机械性能以及各类溶对其形状变化的影响, 详见表 9.1-7 和表 9.1-8。

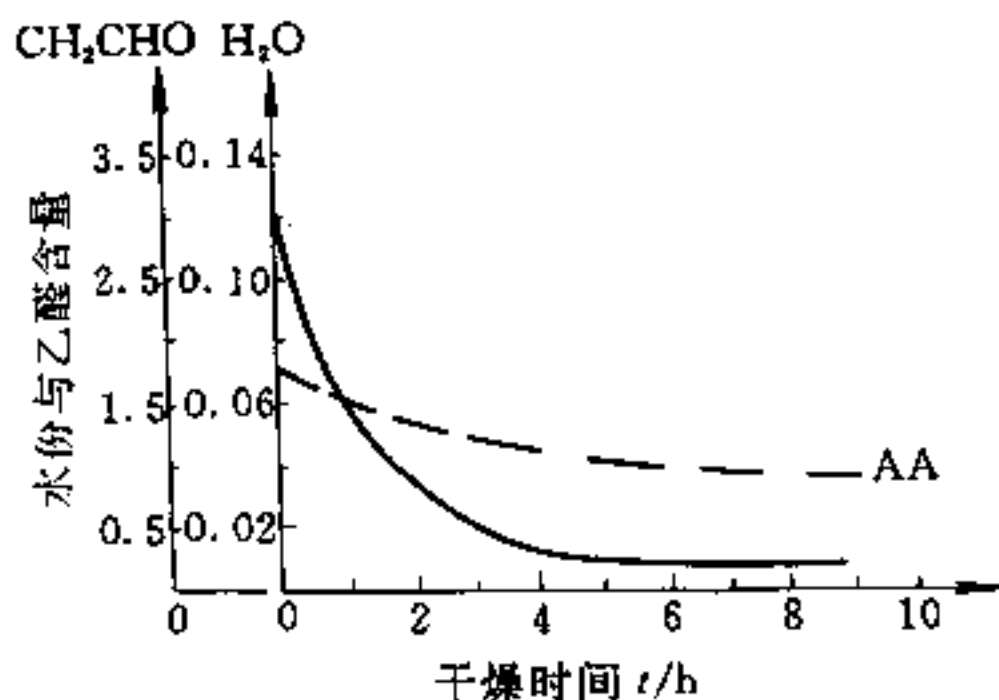


图 9.1-10 水分和乙醛含量与干燥时间的关系  
(干燥温度控制在 182℃ 下恒定)

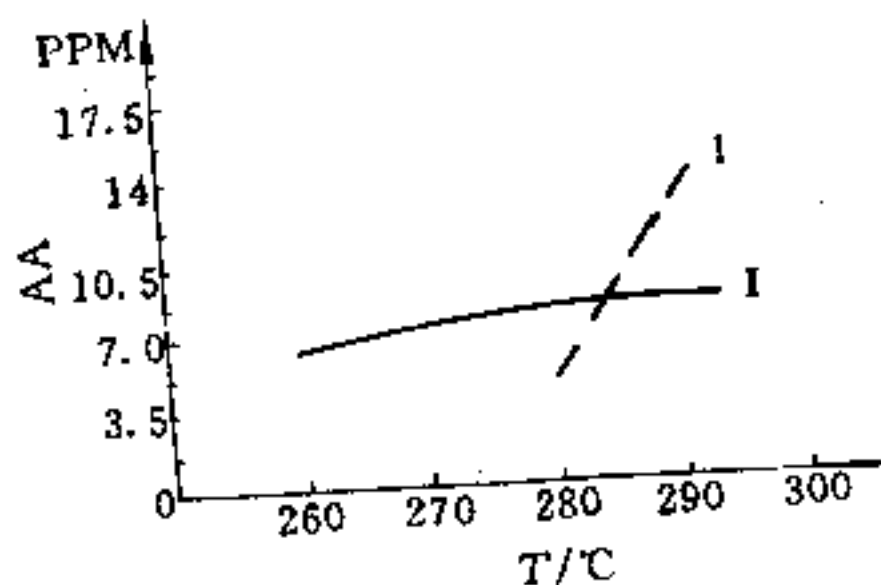


图 9.1-11 料筒、流道温度与  
型坯中 AA 含量的关系

I—料筒设定温度；II—热流道设定温度。

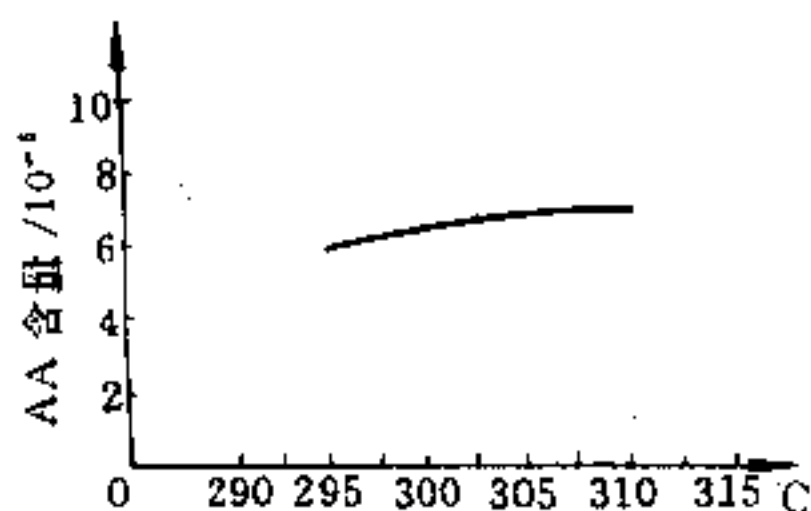


图 9.1-12 浇口温度与型坯中 AA 的关系

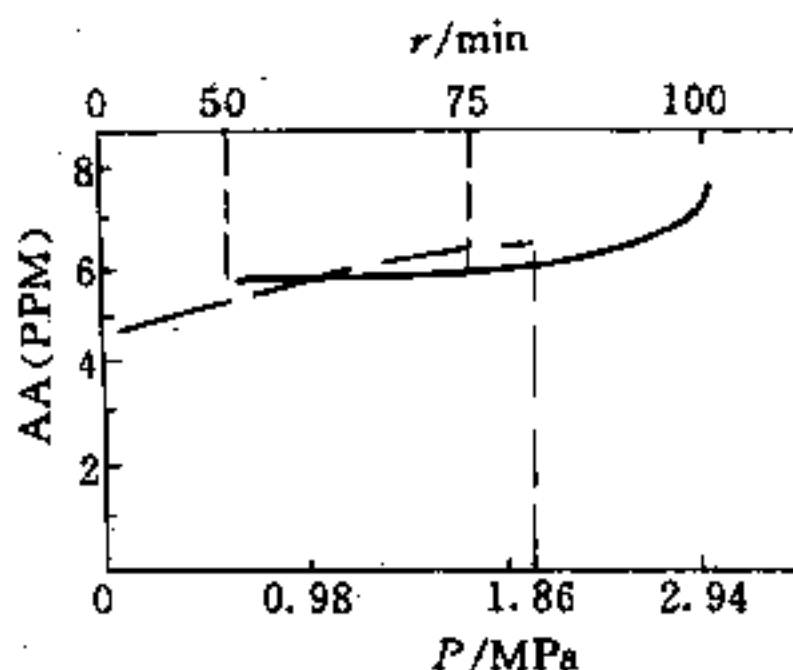


图 9.1-13 螺杆转速、背压与 AA 的关系

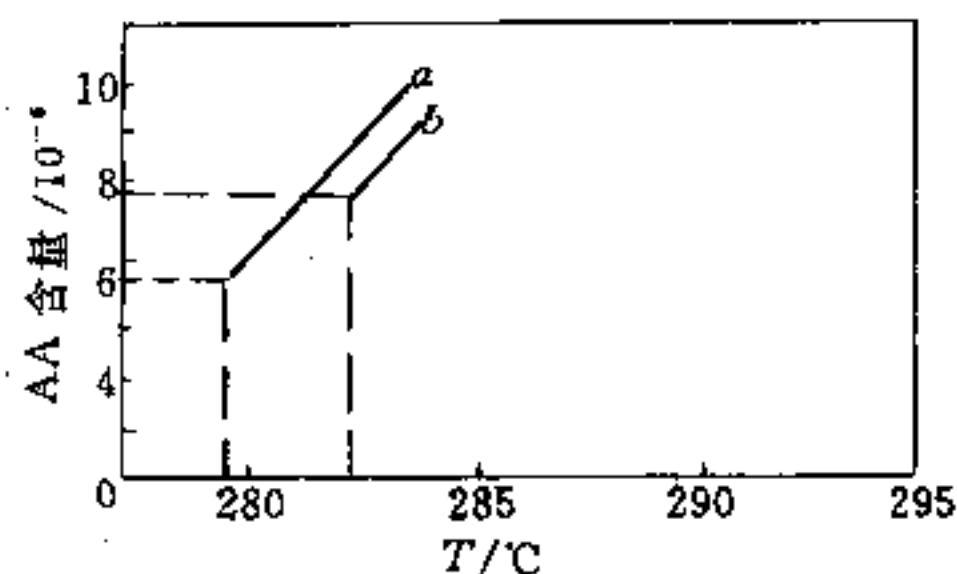


图 9.1-14 注射速度、料筒温度与 AA 的关系

a—注射压力 68MPa, 注射时间 2s, AA 含量小；b—注射压力 34MPa, 注射时间 6s, AA 含量大。

表 9.1-7 日、法推荐 PET 和 PVC 瓶的物理机械性能

国家及树脂 (牌号)	拉伸强度/MPa (纵向/横向)	伸长率/% (纵向/横向)	浊度/%	透光率/%	跌落强度 (m·次 <sup>-1</sup> )	抗 CO <sub>2</sub> 能力
日本 RT523	16.7/14.9	126/125	1.1	90	1.2/10	3月<15%
日本三井 PET	25.9/10.3	48/280	1.2	89	1.6/20	3月<15%
法国公司 PET	—	—	1.2	89	1.8/10	4月<15%
法国公司 PVC	12.2/6.8	120/110	—	—	1.8/5	—
日本推荐 PVC	6.9/8.0	—	—	—	1.5/5	—

表 9.1-8 几种塑料瓶贮存溶液 7 月变化的比较

变化状况	桔 汁				香 油				陈 醋				葡萄酒			
	玻瓶	PET	PVC	PE	玻瓶	PET	PVC	PE	玻瓶	PET	PVC	PE	玻瓶	PET	PVC	PE
外形变化	○	○	○	○	○	□	△	—	○	△	△	△	○	○	○	○
气味变化	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○

注：○—无变化；□—轻微变化；△—较明显变化。

#### 4. 聚氯乙烯

聚氯乙烯是氯乙烯的均聚物，简称 PVC。PVC 属无定形聚合物，但仍有少量（约 5%）结晶度。聚氯乙烯常用于多组份塑料，根据用途的不同，可加入多种不同添加剂，因而它可呈现不同的物理机械性能。PVC 塑料有硬质、半硬质和软质之分。一般视其配方组成不同，可生产出板、管、膜、注射及中空吹塑成型制品。由于配方和加工方法的不同，所制得产品的透明度也各不相同。对此，表 9.1-9 可作为透明中空吹塑瓶的参考配方。表 9.1-10 为注-拉-吹塑料瓶综合性能比较。

表 9.1-9 透明 PVC 中空吹塑瓶参考配方

配方号	PVC 树脂 (S1001)	增塑剂 (DOP)	增强剂 (MBS)	稳定剂 (TVS8831)	润滑剂 (C16-18)	助剂 (PDOP)	补色剂
1	100	10	15	3	1.0	0.5	适量
2	100	2	10	3	0.6	1.0	适量
3	100	—	10	3	0.6	1.0	适量

表 9.1-10 注-拉-吹各种中空塑料瓶性能比较

性能指标	LDPE	HDPE	等规 PP	取向 PP	PET	PVC	PS	PC	PSF	PA	PAN	NBR
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.91	0.95	0.90	0.90	1.35	1.35	1.0	1.2	1.2	1.1	1.1	1.15
收缩率/%	2~5	2~5	2~3	1~2	2~3	0.3	0.4	0.7	0.7	0.5	0.5	—
浊度/%			23	4	1.2	12.5	2				14	
透明性	一般	一般	一般	较好	好	好	好	好	好	好	好	好
抗水性能	低	很低	很低	很低	中	中	高	高	高	中	高	中
抗氧性能	高	高	高	高	低	低	高	中	低	低	低	很低
抗 CO <sub>2</sub>	高	高	中高	中高	很低	低	高	中高	低	低	中	很低
耐酸性能	中高	中高	中高	中高	中高	较高	中高	中	中高	中	低	低
耐碱性能	高	高	高	高	高	很高	中	中高	中高	差	高	中
耐碱性能	很高	很高	高	高	低差	较高	高	低差	高	高	低差	高
耐油性能	低	低	低	低	高	高	中	高	很高	高	高	很低
耐溶剂性	高	高	高	高	高	差低	差	低差	低	高	差	高
耐热性能	中	高	高	高	低差	中差	中	很高	很高	很高	中	差低
耐冷性能	很好	很好	差	一般	好	较好	差	好	很好	好	差	一般
耐紫外光	一般	一般	一般	一般	好	一般	一般	好	好	好	好	一般

(续)

性能指标	LDPE	HDPE	等规 PP	取向 PP	PET	PVC	PS	PC	PSF	PA	PAN	NBR
热变形温度/℃	80~100	100~120	110~125	110~125	50~70	60~65	90~100	125~135	165~185	120~159	80~90	60~65
柔韧性能	低	中	中高	中高	中高	中高	中高	高	高	中高	中高	中
耐冲击性	极好	好	差好	好	极好	中好	差好	极好	极好	极好	差好	差
单个价格	低	低	中	中	中	中	低	很高	很高	很高	中高	高

### 9.1.4 中空吹塑制品的应用

采用塑料中空容器，不仅可完全避免玻璃瓶所固有的缺点，而且还具有造型新颖、美观实用、加工能耗低等一系列优点，见表 9.1-11~表 9.1-13，因而获得了广泛的应用。

表 9.1-11 高密度聚乙烯与玻璃瓶的比较

瓶体材料名称	制品容量 /L	制品质量 /g	设备运转率 /%	全年生产时间 /h	生产 1000 只耗能 / (kW·h·L)
HDPE	1.85	38	85	6000	52
玻璃瓶	2	921	85	8400	220 + 195m 煤气

表 9.1-12 1L 饮料容器制造耗能比较

容器材料及名称	容器质量 /g	生产 1000 只容器所需能耗/KJ		
		材料加工	容器成型	合计耗能
铝罐	61	15600	3458	19058
铁罐	137	6850	4576	11426
玻璃瓶	760		9900	9900
聚酯瓶	52	3797	900	4697

表 9.1-13 塑料瓶与陶瓷罐比较

瓶体材料及名称	瓶体质量 /kg	瓶体容量 /kg	搬 运	堆放高度		破损费 / (元/年)
				空瓶	实瓶	
LDPE, HDPE	2.5	20	1 人容易	多层	2 层	1 年内无
陶瓷罐	13	25	2 人扛抬	5 层	1 层	1000

## 9.2 中空吹塑制品设计

在设计中空吹塑制品时，既要发挥其材料特性，又要符合吹塑成型工艺特点。

### 9.2.1 圆形容器设计

在日常生活或生产中，圆形塑料容器使用最多，约占其他几何形状吹塑容器的

70%以上,如饮料瓶、油桶、化工原料、农药容器等。圆形容器用料省,模具制造容易,塑料型坯壁厚易均匀,效率高。但比方形容器所占运输面积大,利用率不高。图9.2-1为典型圆形中空容器的设计。

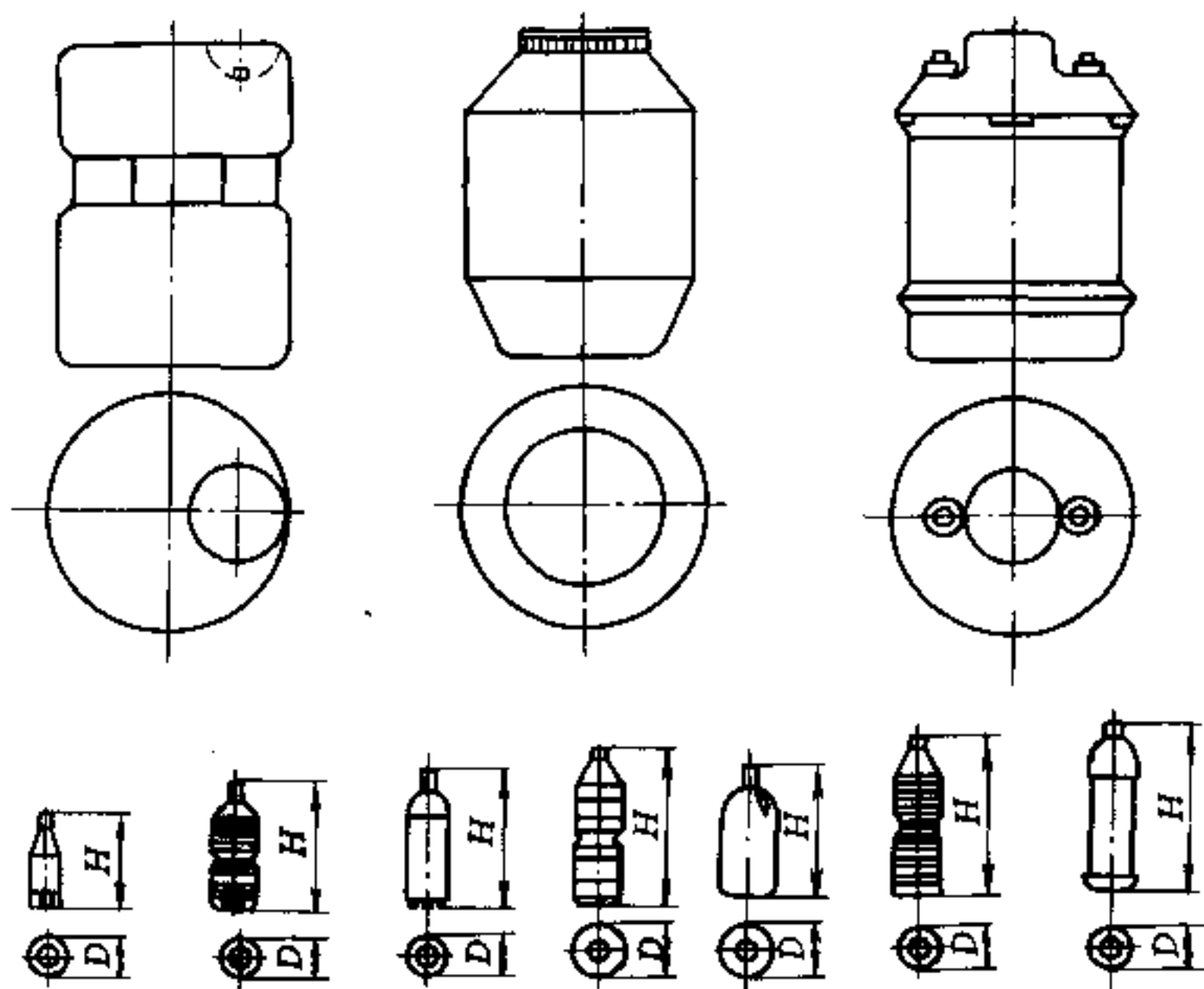


图9.2-1 典型中空圆形容器设计

### 9.2.2 方形容器设计

方形容器有长方形和正方形两种。其外形优点是支承面大、存放稳定、运输包装方便,能充分利用汽车或火车等运输工具的有效面积,且堆放较圆形容器容易。缺点是强度不如圆形容器承受内力大,易向外膨胀或破裂。模具加工稍困难,且型坯设计和控制较严,容器壁厚偏差大,拐角处壁厚小于其他部位,强度明显下降。但它仍获得了广泛应用,其典型设计如图9.2-2所示。

### 9.2.3 椭圆形容器设计

它是圆形和方形容器的巧妙结合体,综合了两者的优点,使其在强度和形变两方面均具良好力学性能。具备这类容器的结构设计颇多,常用作日用品、化妆品包容器,其外形设计如图9.2-3所示。

### 9.2.4 异形容器设计

形状无规则的中空吹制品,如各类玩具、仿真动物、模特儿或自然界图像制品等,简称异形容器。异形容器大多不受外或内力,故要求不十分严格。但一般说来仍不要太偏离型坯中心,或极端脱离型坯的基本形状,也不宜过于形成尖角,否则会给成型工艺带来困难,或者得不到理想的合格制品。

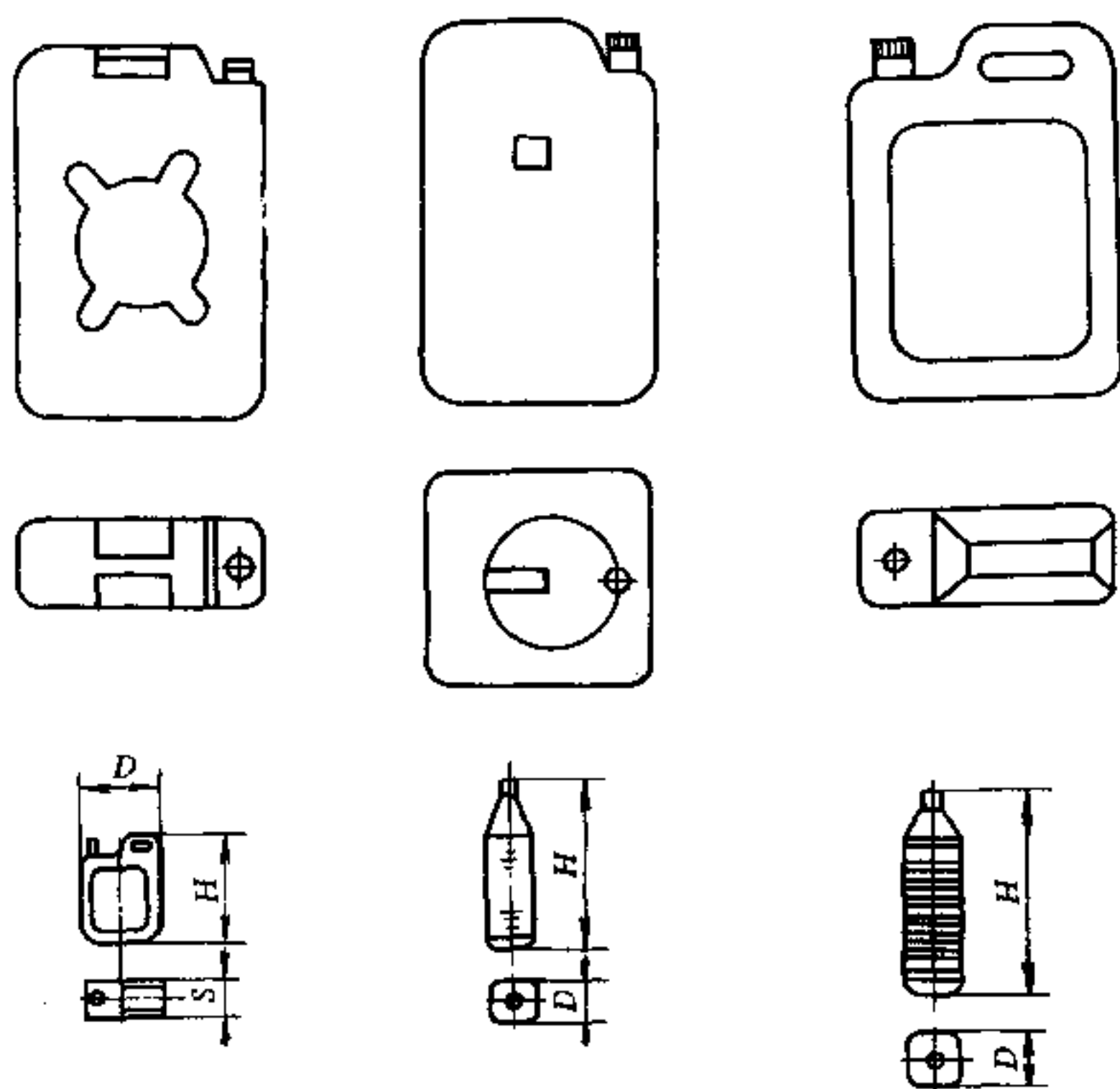


图 9.2-2 典型中空方形容器设计

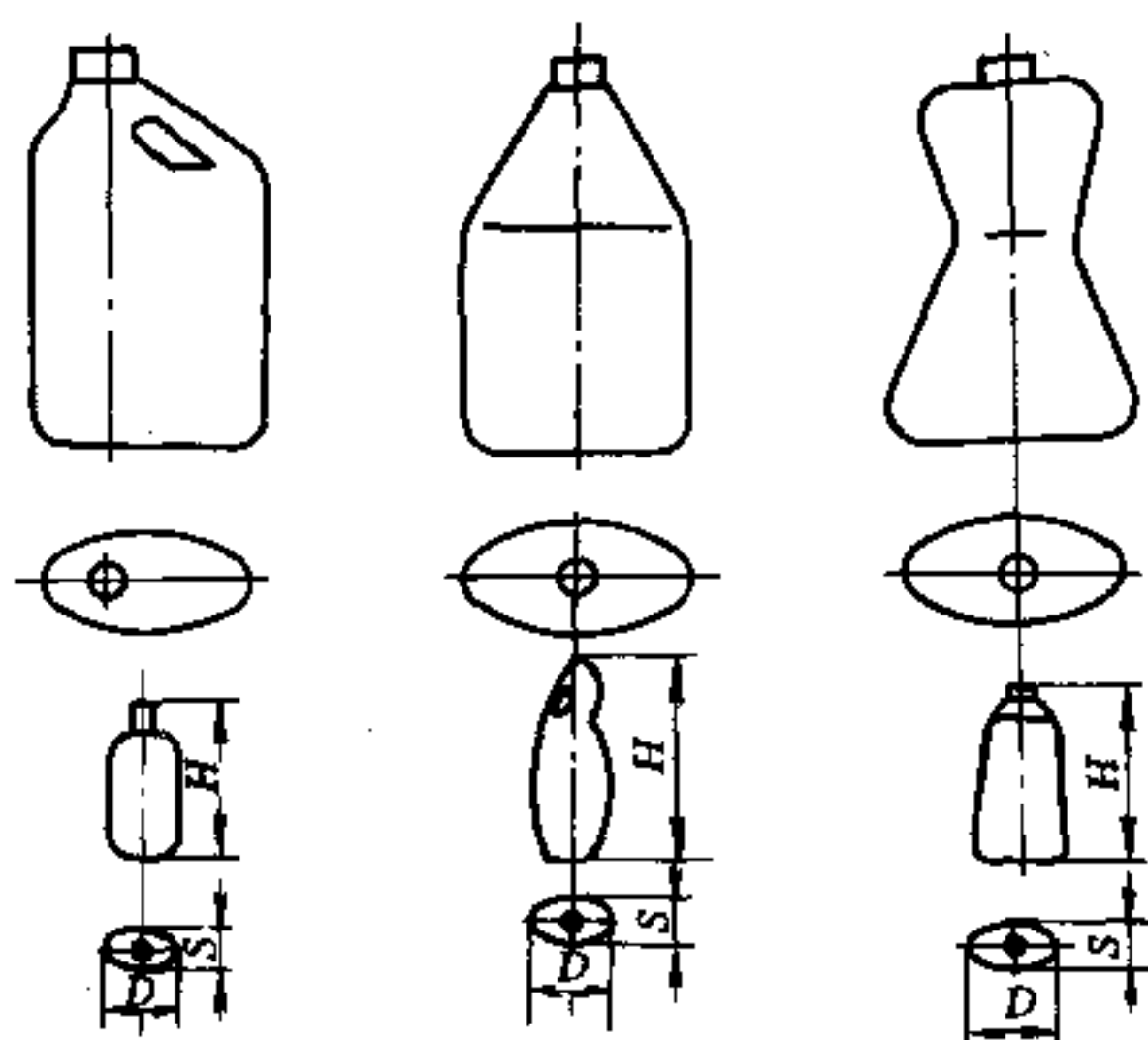


图 9.2-3 典型中空椭圆形容器设计

### 9.2.5 垂直载荷强度考虑

中空吹塑容器必须经得住垂直载荷的考验。首先必须能耐加料口和压盖机构的螺旋压力，其次要经得起包装桶堆叠的承压力。因此，提高中空吹塑容器的垂直强度，是非常重要的考虑。



(1) 一般中空塑料瓶的潜在损坏, 是瓶颈肩部的倾角, 如图 9.2-4 (a) 所示。如用 HDPE 塑料制得吹塑瓶, 当肩部长度的 13mm 时, 倾角  $\alpha$  取  $12^\circ$  为宜; 当肩部长度的超过 50mm 时, 倾角至少要大于  $30^\circ$  方可。而当瓶颈偏心时, 瓶体的肩部应设计成拱形或弧形, 以防瓶体装填溶液时发生倾斜, 如图 9.2-4 (b) 所示。

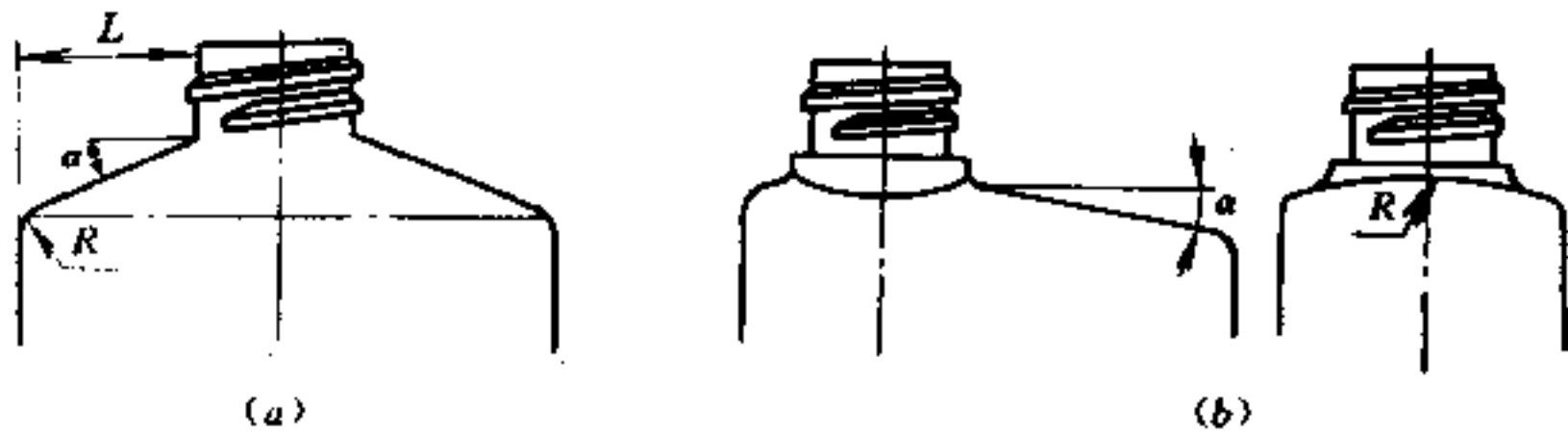


图 9.2-4 中空瓶颈肩部设计

(a) 瓶颈肩部倾角设计; (b) 偏位瓶肩部设计。

(2) 在瓶体上部设有瓦楞形或折叠形样时, 会降低瓶体的垂直载荷强度。因此设计时, 应注意波纹折叠或瓦楞形的方位、尺寸大小和间隔距离, 图 9.2-5 为不良方位设计。

(3) 中空瓶体中部, 一般为文字或图案商标区域。图案凸凹深浅应适当, 它对提高瓶体刚性有好处。若设计不当, 会给瓶子使用造成应力开裂的危险, 此种情况如图 9.2-6 所示。

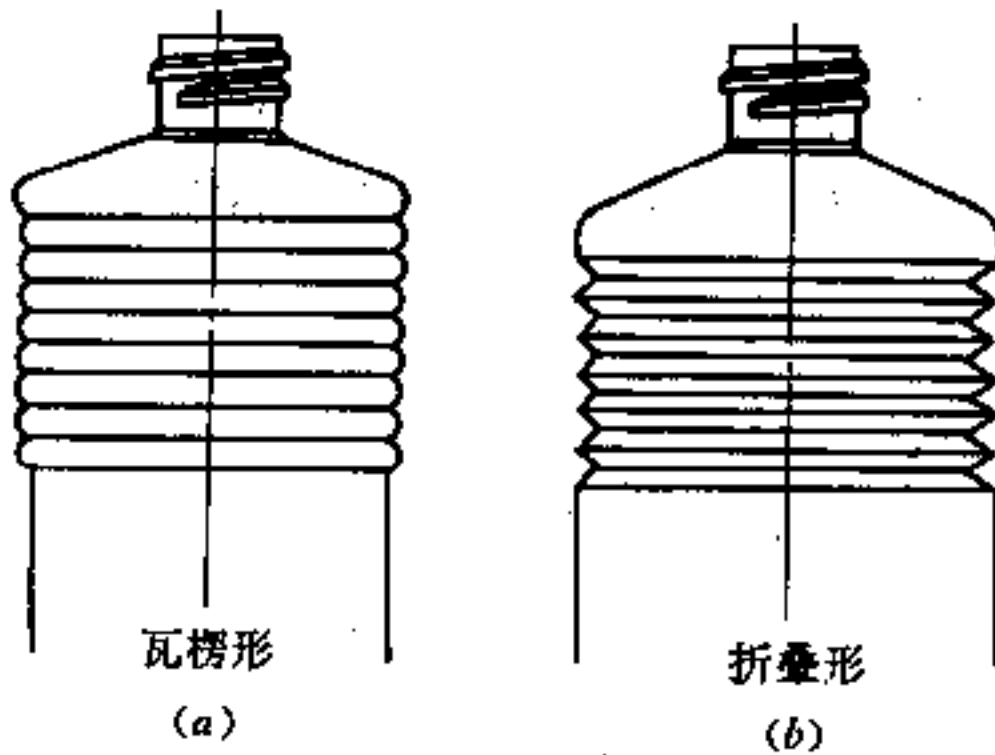


图 9.2-5 瓦楞和波纹折叠方位不良设计

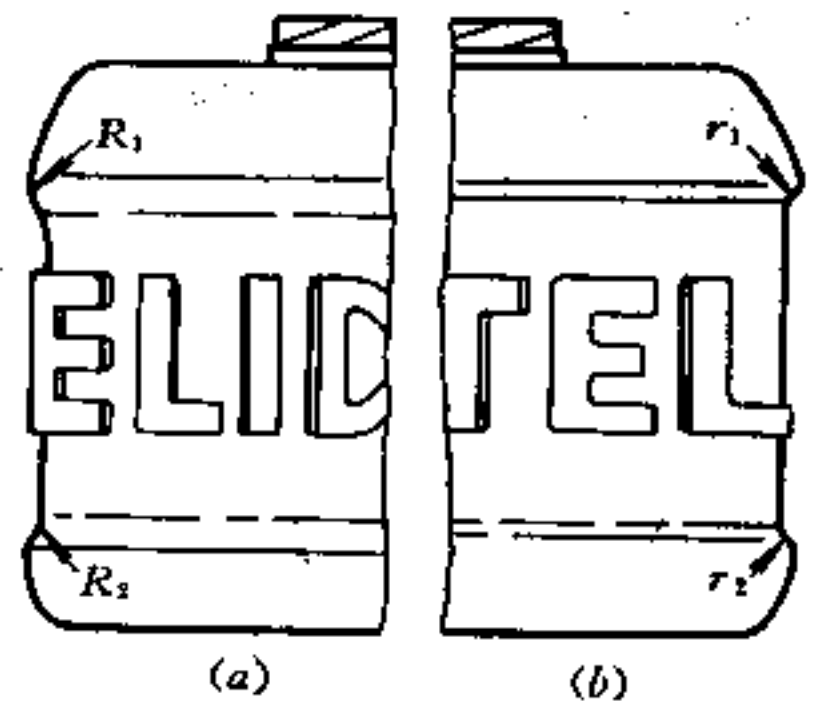


图 9.2-6 商标区过渡设计

(a) 渐变过渡强度好; (b) 突变过渡易引起应力开裂。

(4) 容器底部转角处, 应设计成有较大圆弧过渡, 才能均匀地传递垂直载荷, 以确保瓶体不易发生倾斜和变形, 如图 9.2-7 所示。

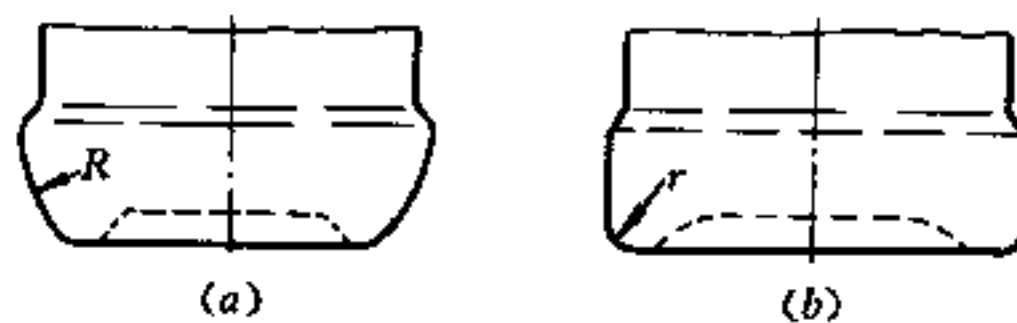


图 9.2-7 容器瓶底外形比较

(a) 合理瓶底外形; (b) 不合理瓶外形。



### 9.2.6 圆角与瓶底内凹设计

中空吹塑容器侧壁与底部的联接，壁与把手的联接，均应采用圆弧过渡。在容器肩部或瓶底角隅处，应设计成球面过渡。过渡圆弧与球面半径，应随容器使用要求和形状而异。圆弧或球面半径越大，制品壁厚越均匀，如图 9.2-8 所示。

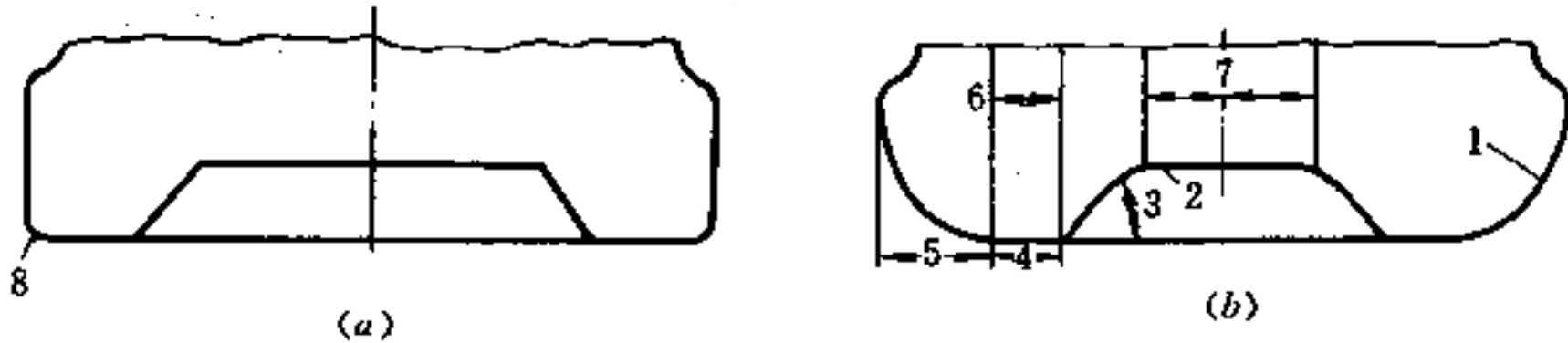


图 9.2-8 瓶底圆角特征设计比较

(a) 不合理设计；(b) 合理设计。

1—大圆弧边缘过渡；2—较短底部内凹；3—受力倾角变小；4—平直部分减小；  
5—拐角部位增大；6—可减小部位；7—易破损部位减小；8—非球面过渡。

#### 1. 圆角确定

在不妨碍造型美观，不影响强度条件下，也可将圆角设计得很小，如图 9.2-9 所示。当设计肩宽为 10~20mm 的瓶体时，肩部斜度  $12^\circ \sim 15^\circ$ ；肩宽为 50~60mm 的瓶体时，其斜度可大于  $30^\circ$ ，此时圆角取小值。

#### 2. 标准圆底瓶

在图 9.2-10 所示的标准瓶底设计中，以圆形内凹底最为有效的耐破裂结构，图 (a) 为增加了成本、另有底座的设计，图 (b) 为改进后的花瓣状或球形瓶底设计，图 (c) 为香槟酒或啤酒瓶的内凹底形状设计。

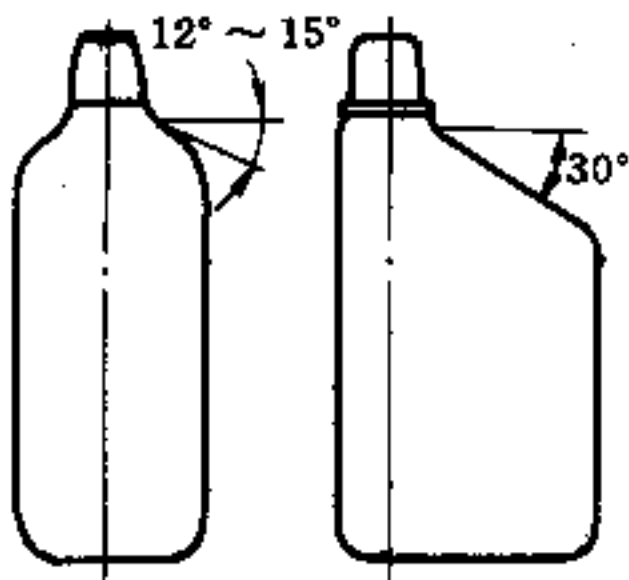


图 9.2-9 瓶体肩部倾斜与圆角造型方法

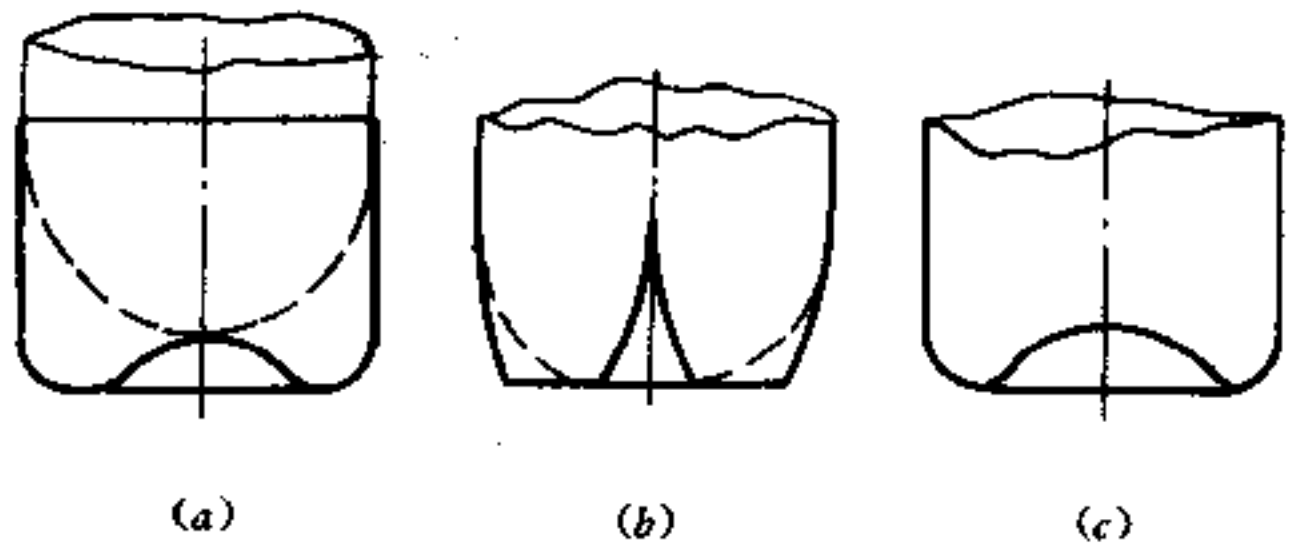


图 9.2-10 标准瓶底设计

(a) 圆球形瓶底；(b) 花瓣形瓶底；(c) 内凹形瓶底。

### 9.2.7 容器刚性设计

如图 9.2-11 所示，商标区上的沟槽水平方向的锯齿和各种造型花纹图案，均可提高容器侧壁刚性，但必须经过深思进行巧妙设计，方可得体。

### 9.2.8 瓶口螺纹设计

中空容器瓶口的螺纹设计，多采用梯形或半圆形截面螺纹。根据中空制品的使用要

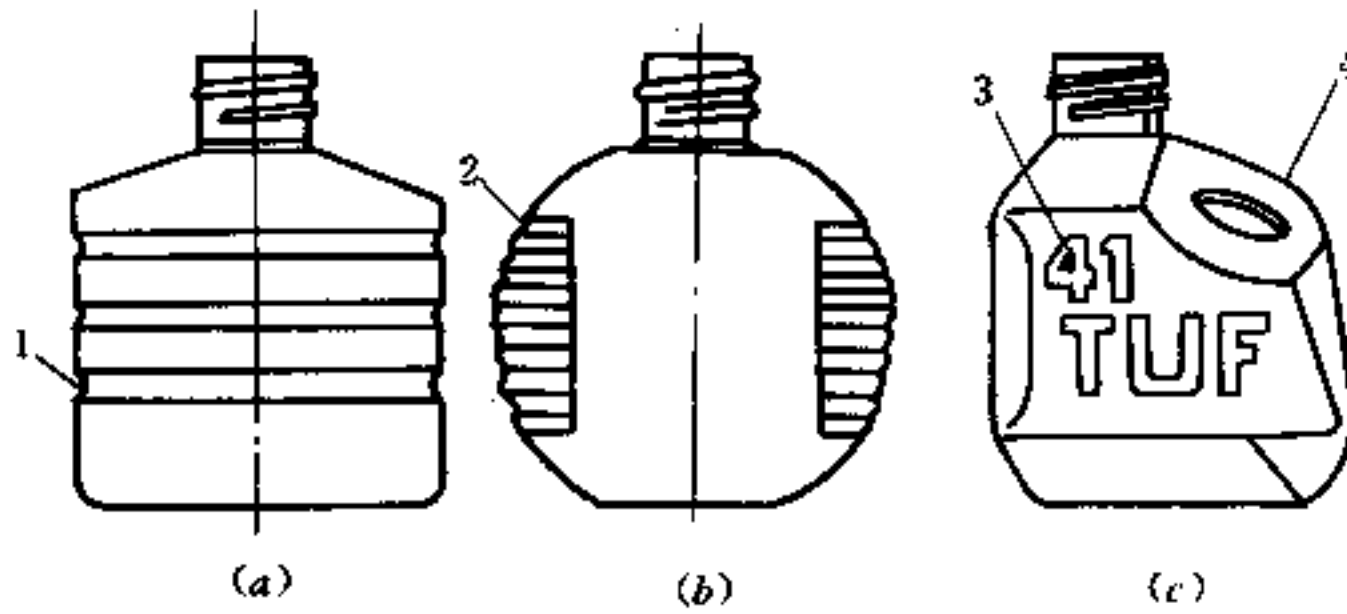


图 9.2-11 巧妙设计瓶体外形以提高其刚性

(a) 周向沟槽可提高环向强度；(b) 水平齿形外凸纹可增加瓶体挤压强度；

(c) 图案或花纹可增加瓶体使用刚强度。

1—周向沟槽；2—水平锯齿形花纹；3—花纹和图案装饰；4—把手。

求，瓶口螺纹可设计成连续螺纹、间断螺纹或卡头螺纹，如图 9.2-12 所示。也可设计成如图 9.2-13 所示的爱迪生螺纹，螺牙为多圆螺纹。这种螺纹旋紧或放松都很容易，定位时螺纹根部产生应力最小。另一种是灯头式螺纹，在中空吹塑瓶口上也有应用，其规格有 1 圈、2 圈和  $3\frac{3}{4}$  圈的螺纹牙，如图 9.2-14 所示。

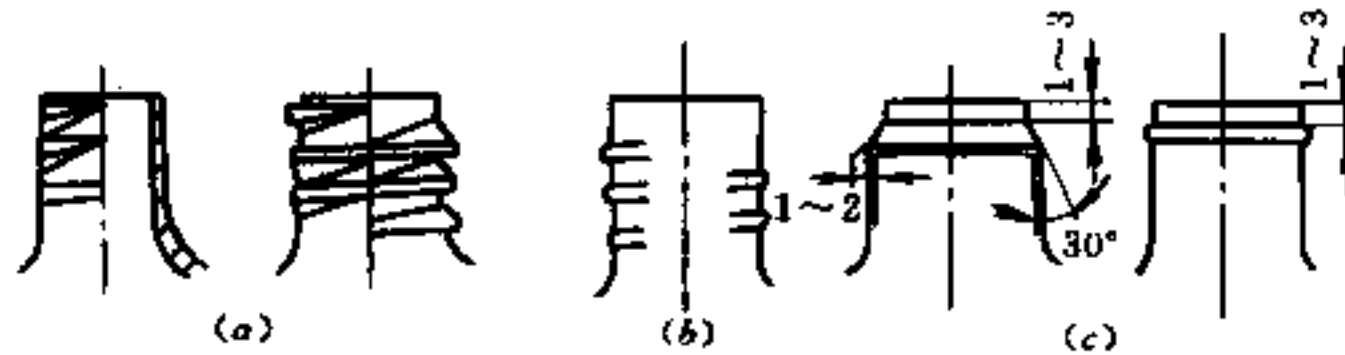


图 9.2-12 瓶口螺纹形状

(a) 连续螺纹；(b) 间断螺纹；(c) 卡头螺纹。

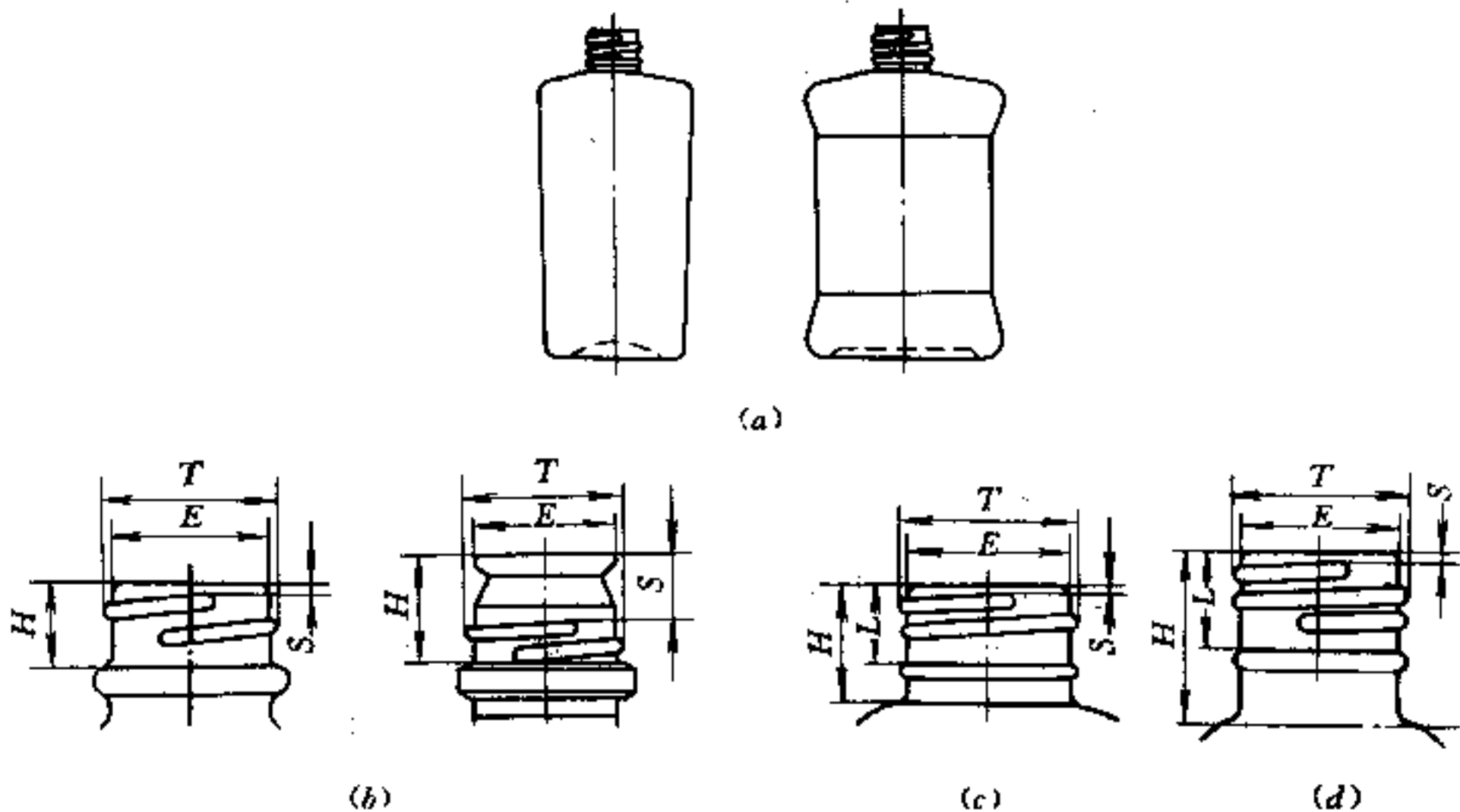


图 9.2-13 爱迪生螺纹

(a) 中空瓶；(b) 单圈螺纹牙；(c) 1.5 圈螺纹牙；(d) 2 圈螺纹牙。

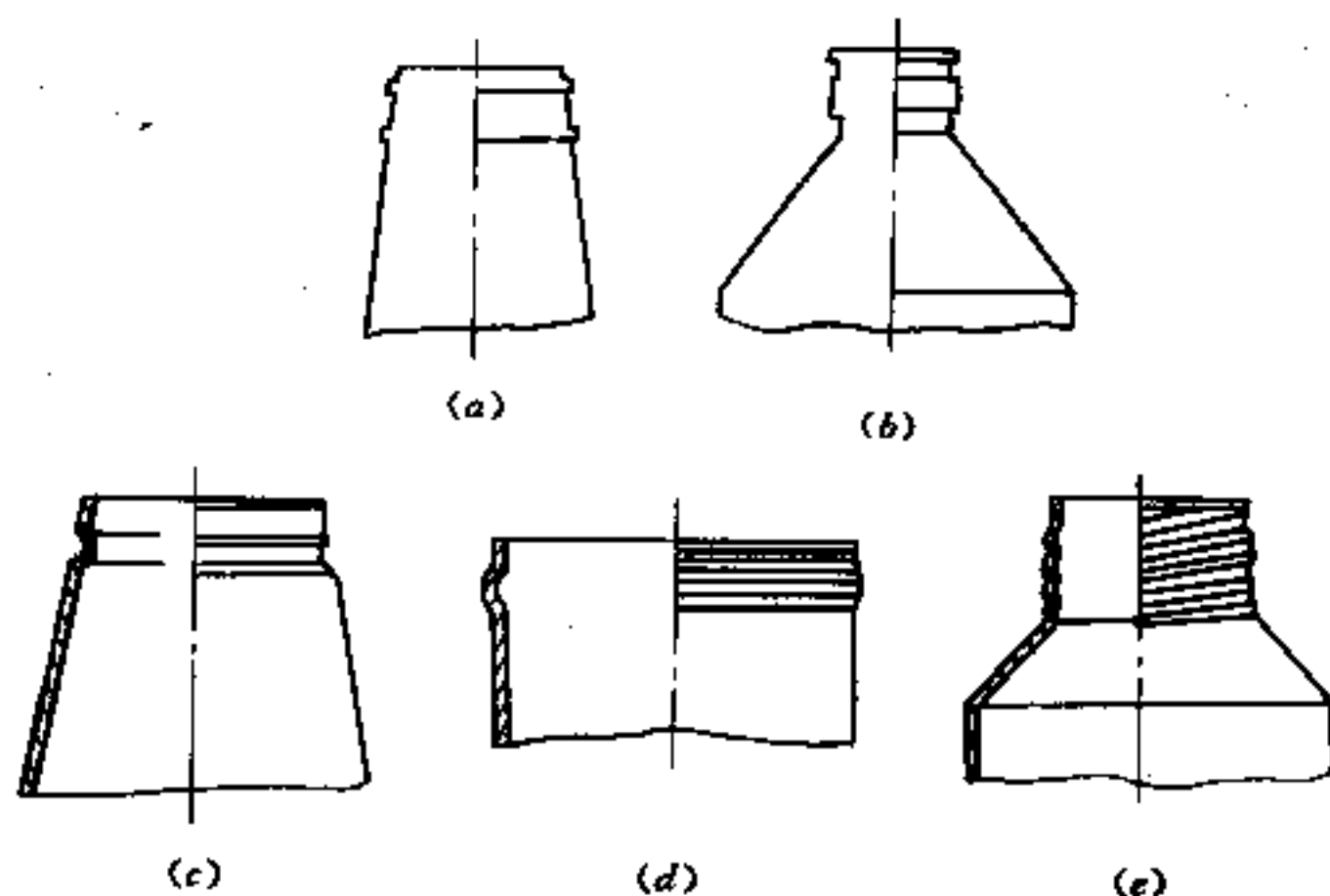


图 9.2-14 螺纹及瓶口设计

(a) 压盖式标准瓶口；(b) 快速闭合标准瓶口；(c) 宽口内缘式瓶口；  
(d) 宽口外缘式瓶口；(e) 螺旋终止式瓶口。

### 9.2.9 嵌件设计

在中空吹塑制品中，常有用注塑件嵌入其中的情况，如图 9.2-15 所示的瓶口嵌件、把手嵌件等。这些嵌件的螺纹精度一般较高，且密封性要好。由于采用分离制作，可减少模复杂性，降低生产成本，缩短模具加工时间，并可提高吹塑制品质量及生产效率。嵌件材料以金属和塑料为主，其中大多数为 HDPE 注射成型螺纹插入件。在插入瓶口螺纹、把手等嵌件的相互部位时，大多以成型材料本身热收缩来进行联接，所以较为牢固结实可靠。

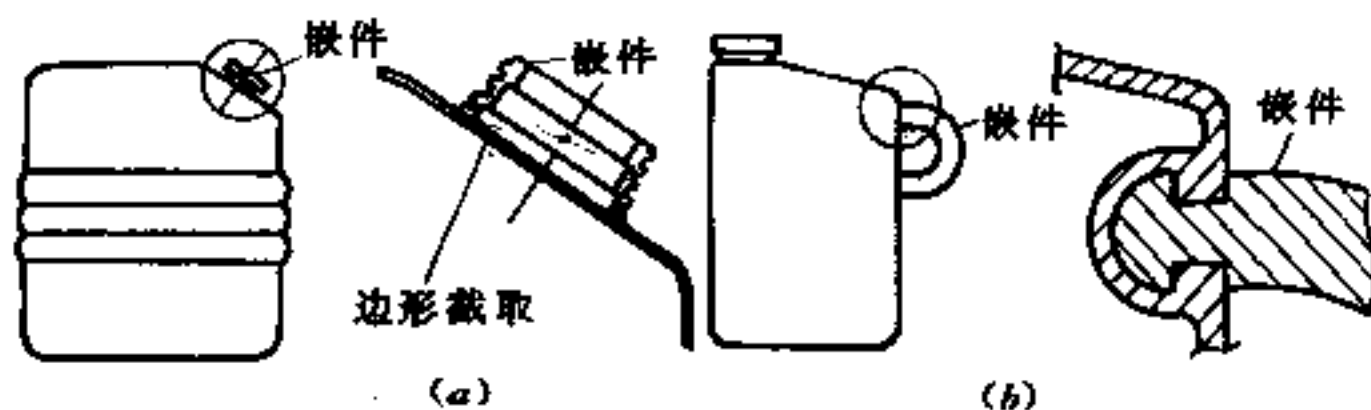


图 9.2-15 中空制品的嵌件实例

(a) 瓶口螺纹嵌件；(b) 把手嵌件。

### 9.2.10 按加工特性设计

一般来讲，成型收缩率对于通用中空瓶并无多大影响，而对于医用、化工等有刻度要求的计量容器和瓶口有螺纹的制品来讲，收缩率就显得特别重要。它会影响计量的准确性与瓶口的密封性。中空吹塑成型制品收缩率具有明显的方向性，以 PE 为例，横向收缩率较纵向小 10%，对瓶颈断面厚的部位，瓶颈长度方向比径向收缩大 25%~50%。

中空吹塑制品的壁厚是不均匀的，用设计常用平均壁厚和最低壁厚来限制。壁厚不均匀主要由制品外观形状与型坯口模设计不协调所致。图 9.2-16 为挤出制得的洗发精容器的横截面，壁厚比率最大达 10:1，平均比率为 4:1，壁厚不可能完全均匀。大型容

器的理想平均壁厚为 3~4mm，最小壁厚为 1.4mm（为平均壁的 40%）。为减少壁厚不均匀性，型坯截面形状应设计成如图 9.2-17 所示的制品形状。另外，采用如图 9.2-18 所示可变截面机头，可获得十分满意的效果。

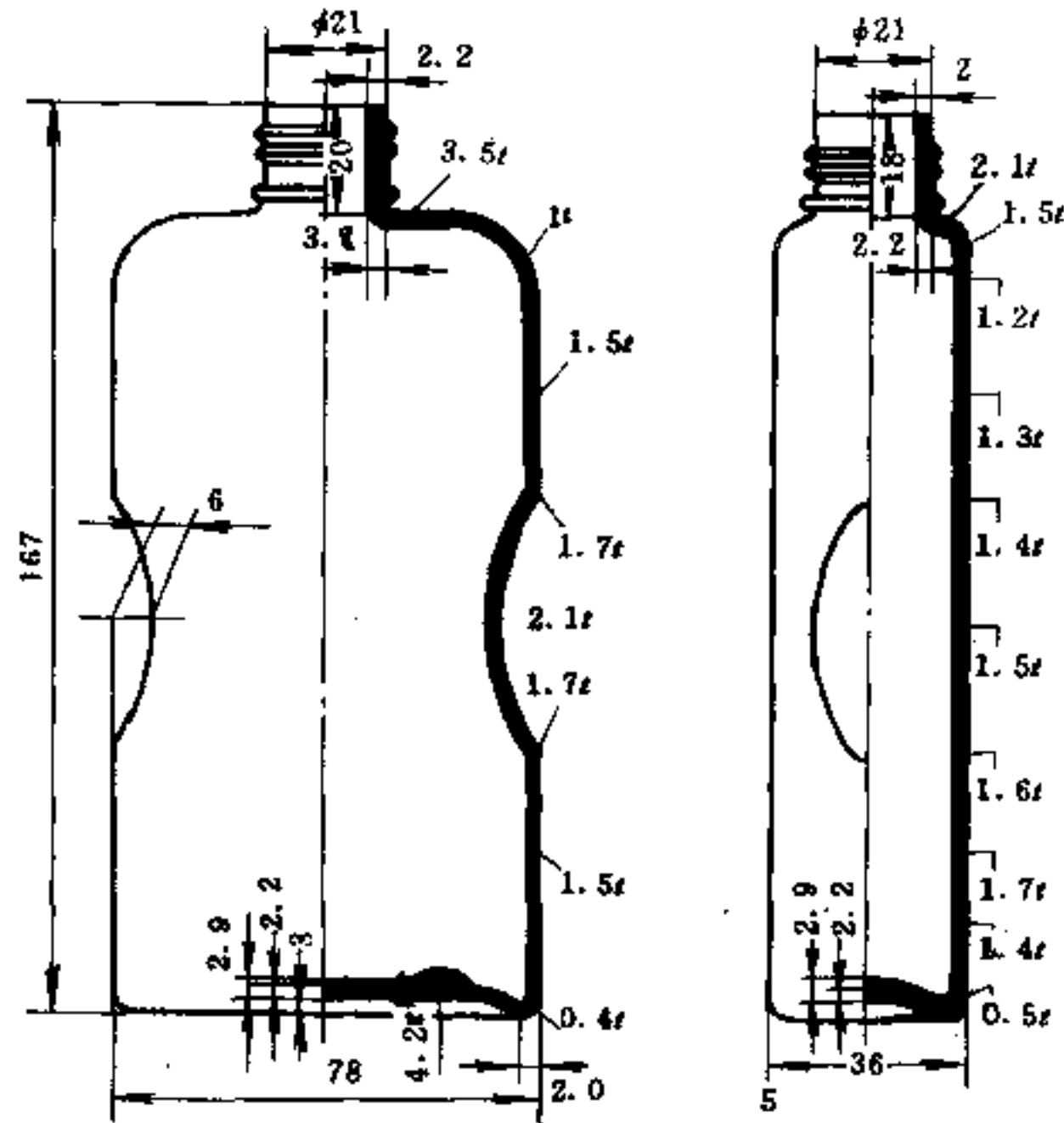


图 9.2-16 洗发液容器横截面图

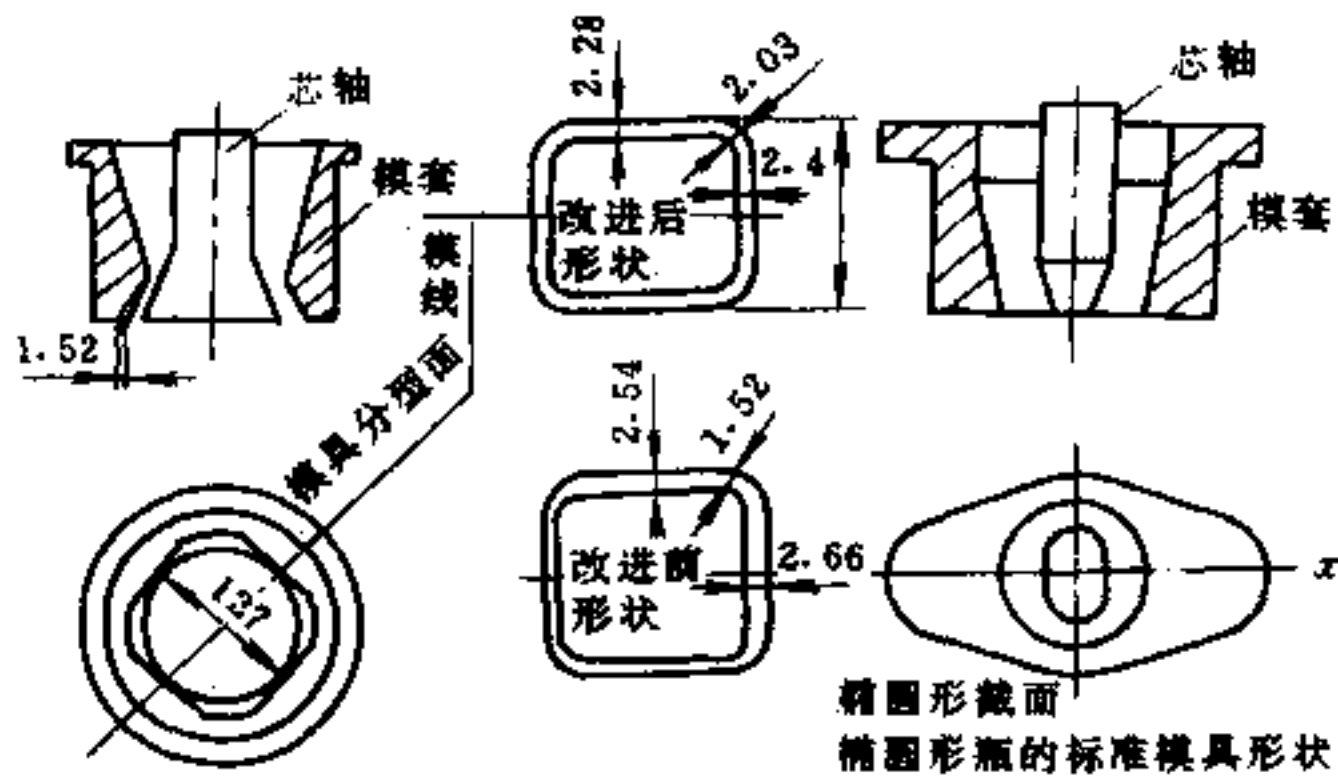
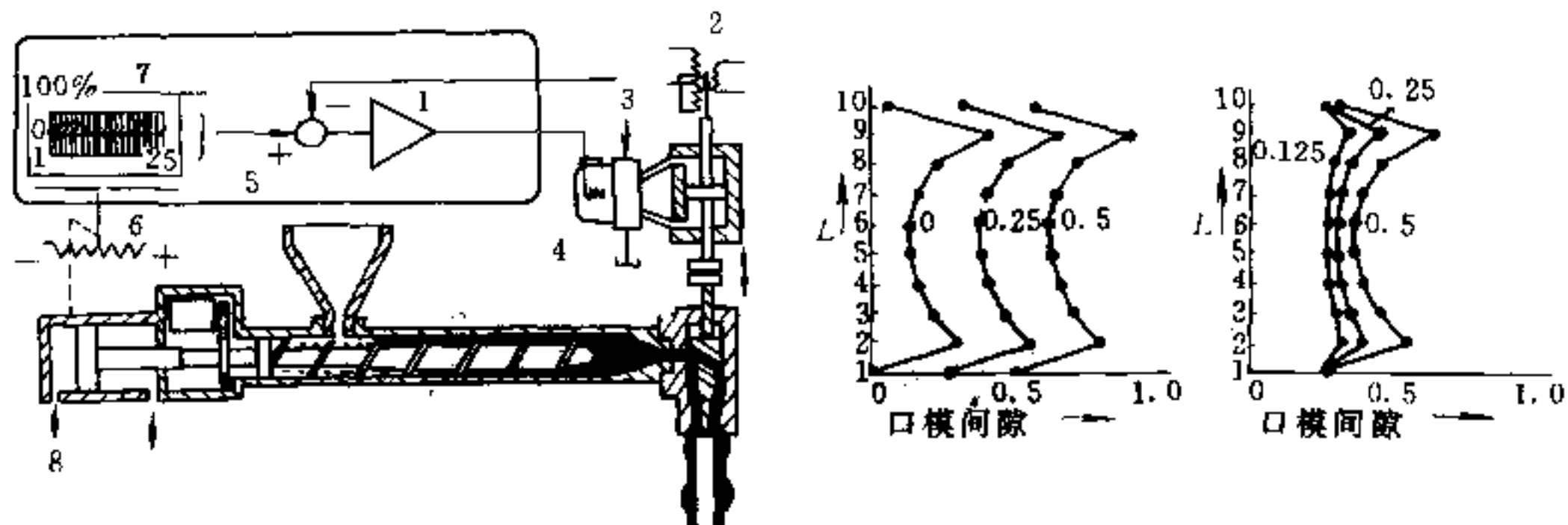


图 9.2-17 型坯截面形状设计

### 9.2.11 按使用要求设计

在中空吹塑成型容器的食品包装中，有许多容器是在生产线上于受热条件下进行装料的，如糖浆、色拉油和少量调味剂。色拉油温度约在 38~50℃，而糖浆和调味剂的温度则在 65~88℃ 之间，这就对我们提出了一系列新问题。如热填充过程中产生的热膨胀，在冷却时导致内压减少所形成的瓶壁内凹或破裂，商标贴花及存放过程中的渗透损失等。内装物质对塑料容器壁的渗透性，是随时间的延长而增加的。按照平斯基 (Pinsky) 关系式，可求得瓶内物的失重损失为



· 图 9.2-18 型坯造型与制品壁厚分布关系 (L 为纵向长度)

- 1—伺服放大器；2—口模间隙检测仪；3—压力油；4—伺服阀；5—型坯程序控制器；  
6—贮料缸位置检测仪；7—程序信号发生回路；8—油压；9—重量设定值信号器；  
10—范围设定值与程序信号器。

$$B_{VS} = \frac{(t_a/t_b) \cdot (V_a/V_b)}{(S_a/S_b)} \cdot A_{VS} \quad (\%)$$

其中,  $B_{VS}$  为允许容器内装物损失 (%)； $A_{VS}$  为设定容器内装物损失 (%)； $t_a$  为已知容器壁厚 (mm)； $t_b$  为未知容器壁厚 (mm)； $V_a$  为已知容器体积 ( $\text{cm}^3$ )； $V_b$  为未知容器体积 ( $\text{cm}^3$ )； $S_a$  为已知容器表面积 ( $\text{cm}^2$ )； $S_b$  为未知容器表面积 ( $\text{cm}^2$ )。

### 9.2.12 多层复合与表面装饰设计

中空吹塑成型制品, 也可使用两种或两种以上的不同塑料, 进行两层或多层复合吹塑成型。例如制造汽油罐时, 可用尼龙、聚砜、聚酯和聚碳酸酯等作内壁, 以聚乙烯为外壁的两层复合塑料容器。而食品包装则可用 PE/EVA/PE/PP、PE/EVA/PP、PE/PA/PP 和 PA/PP 等多层容器。用于化妆品包装的容器可用 PA/PP、PE/PA、PE/PVDC 等。同时还可以通过透明和不透明材料的复合成型, 以得到部分可视内装物的、双色的、带有各种条纹图案的容器。

吹塑成型容器有时还二次加工, 如开孔、剪切、贴膜、烫印及丝网印刷等, 它会涉及到制品外观、形体、曲面等设计。

## 9.3 挤出吹塑模设计

### 9.3.1 吹塑模结构特征

用于挤出中空吹成型模具可大也可小, 小到眼药水瓶用模具, 大到 100L 以上汽车燃料箱 (用 UHMWPE) 和化工储运容器模具。中空吹塑模具的结构主要由左右两半模闭合而成, 其典型结构如图 9.3-1 所示。它可由下述 5 部分组成:

- (1) 模具型腔 构成中空吹塑制品外部形状与几何轮廓, 由左右两半模组成。
- (2) 切料口 模具闭合切去多余坯料的刃口。它可分为形成瓶口螺纹部分和瓶底夹料刃口两个部分。
- (3) 导向装置 为确保吹塑模左右两半模顺利闭合, 起导向定位作用的装置。

(4) 冷却装置 为提高生产效率、缩短成型周期，而设置在左右两半模的冷系统。它包括进出水嘴和冷却通道等零件。

(5) 排气装置 在吹塑制品成型过程中，瓶坯最后型腔表面接触部位，将聚集模腔内所有残余空气，会严重影响制品外观及内在质量。为此，须在该部位设置微小针眼气孔，以有利于残余空气的排出。

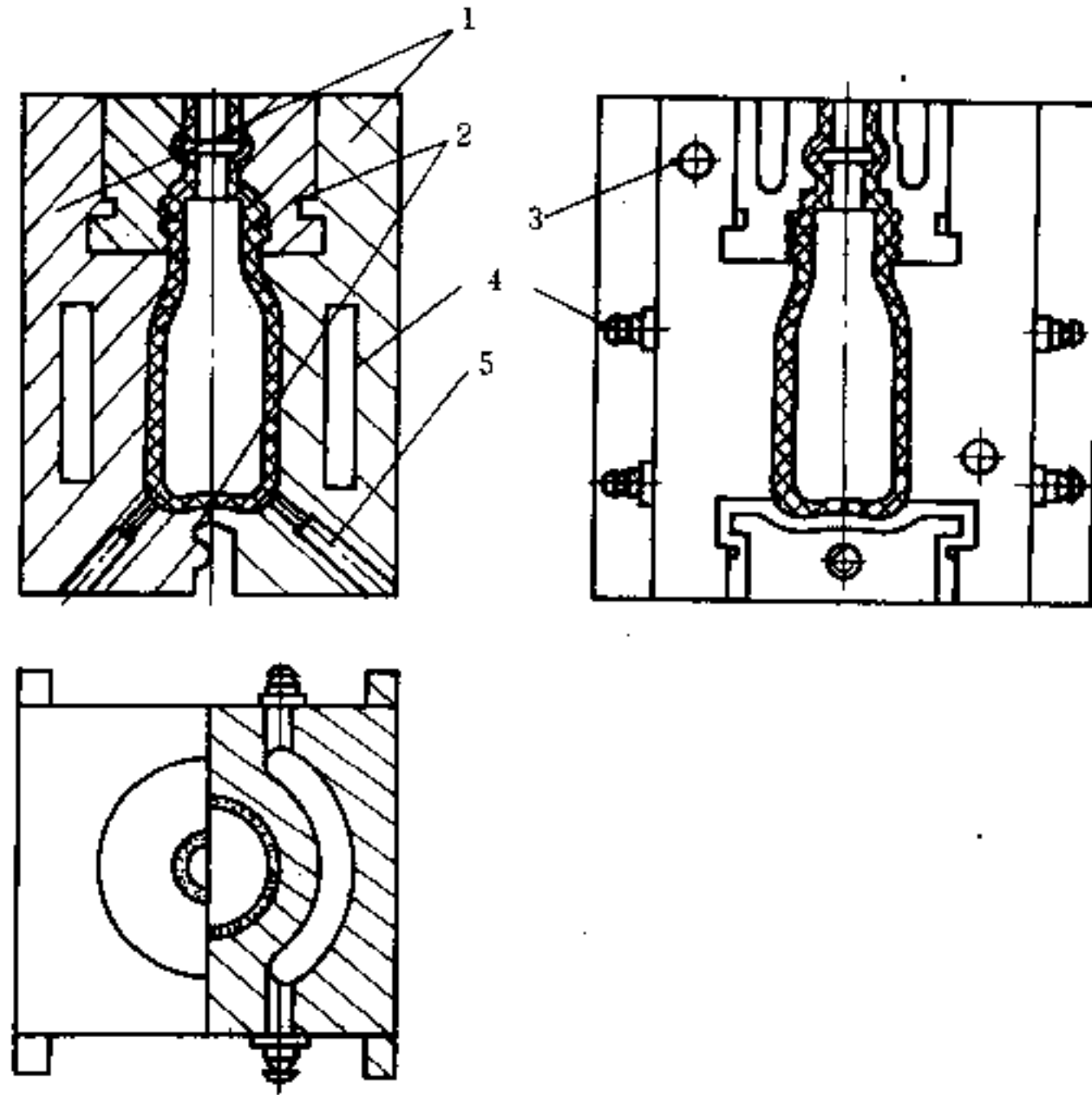


图 9.3-1 中空吹塑模结构设计

1—左右半合模型腔；2—上模口；3—下夹料刃口；4—冷却装置；5—排气小孔。

### 9.3.2 模口螺纹设计

在挤出吹塑中空制品时，压缩空气的入口即为制品入口。为确保容器瓶口螺纹与瓶盖螺纹尺寸吻合，并有效地除去多余坯料，须进行校正和剪断。瓶口内径的校正，是由装在吹管外面的校正芯棒，通过模口断面部位来同时进行校正与切断的。其结构形式如图 9.3-2 所示，图 (a) 为锥形切断模口，图 (b) 为半球形切断模口，均由校正芯棒的肩部把多余坯料切断。瓶口螺纹结构参见图 9.2-12 至图 9.2-14。

### 9.3.3 模底夹口设计

在挤出吹塑成型中，由于管状型坯在两半合模底部夹口的作用下闭合而熔为一体，使多余坯料被剪切除掉，并在压缩空气的作用下受到吹胀拉伸，会使瓶底减薄且形成明显的夹口痕迹。为避免瓶底减薄强度下降，应采用如图 9.3-3 所示圆弧过渡为好，而模底夹口的截面形状应如图 9.3-4 所示，各部分尺寸应根据不同塑料由表 9.3-1 所列选取。为减少瓶底残留飞边，夹口截面应如图 9.3-4 (b) 那样，尺寸  $b$  可小至 0.2mm，尺寸  $c$  为 0.8~1.2mm。另外，为防止吹胀拉伸使瓶过于减薄，亦可将左半模的夹口下端作



成如图 9.3-4 (c) 所示那样的结构, 以促使型坯在闭合前能有多余的熔料弥补被夹口剪去的坯底料, 它已在实际生产中被证明能如此。

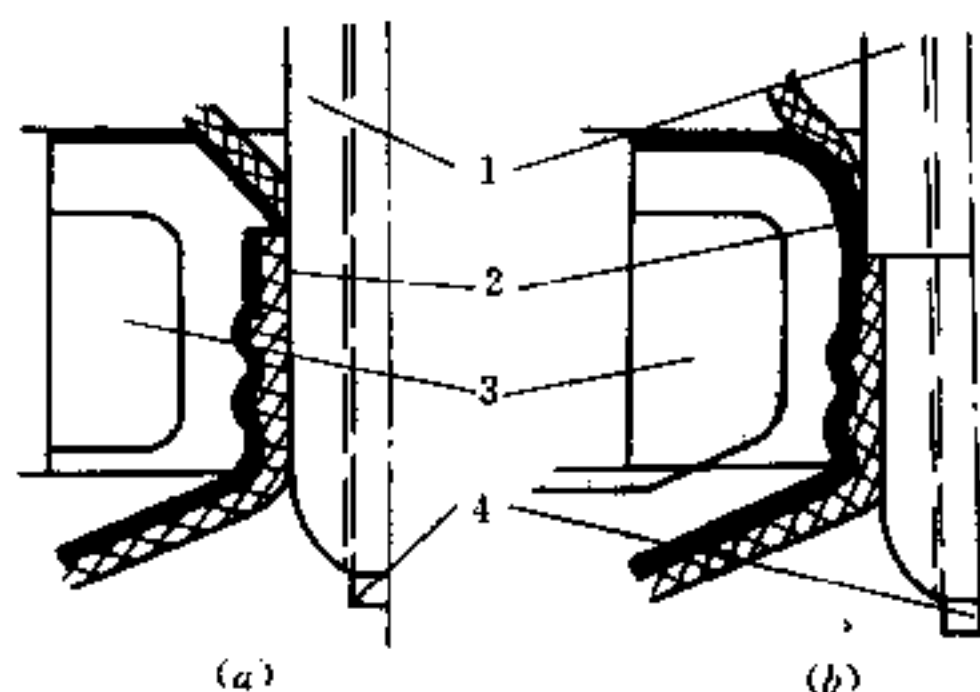


图 9.3-2 模口螺纹形成的校正与切断

(a) 锥形模口切断; (b) 半球形模口切断。

1—校正芯棒; 2—模具刃口; 3—冷却水道; 4—进气吹管。

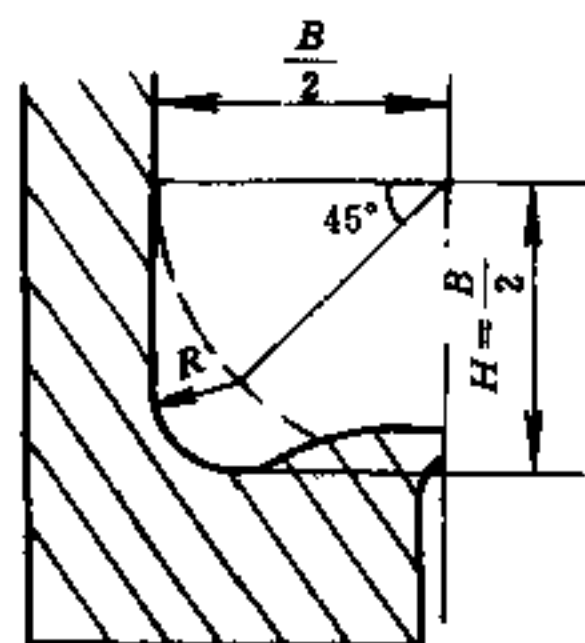


图 9.3-3 模底夹口部分尺寸

$$(R = \frac{B}{2} (1 - \sin 45^\circ) = 0.15B)$$

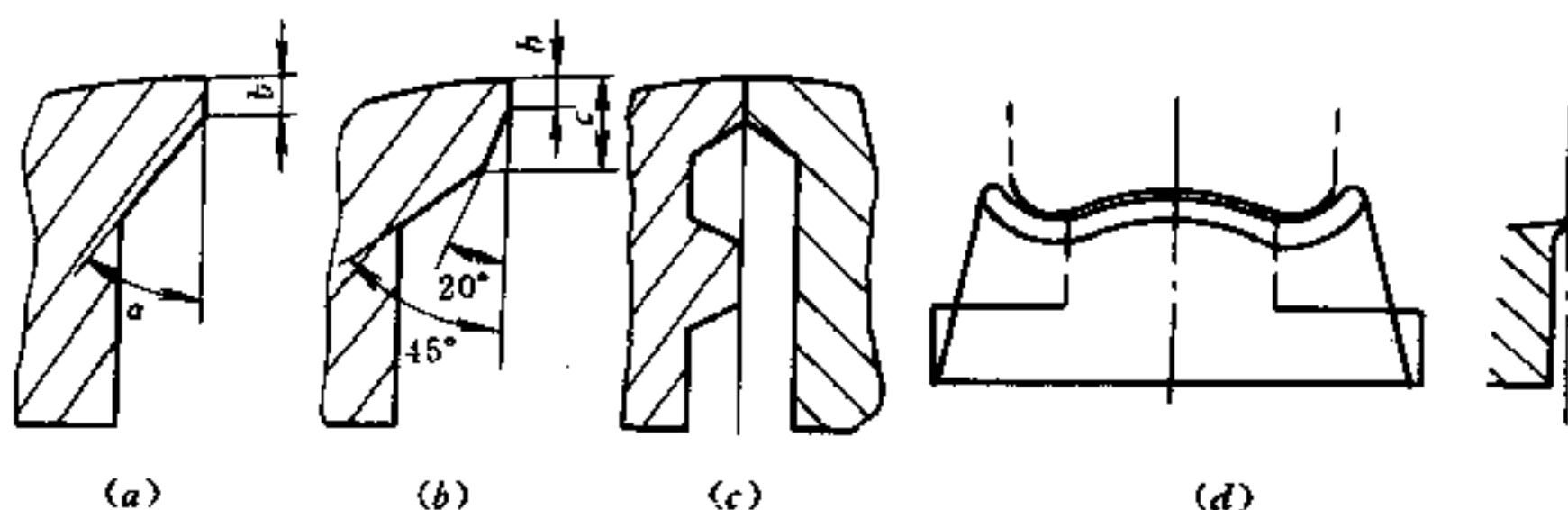


图 9.3-4 模底夹口尺寸及切刃形状

表 9.3-1 模底夹口部分尺寸推荐值

塑料名称	b/mm	a/ (°)	塑料名称	b/mm	a/ (°)
LDPE	0.1~4.0	15~45	PVC	0.5	60
HDPE	0.2~4.0	15~45	PA6	0.5~4.0	30~60
PP	0.3~0.4	15~45	PS	0.3~1.0	30

中空容器成型质量与模底夹口的关系极为重要, 而夹口的制造更是关键。一般说来, 模口螺纹与模底夹口面部的切刃应光洁, 其粗糙度要尽可能低, 常在  $R_a = 0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$  之间。如果中空瓶生产批量很大, 通常应经过热处理, 使其硬度为  $\text{HRC} > 55$  以上, 并经磨削后镀硬铬抛光。模底夹口切刃应与左右两半模周边刃口保持平行一致, 配合精密, 才能生产出合格产品。

### 9.3.4 合模线设计

中空吹塑成型不需要阳模 (凸模), 且收缩率比注射制品大, 所以脱模斜度即使为零也能脱模。但为了减少瓶底或拐角部位壁厚不均的现象, 可将这一部位的脱模斜度定为  $1/60$ , 深部位定为  $1/15$ , 而表面带皮纹状图案的脱模斜度必须为  $1/15$  以上。

吹塑成型模具的合模线，一般设在中空制品的侧面，对有棱角或矩形截面的制品来说，为减少壁厚不均现象，有时也将合模线设在对角线上或在合模线周围设计出若干条与合模线相同程度的条纹，用以掩饰制品表面的合模线。但不要在此雕刻文字和复杂的图案，以免因合模线错位而影响制品本身的美观。当吹塑制品越大时，其合模线会越明显，特别是在油桶的把手等拐角处，更易产生皱纹或毛边。在设计时应考虑好如何用机械冲裁或手工的方法方便地去掉这些毛边。减少锐角即为减少毛边与皱纹带来修剪的困难。

### 9.3.5 模腔内表面设计

在各类大小不同的吹塑制品中，其表面有不同的文字、花纹及各种艺术图案和商标，还有的需雕出刻度，做出镜面、绒面或皮革面等等。因此，这就要求我们在设计模具时，针对不同用户的要求，对型腔表面进行艺术处理或雕刻加工。

在加工时应根据客户要求和塑料原材料的特性，分别做出不同的型腔表面。如制品为聚乙烯类中空瓶或桶，则型腔表面最好采用喷砂处理，以获得较粗糙的绒面或麻纹面，使得在吹塑成型时，能有少量空气储存于制品与型腔壁之间，有利于脱模而减少空气吸附现象；而用于 PET 或 PVC 等透明饮料瓶制品时，型腔表面应采取镀铬抛光成镜面；对于那些有商标、图案及文字要求的中空容器则应采取人工、机械、电子雕刻机或照相化学腐蚀的方法加以处理，再镶嵌在模具的型腔中。总之模腔表面的艺术处理和加工制作方案，应该在设计模具时就应预先考虑好。

### 9.3.6 模腔排气考虑

中空吹塑成型的模具闭合后，型腔呈完全封闭状态。应考虑在型坯吹胀时，模内原有空气的顺利排出问题，因为它是保证中空制品外观和内在质量的关键。

吹塑模腔的排气孔，应开设在型坯最后胀满型腔的圆弧或拐角处，其孔径见图 9.3-5 (c) 所示；亦可如图 9.3-5 (b) 在平面钻孔再嵌入一个两侧磨去 0.1~0.2mm 的圆柱，利用其间隙排气；还可在平面采用图 9.3-5 (a) 所示的粉末冶金压铸烧结成多孔金属块，嵌在型腔内表面，在其被压装后钻孔进行排气。有时可直接在型腔分模面的侧面刃口处开设排气槽，其宽为 10~20mm、深为 0.03~0.05mm，但其效果不如上述的方法好。

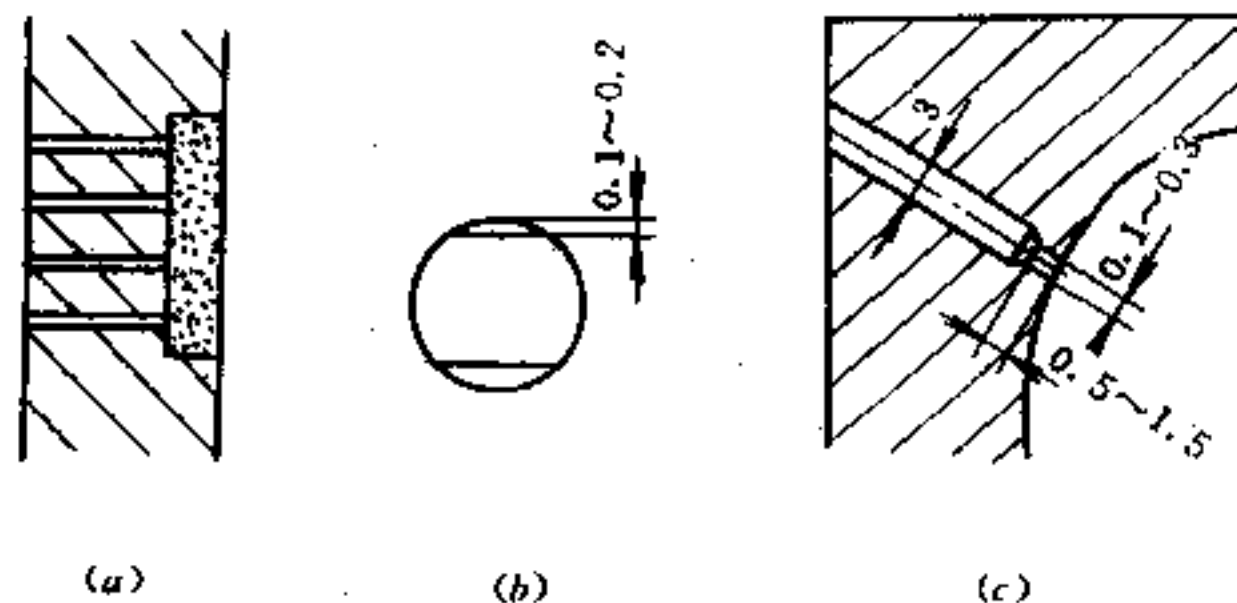


图 9.3-5 模腔排气孔结构

(a) 多孔金属块排气；(b) 圆柱形排气；(c) 圆弧或拐角处的小孔排气。



### 9.3.7 冷却系统设计

中空吹塑模具的冷却系统十分重要，它不仅影响生产效率，而且与产品质量密切相关。冷却方式与注射模具相同，采用通水冷却的方法冷却。但由于中空吹塑模大多采用铝合金浇铸件制造，冷却水管通道可采用预埋紫铜管的方法铸成，因而制作比较方便。

常用冷却水通路的形式如下：

(1) 循环水管 如图 9.3-6 所示，它最适合大平面制件的冷却，其孔间距离型腔表面为 10~15mm，孔间距离视冷却水孔直径变化而增减，见表 9.3-2。为了增加冷水在管中的冷却效果，还可放入如图 9.3-6 中的螺旋板，使管中的水能分成两路呈螺旋状地通过，可增大冷水的吸热效果。

表 9.3-2 冷却水管孔径尺寸 (mm)

冷却水孔径 $d$	6	8	10	12	14	16	18	20
冷水孔间距 $s^{\text{①}}$	4	6	8	12	15	20	25	30
螺旋板宽度 $b$	0.67d							
①为冷却水孔间相邻最小边距。								

(2) 铸造水路 如图 9.3-7 所示，可直接在模腔背面铸造成各种水循环流通道。冷水可由右下送入，左上流出，流动时沿箭头所指方向迂回前进。水路的封闭是由盖板与防漏橡胶垫通过螺钉紧固而成的。

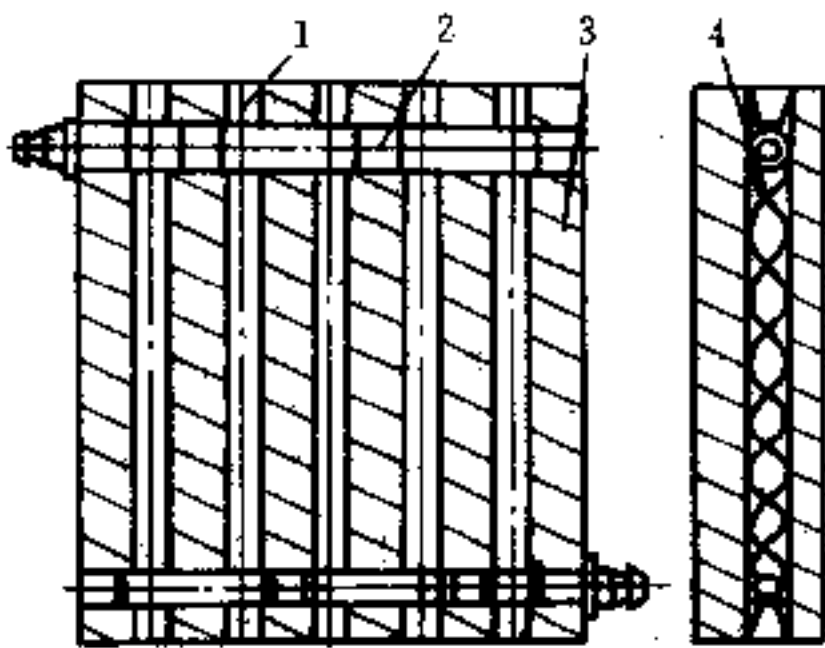


图 9.3-6 循环水冷却方式

1—堵头；2—阻挡件；3—模体；4—螺旋板。

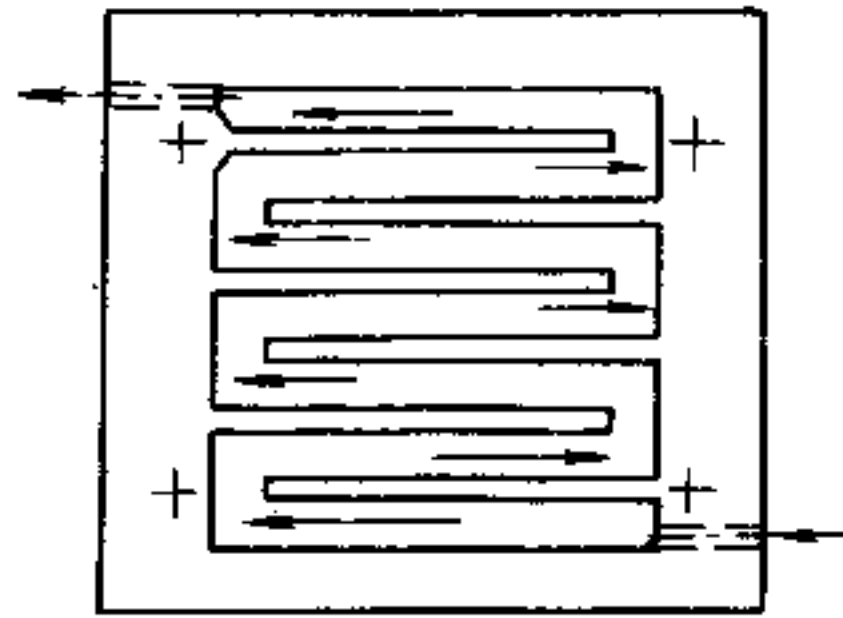


图 9.3-7 铸造水路的冷却方式

(3) 紫铜管喷冷 如图 9.3-8 所示，在模腔背面事先铣削或铸造出较宽的水槽，再在其中安装钻有小孔的紫铜管，通水产生喷冷。喷出吸收热量的水从模腔背面下端的孔流出，它一般用于大型模具，可由调节水喷出的流量来控制其冷却效果。

(4) 紫铜管预埋 如图 9.3-9 所示，对铝合金或锌合金材料制作模具时，可采用预埋的方法。即事先将紫铜管退火并弯制成所需的环形水管形状，在浇铸铝合金或锌合金时放入被浇铸的砂型中，再浇入铝合金液，待冷却凝固即被包埋在模具的型腔背部，冷却时通水即可达到冷却的目的。

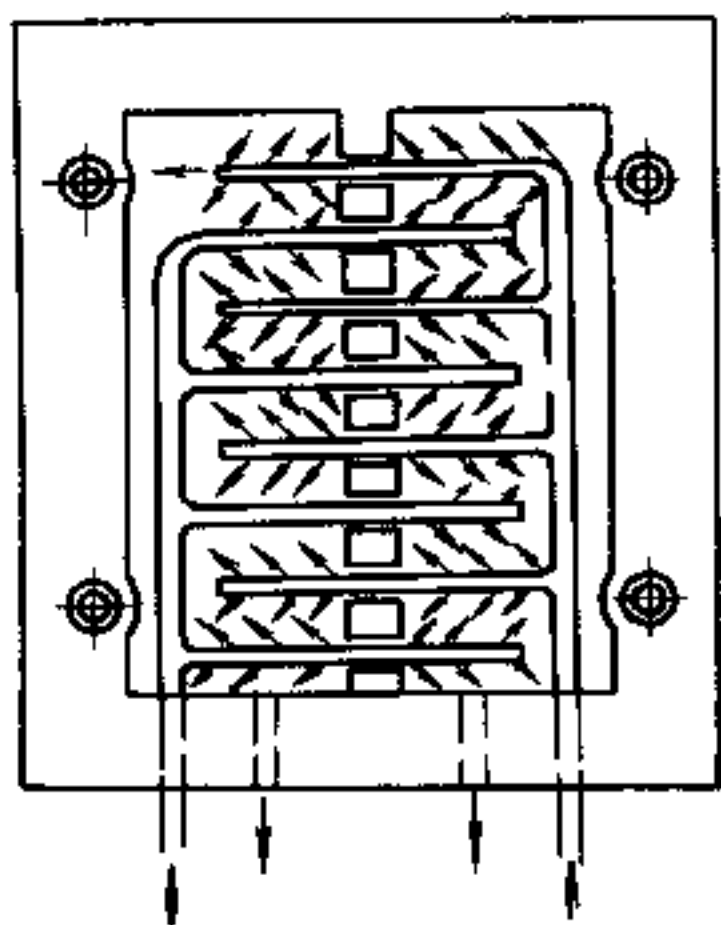


图 9.3-8 紫铜管喷淋冷却方式

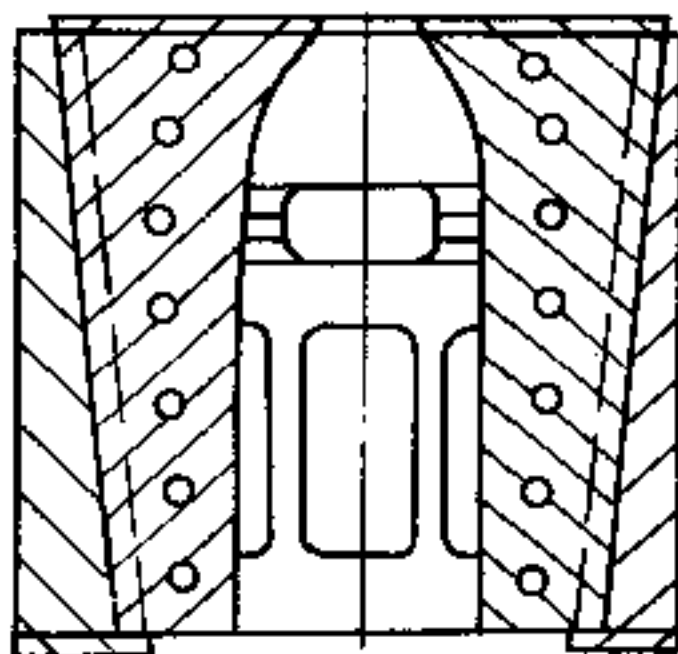


图 9.3-9 紫铜管预埋的冷却方式

## 9.4 挤拉吹塑技术

由于挤出吹塑成型中空制品的纵向未得到很好的拉伸取向，因而其纵向强度不如横向好。若先将挤出型坯纵向拉伸，后横向吹胀成型，即形成双向拉伸取向的一种吹塑成型技术，简称挤拉吹塑成型。

### 9.4.1 型坯口模尺寸确定

在挤出拉伸吹塑成型中空制品时，挤出机头口模间隙，将直接影响着型坯壁厚膨胀和中空容器壁厚的均匀性。因此，合理地确定挤出机头的结构和尺寸是非常重要的。通常，型坯口模直径和形状以中空容器的外形尺寸为基础，再根据材料的拉伸、吹胀比以及坯料离开口模的膨胀率来确定，如图 9.4-1 所示，其有关计算公式如下：

#### 1. 离模膨胀率

$$B = \frac{D_{cp} - D_{op}}{D_{op}} \times 100\% \quad (9.4-1)$$

式中  $B$ ——离模膨胀率，取决于拉伸膨胀成型工艺的控制，一般在 15%~65%；

$D_{cp}$ ——型坯平均直径 (mm)；

$D_{op}$ ——型坯口模直径 (mm)。

#### (1) 瞬间直径膨胀 $B_1(t)$ 特性(见图 9.4-2)

$$B_1(t) = \frac{\text{挤出物直径}}{\text{口模直径}} = \frac{(D_1 - d_1)/2}{(D_0 - d_0)/2} = \frac{D_{cp}}{D_{op}} \quad (9.4-2)$$

式中  $B_1(t)$ ——瞬间直径膨胀特性；

$D_1$ ——挤出型坯外径(mm)；

$D_0$ ——口模直径(mm)；

$d_1$ ——挤出型坯内径(mm)；

$d_0$ ——芯棒直径(mm)。

(2) 瞬间厚度膨胀  $B_2(t)$  特性

$$B_2(t) = \frac{(D_1 - d_1) / 2}{(D_0 - d_0) / 2} = \frac{H}{G_h} \quad (9.4-3)$$

式中  $B_2(t)$  ——瞬间厚度膨胀特性;

$H$  ——型坯厚度 (mm);

$G_h$  ——口模间隙厚度 (mm)。

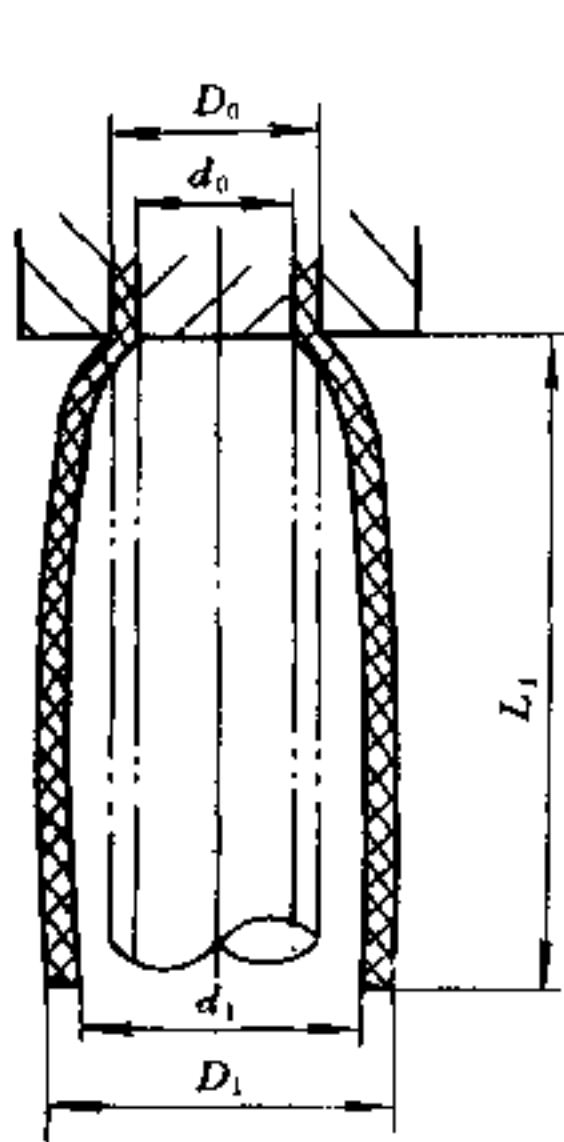
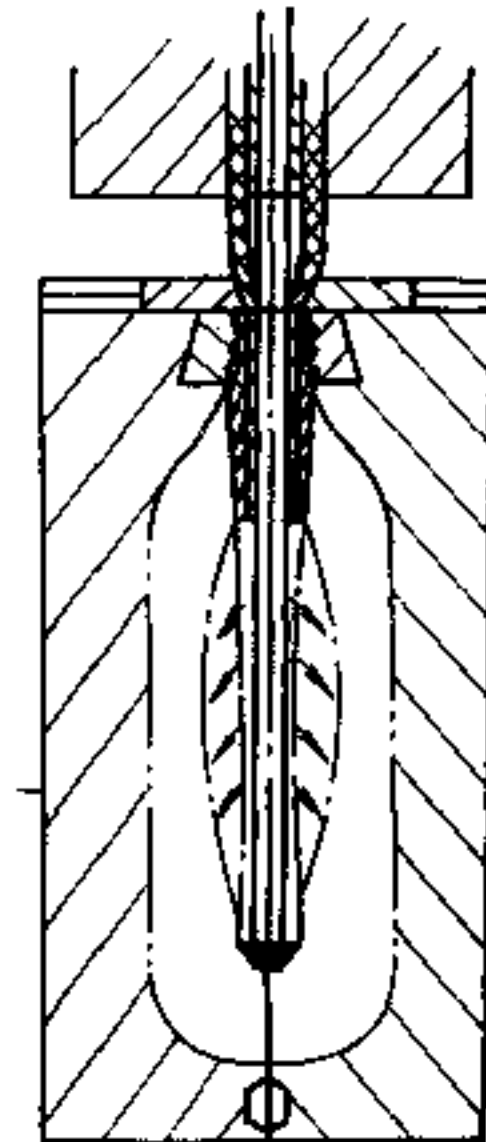
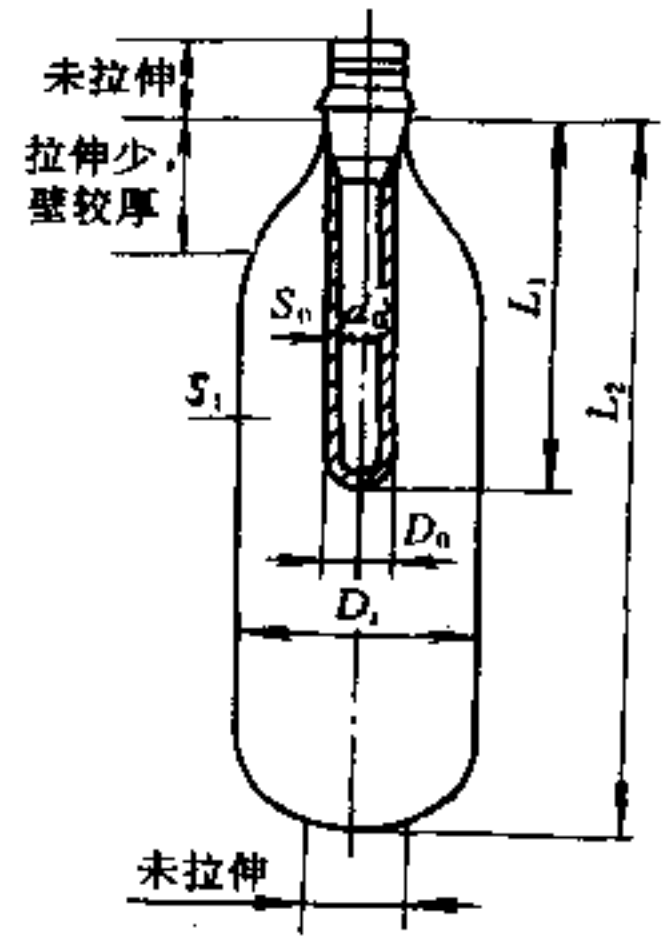


图 9.4-1 挤出时型坯各段膨胀变化



(a)



(b)

图 9.4-2 拉伸吹胀比的关系

(a) 挤出拉伸吹胀型坯; (b) 注射拉伸瓶坯。

## 2. 拉伸吹胀比 (见图 9.4-2)

$$\lambda = \lambda_z \lambda_r = \frac{L_2 D_s}{L_1 D_{cp}} \quad (9.4-4)$$

式中  $\lambda$  ——拉伸吹胀比, 控制在 4~6 之间为佳;

$\lambda_z$  ——纵向拉伸比, 控制在 1.3~2 之间;

$\lambda_r$  ——横向吹胀比, 控制在 2~4 之间;

$L_1$  ——型坯 (瓶坯) 有效长度 (mm);

$L_2$  ——瓶体有效高度 (mm);

$D_s$  ——中空制品最大直径 (mm)。

## (1) 拉伸比

$$\lambda_z = \frac{L_2}{L_1} \quad (9.4-5)$$

## (2) 吹胀比

$$\lambda_r = \frac{D_s}{D_{cp}} \quad (9.4-6)$$

## 3. 口模间隙

$$G_h = h\lambda k \quad (9.4-7)$$

式中  $G_h$ ——口模间隙 (mm);  
 $h$ ——中空容器制品壁厚 (mm);  
 $\lambda$ ——拉伸吹胀比;  
 $k$ ——修正系数, 取 1~1.5, 粘度大的塑料取小值。

### 9.4.2 型坯温度控制

在挤出拉伸吹胀中空制品时, 型坯的温度需要严格控制。一般一步法可不加热或少许加热, 而二步法生产则必须加热, 且加热温度应为可调可控。目前工厂采用了低温长热和高温短热的两种方法。前者多用于二步法加热瓶坯; 后者多用于一步法连续成型加热型坯。远红外加热偏重于“高温短热”, 因为这种涂有 SiC 的远红外器在加热时, 能辐射出有一定波长的红外线, 使被加热的瓶坯吸收。当射出的红外波长与被加热瓶坯红外吸收波长一致时, 就会引起其分子的共振, 于是瓶坯内形成所谓“正热源”, 从而加热了瓶坯。它的特点是能透过瓶坯表面, 使其内外温差小, 因而可大大缩短加热时间、节约能源, 提高生产效率和中空制品的质量。

#### 1. 红外加热功率计算 (结构见图 9.4-3)

$$W = \frac{IG}{\eta t} \quad (9.4-8)$$

式中  $W$ ——红外加热功率 (kW);  
 $I$ ——塑料热焓 (kJ/kg);  
 $G$ ——被加热瓶坯重量 (kg);  
 $\eta$ ——辐射传热效率, 一般取 0.8~0.9;  
 $t$ ——瓶坯加热达拉伸强度的时间 (s)。

#### 2. 加热控制方式

挤出拉伸吹塑瓶坯温度要求视各处形状不同略有变化。为便于调节, 一般可采用上、中、下三段式瓶坯纵向温度控制法加热, 将对拉伸吹塑瓶的质量有保证。

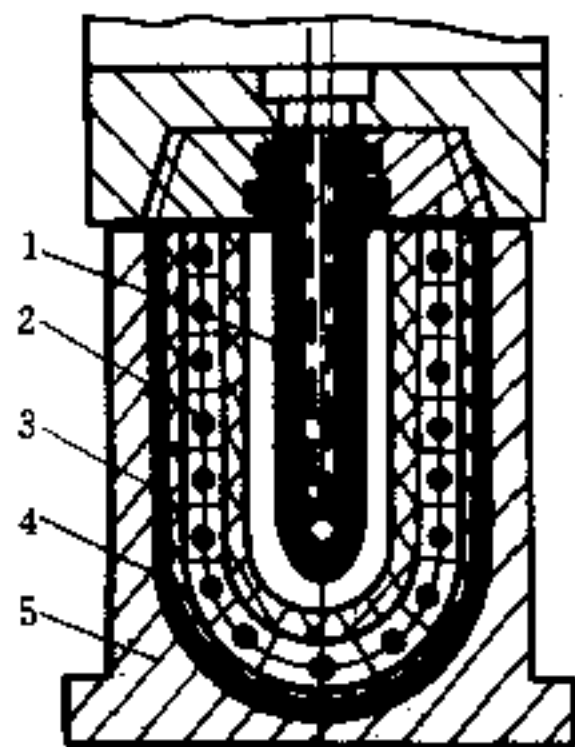


图 9.4-3 远红外加热装置  
 1—瓶坯; 2—加热丝; 3—碳化硅;  
 4—石棉; 5—模具座。

## 9.5 注射吹塑模设计

注射吹塑模具的关键在于型坯和芯棒造型以及中空吹塑模具的结构设计, 同时应了解中空制品使用要求及所选材料的性能, 还要考虑型坯、芯棒形状设计加工的可能性、吹塑适宜的拉伸比和所用的塑料加工机械有关技术参数。

### 9.5.1 芯棒设计

注射及吹塑成型模具的芯棒设计, 是关系到中空制品质量及壁厚均匀性的关键。因此, 芯棒结构设计如图 9.5-1 所示, 即根据容器外形、拉伸吹胀比及结构需要来设计。在图 9.5-1 (b) 中, 芯棒承担在吹塑前的拉伸滑动, 因而它不宜成型瓶口太小的中空容器。如果在满足其功能和芯棒的形状下, 可适当增加芯棒的直径, 以使成型中空容器

的吹胀比能确定在有效范围内，而不致于因芯棒与型腔的直径比过大，给吹塑的制品成型带来危害。一般芯棒长度与直径之比应 $<10:1$ 。

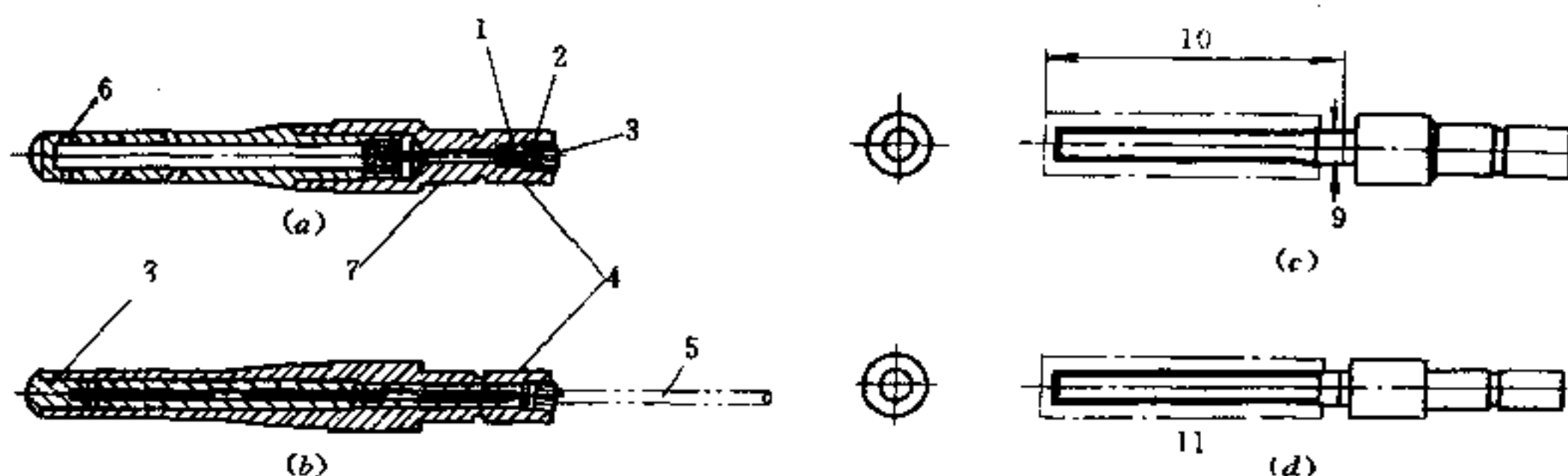


图 9.5-1 几种芯棒结构比较

(a) 吹塑芯棒；(b) 拉伸吹塑芯棒；(c)  $L/D < 10:1$  壁厚均匀；(d)  $L/D > 10:1$  壁厚不均匀。

1—弹簧；2—星形螺母；3—凸轮螺母；4—芯棒体；5—拉伸连杆；6—吹气口；7—气阀芯；

8—拉伸阀顶盖及杆；9—瓶颈部直径；10—芯棒有效长度；11—偏移的芯棒。

芯棒所用材料大多选用工具钢，也有选用合金工具钢的，如 9M<sub>2</sub>2V、CrWMn、9CrSi、Cr12 和 3Cr2W8V 等。芯棒经机加工后应淬火加低温回火，或中温回火，其  $HRC \geq 55$ ，然后应镀铬并抛光达  $R_a 0.2 \sim 0.4$  之间。

此外，芯棒设计还应考虑如下几点：

- (1) 芯棒可设有一定的内孔，以让温度受控的流体循环，或可在小孔内加装电热器，以控制型坯温度；
- (2) 芯棒能在型坯吹胀成容器前，有预拉伸或膨胀的功能；
- (3) 芯棒出气口位置的选择和孔径大小的确定也有讲究，选择不好会出现容器壁厚过薄，甚有吹破的可能性；
- (4) 注意芯棒与模腔相关配合与滑动部分的尺寸精度，防止轴芯偏移造成型坯壁厚不均。

### 9.5.2 吹塑型坯设计

当制品外形、重量与芯棒基本结构确定之后，型坯体积可按如下公式计算：

$$V = \frac{V_g a_v}{16.4 \rho} \quad (9.5-1)$$

式中  $V$ ——型坯体积 ( $\text{cm}^3$ )；  
 $V_g$ ——中空容器重量 (g)；  
 $a_v$ ——膨胀系数 (或收缩率)；  
 $\rho$ ——塑料密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

型坯模腔的体积减去芯棒体积等于生产给定容器所需的物料体积。除瓶颈螺纹部分不被吹胀变形外 (见图 9.4-1)，这些物料必须沿型坯的整个长度分布，使吹胀成型时，壁厚均匀。为保证型坯成型和吹塑时的可行性，在芯棒径向的型坯厚度应保持在 2~6mm 之间，过薄或过厚的坯壁都会影响吹塑制品的成型。

### 9.5.3 型坯模腔设计

注射型坯模腔与芯棒配合，是构成型坯壁厚空间及外部几何形状尺寸的关键。它比中空吹塑成型模具的要求更苛刻，因为注射型坯模在成型过程中，除要准确无误地工作外，还要与芯棒一起承受注射压力，以保持其同心，才能赋予型坯更好的吹塑性能。一般注射型坯模可视注射机械的结构不同，有两半合模组合式与整体式之分。前者多安装在立式、芯棒模转体在下的专用注射吹塑机上成型，有三工位与四工位之分；后者多安装在立式（或卧式）、芯棒转体在上（或在左）的专用注射拉伸吹塑机上成型，如图 9.5-2 (c) 所示。注射型坯模结构见图 9.5-3 和图 9.5-4。

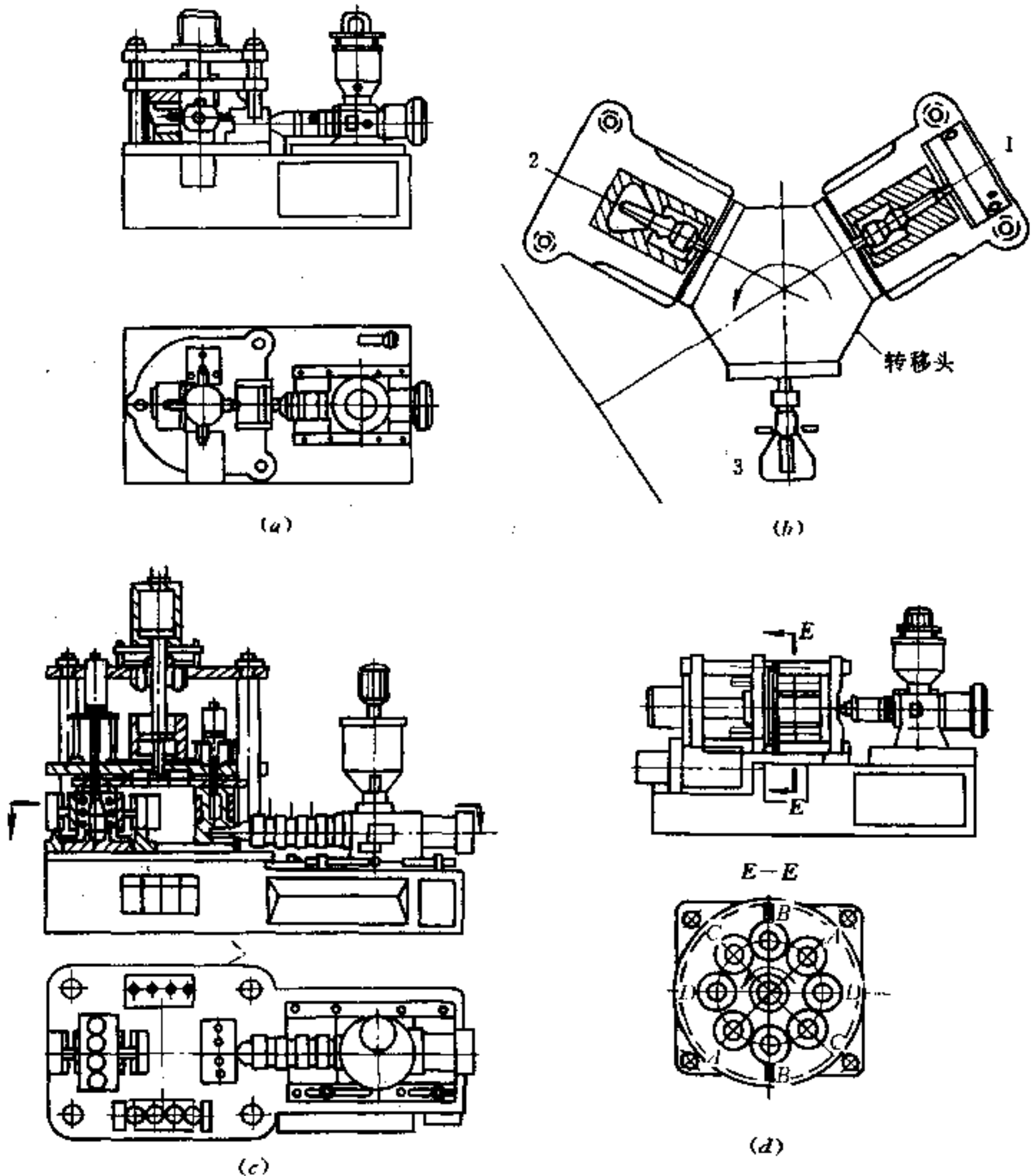


图 9.5-2 注射型坯模安装在立、卧式专用注射机上成型的情况

(a) 两半合模在 XS-ZLC-125L 型机上成型情况；(b) 两半合模在立式三工位机上安装情况；  
(c) 整体型坯模在 XS-ZLC-150L 机上成型情况；(d) 整体型坯模在 XS-ZLC-150W 机上成型情况。

1—注射瓶坯；2—吹塑成型；3—瓶体脱出。



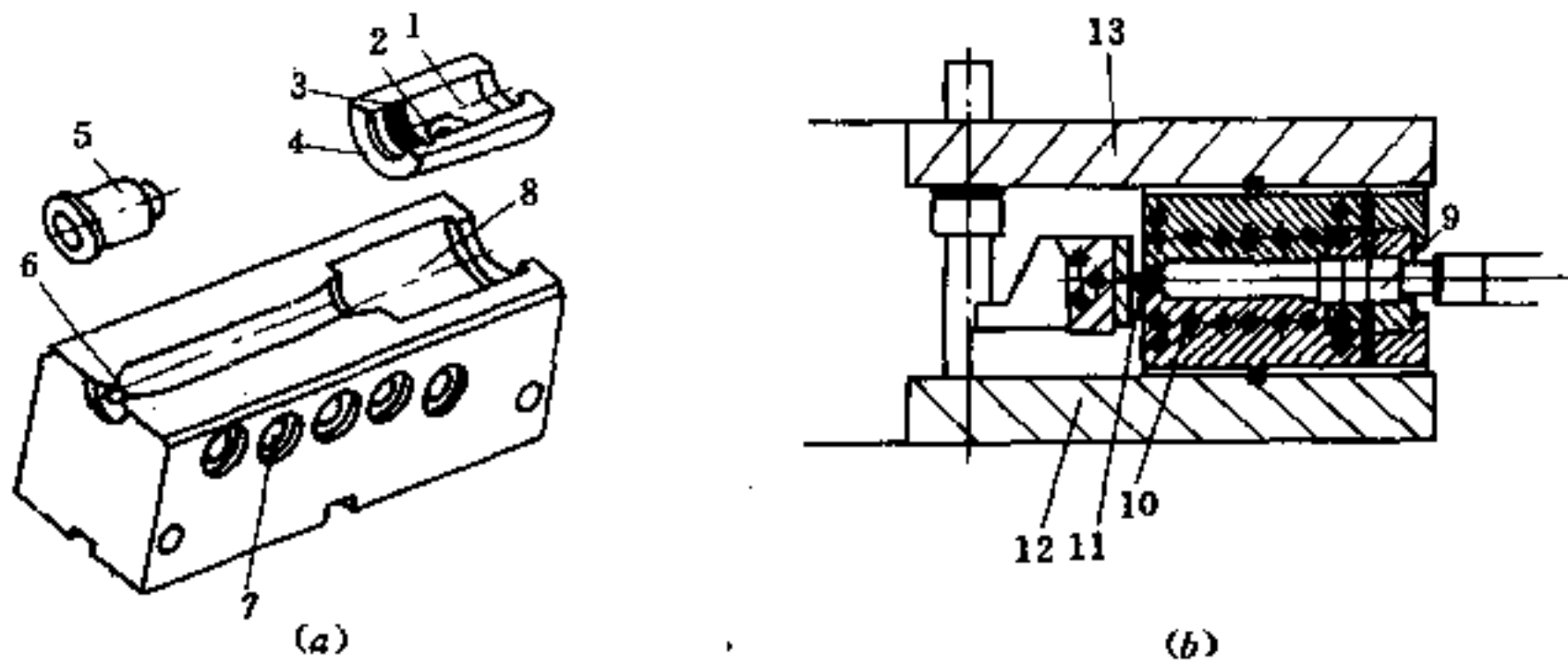


图 9.5-3 两半合模组成的模具

(a) 型坯半模结构; (b) 两半合模组成模具;

- 1—芯棒柄安装区; 2—螺钉插孔; 3—瓶颈螺纹型腔; 4—型坯颈环半模; 5—进料嘴;  
6—进料嘴座; 7—冷水进出通道; 8—型坯颈环槽; 9—芯棒体; 10—上下半模组合型腔;  
11—热流道系统; 12—下模座; 13—上移模座。

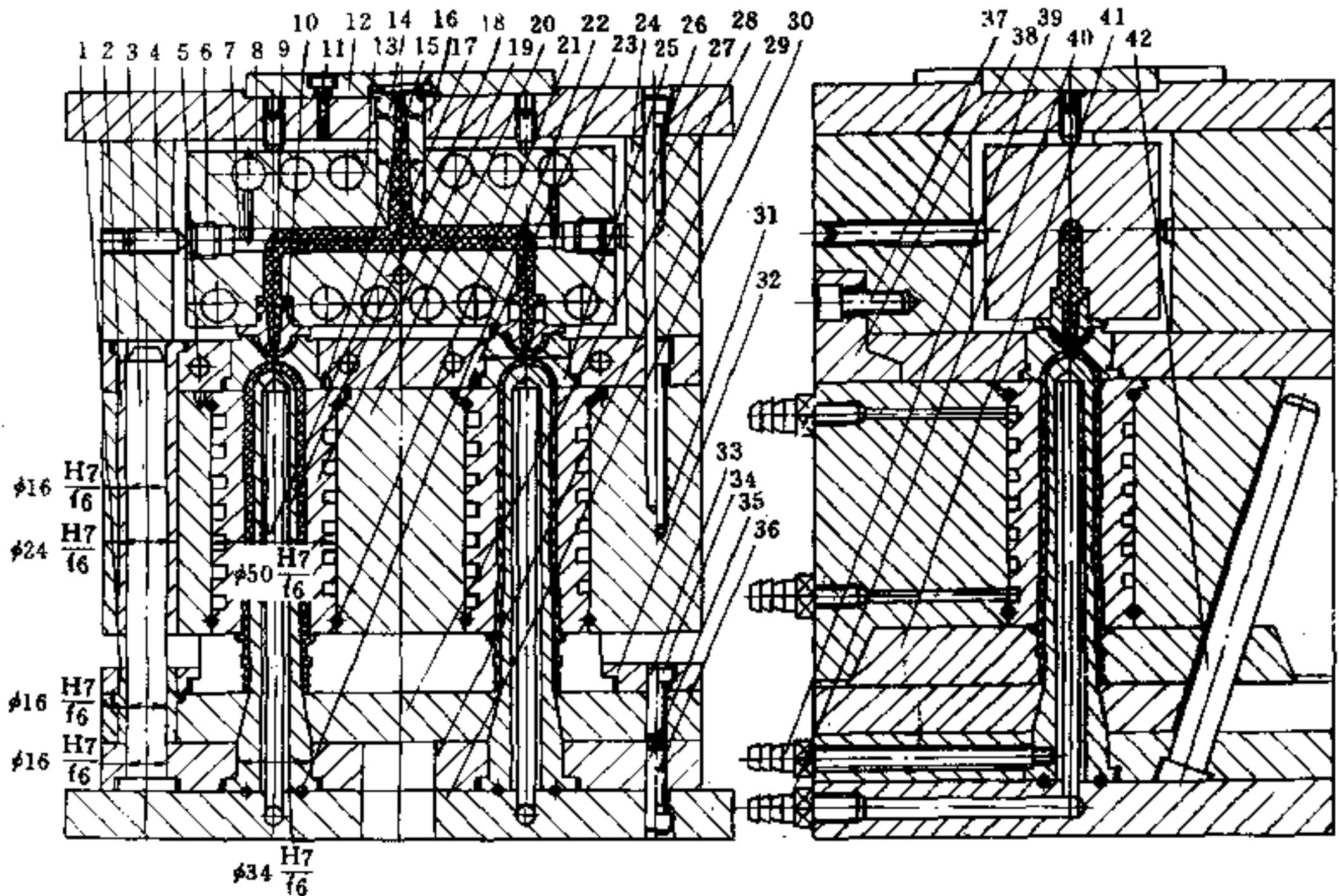


图 9.5-4 PET 瓶坯热流道注射模具典型结构

- 1—短导套; 2—长导套; 3—导向柱; 4—定位螺钉; 5—定位销; 6—紧固螺钉; 7—堵头; 8—电加热棒;  
9—瓶颈镶块; 10—热流道喷嘴; 11—圆柱头内六角螺钉; 12—定位环; 13—热流道板; 14—浇口套;  
15—定位销; 16—定模垫板; 17—冷却水管; 18—芯棒; 19—型腔套; 20—定模体; 21—密封圈;  
22—小密封圈; 23—浇口板; 24—支架; 25—浇口衬套; 26—长定位销; 27—圆柱头内六角螺钉;  
28—推板; 29—型芯固定板; 30—动模垫板; 31—圆柱头内六角螺钉; 32—导滑压块; 33—定位销;  
34—圆柱头内六角螺钉; 35—定位销; 36—圆柱头内六角螺钉; 37—圆柱头内六角螺钉; 38—锁钩;  
39—长水嘴; 40—短水嘴; 41—瓶坯螺纹左右半模; 42—斜导向柱。

### 1. 型坯螺纹颈环设计

不管是组合式还是整体式，其构成瓶坯螺纹颈环的两半模必须对称，且应稳固地装夹在瓶口夹钳体内或在导滑压块中滑动（参见图 9.5-3 (a) 及图 9.5-4 的件 32 和 41 两个零件），才能保证型坯的注射成型与取出。此外，为提高瓶坯及中空瓶生产效率，还应在瓶坯螺纹颈环的半模中设置冷却水孔（或冷却环）以通水冷却，并应有防漏措施。

瓶坯螺纹颈环的金属材料，一般可选用碳素工具钢或合金工具钢，机加工后应进行热处理，使其  $HRC \geq 55$  以上。为提高中空制品的质量，还应考虑对其进行镀铬抛光，使其粗糙度达  $R_a 0.8 \sim 0.4$  之间。

### 2. 型坯模腔结构设计

前面提到型坯模腔有两半合模与整体之分，其选择主要依据注射机的实际情况。在实际生产中，为了降低制模成本和减少机加工的难度，往往对上述两种模体都采用组合的方式，即通常型坯模腔是由模腔和模腔套组成，这在多腔模中更为常见（参见图 9.5-2 (b) 和图 9.5-4）。当型坯模腔是由两半合模组成时，尤其要注意其组合后的密闭性、对称性及其对中性。以及半合模与其半模套之间的牢固联接。此外，不管是半合模或是整体模腔与模套之间，应设置有冷却环或冷却水孔，以构成完整的冷却系统。

型坯模浇口设计多选用针点式结构（参见图 9.5-4 中件 25）。为防止热流道板热量传递影响型坯顶部的冷却，可采用空气绝热或塑料层绝热的方法，也有在零件 10 与 25 间加装弹簧的结构，即注射型坯时喷嘴与浇口衬套接触，开模即分开来防止其热量的传递。

型坯模材料常用 45 钢或合金工具钢如 9Mn2V、CrWMn、9CrSi、Cr12、3Cr2W8V 及国内最新研制的抛光性极好的 P20 钢，它们都具有较高的强度、硬度和耐磨性能。一般型坯模腔表面粗糙度应在  $R_a 0.4 \sim 0.2$  之间选取较好。

## 9.5.4 型坯模计算

注射型坯模具的计算与一般注射模具一样，有型坯径向和深度尺寸的计算，型坯脱模力计算、型腔刚度、强度和动模垫板厚的计算、加热冷却计算，以及模具安装尺寸的校核等五个方面。这些计算请参阅本书第四章有关部分，此不再述。

### 9.5.5 喷嘴与支管设计

中空制品型坯注射模多采用热流道式的针点浇口，且一般为 2~4 腔的较多见。为此，注射型坯模的喷嘴与支管设计就显得十分重要。喷嘴及支管设计应充分考虑原材料的特性和型坯模本身的结构。下面以市场常用的聚酯（PET）材料为例来讨论。

#### 1. PET 塑料的特性

(1) PET 塑料熔融温度在  $255 \sim 265^\circ\text{C}$  之间，生产中熔体会因冷却速度的快慢不同而制得透明与白浊不透明的型坯。一般是急剧冷却固化得透明型坯，反之即成为不透明的白浊型坯。

(2) PET 大分子中含有酯基，具有一定吸水性，在  $20^\circ\text{C}$  时最大吸水率为 0.13%。在熔融状态下，当含水量超过规定极限时，会发生水解。因此，在成型前应干燥处理，干燥工艺条件为  $120^\circ\text{C}/3\text{h}$  或  $160^\circ\text{C}/2\text{h}$ ，使水分含量小于 0.005% 以下，才会获得最佳制品。



(3) 型坯壁厚设计宜在 4mm 以内, 以利于型坯急剧冷却而获得透明型坯。但壁厚过薄, 流动阻力增大, 也会发生白浊现象。

(4) 型腔冷却温度控制在 10~15℃ 时可获得透明型坯, 有条件时最好能使其温差控制在 2~5℃ 之间, 有利于提高型坯的质量和缩短成型周期。

(5) 喷嘴前端与模具接触, 致使熔体温度急剧下降。当喷嘴前端温度低于 PET 结晶温度时, 喷嘴流道内的熔体将白浊化, 会影响型坯透明度。

## 2. 喷嘴与支管结构的设计

一模两腔 PET 瓶坯针点进浇的热流道注射模, 如图 9.5-4 所示, 它采用了直径为 3mm 且带 60° 锥度的针点浇口和塑料绝热层, 以减少 PET 熔体在喷嘴内的白浊现象和喷嘴热量急剧下降的可能。支管孔径取 12mm, 以减少熔体在支管内流动引起压力损失, 并在直角转弯处设有流线形堵头, 支管内表面粗糙度为  $R_a 0.4 \sim 0.2$  之间。为了防止热流道板温度的散失, 可在其周围采用 5mm 间隙, 用空气隔热的方法绝热。

## 9.5.6 吹塑模设计

注射吹塑模结构如图 9.5-5 所示, 它主要由型坯注射模的芯棒及脱模板和瓶口螺纹钳、吹塑模的两半凹模及瓶底塞等有关零部件构成。吹塑模既起着赋予中空制品的外观几何形状及尺寸的作用, 又起着冷却定型制品外形作用。为提高生产效率和保证制品质量, 应在离型腔壁约 12~15mm 处开设直径为  $\phi 10\text{mm}$  左右的冷却水管通水冷却。当制品冷却固化成型好需取出时, 构成瓶口螺纹钳和吹塑模的两半凹模应在外力作用下分开, 制品在脱模板作用下能顺利脱出。因此, 瓶口螺纹钳及吹模凹腔和模套应有导滑装置, 以保证其左右分开。

此外, 吹塑模在工作时要承受 0.3~1.0MPa 的吹胀压力。但它比型坯注射模的内压 (30~40MPa) 要小得许多, 因而吹塑模用材料的选择范围更宽, 也勿须硬化处理。但吹塑模的排气必须很好考虑。吹塑模排气孔设计与图 9.3-6 一样, 可开设在角隅和肩部, 或在分型面上开设宽为 10~20mm、深为 0.03~0.3mm 的排气槽, 具体可由表 9.5-1 选取。型腔粗糙度的高低与型腔表面处理, 将直接影响制品的外观。一般对吹塑高度透明或光泽性好的容器 (尤其采用 PET、PVC 或 PP) 时, 要抛光型腔表面。而对于高、低密度聚乙烯 (HDPE、LDPE) 作吹塑制品时, 后者可采用较细粒度 (60#~120#) 砂纸来擦拭型腔表面, 前者可采用较粗粒度 (30#~40#) 砂纸来擦拭。有时为要获得特殊花纹图案的制品表面, 可对型腔表面采用腐蚀或喷砂, 其化学腐蚀深

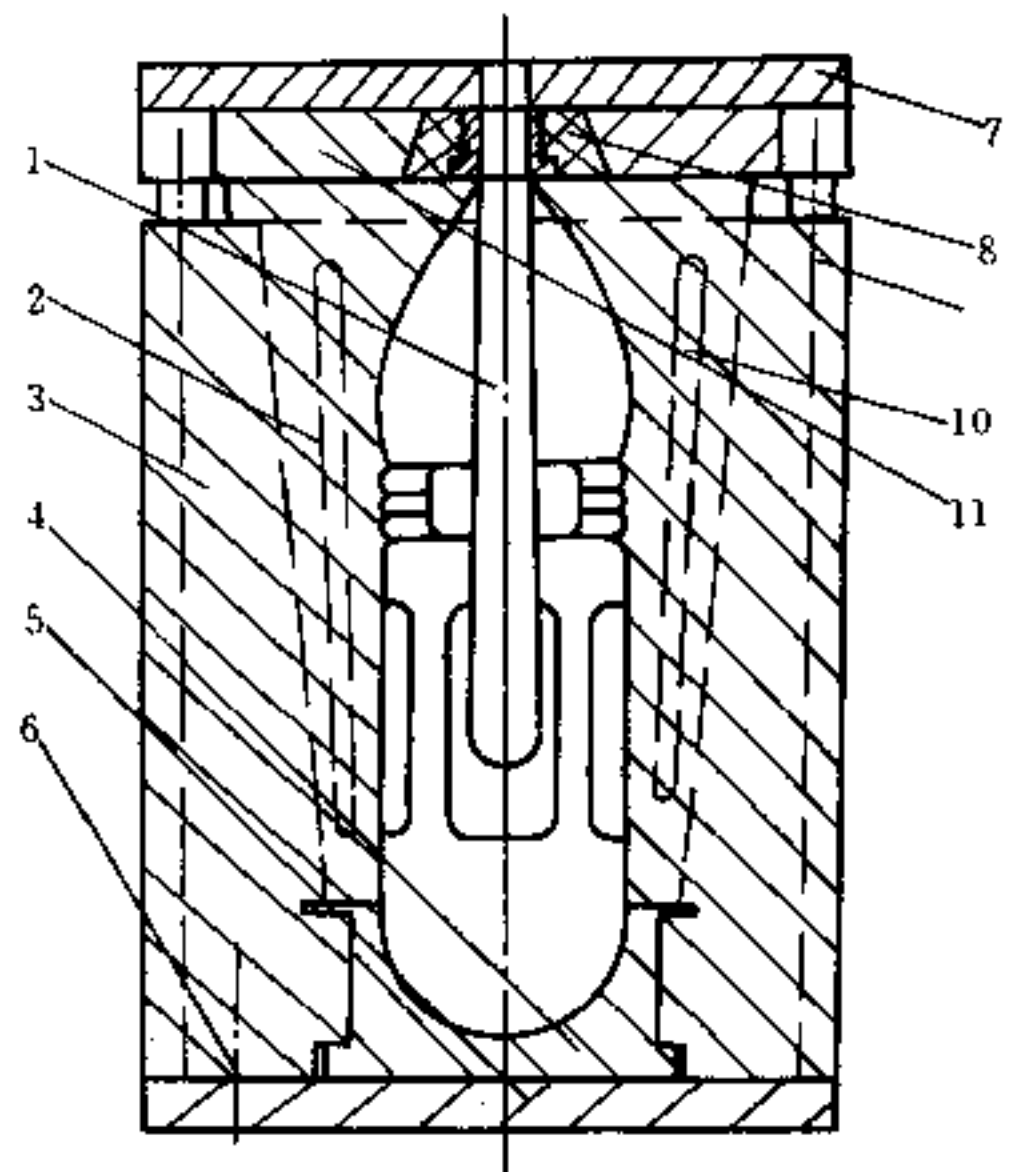


图 9.5-5 注射吹塑模具结构示意图

- 1—芯棒; 2—两半凹模; 3—模套; 4—瓶底塞;  
5—垫板; 6—螺钉; 7—脱模板; 8—左右瓶口钳;  
9—导向柱; 10—冷却水孔; 11—瓶口钳导滑块。

度或喷砂粒度应视制品需要和型腔用材来考虑。一般工程塑料与钢模具组合成型时，型腔表面花纹深度宜取 0.065~0.075mm，每 0.025mm 的花纹深度取 1.5° 的脱模锥角；铝合金型腔表面宜刻蚀出 0.65~0.75mm 的花纹，以使 HDPE 吹塑制品表面形成 0.25~0.30mm 的花纹。喷砂最常用材料有金刚砂、石英砂或硬砂砾等，它们最适宜用作聚乙烯瓶用型腔表面的处理。

表 9.5-1 吹塑模排气槽宽度和深度选取

容器的容积/L	排气槽宽/mm	排气槽深/mm
<5	5~10	0.01~0.02
5~10	10~15	0.02~0.03
10~30	15	0.03~0.04
30~100	15~20	0.04~0.10
100~500	20~25	0.10~0.30

吹塑模型腔尺寸，主要由制品外形尺寸和制品所用塑料种类的收缩率来确定。表 9.5-2 给出了常用吹塑制品收缩率，可供选用。

表 9.5-2 常用塑料的吹塑制品收缩率

塑料	收缩率/(%)	塑料	收缩率/(%)	塑料	收缩率/(%)	塑料	收缩率/(%)
LDPE	1.5~3.6	PVC	0.6~0.8	POM	2.0~3.5	PS	0.6~0.8
HDPE	1.5~3.0	PET	0.9~1.8	PC	0.5~0.8	PMMA	0.5~0.7
PP	1.2~3.0	PA	0.5~2.5	ABS	0.6~0.8		

### 9.5.7 吹模底塞设计

吹塑模底塞是成型中空容器瓶底外形的零件。它的结构设计应符合中空制品立放稳定性外，还要适合注射吹塑成型机器（立式横放或卧式横放、立式立放）的技术要求，以及模具本身结构的需要。一般用于横放的吹塑模具，底塞均是对称分为两半的，并与型腔凹模构成一体。用于立式立放吹塑模，其底塞多为整体而独立地设置在定模垫板的中央，如图 9.5-5 件 4 所示；如果中空制品瓶底凹陷深度较大，且又是采用横放模具成型时，则应将底塞设计成可移动式结构，以利于制品脱出。

### 9.5.8 脱模板设计

吹塑模脱模板是用于脱出中空制品瓶用的零件。但在实际使用中，它须与型坯注射模配合，以使其为整体。因此，在设计中应综合考虑两种不同类型模具所需结构外，还要考虑能顺利脱出其中空制品，以及与芯棒的配合关系等，才能满足注射吹塑成型工艺要求。

### 9.5.9 模具组合考虑

在注射吹塑中空制品成型中，型坯注射和吹塑模具之间除考虑必要的吹胀比关系外，更重要的是要考虑中空制品的注射型坯、吹胀瓶体和脱出制品的顺序性，以及芯棒带动型坯、瓶体旋转到位的准确性，才能确保注射吹塑中空制品工艺的正常运行。因此，除机器本身要设有旋转限位装置外，两种不同模具也要因其结构的需要而分别设置

合模导向定位机构。当型坯注射和瓶体被吹胀时，还应考虑注射模的锁模力及吹塑模闭合的可靠性。其次模温的设置和控制、芯棒锁紧及温度的恒定都会影响整个工艺的正常进行。因此，全面、系统、完整地考虑模具的组合作用，是注射吹塑模设计不可缺少的内容。

## 9.6 注拉吹塑成型技术

注射拉伸吹塑成型技术简称注拉吹成型技术。由于采用双向定向拉伸，从而赋予产品以优良的物理机械性能，因而使得该技术发展极为迅速。

### 9.6.1 注拉吹塑成型工艺

注射拉伸吹塑成型属热型坯一步法成型生产工艺。它的型坯注射成型及加热调整、拉伸吹塑成型、以至制品的取出，其工序都是在一台成型机上完成的。工艺特征如下（动作原理见图 9.6-1）。

(1) 在注拉吹塑机的转体上装有 4 块唇板，每块唇板可固定几个唇模（1~4 个）。从型坯注射成型到制品取出前都一直夹持，可以充分保护螺纹瓶口部分免受其损坏。也不会因再加热产生形变而影响封口的密封性，精度极高；

(2) 由于采用了红外加热，瞬间可使型坯内外温度均匀地被加热并调整到最宜拉伸吹胀的温度范围，即可低压、中压吹塑，成型尺寸稳定；

(3) 从型坯注射成型到制品取出都是一步完成，因而不必担心型坯的损伤、灰尘的附着，卫生性极好，最适宜食品饮料包装厂家由中空瓶生产到饮料灌装一条龙的流水线生产；

(4) 它比冷型坯二步法生产时，要从常温状态加热到吹塑最合适温度（90~100℃）节省热能，因而电力消耗量也可降低许多；

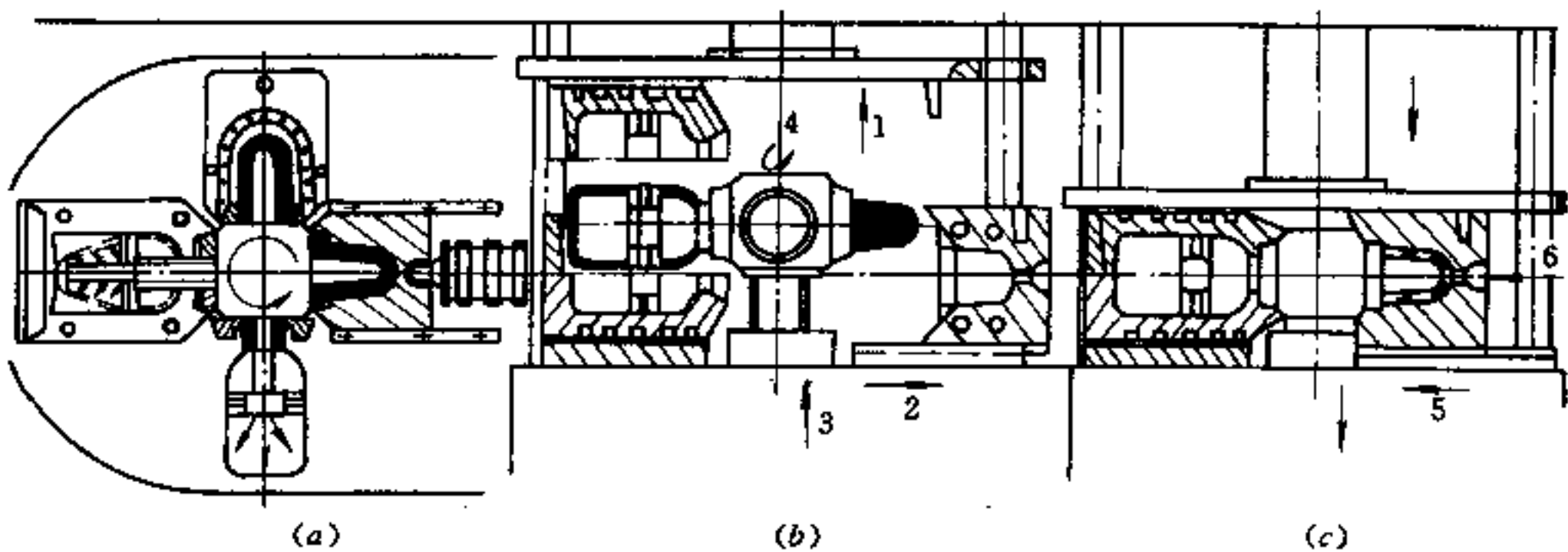


图 9.6-1 注拉吹塑成型工艺过程

(a) 注射、加热、拉伸吹胀、脱出平面图；

(b) 移动模板在主油缸作用下上升、注射模右移、转体上升并旋转 90°后定位；

(c) 转体下降、注射模左移定位，移动模板下降并锁紧注射、加热、拉伸吹塑模后，进入下一成型周期。

1—移动板上升；2—注射模右移；3—转体上升；4—旋转定位下降；5—注射模左移；

6—注射机左移注射成型、加热瓶坯、拉伸吹塑成型、脱出产品同时进行。

(5) 采用此种成型方法, 可大大节省原材料的消耗 (无废边次品及回头料把等), 且经纵横双向拉伸后的中空容器, 其物理机械性能均得到提高, 瓶壁薄, 透明度高。

### 9.6.2 注拉吹塑型坯设计

中空塑料瓶拉伸吹塑倍率的决定, 往往因瓶体形状、用途不同而有很大差异。而纵横延伸倍率不同对制品物理机械性能有很大影响, 如表 9.6-1 所示。拉伸倍率高的瓶子强度大, 即使横向拉伸倍率相同而纵向拉伸倍率大, 瓶体的整个强度也高。所以, 注拉吹塑成型的型坯与中空容器的外形尺寸的确定, 显得非常重要。在注拉吹塑一步法成型中, 型坯应怎样设计计算才能成型出合格的中空制品呢? 可根据如图 9.6-2 所示瓶坯与制品来确定和计算。

表 9.6-1 PET 拉伸倍率和制品特性比较

PET 中空瓶		拉伸倍率	屈服强度 /MPa	断裂强度 /MPa	伸长率 /%
A	纵向	1.79	70.61	0.104	305
	横向	5.38	0.135	0.164	69
B	纵向	1.86	80.42	0.116	114
	横向	3.96	0.210	0.235	21
C	纵向	1.75	76.49	0.129	77
	横向	3.96	0.204	0.210	10

#### 一、PET 瓶外形结构和尺寸设计

##### 1. 按使用要求设计

双轴向拉伸定向瓶子的定向形态是由肩部、底部的低定向 (即壁较厚) 和瓶体部的高定向相结合而构成, 食用碳酸饮料中最重要的  $\text{CO}_2$  损失问题, 它很大程度依赖于瓶子的壁厚及其定向程度, 如图 9.6-3 所示。瓶子壁若厚,  $\text{CO}_2$  就被 PET 瓶壁吸收。反之, 就通过瓶壁逸散到外部, 其透过逸散的  $\text{CO}_2$  随着壁厚增加 (瓶重量增加) 而减少。瓶内的  $\text{CO}_2$  由于两极的减少 (瓶壁吸收和向外逸散), 加起来即构成总的  $\text{CO}_2$  损失。

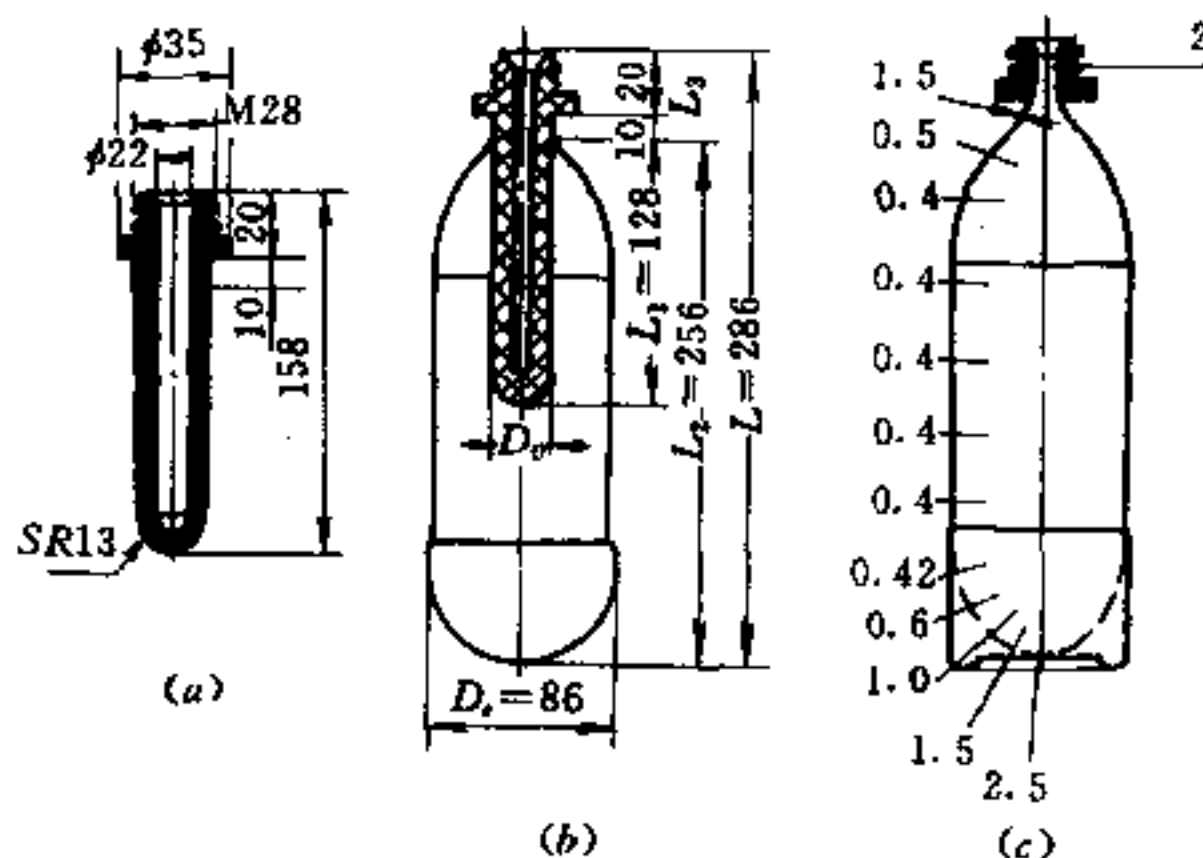


图 9.6-2 PET 瓶坯尺寸和延伸示意图

(a) PET 瓶坯结构与尺寸; (b) PET 瓶坯延伸结构与尺寸;

(c) PET 瓶吹胀成型壁厚尺寸断面情况。

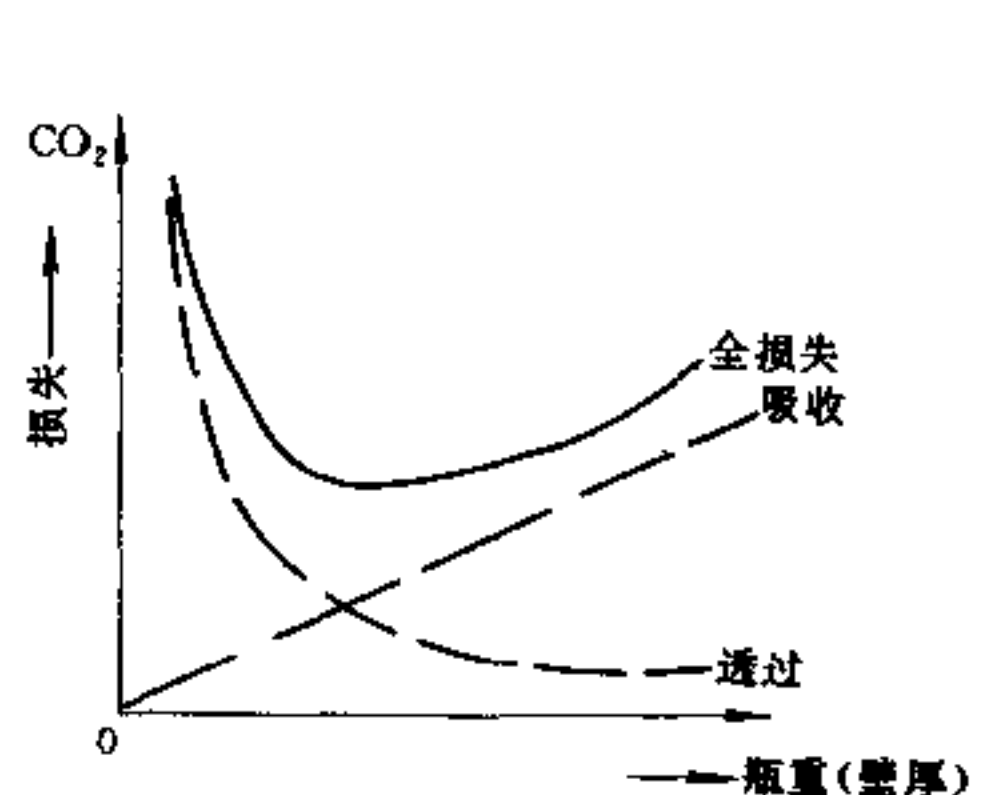


图 9.6-3 瓶内  $\text{CO}_2$  损失情况

由于饮料瓶要求具有直立负荷力和热稳定性等关系，像含碳酸饮料类的可口可乐瓶子，其壁厚最好在 0.25~0.35mm 之间。图 9.6-4 是经充分拉伸定向后的瓶子壁厚与密度、而定向度的关系，从图中看出，经拉伸定向后的壁越薄，密度及面定向度也越高，其抗 CO<sub>2</sub> 损耗就越高。因此，可获如下结论：

- (1) 应尽可能设计成表面积小的形状（体矮径大的容器）；
- (2) 瓶体肩部、底部应尽量多定向；
- (3) 瓶体重量不能超过一定限度。

## 2. 按成型工艺条件设计

(1) 所用塑料的粘度要控制在最小限度，特别是对易吸湿材料，如 PET 加热到熔体（255~265℃）以上即引起水解，降低聚合度，也降低物理机械性能。所以应使塑料水分含量保持 0.005% 以下，且料筒加热温度不宜过高，如图 9.6-5 所示。

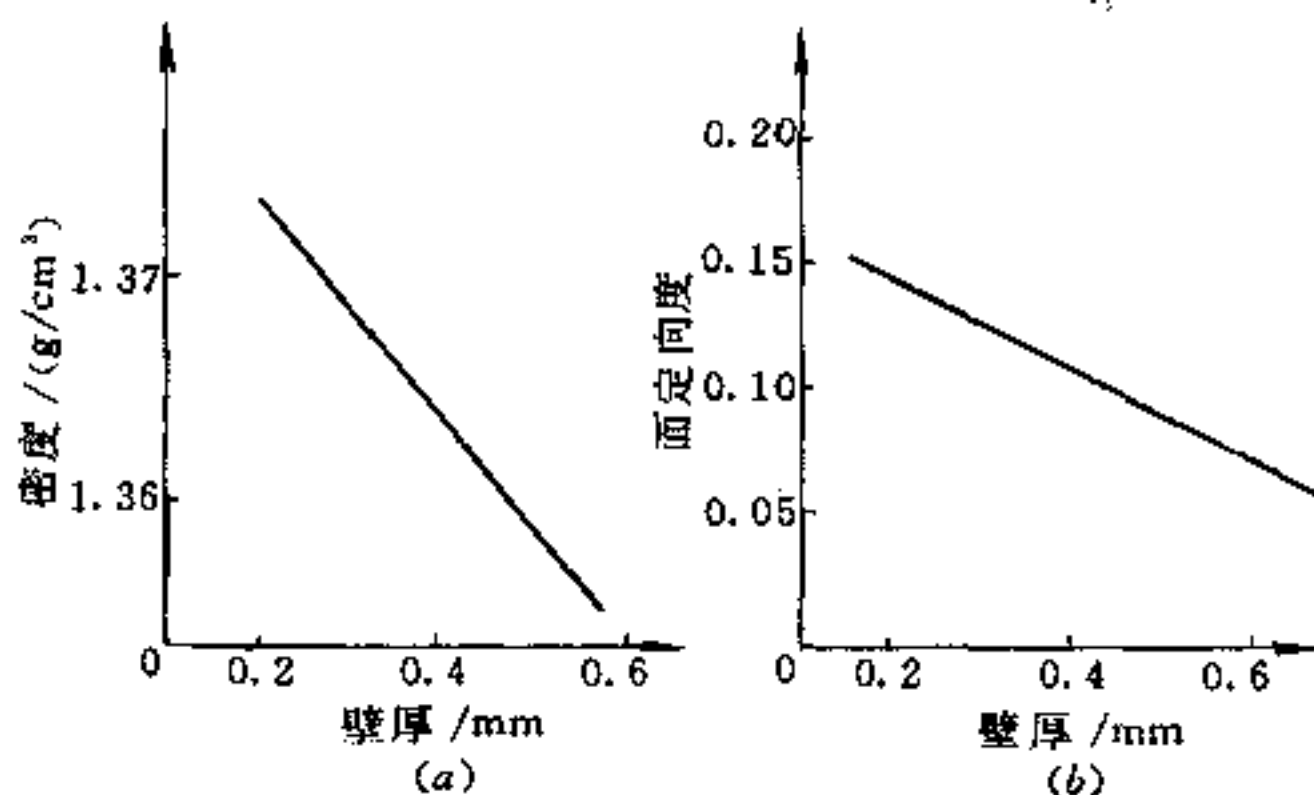


图 9.6-4 壁厚与密度、面定向度的关系  
(a) 密度与壁厚关系；(b) 面定向度与壁厚。

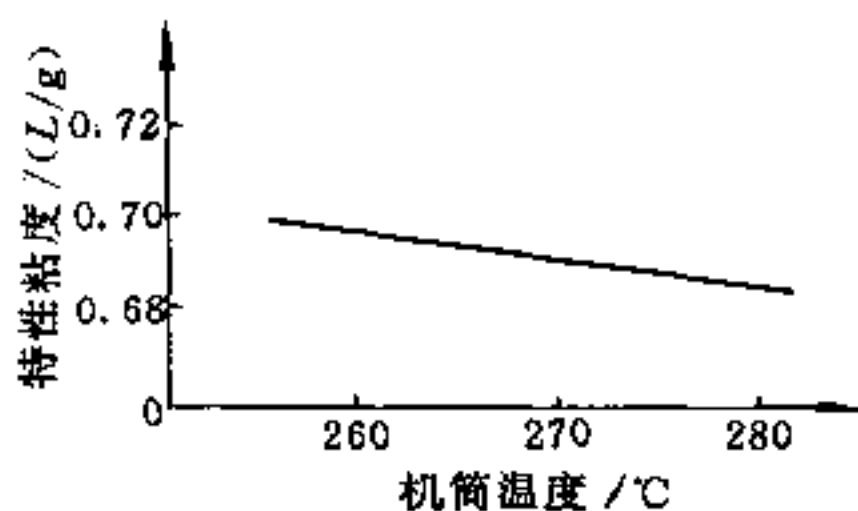


图 9.6-5 特性粘度和机筒温度

(2) 应选择适宜的低拉伸型坯的温度，如图 9.6-6 所示，就可提高拉伸强度和冲击强度，而且其面定向度也会提高，同时还要注意碳酸饮料瓶的径向受压远大于轴向受压，因此其纵横拉伸比确定极为重要，如图 9.6-7 所示。

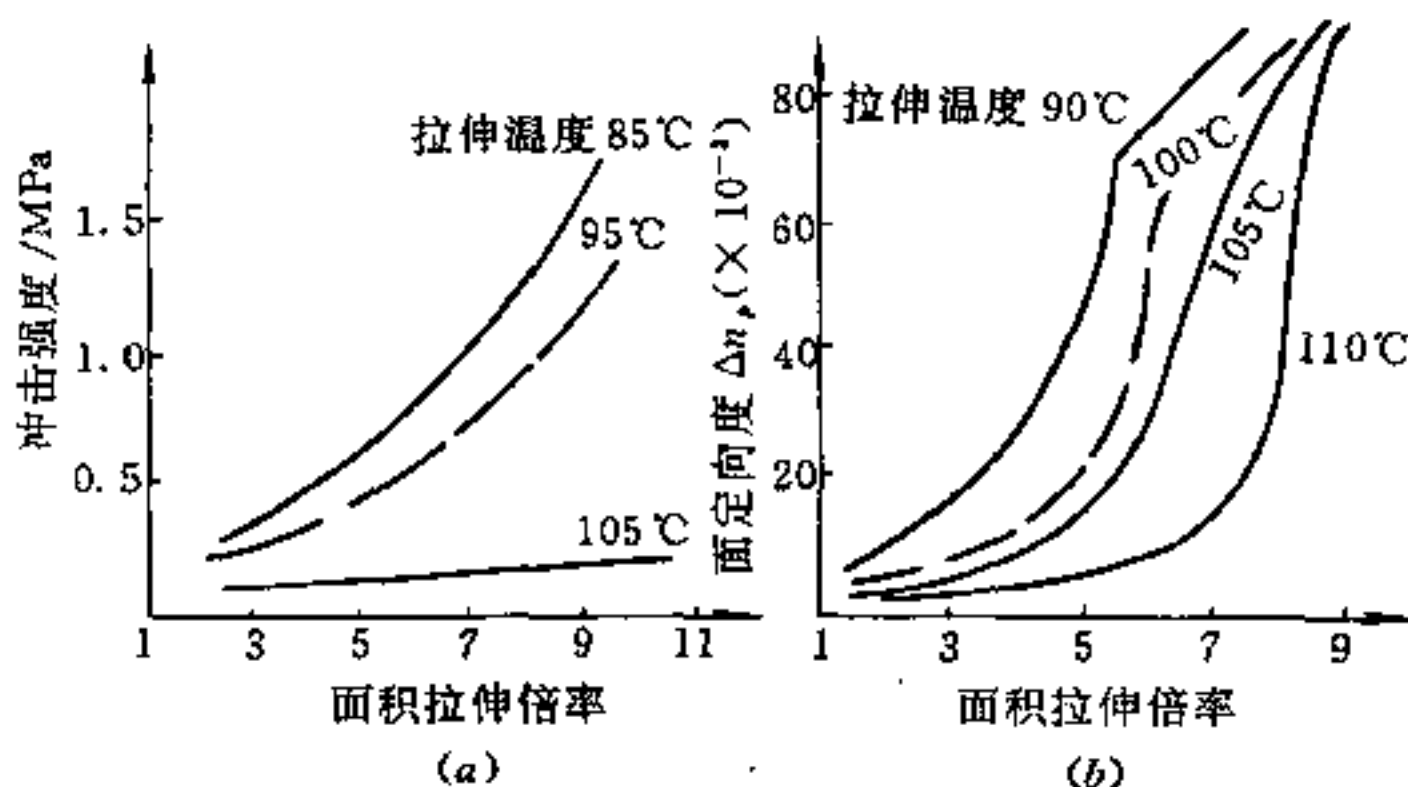


图 9.6-6 拉伸倍率与拉伸、冲击强度和面定向度的关系  
(a) 拉伸倍率与拉伸、冲击强度的关系；(b) 拉伸条件与面定向度的关系。



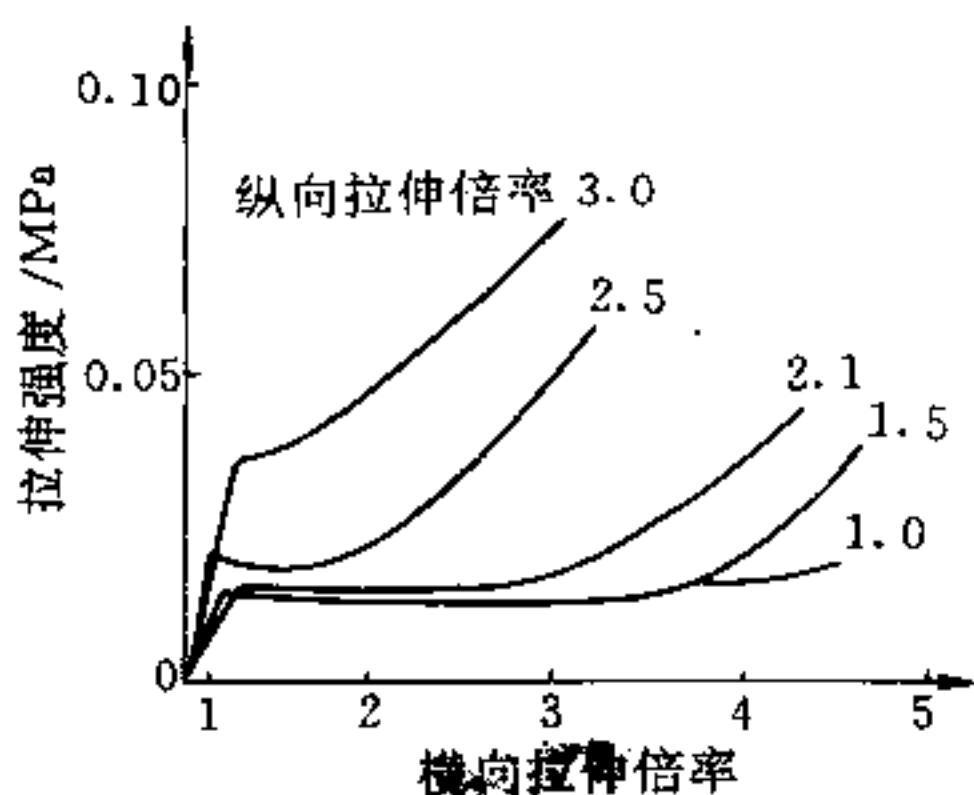


图 9.6-7 拉伸倍率应力曲线

(3) 中空瓶的热拉伸吹塑温度愈高, 其容积收缩率愈小, 它和注射吹塑、挤出吹塑有同样的倾向, 如图 9.6-8 所示。

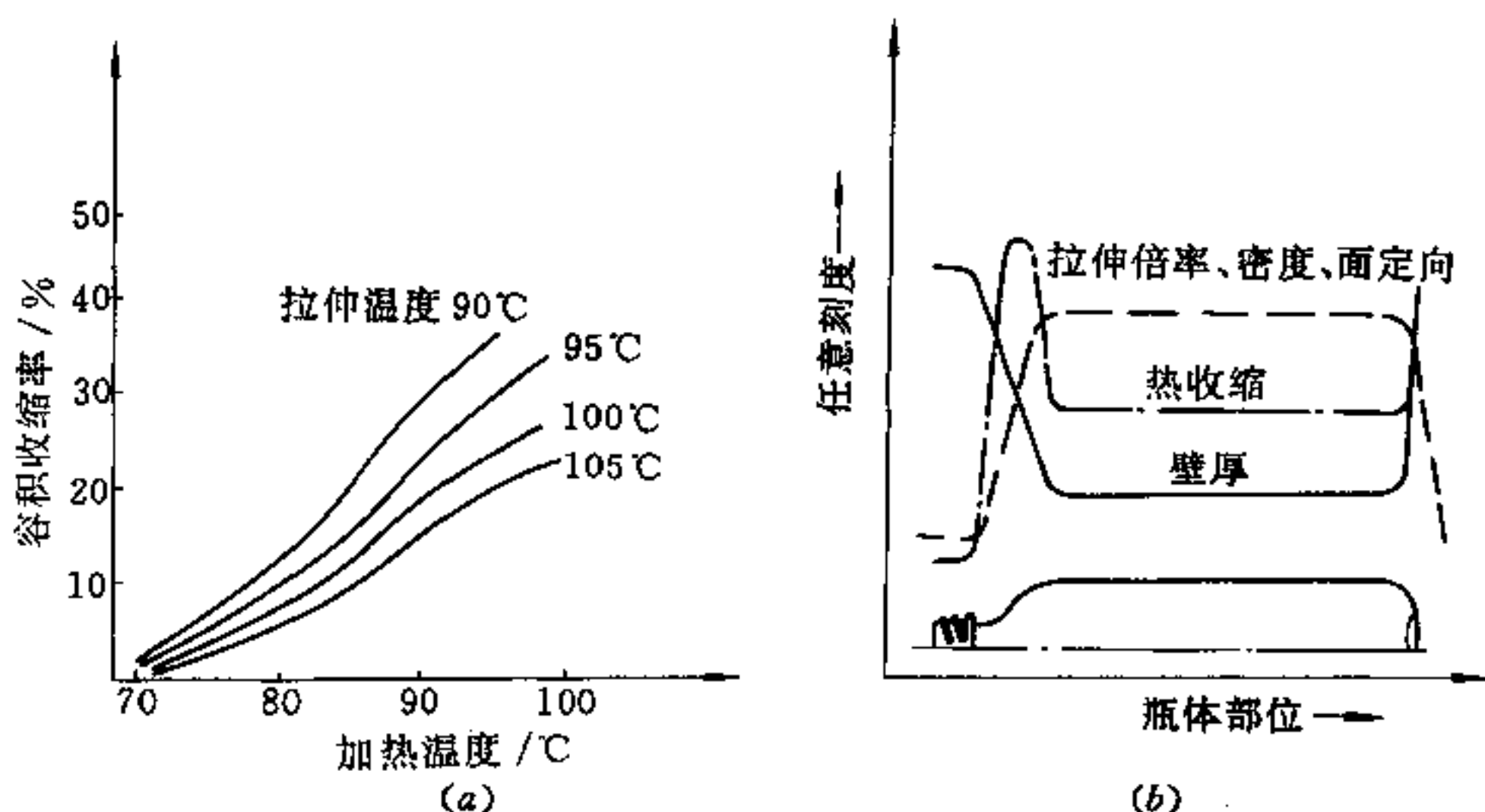


图 9.6-8 双轴拉伸定向瓶的收缩及物理性能

(a) 拉伸温度与容积收缩率; (b) 中空瓶的部位和物理性能关系。

## 二、PET 瓶坯壁厚计算

根据中空 1.25L PET 瓶外形结构设计 (如图 9.6-2 (b) 图所示) 和理论计算, PET 瓶口螺纹未拉伸部分的质量为 8g, 约占总质量的 18.2%, 而整个瓶重质量为 44g。所以, 型坯将被拉伸吹胀部分的质量为 36g, 若瓶坯口上端内径设计为  $\phi 22\text{mm}$ 、下端为  $\phi 18\text{mm}$ , 则参与拉伸吹胀的高度为 138mm 时, 型坯瓶壁厚计算过程如下:

### 1. PET 型坯拉伸部分体积

$$V_0 = m / \rho = 36\text{g} \div 1.355\text{g}/\text{cm}^3 = 26.568\text{cm}^3 \quad (9.6-1)$$

式中  $V_0$ ——PET 型坯拉伸部分体积 ( $\text{cm}^3$ );

$m$ ——参与拉伸时瓶体质量 (g);

$\rho$ ——PET 塑料密度, 在  $1.33 \sim 1.38\text{g}/\text{cm}^3$  之间。

### 2. PET 瓶坯壁厚结构与计算

由于瓶坯参与拉伸的底球面在拉伸吹塑成型时,并未能够被充分吹胀变薄,因而我们将该部分的壁厚设计成为 1.5mm、2mm 和 2.5mm 时,由图 9.6-9 所示的  $r_2$  尺寸,可得  $R_2$  分别为 12mm、12.5mm、13mm,则  $R_1$  计算公式如下:

(1) 瓶坯外半径  $R_1$  计算

$$\text{因为 } V_0 = \frac{\pi H}{3} [(R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2) - (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)]$$

$$\text{所以 } R_1 = \sqrt{\frac{3V_0}{\pi H} + (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) - \frac{3R_2^2}{4} - \frac{R_2}{2}} \quad (9.6-2)$$

$$\text{而 } V_0 = V_1 - V_5, V_5 = \frac{4}{6} \pi (R_2^3 - r_2^3), V_0 = \frac{m}{\rho} = 26.568 \text{cm}^3, H_0 = L_1 - R_2$$

则  $R_1 =$

$$\sqrt{\frac{3 \times [26.568 - \frac{4}{6} \times 3.14 \times (1.2^3 - 1.05^3)]}{3.14 \times (12.8 - 1.2)} + (1.15^2 + 1.15 \times 1.05 + 1.05^2) - \frac{3 \times 1.2^2}{4} - \frac{1.2}{2}} = 15.5(\text{mm})$$

同理:当  $R_2 = 12.5\text{mm}$ 、 $13\text{mm}$  时,  $R_1 = 15.0\text{mm}$ 、 $14.45\text{mm}$ 。

其中,  $V_0$  为瓶坯被拉伸部分体积 ( $\text{cm}^3$ );  $V_1$  为瓶坯参与拉伸部分体积 ( $\text{cm}^3$ );  $V_5$  为瓶坯底球面体积 ( $\text{cm}^3$ );  $R_1$  为瓶坯大端外半径 (mm);  $R_2$  为瓶坯小端外半径 (mm);  $r_1$  为芯棒大端半径 (mm);  $r_2$  为芯棒小端半径 (mm);  $H_0$  为瓶坯参与拉伸的管长 (mm);  $L_1$  为瓶坯被加热部分长度 (mm)。

(2) PET 瓶拉伸吹胀比确定

$$\lambda_z = \frac{L_2}{L_1} = \frac{256}{128} = 2$$

$$\lambda_r = \frac{D_s}{D_0} = \frac{86}{2R_{cp}} = \frac{86}{2 \times 13.75} = 3.13$$

$$R_{cp} = \frac{R_1 + R_2}{2} = \frac{15.5 + 12}{2} = 13.75 \text{ (mm)}$$

所以  $\lambda_{zr} = \lambda_z \lambda_r = 2 \times 3.13 = 6.26$

其中  $R_{cp}$  为瓶坯的外平均半径 (mm);  $D_s$  为制品外径 (mm);  $D_0$  为瓶坯外径 (mm);  $\lambda_{zr}$  为拉伸吹胀比;  $\lambda_z$  为拉伸比;  $\lambda_r$  为吹胀比。

(3) PET 瓶坯壁厚计算与白浊现象比较如图 9.6-10 所示。

$$\begin{aligned} \delta &= R_{cp} - r_{cp} = \frac{R_1 + R_2}{2} - \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{15.5 + 12}{2} - \frac{11.5 + 10.5}{2} \\ &= 2.75 \text{ (mm)} < 4\text{mm 为透明瓶坯} \end{aligned}$$

式中  $\delta$ ——瓶坯壁厚 (mm);

$r_{cp}$ ——瓶坯内半径平均值 (mm)。

### 9.6.3 瓶坯脱模力计算

中空瓶坯与一般注射制品相比,其壁厚尺寸较厚,按照塑料成型模具脱模力之规定,应按厚壁公式计算如下,图 9.6-11 为一模四腔结构。

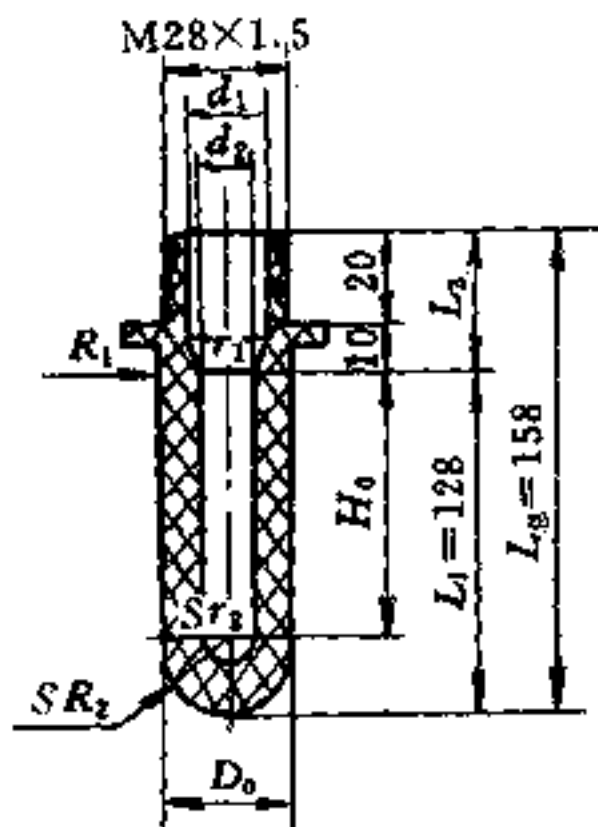
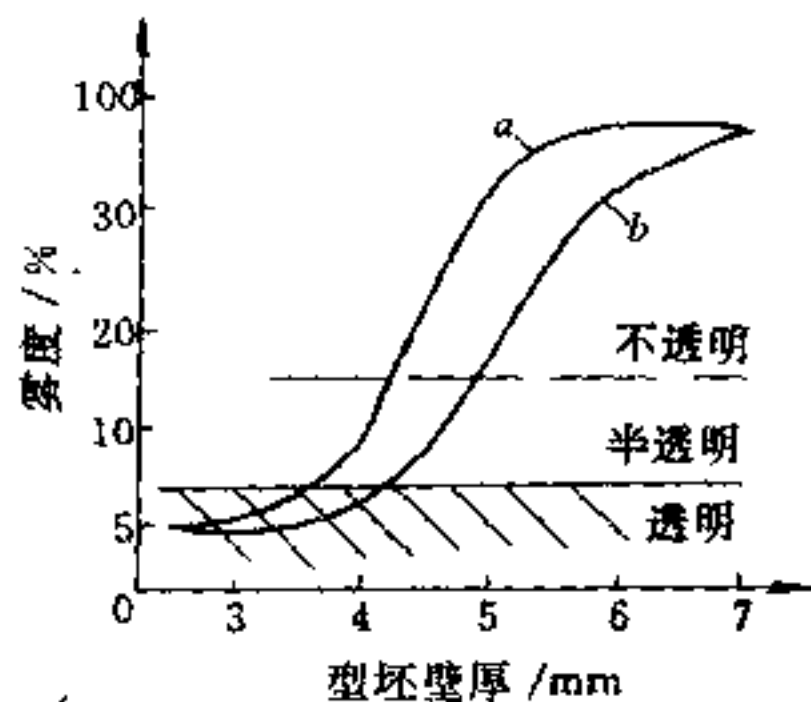


图 9.6-9 瓶坯结构尺寸设计

图 9.6-10 瓶坯壁厚与透明性  
a—低粘度 PET; b—高粘度 PET。

$$\therefore \frac{t}{D} = \frac{2.75}{27.5} = 0.1 > 0.05, \text{ 属厚壁制品。}$$

$$\therefore F_{\text{总}} = 4F = 4 \left[ \frac{2\pi r_{cp} E \epsilon L}{\cos\alpha + \mu \cos\alpha + \frac{2r_{cp}^2}{f^2 \cos\alpha + 2tr_{cp}}} \cdot \frac{\cos\alpha (f - \tan\alpha)}{(1 + f \sin\alpha \cdot \cos\alpha)} + B \right]$$

$$= 4 \times \left[ \frac{2 \times 3.14 \times 0.011 \times 2.8 \times 10^9 \times 0.018 \times 0.158}{\cos 27' + 0.4 \times \cos 27' + \frac{2 \times 0.011^2}{0.26^2 \times \cos 27' + 2 \times 0.00275 \times 0.011}} \right]$$

$$\times \frac{\cos 27' \times (0.26 - \tan 27')}{(1 + 0.26 \sin 27' \cos 27')} + 3.14 \times 0.0115^2 \times 9.807 \times 10^4$$

$$= 39.5 \text{ kN} < 490 \text{ kN}, \text{ 合理。}$$

其中,  $F_{\text{总}}$  为抽拔总力 (kN);  $F$  为单腔模抽拔力 (kN);  $r_{cp}$  为型芯 (型坯内半径) 平均半径 (mm);  $E$  为 PET 塑料弹性模量, 2.8GPa;  $\epsilon$  为 PET 塑料收缩率, 1.8%;  $L$  为 PET 瓶坯包紧型芯总长度 (mm);  $f$  为 PET 塑料与钢摩擦系数, 取 0.26;  $\mu$  为 PET 塑料泊松比, 取 0.4;  $t$  为瓶坯壁厚 (mm);  $D$  为瓶坯直径 (mm)。

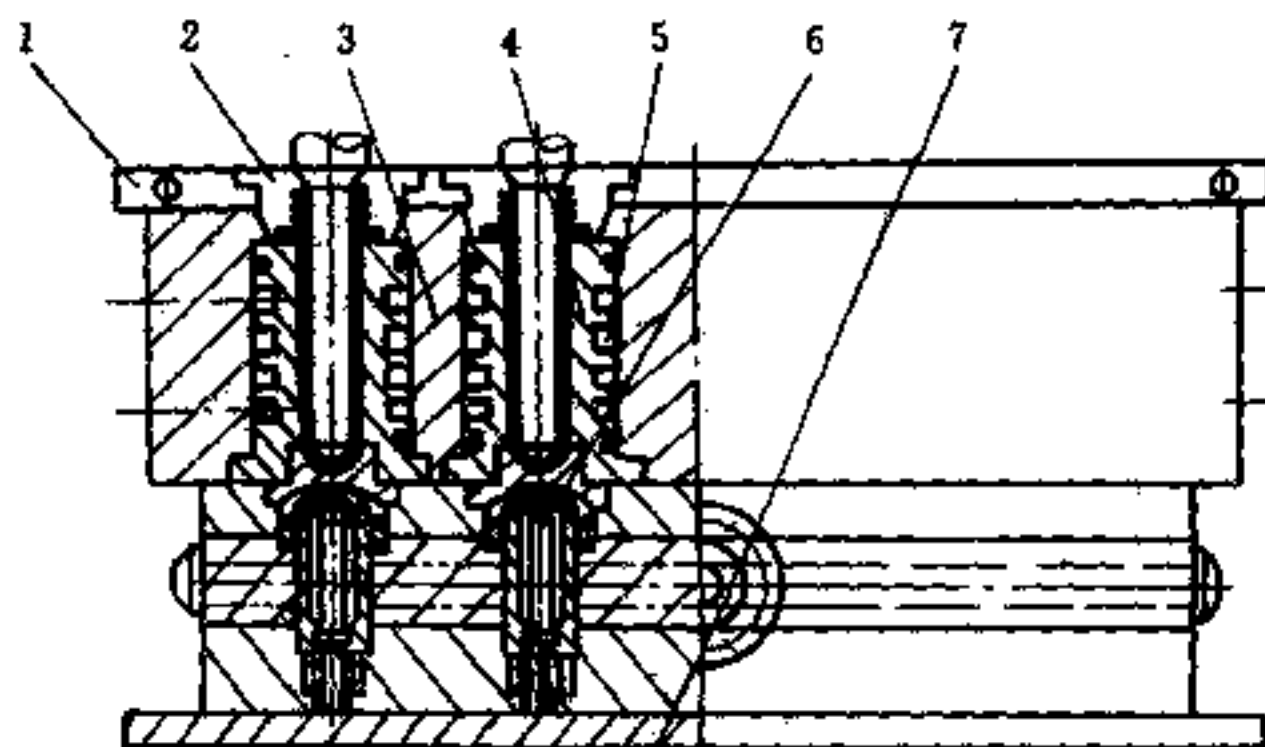


图 9.6-11 PET 热流道一模四腔瓶坯注射模结构

1—脱模夹板; 2—螺纹瓶口夹钳; 3—模体; 4—型腔套; 5—矩形冷却水槽; 6—热流道浇注系统; 7—垫板。



### 9.6.4 型坯模弦度校核

为提高 PET 瓶坯表面光洁度和高的透明效果，我们除应控制瓶坯壁厚的尺寸外，还应选用抛光性能极好；且耐磨耐腐蚀、高硬度的优质合金工具钢和强行冷却（后述）。目前国内外普遍推荐选用 P20、5NiSCa、PMS 等钢材，现以国产 P20 新钢种作为 PET 瓶坯模具的型腔套，其壁厚刚弦度校核如下：

已知：P20 钢  $[\sigma_b] = 10.25\text{MPa}$ ，型腔压力为  $P = 49\text{MPa}$ ，当瓶坯外半径  $R_{cp} = 13.75\text{mm}$ ，型腔套壁厚设计为  $20\text{mm}$  时，允许间隙  $\delta = 0.05\text{mm}$ 。

校核  $S_{刚}$  和  $S_{弦}$  应为多少？

$$\text{解：} \quad \because S_{刚} = R_{cp} \sqrt{\frac{1 - \mu + \frac{E\delta}{R_{cp}P}}{\frac{E\delta}{R_{cp}P} - \mu - 1} - 1}$$

$$\therefore S_{刚} \approx 0.947(\text{mm}) < 20\text{mm}$$

$$\because S_{弦} = R_{cp} \left( \sqrt{\frac{[\sigma_b]}{[\sigma_b] - 2P}} - 1 \right)$$

$$\therefore S_{弦} \approx 0.71(\text{mm}) < 20\text{mm} \quad \text{合格。}$$

其中， $E$  为 P20 钢弹性模量， $206\text{GPa}$ ； $\delta$  为型腔允许变形量（mm）； $\mu$  为钢的泊松比，P20 钢取 0.25； $[\sigma_b]$  为 P20 钢拉伸许用应力  $1025\text{MPa}$ ； $P$  为最大型腔压力  $49\text{MPa}$ 。

### 9.6.5 浇注系统设计与加热计算

为保证产品质量和生产的连续性，以及注射瓶坯工位生产的高度自动化，应选用热流道浇注系统。我们设计的热流道系统为内外加热相结合的形式，即主分流道用电热棒加热，使熔体保持熔融温度，次分流道则采用环形外加热圈，温度可调。浇口设计成弹簧针阀式，如图 9.6-11 所示。

热流道加热功率计算如下：

#### 1. 需加热总热量

$$\begin{aligned} Q_{总} &= Q_1 + Q_2 \\ &= m_s c_p (t_2 - t_1) + m_j c_j (t_2 - t_1) \\ &= 0.312 \times 1.897 \times (280 - 20) + 30.6 \times 0.482 \times (280 - 20) \\ &= 3907.5 \text{ (kJ)} \end{aligned}$$

其中， $Q_1$  为塑料保持熔融状态所需热量（kJ）； $Q_2$  为流道加热板恒温时所需热量（kJ）； $m_s$  为主分流道凝料重量（kg）； $c_p$  为 PET 塑料比热（ $\text{kJ/kg}\cdot\text{C}$ ），取  $1.897\text{kJ/kg}\cdot\text{C}$ ； $m_j$  为金属模具重量（kg）； $c_j$  为金属材料比热容  $\text{kJ/kg}\cdot\text{C}$ ，取  $0.482\text{kJ/kg}\cdot\text{C}$ ； $t_1$ 、 $t_2$  为塑料所需的温度。

#### 2. 实耗功率计算

$$W = \frac{Q_{总}}{\eta T} = \frac{3907.5}{0.5 \times 3600} = 2.2 \text{ (kW)}$$

式中  $W$ ——加热功率（kW）；

$\eta$ ——传热效率（0.5~0.7）；

$T$ ——升温时间 (0.5~1h)。

计算结果表明所需加热功率较小, 为便于调节, 我们选用 E 型热铬-铜敏感元件热电偶监测, 将主要分流道的温度 (控制在  $280 \pm 5^\circ\text{C}$  范围内) 反馈到模外集中控制, 表 9.6-2 为常见加热元件功率参数。

表 9.6-2 加热棒、圈功率参数

类型	有效功率 /W	规格 /mm			数量	备注
		内径	外径	长度		
棒 I	1500	—	$\phi 16 \pm 0.1$	200	2	
棒 II	600	—	$\phi 16 \pm 0.1$	50	1	
圈 I	600	$\phi 28$	$\phi 50$	25	4	可调节

### 9.6.6 冷却系统参数校核

当瓶坯成型总周期定为 20s, 其中注射定为 3s, 冷却 7s, PET 熔体温度  $t_{1\max} = 280^\circ\text{C}$ , 固化  $t_{1\min} = 75^\circ\text{C}$ , 模温  $t_{2\max} = 70^\circ\text{C}$ ,  $t_{2\min} = 65^\circ\text{C}$ , 视放出热量  $Q_1$  有 95% 被冷却水带走, 我们可按下述公式计算。

#### 1. 熔体与凹模型腔壁间的平均温度

$$(t_m - t_{cp})_{mG} = \frac{Q_1}{3.6\alpha_1 ST} = \frac{n \cdot \Delta I \cdot m_{cp}}{3.6\alpha_1 ST} = \frac{3600/20 \times 493 \times 0.042}{3.6 \times 430 \times 0.021 \times 0.5} = 229.3^\circ\text{C}$$

其中,  $n$  为每小时生产次数,  $3600\text{s}/20\text{s} = 180$  件;  $\Delta I$  为 PET 塑料热焓,  $493\text{kJ/kg}$ ;  $m_{cp}$  为 PET 塑料瓶坯重量,  $0.042\text{kg/件}$ ;  $\alpha_1$  为塑料与金属模间传热系数,  $430\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $S$  为塑料瓶坯传热总面积,  $0.021\text{m}^2$ ;  $T$  为注塑和固化时间与总周期之比值,  $T = \frac{(3+7)}{20} = 0.5$  (由前设定);  $t_m$  为 PET 熔体温度, 它与  $t_{1\max}$  相等;  $t_{cp}$  为模具控制平均温度, 为  $\frac{1}{2} (t_{2\max} + t_{2\min})$ 。

#### 2. 模具型腔壁平均温度

$$\begin{aligned} (t_m - t_{cp})_m &= \frac{0.4343[(t_{1\max} - t_{2\min}) - (t_{1\min} - t_{2\max})]}{\lg \frac{(t_{1\max} - t_{2\min})}{(t_{1\min} - t_{2\max})}} \\ &= \frac{0.4343 \times [(280 - 65) - (75 - 70)]}{\lg \frac{(280 - 65)}{(75 - 70)}} \\ &= 55.8^\circ\text{C} \end{aligned}$$

#### 3. 注塑瓶坯前模具控制温度

$$t_{cp} = \frac{1}{2} (t_{2\max} + t_{2\min}) = \frac{1}{2} (70 + 65) = 67.5^\circ\text{C}$$

所以, 控制温度  $t_{cp}$  可为  $(67.5 \pm 2.5)^\circ\text{C}$ 。

以上计算结果表明, 为保证模温恒定, 有利于产品质量, 在瓶坯注塑前应对模具加热, 而在注塑过程中, 因熔体温度较高, 模具内的型腔表面升温极快, 必须对型腔内表面的热量进行疏导, 即开设冷水管用水强行冷却, 才能保证注拉吹塑成型工艺连续正常地生产。根据模具型腔套所设水槽尺寸为  $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ , 现假设进水温度  $t_{3\min} = 20^\circ\text{C}$ ,

出水温度  $t_{3\max} = 30^\circ\text{C}$ ，冷却水管长度  $L$  应由下列公式计算求出：

(1) 冷水带走的热量及在矩形水管中的线流速分别为（假设  $Q_1$  放出的热量有 95% 被水带走）：

$$\text{因为 } Q_2 = m_2 c_{p2} (t_{3\max} - t_{3\min})$$

$$Q_2 = Q_1 = n \cdot \Delta I \cdot m_{cp} \times 95\%$$

$$\text{所以 } m_2 = \frac{\frac{3600}{20} \times 493 \times 0.042 \times 0.95}{4.187 \times (30 - 20)} = 84.6 \text{ (kg/h)}$$

$$V = \frac{84.6}{\rho b^2 h} = \frac{84.6}{997 \times 0.005^2 \times 3600} = 0.943 \text{ (m/s)}$$

其中， $V$  为水流速 (m/s)； $\rho$  为水的密度， $997\text{kg/m}^3$ ； $b$  为矩形水槽的边长 ( $b = 5\text{mm}$ ) (m)； $h$  为 1 小时，为 3600s； $m_2$  为冷却水的重量 (kg/h)； $c_{p2}$  为冷却水的定压比热，为  $4.187\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ 。

(2) 冷却水管长度  $L$ ：

$$\text{因为 } S_{\text{总}} = \frac{Q_2}{3.6\alpha\Delta T}$$

$$\alpha = A \cdot \frac{(\rho V)^{0.8}}{d^{0.2}} = 7.95 \times \frac{(997 \times 0.943)^{0.8}}{[(4 \times b)/\pi]^{0.2}} = 7.95 \times \frac{(997 \times 0.943)^{0.8}}{(4 \times 0.005/3.14)^{0.2}}$$

$$= 5225.3 (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = t_{cp} - \frac{1}{2}(t_{3\max} + t_{3\min}) = 67.5 - \frac{1}{2}(30 + 20) = 42.5^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = Q_1 = 95\% n \Delta I m_{cp} = \frac{3600}{20} \times 493 \times 0.042 \times 0.95 = 3541 (\text{kJ/h})$$

$$S_{\text{总}} = 4bL = 4 \times 0.005 \times L = 0.02L (\text{m}^2)$$

$$\text{所以 } L = \frac{Q_2}{0.02 \cdot 3.6\alpha \cdot \Delta T} = \frac{3541}{0.02 \times 3.6 \times 5225.3 \times 42.5} \approx 0.221 (\text{m})$$

其中， $S_{\text{总}}$  为冷却水管总表面积 ( $\text{m}^2$ )； $Q_2$  为冷却水带走的热量 (kJ/h)； $\alpha$  为冷却介质对管壁传热系数 ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )； $A_0$  为与冷却水温有关的物理系数，当平均水温为  $25^\circ\text{C}$  时，它为 7.95； $d$  为圆形水管直径，在当量直径上应为  $\frac{4b}{\pi}$ ； $\Delta T$  为模具与冷却介质的平均温差 ( $^\circ\text{C}$ )； $L$  为冷却水管总长度 (m)。

(3)  $Re$  值的校核

由《化工工艺设计》手册查得，当水温  $t_{3cp} = 25^\circ\text{C}$ ，水的密度  $\rho = 977\text{kg/m}^3$ ，水的平均粘度  $\mu = 92 \times 10^{-6} \text{N}\cdot\text{s/m}^2$  时，得：

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{0.943 \times 4b\rho}{\mu\pi} = \frac{0.943 \times 4 \times 0.005 \times 997}{92 \times 10^{-6} \times 3.14} \approx 65091 > 10^4$$

故符合稳定紊流要求，上述计算合格。

## 参 考 文 献

- 1 [英] 塑料加工工业译文选. 中空吹塑. 上海塑料制品工业研究所、吉林省塑料研究所译. 北京: 轻工业出版社, 1984
- 2 邹立谦编著. 塑料制品设计 (上册). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 3 本书编写组编著. 塑料模设计手册 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1994
- 4 王鹏驹, 唐志玉等主编. 塑料模技术手册. 北京: 机械工业出版社, 1996

# 第十章 塑料模具结构零件及标准

## 10.1 标准化的重要性

### 10.1.1 模具标准化的意义

随着塑料制品社会需求量的不断增加，塑料模的标准化显得更加重要。

塑料制品加工行业的显著特点之一是高效率、大批量的生产方式。这样的生产方式要求尽量缩短模具的生产周期，提高模具制造质量。为了实现这个目标就必需采用标准模架及塑料模具标准零件。一个国家的模具标准化程度越高，所制定的标准越适合生产实际，就表明这个国家的工业化程度越高，塑料加工工业就越发达。

现代塑料模具生产的另一个显著特点是，对模具设计和加工的要求越来越高。CAD/CAM 技术及数控加工技术为模具设计与制造提供了现代化手段，使高质量，高效率地设计制造具有特殊复杂型腔、且要求高精度的模具成为可能。模具标准化、系列化工作是开发模具 CAD/CAM 系统的前提。

模具技术标准化，为模具设计与制造规定了必须或应该遵循的技术规范、基准或准则。这对于提高专业协作生产水平，缩短模具制造周期，提高模具质量和使用性能，降低生产成本等诸多方面，均具有十分重要的实际意义和明显的经济效益。

因此，模具标准化是现代化生产的要求，是提高国家工业化水平所必须，也是实现对外技术交流、扩大贸易、增强国家技术经济实力，必不可少的一项经常性的技术工作。

### 10.1.2 塑料模具标准化现状

1980 年在国际标准化 (ISO) 组织的计划委员会第 18 次会议上，通过决议成立国际模具标准化组织，其代号为 ISO/TC29/SC8。自 1982 年以来，SC8 已经制订和审查通过了 18 项国际通用模具技术标准，另有多项标准草案正在审理中。

我国十分重视模具标准化工作。自 SC8 成立后，就立即成立了其对口组织，即《全国模具标准化技术委员会》。该委员会制订了冲模模架、塑料模模架和这两类模具的通用零件及其技术条件等国家标准。制订这些标准，遵循了以下原则：

(1) 采纳或等效采纳国际通用标准 为使我国模具生产的技术水平尽快靠近国际先进水平，增强我国模具生产的整体实力；加之我国本身是国际模具标准化组织的成员国，因此，我们必须全面采纳国际模具标准化组织所制定的各项标准。

(2) 参照或采纳国际先进模具技术标准 我国各类模具标准的制订，除全面采纳 ISO/TC29/SC8 公布的通用零件标准外，在技术指标及参数等方面，也应参照国际公认的一些国家的先进模具技术标准。如德国的 DIN 标准，日本的 FUTABA 标准等。

(3) 执行和采纳国家基础标准 由于塑料模设计本身, 也属于机械设计的范畴, 故机械工程设计及其加工的有关国家标准, 自然也适用于模具设计。如公差与配合标准, 形状与位置公差标准, 表面粗糙度等国家基础标准 (详见附录 18.6 节), 在塑料模设计中均须遵循。

经各方共同努力, 我国已经制订出一系列有关塑料模方面的国家标准。这些标准大致分为 3 大类:

(1) 基础标准 如塑料成形模具术语标准 (GB8846—88)、模塑件尺寸公差标准 (GB/T14486—93)。

(2) 产品标准 如大型模架标准 (GB/T12555.1—90)、中小型模架标准 (GB/T12556.1—90), 详见附录 18.10 节。

(3) 工艺与质量标准 如精度等级、塑料注射模具零件技术条件 (GB4170—84)、大型模架技术条件 (GB/T12555.2—90)、中小型模架技术条件 (GB12556.2—90) 等。

本章主要介绍塑料模结构零件标准 (GB4169.1/11—84), 并适当推荐一些日本常用标准。

## 10.2 模板尺寸系列标准 (GB4169.7—84)

本标准适用于定模板、动模板、支承板、定模固定板和动模固定板等。图 10.2-1 所示为其结构与标记图, 表 10.2-1 给出了尺寸系列。

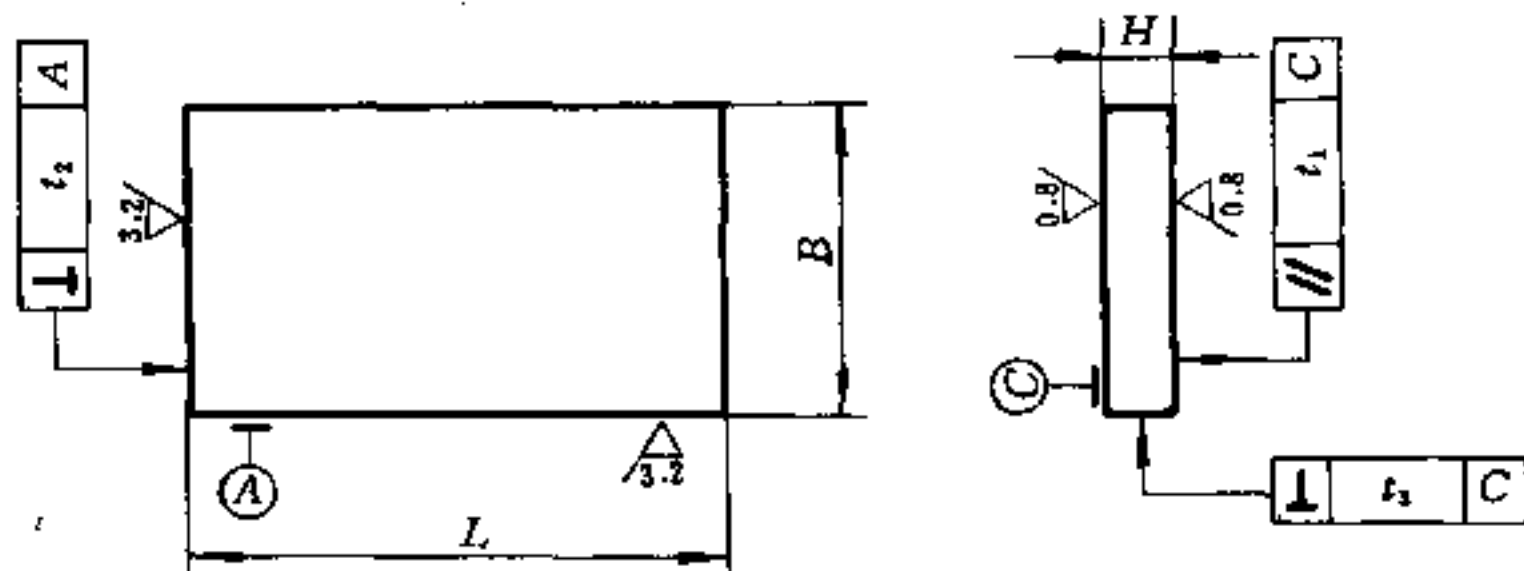


图 10.2-1 模板结构及标记示意图

标记示例:

$B = 100$ ,  $L = 160$ ,  $H = 40$  的模板

模板  $100 \times 160 \times 40$  GB4169.8—84

材料: 45 钢 (GB699—65);

当用作定模固定板, 动模固定板时允许用 A3 钢 (GB700—79)。

技术条件:

(1) 图中标注的形位公差值按 GB1184—80 的附录一,  $t_1$  为 5 级,  $t_2$  为 6 级,  $t_3$  为 8 级。当用作定模固定板、动模固定板时, 根据使用要求  $t_2$ 、 $t_3$  的等级由承制单位自行决定。

(2) 以 A 为基准的直角相邻两面应作出明显标记, 标记方法由承制单位自行决定。

(3) 其他按 GB4170—84。

表 10.2-1 模板尺寸系列 (GB4169.8—84)

(mm)

B	L					$H_{+0.05}^{+0.20}$													
						12.5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
100	100	125	160			○	○	○	○	○	○	○	○						
125	125	160	200			○	○	○	○	○	○	○	○						
160	160	200	250	315			○	○	○	○	○	○	○	○					
180	200	250	315				○	○	○	○	○	○	○						
200				355	400				○	○	○	○	○	○	○				
250	250	315	355	400			○	○	○	○	○	○	○	○					
250	450	500	560					○	○	○	○	○	○	○					
315	315	355	400	500				○	○	○	○	○	○	○					
	560	630							○	○	○	○	○	○					
355	355	400	450	500	560			○	○	○	○	○	○	○	○				
	630	710							○	○	○	○	○	○	○				
400	400	450	500	560						○	○	○	○	○	○	○			
	630	710								○	○	○	○	○	○	○			
450	450	500	560						○	○	○	○	○	○	○	○			
	630	710	800							○	○	○	○	○	○	○			
500	500	560	630						○	○	○	○	○	○	○	○			
	710	800								○	○	○	○	○	○	○			
560	560	630	710						○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	800	900								○	○	○	○	○	○	○	○		
630	630	710	800	900						○	○	○	○	○	○	○	○		
710	710	800	900	1000						○	○	○	○	○	○	○	○		
800	800	900	1000	1250						○	○	○	○	○	○	○	○		
900	900	1000	1250							○	○	○	○	○	○	○	○		
1000	1000									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1250									○	○	○							

## 10.3 导柱与导套

### 10.3.1 导柱类型及标准

#### 一、带头导柱 (GB4169.4—84)

如图 10.3-1 所示。表 10.3-1 为带头导柱尺寸系列。

#### 1. 标记示例



表 10.3-1 带头导柱尺寸系列 (GB4169.4—85) (mm)

$d$ (f7)	基本尺寸	12	16	20	25	32	40	50	63
	极限偏差	-0.016 -0.034		-0.020 -0.041		-0.025 -0.050			-0.030 -0.060
$d_1$ (K6)	基本尺寸	12	16	20	25	32	40	50	63
	极限偏差	+0.012 +0.001		+0.015 +0.002		+0.018 +0.002			+0.021 +0.002
$D_{-0.2}^0$		16	20	25	32	40	48	56	70
$S_{-0.1}^0$		4	6			8			10
$L_{-1.5}^0$		$L_{1-2.0}^{-1.0}$							
40	20								
50									
63									
71	25				25				
80		25	25						
90									
100	32					32			
112							40		
125		32	32		32				
140	40								
160						40		50	
180									63
200	50								
224									80
250					50				
315	63								
355									100
400								80	100
500									125

$d = 12, L = 100, L_1 = 25$  带头导柱;

导柱  $\phi 12 \times 100 \times 25$  GB4169.4—84

当材料为 20 钢时:

导柱  $\phi 12 \times 100 \times 25, \text{GB4169.4—84}$

## 2. 材料

T8A (GB1298—77); 20 钢 (GB699—65)。

## 3. 技术条件

(1) 热处理 HRC50~55; 20 钢渗碳 0.5~0.8 淬硬 HRC56~60。

(2) 图 10.3-1 中标注的形位公差值按 GB1184—80,  $t$  为 6 级。

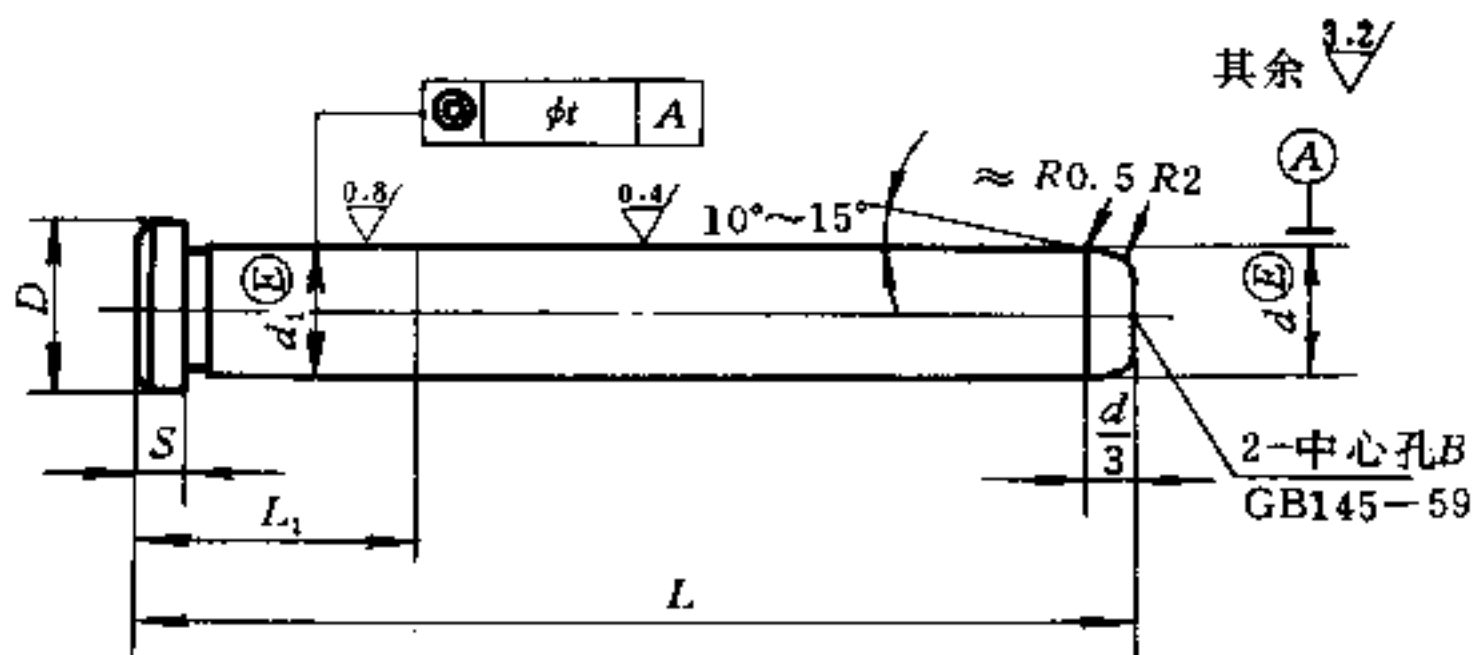


图 10.3-1 带头导柱规格结构

- (3)  $d$  的尺寸公差根据使用要求可在相同公差等级内变动。
- (4) 图 10.3-1 倒角不大于  $0.5 \times 45^\circ$
- (5) 在滑动部位需要设置油槽时, 其要求由承制单位自行决定。
- (6) 其他按 GB4170—84。

## 二、有肩导柱 (GB4169.5—84)

有肩导柱分为 I 型和 II 型。其结构如图 10.3-2 所示, 表 10.3-2 为其尺寸系列。

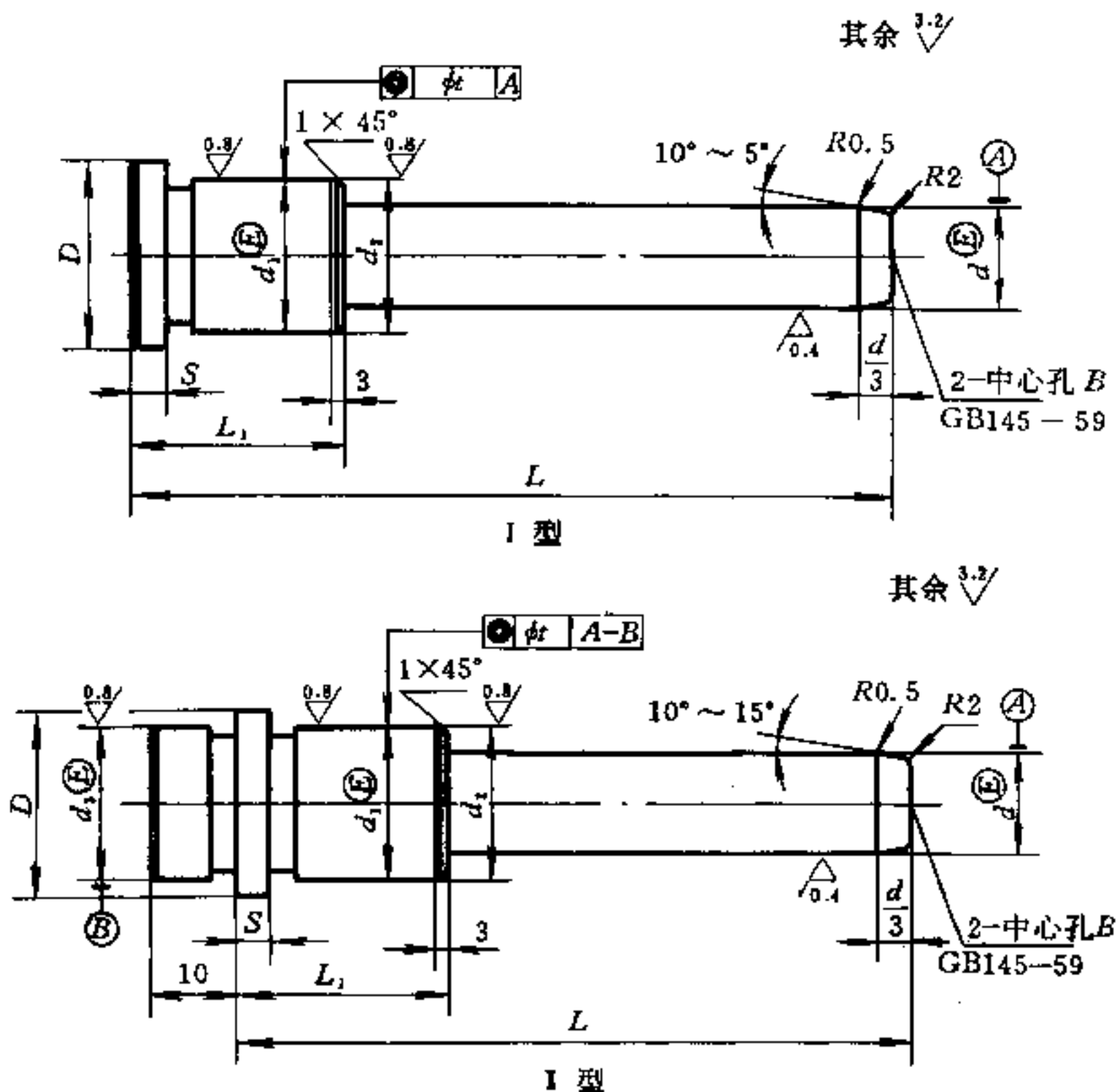


图 10.3-2 有肩导柱规格结构

### 1. 标记示例

$d = 12$ ,  $L = 100$ ,  $L_1 = 25$  的有肩导柱 I 型:



## 2. 材料

T8A (GB1298—77); 20 钢 (GB699—65)。

## 3. 技术条件

- (1) 热处理 HRC50~55; 20 钢渗碳 0.5~0.8; 淬硬 HRC56~60。
- (2) 图 10.3-2 中标注的形位公差值按 GB1184—80  $t$  为 6 级。
- (3)  $d$  的尺寸公差根据使用要求可在相同公差等级内变动。
- (4) 图 10.3-2 倒角不大于  $0.5 \times 45^\circ$ 。
- (5) 在滑动部位需要设置油槽时, 其要求由承制单位自行决定。
- (6) 其他按 GB4170—84。

## 10.3.2 导套类型及标准

## 一、直导套 (GB4169.2—84)

如图 10.3-3 所示, 表 10.3-3 为其尺寸系列。

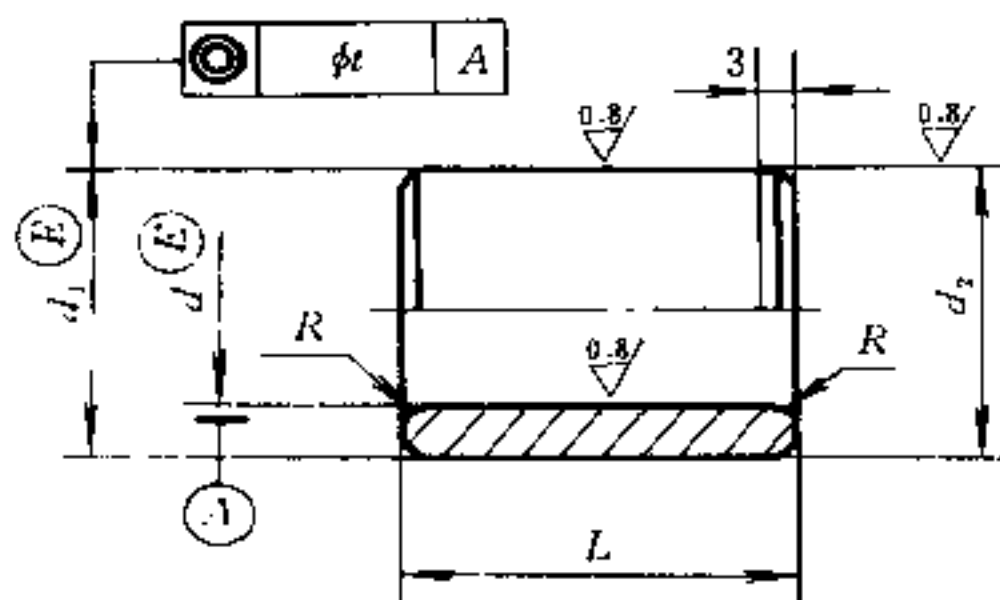


图 10.3-3 直导套结构

表 10.3-3 直导套尺寸系列 (GB4169.2—84)

(mm)

$d$ (H7)		$d_1$ (n6)		$d_2$ (e7)		$R$	$L \begin{matrix} +1.0 \\ -2.0 \end{matrix}$										
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差		12.5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	
12	+0.018	18	+0.023 +0.012	18	-0.032 -0.050	1	○	○	○	○	○						
16	0	24	+0.028 +0.015	24	-0.040 -0.061			○	○	○	○	○					
20	+0.021	28		28					○	○	○	○	○				
25	0	35		35		1.5			○	○	○	○	○				
32		42	+0.033 +0.017	42	-0.050 -0.075						○	○	○	○	○		
40	+0.025 0	50		50							○	○	○	○	○		
50		63		63								○	○	○	○	○	
63	+0.030 0	80	+0.039 +0.020	80	-0.060 -0.090								○	○	○	○	○

### 1. 标记示例

$d = 12$ ,  $L = 32$  的直导套:

导套  $\phi 12 \times 32$ , GB4169.2—84

当材料为 20 钢时:

导套  $\phi 12 \times 32$ —20 钢, GB4169.2—84

### 2. 材料

T8A (GB1298—77); 20 钢 (GB699—65)。

### 3. 技术条件

(1) 热处理 HRC50~55; 20 钢渗碳 0.5~0.8; 淬硬 HRC56~60。

(2) 图 10.3-3 中标注的形位公差值按 GB1184—80,  $t$  为 6 级。

(3)  $d$  和  $d_1$  的尺寸公差根据使用要求可在相同公差等级内变动。

(4) 图示倒角不大于  $0.5 \times 45^\circ$ 。

(5) 其他按 GB4170—84。

### 二、带头导套 (GB4169.3—84)

带头导套分为 I 型和 II 型, 其规格及结构如图 10.3-4 所示, 表 10.3-3 为其尺寸系列。

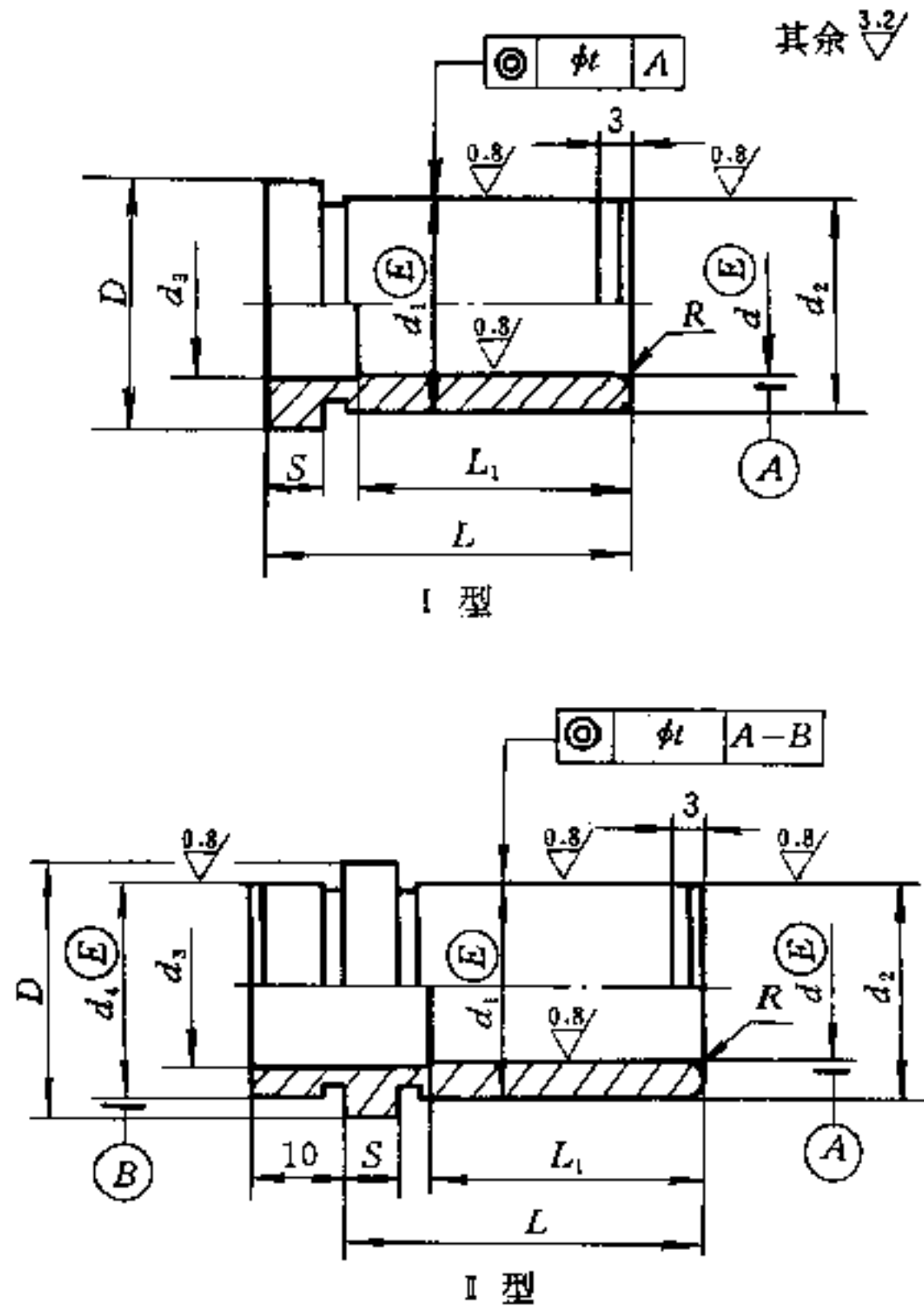


图 10.3-4 带头导套规格结构

### 1. 标记示例

$d = 12$ ,  $L = 40$  的带头导套 I 型:

导套  $\phi 12 \times 40$  (I), GB4169.3—84

当材料为 20 钢时:

导套  $\phi 12 \times 40$  (I) —— 20 钢, GB4169.3—84

## 2. 材料

T8A (GB1298—77); 20 钢 (GB699—65)。

## 3. 技术条件

(1) 热处理 HRC50~55; 20 钢渗碳 0.5~0.8; 淬硬 HRC56~60。

(2) 图 10.3-4 中标注的形位公差值按 GB1184—80,  $t$  为 6 级。

(3) 图示倒角不大于  $0.5 \times 45^\circ$ 。

(4) 其他按 GB4170—84。

表 10.3-4 带头导套尺寸系列 (GB4169.3—84) (mm)

$d$ (H7)	基本尺寸	12	16	20	25	32	40	50	63
	极限偏差	+0.018 0		+0.021 0		+0.025 0			+0.030 0
$d_1$ (k6)	基本尺寸	18	24	28	35	42	50	63	80
	极限偏差	+0.012 +0.001	+0.015 +0.002		+0.018 +0.002			+0.021 +0.002	
$d_2$ (e7)	基本尺寸	18	24	28	35	42	50	63	80
	极限偏差	-0.032 -0.050	-0.040 -0.061		-0.050 -0.075			-0.060 -0.090	
$D_{-0.20}^0$		22	28	32	40	48	50	71	90
$D_{+0.10}^{+0.20}$		12	16	20	25	32	40	50	63
$d_4$ (f7)	基本尺寸	18	24	28	35	42	50	63	80
	极限偏差	-0.016 -0.034	-0.020 -0.041		-0.025 -0.050			-0.030 -0.060	
$S_{-0.10}^0$		6	6			8		10	
$R$		1			1.5				
$L_{-2.0}^{-1.0}$		$L_1$							
16		16							
20		20							
25		25							
32		32							
40		32	40						
50			50						
63		40	63						
80			63	80					
100				80	100				
125					100			125	
160						100			
200							125		

### 10.3.3 应用举例

根据使用目的不同，可分别配套使用导柱与导套，图 10.3-5 所示为其应用示例。

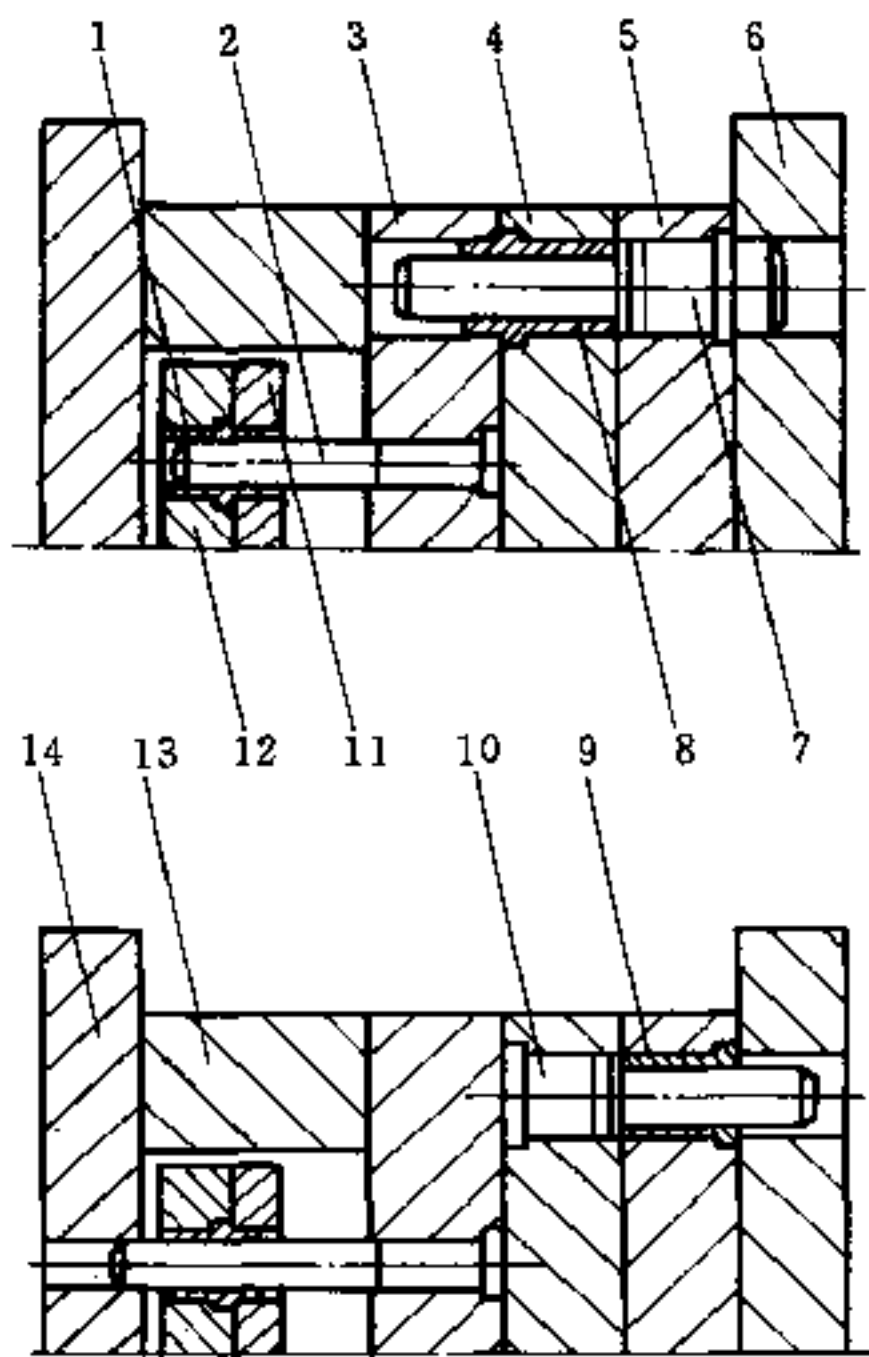


图 10.3-5 导柱与导套的应用示例

1—带头导套（Ⅱ型）；2—带头导柱；3—支承板；4—动模板；5—定模板；  
6—定模固定板；7—有肩导柱（Ⅱ型）；8—带头导套（Ⅱ型）；9—带头导套（Ⅰ型）；  
10—有肩导柱（Ⅰ型）；11—推杆固定板；12—推板；13—垫块；14—动模固定板。

## 10.4 推出零件

### 10.4.1 推杆类型及标准

#### 一、推杆

推出制品所使用的推杆，与其他结构零件一样，要求外观上无伤痕、裂纹及锈斑等缺陷。配合部分需要进行磨削加工，表面粗糙度达  $0.8\mu\text{m}$ 。当推杆工作部分进行热处理时，其硬度要求达 HRC50~55。图 10.4-1 所示为各种推杆结构与形状。

A 型为国家标准（GB4169.1—84）规定的形式，如图 10.4-2 所示，表 10.4-1 为其尺寸系列。

#### 1. 标记示例

$d = 6$ ， $L = 160\text{mm}$  的推杆，可标记为：推杆  $\phi 6 \times 160$  GB4169.1—84

#### 2. 材料

T8A（GB1298—77）；当  $d < 6\text{mm}$  以下，允许使用 65Mn（GB699—65）。

#### 3. 技术条件



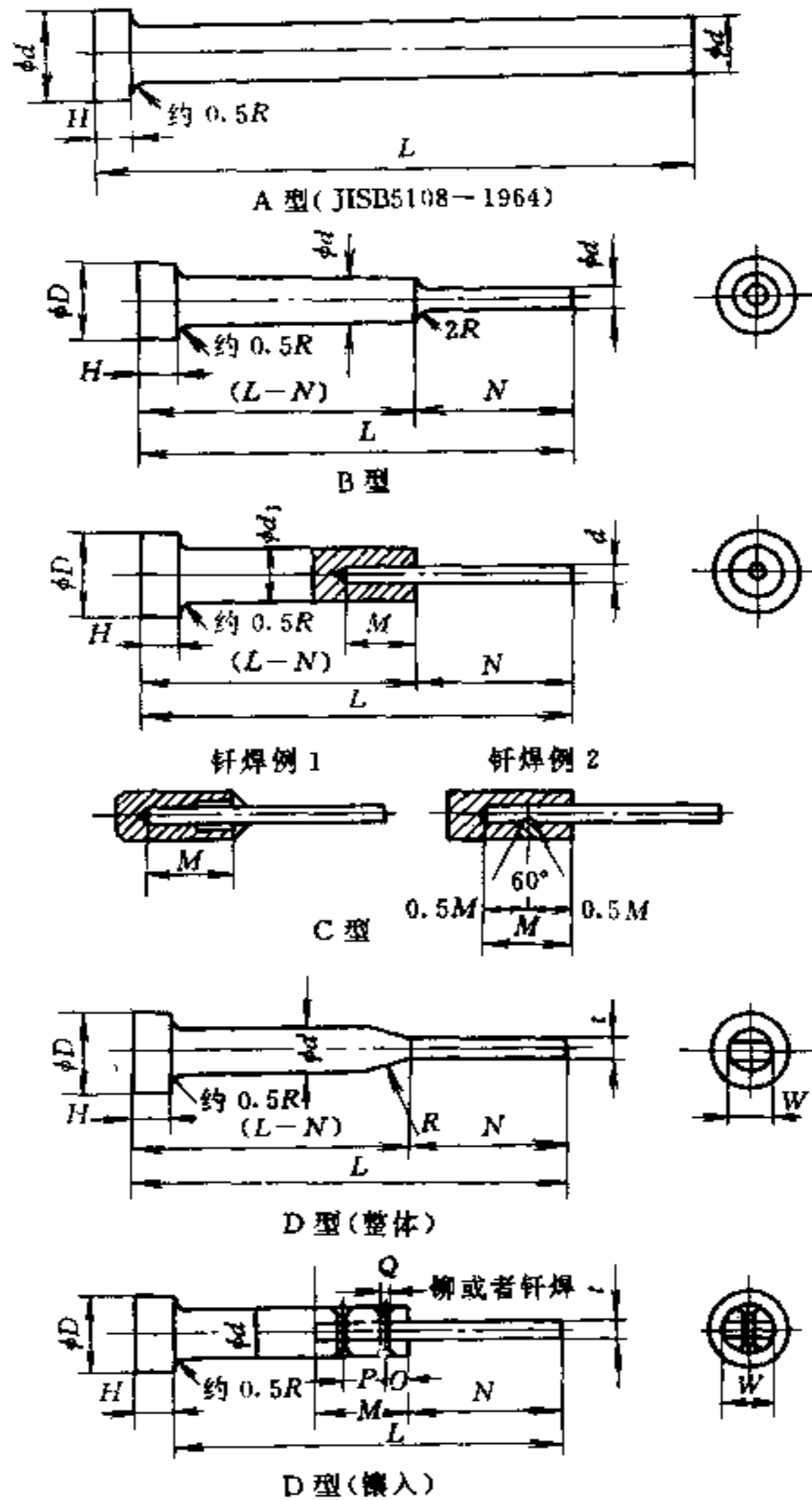


图 10.4-1 推杆结构与形状

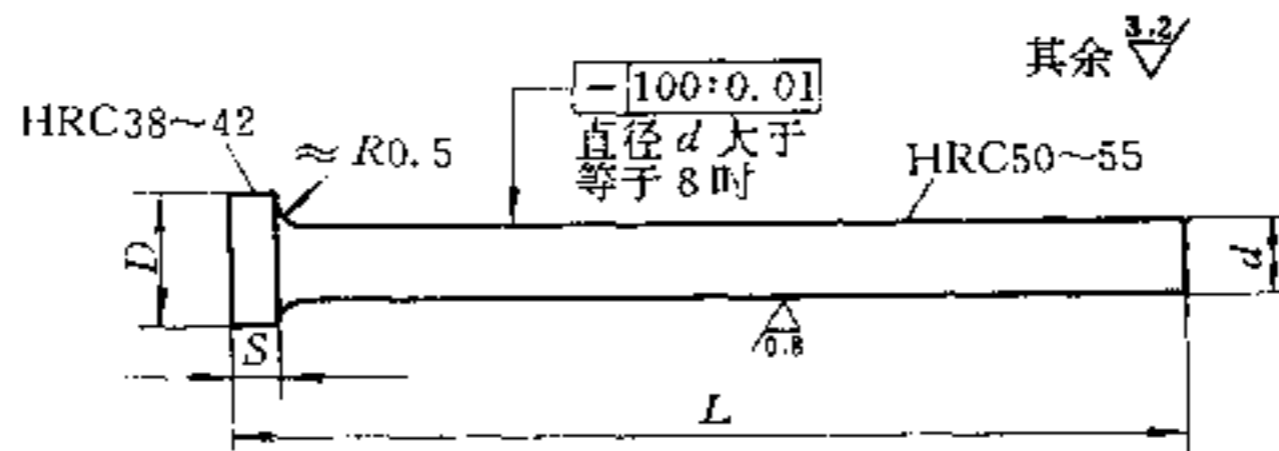


图 10.4-2 A型推杆结构要素

- (1) 工作端棱边不允许倒钝；
- (2) 工作端面不允许有中心孔；
- (3) 其他按 GB4170—84。

表 10.4-1 A 型推杆尺寸系列 (GB4169.1—84)

(mm)

$d$ (f6)		$D$	$S$	$L \begin{smallmatrix} +2.0 \\ 0 \end{smallmatrix}$																
基本尺寸	极限偏差	0	0	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000						
1.6	-0.006	4	2	○	○	○	●													
2				○	○	○	●													
2.5				○	○	○	●													
3	-0.010	6	3	○	○	○	○	●	●											
3.2						○		○												
4		8		○	○	○	○	○	○	●	●									
4.2						○		○			●									
5		10		○	○	○	○	○	○	○	●	●	●							
5.2						○		○			●									
6	-0.013	12	5	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●							
6.2								○			○									
8		14		○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●					
8.2						○		○			○									
10		16		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●				
10.2						○		○			○									
12.5	0.027	18	7		○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●				
16				22			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	
20	26	8						○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●		
25				32	10						○	○	○	○	○	○	○	○	●	●
32	40												○	○	○	○	○	○	○	●

注① “●”号为非优先选用值。  
 ②  $d$  为 3.2、4.2、5.2、6.2、8.2、10.2 的尺寸供修配用。

B 型为整体台阶推杆，其尺寸如表 10.4-2 所示，长度  $L$  及  $N$  由使用者自行确定，

表 10.4-2 B 型整体台肩推杆尺寸表

(mm)

公称尺寸	$d$		$d_1$	$H$		$D$
	尺寸	公差		尺寸	公差	
2.0	2.0	-0.010 -0.030	4.0	6	0 -0.1	8
2.5	2.5	-0.010 -0.030	4.0	6	0 -0.1	8
3.0	3.0	-0.010 -0.030	6.0	6	0 -0.1	10
3.5	3.5	-0.010 -0.030	6.0	6	0 -0.1	10
4.0	4.0	-0.010 -0.030	8.0	8	0 -0.1	13
4.5	4.5	-0.010 -0.030	8.0	8	0 -0.1	13
5.0	5.0	-0.010 -0.030	10.0	8	0 -0.1	15
6.0	6.0	-0.020 -0.050	10.0	8	0 -0.1	15

注：推杆的  $L$  及  $N$  尺寸由使用者确定，原则上  $d_1$  使用 A 型推杆。

但原则上  $d_1$  应使用 A 型推杆尺寸系列。

C 型属镶配台肩顶杆，其尺寸如表 10.4-3 所示。

表 10.4-3 C 型镶配式台肩推杆 (mm)

公称尺寸	$d$		$d_1$	$H$		$D$	$M$
	尺寸	公差		尺寸	公差		
1.0	1.0	-0.010 -0.030	6.0	6	0 -0.1	10	6
1.2	1.2	-0.010 -0.030	6.0	6	0 -0.1	10	6
1.4	1.4	-0.010 -0.030	6.0	6	0 -0.1	10	6
1.6	1.6	-0.010 -0.030	6.0	6	0 -0.1	10	6
1.8	1.8	-0.010 -0.030	7.0	6	0 -0.1	11	10
2.0	2.0	-0.010 -0.030	7.0	6	0 -0.1	11	10
2.4	2.4	-0.010 -0.030	7.0	6	0 -0.1	11	10
2.8	2.8	-0.010 -0.030	8.0	6	0 -0.1	13	15
3.0	3.0	-0.010 -0.030	8.0	8	0 -0.1	13	15
3.4	3.4	-0.010 -0.030	8.0	8	0 -0.1	13	15
3.8	3.8	-0.010 -0.030	8.0	8	0 -0.1	13	15
4.0	4.0	-0.010 -0.030	8.0	8	0 -0.1	13	15

注：推杆的  $L$  及  $N$  尺寸由使用者确定，原则上  $d_1$  使用 A 型推杆。

D 型和 E 型为长方形或正方形推杆，有整体式与镶嵌式两种结构。镶嵌可采用铆接或焊接牢固。其尺寸如表 10.4-4 所示。

表 10.4-4 D 型推杆配合部尺寸 (mm)

$d$	$M$	$O$	$P$	$Q$	$d$	$M$	$O$	$P$	$Q$
8	15	4.5	6	3	15	20	5	8	4
12	15	4.5	6	3	20	20	5	8	4

注：推杆中  $t$ 、 $W$ 、 $L$  及  $N$  尺寸由使用者确定。原则上  $d$  使用 A 型推杆或复位杆标准。

## 二、推杆配合孔径

推杆孔和推杆的配合须适度，过松过紧都会发生故障，难以维持正常操作。因此，加工时必须保证配合孔的尺寸精度。图 10.4-3 是各种推杆及其配合孔的应用实例，表

10.4-5~表 10.4-7 为各种推杆公称尺寸及其相应配孔径尺寸与公差标准。

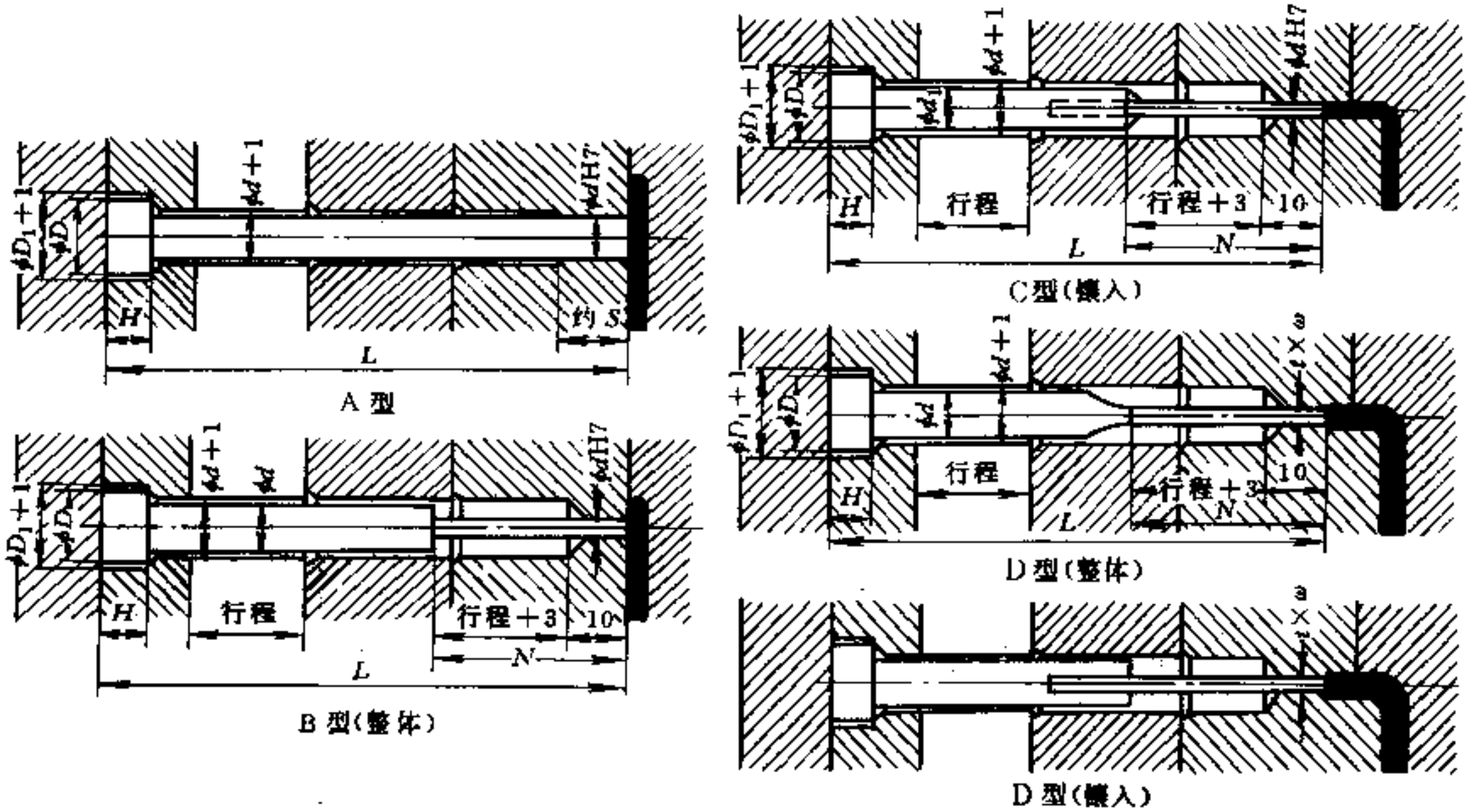


图 10.4-3 各种推杆应用实例

表 10.4-5 A 型推杆孔径尺寸与公差

(mm)

公称尺寸	d (孔)		d+1	D+1	S	公称尺寸	d (孔)		d+1	D+1	S
	尺寸	公差 (H7)					尺寸	公差 (H7)			
2.5	2.5	+0.009 0	3.5	7	10	6.0	6.0	+0.012 0	7.0	11	10
3.0	3.0	+0.009 0	4.0	7	10	7.0	7.0	+0.015 0	8.0	12	15
3.5	3.5	+0.012 0	4.5	8	10	8.0	8.0	+0.015 0	9.0	14	15
4.0	4.0	+0.012 0	5.0	9	10	10.0	10.0	+0.015 0	11.0	16	15
4.5	4.5	+0.012 0	5.5	9	10	12.0	12.0	+0.018 0	13.0	18	20
5.0	5.0	+0.012 0	6.0	10	10						

表 10.4-6 B 型整体式台阶推杆配合孔径尺寸与公差

(mm)

公称尺寸	d (孔)		公称尺寸	d (孔)	
	尺寸	公差 (H7)		尺寸	公差 (H7)
2.0	2.0	+0.009 0	4.0	4.0	+0.012 0
2.5	2.5	+0.009 0	4.5	4.5	+0.012 0
3.0	3.0	+0.009 0	5.0	5.0	+0.012 0
3.5	3.5	+0.012 0	6.0	6.0	+0.012 0

表 10.4-7 C型镶配式台阶推杆配合孔径尺寸与公差 (mm)

公称尺寸	d (孔)		公称尺寸	d (孔)	
	尺寸	公差 (H7)		尺寸	公差 (H7)
1.0	1.0	+0.009 0	2.4	2.4	+0.009 0
1.2	1.2	+0.009 0	2.8	2.8	+0.009 0
1.4	1.4	+0.009 0	3.0	3.0	+0.009 0
1.6	1.6	+0.009 0	3.4	3.4	+0.012 0
1.8	1.8	+0.009 0	3.8	3.8	+0.012 0
2.0	2.0	+0.009 0	4.0	4.0	+0.012 0

### 10.4.2 推管及尺寸系列

瓣合模成型，具有较高支撑座制品的模具时，往往采用推管方式的推出机构。实际上，推管是推出圆筒形塑件的一种特殊推出方式，属推杆的变异形式，如图 10.4-4 所示。推管须氮化或镀硬铬，使其表面硬度达 HRC55 以上，其尺寸系列见表 10.4-8。图 10.4-5 为推管应用实例，推管配合孔尺寸见表 10.4-9。

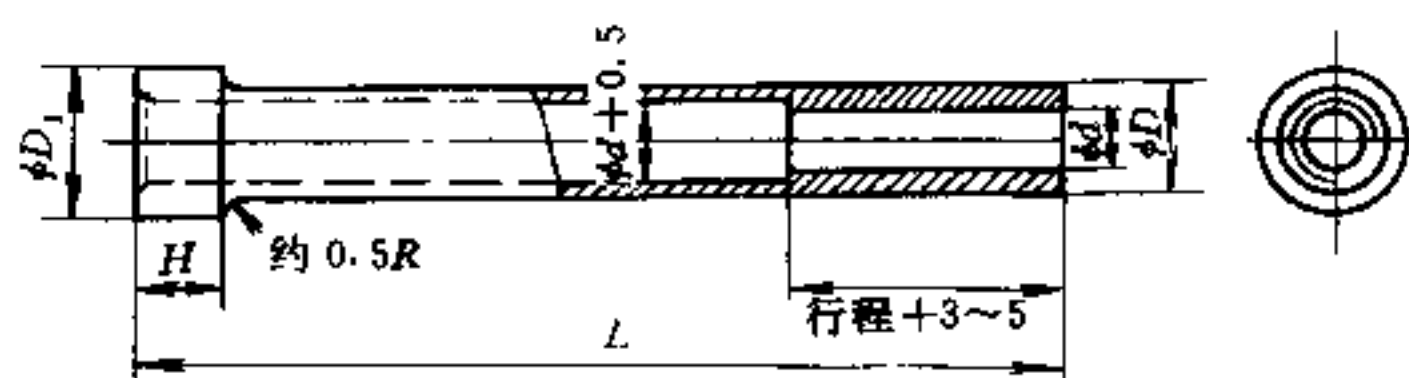


图 10.4-4 推管结构与形状

表 10.4-8 推管尺寸系列

(mm)

公称尺寸	d (孔)		D		D <sub>1</sub>	H	
	尺寸	公差 (H7)	尺寸	公差		尺寸	公差
3.0	3.0	+0.009 0	6.0	-0.020 -0.050	10	6	0 -0.1
4.0	4.0	+0.012 0	7.0	-0.020 -0.050	11	6	0 -0.1
5.0	5.0	+0.012 0	8.0	-0.020 -0.050	13	8	0 -0.1
6.0	6.0	+0.012 0	10.0	-0.020 -0.050	15	8	0 -0.1
8.0	8.0	+0.015 0	12.0	-0.020 -0.050	17	8	0 -0.1
10.0	10.0	+0.015 0	14.0	-0.020 -0.050	19	8	0 -0.1
12.0	12.0	+0.018 0	17.0	-0.020 -0.050	22	8	0 -0.1

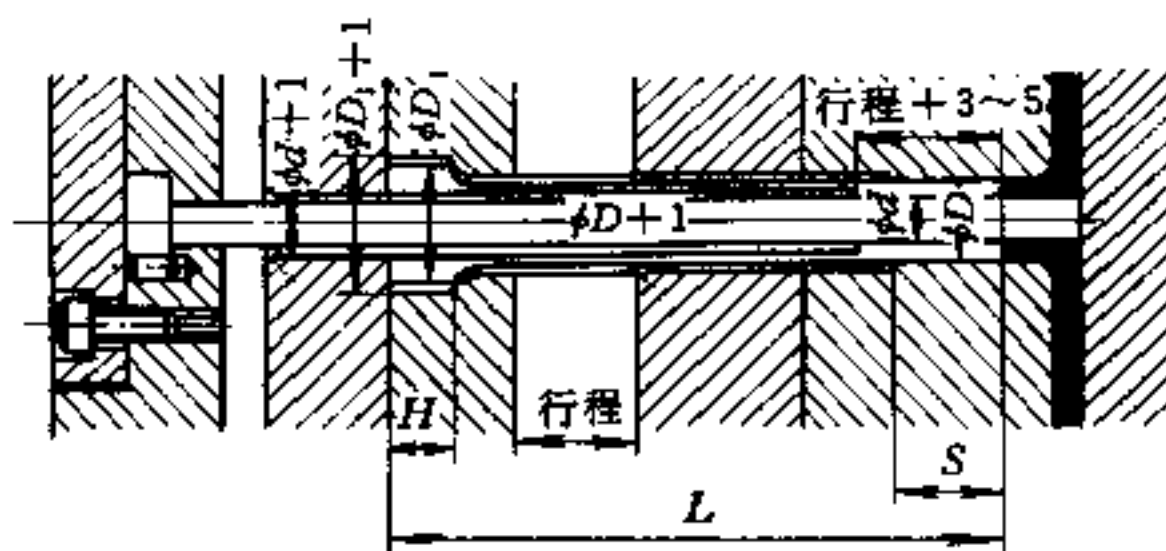


图 10.4-5 推管应用实例

表 10.4-9 推管配合孔径尺寸

(mm)

公称尺寸	D (孔)		$d+1$	$D+1$	$D_1+1$	S
	尺寸	公差 (H7)				
3.0	3.0	+0.012 0	4	7	11	10
4.0	4.0	+0.015 0	5	8	12	15
5.0	5.0	+0.015 0	6	9	14	15
6.0	6.0	+0.015 0	7	11	16	15
8.0	8.0	+0.018 0	9	13	18	20
10.0	10.0	+0.018 0	11	15	20	20
12.0	12.0	+0.018 0	13	17	23	25

### 10.4.3 复位杆及尺寸系列

复位杆也称为回程杆，它是使模具在启模时使推出的推板复位的结构零件。图 10.4-6 是复位杆的形状，表 10.4-10 为复位杆尺寸（选自日本 JIS 标准）。

表 10.4-10 复位杆尺寸系列

(mm)

公称尺寸	d		D	H		公称尺寸	d		D	H	
	尺寸	公差 (标记)		尺寸	公差		尺寸	公差 (标记)		尺寸	公差
12	12	-0.032	17	8	0	25	25	-0.040	30	8	0
		-0.050 (e7)			-0.1			-0.061 (e7)			-0.1
15	15	-0.032	20	8	0	30	30	-0.040	35	8	0
		-0.050 (e7)			-0.1			-0.061 (e7)			-0.1
20	20	-0.040	25	8	0	25	35	-0.050	40	8	0
		-0.061 (e7)			-0.1			-0.075 (e7)			-0.1

注：复位杆的尺寸 L 由使用者确定，尺寸公差应用 GB4169.1-84。

图 10.4-7 为复位杆应用实例，表 10.4-11 为复位杆配合孔径及其尺寸（选自日本模具设计标准）。

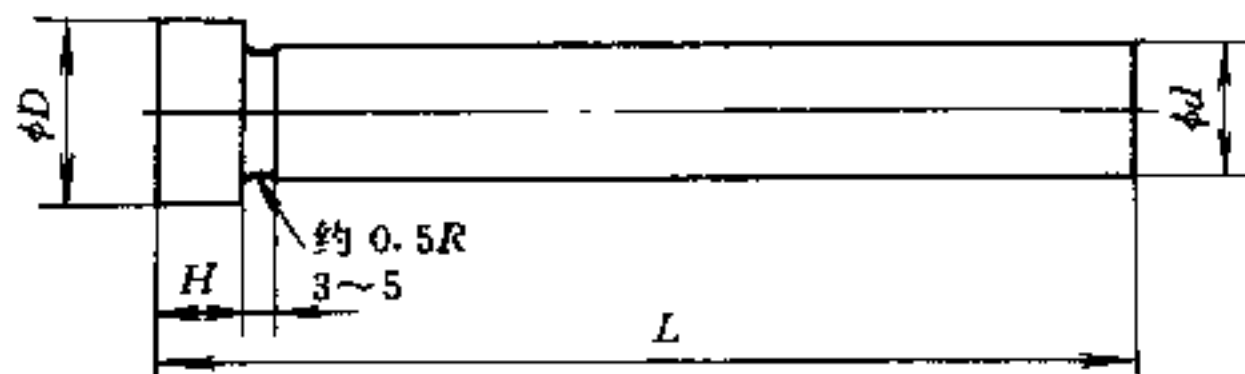


图 10.4-6 复位杆形状与结构

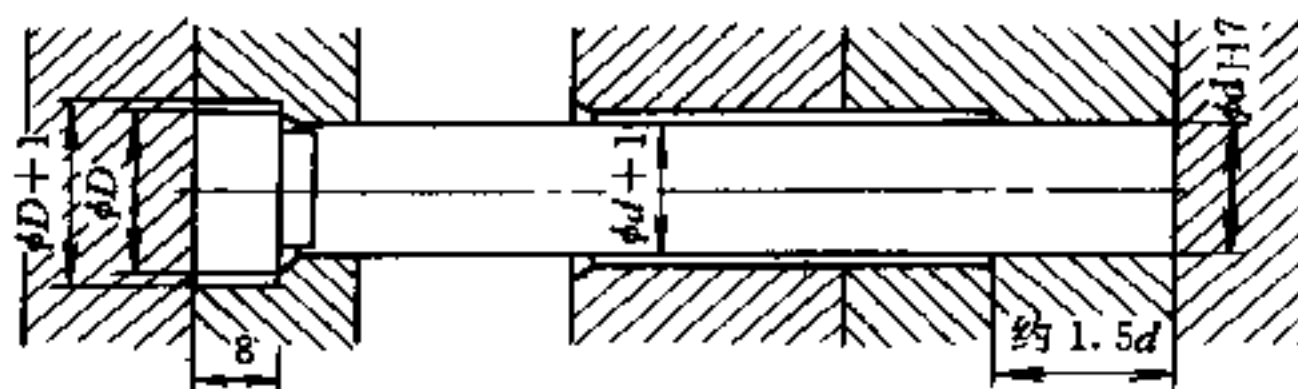


图 10.4-7 复位杆应用实例

表 10.4-11 复位杆配合孔径及尺寸

(mm)

复位杆公称尺寸	d (孔)			复位杆公称尺寸	d (孔)		
	尺寸	公差 (H7)	约 1.5d		尺寸	公差 (H7)	约 1.5d
12	12	+0.018 0	18	25	+0.021 0	38	
15	15	+0.018 0	23	30	+0.021 0	45	
20	20	+0.021 0	30	35	+0.025 0	53	

#### 10.4.4 推板尺寸及标准 (GB4169.7-84)

图 10.4-8 是推板结构与形状, 表 10.4-12 为其尺寸系列。

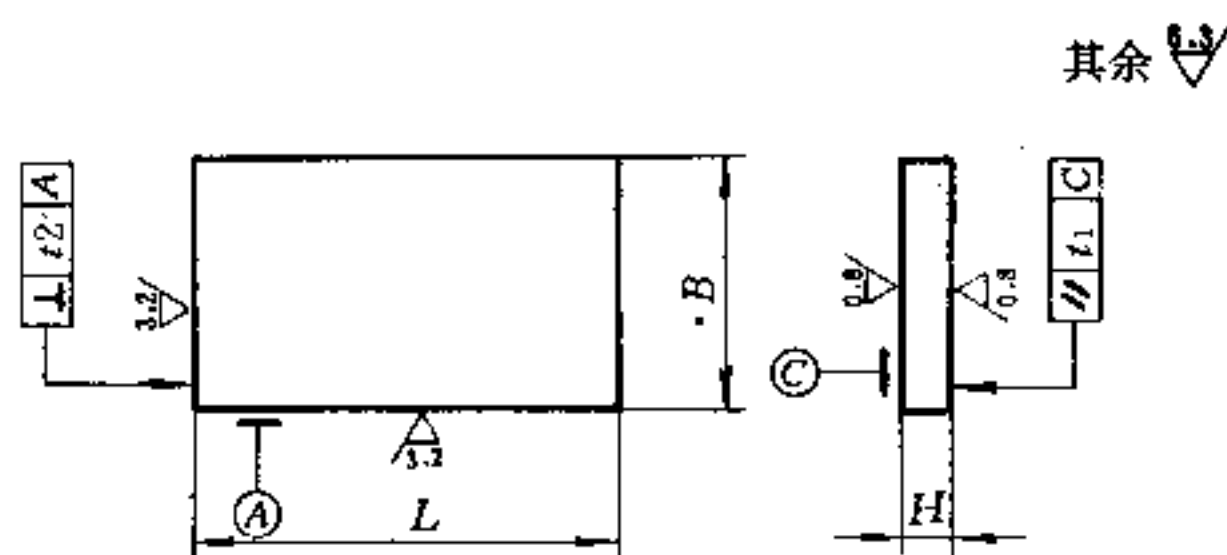


图 10.4-8 推板结构与形状

##### 1. 标记示例

$B = 56, L = 100, H = 12.5$  的推板

推板  $56 \times 100 \times 12.5$  GB4169.7-84

##### 2. 材料

45 钢 (GB699-65)。

##### 3. 技术条件

(1) 图 10.4-8 中标注的形位公差值按 GB1184—80 的附录一,  $t_1$  为 6 级;  $t_2$  为 8 级。

(2) 以 A 为基准的直角相邻两面应作出明显标记, 标记方法由承制单位自行决定。

(3) 其他按 GB4170—84。

表 10.4-12 推板尺寸系列 (GB4169.7—84)

(mm)

$B_{-1.5}^{-0.5}$	L							$H_0^{+0.10}$												
								10	12.5	16	20	25	32	40	50	63				
58	100	125	160					○	○											
73	125	160	200						○	○										
94	160	200	250	315					○	○	○									
114	200	250	315						○	○	○									
118				355	400							○	○	○						
148	250	315	355	400	450	500	560			○	○	○								
199	315	355	400	450	500	560	630			○		○	○							
225	355	400	450	500	560	630	710			○		○	○							
270	400	450	500	560	630	710					○		○	○						
286	450	500	560	630	710	800					○		○	○						
336	500	560	630	710	800							○		○	○					
354	560	630	710	800	900							○		○	○					
424	630	710	800	900								○		○	○					
454	710	800	900	1000									○	○	○					
542	800	900	1000	1250									○	○	○					
572	900	1000	1250										○		○	○				
672	1000												○		○	○				

### 10.4.5 垫块

图 10.4-9 是垫块结构, 表 10.4-13 为其尺寸系列。

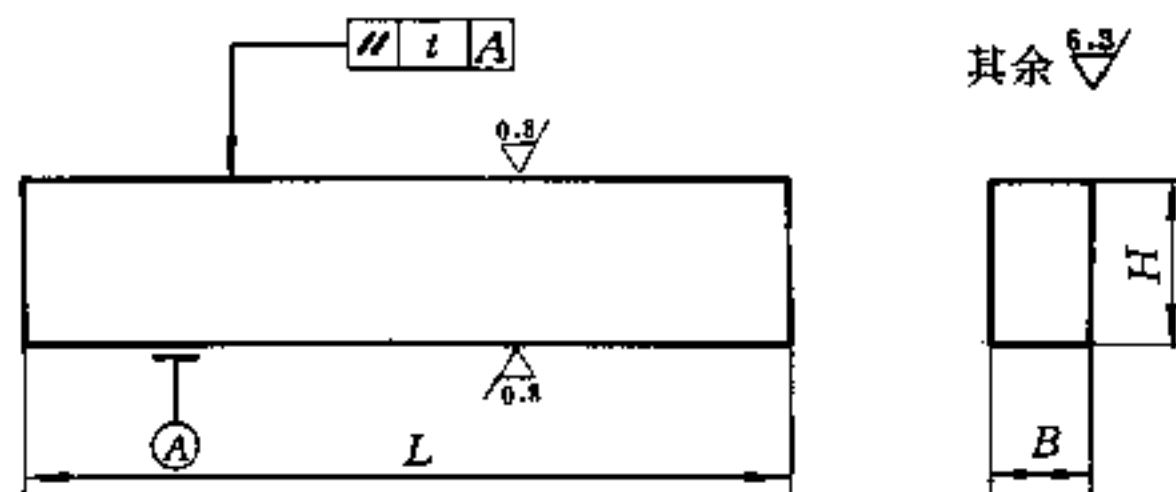


图 10.4-9 垫块结构与形状



## 1. 标记示例

$B = 20$ ,  $L = 100$ ,  $H = 40$  的垫块:

垫块  $20 \times 100 \times 40$  GB4169.6—84

## 2. 材料

A3 钢 (GB700—79)。

## 3. 技术条件

(1) 图中标注的形位公差值按 GB1184—80,  $t$  为 5 级。

(2) 其他按 GB4170—84。

表 10.4-13 垫块尺寸系列 (GB4169.6—84) (mm)

B	L							$H_0^{+0.10}$										
								40	50	63	80	100	125	160	200	250		
20	100	125	160					○	○	○								
25	125	160	200					○	○	○								
32	160	200	250	315					○	○	○							
40	200	250	315	355	400				○	○	○							
50	250	315	355	400	450	500	560		○	○	○							
56	315	355	400	450	500	560	630			○	○	○						
63	355	400	450	500	560	630	710				○	○	○					
80	450	500	560	630	710	800						○	○	○				
100	560											○	○	○				
100	630	710	800	900								○	○	○	○			
125	710												○	○	○			
	800	900	1000											○	○	○	○	
	1250														○	○	○	
160	900	1000	1250												○	○	○	

## 10.4.6 限位钉

图 10.4-10 为限位钉的结构与形状, 表 10.4-14 为限位钉尺寸系列。

表 10.4-14 限位钉尺寸系列 (GB4169.9—84) (mm)

$d$ (n6)		D	$S_0^{+0.1}$	L
基本尺寸	极限偏差			
8	+0.019	16	4	16
	+0.010			
12	+0.023	20	6	20
16	+0.012	25	10	25

## 1. 标记示例

$d = 8$  的限位钉:

限位钉  $\phi 8$  GB4169.9—84

## 2. 材料

45 钢 (GB699—65)。

## 3. 技术条件

- (1) 热处理 HRC40~45。
- (2) 图 10.4-10 倒角为  $1 \times 45^\circ$ 。
- (3) 其他按 GB4170—84。

## 10.4.7 支承柱

图 10.4-11 是支承柱结构, 表 10.4-15 为其尺寸系列。

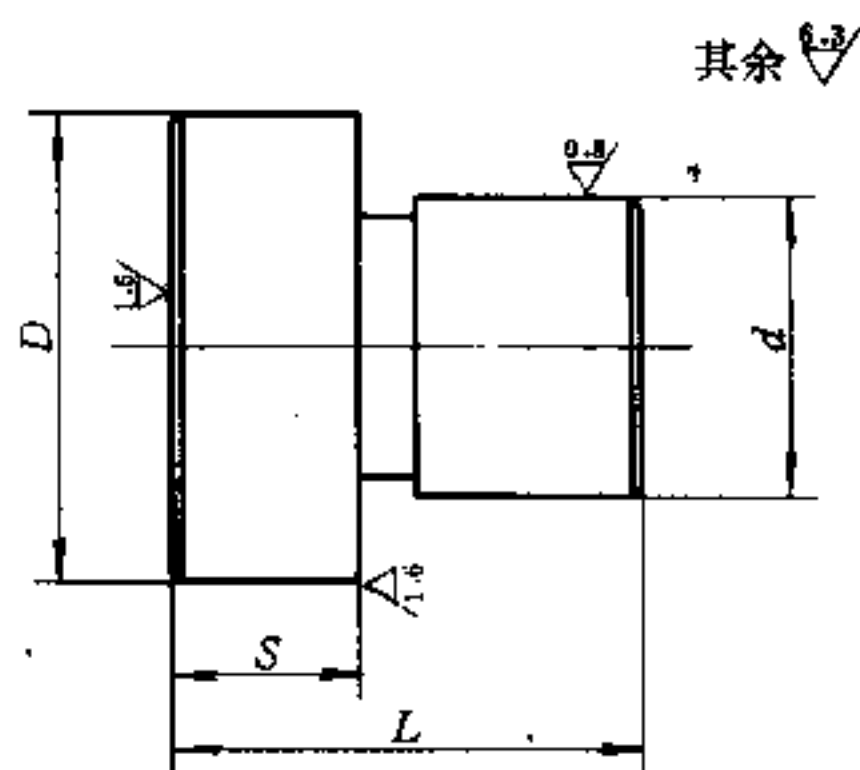


图 10.4-10 限位钉结构与形状

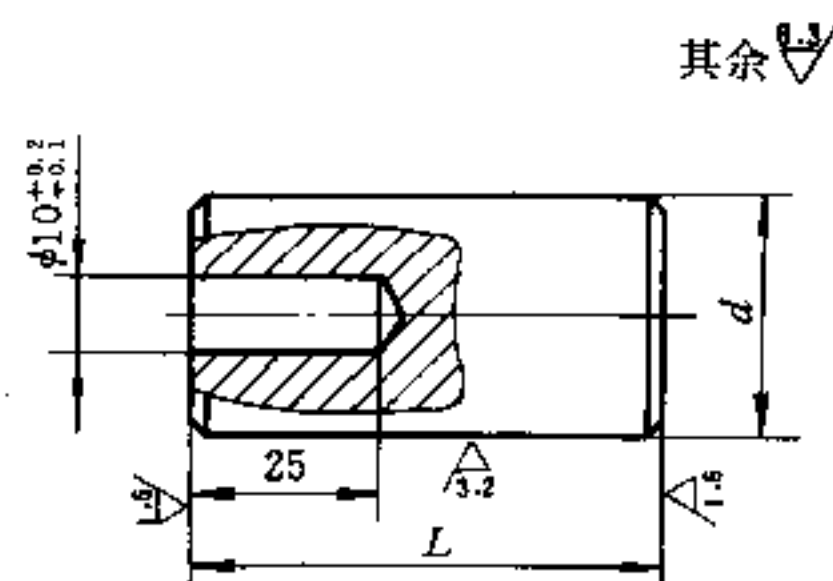


图 10.4-11 支承柱

## 1. 标记示例

$d = 32$ ,  $L = 63$  的支承柱:

支承柱  $\phi 32 \times 63$  GB4169.10—84

## 2. 材料

45 钢 (GB699—65)。

## 3. 技术条件

- (1) 图 10.4-11 倒角为  $1 \times 45^\circ$ 。
- (2)  $\phi 10$  孔可改制成螺孔或通孔。
- (3) 其他按 GB4170—84。

表 10.4-15 支承柱尺寸系列 (GB4169.10—84) (mm)

d	$L \begin{matrix} +0.20 \\ +0.10 \end{matrix}$						
	63	80	100	125	160	200	250
32	○	○	○				
40		○	○	○			
50			○	○	○		
63				○	○	○	
80					○	○	○
100					○	○	○

## 10.5 定位圈与浇口套

### 10.5.1 定位圈标准及应用举例

定位圈的作用是使注塑机的喷嘴与模具浇口的浇口套定位。定位圈分为标准型及特殊型两种，根据要求分别选用。

表 10.5-1 是定位圈尺寸标准（选自日本 JIS）。

表 10.5-1 定位圈尺寸标准 (mm)

公称尺寸	D		P	公称尺寸	D		P
	尺寸	公差			尺寸	公差	
90	90	-0.2 -0.4	70	*125	125	-0.2 -0.4	90
100	100	-0.2 -0.4	75	(127)	(127)	-0.2 -0.4	90
(101.6)	(101.6)	-0.2 -0.4	75	150	150	-0.2 -0.4	120
*110	110	-0.2 -0.4	75	(152.4)	(152.4)	-0.2 -0.4	120
120	120	-0.2 -0.4	90	*175	175	-0.2 -0.4	120

①表中括号内的尺寸尽量不要采用；

②具有 \* 标记的尺寸虽然在 JIS 标准中没有，却是通常采用的规格；

③与定模装模板固定用的螺钉采用 JIS B 1101 中公称直径 8mm 或 JIS B 1176 中公称直径 8mm 的螺钉；

④没有标注的公差应用 JIS B 0405 中的中级。

#### 1. 标准定位圈

图 10.5-1 是 JIS 标准中规定的标准型定位圈，表 10.5-1 是 JIS 标准规定的尺寸。

图 10.5-2 表示标准型定位圈的应用实例。

图 10.5-2 (a) 是最常用的定位圈；图 10.5-2 (b) 是在定模模板上不加工配合定位圈的凹槽，这种方式的主流道较长；图 10.5-2 (c) 是用定位圈压住浇口套，防止其后退的结构；图 10.5-2 (d) 是将浇口套的前端部加工台肩与定位圈相配，防止浇口套后退的另一结构。

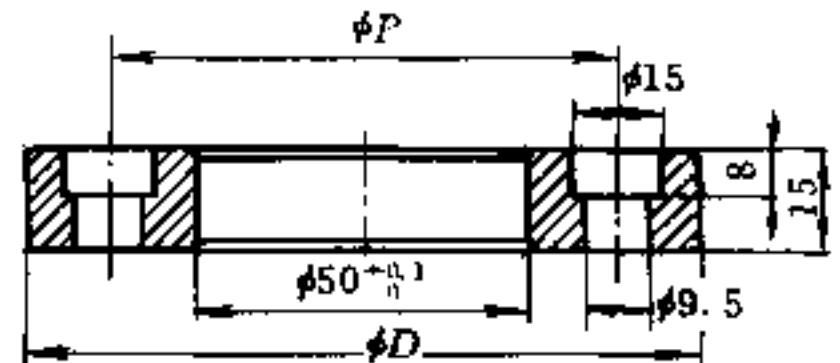


图 10.5-1 标准型定位圈

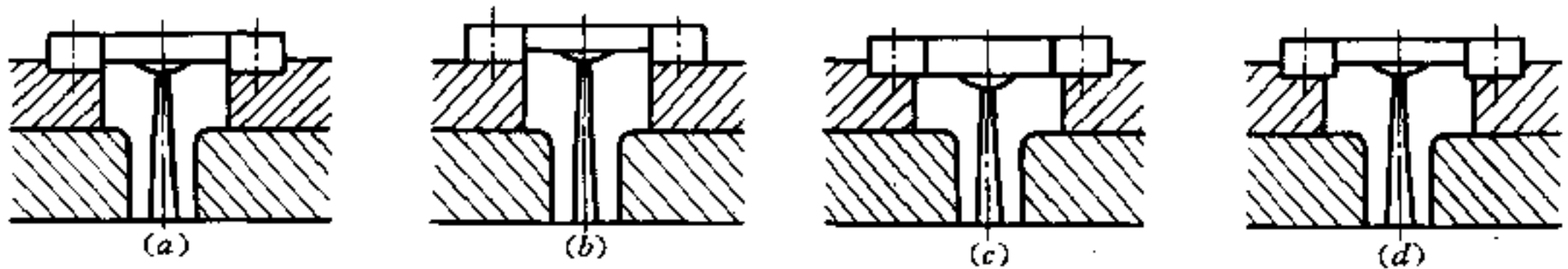


图 10.5-2 标准型定位圈应用实例

#### 2. 特殊型定位圈

定位圈的形状除上述标准型之外，还有如图 10.5-3 所示的适合各种不同用途的特殊型定位圈。

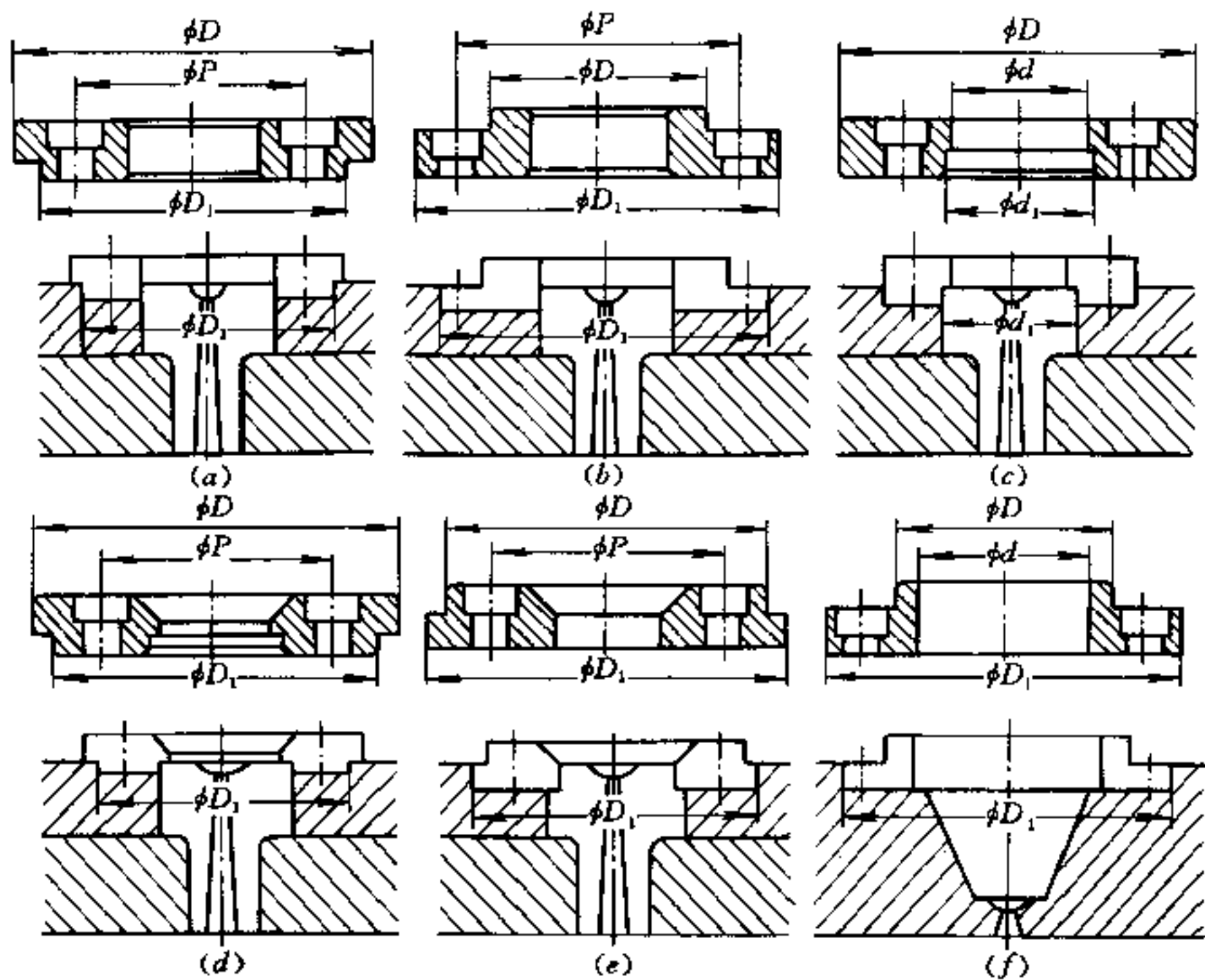


图 10.5-3 特殊型定位圈及其应用图例

图 10.5-3 中  $D$  表示与注塑机定位孔的配合直径,  $D_1$  表示与模具定模装模板的配合直径。(a) 图与 (b) 图是把同一模具用于定位孔不同的注塑机上的情况, 只要更换定位圈就能使用。这种方式必须预先将  $D_1$  及  $D$  做成通用的尺寸。(c) 图所示的是用与浇口套相配合 (图中  $d$  与  $d_1$ ) 的台肩压住浇口套, 防止浇口套在注射时后退的定位圈形状。(d) 图与 (e) 图所示的是便于更换与防止浇口套在注射时后退的定位圈, (d) 图是在定位圈上设置台肩, (e) 图是在浇口套上设置台肩, 采用此种定位圈须预先将所需配合尺寸统一起来。(f) 图为用延伸式喷嘴时的定位圈, 图中  $d$  的尺寸不能小于喷嘴的有关尺寸。

无论是采用标准型定位圈还是特殊型定位圈, 其外径  $D$  都应比注塑机上的定位圈配合孔径小  $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ , 以便顺利安装模具。

## 10.5.2 浇口套标准及应用举例

浇口套与定位圈是配合使用的, 其中浇口套是树脂注入模具的入口, 尺寸与注塑机的喷嘴尺寸有关。

### 1. 喷嘴与浇口套的相关尺寸

图 10.5-4 表示喷嘴与浇口套的相关尺寸, 球面半径关系为  $R = r [1 + (0 \sim 0.1)]$  mm, 孔径的关系为  $D = d + (0.5 + 1.0)$  mm, 式中的大写字母表示浇口套的尺寸, 小写字母表示喷嘴的尺寸。最常用的相关尺寸请参考图 10.5-5。

### 2. 标准型浇口套尺寸与应用实例

标准型浇口套有 A 型和 B 型。B 型是为防止在注射时浇口套后退而由定位圈压住

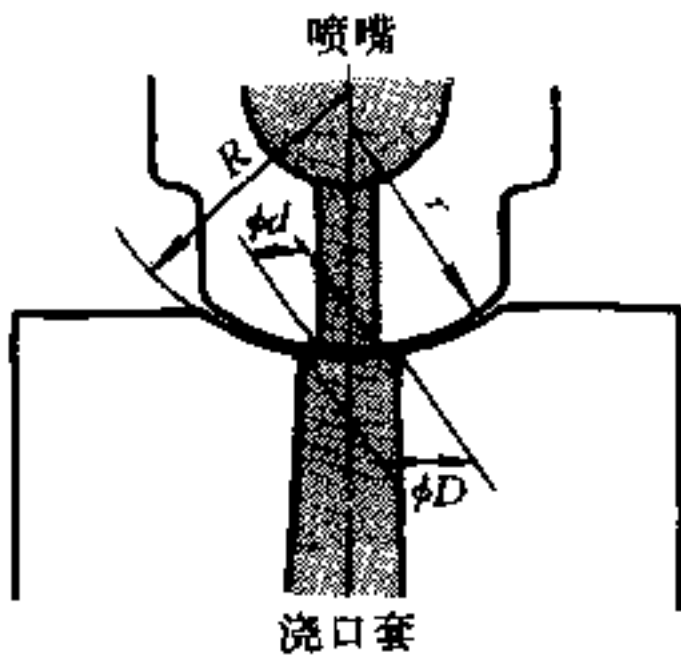


图 10.5-4 喷嘴与浇口套的相关尺寸

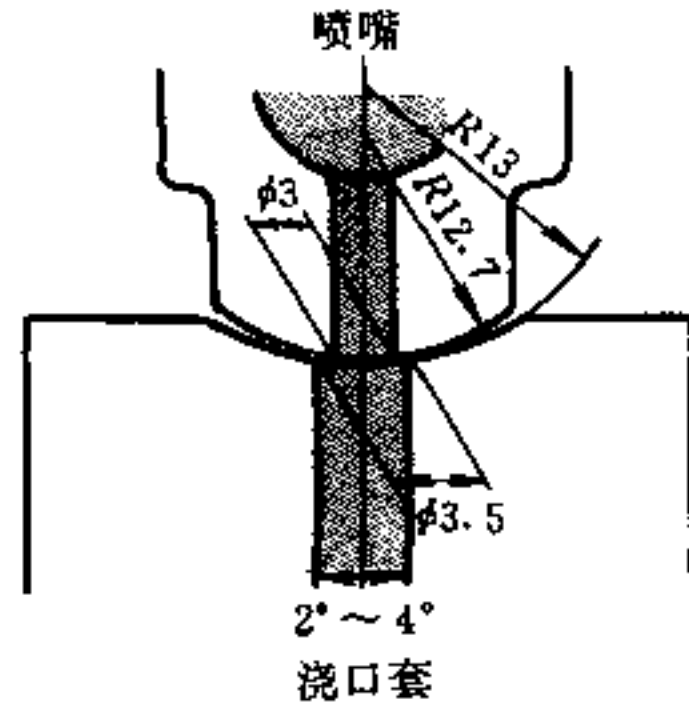


图 10.5-5 常用喷嘴与浇口套的相关尺寸

的类型，如图 10.5-6 所示。

A 型浇口套尺寸是 JIS 标准，如表 10.5-2 所示；B 型浇口套尺寸是模具设计标准，如表 10.5-3 所示。图 10.5-7 为 A 型与 B 型浇口套应用实例。设定模板上的孔径为  $d$ ，

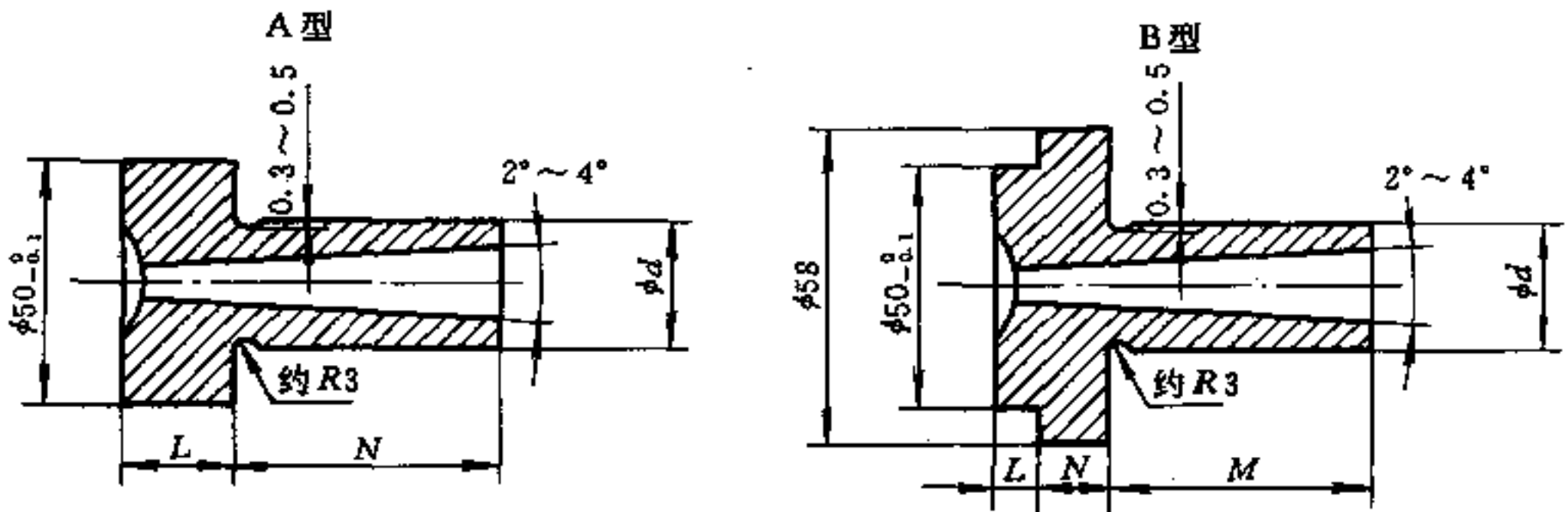


图 10.5-6 浇口套形状 ( $M$ 、 $N$ 、 $L$ 、 $R$  由使用者指定)

表 10.5-2 A 型浇口套尺寸与公差 (mm)

公称尺寸	$d$	
	尺寸	公差
20	20	+0.013 -0.008
25	25	+0.013 -0.008
35	35	+0.015 -0.010

表 10.5-3 B 型浇口套尺寸 (mm)

公称尺寸	$d$	
	尺寸	公差
16	16	+0.013 -0.008
20	20	+0.013 -0.008
25	25	+0.013 -0.008
35	35	+0.015 -0.010

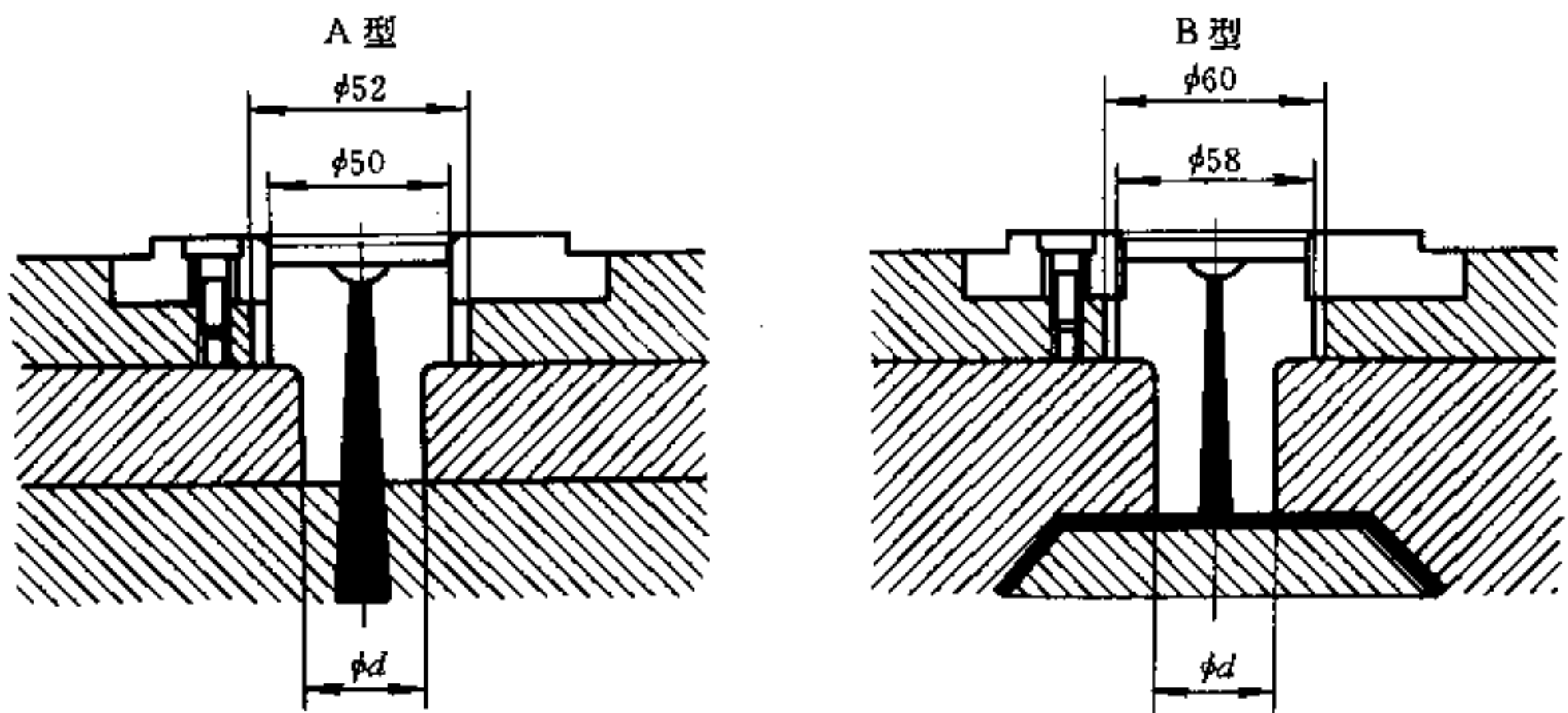


图 10.5-7 A型及B型浇口套应用实例

则其尺寸如表 10.5-4 所示。

表 10.5-4 定模浇口套配合孔尺寸与公差 (mm)

公称尺寸	d (孔)		公称尺寸	d (孔)	
	尺寸	公差 (H7)		尺寸	公差 (H7)
16	16	+0.018 0	25	25	+0.021 0
20	20	+0.021 0	35	35	+0.025 0

### 3. 各种浇口套应用实例

11 种不同浇口套应用实例, 如图 10.5-8 所示。

图 10.5-8 (a) 用于直浇口的浇口套, 但不会在塑件上留下圆形痕迹, 关键是型腔凹模  $D = d + (0.5 \sim 1.0) \text{ mm}$ 。图 10.5-8 (b) 用于侧浇口的浇口套。图 10.5-8 (c) 为用于无流道模具延伸式喷嘴的浇口套, 采用此种浇口套会在制品上留下痕迹。图 10.5-8 (d) 为用于三板式结构模具的点浇口用浇口套, 须防止因成型压力造成后退, 且滑动部分的锥角  $\theta = 10^\circ \sim 30^\circ$  为佳。图 10.5-8 (e) 为针点浇口用浇口套, 亦称二次主流道衬套, 适用于多腔模。图 10.5-8 (f) 采用延伸式喷嘴的井式浇口套。设有 1~2mm 的环隙空气绝热层。当  $D \geq 16 \text{ mm}$ ,  $d = 2.0 \text{ mm}$ ,  $R = 35 \sim 5 \text{ mm}$ , 出口扩张角取  $60^\circ \sim 90^\circ$ 。图 10.5-8 (g) 为井式浇口套, 其尺寸如表 10.5-5 所示。图 10.5-8 (h) 为

表 10.5-5 井式浇口套尺寸 (mm)

注射量/g	3~6	6~15	15~40	40~150
每分钟注射次数	8~10	6~7	4~5	2~3
D	8.8	10	11.2	13.7
d	0.8~1.0	1.0~1.2	1.2~1.6	1.6~2.5
R	3.5	4	4.5	5.5
a	0.5	0.6	0.7	0.8

注: 注射量至少应为贮留部容量的 2 倍。

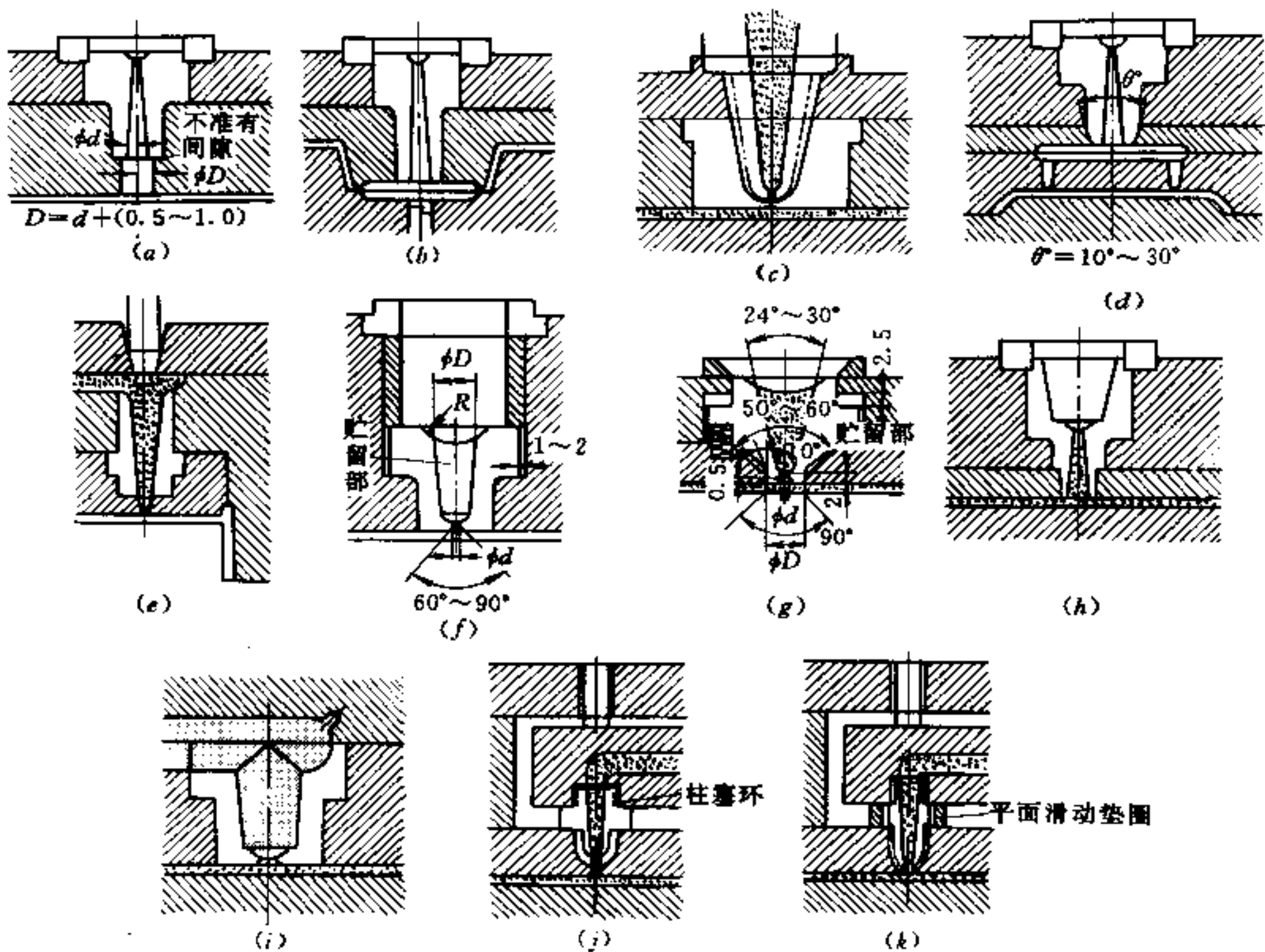


图 10.5-8 若干不同浇口套应用实例

延伸式喷嘴直接浇口用浇口套。图 10.5-8 (i) 为绝热流道针点浇口用浇口套 (即二次浇口套)。图 10.5-8 (j) 为半绝热浇口套, 通过柱塞环与热流板连接。图 10.5-8 (k) 为全绝热浇口套, 通过空气与树脂环绝热。

## 10.6 拉料杆

### 10.6.1 主流道拉料杆标准及应用举例

主流道拉料杆是用来从浇口套流道孔中拉出主流道冷料的零件。

为了锁住主流道, 可在主流道的底部加工侧向凹凸面, 以便启模时锁住主流道冷料。被锁住的主流道冷料由拉料杆推出而脱模。主流道拉料杆的前端形状有 A、B、C 三种型式, 图 10.6-1 表示其形状。表 10.6-1 是塑料模设计标准规定的主流道拉料杆的尺寸系列。

表 10.6-1 主流道拉料杆尺寸与公差

(mm)

公称尺寸	$d$		$D$	$H$		公称尺寸	$d$		$D$	$H$	
	尺寸	公差		尺寸	公差		尺寸	公差		尺寸	公差
6.0	6.0	-0.02 -0.05	10	6	0 -0.1	10.0	10.0	-0.02 -0.05	15	8	0 -0.1
8.0	8.0	-0.02 -0.05	13	8	0 -0.1	12.0	12.0	-0.02 -0.05	17	8	0 -0.1



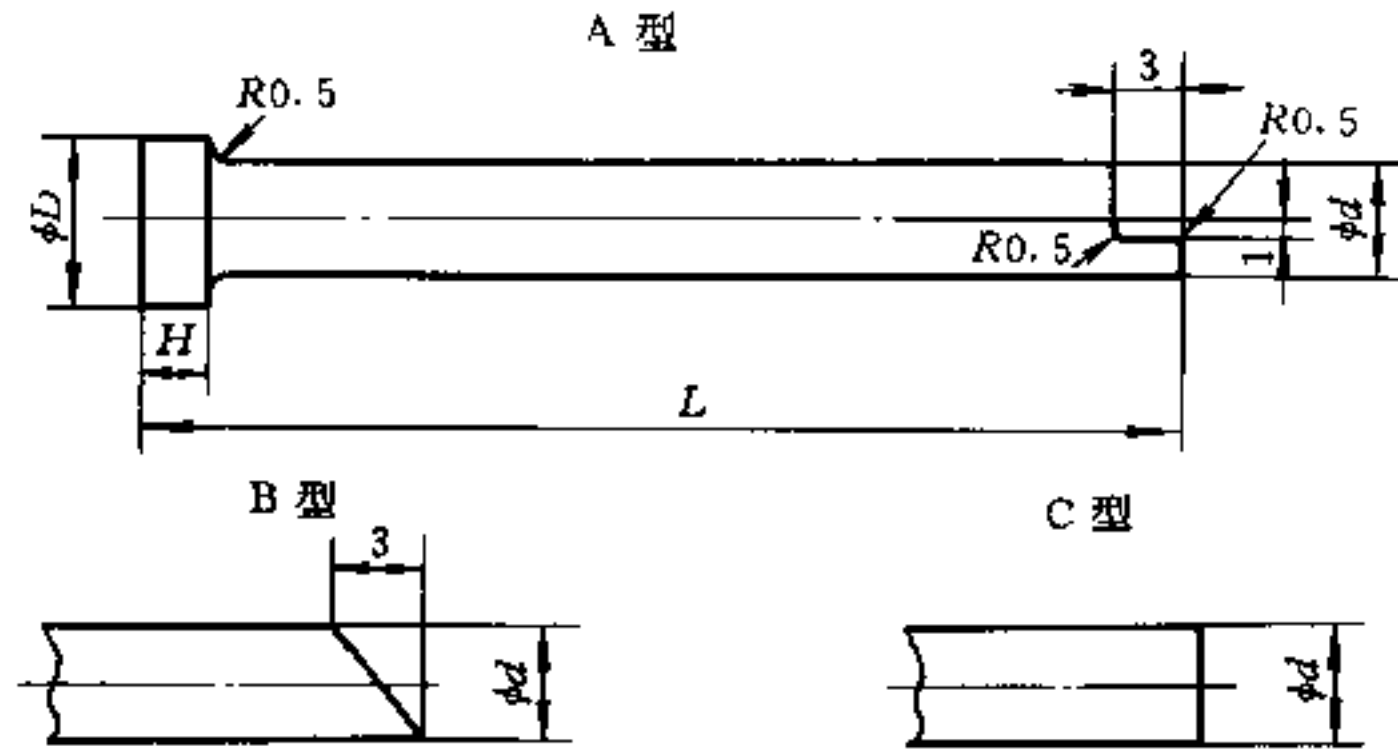
图 10.6-1 主流道拉料杆 ( $L$  由使用者确定)

图 10.6-2 及表 10.6-2 表示模具设计标准规定的主流道底部的侧向凹凸面尺寸及拉料杆配合孔尺寸。图 10.6-2 (d) 是采用推件板将流道拉料杆用来锁住主流道的图例 (杆的尺寸请参照表 10.6-1)

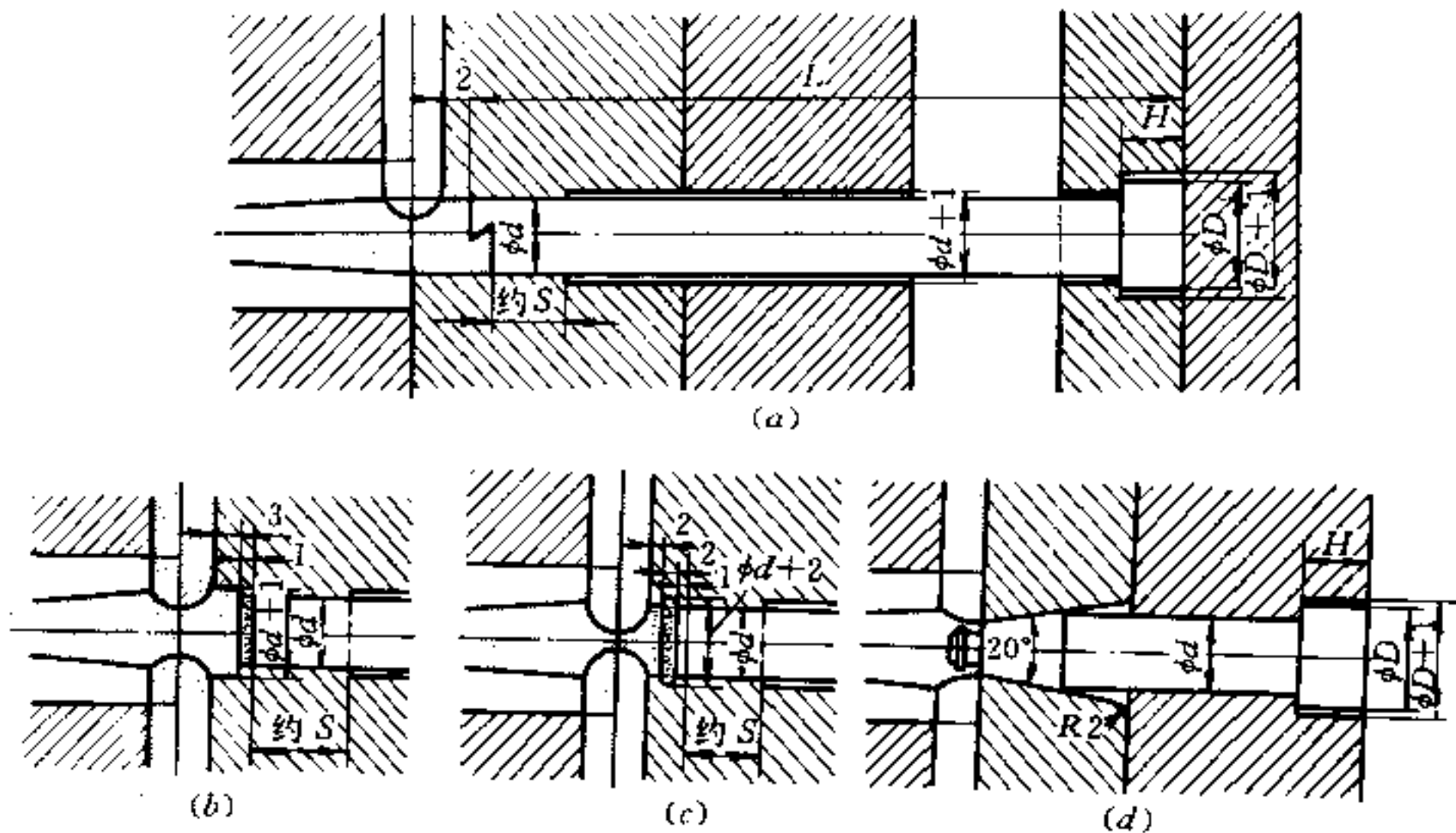


图 10.6-2 主流道锁口与推出方法

表 10.6-2 主流道拉料杆配合孔尺寸表

(mm)

公称尺寸	$d$		$S$	公称尺寸	$d$		$S$
	尺寸	公差 (H7)			尺寸	公差 (H7)	
6.0	6.0	+0.012 0	10	10.0	10.0	+0.015 0	15
8.0	8.0	+0.015 0	15	12.0	12.0	+0.018 0	20

### 10.6.2 流道拉料杆标准及应用举例

流道拉料杆是用来拉出针点浇口用流道冷料并切断制品与浇口连结的零件。其前端形状将根据树脂种类及流道尺寸不同而异。流道拉料杆前端形状可分为 A、B、C 三种型式，如图 10.6-3 所示。根据流道大小而分别选用，最常用的是 A 型。表 10.6-3 表示



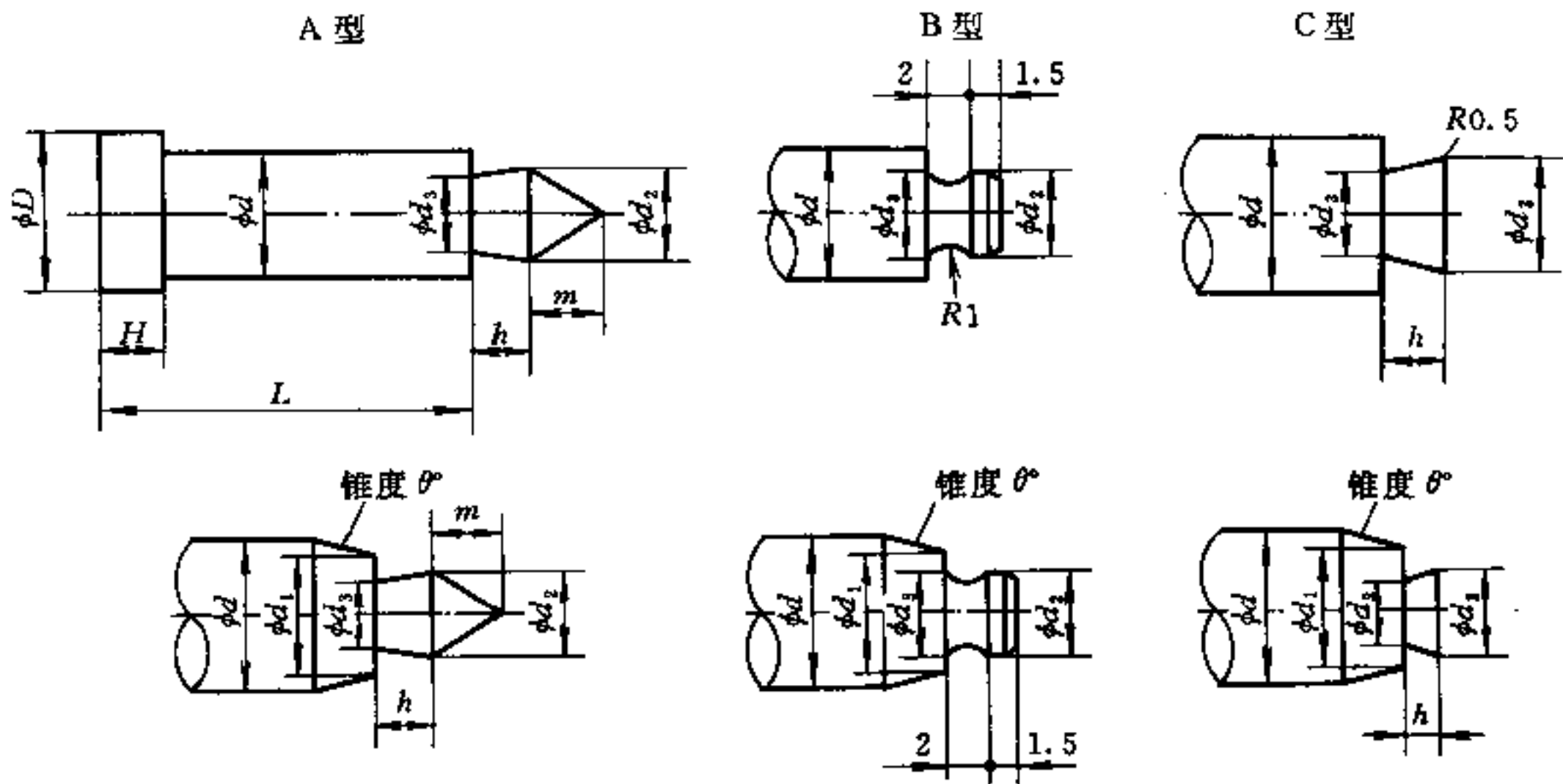


图 10.6-3 流道拉料杆的种类

A、B、C 三种通用型式标准。

表 10.6-3 流道拉料杆尺寸系列

(mm)

公称尺寸	d		D	H		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	h	m	θ
	尺寸	公差 (m6)		尺寸	公差						
4.0	4.0	+0.012 +0.004	8.0	6.0	0 -0.1	3.0	2.8	2.3	2.5	5.0	10°
5.0	5.0	+0.012 +0.004	9.0	6.0	0 -0.1	3.5	3.3	2.8	3	5.0	10°
6.0	6.0	+0.012 +0.004	10.0	6.0	0 -0.1	4.0	3.8	3.0	3	7.0	10°
8.0	8.0	+0.015 +0.006	13.0	8.0	0 -0.1	5.0	4.8	4.0	4	7.0	20°
10.0	10.0	+0.015 +0.006	15.0	8.0	0 -0.1	6.0	5.8	4.8	5	7.0	20°
12.0	12.0	+0.018 +0.007	17.0	8.0	0 -0.1	8.0	7.2	6.2	5	7.0	20°

三种流道拉料杆的应用实例，如图 10.6-4 所示。图 10.6-4 (a) 为最普通的应用方法，螺钉 M5 用于防止拉料杆在工作过程中转动或储运中掉落。流道拉料杆与流道板（也称流道推板，或者中间板）的滑动部分若像图 10.6-4 (a<sub>1</sub>) 那样，使杆的一侧缩在流道板内，那么流道将附着在板上而不脱落，所以应采用图 10.6-4 (a<sub>2</sub>) 所示的结构，将杆前端的锥部伸入到流道中，一般伸入量应为 0~0.5mm。

图 10.6-4 (b) 是 B 型拉料杆的一般使用方法，也可将图中所示  $\phi d/F7$  的加工公差改成杆按 f6~f7 加工，孔按 H7 加工。

图 10.6-4 (c) 是利用注塑机装模板安装模具与流道拉料杆的图例，图中采用的是 C 型拉料杆，但不限于 C 型，也能采用 A 型和 B 型。

图 10.6-4 (d) 是将流道拉料杆伸入推件板的应用实例。

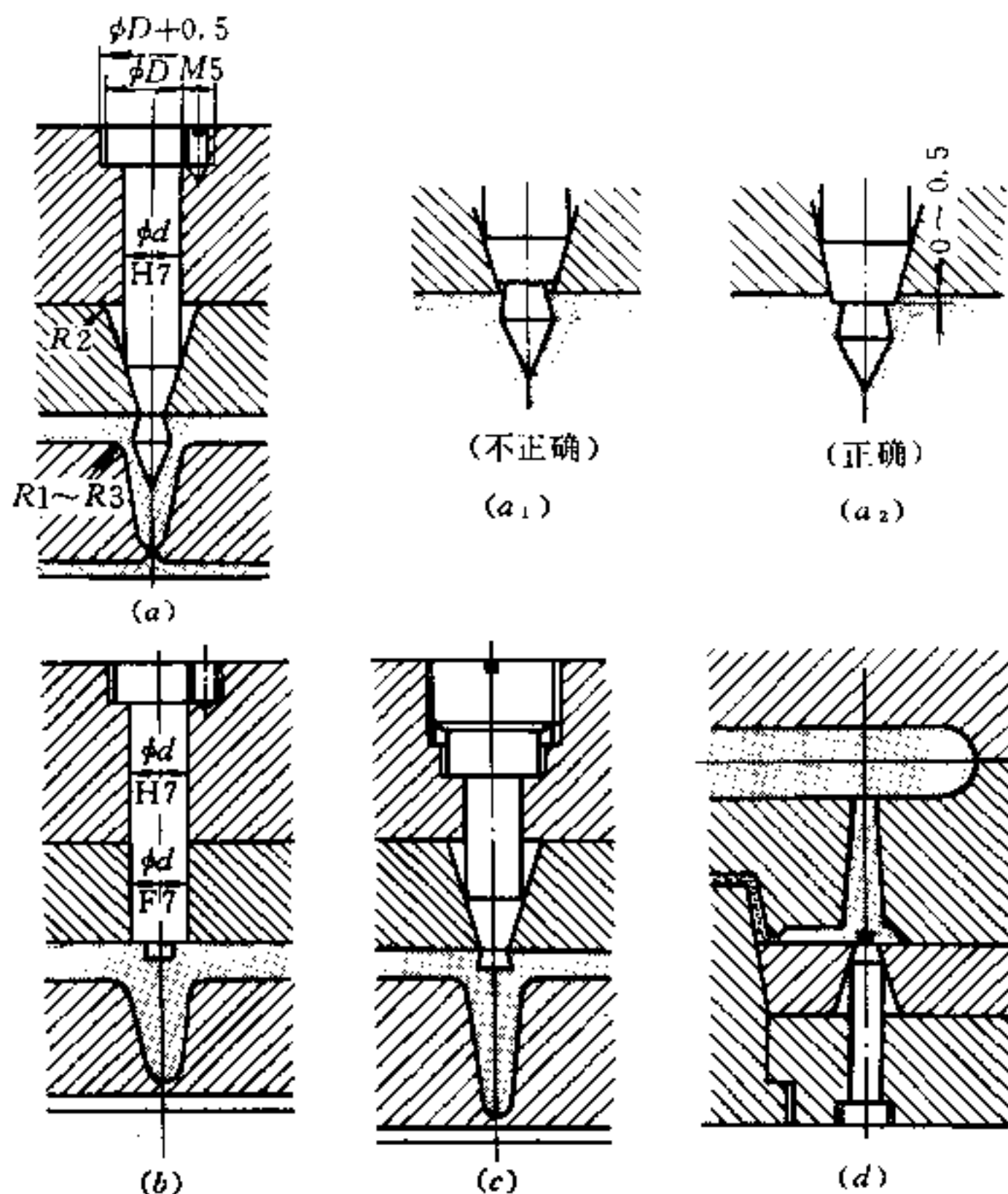


图 10.6-4 流道拉料杆应用实例

## 10.7 标准模架 CAD 图形库系统

### 10.7.1 图形库内涵及功能

国家轻工总会模具中心与成都科技大学（现四川联合大学），利用国家“八五”科技攻关项目共同研制开发了《塑料注射模标准模架图形库系统》，该系统的主要内涵是：

(1) 塑料注射模中小型模架（GB/T12556.1~12556.12—90）及塑料注射模大型模架（GB/T12555.1~12555.15—90）的变参图形库和工程数据库。

(2) 塑料模具结构零件变参图形库和工程数据库（包括国家标准 GB4169.1~11—84 的 11 个通用标准零件和电子工业部 1984 年发布的锁紧楔、斜导柱、拉料杆、浇口套、定位圈等 7 类零件的变参图形系统以及标准模架上应用的所有零件的变参图形库系统）。

(3) 一套绘图用公用函数库和图形库。

(4) 一套编辑修改图形的工具库。

利用该系统软件可实现以下功能：

(1) 根据制品尺寸，通过交互式人机对话方式选取大型模架或中小型模架的宽  $W$ ，长  $L$ ，定模板厚度  $A$ ，动模板厚度  $B$  等四个参数后，即可自动生成各种类型的模架装配图。

(2) 绘制塑料模具标准零件工作图，并自动标注尺寸、公差与配合、形位公差、粗糙度、技术条件等。

(3) 编辑功能可实现擦除、截断、移动、旋转，改线（线型、线粗、颜色）、消隐等功能。

(4) 图形的各种数据可通过接口传递到 CAM 系统中，通过 CAD 与 CAM 的有机结合实现自动化设计与数控加工。

### 10.7.2 图形库系统结构

该图形库系统的开发平台是 Auto CAD R10.0 版本，利用内嵌语言 Auto LISP 进行开发，适宜在 386 以上微机上运行。图 10.7-1 是该系统的结构框图。

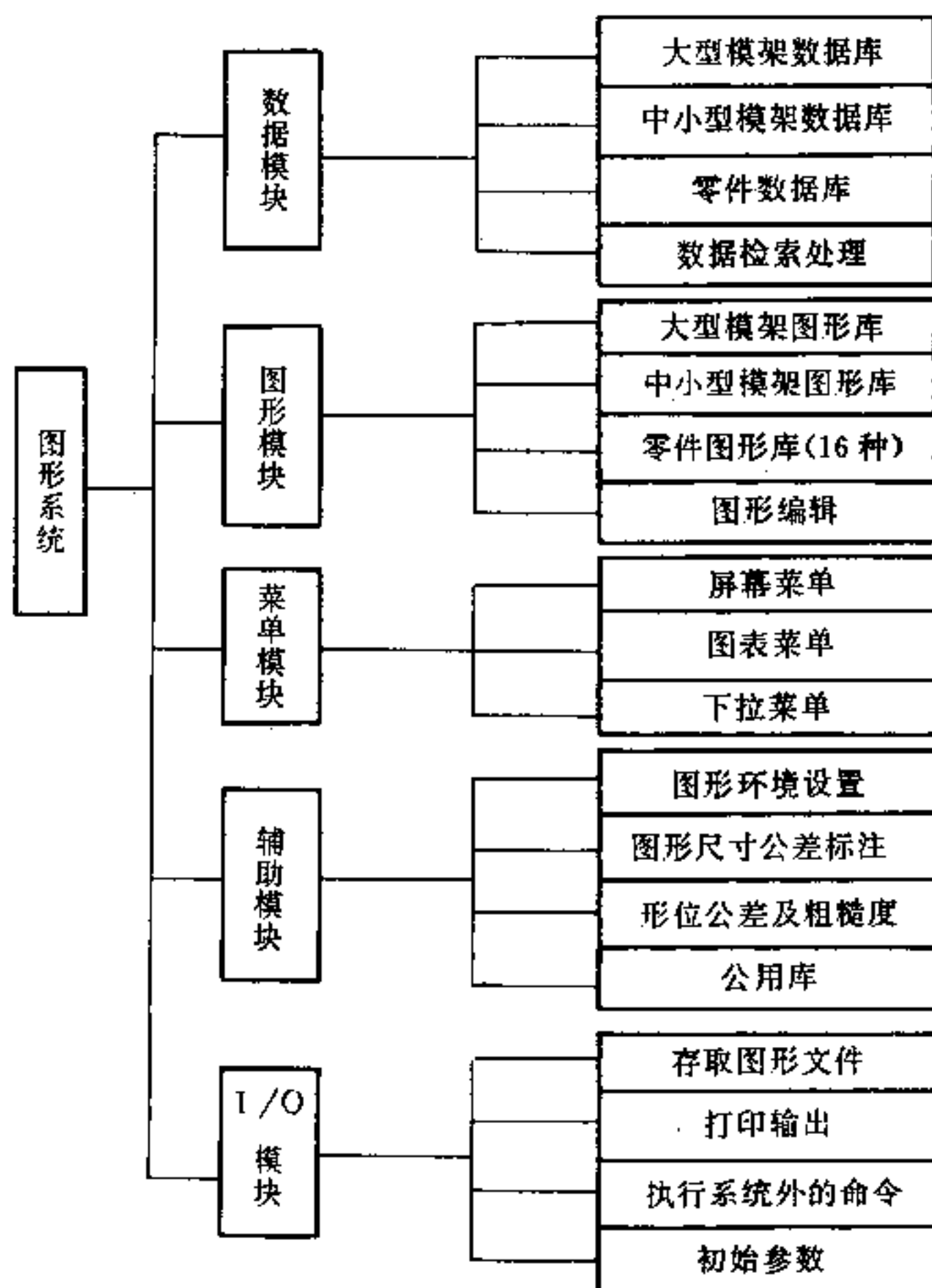


图 10.7-1 图形库系统结构框图

整个系统包括五大功能模块，即：

(1) 数据模块 该模块包括大型模架及中小型模架的数据库；各类零件的数据库；机械设计国家标准中螺纹连接、公差配合、形位公差等数据库；检索各类数据，检索函数，以方便实现检索出单变量数据、双变量数据，甚至多变量数据。

(2) 图形模块 包括大型模架，中小型模架的变参图形库；零件变参图形库；图形的编辑库等。

(3) 菜单模块 该模块的作用是对整个系统进行管理。用户利用鼠标器或键盘可激活屏幕菜单, 利用鼠标器可激活下拉式菜单和图标菜单。利用菜单可实现选型、数据输入、编辑图形、输出图形等多项功能。利用菜单为用户提供了一个直观的操作界面, 并且可以大大地减少由于键盘输入造成的操作失误, 提高了系统可靠性。

(4) 辅助功能模块 包括图形环境设置、各类标注及公用库等。设置图形环境, 可使图形及标注规范化, 且便于对整个图形进行编辑和修改。环境设置包括各层特性设置、标注参数设置、放缩参数设置等; 标注参数设置包括各类型的尺寸、形位公差、粗糙度、基准、焊接符等的标注函数; 公用库是用户使用较频繁的标题栏、明细表、各类标准件的图库等。

(5) 输入输出 (I/O) 模块 包括图形存盘、把图形输出到绘图仪或打印机, 执行系统外 DOS 命令等。

### 10.7.3 图形库系统技术

#### 一、变参数图形的特点与应用

变参数图形也称参数化图形, 绘制这样的图形是通过编写一段程序来实现的。在这段程序中把图形的基准和主要尺寸作为基本参数, 用这些基本参数把图形的每个坐标点都参数化, 并连线成图, 执行程序时通过给基本参数赋予不同的数值即可得到不同的图形。例如, 编制一个绘制矩形的程序, 把矩形的基准点、矩形的长和宽设计为三个基本参数; 用这三个基本参数表示确定矩形形状的四个坐标点, 并用绘直线命令连接这四个点, 绘制矩形的变参程序即编制完成。执行程序时, 通过赋给这三个基本参数以不同的数值, 就可生成无数个不同的矩形。

利用 Auto CAD 软件绘制二维工程图形, 通常可采用两类绘图方法。第一类方法是用键盘手工输入 Auto CAD 绘图命令进行绘图, 常称为键盘手工绘图法; 第二类方法是利用 Auto LISP 语言编制参数化程序进行自动绘图, 这种绘图方法常称为变参图形库方法。《标准模架 CAD 图形库》就是用变参图形库方法实现的。

键盘手工绘图方法产生扩展名为 DWG 的图形文件, 这种绘图方法的特点是, 用户通过键盘或鼠标器输入 Auto CAD 绘图命令进行直接绘图, 不用编制程序, 因而出图周期短。但此种方法产生的 \*.DWG 文件占用空间大, 而且, 操作者应对 Auto CAD 相当熟练。因此键盘手工绘图方法适用于绘制小批量生产中的零件图或装配图, 同时也适宜绘制各种非标图形。对于专业 CAD 技术人员, 这种方法是必须掌握的。

变参图形库方法是用程序自动绘图的方法。用这种方法编制的程序是扩展名为 LSP 的文件, \*.LSP 文件占用内存空间很小。由于变参数图形是由程序来实现的, 故常称为“软图库”。这种方法的实质是以“数”代“形”、程序中的数据决定图形的特性。当通过人机对话赋给参数不同的值, 运行同一程序, 往往可以生成成百上千种、类型相似、尺寸不同的图形。因此这种方法常用于各类标准件的绘制如螺栓、螺钉、螺柱、齿轮、轴承、管接头等的自动绘图。对于生产批量大、形状类似的图形, 例如: 活塞、油缸、注塑模模架及零件, 冷冲模等的设计和绘图, 十分方便。变参数图形库方法, 可使出图实现自动化, 生成图形速度快, 出图准确、规范, 但由于编制程序量大, 故研制周

期较长。

## 二、装配图绘制技术

绘制变参装配图可以有多种方法，在《标准模架 CAD 图形库》系统中，主要采用两种方法：

第一种方法称为零件图拼装法。我们知道一般的机械装配图可以用某些未标尺寸的零件图的某个视图来拼装。使用这种方法绘装配图时，调用零件图的函数与独立绘制零件图的函数是同一个函数，但要注意两点：

(1) 零件图程序中对于零件图与装配图的不同之处要设模拟开关控制。比如，零件图的视图个数或局部结构可能与装配图中表达该零件的视图不一致，零件图中需标全尺寸及公差，而装配图中则不必要。为此，我们在程序中可设置几个模拟开关，控制零件图的几个不同视图，或把图形与标注分开。

(2) 零件图在装配图上的遮挡关系可采用消隐技术。通常有两种消隐方法：一是利用实体技术进行消隐，即将需要消隐的图形定义为一个实体，绘制装配图时再把这个实体擦除；二是建立消隐层，零件图程序中将装配图中需要消隐的图线画在预先设定的消隐层上，在绘装配图时自动关闭消隐层即可实现消隐。实现两个二维图形迭加后的消隐是一个比较困难的技术问题，它涉及自动搜寻图形的最外层边界，自动寻找消隐边界与图形的交点，并自动判断图形在消隐边界内还是在边外等问题。这就需要建立一定的数学模型，确定一些算法。

绘制装配图的第二种方法称为子图拼装法。这种方法是把各种典型零件用一些典型的子图块来拼装。比如螺钉连接在装配图上的表达可用一个螺钉视图和一个螺钉孔的预作盲孔视图来组合。这些子图都可设计为变参数图形，当赋给变量不同的数值时，可获得形状相同而大小不同的各种图块。子图块编制得越多，使用越方便灵活，就可拼装出各种图形。

## 三、零件图绘制技术

通常，可采用两种方法绘制零件图。第一种方法是由装配图的外形尺寸，确定零件图的基本尺寸。利用一些全局变量，把这些基本数据传递到零件图绘制程序中，并给参数赋值。这种方法也称为由装配图到零件图的方法。第二种方法是独立绘制零件图。通过人机对话给零件图程序中必要的参数赋值便可进行绘制。在编制零件图程序时，绘图的方法可采用逐点绘制或子图拼合。逐点绘制时每个坐标点都是由变参数给定的，一些对称点可用专门的函数直接求值，不必再逐点赋值。子图拼合法的基本思路是将那些具有通用性强，使用频率高的图形结构（简称子图）建成图形函数库，绘图时按指定的基点调用这些函数进行拼合，组成所需的图形。子图拼合法编制的程序简单，占用字节少，易读，易用。

## 四、图形程序的稳定性

程序运行的稳定可靠至关重要，为此可采用以下措施：

(1) 程序设计要有容错和改错功能。容错功能可以实现当由于用户误操作而出错后，使程序暂停运行，屏幕上显示出错性质，提示改进途径；改错功能可以实现当用户改错后，修改程序中相关数据后恢复程序的正常运行。

(2) 在程序关键部位设计人工干预，以保证程序正常运行。一个较大的程序应分步



骤实现它的所有功能。当程序运行到某一阶段，应暂停下来，校验一下运行结果，询问用户是否满意，这对于及时发现错误并纠正错误十分必要。例如一组参数输完，并通过检索函数检索出相应数据后提示用户是否需要修改数据？如不满意可随时进行修改。

(3) 程序中所有坐标点应尽量采用目标捕捉方式。计算机在寻找一些十分靠近的目标点时容易找不到目标或找错目标，因而导致程序运行中断或出错。因此我们一定要利用目标捕捉方式寻找目标点，例如，可用 (Osnap op “cen”) 找圆心，用 (Osnap pl “tan”) 找切点等。

有时即使采用了目标捕捉方式寻找目标也可能还要出错，这时我们可用局部放大来寻找，然后再恢复。

### 参 考 文 献

- 1 许发铤主编. 模具标准应用手册. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 2 王鹏驹、唐志玉主编. 塑料模技术手册. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 3 [日]白石顺一郎著. 注塑成型模具. 许鹤峰译. 北京: 轻工业出版社, 1989

# 第十一章 塑料模 CAD/CAM

## 11.1 概 述

塑料模 CAD/CAM 技术的重要性已逐渐被模具界所认识。其中，塑料注射模 CAD/CAM 技术的发展和應用十分引人注目，在模具工业中形成了一花独放的局面，这应归功于近三十年来科学与技术的飞速发展。

从 60 年代以来，各国学者开展了一系列有关塑料熔体在模具型腔中流动、保压与冷却的基础研究，在合理简化的基础上，先后完成了一维和二维流动与冷却分析的计算机程序。到 80 年代开始了三维流动与冷却分析，并把研究扩展到保压、纤维及分子取向以及翘曲变形预测等领域。进入 90 年代后开展了流动、保压、冷却、应力分析的注射成型工艺全过程集成化研究。这些卓有成效的研究成果为开发实用型注射模分析软件奠定了良好的技术基础。

在几何造型方面，基于线框模型的 CAD 系统率先由工业发达国家的飞机和汽车制造公司开发并投入使用。如在 60 年代美国 Lockheed 飞机公司研制的 CADAM 系统、McDonnell Douglas 飞机公司研制的 CADD 系统以及 General Motor 汽车公司的 AD2000 系统等。进入 70 年代后，曲面造型技术发展很快，Coons 曲面、Bezier 曲面和 B 样条曲面等相继问世，出现了一批以曲面造型为核心的 CAD/CAM 系统，如英国的 DUCT 系统、美国的 CAMAX 系统等，均适用于具有复杂型腔表面的注射模。80 年代以来，实体造型技术进展迅速，如美国斯坦福大学的 Geomod 系统、罗彻斯特大学的 PADL 系统、日本北海道大学的 TIPS 系统、英国剑桥大学的 BUILD 系统等，它们为实体造型软件的开发作出了奠基性的工作。无疑，新一代的 CAD/CAM 软件应是实体造型与曲面造型兼备的系统。

与几何造型技术一道，CAM 技术在近三十年内也取得了显著的进步。美国在 60 年代研制的自动编程语言 APT 大大促进了数控加工技术的发展与普及。风靡一时的德国开发的 EXAPT 与日本开发的 FAPT 皆源出于 APT 语言。但 APT 的缺点是编程效率低、设计与制造脱节等等，出路是采用 CAD/CAM 集成化技术。CAD/CAM 的集成技术发展很快，自 80 年代以来，已有一批商品化的 CAD/CAM 集成系统在国际软件市场推出，不少著名的 CAD/CAM 集成系统已被我国模具行业所选用。

注射模 CAD/CAM 能够推广与普及的另一个原因是计算机的发展。在 70 年代，模具 CAD/CAM 系统使用的大多为中小型机。这种集中式分时系统运行速度慢、价格昂贵、难以推广。80 年代初推出的以 16 位微处理器为核心的个人计算机，其功能可与高档小型机相媲美，而价格仅为数万元，国产兼容机仅为数千元，这是任何模具厂都能承受的价格。80 年代中期又推出功能更强大的 32 位工程工作站，这种分布式的系统可将

多个模具工作站连成局部网络，实现快速信息通讯与资源共享。工作站的价格也在逐年降低，使愈来愈多的模具厂有能力购买。

采用注射模 CAD/CAM 集成技术的优越性是显而易见的。按照传统方法，塑料制品的构思完成后，需制作实体模型以评估其外观、测定其性能。若采用仿形加工来制造模具型腔或者电火花机床所需的电极，常需要先做木模，经过两次翻型后才能得到石膏靠模。这种方法的致命缺点是木模的精度无法保证。此外，若仅凭直觉和经验设计模具，往往需要多次试模和修正，才能使模具生产出合格的塑料制品。

模具 CAD/CAM 的集成系统从根本上改变了传统的模具生产方式及流程。采用几何造型技术，塑料制品一般不必进行原型试验，制品形状能逼真地显示在计算机屏幕上，借助于弹性有限元软件可以对制品的力学与机械性能进行预测。采用模具 CAD 软件，自动绘图能够取代人工绘图，自动检索能够取代查阅手册，快速分析能够取代手工计算。模具设计师们可以从繁重的绘图和计算中解放出来，集中精力从事诸如方案构思和结构优化等创造性的工作。

在模具图下达生产车间之前，利用计算机分析软件可以预测注射成型工艺及模具有关结构参数的正确性与合理性。例如，可以采用流动分析软件来考察塑料熔体在模具型腔内的流动过程，以此改进流道与浇口的设计，提高试模的成功率。采用保压和冷却分析软件来考察塑料熔体的压实和凝固过程，以此改进模具冷却系统设计，调整注射成型工艺参数，提高制品的质量与生产效率。还可采用应力分析软件来预测制品出模后的翘曲和变形情况。

借助于 CAM 软件，模具型腔的几何数据能交互地转换为机床刀具的曲面运动轨迹，进而生成数控加工指令，这样就可省去木模制作工序，提高模具型腔表面的加工精度和效率。

由此可见，模具 CAD/CAM 技术是高科技、高效益的系统工程。它以计算机软件的形式，为用户提供一种有效的辅助工具，使用户能借助于计算机对塑料制品、模具结构、加工乃至成本等进行设计和反复修改，直至获得最优化的结果。采用模具 CAD/CAM 技术能显著地缩短模具设计与制造周期，降低生产成本，并能大幅度地提高塑料制品的质量。

## 11.2 CAD/CAM 系统配置

### 11.2.1 CAD/CAM 系统硬件

CAD/CAM 系统的硬件由计算机及其常用外围设备组成。

#### 一、计算机

计算机执行运算和逻辑分析任务，并控制和指挥系统的所有活动，例如内部存储器与外部存储器之间的信息交换、终端设备的管理、绘图机上图形的输出等等。计算机的主机由运算器、内部存储器和控制器等部件组成，而运算器和控制器合称为中央处理器 (CPU)。

模具 CAD/CAM 系统常用 32 位工程工作站（或称为超级微型计算机）的代表为



SGI、SUN、HP 等，而 16 位微型计算机的代表为 IBM-PC 及其兼容机。

## 二、外部存储器

CAD/CAM 系统使用外部存储器的目的在于扩大存储能力，弥补内部存储器的不足。内部存储器的价格较贵，目前微机内存的容量多为 2~16 兆字节 (MB)，常用 8 兆，工作站内存多为 4~32MB，常用 16MB。用于模具 CAD/CAM 系统的计算机，无论是微机，还是工作站，均要求配置容量为 500MB 以上的外部存储器。

常用的外部存储器有磁盘、磁带和光盘。由于磁盘具有随机存取的特点，且价格便宜，它是 CAD/CAM 系统中目前应用最普遍的一种存储手段。因为磁带仅能顺序存取，且存取所需的时间较长，所以磁带一般用作磁盘的后备品，用以保存永久性的档案文件。光盘分只读光盘和可读写的光盘两类，目前只读光盘已普遍使用，而可读写的光盘因价格昂贵尚未普及。

磁盘分为硬盘与软盘两种。硬盘存储容量大，软盘易于随身携带。磁盘上的一系列同心圆周被称为磁道。磁道又分成各个盘区 (弧段)。盘区是可编地址号的最小存储单位，一般可存储 256、512 或者 1024 个字节 (Byte)。磁盘的存取过程由磁盘驱动器完成。在磁盘旋转的过程中，依靠驱动器中的磁头对磁道进行读写。

磁带是涂有磁性材料的塑料带，由磁带机中的磁头对磁带进行读写。磁带可分为若干段，段与段之间留有间隙并设有地址标志。这些地址是顺序排列的，因此磁带只能按顺序存取，无法直接随机存取。

## 三、输入设备

CAD/CAM 系统的输入设备主要包括光标控制设备、数字化仪和键盘三大类。

### 1. 光标控制设备

所谓光标即屏幕上的一个亮点 (或箭头)。光标常用于交互设计中，例如，用光标来确定直线的起点或终点位置、拾取图形元素、点取菜单等等。光标控制设备包括鼠标器、圆形板、操纵杆和光笔等。鼠标器有滚子式与光电管式两种类型。老式鼠标器都是滚子式的，在鼠标器的底部装有一个滚子，当鼠标器在平面上移动时，滚子便旋转，与滚子啮合的  $x$  和  $y$  两个方向上的电位器能够分别检测到两个正交方向的相对移动量。光电管式鼠标器的底部装有两个光电管，当光电管式鼠标器在装有网格线条的平面上移动时，光电管接受的亮度随网格线条的相对移动量和移动方向而定。鼠标器只需使用很小的桌面，制造成本也低，故使用十分广泛，目前无论是工作站还是微机，都配置有鼠标器。

图形板是一个二维的  $x$ 、 $y$  坐标平面，其下面设有由细导线组成的网格。与图形板配套的指示笔中带有金属触针和传感元件。当指示笔压向图形板上某点时，由于电磁感应原理，板上该点的  $x$ 、 $y$  坐标值便能被测得，在屏幕上以光标的形式显示。使用图形板的最大优点是能在板内的某个区域内建立菜单区。菜单区由许多条块组成，每一条块对应于一个特定的功能，以供使用者点取，从而使交互式设计更为灵活方便。

操纵杆和光笔都是用来控制光标的控制设备，但因其操作方式不太方便，长时间使用容易使人疲劳，所以在使用上远不如鼠标器和图形板广泛。

### 2. 数字化仪

数字化仪实质上是一种大图面的图形板。高精度的数字化仪的分辨率可达 0.02mm

左右，可以用来输入图样上点的坐标。应当指出，数字化仪并不是模具 CAD/CAM 系统必需设备，因为它不能完成精确的图形输入工作。

### 3. 键盘

键盘是一种最基本的输入设备，其主要功能是输入命令或数据。键盘上设有功能键和数字字符键。功能键通常由 16 至 32 个按键组成，这些按键可事先加以定义，使它们对应于某些特定的功能。

## 四、输出设备

在 CAD/CAM 系统中常用的输出设备有图形显示器、绘图机、硬拷贝机及打印机等。

### 1. 图形显示器

该设备用于显示图形与字符。常见的三种阴极射线管显示器为随机扫描显示器、直视存储管显示器和光栅扫描显示器。光栅扫描原理与普通电视机所用方法相同，即电子束在荧光屏上从左到右、自上而下地逐行扫描。所不同的是，电视机是利用电视摄像机产生的模拟信号来构成屏幕上的图像，而光栅扫描是使用计算机产生的数字信号构图的。由于光栅扫描显示器具有彩色和图像动画的能力，加上光栅扫描技术的不断改进，所以在模具 CAD/CAM 系统中得到了广泛的应用。

### 2. 绘图机

在模具 CAD/CAM 系统中，最常用的绘图设备是笔式绘图机。此外，还有用喷墨、静电或激光技术实现的绘图机，其中喷墨式绘图机在近年来也得到了越来越多的应用。

笔式绘图机又分为卷筒式和平台式两类。卷筒式绘图机靠笔在横梁上的运动和卷筒带动绘图纸的运动完成图形的绘制。这种绘图机价格便宜，所绘制的图形不受长度的限制，图形的绘制质量也较好。平台式绘图机可绘制精度较高的图形，不同颜色的笔装在笔架上，需要时可以自动从固定位置取出。常用固定纸的方法有静电吸附、真空吸附和机械压紧三种。

### 3. 硬拷贝机

该设备能将显示在屏幕上的图形复制出来。绘图纸的尺寸一般限制在 215 ~ 280mm。因受图形显示器分辨率的限制，所拷贝的图形质量远不如在绘图机上绘制的图形。所以用硬拷贝机得到的图样，仅可作为设计过程中间步骤的纪录，不宜作为最终的图样。此外，所用的拷贝纸价格较贵，在日常光线的长时间作用下会逐渐变暗。

## 五、CAD/CAM 系统配置

根据硬件配置的不同，CAD/CAM 系统可分为集中式系统和分布式系统。

集中式 CAD/CAM 系统的硬件配置如图 11.2-1 所示。

在这种系统中，如果计算机仅与一台图形终端相连，即为单用户系统，如果与多台图形终端相连，就需要采用分时系统，为多用户提供共享硬件和软件资源的环境。这样的分时系统与用户的交互能力差，有时用户需等待较长时间才能得到系统的响应，不适合模具 CAD/CAM 系统频繁人机交互的特点。

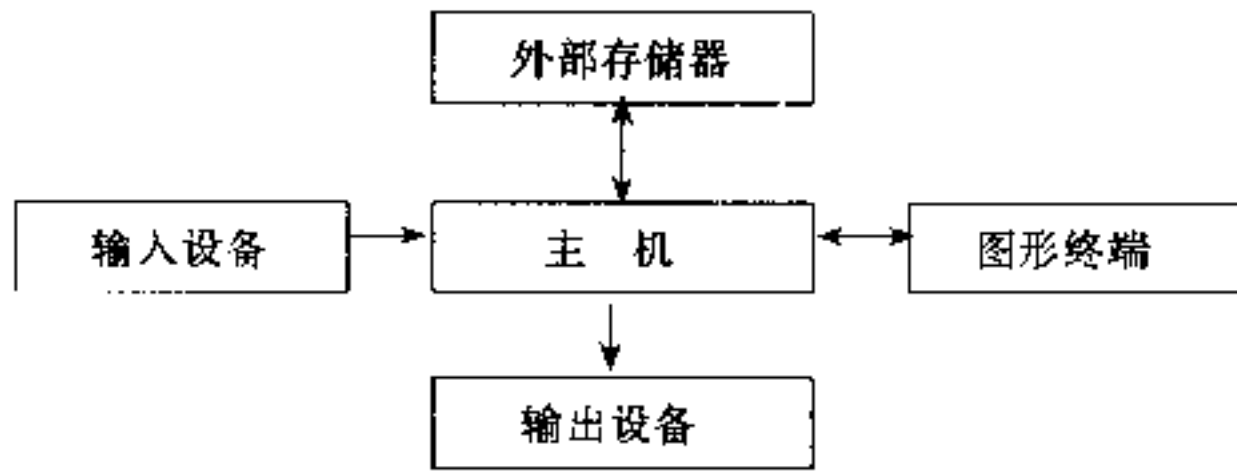


图 11.2-1 集中式 CAD/CAM 系统

80 年代以来，随着计算机网络的发展，分布式 CAD/CAM 系统得到了广泛的运用。利用局部网络技术，可将多个独立工作的模具 CAD/CAM 工作站组织在局部网中。这种局部网具有良好的交互性，可快速响应用户的要求，使多用户共享硬、软件资源。并且，局部网还可通过通讯网络与其他局部网或者大型主机连网。

局部网通过电缆将许多工作站连接起来，连接距离一般在 1~2km 之内。组织局部网的方式很多，采用得最多的为以太网和环形网结构。以太网连接的分布式 CAD/CAM 系统如图 11.2-2 所示。在该网中，所有工作站都连接在具有双向传输能力的电缆上。环形网连接的分布式 CAD/CAM 系统如图 11.2-3 所示。在该网中所有的工作站都连接在一个只有单向传输能力的封闭环中。环形网的优点是传输距离长，传输速率高，但环形网不如以太网灵活。在环形网中当一个工作站发生故障时容易影响整个网络的正常工作。

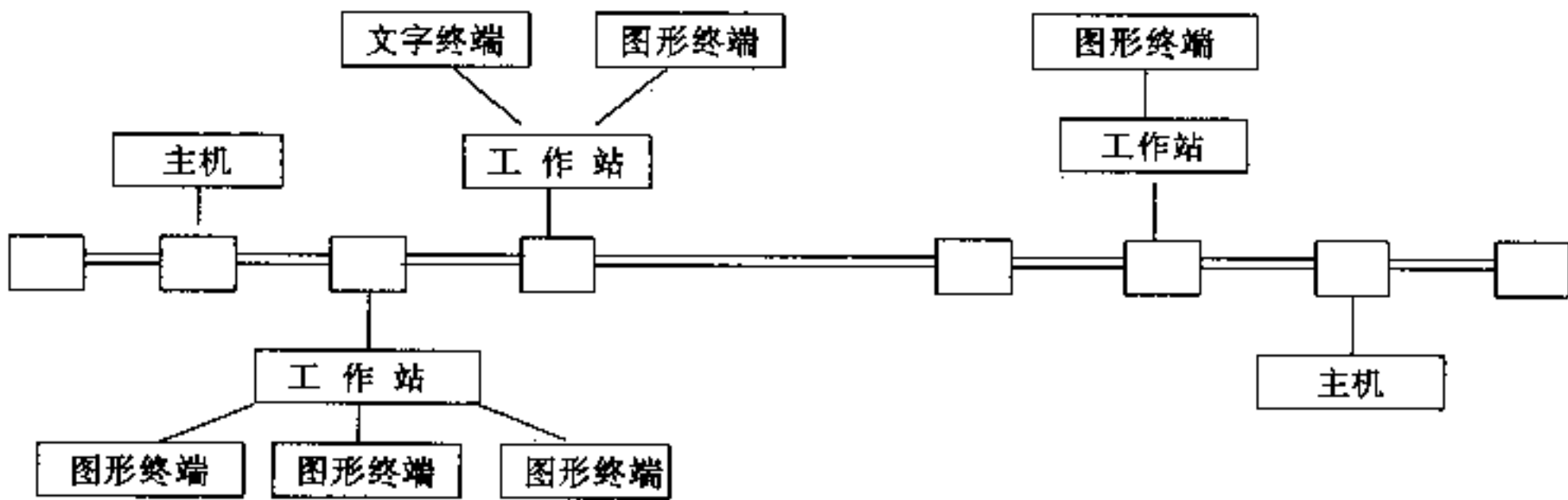


图 11.2-2 以太网连接的分布式 CAD/CAM 系统

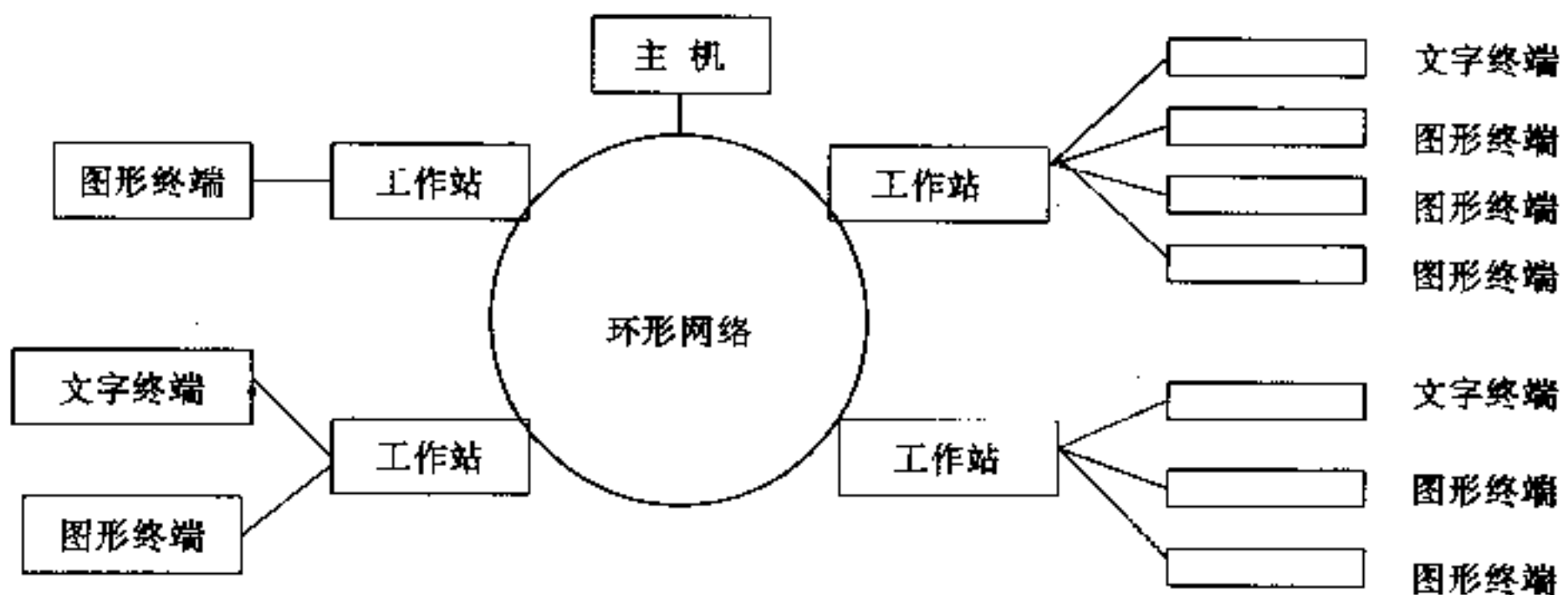


图 11.2-3 环形网连接的分布式 CAD/CAM 系统

## 11.2.2 CAD/CAM 系统软件

CAD/CAM 系统除了必要的硬件设备外, 还需要配备相应的软件。CAD/CAM 若无足够的软件支持, 硬件设备便不能发挥其应有的作用。可以说, 软件是决定 CAD/CAM 系统功能强弱、效率高低和使用难易的关键因素。模具 CAD/CAM 系统的软件种类繁多, 作用各不相同, 一般说来可将其分为系统软件、支撑软件和应用软件三类。

### 一、系统软件

系统软件是指计算机在运行状态下保证用户正确而方便地工作的软件。它包括操作系统、汇编系统、编译系统和诊断系统等。操作系统是用户和计算机之间的接口, 使用户能有效地使用计算机。操作系统全面管理计算机资源, 合理地组织计算机的工作流程。操作系统包括 CPU 管理、存储管理、文件管理、输入输出管理和作业管理等。操作系统是每一个计算机必备的系统软件。

80 年代以来, 以集成操作环境为特点的窗口系统被誉为新一代操作系统。目前, 在微机上运行的窗口管理系统中, 常用的有 MS-Windows (如 Windows 95 与 Windows-NT) 和 Macintosh 等。在工作站上流行的窗口管理系统为 X-Window。现在, 窗口软件已成为工作站的标准软件。

为了提高软件的工作效率, 并使之适应特定的工作环境, 模具 CAD/CAM 系统的二次开发必不可少, 编写一些模具应用程序是模具 CAD/CAM 工作人员的一项经常性的工作, 因此程序设计语言是从事该项工作人员必须掌握的基本工具。在模具 CAD/CAM 中常用的高级语言有 C、FORTRAN、PASCAL、BASIC 等。由高级语言编写的源程序需经过编译系统得到目标程序 (机器指令程序), 再经过与库函数连接得到可执行的目标程序。在开发 CAD/CAM 软件中, 有时也用到汇编语言。有些用汇编语言编写的程序可在高级语言程序中调用。因此, 编译系统和汇编系统都是开发模具 CAD/CAM 系统所必需的系统软件。

### 二、支撑软件

模具 CAD/CAM 系统的支撑软件主要包括图形处理软件、几何造型软件和数据库管理系统等。

图形处理软件是模具 CAD/CAM 系统中的重要支撑软件, 其基本功能诸如点、线、圆图形元素的生成、图形的平移、放大与旋转、图形的删除与编辑以及尺寸标注、文字书写等都是绘制模具图所必需的。开发图形处理软件需要耗费大量人力与物力, 图形处理软件不应随着硬件的变化而需要经常修改。为此, 在国际上出现了一些图形软件标准。例如, 国际标准化组织 (ISO) 颁布的计算机图形设备接口标准 CGI、图形交换规范 IGES 和图形核心系统 GKS。美国国家标准化委员会 (ANSI) 颁布的图形软件系统标准 PHIGS。

几何造型软件用于建立物体的几何模型。在计算机内建立的几何模型可为产品设计、模具图绘制和 NC 编程等提供必要的信息。按照产生的几何模型的不同, 几何造型方法可分为线框造型、表面造型和实体造型。

80 年代出现的特征造型技术, 能为用户提供一套完整地描述物体特征信息的方法。利用特征造型技术可以定义机械产品的形状特征、精度特征、材料特征和其他工艺特



征, 从而为 CAD/CAM 的集成以及计算机辅助工艺设计 (CAPP) 提供所需信息, 目前特征造型在一些商品化的 CAD/CAM 软件中 (例如美国的 Pro/Engineer 及 CADD5) 得到了广泛的应用。

模具 CAD/CAM 系统的工作过程, 在实质上是数据流的传递、分析与处理的过程。数据流中的数据, 可以是静态的, 也可以是动态的。静态数据如标准模架数据文件、标准工艺及设计数据等; 动态数据如设计过程的中间结果、各功能模块之间的信息交换等。因此, 数据管理是模具 CAD/CAM 系统中的一个十分重要的问题。

目前大多数模具 CAD/CAM 系统都是采用操作系统的文件管理功能来管理设计过程数据的。数据以文件的形式存放在磁盘上, 供有关程序调用。文件系统的优点是简单易行, 无需附加其他管理软件。文件系统的缺点是不能以记录或数据项为单位共享数据, 导致数据的大量冗余。此外, 在文件中增删数据十分麻烦。数据库管理技术就是为了克服文件系统的这些缺点而得到迅速发展的。

采用数据库系统管理设计数据时, 数据按一定的数据结构存放在数据库中, 由数据库的管理系统统一进行管理。利用数据库管理系统的命令来完成各种数据的操作。采用数据库后, 数据独立于程序, 数据存储结构的变化不会影响应用程序, 数据的冗余度减少, 数据的一致性得到增强, 数据的查找、存放及增删十分方便, 有利于提高模具 CAD/CAM 系统的效率。

### 三、应用软件

应用软件是在模具设计制造过程中用于特定目的的软件。例如在注射模设计制造过程中使用的型腔及型芯曲面生成软件、标准模架选择软件、模具结构设计软件、注射过程流动分析软件、保压分析软件、冷却分析软件、塑料制品翘曲变形预测软件、注射模强度及刚度校核软件以及型腔及型芯曲面数控加工软件等, 均属应用软件之列。在注射模应用软件中, 像分析与数控加工软件等, 一般无需用户作二次开发, 购买后经过培训便可使用。而模具结构设计软件常与工厂的特定环境、设计对象以及设计习惯有关, 因此工厂有必要对引进的模具 CAD/CAM 系统中的有关软件进行改造, 以便适应本厂的实际情况。这就要求引进的模具 CAD/CAM 软件具有良好的开放性, 以便二次开发工作能够顺利进行。

#### 11.2.3 CAD/CAM 软件功能比较与分析

一个较完善的 CAD/CAM 系统应具有如下功能:

(1) 自由曲面造型功能 系统应根据给定的离散数据和工程问题的边界条件, 来定义、生成、控制和处理过渡曲面和多边域曲面, 并能方便地构造带有自由曲面产品的几何模型。

(2) 实体造型功能 系统应具有定义和生成几何体素的能力, 并能采用几何体素和规则几何形体构造产品的几何模型。

(3) 参数化造型功能 系统应具有三维参数化造型功能, 即能够用几何约束 (尺寸及其类型) 来修改产品的几何形状。在注射模具 CAD/CAM 系统中, 参数化功能可以方便地用于由产品形状生成型腔形状以及建立标准模架及其零件库等。

(4) 物体质量特性计算功能 系统应具有根据产品几何模型计算其体积、表面积、

质量、密度、重心以及轴向转动惯量等特性的能力，以便为后续工程分析和数值计算提供必要的参数和数据。

(5) 图形显示及编辑功能 系统应具有动态显示三维图形、消除隐藏线、生成彩色浓淡图（或称阴影图）的能力，并能方便地对生成的图形进行删除、增加与修改。

(6) 二维视图生成功能 产品的几何造型需要三维图形生成功能，而模具结构图在传统上仍采用二维多向视图，这就需 CAD 系统能方便地将三维图形转换为各个投影方向的二维视图。

(7) 有限元网格生成功能 为能用有限元法对产品或模具结构进行性能分析，系统应具有有限元网格自动生成的能力。

(8) 数控加工功能 系统应具有多轴数控机床的数控加工指令生成的能力，并能在屏幕上显示刀具运动轨迹，以及对数控加工的全过程进行动态仿真。

(9) 三维运动机构的分析与仿真功能 系统应具有对运动机构（如模具开合、侧向抽芯等）运动轨迹和干涉校核进行研究的能力，为用户提供直观的仿真效果。

(10) 信息处理与管理功能 系统应具有统一处理和管理产品设计与制造等全部信息的能力，并能与其他系统进行数据传输与交换。

目前，一些著名的商品化 CAD/CAM 系统基本上已达到了如上所述的功能。这样的系统如美国 Parametric Technology 公司的 Pro/Engineer、CV 公司的 CADD5、SDRC 公司的 I-Deas 以及法国 MATRA 公司的 EUCLID 等。这些系统都是在工作站上开发的，有的已推出了微机级版本。

美国 CV 公司在 1992 年开发的 CAD/CAM 软件 CADD5，包括了曲面造型与实体造型。其曲面造型包括 B 样条曲面、规则曲面、旋转曲面、雕塑曲面及非均匀有理 B 样条（NURBS）曲面的生成与组合；实体造型提供了各种基本几何元素（箱体、楔体、圆柱体、锥体、球体和环体）的布尔运算，以及扫动成形，雕刻、缝合、内角和倒角的操作。CADD5 还可采用参数化设计方法构造几何模型，并提供新型的构型工具“特征库”。所谓特征，指的是对某种或某类设计和制造过程有一定意义的几何体或非图形信息。用户可利用 CADD5 中的专用软件“Feature Teacher”（特征教师）来建立或修改所需的特征。

当产品的几何模型建立后，CADD5 的实体详图软件能使用户以传统的二维制图方式生成工程图，或者直接对三维线框、曲面和实体模型标注尺寸，软件还具有消隐和剖面功能。

此外，CADD5 还可为用户提供诸如相干性检查、数据抽取与合并、彩色浓淡图显示、工程计算、装配设计、物理特性、机械模拟、应力分析、热量分析，注射模模架选择、汉字库、数控加工及二次开发工具等软件，以适应各种不同的需要。

美国 Parametric Technology 公司的 Pro/Engineer 软件也拥有 CADD5 软件类似的功能，而且在三维参数化技术、特征造型以及注射模应用软件方面更具特色。

在微机上拥有最多用户的 CAD 软件，当属美国 Auto Desk 公司的 Auto CAD。该软件自 1982 年问世以来功能不断地完善，版本也在不断地更新，现在已推出了 Auto CAD 的第 13 版本。Auto CAD 的主要功能有实体生成（点、线、圆、圆弧、椭圆、多义线、多边形、文字、图块、属性、简单三维实体等）、图形编辑及显示、浓淡图填充、消隐、

尺寸与公差标注及信息查询等。为了适应二次开发的需要, Auto CAD 还提供了二次开发工具 ADS, 能用 Auto LISP、C 语言及对话框专用语言 DCL 在 Auto CAD 中开发出新的功能以适应不同领域的需要。

在塑料模具行业中, Auto CAD 已广泛用于绘制模具工程图。目前最流行的做法是, 采用三维造型软件生成型腔和型芯几何模型, 然后将其投影成二维视图, 再利用 Auto CAD 的图形编辑功能绘制模具的零件图和装配图。

应当指出的是, 无论是 CADD5, 还是 Auto CAD, 这些商品化的 CAD 软件在开发之初是作为通用机械设计与绘制工具来构思的, 并不针对塑料模具, 因而在使用这些通用 CAD 软件来设计塑料模具时会感到效率低下、操作麻烦、功能缺乏。为此, 近年来出现了一些高效的塑料注射模 CAD/CAM 专用软件。这些专用软件有的是单独开发的。但能与许多商品化 CAD/CAM 系统接口或兼容, 有的本身就是特定的商品化 CAD/CAM 系统中二次开发成功的。

例如爱尔兰 Technocad 公司开发的 CAMold 软件能使模具设计中的一些常规工作自动化。CAMold 软件建立了塑料注射模具各部件之间的关系模型, 使得模板、支承块、导向件及紧固件等模具标准件能自动组装。该软件能从模具数据库中, 为用户自动选择出所需模具零部件。每当有一个部件加入到模具中时, 软件通过对关系模型的检索, 判断有无差错和干涉现象, 并及时向用户报告。当修改模具中某一零件时, 模具的相关部分就会自动调整与配合。例如将模具的垫板加厚, 那么螺钉、支承块、导柱、推杆以及复位杆都会调整为新尺寸。与 CAMold 兼容的 CAD 系统有 Auto CAD、CADKEY、CADD5、MCSAnvil 以及 Graftek 等。

意大利 Olivetti 公司开发的 Mould 3D 软件以及比利时 Ciminko 研究中心开发的 Mouldslide 软件也具有 Technocad 软件类似的功能。

美国 Parametric Technology 公司在 Pro/Engineer 软件中也增加了用于塑料注射模设计的专用软件 Pro/Moldesign。该软件提供了一系列操作功能, 使用户能根据产品的几何模型生成型腔、型芯或者它们的镶块, 并对型腔或型芯尺寸进行参数化收缩补偿。该软件还能直接调用型腔面或型芯面生成有限元网格进行塑料注射流动过程分析, 也可以将生成的流道系统、型腔、型芯等三维模块装配在一起, 在计算机屏幕上模拟模具的开、合动作, 以便检查模具在开启与闭合过程中是否存在干涉现象。Pro/Moldesign 的一个显著特色是在 Pro-Engineer 系统内建立了模具与产品之间的全面关联性。这意味着模具的设计可与产品的设计同时进行。产品的任何修改会立即反映到模具上, 反之, 模具的任何更改, 例如脱模斜度或加强筋厚度的修改都会直接传回到产品的设计数据中。

近年来, 国内在微机版本的 Auto CAD 的环境下, 也开发出一些注射模 CAD/CAM 专用软件。例如武汉华中理工大学模具技术国家实验室开发的 H-Mold2.0 软件。该软件是在采用 Auto CAD 提供的二次开发工具 ADS、对话框语言 DCL 及编程语言 C 的基础上开发的塑料注射模 CAD/CAM 集成化系统。该系统共有三个库和六个功能模块。其中, 数据库存储了塑料和模具材料以及模具设计与制造过程所需要的各类数据, 模架库存储了标准模架数据, 图形库存储了标准模架图形和模具典型结构图形。六个功能模块分别为产品及型腔、型芯输入、建库工具、结构设计与校核、模具价格预算、模具图生成和数控加工。该系统已在国内许多工厂试用, 取得了很好的经济效益, 已成为模具



设计师的一个先进而实用的专用工具。

## 11.3 塑料模 CAD/CAM 系统构型

### 11.3.1 塑料模 CAD/CAM 系统的工作流程

塑料注射模 CAD/CAM 系统的工作流程如图 11.3-1 所示。

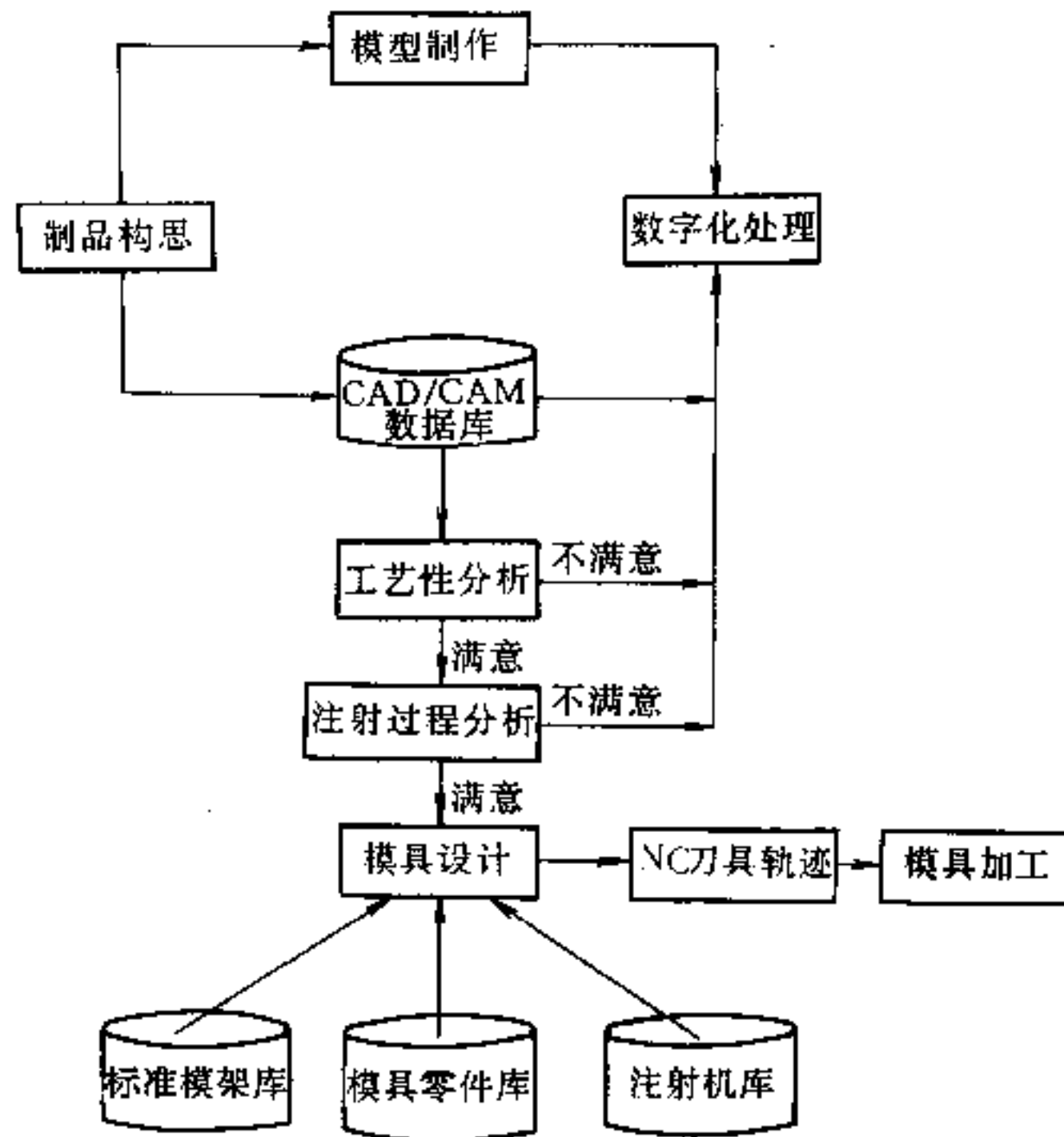


图 11.3-1 塑料注射模 CAD/CAM 系统工作流程

塑料注射模 CAD/CAM 工作的第一步是建立塑料制品的几何模型。在传统的手工设计中，制品的形状是用一系列二维视图来表征的。对于形状复杂的制品，有时用二维视图很难十分清晰地描述制品的复杂部位，而不得不先制作真实的模型或样板，供模具设计师正确地绘制模具结构图或者供产品设计师对制品的外观和功能进行考核。采用 CAD/CAM 系统可以在计算机中建立制品的三维几何模型。这样的几何模型可以在显示屏上旋转与放大，可以在任意部位剖切，还可以用逼真的彩色阴影图显示，在许多情况下可以省去模型或样板的制作工序。若仍需制作模型，可利用三坐标测量仪将模型的几何形状数字化，存储在 CAD/CAM 系统的数据库中以便用于模具的设计与数控加工。

在计算机中建立起制品的三维几何模型后，可以采用工艺性分析软件对该模型进行注射成型工艺性考核。例如检查制品的壁厚是否在成型的允许范围内，制品的流动长度是否超过了所使用塑料的极限值，制品的塑料注射量是否超过了所用注射机的额定值，还可以对该制品的制造费用进行估算。如果对制品的某项成型工艺性不满意，便可对制品几何模型进行反复修改，一直到满意为止。

当制品的注射成型工艺性通过检验后，下一步工作是确定该制品的浇口型式、数量

和位置。在手工设计中,这项工作只能凭借经验或者简单公式进行粗略估算,设计师对浇口设计方案的正确性并不能做到胸有成竹,稍有差错便会导致无法挽回的错误。流动分析软件能够对设计师拟定的浇口方案进行多方面的导向和考核,它能帮助设计师在确定浇口方案时得到理想的塑料熔体流动型式,控制熔合纹的形成位置,减小制品某些敏感区域的模塑应力。此外,流动分析软件还能用来选择较好的注射成型参数,例如塑料熔体的熔化温度和模具型腔温度等。

制品的浇注系统方案决定后,注射机喷嘴与制品之间的相互位置关系也就随之确定,模具结构的 CAD 工作便可开始。

模具尺寸首先取决于在一副模具内安排多少型腔。型腔数目的选择与许多因素有关。模具设计师可以借助于专用软件来选择合适的型腔数目。例如华中理工大学开发的 H-Mold2.0 软件可以从制品的精度要求、经济性要求、注射机最大额定注射量、最小注射量、注射机装模空间、注射机最大锁模力等六个方面对模具型腔数目进行分析,并能综合以上各个因素推荐最佳选择。

基于型腔数目、排列方式和浇注系统布置,注射模 CAD 软件能用来选择最合适标准模架。其判断准则为所选用的模架中的推出板必须完全包容各个型腔,且又是所有可选模架中尺寸最小者。当模架尺寸确定后,模具设计师能方便地从标准模架库调出该模架的所有零件以及它们的装配关系。

标准模架选出后,接着是如何将制品几何模型转换为型腔几何模型(生成制品的外表面)和型芯几何模型(生成制品的内表面),并把它们与模架几何模型合并以构成模具的装配图。

制品与型腔、型芯形状之间的转换是借助于塑料材料收缩率补偿计算完成的。在手工设计时,材料收缩率补偿通常是由模具设计师对制品二维视图的各个尺寸逐一进行换算。这是一件十分繁冗的工作。采用模具 CAD 技术后尺寸的收缩补偿工作将变得非常简易。如果所用塑料材料的收缩率变化范围小且收缩均匀性好,模具 CAD 系统只须一个简单的变换比例的命令,就能完成制品的等距放大,然后将经过变换得到的型腔和型芯形状数据存储到数据库中。如果塑料材料在各个方向上的收缩特性存在着较大差异,也有相应的方法来进行材料收缩率的补偿。例如,当塑料材料在熔体流动方向与垂直流动方向上存在着较大差异时,可以在制品上定义一个局部坐标系,其  $x$  轴和  $y$  轴分别对应熔体流动方向和垂直流动方向,然后在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个方向上选用不同的放大系数来补偿塑料材料的收缩。若模具设计师选用的 CAD/CAM 系统具有三维参数化造型功能,则可以直接对制品尺寸进行收缩率补偿。此时,既可将所有尺寸进行等放,也可以赋予各类尺寸以不相等的收放率,这取决于塑料材料的收缩特性以及模具设计师对制品收缩特性的认识和经验。

将型腔和型芯的几何形状并入到模架相对应的模板中后,便可利用模具 CAD 系统提供的图形编辑功能划分出型腔组合模块(又称定模部装)和型芯组合模块(又称动模部装)。当需要采用斜抽芯机构时,还应划分出滑动模块。不同类型的模块应安排在不同图层中,这样就可将各个模块形状分别地提取出来,以便后续的模具零件图设计与绘制。

划分模块的工作结束后,可进行浇注系统的结构设计。此时,可再次利用流动分析

软件来平衡一模多腔的浇注系统，或者通过调整各级分流道和浇口尺寸来优化制品的成型压力。

冷却系统的设计应紧接着在浇注系统之后进行。在注射模设计时，冷却系统中管道布置常常与推出机构中推杆布置发生冲突。在 CAD 技术尚未应用的以往年代里，冷却管路形式、冷却水温度与冷却管道布置等因素之间的关系很难分析计算，于是推杆布置便成为首要任务。冷却管道只得在推杆布置后所剩余的空间里安插，冷却效率与质量无法保证。这样的设计原则必然导致模具冷却时间过长、制品脱模时温度分布不均匀。冷却分析软件的应用可以改变以往模具设计师“重推出、轻冷却”的倾向。在冷却管道布置时，模具设计师可同时考虑推杆与冷却管道的布置。当推杆与冷却管道发生冲突时，可以设计几种折中方案，然后利用冷却软件对这几种冷却回路进行分析，根据分析结果选择出最佳冷却回路，并确定该冷却回路合适的水流速度、水温、模具温度以及水泵压力等参数。

由于目前开发的冷却分析软件大多采用边界元法求解，计算量大、操作繁琐。当要对几种冷却回路反复进行分析时，将会花费很长的计算时间。减少分析次数，节省上机时间的关键在于初始冷却方案能够切合实际情况。冷却分析软件只能在几种方案中择优，而无法提供冷却方案的初始数据。华中理工大学开发的 H-Mold2.0 提供了估算所需冷却管道长度及预测制品脱模温度的功能，以此作为冷却方案的初始数据，则可减少冷却分析软件的分析次数，显著提高冷却系统的设计效率。

冷却系统完成后，便可将各个部装图与标准模架合并在一起，再加入推杆等模具零件。推杆等常用零件存放在模具零件库中供模具设计师调用，操作十分方便。商品化的模具 CAD 软件一般都有建库手段，以使用户在设计模具之前先建立自己的标准模架系列、标准模具零件系列、模具典型结构以及标准工艺规范。这些标准化的零件库和数据库能显著地提高模具 CAD 软件的设计效率。反之，模具 CAD 技术的推广与普及又有力地促进了模具标准化工作的开展。

目前，不少模具 CAD/CAM 系统已能在数据库中以特征或属性的方式加入非文字信息。这种技术不仅能够用于模具零件的文字性描述，而且能够在模具结构设计工作完成后自动生成模具零件明细表或者技术报告。有的模具 CAD/CAM 系统还提供了模拟模具开启和闭合的动画功能。通过图形的旋转和平移，模具设计师可从不同角度观察动模的运动情况，检查滑块、推杆等运动零件是否按规定的次序和行程动作。若在模具开合过程中运动零件与固定零件产生干涉，系统将在屏幕上显示产生干涉的部位。

模具 CAD/CAM 系统一般均能为用户提供半自动的尺寸标注方式，以便减轻模具设计师在标注模具零件尺寸时繁重的劳动强度。

以上设计工作完成后，便可在绘图机上绘制模具的装配图与零件图，生成数控刀具轨迹。

采用模具 CAD/CAM 技术以后，模具制造车间对模具图纸的依赖性大为减少。目前在一些采用了模具 CAD/CAM 的工厂里，仅仅依靠少许模具图纸和数控加工指令便可生产出合格模具。传统使用的全套模具图在这些工厂里仅作为技术资料加以保存，或者作为检验的依据。

从以上所述可知，模具 CAD/CAM 的应用从根本上改变了传统的模具生产方式，

显著地缩短了模具设计与制造时间，减少了对模具工作者经验和技艺的依赖，提高了模具和塑料制品的质量。

### 11.3.2 塑料模 CAD/CAM 系统的典型构型

注射模 CAD/CAM 系统，一般都是在通用机械 CAD/CAM 系统上，经过二次开发或软件集成获得的，以便提高模具的设计与制造效率或者完成某一专门的工艺分析。这样的专用系统，有的是直接由开发通用 CAD/CAM 系统的软件公司提供，有的则经过第三者开发与改造而成。

例如，Parametric Technology 公司在推出通用 CAD/CAM 系统 Pro/Engineer 后，在该系统基础上又开发了注射模专用设计软件 Pro/Moldesign，其软件结构如图 11.3-2 所示。

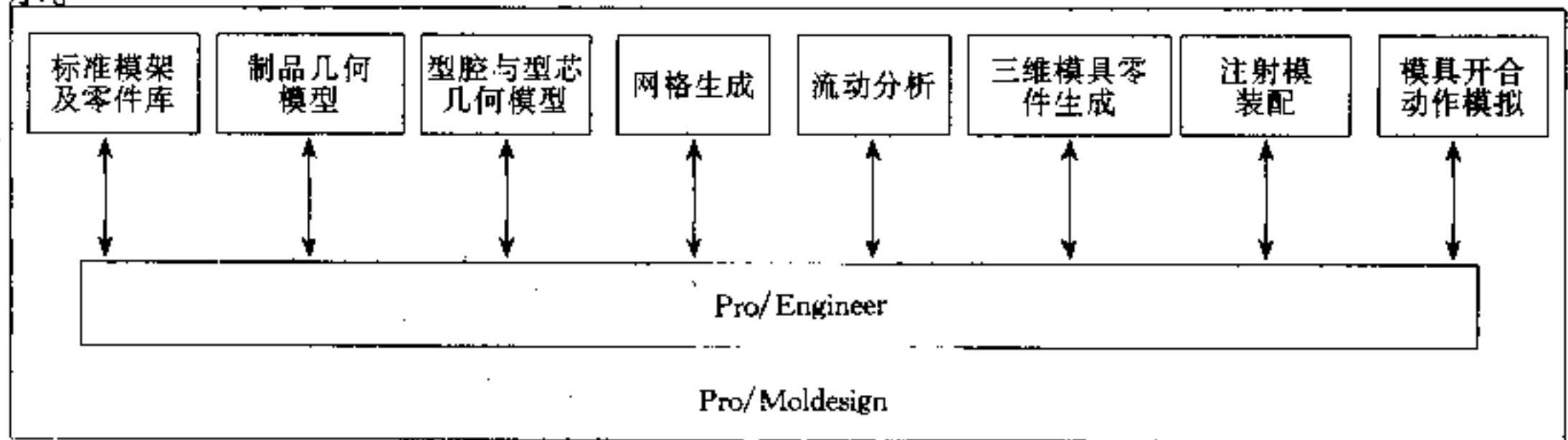


图 11.3-2 注射模专用系统 Pro/Moldesign 的构型

又例如，华中理工大学在 1990 年开发的小型、精密、多腔注射模结构设计软件是在 Auto CAD12.0 上开发的。其软件的数据流如图 11.3-3 所示。

由图 11.3-3 可见，该软件能将制品的几何模型转换为模具型腔与型芯几何模型。动模板与定模板的方案由型腔与型芯模型而定，其内容包括型腔数目、流道系统、型腔排列、冷却管道与推杆布置等。由方案设计得到的模板尺寸用来选择标准模架。同时，方案设计的结果还可用于定模与动模部装图的详细设计。

由于小型、精密、多腔注射模常常采用镶块结构，有时是先确定型腔的镶块组成，再完成部装图；有时又是先构思部装图的布局，然后再划分型腔的镶块。所以软件采用双向数据流，既允许由部装图划分镶块，也允许由镶块生成部装图，或者两者反复交替，直至得到满意的设计结果。

该软件从制品图输入开始，经模具设计师通过人机交互，在设计过程中不断地决策和输入经验数据，由软件调用数据库中的各种数据与结构，最后输出全套模具图、明细表、供流动与冷却分析用的数据和用于数控加工的数据。

注射模结构软件大多脱胎于通用的 CAD/CAM 系统，而商品化注射模工艺过程分析软件多是由研究机构或软件公司独立开发的，不依赖于通用 CAD/CAM 系统，但是它们可与通用 CAD/CAM 系统交换数据，以供集成。著名的分析软件如美国 AC Technology 公司的 C-Mold 软件、澳大利亚 Moldflow 公司的 Moldflow 软件。我国华中理工大学的 H-Mold 软件近年来也在国内外获得了成功的运用与推广。

图 11.3-4 示出美国 AC-Technology 公司的 C-Mold 软件的结构。该软件能对注射成型过程的流动、保压、冷却及制品的收缩和翘曲进行分析模拟。



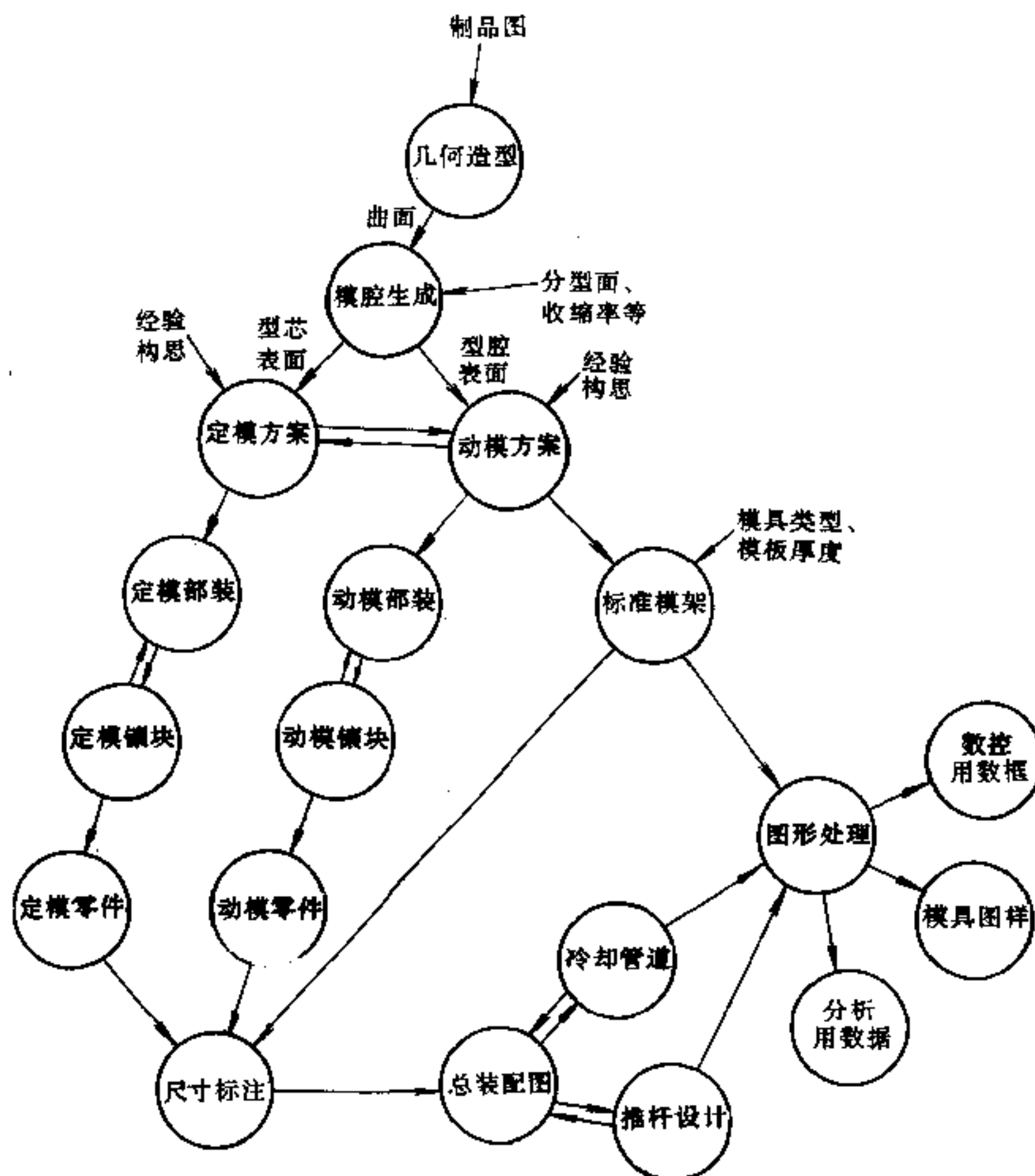


图 11.3-3 小型、精密、多腔注射模结构软件数据流

C-Mold 软件分为三个层次，采用公共数据库和统一的输入与输出格式，并自动实现各分析模块间数据的转换。

第一层次包括过程设计模块 C-DESIGN 与前置处理模块 C-VIEW。在 C-DESIGN 中，用户可选择塑料品种、模具材料、冷却介质、注射机型号、确定注射成型工艺参数、形成分析模块所需的输入文件。在 C-VIEW 中，可完成制品与浇口的几何造型，进行有限元网格的划分，同时也可与其他 CAD/CAM 系统接口，直接读入这些系统有关制品与浇口的形状或网格。

第二层次包括热塑性塑料流动快速（简易）分析软件 C-FLOW/EZ、流动详细分析软件 C-FLOW、冷却系统分析软件 C-COOL、保压分析软件 C-PACK、热固性材料注射成型软件 C-SET 以及气体辅助注射成型过程模拟软件 C-GASFLOW。第二层次的软件都是单独运行的，不相互耦合。该层的作用主要是用来提高注射成型的生产效率和操作的稳定性。

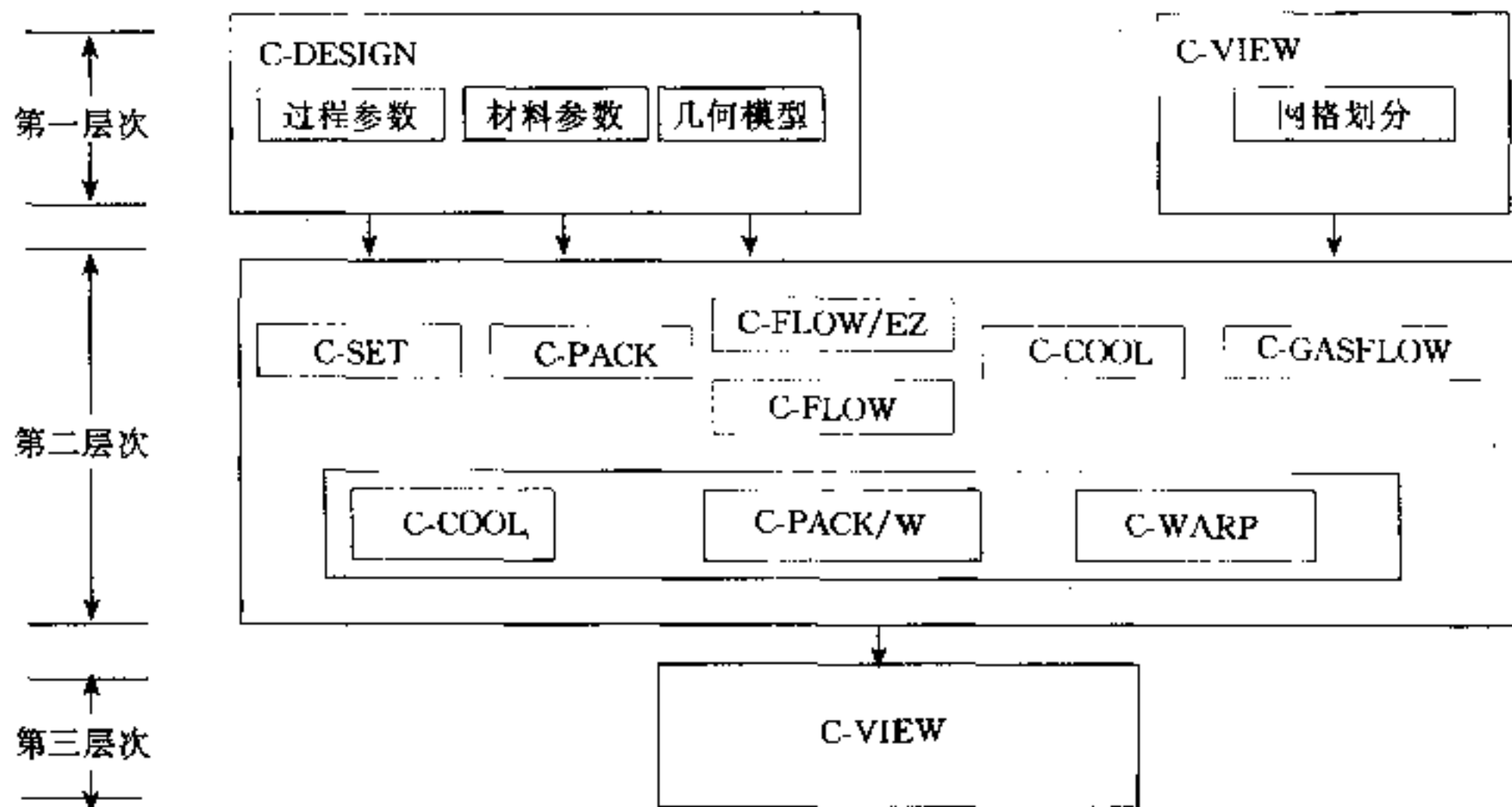


图 11.3-4 C-Mold 软件的结构

第二层次还包括 C-PACK/W、C-COOL 和 C-WARP 三个软件。C-PACK/W 将流动分析软件 C-FLOW 与保压分析软件 C-PACK 联系在一起，以便与冷却软件 C-COOL 进行耦合分析。这是因为在注射成型中，流动与冷却总是相互作用与影响的，只有考虑到它们的相互作用，才能获得比较准确的计算结果。该结果在制品翘曲变形分析软件 C-WARP 中用来预测制品脱模后变形的形状与大小。第三层的作用旨在提高注射成型制品的综合质量。

## 11.4 系统集成及其关键技术

### 11.4.1 CAD/CAM 系统集成

所谓系统集成，是指 CAD/CAM 系统中数据和信息的自动传递或转换。这种数据和信息的传递或转换既可能在系统与系统之间进行，又可能在系统的内部进行。

系统与系统之间数据的交换，一般是以模型交换的方式实现的。这是因为在 CAD 系统中，制品是以计算机内部模型的形式来描述的。一般，两个不同的 CAD 系统，其计算机内部模型是不一致的。也就是说，在某一个 CAD 系统中制品的定义数据并不能直接被另一个 CAD 系统所理解。为了在不同的系统之间共享它们的设计结果，互调对方的制品定义数据，需要一种交换产品定义数据的标准格式。目前，国际上沿用由美国国家标准学会 (ANSI) 提出的标准格式 IGES (Initial Graphics Exchange Specification—初始图形交换规范)。

由 IGES 作为两个 CAD 系统的接口时，可由一方先将自己特殊的数据格式翻译成为标准的 IGES 格式，另一方面再将该 IGES 格式的数据翻译为自己可理解的数据格式。这种翻译工作由 IGES 的前后处理器来完成。其交换过程如图 11.4-1 所示。

IGES 是由一系列的几何、绘图、结构和其他信息组成的。它可以处理 CAD/CAM 系统中大部分数据与信息，但是 IGES 直至今日仍不够完善，还不能解决 CAD/CAM 系统中所需要全部数据与信息的交换问题。但它自 1980 年问世以来（后来不断有新版

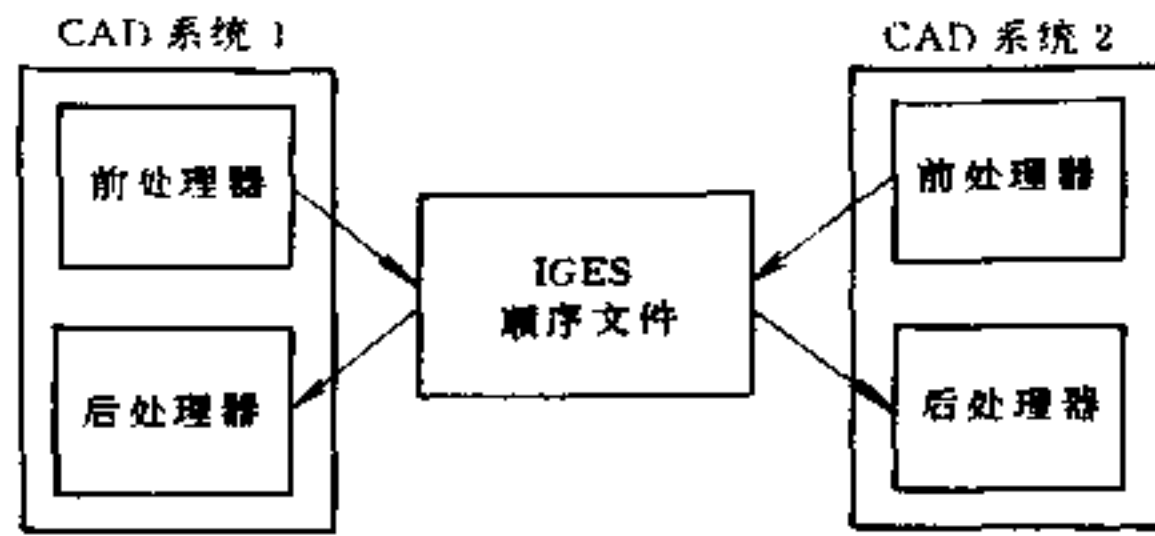


图 11.4-1 IGES 的交换过程

本推出), 一直是作为系统与系统之间数据与信息交换的主要手段。IGES 的广泛应用是朝着 CAD/CAM 集成化方向迈出的第一步。

系统与系统之间依靠类似 IGES 这样标准化接口数据进行数据与信息交换的方式被称之为分布式集成。

在系统内部进行数据与信息的交换也十分必要, 例如, 在 CAD/CAM 系统中常常需要依据 CAD 的设计结果去获得 CAM 所需的数据。长期以来, CAD 系统与 CAM 系统一般都是各自独立开发的, 分别用于解决各自的关键问题。例如, CAD 主要是着眼于自身的几何表示及处理; CAM 则致力于自身的输入语言及刀具加工轨迹的处理技术, 两者的数据结构与格式相差甚远, 将 CAD 设计结果通过人工转换为 CAM 所需数据的工作量太大, 需要采用集成化技术来解决 CAD 与 CAM 之间数据与信息的自动交换。

分布式集成的 CAD/CAM 系统的例子如图 11.4-2 所示。图中, CAD 系统是通过 EXAPT 数控编程系统的连结模块与 EXAPT 编程系统相连结的。这一连结是在标准化

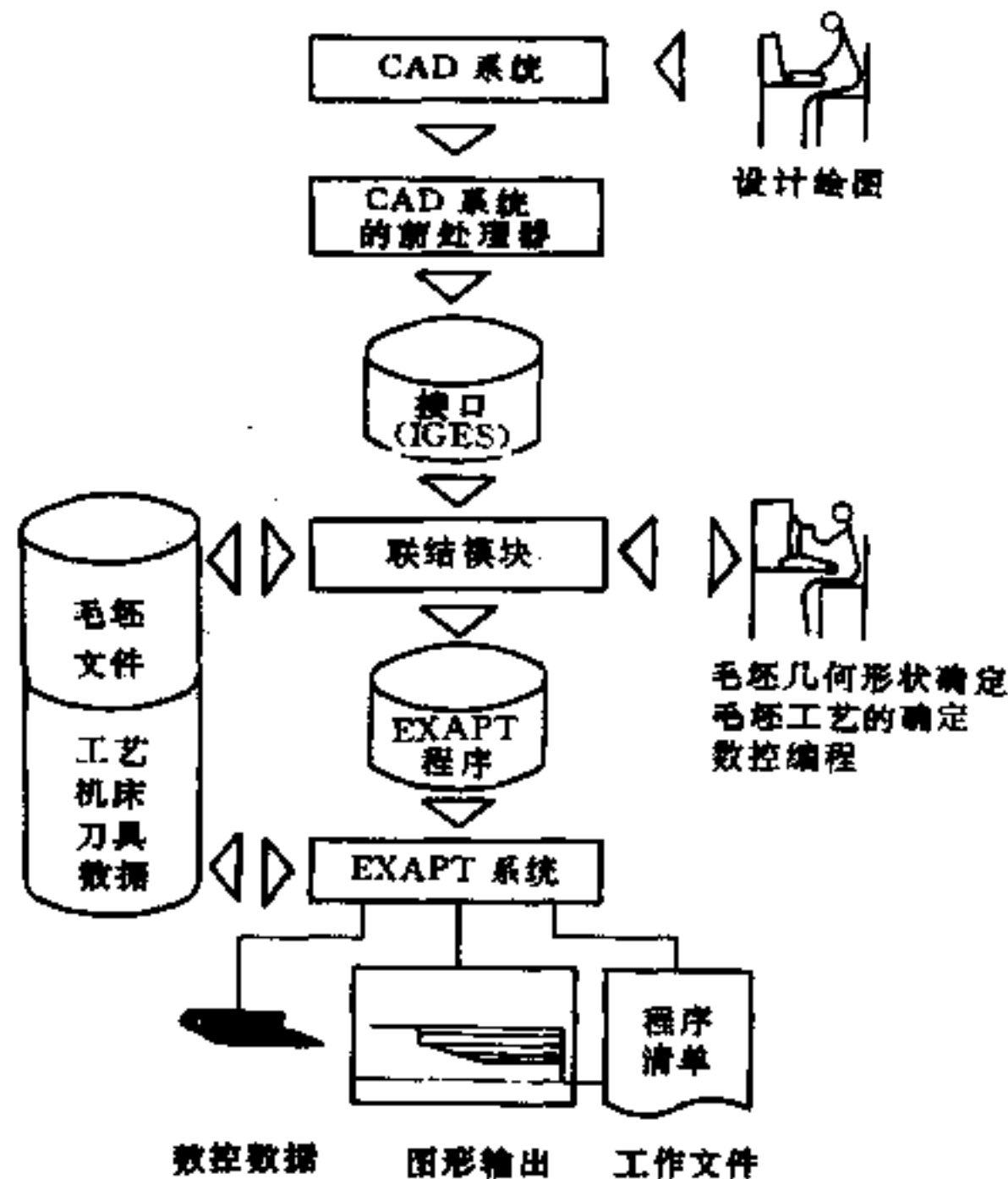


图 11.4-2 分布式集成的 CAD/CAM



接口 IGES 的基础上实现的,再通过连结模块生成 EXAPT 源程序。然后,再由 EXAPT 系统编译与处理,生成数据加工代码。

连结 CAD 系统与 CAM 系统的另一种方法为集中式集成。集中式集成基于存储在数据库中的共同的计算机内部模型(即共同的制品定义数据)。如图 11.4-3 所示,诸如数据编程这样的应用过程,通过编程模块(设计人员与 CAD 系统的人机交互功能)与方法库模块(存储在计算机中供调用的各种算法)与 CAD 系统进行集成,而不必利用 IGES 这样的外部接口。

图 11.4-4 示出在集中式集成的 CAD/CAM 系统中, CAD 系统支持数控编程系统的工作过程。

在该系统中,编程的第一步是准备数控编程所需要的产品设计结果。设计人员可从数据库中将制品的几何形状从计算机内部模型中调至屏幕上,由设计人员识别和点取制品中需数控加工的轮廓面。编程的第二步为加工过程的描述,包括材料选择、机床选定、夹具与刀具的调用以及加工路径的确定等。然后,数控编程系统通过计算,获得刀具运动轨迹,其结果以线图的形式显示在屏幕上,以使用户检查与修改。编程的第三步是由专用的后置处理程序直接对刀具轨迹文件进行处理,获得驱动指定机床的数控加工代码,也可先生成 APT 源程序,再由 APT 系统的编译器和后置处理程序获得加工代码。

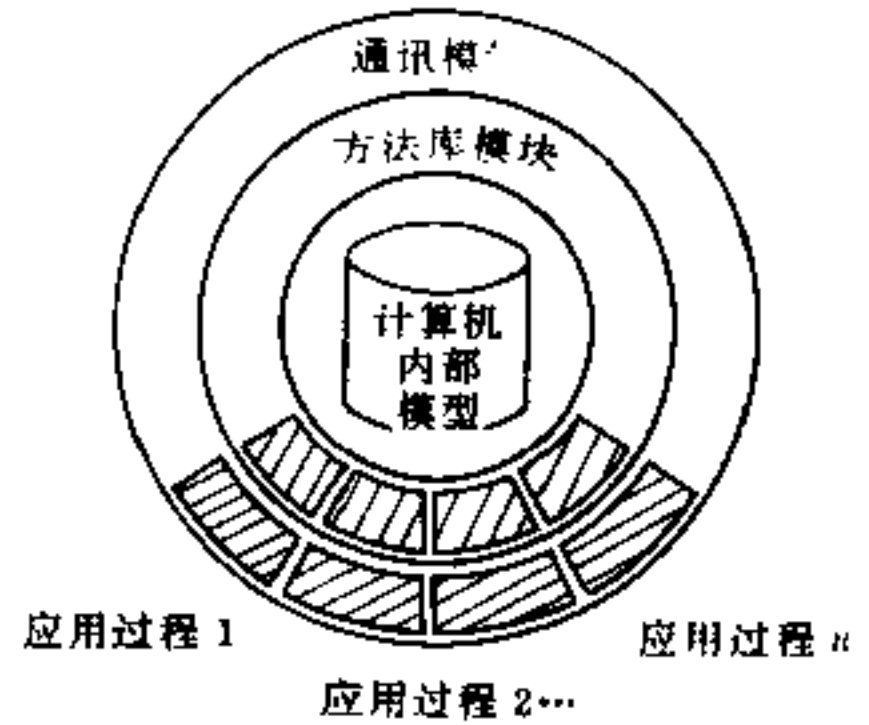


图 11.4-3 集中式集成方法

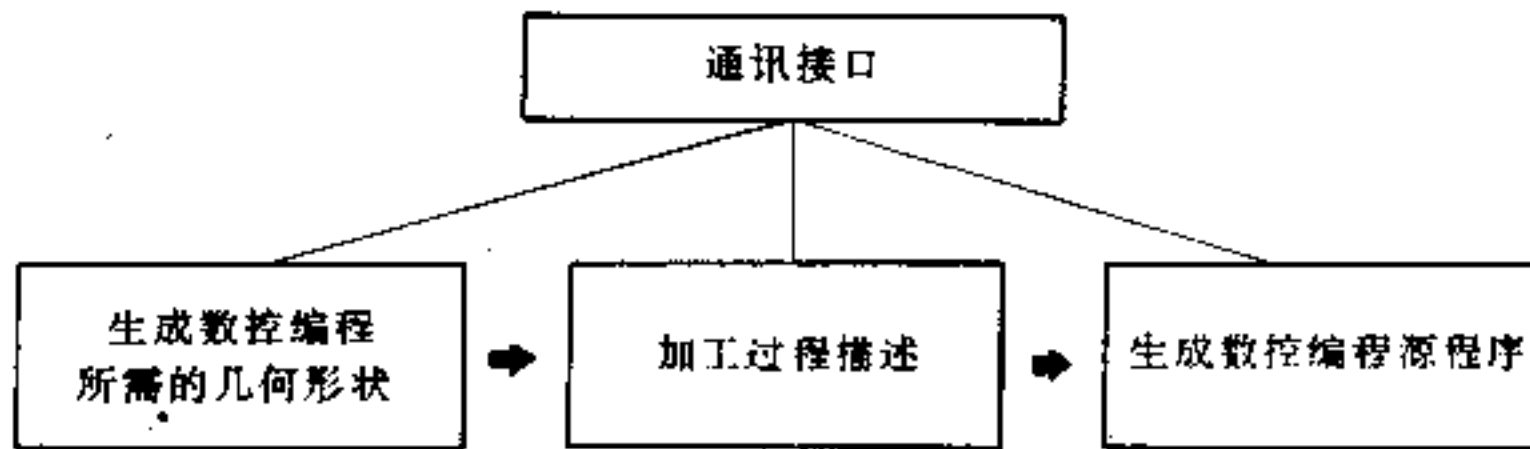


图 11.4-4 CAD 系统支持数控编程的工作过程

应当指出的是,传统的计算机内部模型主要着眼于对产品几何形状的描述。用这种面向整体的描述方法所生成的几何模型并不能被 CAM 系统自动地加以理解。整体描述式的计算机内部模型无法将产品的几何形状自动分解为各个单独的子几何体。因此,在这样的 CAD/CAM 集成化系统里,为了从 CAD 数据中获得刀具对各个子几何体的加工运动轨迹,人的介入是必须的。目前出现并引起人们重视的面向制造特征的造型技术,有望可以建立一种既能有效地开展 CAD 设计,又能为 CAM 系统所完全理解的计算机内部模型,以便能显著地提高 CAD/CAM 的集成化程度。另一方面,IGES 这个初始图形交换规范在 1980 年发表时,主要是为了在各个传统的 CAD 系统之间交换图形信息,也是面向制品几何形状整体描述的,并不能适应 CAD/CAM 数据的自动化交换。因而,近年来在 CAD/CAM 集成的全自动化接口上,人们开展了产品模型数据交换标准 STEP (Standard for the Exchange of Product model) 及产品数据交换规范 PDES (Product Data Exchange Specification) 的研究,以适应 CAD/CAM 系统自动化数据与信息交换的需求。

目前在工业界流行的一些商品化塑料注射模 CAD/CAE/CAM 系统中,系统与系统之间均依靠 IGES 接口进行数据交换,而在系统内部则多采用集中式集成方式,这些集成化系统以提示、菜单或命令的方式为用户提供了许多功能,以使用户以人机交互方式完成各类数据和信息的交换。

#### 11.4.2 CAD/CAM 技术关键

从系统集成的角度来分析现有的 CAD/CAM 技术,其不足之处主要表现在如下几个方面:

(1) 不支持完整的设计过程 一个完整的设计过程应包括产品功能设计、产品概念设计、产品详细设计等阶段,而目前的 CAD/CAM 系统主要用于产品的详细设计,对功能设计和概念设计基本上无能为力。

(2) 数据模型的信息不充分 目前的 CAD/CAM 系统只能记录有关制品或模具的形状与尺寸信息,而忽视了其他的许多重要信息,如材料、工艺特征、装配特征等。

(3) 数据的抽象层次低 目前的 CAD/CAM 系统只能支持低层次的点、线、面、体等几何细节信息和拓扑信息,而工程师在思维和交流中的信息往往是高层次的,如尺寸、形状特征、关联性等等。

(4) 数据模型的结构不统一 目前的 CAD/CAM 系统中,CAD、CAE、CAM 各个子系统内部所采用的数据结构模型往往不尽相同,致使各子系统的信息交换困难并缺乏效率。

(5) 产品信息的共享性差 目前的 CAD/CAM 系统中,产品信息不能被多个应用所共享,重复输入不可避免,无法支持并行工程的设计方法。所谓并行工程,就是要求设计人员在设计时能同时考虑到有关制造工艺方面的因素。在并行工程中,产品设计和工艺规划是同时执行的。

(6) 设计环境不够理想 这体现为建立和修改几何模型不方便,工作量繁重,不利于工程师进行创造性的设计工作。

因此,新一代的 CAD/CAM 系统需要在产品数据模型、设计过程和设计工具等方面高度集成,以弥补目前系统的缺陷。

产品数据模型的集成,是要求系统中的产品数据模型应能支持产品设计的全过程,能记录产品从功能设计到详细设计等各个阶段的全部信息,既包括几何形状信息,也包括大量的非几何信息;既支持精确的信息,也支持设计过程中不精确与不完整的产品信息。

设计过程的集成,是要求系统支持整个设计与制造过程。包括全过程的控制,不同设计阶段之间的模型转换等。

设计工具的集成,是指将系统提供的众多的单独设计功能和设计工具组合成为一个统一的设计环境,为用户提供良好的人机界面。

综上所述,用于系统集成的 CAD/CAM 技术关键主要应从以下几方面着手进行:

(1) 增强产品信息的表达能力 除了表达产品的几何信息外,还应表达非几何信息。在实际设计过程中,有些信息是面向设计的,有些是面向工艺、制造或装配的。因此,在理想的数据模型中应能包括产品设计与制造全过程,甚至于产品生命周期中所需

的全部信息，即数据模型应面向产品生命全过程。

(2) 提高信息的共享性 在集成化的 CAD/CAM 系统中，数据模型的信息应能被不同的设计与制造阶段所共享，以减少重复输入，避免信息的不一致性。

(3) 提高信息的抽象层次 在数据模型中，除了含有低层次的点、线、面、环、体等几何基本元素信息外，还应能表达较高层次的信息，信息应有层次性，以适应不同的应用要求。

(4) 维护信息的有效性 集成化的系统应能自动维护数据的完整性和有效性，当数据模型中信息的有效性无法自动维护时，应能提醒用户及时处理。

(5) 增强产品信息建模和修改的方便性 一方面，系统应改进现有的几何造型能力，对于塑料制品而言，复杂曲面的处理尤为重要。例如，复杂曲面多边域的光滑、局部的剪裁、与实体造型的兼容等，都有待于进一步完善。另一方面，应采用具有工程意义的建模工具来提高建模和修改的便利性，使那些对画法几何和机械制图不够熟悉的工程师们也能方便地使用。系统应能提供不同抽象层次的建模手段，以适应不同层次的产品信息。

(6) 扩大产品信息的覆盖范围 一个理想的产品数据模型，不仅应记录已设计完毕的产品信息，而且还应记录在功能设计、概念设计、草图设计等各个阶段尚未定形的产品信息，以便于设计全过程的控制。

## 11.5 CAD/CAM 技术发展趋势

今后，CAD/CAM 技术发展趋势主要表现在如下几个方面：

### 1. 集成化

上述 CAD/CAM 集成系统只是工厂自动化大系统中的一个子系统。工厂自动化大系统的集成是当今世界上正在研究的新课题——计算机集成制造 (CIM: Computer Integrated Manufacture) 技术。利用 CIM 技术建立的计算机集成制造系统 (CIMS)，能将工厂的产品设计、加工制造和经营管理等各项活动集成起来，其目的是在计算机辅助下，利用最小的制造和管理资源，最优地实现企业的发展目标，获得最大的总体效益。

计算机集成制造系统一般由技术信息系统 (TIS)、制造自动化系统 (MAS) 和管理信息系统 (MIS) 组成。CAD/CAM 系统为技术信息系统的主要部分。CIM 的核心技术是集成性，包括物理集成、信息集成和功能集成等各个方面。其中，信息集成是实现 CIM 的基础和关键。

共享的产品数据模型、统一的数据库和网络环境是实现信息集成的必要条件。国际标准化组织 (ISO) 制定的产品模型数据交换标准 STEP 为新一代 CAD/CAM 的信息集成提供了技术基础。

CIM 的产生反映了人们对制造有了更深刻的认识。从广义上讲，制造包括从形成产品概念、设计、开发、生产、销售及售后服务全过程等一系列活动。过去将制造仅看作是物料的转换过程，即由原材料加工、装配成产品的过程是不充分的。实际上，制造是一个复杂的信息流动和交换的过程，信息的集成十分关键。

80 年代后期，并行工程 (Concurrent Engineering) 的方法受到工业界的广泛重视。



并行工程是一种以集成、并行的方式设计产品及其相关过程的系统方法。这种方法使产品开发人员，从一开始就考虑产品从概念形成到报废处理的整个生命期中的所有因素，包括质量、成本、进度和用户需求等各个方面。并行工程赋予 CIMS 信息集成新的内容，是 CIMS 的一种有效的优化运行模式。可以预料，并行工程将对 CAD/CAM 技术的发展产生重大影响。

CIMS 被认为是 21 世纪制造工业的生产模式，工业发达国家把发展和应用 CIM 技术作为制造业的发展战略，投入了大量资金，用以推动 CIMS 的开发应用。我国也十分重视发展 CIM 技术，已把它列入我国高技术发展计划。

## 2. 微型化

CAD/CAM 系统趋向采用超级微型计算机。32 位超级微型计算机在单机功能上已达到小型机和中型机的水平，多 CPU 并行处理时的功能将达到大型机的水平。目前，以超级微机为基础的 CAD/CAM 系统不断增多，功能也不断扩大与完善。目前一般 CAD 工作站的运算速度不低于 2MIPS（每秒兆指令数）、内存不低于 4MB（兆字节）、分辨率不低于 1MPixel（兆像素）。其发展趋势为运算速度 100MIPS、内存 100MB、分辨率 100MPixel。

## 3. 网络化

微型计算机 CAD/CAM 发展的一条主要途径是网络化。由于微型机价格低廉，功能较强，可将多台微机连接成分布式 CAD/CAM 系统。在分布式系统中，客户（Client）/服务器（Server）的结构得到了普遍采用。在这种结构中，一台服务器可为多台微机提供服务。分布式 CAD/CAM 系统结构灵活，功能很强。每台工作站既可单独使用，也可联合使用。整个网络还可与大型机相连，以解决更为复杂的问题。

## 4. 智能化

目前 CAD/CAM 技术是以数字计算为基础。它能胜任繁杂的计算、分析与绘图，却难以解决符号推理这一类的难题。在塑料注射成型过程中，诸如模具方案的选择、成型工艺参数的确定等，都需要思维与推理，即需要采用人工智能技术，创造性地进行模具计算机辅助设计。近年来涌现出的一批注射成型专家系统和智能化程序标志着注射模 CAD/CAE/CAM 技术向注射成型智能化迈出了可喜的一步。

例如，美国 PSP 公司开发的 IMES 注射成型专家诊断系统，收集了能够处理 30 多种注射制品缺陷的规则 700 多条，用以诊断注射制品缺陷产生的原因。美国 Hunkar 实验室开发的注射成型诊断与教学系统，采用了模糊逻辑和神经元网络原理，集 50 家模具厂 20 年工作经验之大成，建立了成型缺陷诊断知识库，能诊断常见的注射成型缺陷。美国 GE 公司塑料工程部也推出了类似的系统，能处理 8 种常用塑料共计 900 个品种的注射成型故障。在使用时，系统首先要求用户提出成型故障，然后系统以一系列的问答来引导用户找到成型故障的症结所在。近年来，加拿大 ICAM 公司、加拿大国家研究委员会正与德国 IKV 研究所一道，联合开发 CAM/MOLD 系统。该系统包括控制模块（诊断成型故障）、注射模块（成型机优化工艺参数设定）、专家系统模块（优化冷却参数、预测模具变形、优化选择注射材料）。澳大利亚 Moldflow 公司正与美国 HP 公司一道，联合开发一套用于联机分析处理成型过程的控制系统。该系统完成后，能将实际注射结果与计算机模拟结果进行实时比较，然后利用专家系统自动调整成型过程参数，以

实现注射成型机的优化控制。美国 ICAD 公司也正在将知识工程引入模具 CAD/CAM 系统中，以便系统能够“把握设计者的意图”。这一类专家系统的关键技术，如注射成型材料及工艺数据库、高灵敏度传感器、特殊的数据采集系统以及由大规模集成电路组成的微处理器等都已完成。可以预计，注射成型优化及自动控制的专家系统会在近年内问世，但能够思维和创造的注射模人工智能系统的出现还需要较长的时间。

### 5. 最优化

产品设计与工艺过程设计的最优化始终是人们追求的目标，采用传统的方法设计与制造模具，可靠性较差。目前，大多数模具 CAD/CAM 系统中使用的设计方法与手工设计时的方法基本相同，系统以交互方式运行。遇到复杂问题时，系统依赖设计人员加以选择和判断。因此，模具仍然取决于人的经验，难以保证一次试模成功。

开发塑料成型过程的计算机模拟及优化设计程序是解决模具可靠性问题的重要途径。例如，在注射成型中可以采用流动分析软件来考察塑料熔体在模具型腔内的流动过程，以此改进浇注系统设计，提高试模的一次成功率。可以采用保压和冷却分析软件来考察塑料熔体的凝固过程和模温变化，以此改进模具的冷却系统，调整成型工艺参数，提高塑料制品质量和生产效率。还可以采用应力分析软件来预测塑料制品出模后的翘曲变形。这些软件虽然在实际应用中取得了很大的成功，但并非尽善尽美，仍需不断地改进与发展。

### 6. 新型化

用于 CAD/CAM 的新型外部设备不断地推陈出新。作为计算机外部存储器的磁盘，将会被存储密度为几百倍甚至几千倍的光盘所取代。其他外部设备，如光栅扫描显示器，图形输入装置、声音识别装置、视觉追踪装置等都在迅速更新和发展。

## 参 考 文 献

- 1 李志刚主编，模具 CAD/CAM，北京：机械工业出版社，1994
- 2 任仲贵等，CAD/CAM 原理，北京：清华大学出版社，1991
- 3 李德庆等，计算机辅助制造，北京：机械工业出版社，1992
- 4 章一鸣主编，计算机辅助机械设计，北京：北京理工大学出版社，1990
- 5 Clive Maier，模具设计用的软体，亚洲塑胶工业通讯，1994 (11/12)
- 6 林宗楷，CAD 的进展概况，现代计算机技术博览 第 1 集，北京：电子工业出版社，1991

## 第十二章 注射模结构 CAD

### 12.1 CAD 的内容及特点

#### 12.1.1 注射模结构 CAD 的内容

(1) 注射制品的几何造型 采用几何造型系统如线框造型、面造型和实体造型, 在计算机中生成注射制品的几何模型, 这是注射模结构的 CAD 的第一步。由于注射制品大多是薄壁件且又具有复杂的表面, 因此常用表面造型方法来产生制品的几何模型。

(2) 模腔面形状的生成 在注射模具中, 型腔用以生成制品外表面, 型芯用以生成制品的内表面。由于塑料的成型收缩率, 模具磨损及加工精度的影响, 制品的内外表面尺寸并不就是模具的型芯面、型腔面的尺寸, 两者之间需要经过比较繁琐的换算, 由于目前流行的商品化注射模 CAD 软件并未能较好地解决这种换算, 因此制品的形状和模腔的形状要分别地输入, 工作量大且十分繁琐, 如何由制品形状方便、准确、快捷地生成型腔和型芯表面形状仍是当前的研究课题。

(3) 模具结构方案设计 采用计算机软件来计算最佳型腔数目, 引导模具设计者布置型腔, 构思浇注系统、冷却系统和推出机构, 为选择标准模架和设计动模部装图和定模部装图作准备。

(4) 标准模架选择 采用计算机软件来设计模具的前提是尽可能多地实现模具标准化, 包括模架标准化、模具零件标准化、结构标准化及工艺参数标准化等。一般而言, 用作标准模架选择的设计软件应具有两个功能, 一是能引导模具设计者输入本企业的标准模架, 以建立专用的标准模架库; 二是能方便地从已建好的专用标准模架库中, 选出在本次设计中所需的模架类型及全部模具标准件的图形和数据。

(5) 部装图及总装图的生成 根据所选定的标准模架及已完成的型腔布置, 模具设计软件以交互方式引导模具设计者生成模具部装图和总装图, 模具设计者在完成总装图时, 能利用光标在屏幕上拖动模具零件以搭积木的方式装配模具总图。

(6) 模具零件图的生成 模具设计软件能引导用户根据模具部装图、总装图以及相应的图形库完成模具零件的设计、绘图和标注尺寸。

(7) 常规计算和校核 模具设计软件可将理论计算和行之有效的设计经验相结合, 为模具设计师提供对模具零件全面的计算和校核, 以验证模具结构等有关参数的正确性。

#### 12.1.2 注射模结构 CAD 的特点

(1) 注射模结构 CAD 系统必须具备描述物体几何形状的能力 由于注射模的工作部分(型腔和型芯)是根据产品零件的形状设计的, 所以无论设计什么样结构的注射

模,开始阶段必须提供产品零件的几何形状,这就要求注射模 CAD 系统具备描述物体几何形状的能力,即几何构型的功能,根据产品的几何形状构造出注射模的工作部分模腔图形。否则,设计程序就无法正常运行。

(2) 标准化是实现注射模结构 CAD 系统的有效手段 注射模结构设计一般不具有唯一性。即使对于同一产品零件,不同设计人员设计的模具不尽相同。为了便于实现注射模具结构 CAD 系统,在建立注射模结构 CAD 系统时,首先要解决的问题便是标准化问题,包括设计准则的标准化,模具零件和模具结构的标准化。有了标准化的模具结构,在设计注射模具时可以选用典型的模具结构,标准模架,调用标准模具零件,需要设计的只是少数与工作有关的零件,模具设计人员就有更多的精力从事诸如方案构思和结构优化等创造性工作。

(3) 设计数据的处理是注射模 CAD 中的一个重要问题 人工设计注射模所采用的设计数据大部分是以数据表格和线图形式给出,采用计算机辅助设计注射模,必须对这些数据表格和线图进行恰当的处理,将其变为计算机能够处理的表达形式。程序化和公式化是处理数据表格和线图形式设计数据的基本方法,对于那些难以程序化和公式化的经验数据,就只能通过人工交互的方式予以解决。

(4) 注射模结构 CAD 系统应具有广泛适应性 注射模的结构随产品的不同而变化,同时模具的设计方式也因人而异,特别是目前设计标准在我国还未真正统一,各个行业乃至每个厂所采用的模架标准、结构标准、零件标准均不一致,模具的生产方式为单件的或小批量生产模具的情况极为少见,产品更新换代快,相应模具的设计速度也应跟上,所有这些,都要求注射模结构 CAD 系统必须具有广泛的适应性,这是开发出真正商品化、实用化的注射模结构 CAD 系统所必备的基本条件。

## 12.2 注射模结构 CAD 中的数据处理

注射模结构 CAD 的重点在于注射制品的造型、模具设计、绘图和数控加工,注射模 CAD 的过程就是数据的处理过程。通常,由于注射模结构 CAD 涉及面广,程序规模很大,结构相当复杂,一个高效率注射模结构 CAD 系统不仅涉及到程序的结构和算法,同时也涉及数据结构和管理方法。在应用程序的执行过程中,经常需要利用一些标准数据和其他程序的设计结果,系统各部分是通过交换数据相互联系的。因此,数据的处理在注射模结构 CAD 中的作用十分重要。

### 12.2.1 注射模结构 CAD 中数据类型

注射模结构 CAD 系统中,数据类型十分广泛,除了数字型、字符型数据之外,图形/模型及其文本数据项也是注射模 CAD 系统的数据。图形/模型数据又是由基本图形元素、图形符号、模型部分及各级图形/模型数据所组成。因此,注射模结构 CAD 系统中的数据类型可以表示成图 12.2-1 形式。



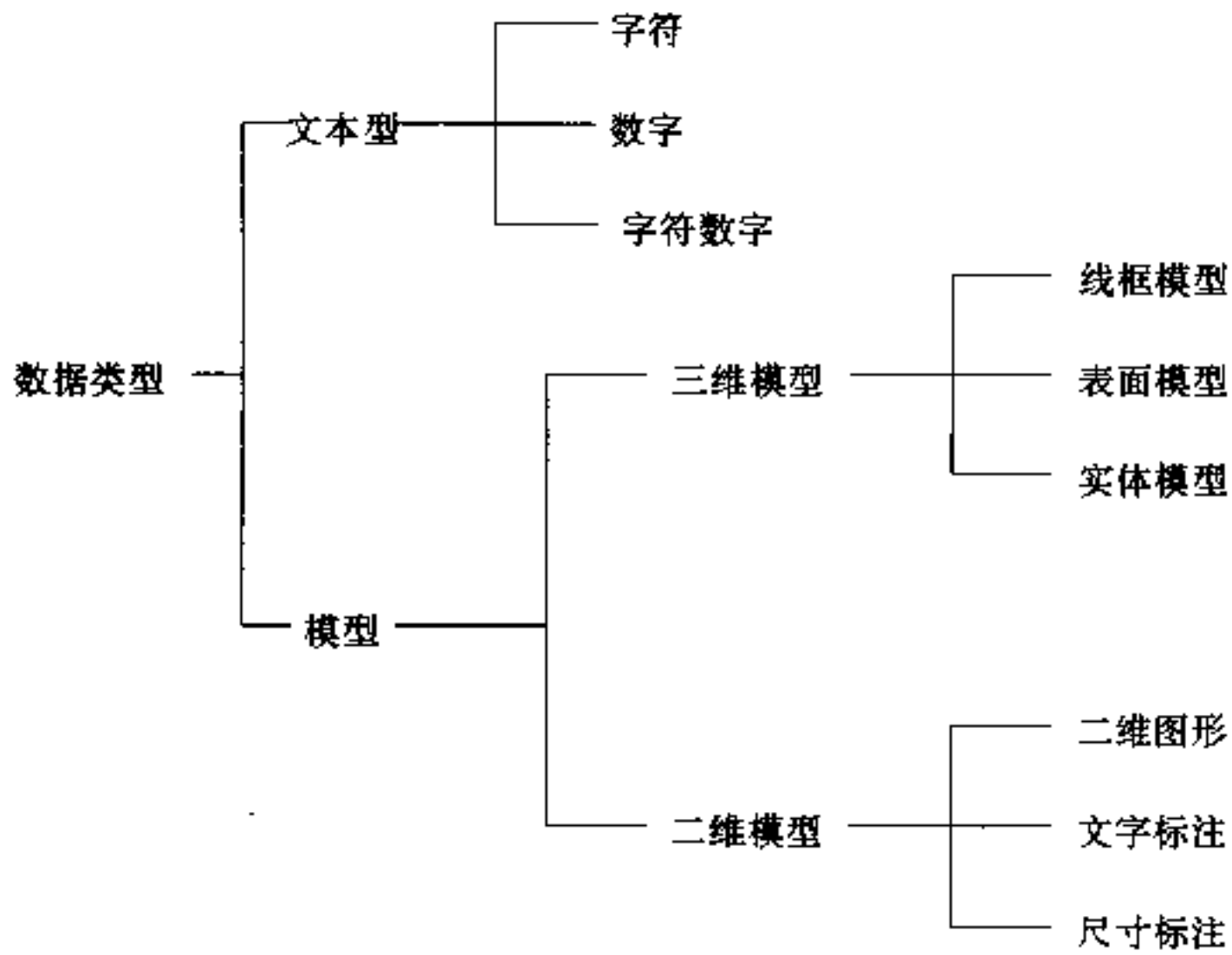


图 12.2-1 注射模结构 CAD 系统的数据分类

注射模结构 CAD 系统中的数据可分为组合数据和基本数据，可以将组合数据逐层分解直至基本数据为止。例如，图 12.2-2 就是注射模结构设计中一种静态数据分解模式。根据这种分解模式，可以对这三类数据分别进行处理。

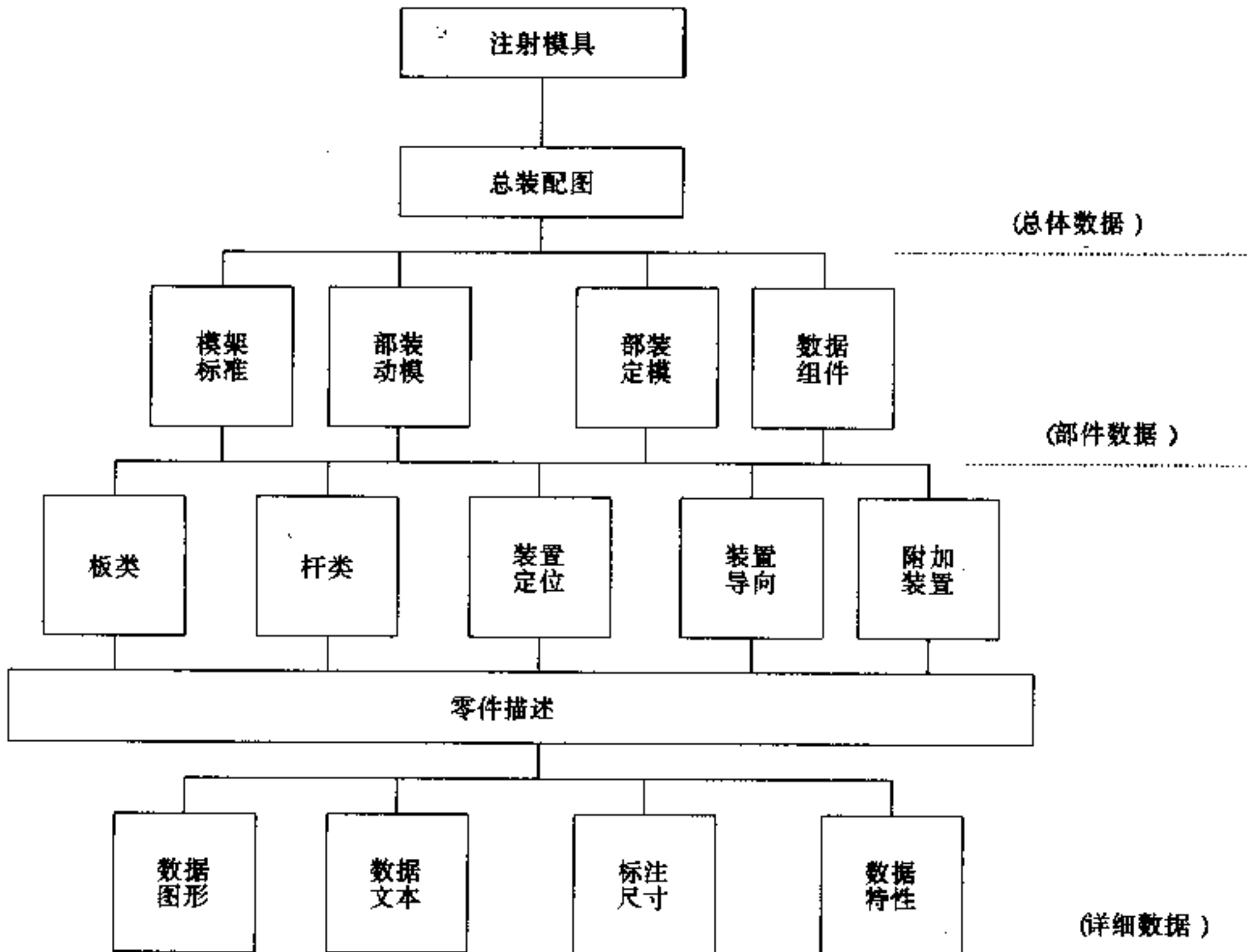


图 12.2-2 注射模结构设计中的静态数据分解模式

(1) 总体数据 它是一种模型数据, 可表达为如下格式:

文件名: 总装图名;

组成: 各部件数据名 + 定位关系数据;

组织: 依次记录各部件名, 定位数据。

(2) 部件数据 它可定义为一种图形/模型数据, 如标准模架可表达为如下格式:

文件名: 部件名;

组成: 基准件名 + 各组成零件名 + 定位关系 + 尺寸关系 + 零件图形关联性;

组织: 依次记录各零件名、定位关系、主特征尺寸。

(3) 零件数据 它可定义为一种图形文本数据, 为注射模 CAD 系统的基本数据单元, 该数据类型可表达为如下格式:

文件名: 零件名;

组成: 图形拓扑信息 + 尺寸信息 + 文本信息;

组织: 依次按图形记录图形节点信息、尺寸标注及文本信息。

### 12.2.2 数据流图

注射模结构设计的重复性很大, 模具 CAD 的任务之一是将模具设计人员从繁重的重复劳动中解放出来, 因此, 需要将模具的设计标准、工艺参数、注射机有关数据存入数据库或图形库。注射模结构 CAD 数据流的特点是所有的数据查询、计算、图形显示和绘制全由计算机完成, 与模具设计技巧和经验有关的判断与决策则以人机交互方式由模具设计人员完成, 充分发挥计算机与模具设计人员各自的优势。

图 12.2-3 为注射模结构 CAD 系统顶层数据流图。

从图中可看出, 该系统能将几何造型时生成的制品表面信息转换成模具设计所需的型腔面和型芯面, 根据型腔面和型芯面信息, 程序引导模具设计人员进行模腔布置方案设计, 包括定出模腔的数目, 浇注系统的走向、型腔位置的确定、冷却管道的安排等, 以便决定动模板和定模板的长度和宽度。由于这类方案设计在很大程度上取决于模具设计人员经验, 因此, 常常以人机交互的方式来完成。方案设计所得到的模板尺寸既可用于选择标准化模架, 又可用于其他机构的详细设计。

图 12.2-4 为浇注系统设计的数据流图 (第二层), 它是图 12.2-3 中 A 的分解, 是根据方案设计、模架选择结果以及用户预先建立的浇注系统图形, 完成对主流道、分流道、浇口及其安装的设计, 同理可对图 12.2-3 中 B、C、D、E、F 及图 12.2-4 中 (A.1)、(A.2)、(A.3)、(A.4) 的数据流进一步细化, 直至完成整个注射模结构设计的数据处理过程。

注射模结构设计 CAD 的输出包括如下 3 个部分:

(1) 包括注射模部装图和总装图在内的全套模具图样和明细表;

(2) 提供注射模分析软件用的数据, 如模腔曲面和浇注系统尺寸等;

(3) 供数控加工用的模腔曲面尺寸。

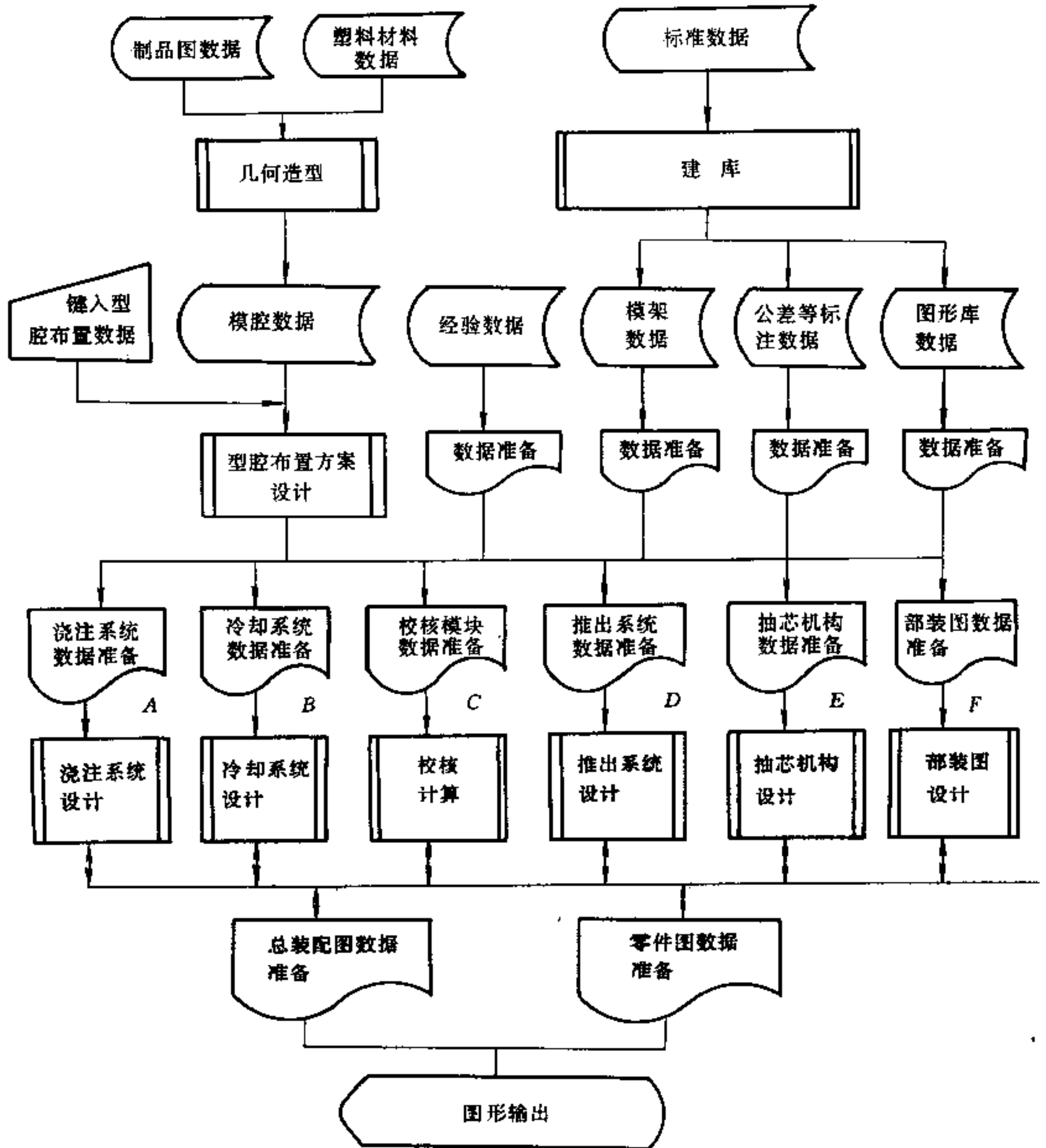


图 12.2-3 注射模结构设计顶层数据流图

### 12.2.3 数据库管理技术

#### 一、文件管理

通常一个较为完善的注射模结构 CAD 系统需要由数百个甚至更多个子程序组成。这样庞大的系统在程序处理上通常采用模块化结构，即将系统分解为具有不同功能、结构上相对独立的若干模块。例如：注射模结构 CAD 系统可分为图形输入、型芯和型腔

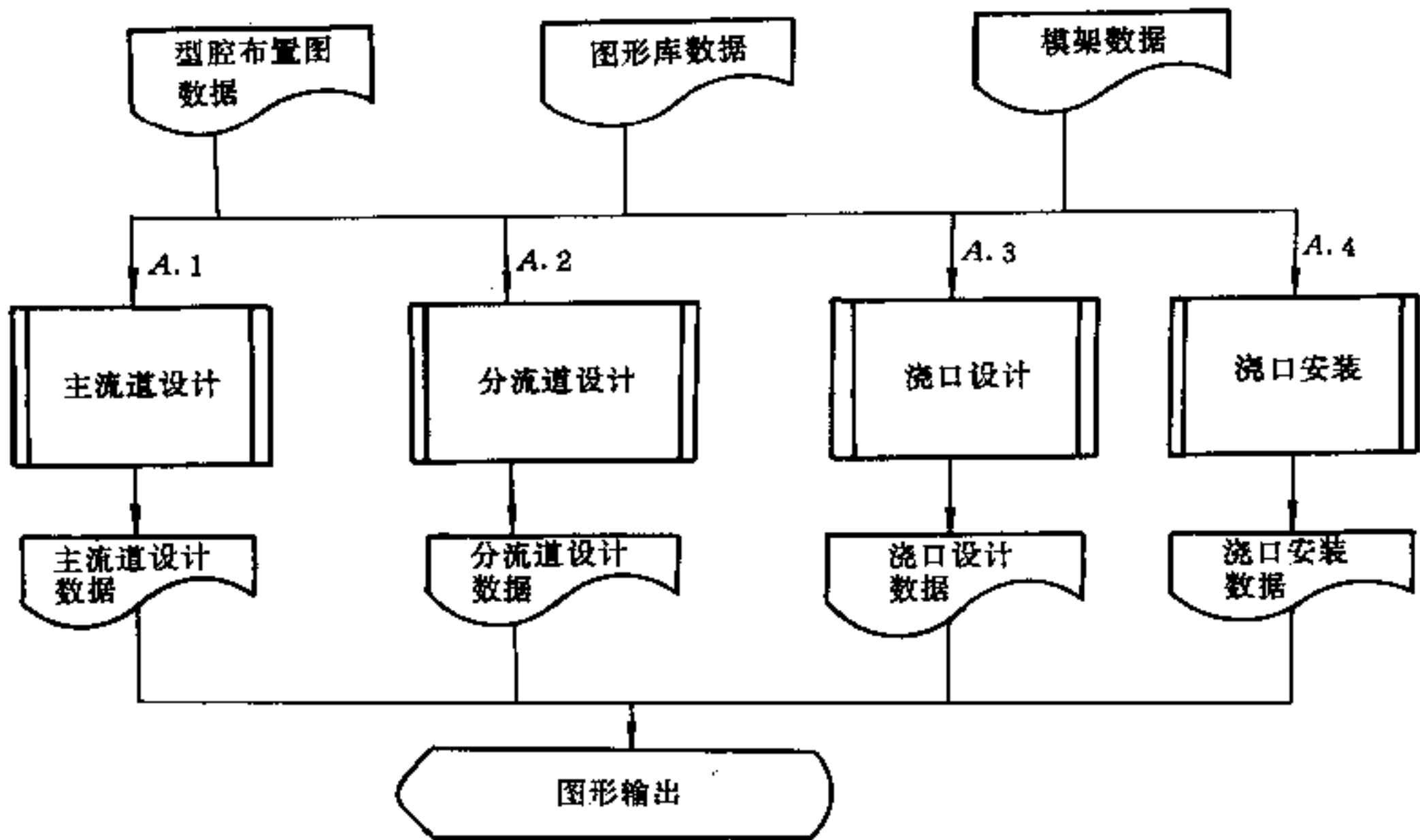


图 12.2-4 注射模结构设计第二层数据流图

图形生成、方案设计、浇注系统设计、顶出机构设计等模块，每个模块完成其特定的功能。

这种模块化的结构在运行时需要输入必要的的数据，这些数据有的是标准数据，有的是其模块的运行结果，系统中各个模块之间的联系是通过模块间的数据进行传递的。因此，各个模块都有将运行结果传递给其他模块，或输出给用户任务。

图 12.2-5 为利用文件系统实现数据管理与传递的模具 CAD 系统示意图，系统由  $M$  个模块组成，文件系统管理  $n$  个数据文件，如图 12.2-5 左边部分所示  $(f_1, \dots, f_n)$ ， $p$  个保存着标准数据的数据文件，如图右边部分所示  $(f'_1, \dots, f'_p)$ 。

这种文件系统管理数据的方法简单易行，可直接利用操作系统的文件管理功能，不需要额外的软件投资，也不会因为安装和运行数据管理软件使用过多的内存。

但是，这种方法在注射模结构 CAD 应用中存在着某些局限性，具体体现在如下几个方面：

(1) 数据与数据之间的关系难以建立，这主要体现在由于数据与应用程序的相互依赖性很强，对关系数据的处理必须编制特定的程序，加大了编程量。

(2) 一旦数据的结构需要修改，应用程序必须相应地进行修改，反之，应用程序的改变也将影响到数据结构的变化，数据缺乏对应用程序的独立性。

(3) 由于文件管理系统功能的有限性，因而必须在应用程序模块中编制相应的管理程序，这种小范围的数据处理方法，往往与整个 CAD 系统的目标是相冲突的，结果造成整个系统对数据的处理方法的不一致，导致数据的维护、共享等诸多方面的困难。

## 二、数据库与数据库管理

和文件系统相比，数据库系统具有如下明显的优点：

(1) 数据与数据之间有关联性，符合设计型 CAD 系统的特点；

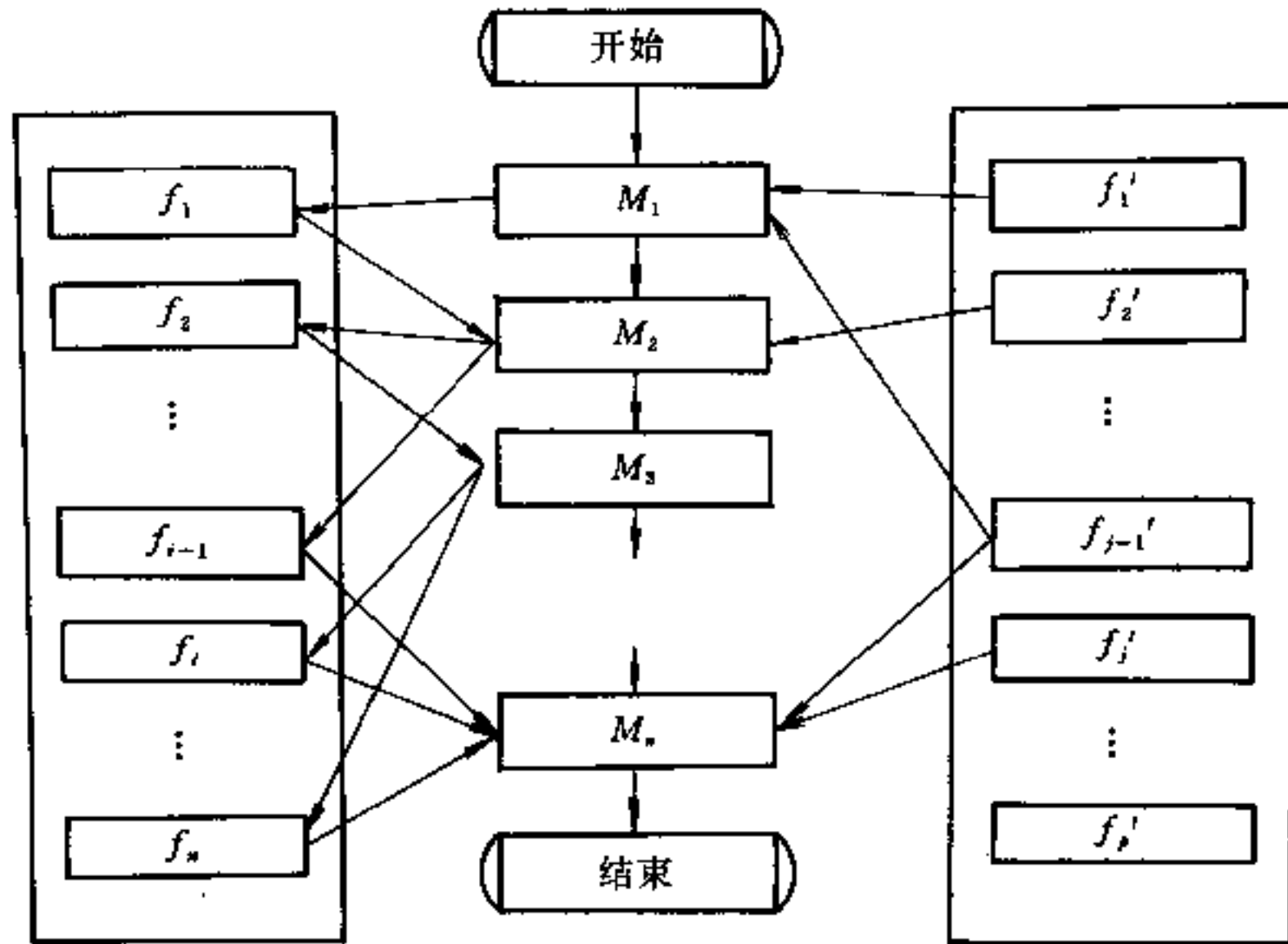


图 12.2-5 利用文件系统实现数据管理和传递

(2) 数据完全独立于应用程序，数据结构的改变不会影响应用程序，应用程序也不会影响数据结构；

(3) 数据库系统从整体观点对数据进行统一管理；

(4) 可以实现数据的共享，大大减少了数据的冗余。

数据库系统包括数据库和数据库管理系统两部分，数据库是所有存储的关联数据的集合。数据库管理系统是管理数据库的软件，它提供了对数据的定义、建立、查询和修改等功能，对数据的安全性、完整性和保密性进行统一控制。数据库管理系统起着应用程序与数据库之间的接口作用。用户通过数据库管理系统对数据库中的数据进行处理，而不必了解数据库的物理结构。

数据库中信息是按一定的数据模型存储的。数据模型是对客观事物及其联系的数据描述。在数据库中，一般数据模型包括两部分，即数据实体和数据结构，数据结构即数据之间的关系。因数据结构的不同，数据库可分为关系型数据库、层次型数据库和网络型数据库。

关系型数据库采用的数据模型为关系模型。关系模型是若干“关联框架”组成的集合。一个关系框架可看作由许多关系数据组成，一个关系可以由行和列组成，行称为记录，列称为字段和域。关系数据库的信息组织与设计手册中常用的二维数极为相似，但描述图形数据的能力差。

层次型数据采用的数据模型为层次模型。层次模型是以记录类型为结点的树状结构。这种层次结构中，除根结点外，任何结点都只有一个父结点。父结点和子结点是一对多关系，可以描述模具与部件、零件之间层次关系，但无法实现同层间的相互调用和底层对高层的调用。

网络型数据库采用的数据模型为网络模型。网络模型是以记录类型为结点的网络结构。网络与树状结构不同，一个子结点可以有多个父结点，在两个结点之间可以有多种

联系。可以较好地描述图形数据结构，但使用复杂，程序员要了解其结构，才能写出效率较高的程序。

### 三、数据库在注射模结构 CAD 中的应用

注射模结构 CAD 的目标，不仅是实现某些设计过程的自动化，而且还要实现设计和分析、制造之间的信息传递和共享，实现信息集成。数据库技术的发展为注射模 CAD/CAE/CAM 的集成创造了有利条件。

可用于注射模 CAD 的数据库管理有许多种，dBASE III 是一种可在微机上运行的关系型数据库管理系统。它是美国 ASHTOMTATE 公司在原有的 dBASE II 基础上发展起来的，该系统已汉化，其运行环境是 IBMPC/XT、AT、386/486 微机，操作系统为 MSDOS 或 PC DOS 2.0 以上版本，内存不小于 256KB。

#### 1. dBASE III 主要性能

如表 12.2-1 所列。

表 12.2-1 dBASE III 主要性能

参 数	性 能	参 数	性 能
每个文件的记录数	10 <sup>9</sup>	内存变量个数	256
每个记录的字段数	128	数值精度	15 位数
每个记录的字符数	4000	可同时打开的数据库文件数	10
每字段的字符串长	254	可同时打开的各类文件数	15

#### 2. dBASE III 数据库文件类型（以文件扩展名来区分）

·DBF 为数据库主文件，由结构和若干记录组成；

·DBT 为备注文件，是·DBF 的辅助文件，在·DBF 中占 10 个字节，与·DBF 文件一起建立和使用；

·NDX 为索引文件，由关键字表达式组成，它是根据关键字表达式，在逻辑上进行了排序的文件；

·MEM 是内存变量文件，由 SAVETO 〈文件名〉组成，保存在磁盘上，需要时可再从磁盘上用 RESTORE FROM 〈文件名〉调入

·FMT 是格式文件，用 dFORMAT·EXE 来生成

·FRM 是报告文件，用 MODIFY/CREATE REPORT 来建立，由菜单启动，人机对话方式回答提示信息，一步一步建立，能生成报表、求小计、总计等。

·LBL 是标签文件。由 CREATE LABEL 〈文件名〉来建立。

·TXT 是正文件，用 COPY TO 〈文件名〉或者 SET ALTERNATE TO 〈文件名〉来建立。

#### 3. 内存变量

内存变量是数据库结构外边独立存储的数据项。内存变量的内容可直接用于计算，亦可用来控制程序分支的选择。内存变量在许多方面和数据库字段相似，并且可以和数据库字段交替使用，它有 5 种类型。

(1) 字符型 (C)，英文字母、阿拉伯数字，各种符号及汉字均属于字符型数据；

(2) 数字型 (N)，是一个可以进行运算的数据表示；



(3) 日期型 (D), 用以存放表示日期的数据;

(4) 逻辑型 (L), 用于逻辑判断;

(5) 记忆型 (M), M 型字段中存放仅是一个指针, 它指向一个扩展名, 为 .DBF 的磁盘文件, 在这个文件中, 每个记忆型字段的数据值均对应于一段文字。

#### 4. dBASE III 数据库文件建立方法

假如我们要建立如图 12.2-6 所示的注射模标准零件台阶顶杆的数据库文件, 可采用如下步骤进行。

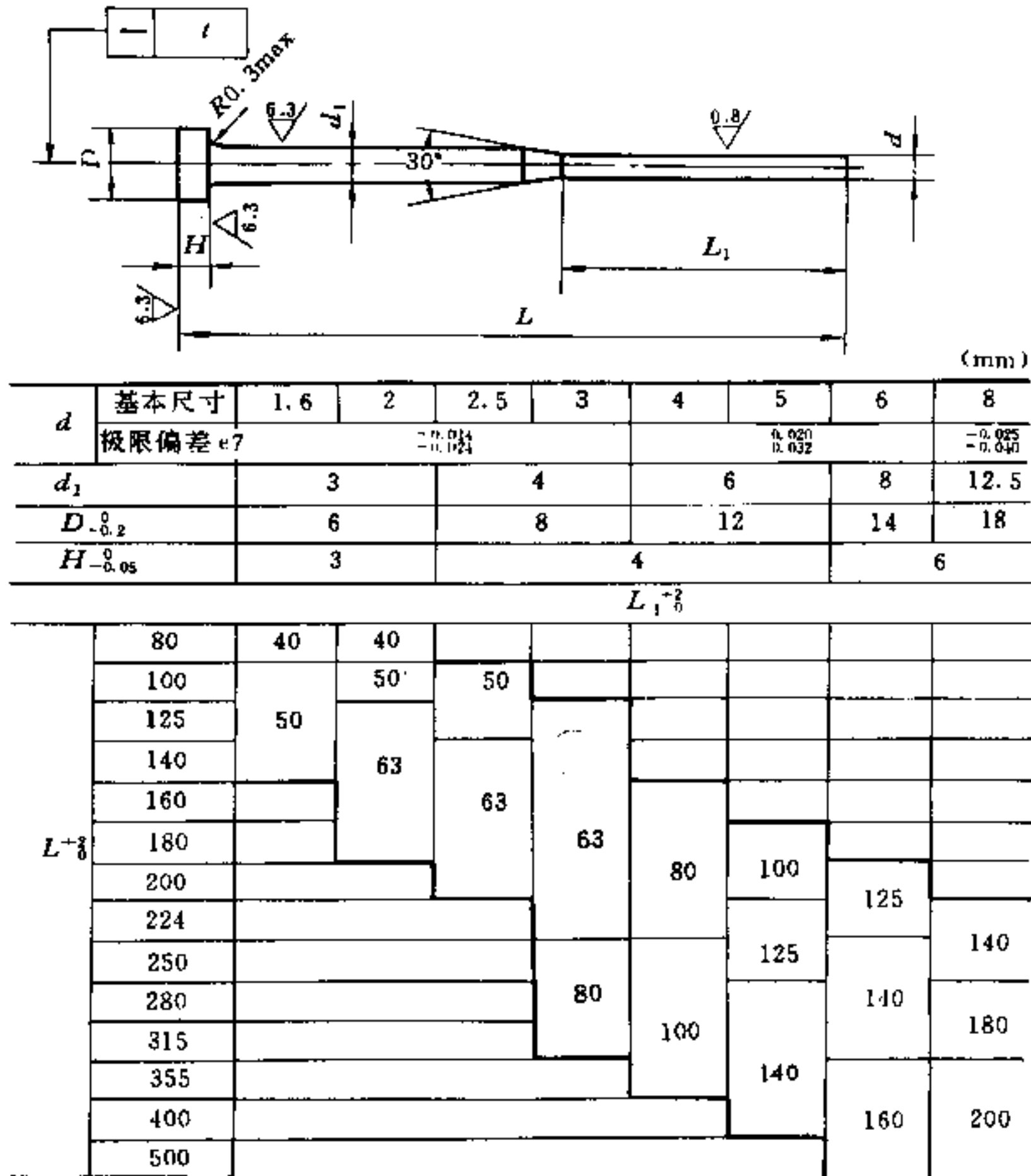


图 12.2-6 注射模标准零件台阶顶杆

首先, 在 DOS 操作系统状态下键入 dBASE 命令, 当 dBASE III 的提示符圆点出现后, 使用 CREATE 命令输入一个文件名, 该文件名为用户新创建的数据库文件的名称, 继之要求输入文件的结构描述, 这时可逐项输入字段名、类型、字段宽度和小数位, 例如可以用 D 为名的字段表示顶杆直径, 其类型为数字型, 字段宽为 4, 其基本尺寸为分数, 所以必须规定小数位, 定为 1, 如果基本尺寸为整数, 则不必规定小数位, 其它项目的规定方法类似。最后, 键入 CTRL-END, 并按回车键, 便完成数据库文件的结构描述。系统接着询问用户是否输入对应于结构描述的有关数据, 回答 Y, 可输入有关数据, 直至形成完整的数据文件, 数据库文件建立之后, 还可用有关的修改命令对其结构



或数据进行修改，因此便于系统的更新和扩充。

下面给出的是图 12.2-6 所示的台阶顶杆的数据库结构及部分数据

STRUCTURE FOR FILE: SJ2530.12-84

NUMBER OF RECORDS: 00070

DATE OF LAST UPDATE: 01/10/95

PRIMARY USE DATABASE

FLD	NAME	TYPE	WIDTH	DEC					
001	D	N	4	1					
002	DS	N	7	3					
003	DX	N	7	3					
004	D1	N	2	1					
005	DD	N	2						
006	H	N	2						
007	L1	N	3						
008	L	N	3						
* *TOTAL* *		00031							
00001	1.6	-0.014	-0.024	3	6	3	40	80	
00002	1.6	-0.014	-0.024	3	6	3	50	100	
00003	1.6	-0.014	-0.024	3	6	3	50	125	
00004	2.0	-0.014	-0.024	3	6	3	50	140	
00005	2.0	-0.014	-0.024	3	6	3	40	80	
00006	2.0	-0.014	-0.024	3	6	3	50	100	
00007	2.0	-0.014	-0.024	3	6	3	63	125	
00008	2.0	-0.014	-0.024	3	6	3	63	140	
00009	2.0	-0.014	-0.024	3	6	3	63	160	
00010	2.0	-0.014	-0.024	3	6	3	63	180	

### 5. 数据库中数据读取

在注射模 CAD 系统中，需要经常查找数据，例如，设计计算时要查找结构参数，自动绘图时需调用一些标准数据等。因此，需要以程序方式，即自动方式从数据库中读取所需数据，尽量减少人工干预。通常从数据库中读取数据有两种基本方法，第一种是编辑软件读取数据库中的·TXT 文件，由于·TXT 文件必须通过 COPY 命令对·DBF 库文件进行转换，因此这种读取数据的方式是间接的，如图 12.2-7 所示。

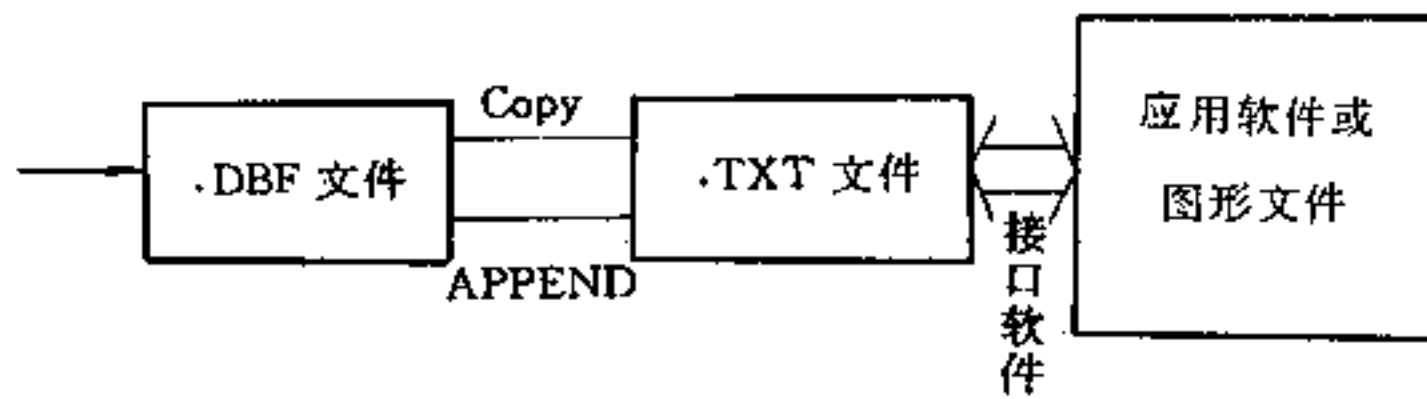


图 12.2-7 间接读取数据

第二种方法称之为直接从应用软件或图形软件中读取 DBASE 的 .DBF 文件，省去了第一种方法采用的中间转换环节，如图 12.2-8 所示，这样既可提高数据的检索效率，又可节约宝贵的内存空间。

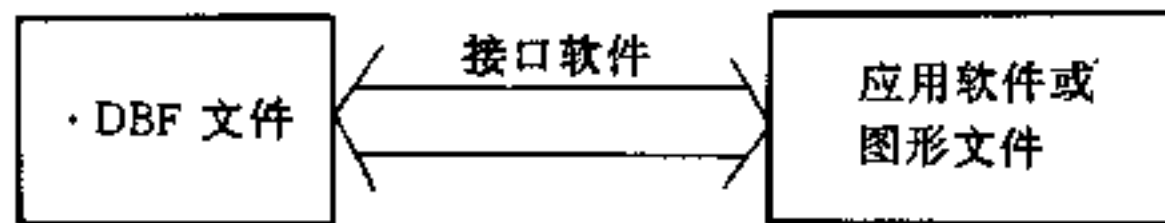


图 12.2-8 直接读取数据

dBASE III 数据库文件是由结构部分和数据部分构成的，而其中结构部分又包括结构说明和字段描述表，其中库结构部分占 32 个字节，字段描述表占 32 个字节，结构说明和字段描述表分别如表 12.2-2 和表 12.2-3 所示。

表 12.2-2 结构说明

字节	含义
0	文件标识 (03H 或 83H)
1~3	最后更新日期 (年、月、日)
4~7	记录个数
8~9	结构描述部分长度
10~11	记录长度
12~31	备用，为 0

表 12.2-3 字段描述

字节	含义
0~9	字段名 (ASCII 码)
10	保留，总为 0
11	字段类型 (ASCII 码 C、D、F、L、M 或 N)
12~15	首记录中该字段对应的内存地址
16	字段长度
17	N 型字段小数位位数
18~31	保留，总为 0

一旦掌握了 dBASE III 数据文件的结构，就可编制出相应的接口程序。

程序编制过程可以分为如下几步实施：

- (1) 读取库结构信息；
- (2) 读取字段长度；
- (3) 读取整条记录；
- (4) 把字母转化为数据。

通过读取库结构部分的信息，从中可以得到参量的具体数值，然后把读取的整条记录放在一个事先定义好的数组中。为了从记录中检索出每一个具体的字段，先从存放记录的数组中每次读出相应长度的字符来，并把它存放到另一数组中，然后再把每一个字段转换成数据，把这些所得的数据送到指定的数组中，用户就可以利用这些数据进行有关的处理。

## 12.3 注射模 CAD 中的几何造型

几何造型是利用计算机系统描述物体的几何模型的技术，是注射模 CAD 的基础。在注射模具中，注射制品的内表面是通过注射模的型芯及型腔面生成的，而型芯及型腔是根据产品零件的形状设计的，因而注射模 CAD 的第一步就是输入产品零件的形状信息，在计算机系统内部建立起描述产品零件的几何模型及有关工艺信息。

通过采用几何造型技术得到的产品零件几何模型，进一步构造出生成该产品的模具型腔及型芯几何模型，再通过调用标准零件图库生成各种标准零件图形，把型腔与型芯图形与标准零件如动、定模板相结合，完成注射模具工作部分结构的设计。除了工作部分形状的设计外，模具结构零件的形状设计同样要用到几何造型技术，型腔及型芯的几何模型及结构零件的信息还可传递给后续加工模块，以生成加工的走刀轨迹。因此，几何造型是注射模 CAD/CAM 中一个关键问题，起到了承上启下的作用。

通常，几何造型是作为模具 CAD/CAM 系统的子系统使用的，几何造型子系统提供了图形输入、存储、编辑几何形状功能，用以描述和定义零件的形状，所建立的几何模型，可用于模具 CAD/CAM。

### 12.3.1 几何造型方法

#### 1. 线框造型

线框造型是利用产品形体的棱和顶点表示产品几何形状的一种造型方法，图 12.3-1 为一正方形的线框模型，它是利用 8 个顶点  $V_1, V_2, \dots, V_8$  及 12 条棱边  $E_1, E_2, \dots, E_{12}$  来表示的。

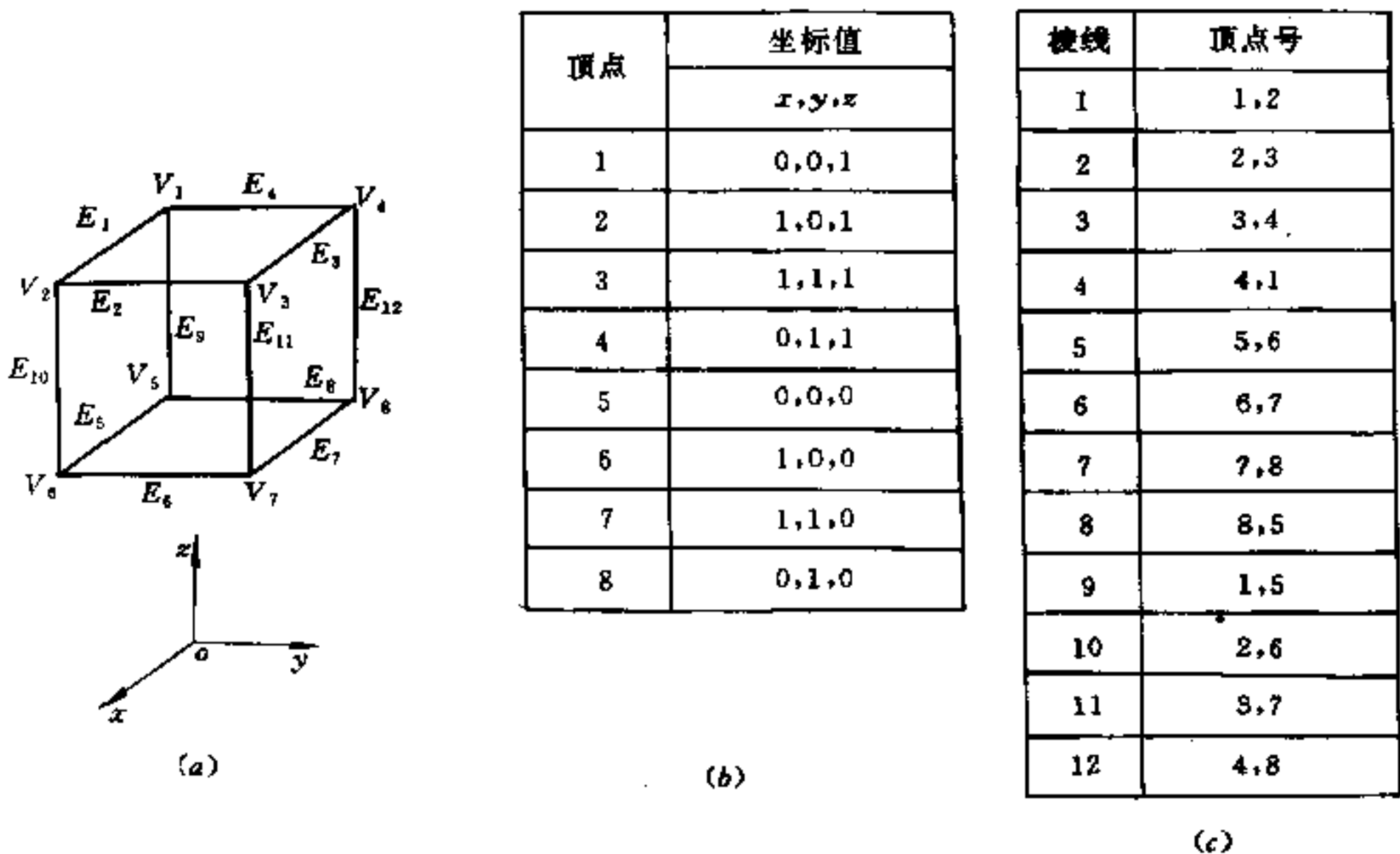


图 12.3-1 线框模型  
(a) 模型；(b) 顶点表；(c) 棱线表。

线框模型给出的信息不完全，它不能明确地定义给定的点与形状之间的关系，因而不能处理诸如干涉、消隐等问题，若不附加其他信息，CAD/CAM 中许多问题难以解决。尽管如此，由于线框造型比较简单，便于计算机进行图形处理。目前，线框造型主要用于二维绘图或作为其他造型方法的一种辅助工具，数据结构如图 12.3-1 (b)、(c) 所示。

## 2. 表面造型

表面造型是在线框模型基础上发展起来的，它通过有向棱边构成形体的表面，用面的集合组成相应的形体。图 12.3-2 所示为一长方体的面模型，表面模型对形体的表面给予了确切的定义，反映在数据结构中，就是在线框模型的基础上，增加了有关面的信息，其数据结构如图 12.3-2 (b) 所示。其中顶点表和棱线表的内容与图 12.3-1 中相同，故从略。

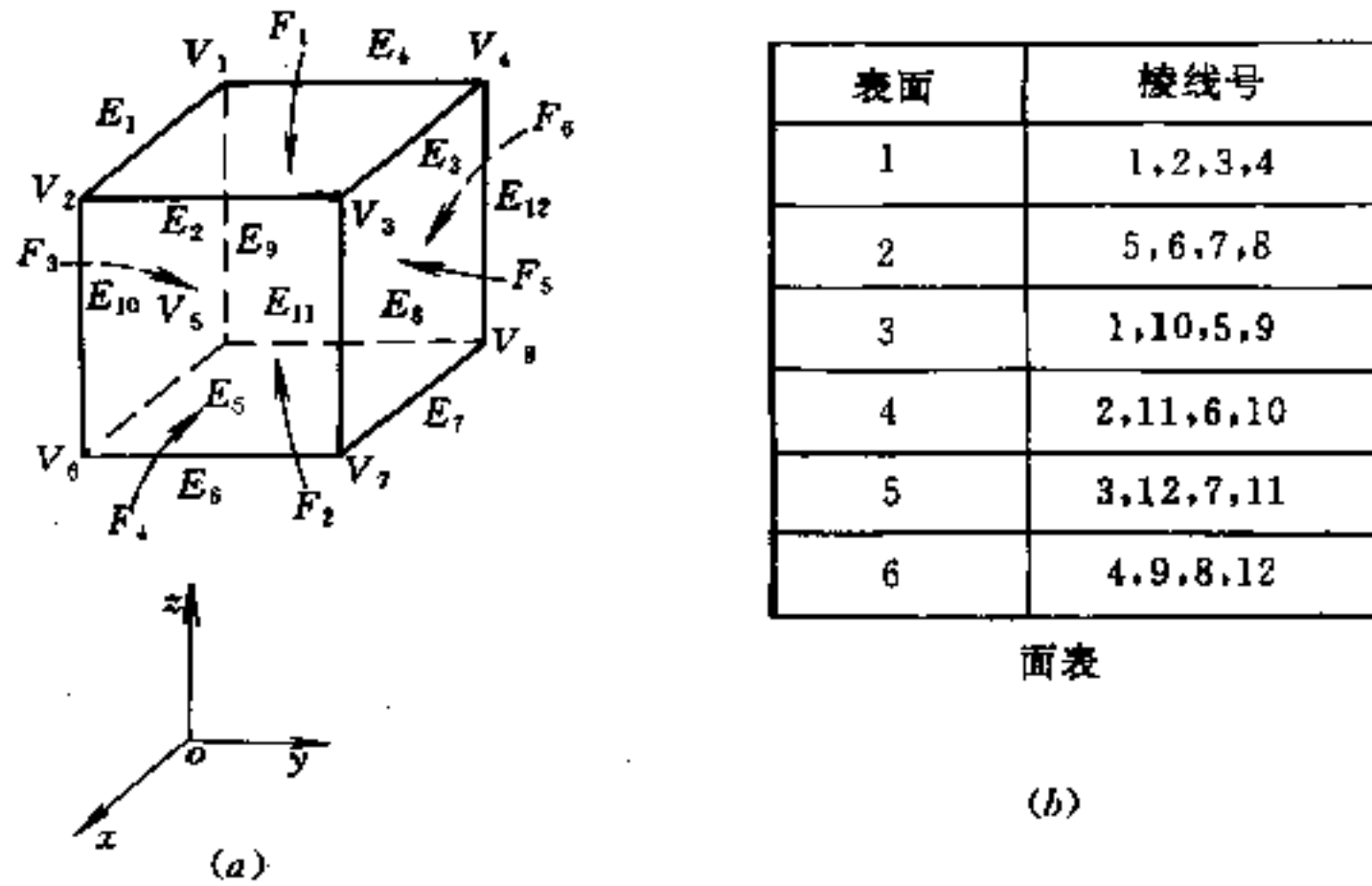


图 12.3-2 形体表面模型

在表面造型中，一个重要的功能是自由曲面的造型，在注射模具 CAD/CAM 系统中，它主要用于注射模具中复杂曲面的设计，常采用的曲面有贝塞尔 (Bezier) 和 B 样条曲面等，同时面模型能处理隐藏线、面，因而表面造型在工程中，特别是在注射模 CAD/CAM 中得到广泛应用。但是，由于表面模型没有明确定义形体存在，也未给出表面间的相互关系等拓扑信息。因而，表面造型所产生的形体，难以直接用于物性计算，并难以保证物体描述的一致性和有效性，从信息的完整性考虑，仍是不完全的描述方式。

## 3. 实体造型

实体造型始于 60 年代，在 70 年代得到迅速发展。它的基本思想是用球、柱、锥、立方体等简单形体作为基本体素，应用并、交、差补正则集合运算构造复杂实体。这种造型方法不仅记录实体的几何信息，还记录实体各部分之间的拓扑信息，因此记录信息完备，定义无二义性，可以自动计算模型的几何性质，检测干涉，消除隐藏（面）和剖切形体等。因此能较好地满足 CAD/CAM 要求，在工业部门得到广泛的应用。图 12.3-3 为形体的实体模型。

但由于在实体造型系统中，基本体素类型简单，不能较好地处理复杂曲面，而且体素之间的布尔运算计算量大，操作繁琐，稳定性较差。

## 4. 特征造型

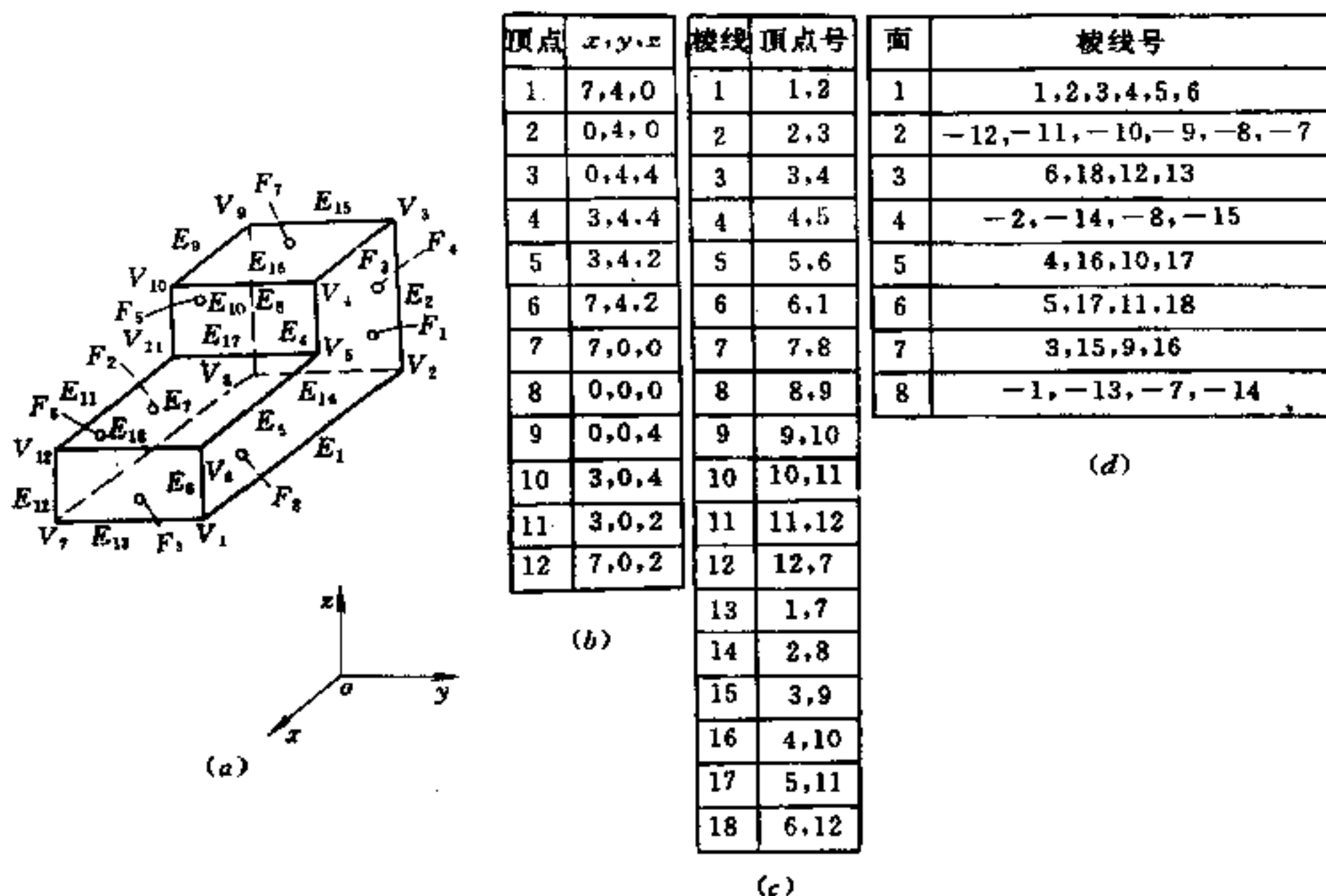


图 12.3-3 形体的实体模型

特征造型是最近发展起来的一种造型方法，它通过引入特征概念来描述更抽象的几何实体和非几何信息（尺寸、公差、热处理等）。所谓特征，指的是反映产品零件特点的，可按一定原则加以分类的产品描述信息。在几何造型系统中引入特征概念的目的在于增加几何实体的工程意义，为各种工程应用提供更丰富的信息。基于特征造型把特征作为产品零件定义的基本单元，将产品零件描述为特征的集合。

在特征模型中，形状特征是其它非几何特征信息的载体，非几何特征信息一般作为属性或约束附加在形状特征上。

目前常用如下三种特征造型方法：

(1) 人工辅助特征标识 它是将特征识别或特征映射任务提交给人来完成，它可以很方便地将现有实体造型系统和各种应用处理系统联接在一起，但需要人工输入和定义大量的信息。因而自动化程度低，产品数据共享不能实现。

(2) 自动特征识别 它通过特定程序自动地处理几何数据库，搜索并提取几何特征信息。

(3) 基于特征的设计 以特征库中标准的特征或用户定义特征的实例为基本单元建立特征模型，从而完成产品设计。

特征造型使所描述的形体更具工程意义，特征可以是形状特征，精度特征、材料特征、机加工特征、有限元特征等，所以特征造型系统信息完备，数据统一，设计灵活，操作方便，是几何造型的发展方向之一。

上面所介绍的常用造型方法为模具 CAD/CAM 的发展奠定了良好的基础，但是，每种造型方法都有其各自的局限性，难以满足各个方面的需要，因此，功能齐全、实用化程度高的几何造型系统应能处理二维、三维、曲面、实体、特征等各种不同的信息，有必要将线框、表面、实体、特征等造型方法融合一体组成一个集成化的造型系统，目



前,国际上一些比较流行的几何造型系统如 CADD5、Pro/Engineer、IDEAS、DUCT5 等都是这类集成的造型系统,它们在机械、电子、建筑等各个领域得到了广泛的应用。

### 12.3.2 几何造型特点

由于注射模具有自身的特点,因此,用于注射模 CAD/CAM 理想几何造型系统应具有如下的特点:

(1) 图形输入 即通过计算机的输入装置,将注射制品的几何信息输入计算机,建立起该制品的计算机内部表示。

(2) 图形处理 要求几何造型系统能提供图形变换、图形显示、图形输出等功能,也即用户可以在显示屏上通过不同空间位置的消隐图、浓淡图、透视图,仅凭视觉便可判断设计的正确性。除此以外,造型系统还应将造型结果,以一定的格式输出,便于其它造型系统或应用程序利用。

(3) 图形编辑处理 主要用于对已定义的形体进行局部或整体的修改,注射模型腔、型芯与注射制品图形因考虑缩放、磨损、加工等因素,存在一定的差异。因而,用于注射模 CAD/CAM 的几何造型系统应能进行等距和不等距的缩放处理或修改尺寸,以达到修改图形的目的。

(4) 信息提取 在注射模具设计和制造中,特别是成形工艺的设计中,经常需要从零件的几何模型中提取有关信息、浇口的位置、数目、流道的尺寸等。通过流动分析程序加以验证,以判别设计是否合理,因此,信息的提取应十分方便。

(5) 参数化设计 由于模具的装配结构和模具零件是在设计过程中逐步确定的,模具结构的改变会引起模具零件的修改;反之,模具零件的变化,也将影响模具的装配结构。参数化设计功能,可以较好地满足模具设计的这一特点。

(6) 造型覆盖面广 用于注射成型生产的塑料制品千差万别,有的制品形状非常复杂,几何造型系统除能处理一般的解析曲面外,还应能处理流线形、过渡圆角、各种曲面以及曲面的复杂边界。因此,几何造型系统应有很强的造型功能,覆盖面要广。

### 12.3.3 形体模式与数据结构

几何造型是利用计算机系统对三维形体进行确切定义,采用恰当的数据结构对所定义的形状进行描述。

#### 一、形体模式

在几何造型中往往采用一些抽象的几何实体去代表实际形体,目前常用的形体表示模式有单元分解、扫描变换、体素构造和边界表示等 4 种。

##### 1. 单元分解表示

对一般的形体,总可以分解成一系列容易描述的子形状单元(见图 12.3-4),只要确立好这些子单元及相互间的连接关系,就可以描述该形体。在理论上,利用这种方法可以描述任何形体,但实际上存在许多困难,并且形体的表示不唯一,单元分解表示模式主要用于有限元的单元划分。

##### 2. 扫描变换表示

这种方法是用移动的二维图形及其运动轨迹来定义三维形状。用这种表示模式描述

形体时，需要定义扫描的图形或形体，另外还要规定出扫描图形的运动轨迹。根据运动性质的不同，扫描法可分为平行扫描和旋转扫描。在平行扫描中，运动轨迹为一一直线，在旋转扫描中，运动轨迹为一圆或圆弧，如图 12.3-5 所示。平行扫描适用于描述具有平移对称性的形体，许多二维半的形体就是采用这种方法定义的。旋转扫描则可用于表示具有轴对称性的形体。

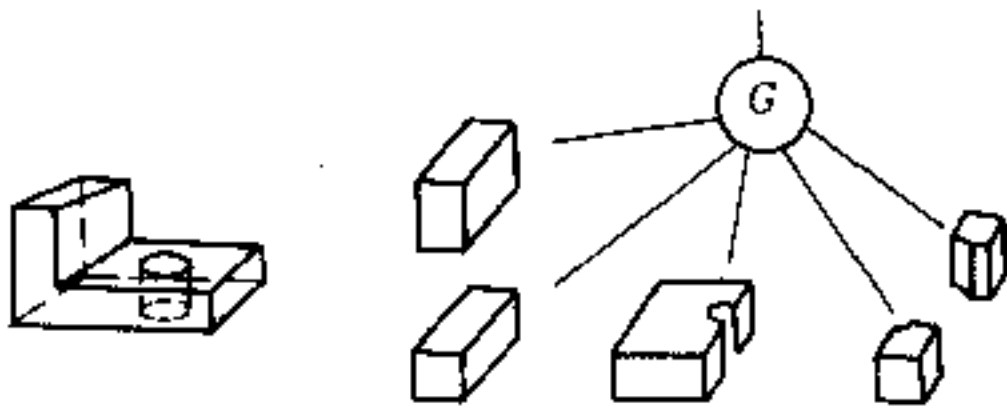


图 12.3-4 单元分解表示

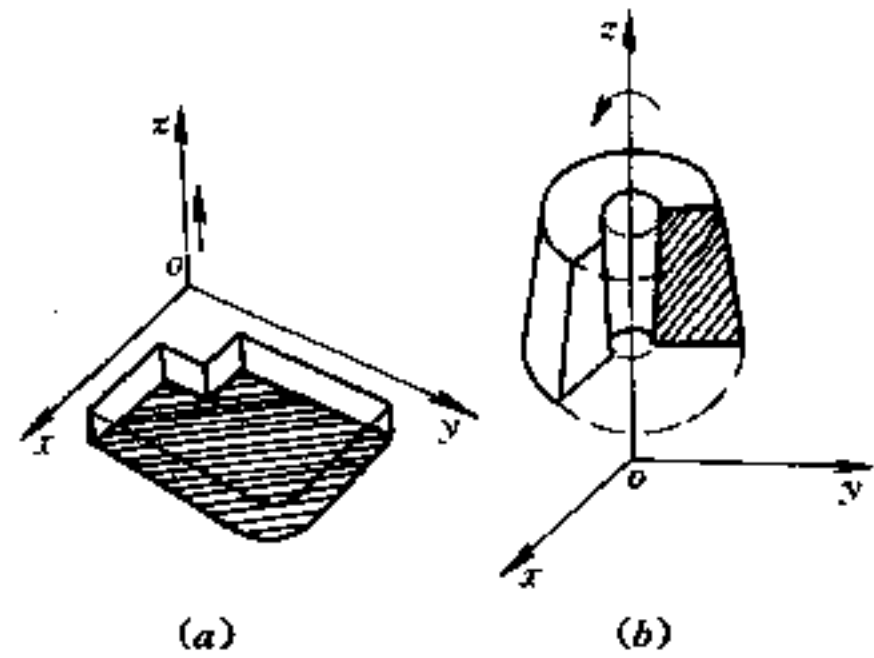


图 12.3-5 扫描变换表示的形体

### 3. 体素构造表示 (CSG)

体素构造是一种利用简单形状的体素（如正方体、长方体、角锥、球等），经几何变换和布尔运算构造成更为复杂形体的方法。这种类似于搭积木的方法，由于其造型简单、明了，在几何造型中使用较广。

在这种表示模式中，通常采用二叉树结构或双层结构来描述体素构成复杂形体的关系，如图 12.3-6 (a) 所示，在这种结构中  $P_{11}, P_{21}, \dots$  称之为树干， $P_{12}, P_{22}, P_{32}, \dots$  称之为树枝。由树干的底部开始，依次在增加树枝的同时构造形体，这种结构在一些几何构型系统如 PADL, GMSOLID 等中得到应用，双层结构如图 12.3-6 (b) 所示，存储在计算机中的信息，是分 2 层存储的，并集 ( $\cup$ ) 和交集 ( $\cap$ ) 分别配置在两个层次上，双层结构在 TIPS-1 中得到应用。CSG 表示法无二义性，但表示不唯一。同时在产生图形显示时需计算形体的边界，计算量较大，因此当形体复杂时，这种方法受到一定的限制。

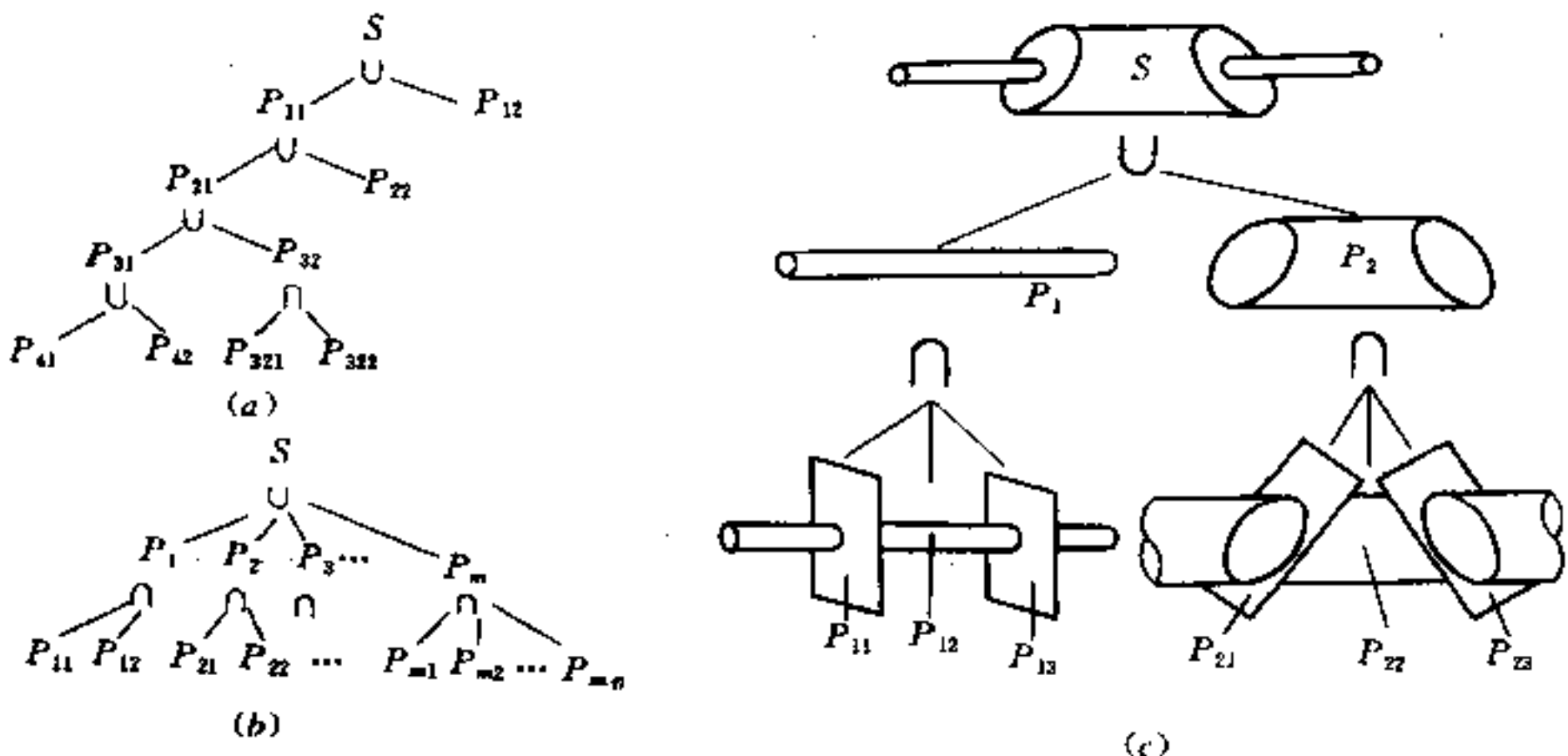


图 12.3-6 体素构造表示



#### 4. 边界表示 (B-reps)

边界表示模式以形体的表面来表示形体。在边界表示模式中，边界表面必须是连续的。因此，物体的边界是所有面的并集，如图 12.3-7 所示。

由于边界表示模式详细记录了构成形体边界的所有的几何元素的几何信息和拓扑信息，从而使得图形显示、有限元网格划分、表面积计算和数控加工等功能更易实现。

体素构造和边界表示两种模式在几何造型中应用最为普遍，但各有优缺点。目前，国际上比较流行的一些商用几何造型系统，大都采用 CSG/B-reps 混合表示模式，这样可使两者取长补短，使系统更加完备，造型更加方便，适用面更广。

#### 二、几何造型中的数据结构

要完整地表示一形体的几何形状，需要两方面信息，即几何信息和拓扑信息。这两者要在计算机内实现存储，就必须以一定的数据结构予以保证。在讨论数据结构之前，不妨先弄清图形几何信息和拓扑信息的含义。

##### 1. 几何信息及拓扑信息

几何信息是指物体在欧式空间中的位置和大小，例如，点常采用  $x, y, z$  坐标表示，平面常用方程  $Ax + By + Cz = D$  表示，自由曲面常采用 Cons, Bezier, B 样条曲面等来拟合。

拓扑信息是指物体几何分量（点、线、面）之间的连接信息、图 12.3-8 如不指定联接关系，则可能得到多种不同的多面体，因此，在数据结构中，除了物体的几何信息外，还必须指明物体的拓扑关系，所表示的三维物体才是唯一的（即无二义性）。例如，一个平面立方体的拓扑关系共有九种，如图 12.3-9 所示。

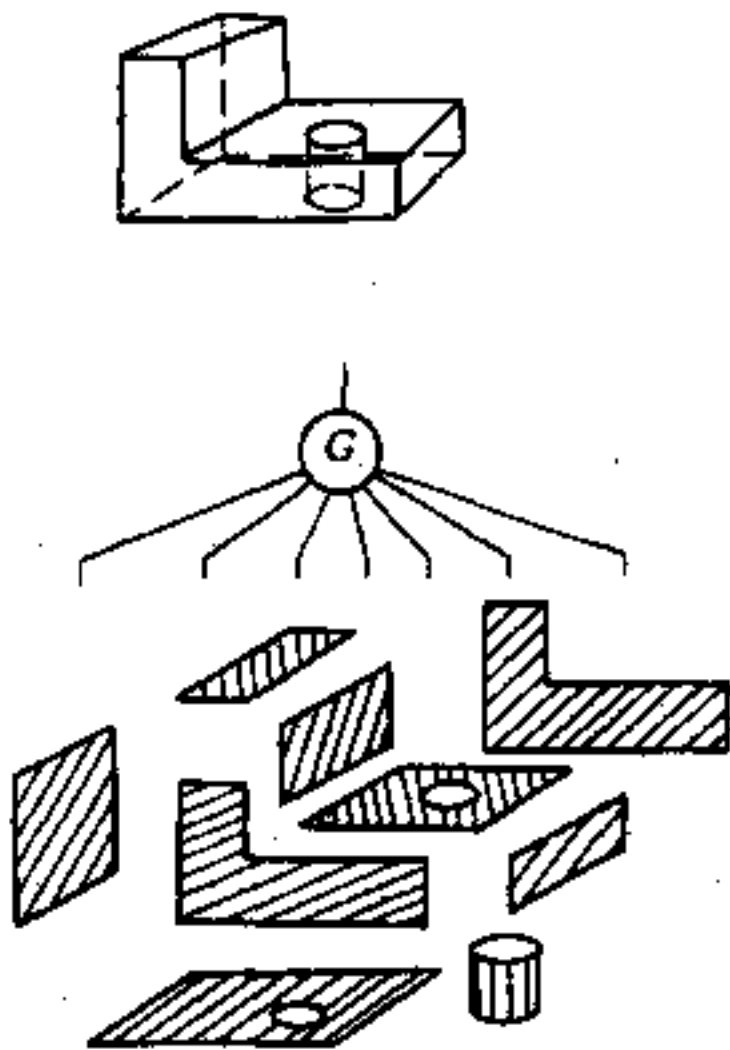


图 12.3-7 边界表示模式

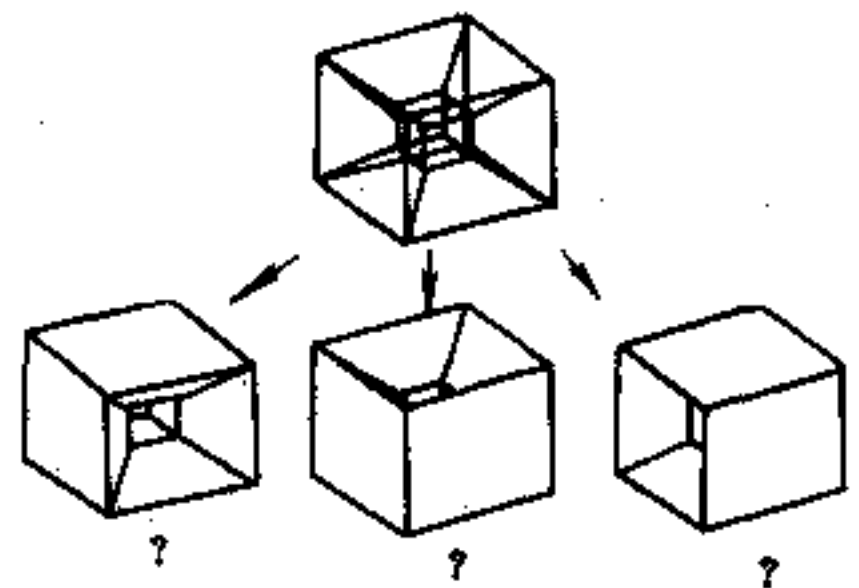


图 12.3-8 线框模型的多义性

存储何种拓扑信息，一般取决于应用的场合，例如，只画物体的轮廓图，而不消除隐藏线，则只需已知某点  $v$  与相邻顶点的关系，所以保存  $v: \{v\}$  即可，但在消隐算法中，则还应知道面的相邻性，即  $f: \{f\}$ 。而对于形体的布尔运算，存储  $v: \{f\}$  则较为方便。因此，在几何造型系统里，只仅仅存储一种拓扑信息是不够的，而存储九种

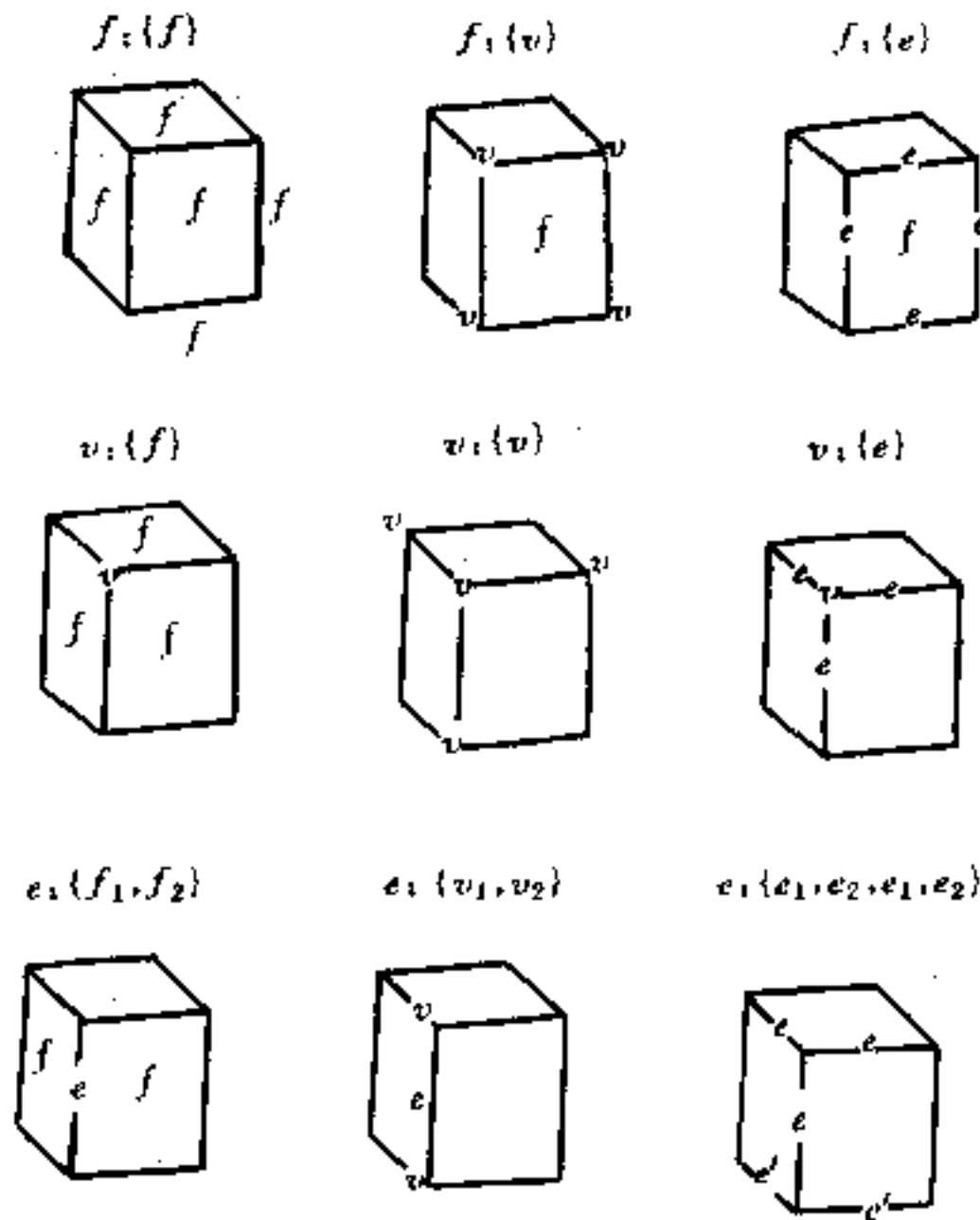


图 12.3-9 平面立方体的拓扑关系

拓扑关系也是冗余的，必须视用户的不同目的，而有效地选取。

## 2. 几何造型采用的数据结构

在几何造型中，实现形体的几何表示和拓扑关系描述，常采用三类数据结构：单链三表结构、双链表翼边结构及双链三表结构。

(1) 单链三表结构 这种数据结构基本上都采用三张表，即面表、棱边表和顶点表，用单链来指示它们之间的连接关系。顶点中存放每一个顶点的  $x$ ,  $y$ ,  $z$  坐标，而棱边表中存放每一棱边端点的顶点等，面表中存放每个面包含的棱边等，如图 12.3-10 所示为一单链三表结构。在单链三表数据结构中，由面表示的指针可以检索到该面的边表，由边表的指针可以检索到形成该边的顶点，这种数据结构关系清楚，节省存储空间，查找不麻烦。但当形体比较复杂时，查表和改表的时间不容忽视。

(2) 双链表翼边结构 单链三表结构是把三维形体的几何信息和拓扑信息结合在一起，并进行处理的，如能分别处理形体的几何和拓扑信息，将有利于提高数据结构的灵活性，克服改变形体拓扑关系的困难。双链表翼边结构可以较好地解决这一问题，如图 12.3-11 所示。在翼边结构中，每条边都有指针，指向它们左右两个邻面和构成两个邻面周界的四条邻边，这种结构是以边作为检索形体拓扑关系的中心。

双链表翼边结构由于存储信息较多，故需要较多的存储单元，对计算机的存储量有一定要求。

## (3) 双链三表结构

上述两种数据结构中，单链三表结构节省存储空间，但不便于查找和修改，双链表

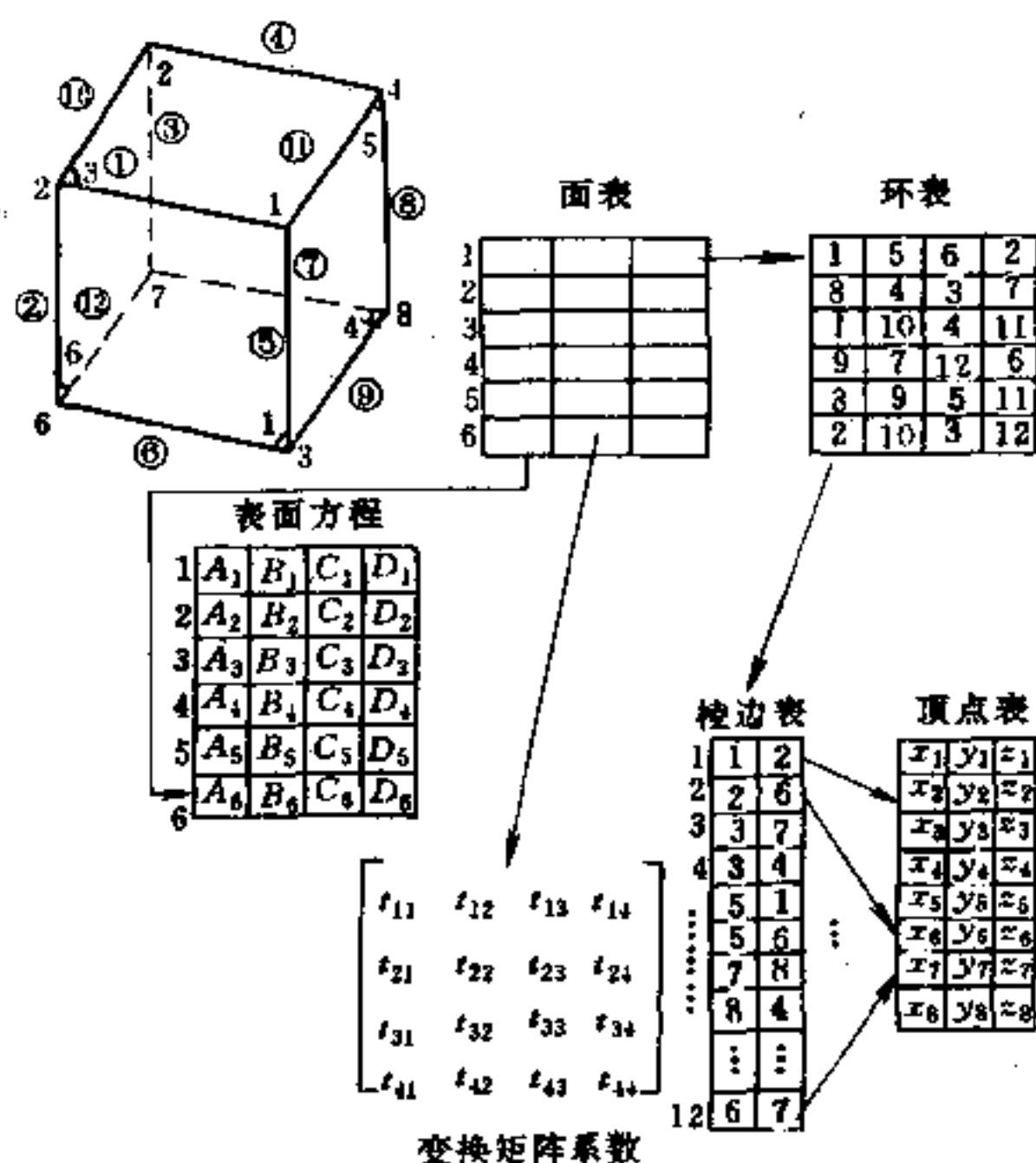


图 12.3-10 单链三表结构

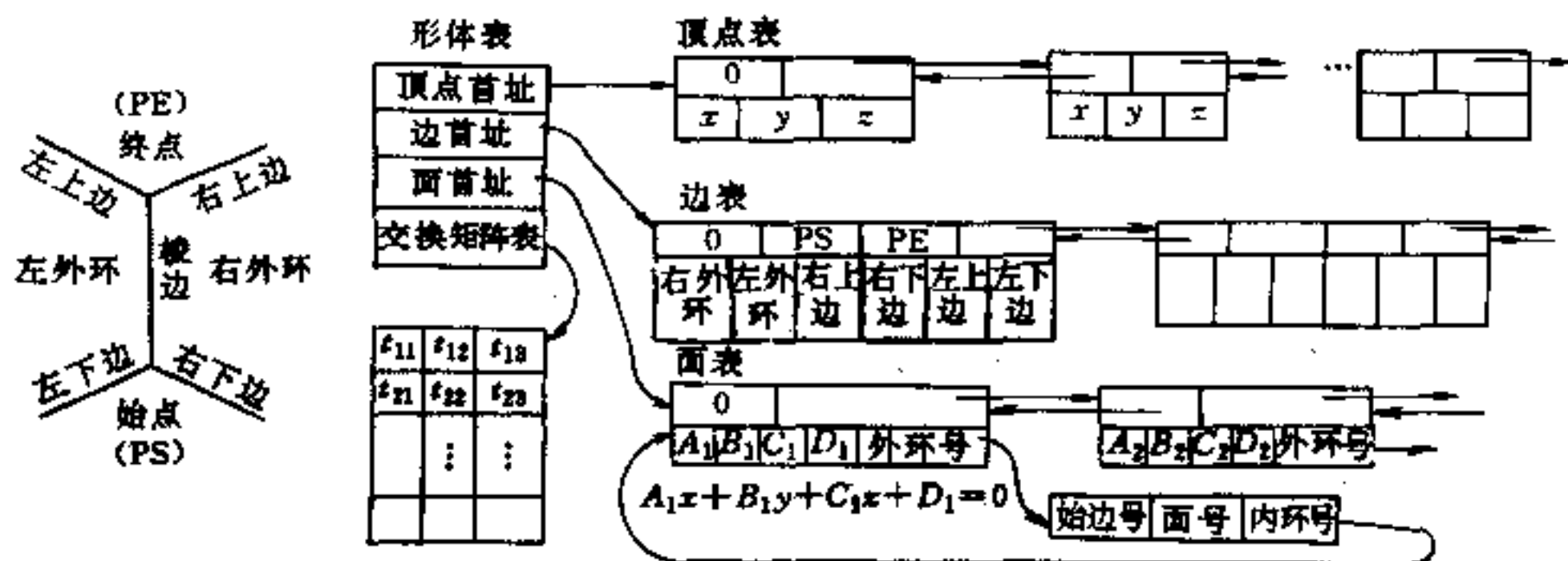


图 12.3-11 双链表翼边结构

翼边结构便于查找和修改，但占用较大的存储空间。为解决这一矛盾，提出了双链三表结构，如图 12.3-12 所示。在这种结构中设有点表、面表和体表三张表。点表中设两个链，分别指向它的前趋和后继节点，面表中记录了组成面的顶点序号，以及该顶点的前趋和后继指针，而体表中存放各表面在面表中的首地址，以及每个表面的前趋和后继的表面，虽然没有直接给出棱边表，但面表中给出了相邻两节点，根据前趋和后继节点可判断出有向线段，间接地反映出棱边的定义。

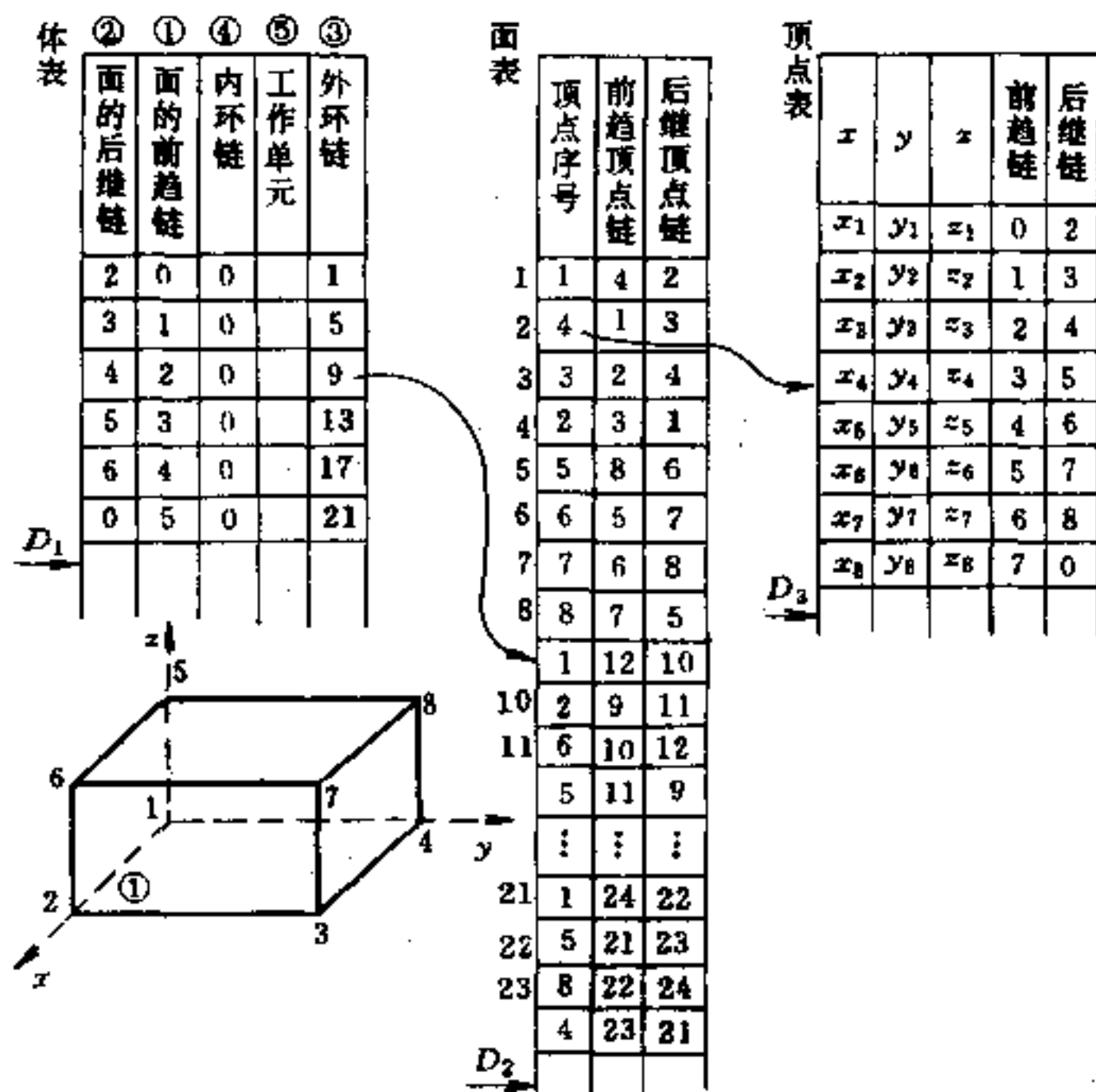


图 12.3-12 双链三表结构

## 12.4 模具图的生成

### 12.4.1 型腔、型芯形状生成

生成型腔和型芯形状的流程简图，如图 12.4-1 所示。从图中可以看到，为了生成型腔和型芯形状，除了需要定义塑料制品的形状，建立形状模型外，还需要输入分型面的信息，利用分型面的数据，可将制品形状模型进行分解，得到型腔和型芯形状。图 12.4-2 所示为用三维实体构型系统 TIPS 得到的烟缸形状。利用该系统提供的 P 模式可获得型芯形状，如图 12.4-2 (a) 所示，利用 Q 模式可获得型腔形状，如图 12.4-2 (b) 所示。一些复杂的注射模具，其型腔和型芯用采用镶块结构，即从型腔或型芯中取出其中一部分，形成镶块结构，这种操作和型腔、型芯的分解处理是类似的，首先需要定义镶块形状及断面，然后取出镶块并修改型腔及型芯的形状。当型腔、型芯和镶块的几何形状设计完毕后，便可利用程序确定它们的尺寸和公差，再利用图形系统提供的尺寸标注功能，以人机交互方式依次完成各个尺寸的标注。

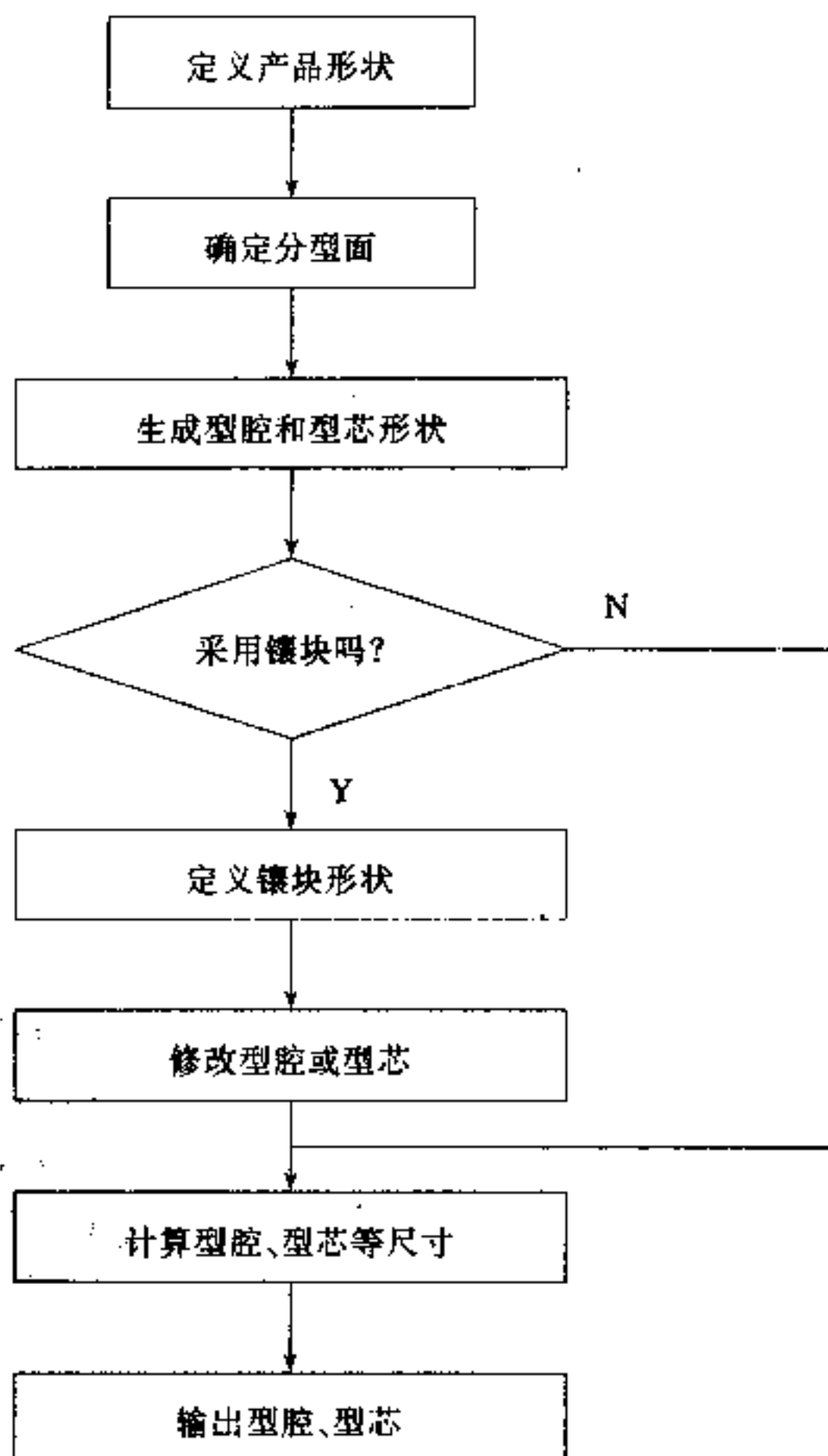


图 12.4-1 生成型腔和型芯形状的流程简图

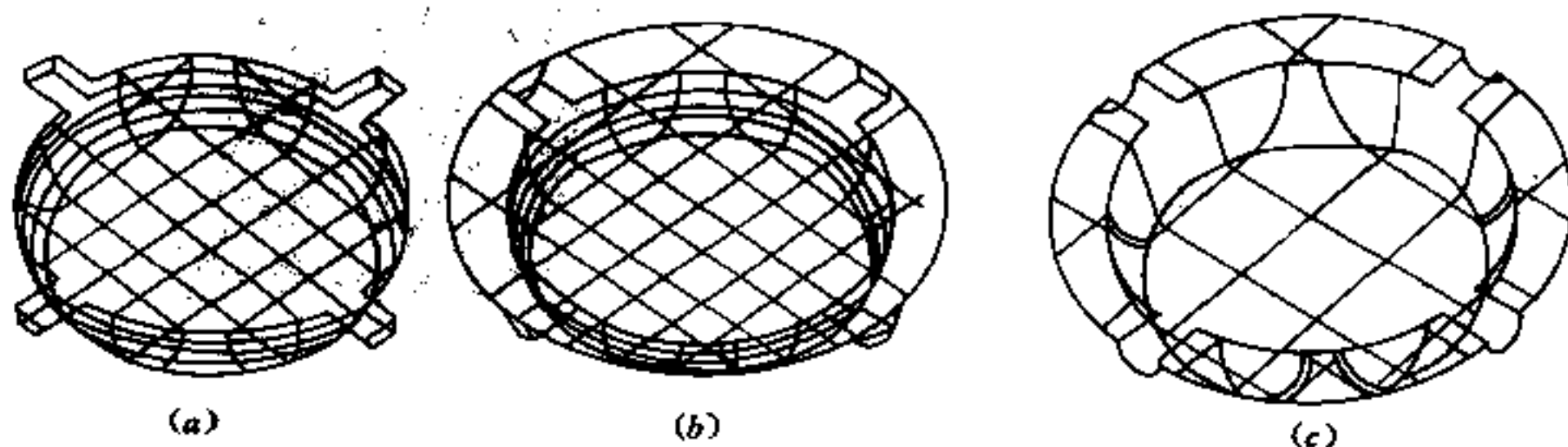


图 12.4-2 塑料烟缸形状的描述

### 12.4.2 模具图的生成

利用三维图形软件的拼合功能，可将型腔、型芯、流道系统、顶杆孔、冷却水孔与模块结合起来，生成模具图，例如，对于上节所列举的塑料烟缸，在 TIPS 系统里可利用如下语句构造出一模四腔的模具结构：

$$Q_1 = \text{CAVITY} \cdot \text{UNI} \cdot \text{GATE} \cdot \text{UNI} \cdot \text{RUNNER}$$

$$Q_2 = \cdot \text{ROT} \cdot Q_1 (x, y, z, i, j, k, \alpha_1)$$

$$Q_3 = \cdot \text{ROT} \cdot Q_1 (x, y, z, i, j, k, \alpha_2)$$

$$Q_4 = \text{ROT} \cdot Q_1(x, y, z, i, j, k, \alpha_3)$$

$$\text{CVPLATE} = \text{PLATE} \cdot \text{DIF} \cdot (Q_1 \cdot \text{UNI} \cdot Q_2 \cdot \text{UNI} \cdot Q_3 \cdot \text{UNI} \cdot Q_4)$$

以上语句中，第一句是将已存储在图形库中的型腔 CAVITY、浇口 GATE 和流道 RUNNER “合并” (UNI) 在一起，形成  $Q_1$ ，第二至第四句是将  $Q_1$  分别旋转  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$  的角度，形成  $Q_2$ 、 $Q_3$  和  $Q_4$ ，括号中， $x$ 、 $y$ 、 $z$  为旋转中心坐标， $i$ 、 $j$ 、 $k$  为三个旋转轴的方向余弦。第五句是将  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$  和  $Q_4$  并在一起，并从模板 PLATE 中“减去” (DIF)，这样就在模板上构造出型腔和流道的形状。

除了以上所利用的“并” (UNI)、差“DIF”、“旋转” (ROT) 外，还可以采用系统所提供的“交” (INT) 和“装配” (ASB) 来构造模具零件图和模具装配图，利用“平移” (MOV) 和“放大” (SCA) 来编辑图形等。

这种采用构造体素法 (CSG) 形成的模具树状结构如图 12.4-3 所示。利用 TIPS 系统生成的烟缸定模板和动模板结构图如图 12.4-4 所示。

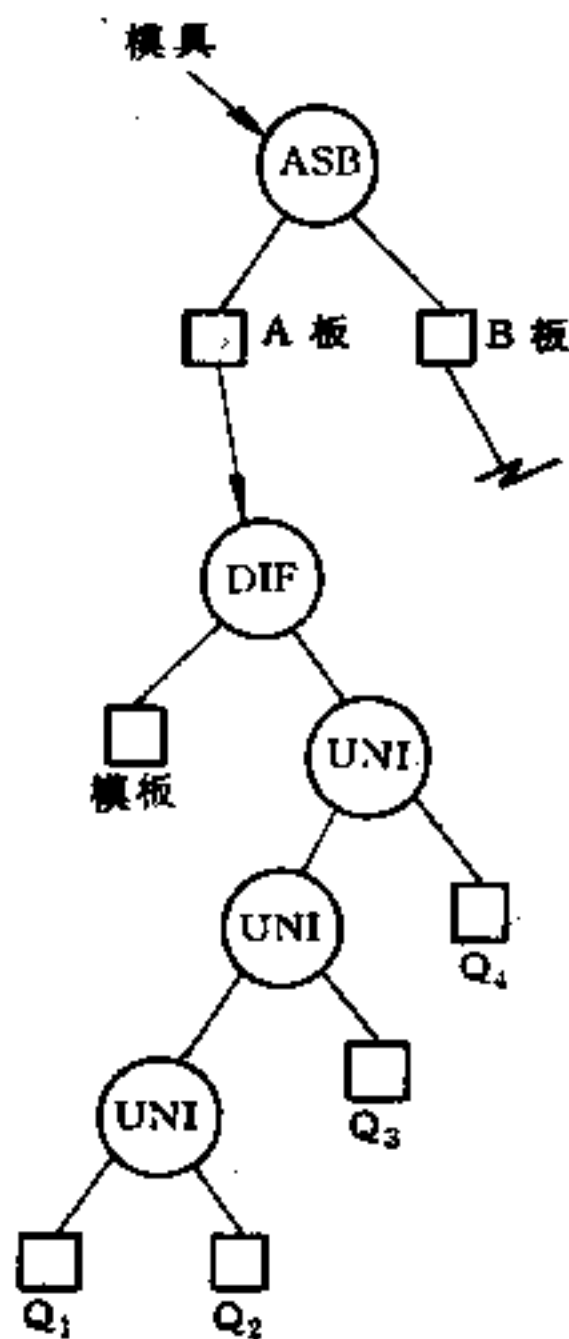


图 12.4-3 CSG 法生成的模具树状结构

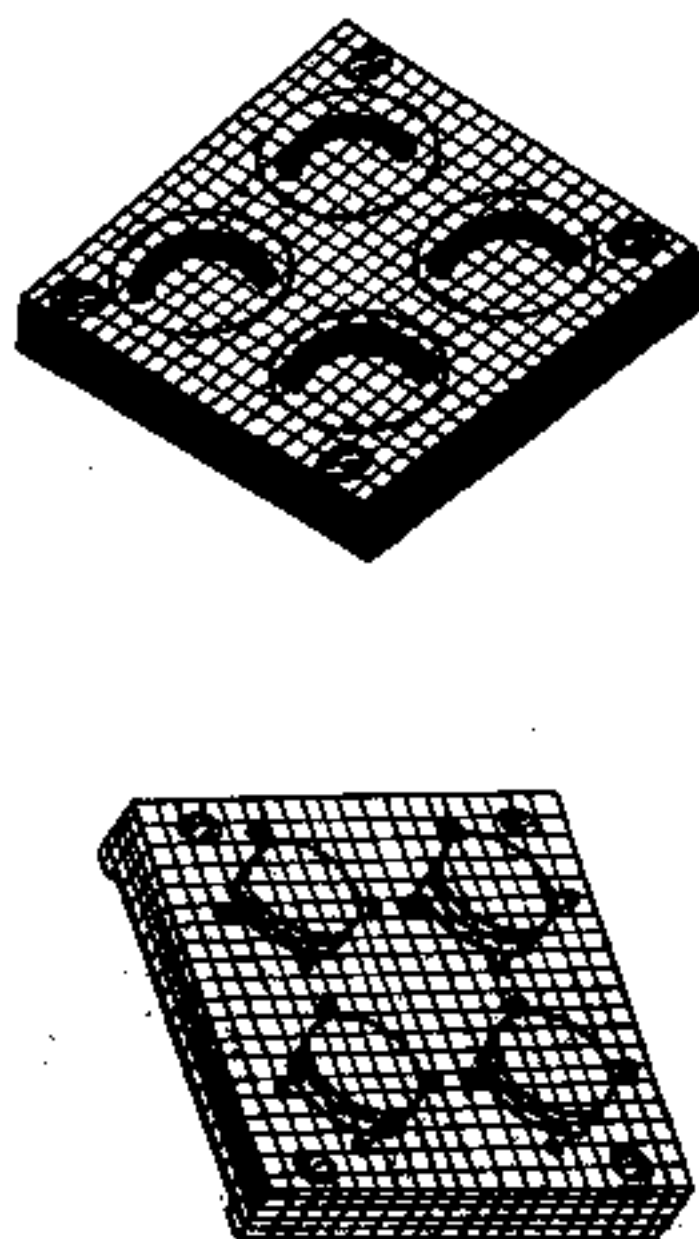


图 12.4-4 烟缸定模板和动模板结构图

## 12.5 流道系统交互设计

在实际生产中，为提高生产效率，常采用一模多腔或单腔多浇口来生产塑料制品，这些流道系统都涉及到平衡问题，单腔多浇口模具的流动不平衡，会导致充填压力增大，可能出现型腔一部分过压而另一部分欠压的情况，造成制品各处密度不均匀而导致翘曲变形。多腔模具的流动不平衡，会导致各腔制品的重量，性能等不一致。目前，流道系统的设计大多依靠经验，通过反复试模、修模使其趋于合理，获得合格制品。但这种方法，生产周期长，难以获得理想的效果。流道系统 CAD 的任务是通过计算机程序，



在模具浇注系统制造之前就能得到设计结果，使模具内每一个型腔均能在同一时刻以近似相同的压力和温度下被熔体所充满，或者使多浇口型腔内熔体的熔合纹处于理想位置。

### 12.5.1 流道分类及平衡分析准则

根据流道系统的几何布局，可将流道系统分为平衡布置和非平衡布置两类，如图 12.5-1 所示。图 12.5-1 (a) 为自然平衡流道系统，在这种系统里，每个流道的特征相同。如果忽略流道系统的制造误差和模温差异，则充填过程是自然平衡的，也即每个型腔可在大致相同的压力、温度条件下同时充满。

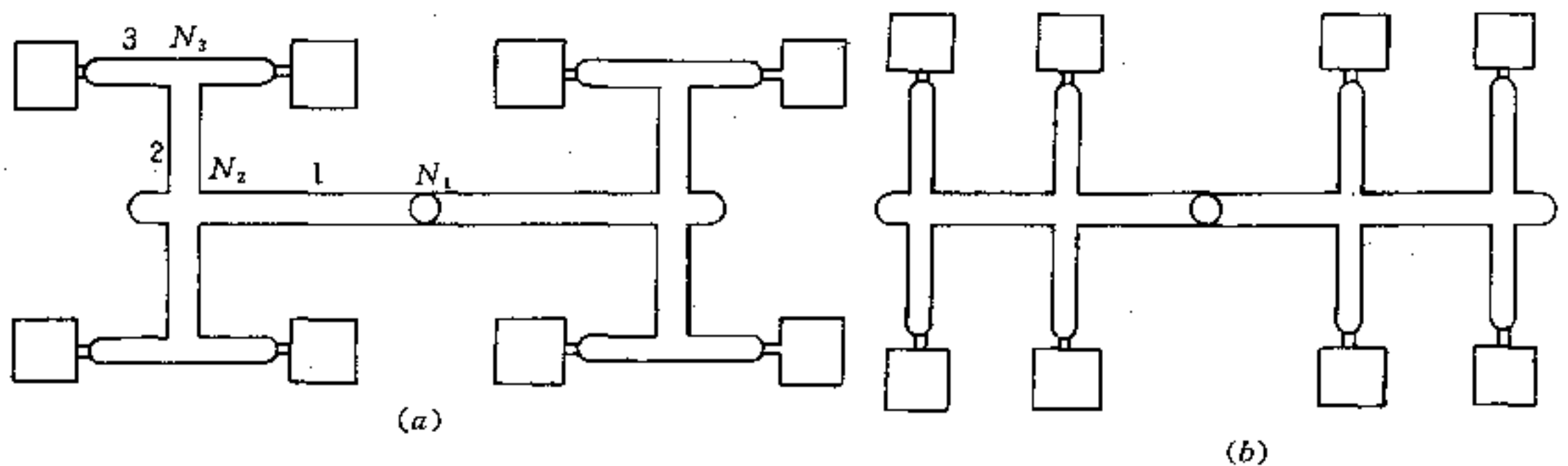


图 12.5-1 流道系统的布置

(a) 平衡布置；(b) 非平衡布置。

图 12.5-1 (b) 为非自然流道平衡系统。在这种系统里，熔体流动是不平衡的。一模多腔时，每个型腔将在不同的条件下充满。对多浇口的型腔模具，流道系统的设置不同将导致熔合纹位置的变化，如图 12.5-2 所示。因此，对于流道自然平衡系统的平衡分析准则，是在流道系统体积和各流道段长度一定的条件下，使流道系统的压力损失最小。对于流道非自然平衡系统，其平衡分析准则是在给定流道系统体积和各流道段长度的条件下，通过流道和浇口的设计使充模过程达到平衡。由于影响流道设计的因素很多且十分复杂，在流道 CAD 工作中有必要作如下假定和简化。

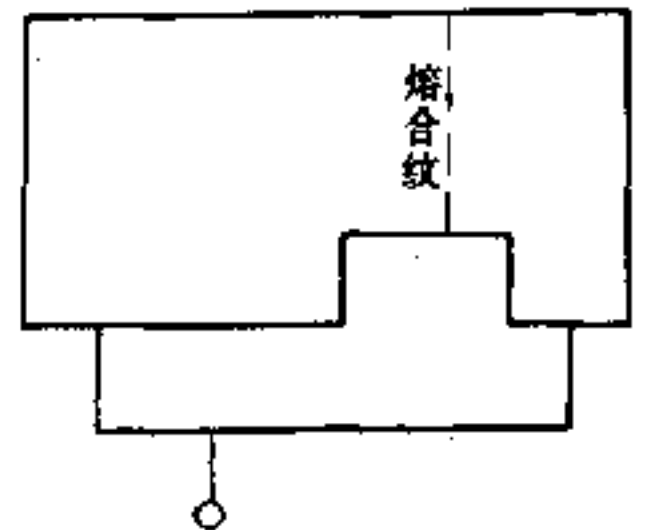


图 12.5-2 多浇口的型腔的熔合纹位置

- (1) 假定注射成型时熔体的体积流量恒定；
- (2) 忽略流道转弯处因局部阻力引起的压力损失；
- (3) 用相同横截面积的圆管来模拟非圆截面流道；
- (4) 由于浇口体积很小，熔体充满浇口的时间忽略不计。

计。

### 12.5.2 流道系统平衡设计

注射过程是熔体的非牛顿、非等温、非稳态流动过程，通常只能采用数值方法（有限差分、有限元法）求解，计算过程占用机时很多，而流动平衡分析又需要反复调整各流道、浇口尺寸及位置，每调整一次就需计算一次，这样，所需分析时间长，费用高。为解决这一矛盾，通常，先进行初步流道设计，后进行热效应修正，在初始流道设计



时, 不考虑熔体的粘性热效应, 熔体被假设为非弹性、等温的幂律流体, 同时不计算熔体在型腔中的流动, 初步计算出各流道段尺寸, 使熔体前沿以相同的压力同时到达各浇口, 然后考虑熔体的温度变化, 对熔体在流道系统和型腔中的流动过程进行分析, 进一步修改流道、浇口尺寸, 使流动达到平衡, 这样可减少程序反复运行次数, 降低分析费用。

### 一、流动平衡初步分析

绝大多数热塑性塑料都是假塑性流体, 当采用幂律函数模型来表示时, 考虑圆管-泊肃叶 (Poiseuille) 流动, 则流道系统中某流道  $j$  的压力降可表示:

$$\Delta P_j = 2k \left( \frac{1+3n}{\pi n} \right)^n \left( \frac{Q_j^n}{R_j^{3n+1}} \right) L_j \quad (12.5-1)$$

式中,  $n$ ,  $k$  为幂律模型  $\dot{\gamma} = (k^{-1}\tau)^{1/n}$  中的指数和比例系数,  $Q_j$  为流道  $j$  的体积流量 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ),  $L_j$  为流道  $j$  的长度 ( $\text{cm}$ ),  $R_j$  为流道  $j$  的半径 ( $\text{cm}$ )。

在此基础上可建立初步流动平衡分析的数学模型。

#### 1. 平衡布置的流道系统

对平衡布置的流道系统, 只需进行初步平衡分析即可, 如图 12.5-1 (a) 所示,  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$  分别表示各分支处流道数, 若总体积流量为  $Q$ , 则流经流道段 1、2、3 的压力降分别为:

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= 2k \left( \frac{1+3n}{\pi n} \right)^n \cdot \frac{Q^n L_1}{N_1^n R_1^{3n+1}} \\ \Delta P_2 &= 2k \left( \frac{1+3n}{\pi n} \right)^n \cdot \frac{Q^n L_2}{N_1^n N_2^n R_2^{3n+1}} \\ \Delta P_3 &= 2k \left( \frac{1+3n}{\pi n} \right)^n \cdot \frac{Q^n L_3}{N_1^n N_2^n N_3^n R_3^{3n+1}} \end{aligned}$$

其中,  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  分别为流道段 1、2、3 的长度, 总的压力损失为:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (12.5-2)$$

流道系统的体积为:

$$V = N_1 \pi R_1^2 L_1 + N_1 N_2 \pi R_2^2 L_2 + N_1 N_2 N_3 \pi R_3^2 L_3 \quad (12.5-3)$$

要使  $\Delta P$  在满足式 (12.5-3) 条件下取小值, 则需

$$\begin{aligned} \frac{\partial (\Delta P + \lambda V)}{\partial R_1} &= \frac{\partial (\Delta P + \lambda V)}{\partial R_2} \\ &= \frac{\partial (\Delta P + \lambda V)}{\partial R_3} = 0 \end{aligned} \quad (12.5-4)$$

将式 (12.5-2) 和式 (12.5-3) 代入上式, 可推得:

$$R_1^3 = N_2 R_2^3, \quad R_2^3 = N_3 R_3^3 \quad (12.5-5)$$

一般有  $R_u^3 = N R_d^3$  (12.5-6)

式中  $R_u$  和  $R_d$  分别表示上、下游流道段的半径,  $N$  表示分支处的流道数, 不难证明

$$\frac{\partial^2 (\Delta P + \lambda V)}{\partial R_i^2} > 0 \quad (i = 1, 2, 3)$$

因此, 只要分支处各流道段的半径满足式 (12.5-6), 则  $\Delta P$  定能取得最小值, 且

满足约束条件式 (12.5-3)。

## 2. 非平衡布置流道系统

对单腔多浇口模具, 若给定对应各浇口的充填体积, 则可作为一模多腔来处理。图 12.5-3 为一般流道分支关系图, 流道段  $R_r$ 、 $R_s$  共享同一上游流道段, 各有若干分支, 根据流动平衡分析准则, 即要求熔体同时到达两支路末端, 应有:

$$\Delta t = \frac{\pi R_r^2 L_r}{Q_r} + \sum_{k=1}^{M_r} \frac{\pi R_k^2 L_k}{Q_k} = \frac{\pi R_s^2 L_s}{Q_s} + \sum_{l=1}^{M_s} \frac{\pi R_l^2 L_l}{Q_l} \quad (12.5-7)$$

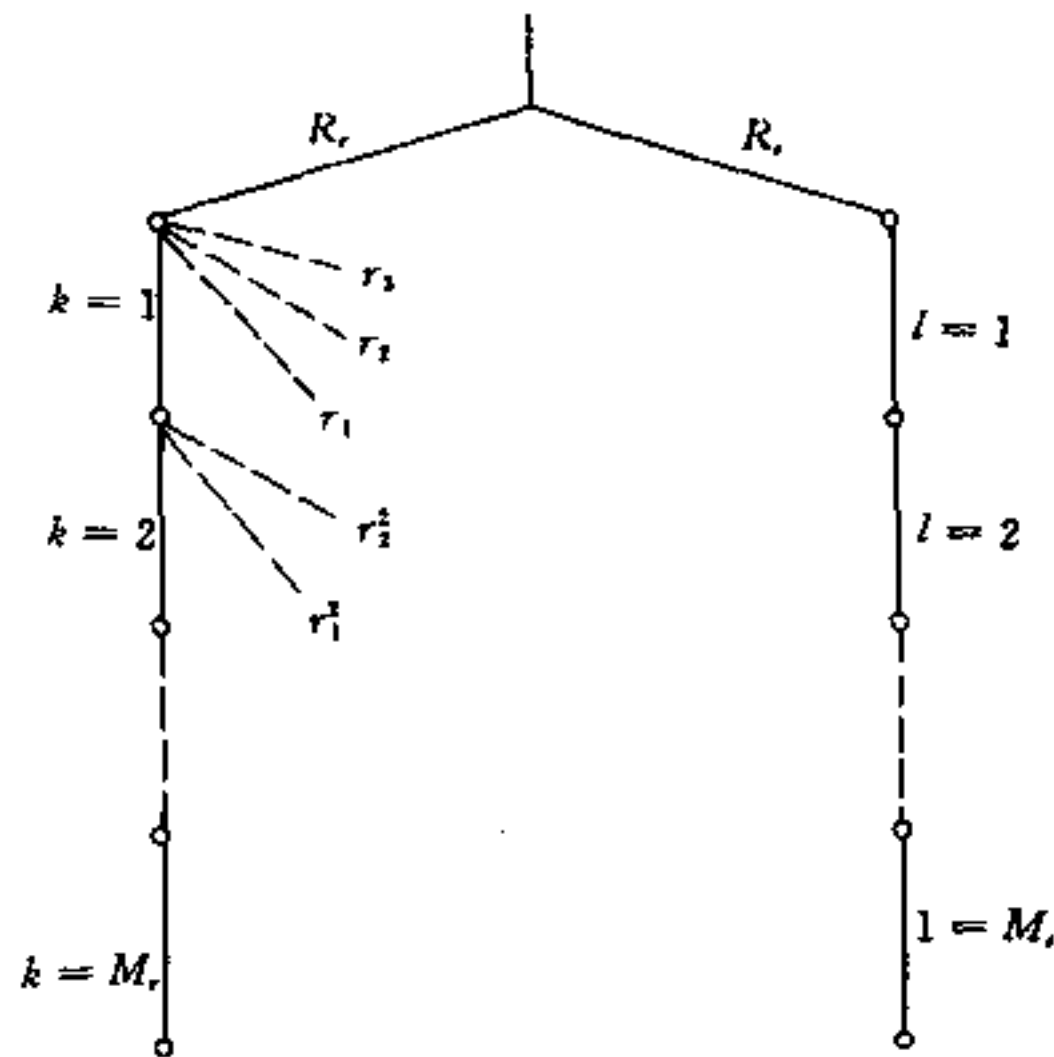


图 12.5-3 流道分支关系图

式中,  $M_r$ 、 $M_s$  分别为图 12.5-3 中所示两支路的流道数,  $Q_r$ 、 $R_r$  和  $L_r$  以及  $Q_s$ 、 $R_s$  和  $L_s$  分别为两支路上游流道的流量半径和长度,  $Q_k$ 、 $R_k$  和  $L_k$  以及  $Q_l$ 、 $R_l$  和  $L_l$  分别为下游流道的流量、半径和长度。在每一个流道分支处, 应满足以下两个条件。

(1) 流量守恒, 即上游流量等于各分支流量之和。

$$Q_u = \sum_{i=1}^d Q_i \quad (12.5-8)$$

式中,  $Q_u$  表示上游流道段的流量,  $Q_i$  表示各下游流道段的流量,  $d$  为分支处下游流道段总数。

(2) 流动前沿更新时, 分支处各下游流道段内熔体的压力降相等。

如图 12.5-4 所示, 下游流道段内熔体的压力降可表示为:

$$\Delta P_i = \frac{2k}{\pi} \left( \frac{3n+1}{\pi n} \right)^n \left( \frac{Q_i}{R_i^3} \right)^{n+1} \cdot \Delta t \quad i=1, 2, \dots, d$$

不难看出, 要满足压力降相等的条件, 需有:

$$\frac{Q_1}{Q_d} = \frac{R_1^3}{R_d^3}; \quad \frac{Q_2}{Q_d} = \frac{R_2^3}{R_d^3}; \quad \dots; \quad \frac{Q_{d-1}}{Q_d} = \frac{R_{d-1}^3}{R_d^3} \quad (12.5-9)$$

将式 (12.5-9) 代入式 (12.5-8) 得:

$$Q_u = \frac{Q_d}{R_d^3} \sum_{i=1}^d R_i^3 \quad (12.5-10)$$

另外, 为使上游流道段的流量不受下游分支的影响, 需有:

$$\frac{Q_u}{R_u^3} = \frac{Q_d}{R_d^3} \quad (12.5-11)$$

综合式 (12.5-10) 和式 (12.5-11) 得:

$$R_u^3 = \sum_{i=1}^d R_i^3 \quad (12.5-12)$$

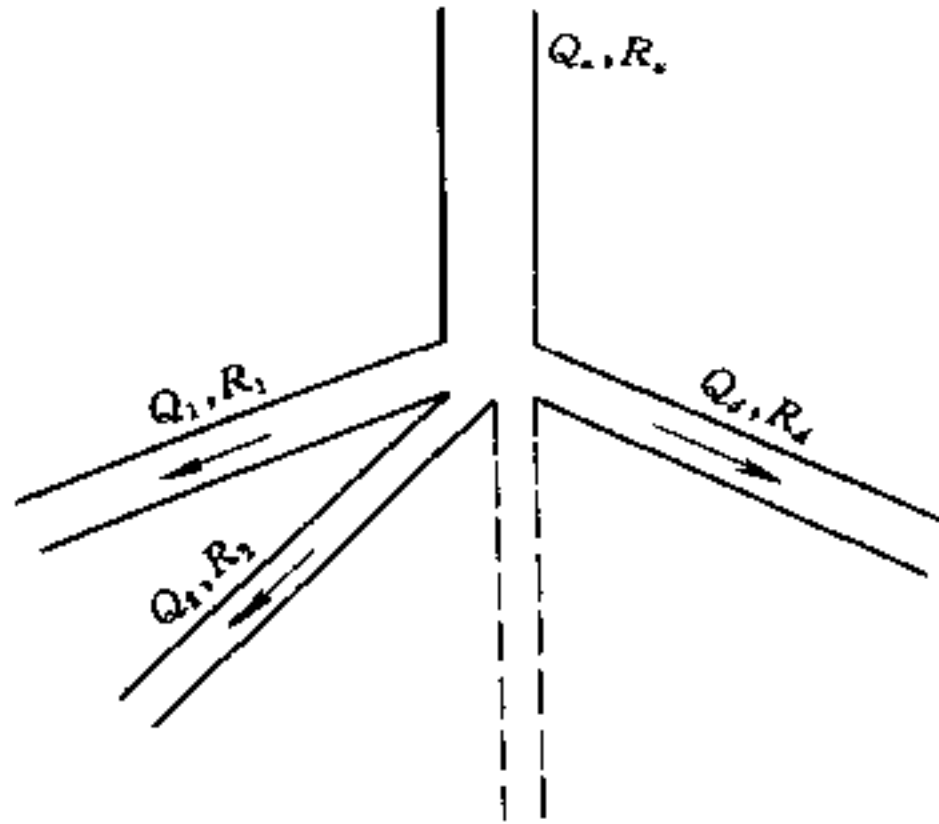


图 12.5-4 流道分支示意图

在建立分支处上下游流道段半径的关系式后, 可对式 (12.5-7) 作进一步推导, 将式 (12.5-7) 两边同乘以  $Q_r Q_s / R_r^2 R_s^2$ , 并利用  $Q_r / Q_s = R_r^2 / R_s^2$  得:

$$\frac{R_r}{R_s} = \frac{\left[ L_r + \sum_{k=1}^{M_r} \frac{Q_r}{Q_k} \cdot \frac{R_k^2}{R_r^2} \cdot L_k \right]}{\left[ L_s + \sum_{l=1}^{M_s} \frac{Q_s}{Q_l} \cdot \frac{R_l^2}{R_s^2} \cdot L_s \right]} \quad (12.5-13)$$

由式 (12.5-10) 有:

$$\frac{Q_u}{Q_d} = \frac{\sum_{i=1}^d R_i^3}{R_d^3} = 1 + \sum_{i=1}^{d-1} r_i$$

其中:  $r_i = R_i^3 / R_d^3$ , 另外, 由式 (12.5-12) 可推导出:

$$\left( \frac{R_d}{R_u} \right)^2 = \left( \frac{R_d^3}{\sum_{i=1}^d R_i^3} \right)^{2/3} = \left( 1 + \sum_{i=1}^{d-1} r_i \right)^{-2/3} \quad (12.5-14)$$

于是:  $\frac{Q_u}{Q_d} \cdot \frac{R_d^2}{R_u^2} = \left( 1 + \sum_{i=1}^{d-1} r_i \right)^{1/3} \quad (12.5-15)$

则式 (12.5-13) 最终表示为:

$$\frac{R_r}{R_s} = \frac{L_r + \sum_{k=1}^{M_r} \left[ \prod_{j=1}^k \left( 1 + \sum_{i=1}^{d_j-1} r_i^j \right)^{1/3} \right] L_k}{L_s + \sum_{l=1}^{M_s} \left[ \prod_{j=1}^l \left( 1 + \sum_{i=1}^{d_j-1} r_i^j \right)^{1/3} \right] L_l} \quad (12.5-16)$$

其中,  $L_i$  是流道元素  $i$  的长度;  $d_j$  是流道元素  $j$  处具有的分支数。

$$r_i^j = R_i^3 / R_j^3 \quad i = 1, 2, \dots, d_j - 1 \quad (\text{如图 12.5-1 所示, } d_1 = 4, d_2 = 3)$$

利用式 (12.5-12) 和式 (12.5-16), 若已知流道总体积和分流道各部分长度, 则可求出各流道段的半径, 用这种方法计算得到的各流道半径在理论上能保证各分流道保持恒定的流量, 并使熔体同时到达各型腔分流道的末端。这里应注意的是, 式 (12.5-12) 和式 (12.5-16) 与材料特性、注射速度和型腔几何形状无关, 因此改变这些参数均无需对流道设计作任何修正。

### 3. 浇口的设计

浇口在流道系统中用以改变各个型腔的体积流量, 以便使各个型腔同时被充满。

例如, 设型腔  $i$  的流量和体积分别为  $q_i$  和  $V_i$ , 型腔  $j$  的流量和体积分别为  $q_j$  和  $V_j$ , 则有:

$$\frac{q_i}{q_j} = \frac{V_i}{V_j} \quad (12.5-17)$$

如图 12.5-5 所示, 沿各流动路径的压力降应相等, 故有:

$$\begin{aligned} \Delta P_{i,r} + (\text{沿流动路径 } r \text{ 的压力降}) &= \\ \Delta P_{i,s} + (\text{沿流动路径 } r \text{ 的压力降}) & \end{aligned} \quad (12.5-18)$$

式中,  $\Delta P_{i,r}$  和  $\Delta P_{i,s}$  分别为浇口  $r$  和浇口  $s$  的压力降, 可由式 (12.5-1) 求得。

当已知所有浇口的长度以及某一浇口半径 (例如, 规定浇口的最小允许半径值) 后, 可由以上两式计算出所有浇口的半径, 以这种方法算得的浇口半径在理论上能使所有型腔以同样的压力同时充满, 应注意的是式 (12.5-18) 与材料特性有关, 故当改变塑料品种时, 需要修正浇口的尺寸。

## 二、熔体流动有限差分析

### 1. 型腔等效

初始流道设计是采用等温假设, 同时未考虑型腔的情况, 初步计算出各流道段尺寸。这种计算结果与实际情况有一定差距, 因而必须视流道-浇口-型腔为一体, 须将非等温流动特性反映到流道和浇口的设计中。然而若将所有型腔和流道系统视为一体, 进行非等温、非牛顿、非稳态的三维流动分析, 势必造成分析时间过长, 并且与流动平衡的反复设计特色相悖。研究表明, 快速三维流动分析 (等温、稳态分析), 对流动前沿的预测与详细三维流动分析很接近, 而前者所需分析时间很短, 因此, 可先对单个型腔

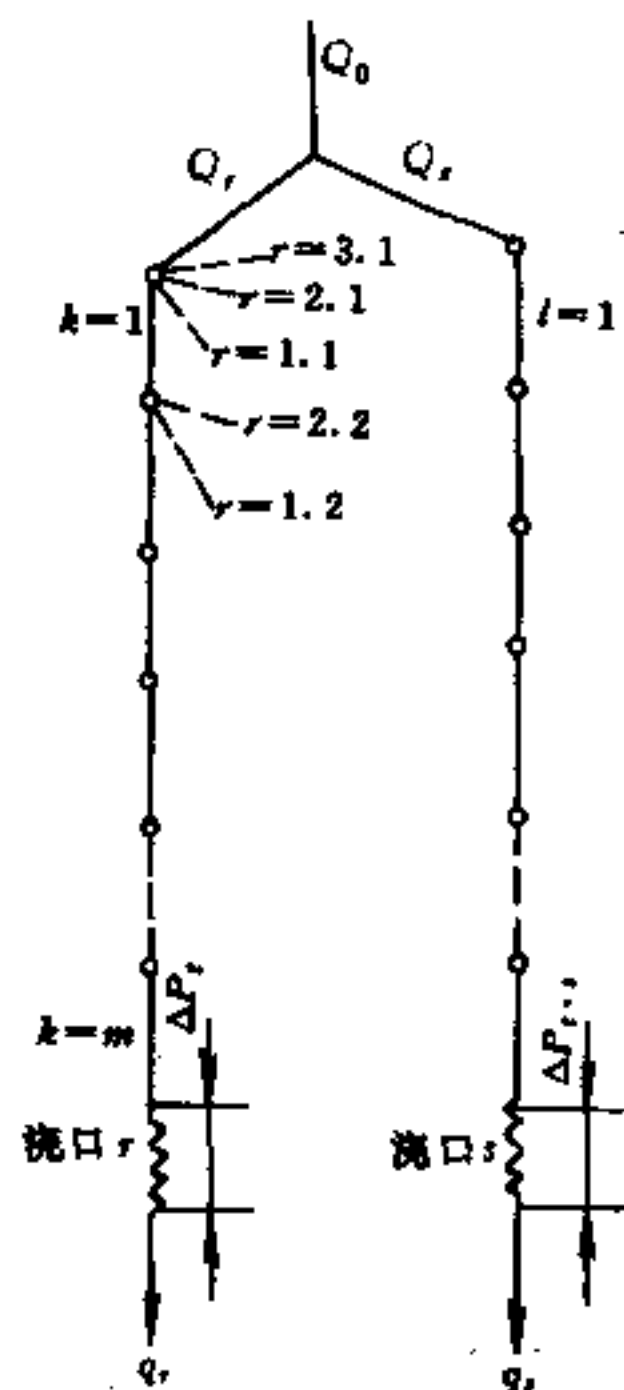


图 12.5-5 浇口设计

进行快速流动分析以确定浇口位置,同时获得各腔的体积和制品平均厚度。对单腔多浇口的情况,获得对应各浇口的充填体积和制品平均厚度。然后将型腔等效为一中心浇口的半圆型腔,其半径为:

$$R_i = \sqrt{\frac{2V_i}{\pi h_i}}$$

式中  $V_i$ 、 $h_i$  和  $R_i$  分别表示第  $i$  个型腔的体积、制品平均厚度和等效半径。最后对熔体在流道系统和等效后的型腔中的流动进行有限差分计算。这样,可大大缩短所需分析时间,其分析精度满足工程设计要求。

## 2. 数学模型

### (1) 流道分析

以  $x$ 、 $r$  分别表示流道(圆管)的轴向和径向坐标,则塑料熔体的动量与能量方程简化为,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \eta r \frac{\partial u}{\partial r} \right) - \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (12.5-19)$$

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{K}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \eta \left( \frac{\partial u}{\partial r} \right)^2 \quad (12.5-20)$$

且体积流量与熔体粘度可分别表示为

$$Q = 2\pi \int_0^R r u dr \quad (12.5-21)$$

$$\begin{aligned} \eta(\dot{\gamma}, T) &= m_0 g(T) \dot{\gamma}^{n-1}; \\ g(T) &= \exp(T_a/T - T_a/T_0) \end{aligned} \quad (12.5-22)$$

其中:  $T$ 、 $P$  分别表示温度和压力,  $u$  为轴向速度;  $\eta$  为粘度;  $R$  为流道半径  $m_0$ 、 $T_a$  和  $n$  为物料常数,  $T_0$  为熔体注射温度。一般圆形流道内熔体的流动是对称的,可采用如下边界条件:

$$u = 0; T = T_w, \text{ 对 } r = R \quad (12.5-23)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = 0; \frac{\partial T}{\partial r} = 0, \text{ 对 } r = 0 \quad (12.5-24)$$

经推导有:

$$\Delta = -\frac{\partial P}{\partial x} = 2m_0 \left( \frac{Q}{\pi s} \right)^n; s = \int_0^R r^2 \left( \frac{r}{g} \right)^{1/n} dr \quad (12.5-25)$$

$$\dot{\gamma} = \left( \frac{\Delta r}{\alpha m_0 g} \right)^{1/n}; u = \int_r^R \dot{\gamma} dr \quad (12.5-26)$$

分别沿圆形流道的轴向( $x$ 方向)和径向( $y$ 方向)引入均匀差分网格,温度方程(12.5-20)的差分格式为:

$$A_j T_{i,j-1,k} + B_j T_{i,j,k} + C_j T_{i,j+1,k} = D_j \quad (12.5-27)$$

式中系数  $A_j$ 、 $B_j$ 、 $C_j$ 、 $D_j$  可从差分方程过程中推得。 $i$ 、 $j$ 、 $k$  分别表示沿轴向、径向和对时间的差分。

### (2) 型腔分析

以  $x$ 、 $y$  分别表示流动方向和沿型腔厚度方向的坐标,则塑料熔体在等效型腔(中

心浇口的半圆盘中流动的控制方程为：

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (12.5-28)$$

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \eta \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \quad (12.5-29)$$

$$Q = \Gamma(x) \int_{-b}^b u dy \quad (12.5-30)$$

其中， $b$  为型腔厚度一半， $\Gamma(x) = \pi x$ ；其他参数的意义如同流道分析中说明，同样，引入对称边界条件。

$$u = 0; T = T_w, \text{ 对 } z = b \quad (12.5-31)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0; \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \text{ 对 } z = 0 \quad (12.5-32)$$

经推导有：

$$\Lambda = - \frac{\partial P}{\partial x} = m_0 \left( \frac{Q}{\partial \Gamma(x) S} \right)^n; S = \int_0^b y \left( \frac{y}{g} \right)^{\frac{1}{n}} dy \quad (12.5-33)$$

$$\dot{\gamma} = \left( \frac{\Lambda y}{m_0 g} \right)^{1/n}; u = \int_y^b \dot{\gamma} dy \quad (12.5-34)$$

同样，分析沿型腔壁厚方向（ $y$  方向）和流动方向（ $x$  方向）引入均匀差分网格，可得温度方程（12.5-29）的差分形式如同式（12.5-20）。

### (3) 温度场和压力场计算

求解温度场时，考虑到数值计算的稳定性，时间导数项及热对流项均采用向后差分格式，式（12.5-27）的系数矩阵为一对角占优势的三对角阵，采用追赶法求解，获得截面的温度分布，然后由式（12.5-25）、（12.5-26）或式（12.5-33）、式（12.5-34）计算速度、剪切速率和压力梯度。由于问题的非线性，这一求解过程需迭代，迭代收敛后，可得到  $x_i$  截面上压力梯度，剪切速率与速度分布。在当前时刻（ $t_k$ ）所有截面的计算完成后，根据流量及差分网格确定时间增量  $\Delta t_k$ ，继续下一时刻（ $t_{k+1} = t_k + \Delta t_k$ ）的计算，直至流道、型腔全部被充满。

### (4) 分支处的流量分配

流量分配的原则和初步平衡分析中提出的原则相同，即上游流量等于下游各分支流量之和（流量守恒）；流动前沿更新时，各分支流道段上的压力降相等，此时压力降的计算要考虑测试的变化，如图 12.5-4 所示，为一流道分支图，根据上述原则有：

$$P_i = P_{i+1}, i = 1, 2, \dots, m-1$$

$$\sum_{i=1}^m Q_i = Q \quad (12.5-35)$$

上式等价于：

$$P_i(Q_i) - P_{i+1}(Q_{i+1}) = 0, i = 1, 2, \dots, m-1$$

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_m - Q = 0 \quad (12.5-36)$$

式中， $m$  表示流动路径数，在求出各流动路径的流量后，便可计算出各流动单元内的流量，由于式（12.5-36）是以  $Q_1, Q_2, \dots, Q_m$  为变量的非线性方程组，因此求解式（12.5-36）时，可选采用 Newton-Raphson 方法对式（12.5-36）进行线性化处理，然后求解，具体做法为：先根据流量与流道半径的立方成正比的原则进行初始流量分



配, 计算出各流动路径的压力降  $P$ , 再依次将各流动路径的流量作微小改变, 计算其对各流动路径的压力降的影响及其比例系数  $RR(i, j)$ , 即:

$$RR(i, j) = \frac{\partial P_i}{\partial Q_j} = \frac{P'_i - P_i}{DQ(j)} \quad (i, j = 1, 2, \dots, m)$$

式中  $DQ(j)$  为流量的微小变动量;  $P$  为流量改变后的压力降。于是, 根据 Newton-Raphson 法, 有:

$$P_i + \sum_{j=1}^m RR(i, j) \cdot \Delta Q(j) = DPT \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (12.5-37)$$

式中,  $DPT$ 、 $\Delta Q(j)$  分别为各流动路径的压力降相等时的压力降和所需的流量变化,  $Q(j)$  应满足:

$$\sum_{j=1}^m \Delta Q(j) = 0 \quad (12.5-38)$$

将式 (12.5-37) 和式 (12.5-38) 写成矩阵式有:

$$\begin{bmatrix} RR_{11} & RR_{12} & \cdots & RR_{1m} & -1 \\ RR_{21} & RR_{22} & \cdots & RR_{2m} & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ RR_{m1} & RR_{m2} & \cdots & RR_{mm} & -1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta Q(1) \\ \Delta Q(2) \\ \vdots \\ \Delta Q(m) \\ DPT \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -P_1 \\ -P_2 \\ \vdots \\ -P_m \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (12.5-39)$$

解方程组 (12.5-39) 式即可得到压力降  $DPT$  和流量变化量  $Q(j)$ , 由此可计算出各流动路径的流量:

$$Q'_j = Q_j + \Delta Q(j) \quad j = 1, 2, \dots, m$$

在上述详细平衡分析过程中, 若某时刻流动路径  $i$  被充满, 则在下一时刻进行初始流量分配时, 各未充满流动路径流量均需乘以系数  $Q/(Q - Q'_i)$ 。

当完成一次平衡分析后, 得到每条流动路径的充满时间和压力, 若各流动路径以相同的压力同时充满, 则计算结束, 否则采用线性插值的方法修改流道段的尺寸, 重新计算, 直到各流动路径以相同的压力同时充满。

## 12.6 结构零件强度与刚度校核

注射成型时, 模腔压力高达几百个大气压, 甚至上千个大气压, 致使模具产生变形引起制品形状和尺寸的变化。目前, 模具设计师大多是凭经验或采用经验公式计算型腔尺寸。由于经验公式的局限性和模具结构的复杂性, 一方面, 设计出的模具常因强度或刚度不足导致制品超差、脱模困难甚至模具报废, 另一方面, 模具过于笨重, 造成原材料的浪费和模具返修困难, 为保证模具正常的工作并获得优质的塑料制品, 对模具进行强度和刚度校核具有重要意义。

### 12.6.1 校核准则

模具的强度和刚度校核应以型腔内的最大压力为准。强度校核的准则是模具零件在各种受力形式下的应力值不超过材料的许用应力, 刚度校核准则是模具沿合模方向的变



形量和垂直于合模方向的变形量不超过允许值。刚度计算的条件则由于模具的特殊性，可以从以下三个方面确定刚度条件，即正如 4.4.3 节已提出的那样：

1. 保证模具型腔不出现溢料 当高压塑料熔体注入型腔时，在型腔的某些配合面上会产生足以溢料的间隙，这时型腔的允许变形量即为塑料的最大不溢料间隙。

2. 保证制品尺寸不超差 模具型腔的刚性直接影响塑料制品的精度。这就要求尺寸精度要求高时，型腔的刚性要好，这时型腔的允许变形量可根据制品尺寸及其公差来确定。

3. 保证制品脱模顺利 当塑料熔体压力使型腔产生的弹性变形量超过制品的收缩值时，制品将被型腔紧紧包住而难以脱模，此时型腔的允许变形量为制品壁厚的收缩值。

## 12.6.2 计算方法

通过对模具结构和受力分析可将模具型腔分为规则和不规则两大类。通常计算时，将不规则型腔简化为规则型腔进行计算，型腔内受压产生变形最明显的是侧壁的挠曲变形与型芯的歪斜变形，这些变形均难以进行精确计算，一般采用简化方式进行计算，计算方法大致可归纳为如下两种：

(1) 将模具按其特性分成几个元件，并考虑其弹性行为，计算模具的总变形量，即以所谓的叠加法计算模具的总变形量；

(2) 对注射模典型剖面进行二维有限元变形分析。

下面分述这两种计算方式。

### 一、叠加法计算

#### 1. 基本加载情况

分析现有模具的受力情形，则可将引起模具变形的载荷进行简化，即分解成若干个基本加载情况，图 12.6-1 示出模具受载图及其变形计算公式。

若将以上这些基本图形进行适当的组合，就可得到与实际情况相近的加载情况。通常模具可能出现的受载情况可简化为：单独载荷，并联方式联合受载和串联方式联合受载。针对受载情况，根据弹性理论可采用叠架方法得出模具的整个变形情况。

#### 2. 叠加计算

一个完整的模具由不同的部件组成，虽然各部件承受不同的载荷，但模具内任何部分都具有相同的相互关系，故可将模具的各部件看作弹性系数不同的弹簧，分别计算出各自的变形，然后由模具可能的受载情况计算出总的变形。

##### (1) 并联方式联合受载变形计算

对于具有并联方式的联合受载的各元部件，在受载情况下，具有相同的变形量，整个载荷可分配于各部件承担，如图 12.6-2 (a) 所示。

$$F = F_1 + F_2 \quad (12.6-1)$$

弹簧的总变形量为：

$$1/f = 1/f_1 + 1/f_2 \quad (12.6-2)$$

(2) 串联方式联合受载变形计算 对于具有串联方式的联合受载的各元部件，在受载的情况下，各弹簧承受全部载荷，而不是按比例受载，如图 12.6-2 (b) 所示。

$$F = F_1 + F_2 \quad (12.6-3)$$

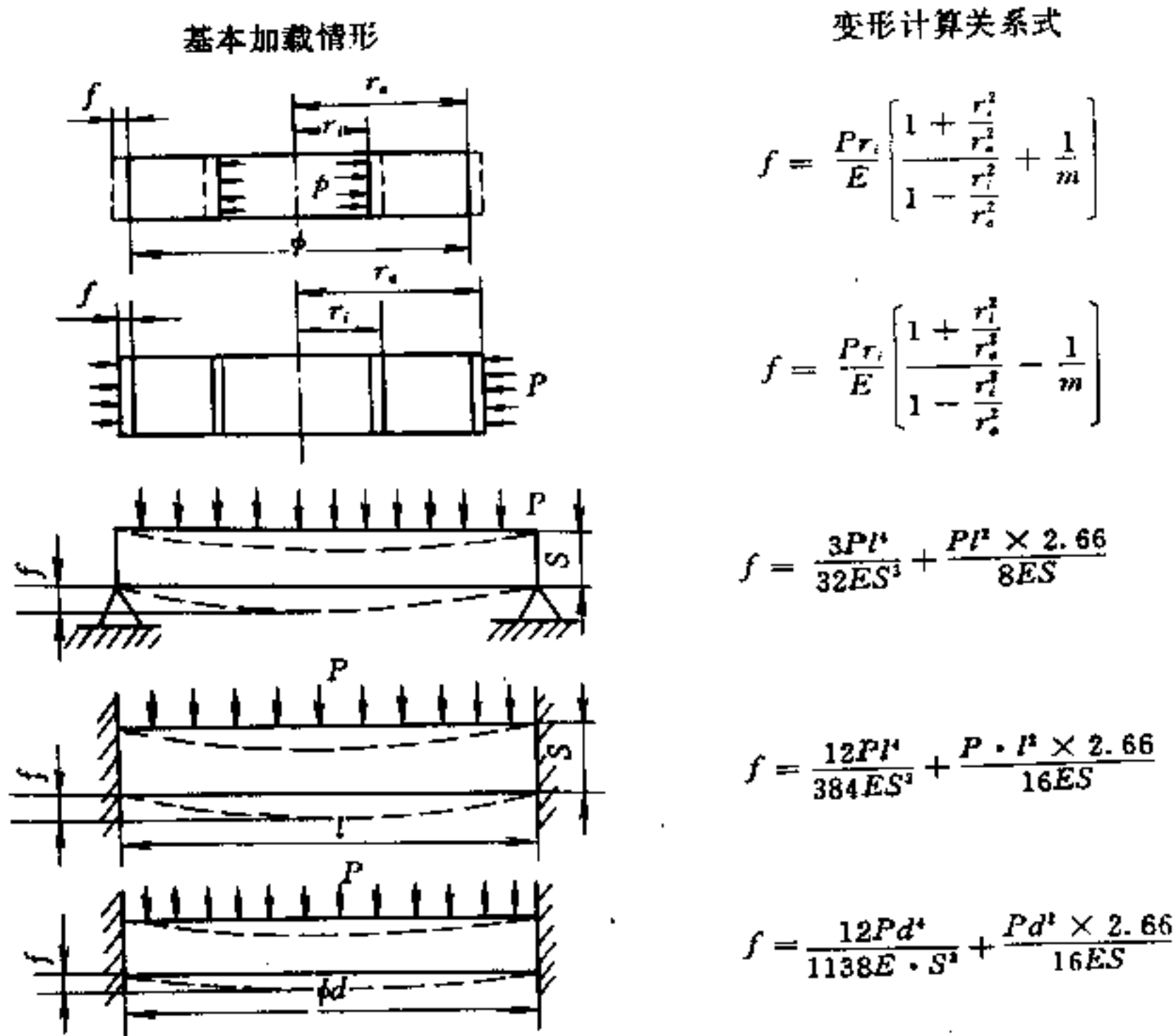


图 12.6-1 模具基本加载情况及变形计算关系式

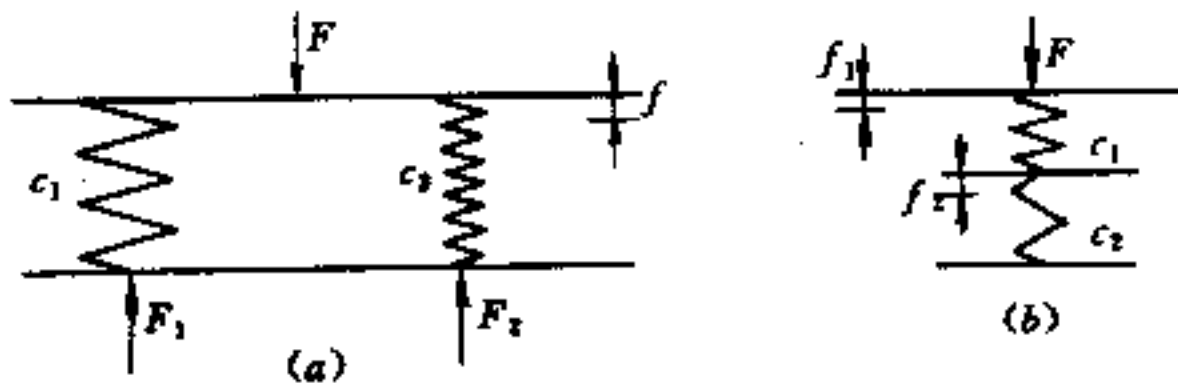


图 12.6-2 模具可能的受载方式

弹簧的总变形量为：

$$f = f_1 + f_2 \tag{12.6-4}$$

根据上述基本的叠加方式可以按模具的实际情况组合成各种串联式并联的等效弹簧模型，如图 12.6-3 所示。注射模具的某一典型结构，用叠加法可得到图 12.6-3 (b) 所示的等效模型，变形的数学表示式为：

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1 + f_2/2} + \frac{1}{f_3 + f_4}$$

如果已知模型中每一零件的参数（形状、尺寸、加载类型）以及总载荷  $P$ ，便足以使设计人员确定单个零件的变形以及它们之间的变形叠加，算出分型面处的总变形以及确定零件的最小尺寸（如模板的最小厚度，模具型腔的最小外径）。这些计算如果采用手工方法，重复性很大，且很费时间，采用程序进行计算，就可避免这些问题。

### 3. 叠加法的计算机实施过程

采用计算机程序进行刚度计算，一方面可以简化其计算过程，另一方面可用图形显

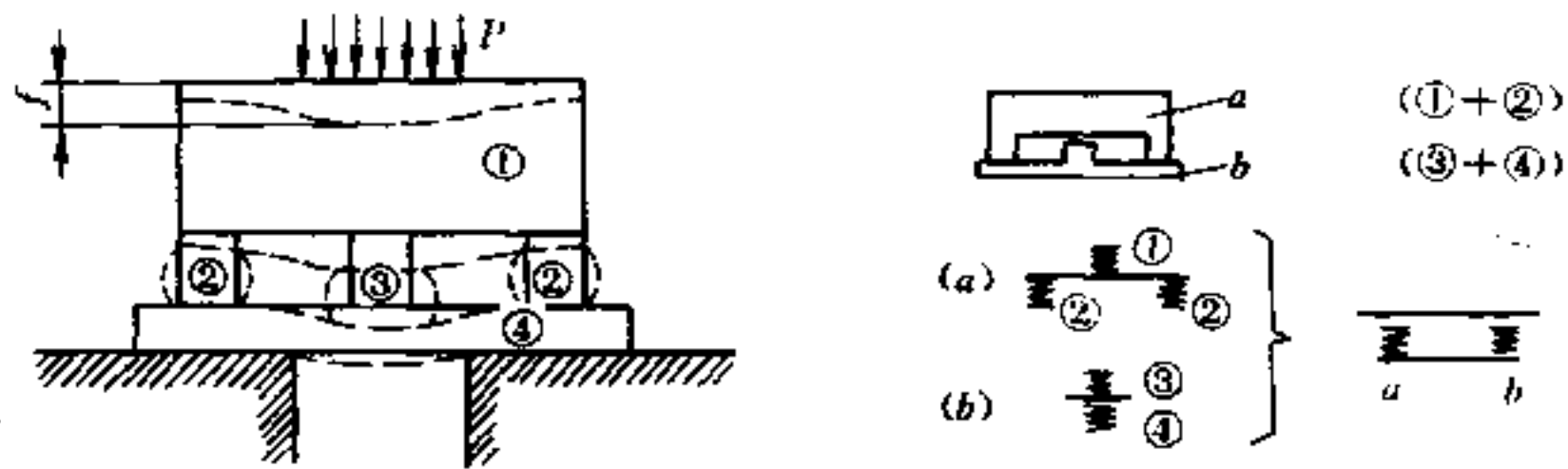


图 12.6-3 注射模某一典型结构及其等效弹簧模型

示的方式直观地显示出计算结果。下面给出采用计算机程序实施叠加法的计算过程。

(1) 给定计算程序所需的初始值，如塑料的品种及型腔的压力值，一旦确定这些参数，就可以从数据库里查找出相应的收缩值、最大溢边值等校核条件。

(2) 由用户按交互方式选取模具的结构形式，用户可依型腔的结构型式选择整体圆形，组合式或非圆形的结构型式及各种不同的支撑方式。

### (3) 变形计算

一旦确定了结构型式就意味着确定了相应的加载方式及变形计算方式，根据上面几节所给出的计算公式及叠加方法，可以很快地计算出型腔壁的最小厚度及模板的最小厚度或整个模具沿分型面方向上的  $x$ 、 $y$  方向的最大变形量。

### (4) 结果显示

所有的计算结果以文本的方式在屏幕上实时显示，并与校核条件相比较，给出相应的建议。

## 二、结构零件强、刚度二维有限元分析

对注射模而言，三维有限元分析所耗时间太多，工作量也相当大。一般可简化为注射模典型剖面进行二维变形分析，问题可归结为二维弹性应力问题求解，其解题步骤为：

(1) 有限元网络的自动划分 由于三角形单元计算方便，对边界的描述比较精确，比较适合于复杂的注射模设计，因而可采用单元移出法，对注射模典型剖面进行二维变形分析。该方法是通过反复离散边界，按一定规则联接边界结点，产生新边界，形成三角形网格。如果划分后的网格有  $N$  个结点， $NE$  个单元，若单元  $E$  的结点写为  $i$ 、 $j$ 、 $m$  则单元的结点位移可表示为：

$$\{\delta\} = \{U_i, V_i, U_j, V_j, U_m, V_m\} \quad (12.6-5)$$

式中  $U_i$ 、 $V_i$  ( $i = i, j, m$ ) —— 结点沿  $X$  和  $Y$  方向的位移。

(2) 选择插值函数，计算单元刚度矩阵，单元内任意点的位移通过线性插值求得：

$$U = N_i U_i + N_j U_j + N_m U_m \quad (12.6-6)$$

$$V = N_i V_i + N_j V_j + N_m V_m \quad (12.6-7)$$

式中， $N_i$  为形函数

$$N_i = (a_i + b_i x + c_i y) / 2\Delta \quad (12.6-8)$$

$$a_i = x_j y_m - x_m y_j$$

$$b_i = y_j - y_m$$

$$c_i = x_m - x_j$$

$\Delta$  为三角形单元的面积,  $(x_i, y_i)$  为结点坐标。

对于平面问题, 三角形单元的几何矩阵  $[B]$  为:

$$[B] = [B_i] [B_j] [B_m] \quad (12.6-9)$$

$$[B_i] = 1/2\Delta \begin{bmatrix} b_i & 0 \\ 0 & c_i \\ c_i & b_i \end{bmatrix} \quad (i = i, j, m) \quad (12.6-10)$$

对于平面应力问题, 三角形单元的弹性矩阵  $[D]$  为:

$$[D] = \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\mu)/2 \end{bmatrix}$$

根据弹性有限元有关理论, 单元刚度矩阵:

$$[K]^e = [B]^T [D] [B] t\Delta$$

式中  $t$ ——单元厚度。

- (3) 计算整个平面区域内的系统刚度矩阵。
- (4) 求解系统刚度矩阵, 计算所有结点的场函数值。
- (5) 根据结点的函数值, 计算出位移或应力, 应变值。

程序结构如图 12.6-4 所示, 整个程序由前置处理, 有限元分析, 后置处理三部分组成。前置处理包括型腔图形输入、网格自动生成、边界条件处理和模具材料选择。材料选定后, 程序将自动从材料库中读入相应的性能参数。后置处理包括显示型腔尺寸、变形值、应力值、变形后的网格形状及应力等值线图。

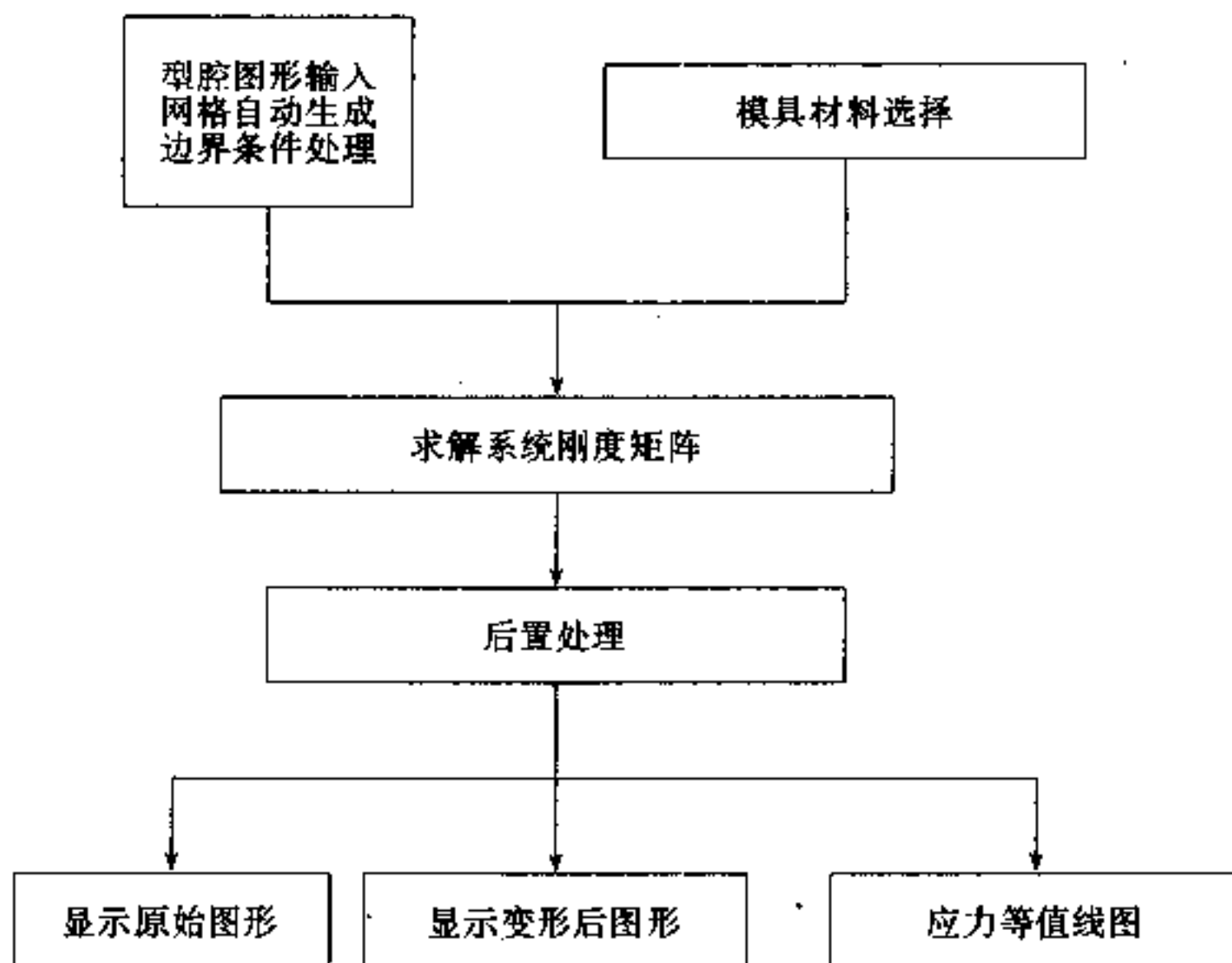


图 12.6-4 注射模结构零件有限元分析程序框图

## 12.7 专家系统在注射模中的应用

### 12.7.1 专家系统结构简介

专家系统是具有相当于专家的知识 and 经验水平，以及解决问题能力的计算机系统，如图 12.7-1 所示为专家系统的基本结构图。

知识库是专家系统的核心，在知识库中配备有知识获取模块，该模块以某种方式从人类专家那里获得解决某具体领域问题的知识。知识的表达方式通常有规则、框架、语义网络等。

推理机完成这样的功能，它接受用户通过人机接口模块传达下来的咨询要求，运用知识库中存放的知识进行推理，并将推理所得的结果通过人机接口模块返回给用户。推理时需对知识进行选择，选择知识的过程即推理机的控制策略，通常运用的控制策略有正向推理、反向推理、正反向混合推理等。

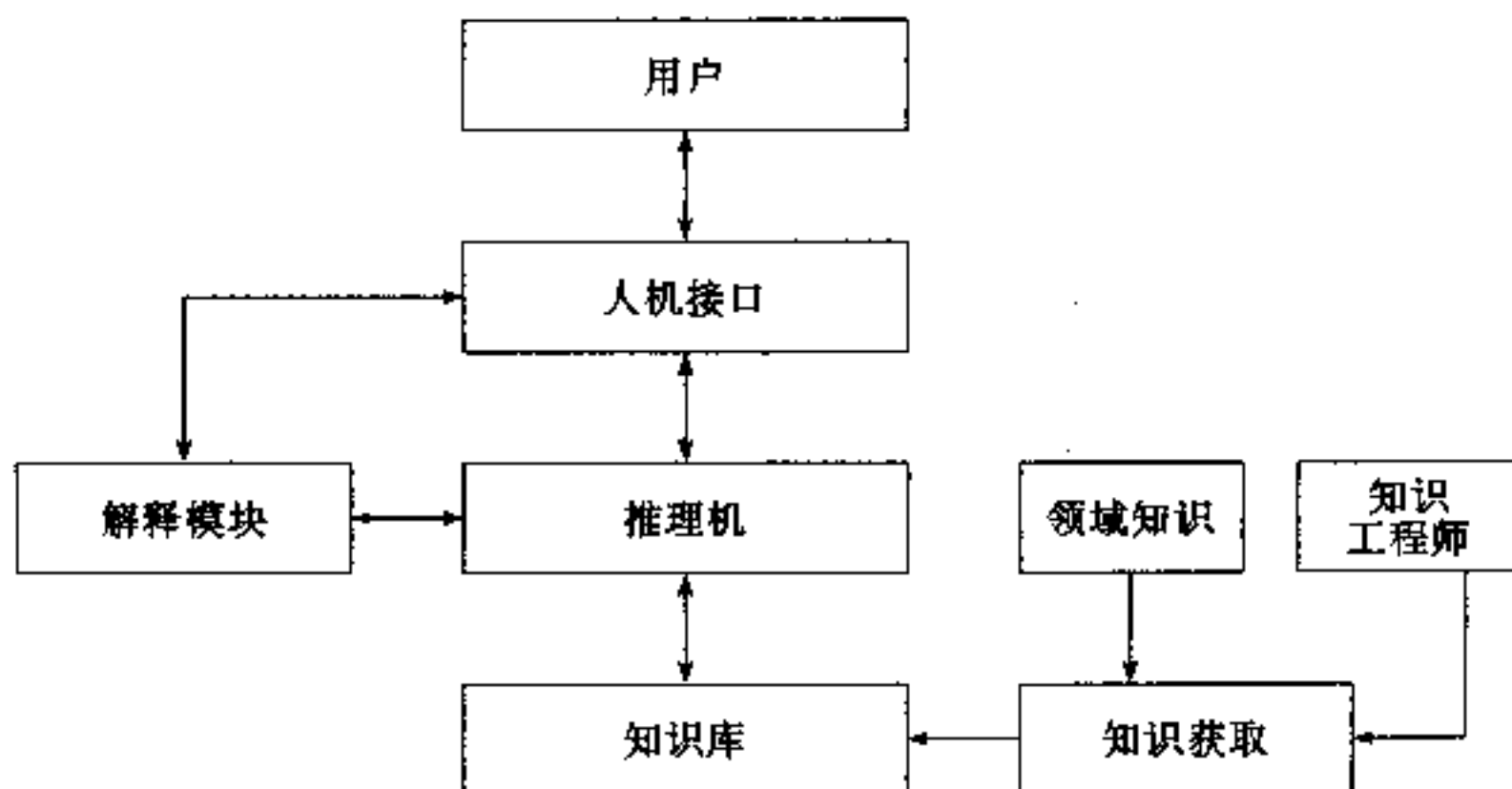


图 12.7-1 专家系统的基本结构

解释模块负责解答用户的疑问，一方面解释系统是如何得出这般结论的？另一方面解释系统为什么要提问有关的数据。对于任何一个实用的专家系统来说，解释功能都是不可缺少的，否则它就是一个“黑匣子”。

人机接口是用户与系统交换信息的通道，它除了传递咨询请求和返回咨询结果的功能之外，在推理过程中还提供专家系统和用户之间的信息传递手段，使系统可以向用户询问一些有关的信息，并从用户那里得到回答。

### 12.7.2 在注射模中的应用

人工智能引入 CAD 系统是高新技术发展和应用的必然趋势，尤其对于过份依赖于专业人员知识能力和实践经验的注射模设计与制造，急需利用人工智能技术给予支持和改进，以提高 CAD 系统的性能，降低对使用者的要求。人工智能可以运用专家的领域知识进行推理和判断，较好地解决传统 CAD 系统的不足，为其在工业生产中的应用、推广提供了良好的前景。



将人工智能技术引入 CAD 系统是一项艰巨而又具有重要意义的任务，其过程也是循序渐进的。首先应用到注射过程中的是最依赖于专业技术人员干预的部分，如材料优选、注射件缺陷及注射成形故障的诊断和分析以及注射模浇注、冷却、顶出系统的设计等。人工智能系统在塑料成形方面的开发和应用包括：

(1) 注塑件材料选择专家系统 面对品种繁多，形态多样的塑料，要选取一种适合具体实际应用的材料常常需要考虑许多情况，往往由于选择不合适，造成人力、物力和时间的严重浪费。美国 Cornell 大学开发的注射成形材料选择专家系统建立了大约 5000 种塑料的庞大数据库，整个系统用 C 语言开发，利用数据库管理系统，通过人机界面，根据用户提供的塑料制品使用工作环境进行推理判断，从材料数据库中选取合适的塑料材料，同时赋予可信度值以给出优选的程度。

#### (2) 注塑件缺陷分析诊断专家系统

目前，注塑件缺陷诊断专家系统通常应用在以下两个方面。一方面是根据塑料制品在注射成形过程中出现的各种缺陷和故障，分析产生缺陷和故障的原因，提出避免这些问题的方法和措施；另一方面是根据设计结果，分析在注射成形过程中可能产生的缺陷和故障，解释产生的原因，并提出改进的措施及方法。国内上海交大模具技术研究所开发的 IMDDEXP 系统，能对 30 种常见的注塑件缺陷及注射成形故障，运用不精确推理完成诊断和分析。该系统使用 Turbo Prolog 语言开发，主要由知识库，咨询、编辑、材料数据库和推理机等模块组成。

(3) 注射模普通浇注系统设计专家系统 注射模浇注系统的设计对生产效率和制品质量有直接的影响，是模具设计的重要一环。设计流道、浇口、大多是根据经验按制品类型确定，这样往往会造成原料的损耗和生产率低下，利用专家系统再结合经验以及多方面的判断因素，则可使设计的浇注系统该有较高的成功率。

(4) 注射模冷却系统设计专家系统 塑料注射成型中，冷却时间约占整个成形周期的三分之二，所以设计冷却系统时，遵循的原则是达到：最短的冷却时间；整个制品均匀冷却；模具和模腔间冷却平衡。用数值模拟方法可以分析冷却过程，进行冷却系统的设计。但该过程是一个交互式的再设计过程，必须是在设计人员观察分析结果后进行反复。为弥补数值模拟的不足，使其具有推理决策的能力，可开发出冷却系统设计专家系统，将数值模拟技术和专家系统技术相耦合，提高整个系统的优化设计能力。

另外，专家系统应用于注射模设计方面还有注射成形工艺条件优选、注射机选择、分型面的选择、顶出系统设计等等。

## 参考文献

- 1 李志刚等. 模具 CAD/CAM. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 2 胡瑞安. 计算机辅助几何设计. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987
- 3 孔庆复. 计算机辅助设计与制造. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1994
- 4 (德) G. 曼格斯. 塑料注射成型模具的设计与制造. 李玉泉译. 北京: 中国轻工业出版社, 1993
- 5 王勇领. 系统分析与设计. 北京: 清华大学出版社, 1991
- 6 任仲贵等. CAD/CAM 原理. 北京: 清华大学出版社, 1990
- 7 李德群等. 塑料成型模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 8 胡俊翘. 注制品缺陷诊断专家系统的研究及应用. 计算机应用. 1994
- 9 敬喜等. dBASE 新一代关系型数据库管理系统. 北京: 清华大学出版社, 1986
- 10 傅京孙等. 人工智能及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1986



## 第十三章 注射模 CAE

CAE (计算机辅助工程) 所包含的内容十分广泛。CAE 将工程设计、试验、分析、文件生成乃至制造贯穿于产品研制过程的每一个环节之中, 以计算机为辅助工具来指导和预测产品在构思、设计与制造阶段的行为。目前, 注射模 CAE 仅限于注射过程的计算机分析, 即模拟注射成型中熔体充模、保压与冷却过程以及预测塑料制品在脱模时的翘曲变形。

### 13.1 充模过程的数学描述

注射成型充模过程属非牛顿流体、非等温、非稳态的流动过程, 基于其粘性流体力学的基本方程虽然在原则上能够求解, 但并无实用价值。只有引入合理而必要的假设与简化, 并结合特定的边界条件, 才能采用数值方法求解。

#### 13.1.1 充模过程的基本方程

这些基本方程, 虽在第一章中已有详细论述, 但为适应 CAE 软件开发, 在此须做适当变动。

##### 1. 连续性方程

连续性方程是质量守恒定律对于运动流体的表达式。其矢量形式为

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (13.1-1)$$

其中,  $\rho$  为密度、 $\mathbf{V}$  为速度矢量。在直角坐标系中, 上式可表示为

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (13.1-2)$$

其中,  $u$ 、 $v$ 、 $w$  是速度矢量  $\mathbf{V}$  沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个坐标方向的分量。

##### 2. 运动方程

运动方程是动量守恒定律对于运动流体的表达式。其矢量形式为

$$\rho \frac{D\mathbf{V}}{Dt} = \rho \mathbf{F} + \nabla \cdot [\boldsymbol{\tau}] \quad (13.1-3)$$

式中,  $\mathbf{F}$  为流体单位质量的质量力、 $[\boldsymbol{\tau}]$  为应力张量, 应用广义牛顿内摩擦定律, 有

$$[\boldsymbol{\tau}] = 2\eta[\boldsymbol{\epsilon}] - (P - \nu \nabla \cdot \mathbf{V})[\mathbf{I}] \quad (13.1-4)$$

其中,  $\eta$  为流体的动力粘度、 $[\mathbf{I}]$  为单位张量、 $\nu$  为系数、 $P$  为型腔中熔体压力、 $[\boldsymbol{\epsilon}]$  为应变速率张量, 它可进一步表示为

$$[\boldsymbol{\varepsilon}] = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_y & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) & \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (13.1-5)$$

将式(13.1-4)代入式(13.1-3),则直角坐标系中粘性流体的运动微分方程为

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\eta \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \nabla \cdot \mathbf{v} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \eta \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \eta \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (13.1-6 a)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \rho F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \eta \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2\eta \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \nabla \cdot \mathbf{v} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \eta \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] \quad (13.1-6 b)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \rho F_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \eta \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \eta \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left( 2\eta \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \nabla \cdot \mathbf{v} \right) \quad (13.1-6 c)$$

### 3. 能量方程

能量方程是能量守恒定律对于运动流体的表达式。其矢量形式为

$$\rho C_V \frac{DT}{Dt} = -\mathbf{P} \nabla \cdot \mathbf{V} + \Phi + \nabla \cdot (\lambda \nabla \mathbf{T}) + \rho q \quad (13.1-7)$$

其中,  $q$  为单位质量流体的热源强度;  $\lambda$  为导热系数;  $C_V$  为定容比热容;  $\Phi$  为粘性耗散功。对于液体,  $C_V \approx C_P$  (定压比热容)。对于不可压缩流体(在充模阶段,我们假定熔体是不被压缩的),有  $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$ ,于是,在直角坐标系中,式(13.1-7)可写为

$$\begin{aligned} & \rho C_P \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ & = \eta \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right. \\ & \quad \left. + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] \\ & \quad + \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho q \end{aligned} \quad (13.1-8)$$

### 4. 应力 - 应变速率关系

广义牛顿内摩擦定律[式(1.5-1)]建立了在一般情况下应力张量与应变速率张量之间的关系,其分量形式为

$$\sigma_x = -P + \sigma_x' = -P + \nu \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\eta \frac{\partial u}{\partial x} \quad (13.1-9a)$$

$$\sigma_y = -P + \sigma_y' = -P + \nu \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\eta \frac{\partial v}{\partial y} \quad (13.1-9b)$$

$$\sigma_z = -P + \sigma_z' = -P + \nu \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\eta \frac{\partial w}{\partial z} \quad (13.1-9c)$$

或

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \eta \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (13.1-9d)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \eta \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (13.1-9e)$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz} = \eta \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (13.1-9f)$$

### 5. 状态方程

当研究可压缩流体的运动规律时,应考虑热力学参数对流体运动的影响。流体的压力  $P$ 、温度  $T$  与体积  $V$  之间的关系,由状态方程表征

$$P = P(V, T) \quad (13.1-10)$$

注射成型流动分析的实质,是在一定的边界条件下,求满足式(13.1-2)、式(13.1-6)、式(13.1-9)及式(13.1-10)的解,包括塑料熔体的压力、温度、密度及流速,并进而由式(13.1-5)及式(13.1-9)求出熔体的剪切应变速率和剪切应力。虽然,以上所列的基本方程过于复杂,需要引入必要的假设和简化,才能求解。

### 13.1.2 基本方程的简化

基于注射成型的塑料制品大多是薄壁件,塑料熔体的粘度较大,可引入如下假设与简化条件:

(1) 由于制品的厚度( $y$ 向)远小于其他两个方向( $x, z$ 向)的尺寸,熔体的粘度大,可将熔体的充模流动视为扩展层流。于是, $y$ 向速度分量可以被忽略,即  $v = 0$ ,并认为熔体中的压力不沿  $y$ 向变化,即  $\partial P / \partial y = 0$ 。

(2) 在充模流动过程中,型腔内熔体压力并不很高,且合适的浇口数量和位置可避免局部过压现象。因此在充模阶段,可认为熔体不被压缩,即  $\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$ 。

(3) 由于塑料熔体的高粘度,熔体的惯性力和重力与粘性剪切力相比均很小,可忽略不计,即忽略式(13.1-3)中的  $\rho(DV/Dt)$ 项与  $\rho F$ 项。此外,还忽略塑料熔体的弹性效应。

(4) 在熔体流动方向( $x, z$ 向)上,相对于热对流项而言,热传导项较小,可忽略不计,即忽略式(13.1-8)中的  $\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)$ 项和  $\frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)$ 项。因熔体中不含热源,可令热源强度  $q = 0$ 。

(5) 在充模过程中,熔体温度变化范围不大,可认为熔体的比热容  $C_p$ 和导热系数  $\lambda$ 皆为常数。

(6) 忽略熔体前沿附近区域喷泉效应的影响。

### 13.1.3 数学模型及边界条件

利用上节的假设和简化,由充模过程的基本方程可得到如下一组控制方程:

$$\frac{\partial(b\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(b\bar{w})}{\partial z} = 0 \quad (13.1-11)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \quad (13.1-12)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \frac{\partial w}{\partial y} \right) = 0 \quad (13.1-13)$$

$$PC_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \eta \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (13.1-14)$$

式中  $b$ ——型腔的半个厚度；

$\bar{u}$ 、 $\bar{w}$ ——分别为  $x$  和  $z$  方向熔体的平均流速。

其它符号同以前各式。

关于  $y$  向速度和温度边界条件,可以假定熔体的流动关于型腔中心层( $y = 0$ )对称,如图 13.1-1 所示,即

$$u = w = 0; \quad T = T_w \quad \text{对 } y = b$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad \text{对 } y = 0$$

在实际注射成型过程中,受制品形状、模具结构形式的限制,模具型芯与型腔的冷却效果不可能达到完全一致,而且型芯模壁和型腔模壁的温度随空间位置变化。此外,熔体接触模壁的瞬间,其温度不可能骤冷至模壁温度。因此, $y$  向的速度和温度边界条件一般是非对称的,如图 13.1-2 所示,即

$$u = w = 0; \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_w^+) \quad \text{对 } y = b \quad (13.1-15a)$$

$$u = w = 0; \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_w^-) \quad \text{对 } y = -b \quad (13.1-15b)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 0 \quad \text{对 } y = y_0 \quad (13.1-15c)$$

式中  $\lambda$ ——导热系数；

$h$ ——对流热系数；

$T_w^+$ 、 $T_w^-$ ——分别为型芯模壁和型腔模壁的温度。

$h$ 、 $T_w^+$  和  $T_w^-$  需要通过与冷却分析的耦合计算才能确定。所以,对称边界条件为大多数流动分析软件所采用;非对称边界条件只有当流动与冷却分析相关联时才能够采用。

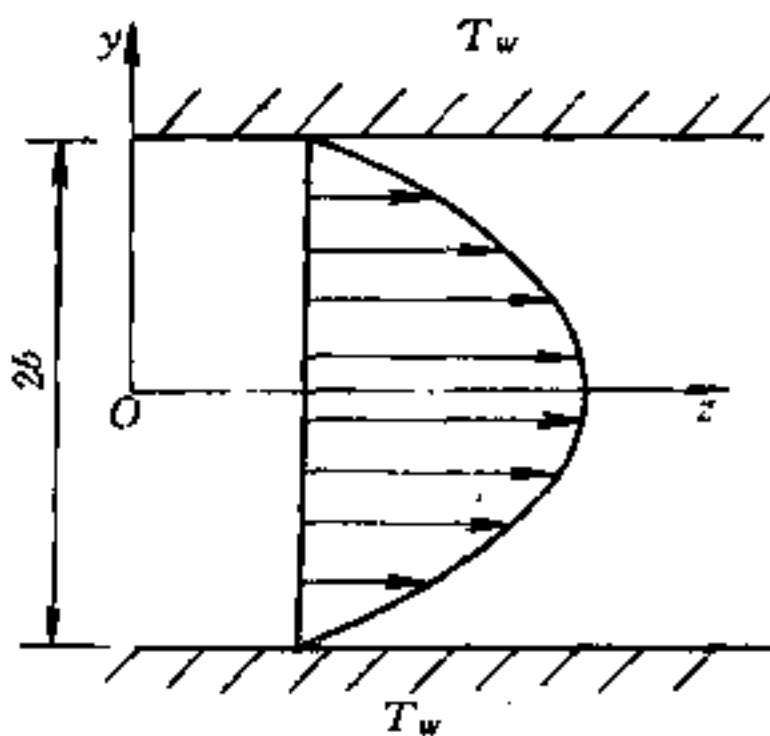


图 13.1-1 对称边界条件示意图

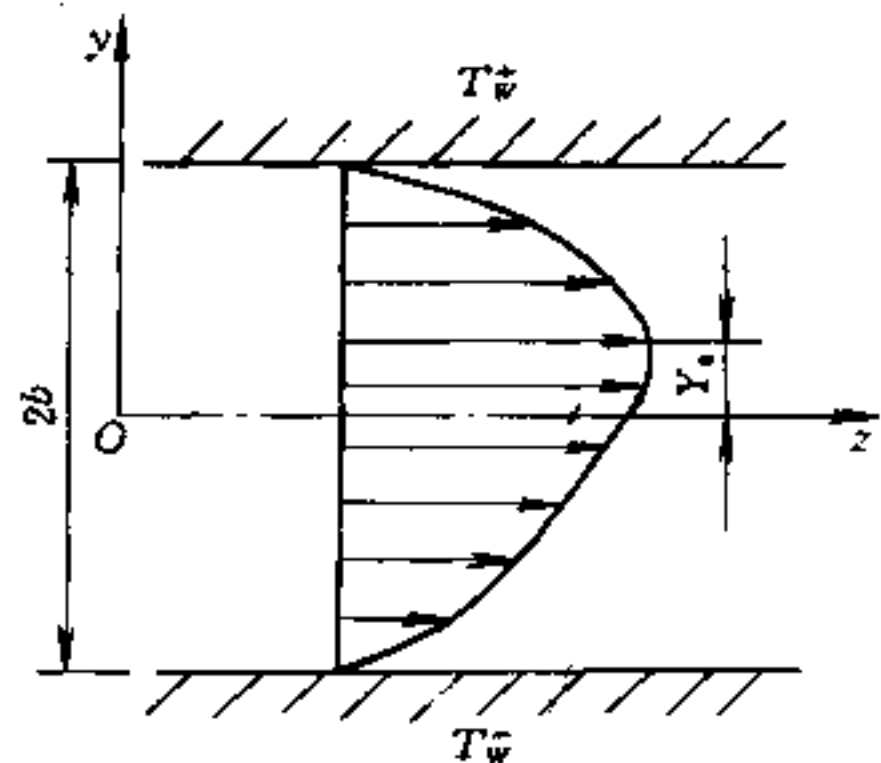


图 13.1-2 非对称边界条件示意图

为了获得充模过程中压力场的控制方程,分别对式(13.1-12)和式(13.1-13)积分,并利用边界条件(式(13.1-15c)),有

$$\frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{\Lambda_x (y - y_0)}{\eta} \quad (13.1-16a)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = - \frac{\Lambda_z (y - y_0)}{\eta} \quad (13.1-16b)$$

其中,  $\Lambda_x = -\partial P/\partial x$ 、 $\Lambda_z = -\partial P/\partial z$ 、 $y_0$  为一待求值, 参见图 13.1-2。

再次对式(13.1-16)积分, 并利用边界条件式(13.1-15b), 可得

$$u = - \Lambda_x \int_{-b}^y \frac{(\bar{y} - y_0)}{\eta} d\bar{y} \quad (13.1-17a)$$

$$w = - \Lambda_z \int_{-b}^y \frac{(\bar{y} - y_0)}{\eta} d\bar{y} \quad (13.1-17b)$$

考虑到边界条件式(13.1.15a), 有

$$\int_{-b}^b \frac{(y - y_0)}{\eta} dy = 0$$

于是,

$$y_0 = \frac{\int_{-b}^b \frac{y}{\eta} dy}{\int_{-b}^b \frac{dy}{\eta}} \quad (13.1-18)$$

对式(13.1-17)沿  $y$  向积分, 可得到熔体的平均流速:

$$\bar{u} = \frac{\Lambda_x S}{b} \quad (13.1-19a)$$

$$\bar{w} = \frac{\Lambda_z S}{b} \quad (13.1-19b)$$

其中,  $S$  为流动率, 即

$$S = \int_{-b}^b \frac{y^2}{\eta} dy - y_0 \int_{-b}^b \frac{y}{\eta} dy \quad (13.1-20)$$

将式(13.1-19)代入式(13.1-11)中, 便可得到充模过程中压力场的控制方程

$$\nabla \cdot (S \nabla P) = 0 \quad (13.1-21)$$

图 13.1-3 示出流动平面( $x-z$  平面)内的边界条件。

如图 13.1-3 所示, 在型腔边界  $C_0$  和型芯边界  $C_i$

上, 应满足无渗透边界条件, 即

$$\frac{\partial P}{\partial n} = 0 \quad \text{在 } C_0 \text{ 和 } C_i \text{ 上} \quad (13.1-22a)$$

假定模具排气良好, 并以大气压力为基点, 在熔体流动前沿, 有

$$P = 0 \quad \text{在 } C_m(t) \text{ 上} \quad (13.1-22b)$$

在熔体入口处, 若注射流量  $Q$  给定, 可假定熔体压力沿入口边界均匀分布, 则有

$$\int_{C_i} \left( -S \frac{\partial P}{\partial n} \right) dl = Q(t) \quad (13.1-22c)$$

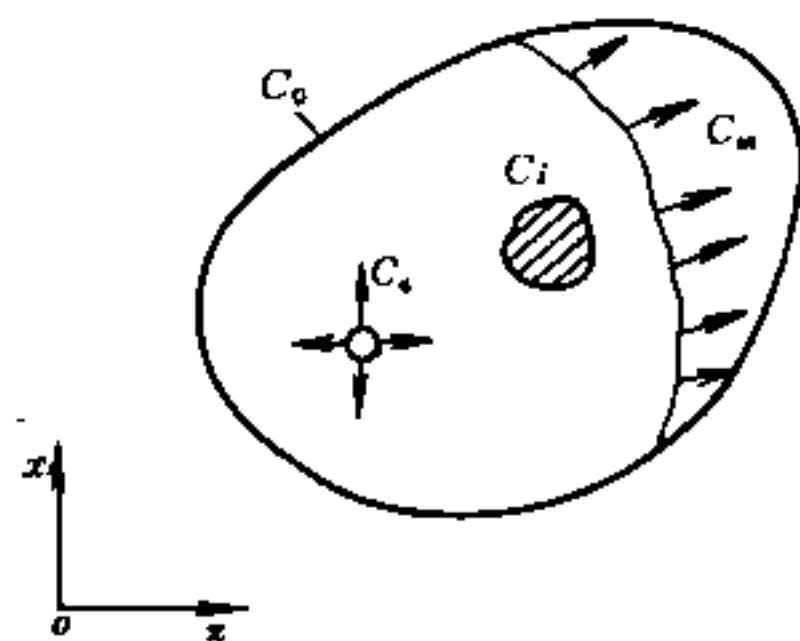


图 13.1-3 流动平面内边界条件

熔体入口处温度边界条件为

$$T = T_e \quad \text{在 } c_e \text{ 上} \quad (13.1-22d)$$

式中,  $T_e$  可近似取为熔体的注射温度。

### 13.1.4 塑料熔体的粘度模型

为了求解注射成型充模过程的基本方程,除了引入必要的假设和简化,并结合特定的边界条件外,还需要给出塑料熔体的粘度模型。熔体粘度  $\eta$  主要取决于注射成型时熔体温度  $T$  和剪切(应变)速率  $\dot{\gamma}$ , 压力  $P$  的影响相对较小。目前,较常用的基于经验的粘度模型主要有:

#### 1. 幂律模型

$$\eta = Ae^{T_a/T} \dot{\gamma}^{n-1} = m_0 g(T) \dot{\gamma}^{n-1} \quad (13.1-23)$$

式中,  $n$  —— 非牛顿指数;

$A, T_a$  与  $m_0$  —— 均为材料常数。

#### 2. Cross 修正模型

$$\eta = \frac{\eta_0(T, P)}{1 + (\eta_0 \dot{\gamma} / \tau^*)^{1-n}} \quad (13.1-24)$$

式中  $\tau^*$  —— 材料常数;

$n$  —— 非牛顿指数;

$\eta_0$  —— 零剪切粘度,  $\eta_0$  的表达式为

$$\eta_0(T, P) = Be^{T_b/T} e^{\beta P} \quad (13.1-25)$$

式中,  $B, T_b, \beta$  均为材料常数。式(13.1-24)有时又称为五参数( $n, \tau^*, B, T_b, \beta$ )粘度模型。该五参数对于某一特定塑料熔体为确定值。它们可由熔体流变仪试验所测得的数据经拟合而获得。

在开发流动分析软件时选择何种粘度模型,应根据材料特性、剪切速率等因素确定。

当采用幂律模型时,流动率  $S$  的计算式(13.1-20)可变形为

$$S = \frac{1}{\Lambda} \left( \frac{\Lambda}{m_0} \right)^{1/n} \int_{-b}^b y \left( \frac{y}{g} \right)^{1/n} dy - \frac{y_0}{\Lambda} \left( \frac{\Lambda}{m_0} \right)^{1/n} \int_{-b}^b \left( \frac{y}{g} \right)^{1/n} dy \quad (13.1-26)$$

式中,  $\Lambda = \sqrt{\Lambda_x^2 + \Lambda_z^2}$

不难看出,式(13.1-26)中与温度有关的项已作为独立因子被分离出来,这将使  $S$  的计算速度明显加快,从而提高流动分析的效率。但是,幂律粘度模型也有其局限性。当剪切速率较低时,由幂律模型计算出的粘度值偏高。而对于 Cross 修正模型则无此局限性。当剪切速率较低时,式(13.1-24)退化为零剪切粘度,即  $\eta = \eta_0$ 。当剪切速率较高时,式(13.1-24)便转化为幂律模型

$$\eta(\dot{\gamma}, T, P) = \frac{B^n}{(\tau^*)^{n-1}} e^{nT_b/T} e^{n\beta P} \dot{\gamma}^{n-1} \quad (13.1-27)$$

由此可见,与幂律模型相比, Cross 修正模型适用于更宽的剪切速率范围,因而在流动分析中得到了广泛的应用。

## 13.2 一维流动分析

所谓一维流动分析,是指塑料熔体流动过程的速度场可用单方向的流速来表征。

一维流动的基本形式有三种,它们分别是圆管流动、矩形板流动和径向流动,见图 13.2-1。

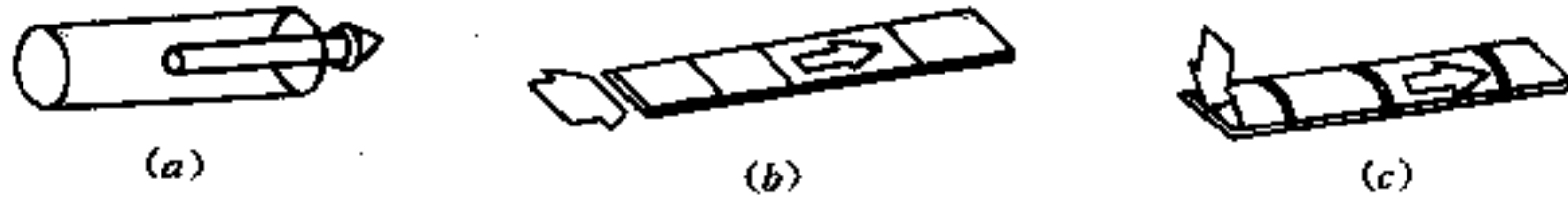


图 13.2-1 一维流动的三种基本形式

(a) 圆管流动; (b) 矩形板流动; (c) 径向流动。

圆管流动主要用来模拟熔体在流道与浇口内的流动,而矩形板和径向流动则用来模拟熔体在模具型腔内的流动。

前述充模过程数学模型在一维流动中可进一步简化为:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad (13.2-1)$$

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \phi \quad (13.2-2)$$

$$\Gamma(x) \int_{-b}^b u dy = Q \quad (13.2-3)$$

$$\Lambda = \frac{Q}{2\Gamma S} \quad (13.2-4)$$

$$S = \int_0^b \frac{y^2}{\eta} dy \quad (13.2-5)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{|\Lambda| y}{\eta} \quad (13.2-6)$$

$$u = \int_y^b \dot{\gamma} dy \quad (13.2-7)$$

$$\phi = n \dot{\gamma}^2 \quad (13.2-8)$$

式中  $Q$ ——设定的熔体注射流量;

$\phi$ ——粘性热;

$\Gamma(x)$ ——型腔形状函数,对于圆盘型腔,  $\Gamma(x) = 2\pi x$ ,对于矩形型腔,  $\Gamma(x) = W$ ,  $W$  为型腔宽度;

$\Lambda$ ——压力梯度,  $\Lambda = -\frac{\partial P}{\partial z}$ ;

其它符号均同上节。

因为在一维流动中,型腔形状仅限于圆盘类和矩形类,故可以简单地采用有限差分法求解。其计算步骤可以这样安排:如果已知某一时刻的温度场  $T$  (假定开始计算时温度场恒定,且  $T = T_e$ ),可利用上一时刻的粘度  $\eta$  和式(13.2-5)求得流动率  $S$ 。利用式(13.2-4)求得压力梯度,便可获得该时刻的压力场。然后,再利用式(13.1-24)求得该时



刻的粘度  $\eta$ , 利用式(13.2-6) 求得剪切速率  $\dot{\gamma}$ , 利用式(13.2-8) 求得粘性热  $\phi$ , 利用式(13.2-8) 求得速度场  $w$ 。至此, 就可利用式(13.2-2) 求取下一时刻的温度场  $T$ , 依次循环下去, 直至整个圆盘单元或者矩形单元被塑料熔体充满为止。

### 13.3 二维流动分析

当建立起圆盘单元和矩形单元的一维流动数学模型和算法后, 便可根据熔体在型腔内的流动路径, 将一维流动单元组合起来, 用以分析在任意形状的二维型腔内熔体的充模流动过程。

应用这种方法时, 模具设计人员需要根据经验, 首先划分出熔体在型腔内的流动路径, 然后再根据所划分的流动路径, 将型腔分解成若干个串联的一维流动基本单元。

图 13.3-1 示出了常用的四种一维流动单元。在实际应用中, 还可能用到一些其他基本单元, 如梯形块、圆环管、圆锥管等。应注意的是, 无论这些基本单元和形状如何变化, 它们都应属于一维流动。

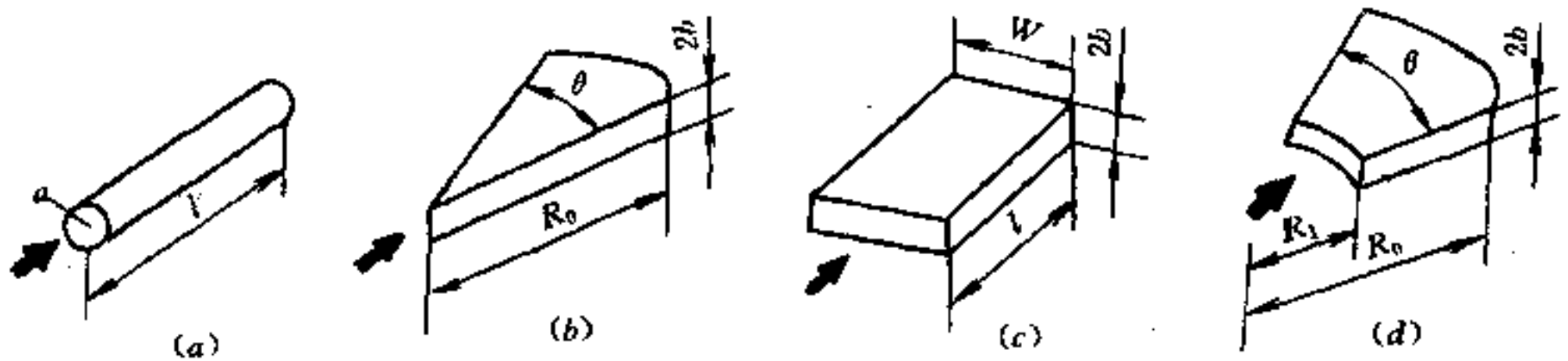


图 13.3-1 四种常用流动单元

(a) 圆形管; (b) 具有中心浇口的圆板; (c) 具有边缘浇口的平板; (d) 具有中心浇口的圆环板。

图 13.3-2 示出某二维型腔的九个流动单元。它们可以是图 13.3-1 所示单元类型中的任意一种。通过分析不难看出, 以单元 1 为入口的塑料熔体一共有五条流动路径, 它们由 1-2-9、1-3-4、1-3-5-6、1-3-5-7 及 1-3-5-8 单元组合而成。

又如图 13.3-3 所示的某平板型腔及流道, 经分析, 可划分出两条流动路径。第一条路径由 1-2-3-4-5 单元组成。第二条路径由 1-2-6-7-8-9 单元组成。从图中可知, 1 与 2 属于圆形管单元, 3 与 6 属于圆板单元, 4 与 7 属于圆环板单元, 5、8、9 属于矩形板单元。

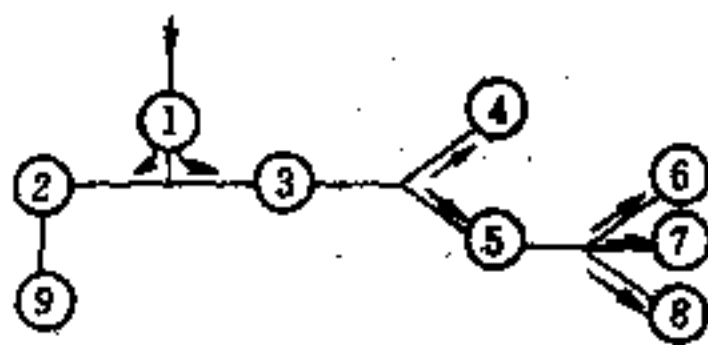


图 13.3-2 流动路径的确定及单元划分

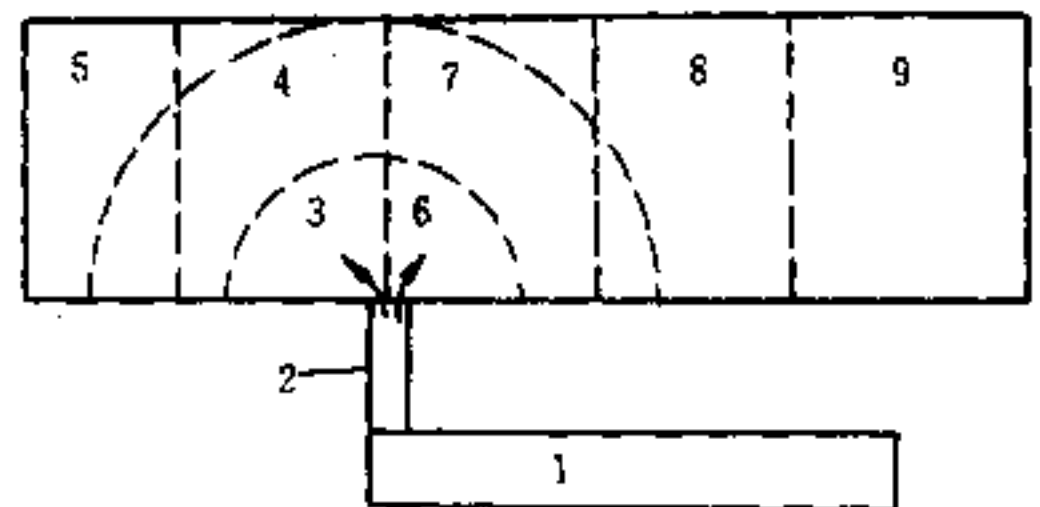


图 13.3-3 某平板型腔的单元划分

当人为地确定好流动路径和流动单元后, 便可借助于二维流动分析软件来模拟熔体在平面型腔内的流动, 获取在充填过程中任一时刻熔体流动前沿位置及其温度场、压力

场、速度场、熔合纹位置等预测结果。

二维流动分析软件是基于二维流动分析之上的,其算法的主要步骤如下:

(1) 由于塑料熔体在充模阶段是一个非稳态过程,因此在流动分析时应分别考虑每一个时间步长。名义时间步长  $\Delta t = t/N$  ( $t$  为设定的型腔充满时间,  $t$  亦可由型腔体积和熔体注射流量之比获得,  $N$  为人为取定的时间间隔数)。因为二维流动分析是依靠一系列一维流动单元的串联组合来进行的,所以在某一个时间步长中,不可避免地会涉及到两个流动单元的计算。此时,程序应根据前一个流动单元的充满时间,调整该次的时间步长,使得在该时间步长内,前一个流动单元恰好被充满,而不致于在该时间步长内涉及到后一个流动单元,也就是说,在一个时间步长内只考虑一个单元的熔体流动过程。

(2) 因为每条流动路径的入口压力近似相等,末端压力皆为大气压力,所以在任一时刻,每条流动路径的总压力降应该相等。根据这一物理条件,利用迭代法在每一时间步长内,沿每条流动路径更新其体积流量  $Q_i(I)$  ( $I = 1, 2, \dots, NN$ ),  $NN$  为型腔的总流动路径数。若在流动过程中,某一流动路径的最后一个单元已全部被熔体充满,在后续的时间步长内再无熔体流入该路径,程序便从此时刻起,置该流动路径的体积流量为零。

(3) 只要某流动单元内熔体的流动尚未停止,在每个时间步长内,都需更新该单元的温度场。

(4) 根据更新后的体积流量,计算熔体在每个未充满单元内的前沿位置。

(5) 根据二维流动分析中所介绍的计算步骤,计算单元内的压力场、速度场等。

(6) 返回到步骤(2),重复以上计算过程,直至全部流动路径内的单元均被熔体充满为止。

## 13.4 三维流动分析

在实际生产中,模具的型腔绝大多数都是三维形状。我们仍然可以借助于二维流动分析方法来预测三维型腔内熔体的流动。为此,需要将三维形状的塑料制品展平,以便划分流动路径和流动单元。图 13.4-1 示出某塑料制品的平面展开图及其流动路径和单元的划分。

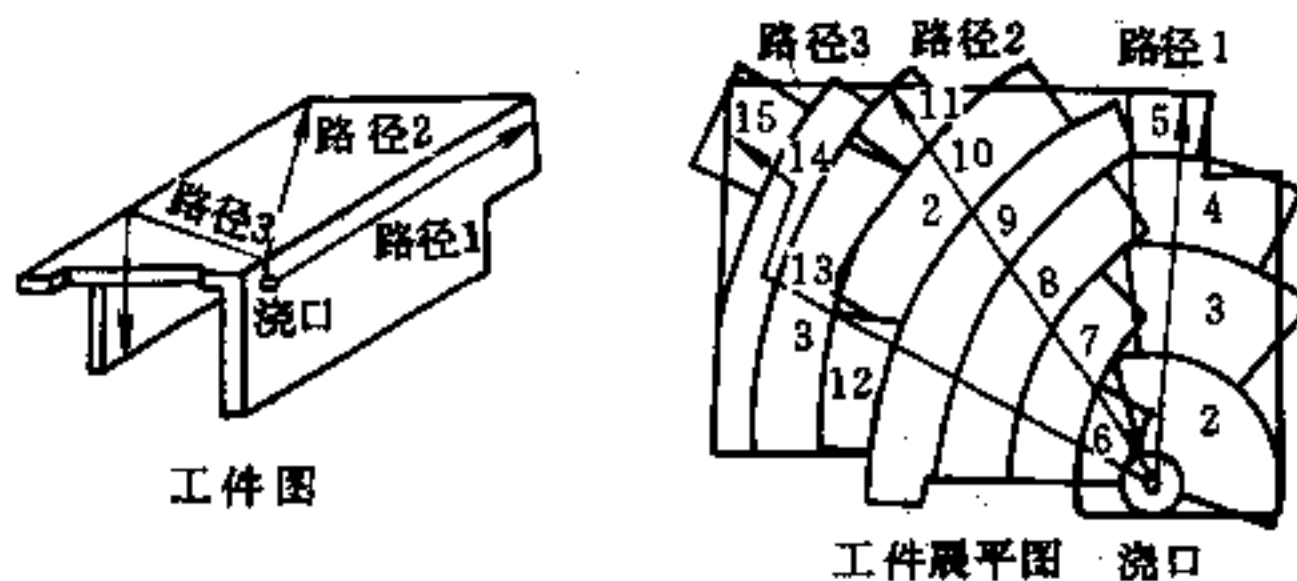


图 13.4-1 制品展开图及其流动路径和单元的划分

制品三维形状的展平,既可手工完成,也可借助于专用的交互式程序。当采用交互式程序时,模具设计师只要指定需展开的表面以及旋转轴,程序便可根据三维平面的数据结

构,逐步将制品展平,以构成等效的二维型腔。

商品化的软件并不把制品形状的展平过程通过屏幕显示给用户,而是在计算机内记录每个表面在展平前后的几何对应关系。程序依靠展平图和人为地划分的流动路径做完二维流动分析后,能将展平图的分析结果映射回三维形状中去,以使用户看到具有三维效果的熔体前沿位置、温度场、压力场等。

这种用二维代替三维的流动分析方法具有计算量小、简便易行等优点,特别适合浇注系统的分析计算。但是,这种方法强烈依靠着模具设计师的经验,需要人为地设定熔体流动路径、划分流动单元,还需将制品的三维形状展平,使用起来诸多不便。而采用有限元法来模拟注射过程充模流动过程时,勿需事先规定流动路径和流动单元,也不必将三维形状展平,对模具设计师的经验依赖甚少,而且分析精度也较高,在实际生产中得到了越来越广泛的应用。

目前,最为行之有效的方法是有限元/有限差分法。无论是美国 AC-Tech 公司的 C-FLOW,澳大利亚的 MOLDFLOW,还是我国华中理工大学的 H-Mold,都采用了这种混合法来开发流动分析软件。

有限元与有限差分混合法的实质是,将三维流动问题分解为流动平面( $x-z$  向)的二维分析和壁厚方向( $y$  向)的一维分析。流动平面内各待求量,如压力与温度等,用有限元法求解,而型腔壁厚方向上的各待求量和时间变量等,用有限差分法求解。在求解过程中,有限元法与有限差分法交替进行,相互依赖。

注射模具型腔边界一般都十分复杂,采用三角形网格来进行有限元分析是大多数流动分析软件开发者的共识。

### 13.4.1 压力场有限元方程

在实施数值计算之前,需要对型腔中心面进行三角形网格划分。

三角形单元内压力分布可采用线性插值表示

$$P^{(l)}(x, z, t) = \sum_{K=1}^3 L_K^{(l)}(x, z) P_K^{(l)}(t) \quad (13.4-1)$$

式中,  $P_K^{(l)}$  为单元的节点压力,  $L_K^{(l)}$  为单元插值函数,其表达式为

$$L_K^{(l)}(x, z) = (b_{1k}^{(l)} + b_{2k}^{(l)}x + b_{3k}^{(l)}z) / 2A^{(l)} \quad k = 1, 2, 3 \quad (13.4-2)$$

式中,  $A^{(l)}$  为三角形单元  $l$  的面积。设单元节点坐标分别为  $(x_1, z_1)$ 、 $(x_2, z_2)$ 、 $(x_3, z_3)$ , 则对于  $k = 1, 2, 3$ , 有

$$\begin{aligned} b_{1k}^{(l)} &= x_2^{(l)} z_3^{(l)} - x_3^{(l)} z_2^{(l)}, & x_3^{(l)} z_1^{(l)} - x_1^{(l)} z_3^{(l)}, & x_1^{(l)} z_2^{(l)} - x_2^{(l)} z_1^{(l)} \\ b_{2k}^{(l)} &= z_2^{(l)} - z_3^{(l)}, & z_3^{(l)} - z_1^{(l)}, & z_1^{(l)} - z_2^{(l)} \\ b_{3k}^{(l)} &= x_3^{(l)} - x_2^{(l)}, & x_1^{(l)} - x_3^{(l)}, & x_2^{(l)} - x_1^{(l)} \end{aligned} \quad (13.4-3)$$

如图 13.4-2 所示,连接三角形单元的重心和三边中点,将单元划分为三个子区域。各子区域乘以单元的厚度便得到各个子体积。

如图 13.4-3 所示,包含某节点所有单元的相应子体积之和,构成了该节点的控制体

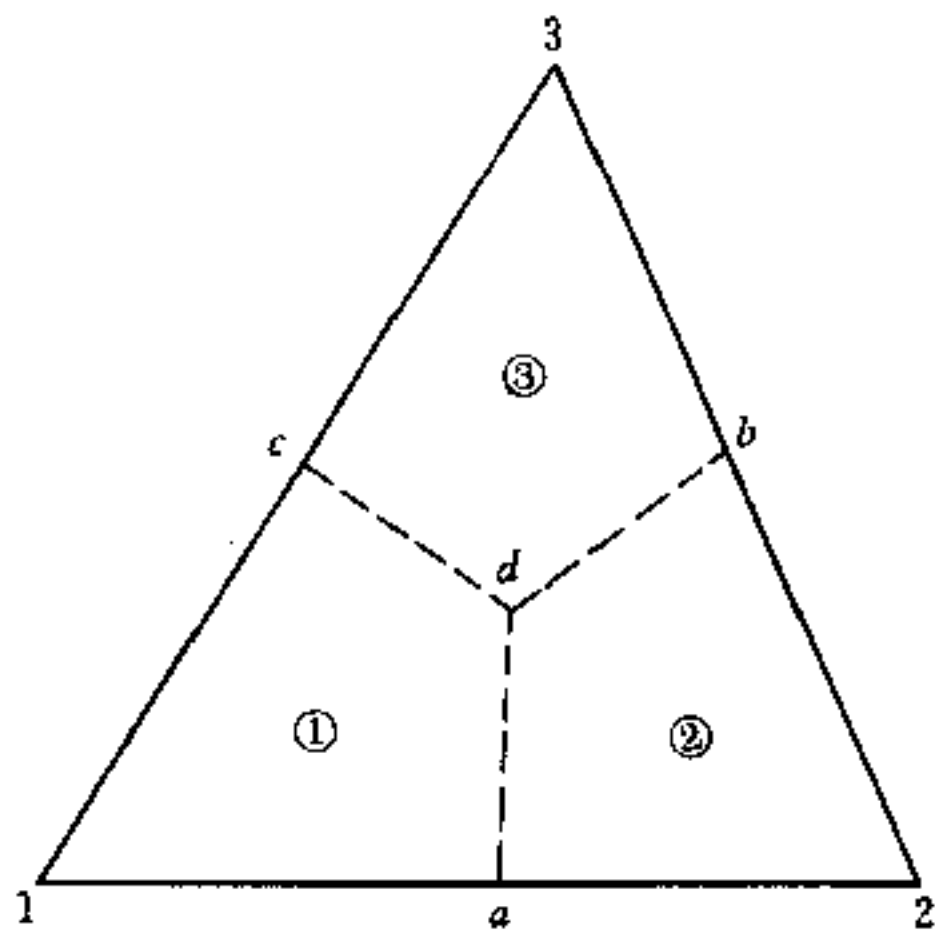


图 13.4-2 形成控制体积时的单元分割

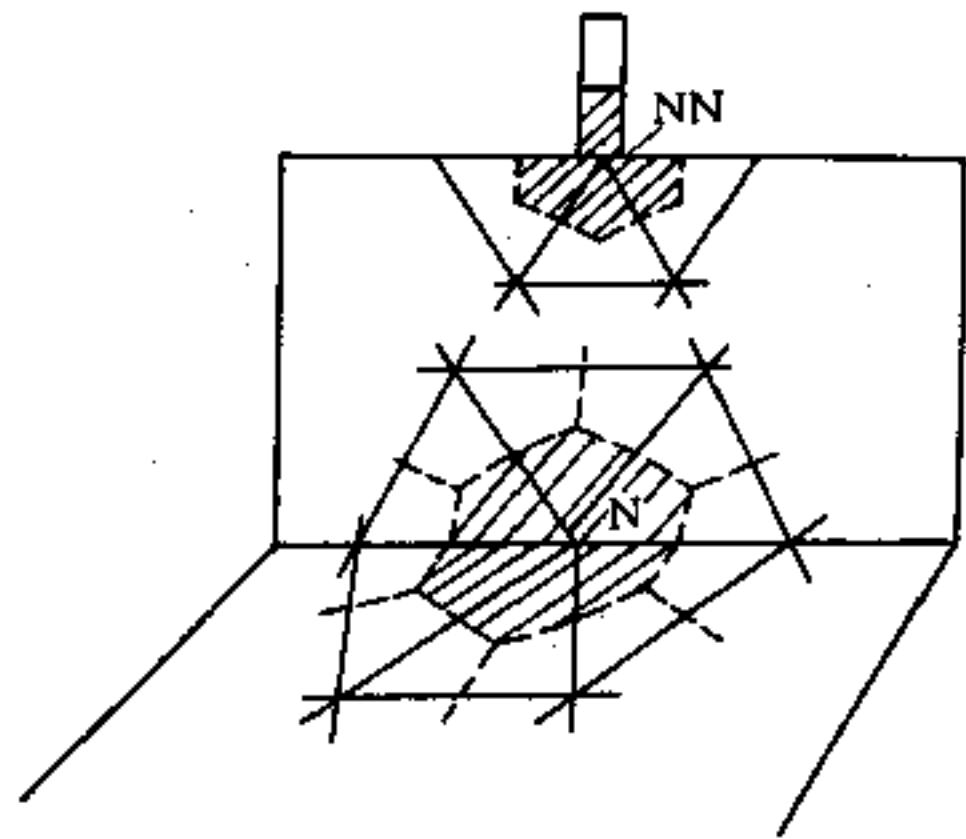


图 13.4-3 三维空间中控制体积的形成

积。图中的两个阴影部分，便是节点 NN 和节点 N 的控制体积。在下节中我们将详细叙述如何利用控制体积来处理流动过程中移动的边界。

考察图 13.4-2 所示的三角形单元，在该单元内流入子体积 1 的流量为  $q_1$ ，由式 (13.1-19) 可知，在单元内  $\bar{u}^{(l)}$  和  $\bar{v}^{(l)}$  均为常数，经推导可得：

$$\begin{aligned} q_1 &= S^{(l)} \sum_{j=1}^3 D_{1j}^{(l)} P_{N'} \\ q_2 &= S^{(l)} \sum_{j=1}^3 D_{2j}^{(l)} P_{N'} \\ q_3 &= S^{(l)} \sum_{j=1}^3 D_{3j}^{(l)} P_{N'} \end{aligned}$$

综合得，
$$q_i = S^{(l)} \sum_{j=1}^3 D_{ij}^{(l)} P_{N'}, \quad i = 1, 2 \text{ 或 } 3 \quad (13.4-4)$$

根据质量守恒原理，对未被压缩的流体，若流体已充满控制体积，则该控制体积中流体的净流量为零，即

$$\sum_{l'} S^{(l')} \sum_{j=1}^3 D_{ij}^{(l')} P_{N'} = 0 \quad (13.4-5)$$

其中， $i$  表示单元  $l'$  中对应于总体节点 N 的局部节点号，即  $N = \text{NOD}(l', i)$ 。类似地， $N' = \text{NOD}(l', j)$ ， $j = 1, 2 \text{ 或 } 3$ ，NOD 为节点号关系数组。

参见图 13.4-3，在熔体入口处，节点 NN 的控制体积不仅包括由三角形单元组成的子体积，而且包括由圆柱单元生成的子体积。类似如上过程，可推出

$$\sum_{l'} S^{(l')} \sum_{j=1}^3 D_{ij}^{(l')} P_{N'} + \sum_{l''} S^{(l'')} \sum_{j=1}^2 R_{ij}^{(l'')} P_{N'} = 0 \quad (13.4-6)$$

式中，
$$R_{11}^{(l'')} = \frac{\pi}{4L^{(l'')}}, \quad R_{12}^{(l'')} = -\frac{\pi}{4L^{(l'')}},$$

$$R_{21}^{(l'')} = -\frac{\pi}{4L^{(l'')}}, \quad R_{22}^{(l'')} = \frac{\pi}{4L^{(l'')}}.$$

$l'$  遍历包含节点 N 的所有三角形单元， $l''$  遍历包含节点 NN 的所有圆柱单元。

对于每个已充满熔体的控制体积,皆列出式(13.4-5)或者式(13.4-6),便获得以节点压力为未知量的代数方程组。

由于流动率  $S$  的计算依赖于压力场,因此式(13.4-5)或式(13.4-6)是非线性方程,常采用迭代法求解。计算出节点压力后,由上节所述的方法可计算出塑料熔体的流速、剪切(应变)速率和剪切应力。

### 13.4.2 熔体流动前沿位置的确定

熔体流动前沿位置可由控制体积的填充状态确定。

对于每个控制体积,引入系数  $f$ ,其定义为

$$f = \frac{V_m}{V} \quad (13.4-7)$$

其中,  $V$ 、 $V_m$  分别表示控制体积的总体积和该控制体积已被熔体填充的那一部分体积。

$f$  的大小反映了控制体积被熔体的充满程度。显然,若控制体积已被熔体充满,  $f = 1$ ;若控制体积尚未流入任何熔体,  $f = 0$ ;若控制体积尚未被熔体完全充满,  $0 < f < 1$ 。控制体积前沿位置的标定如图 13.4-4 所示。

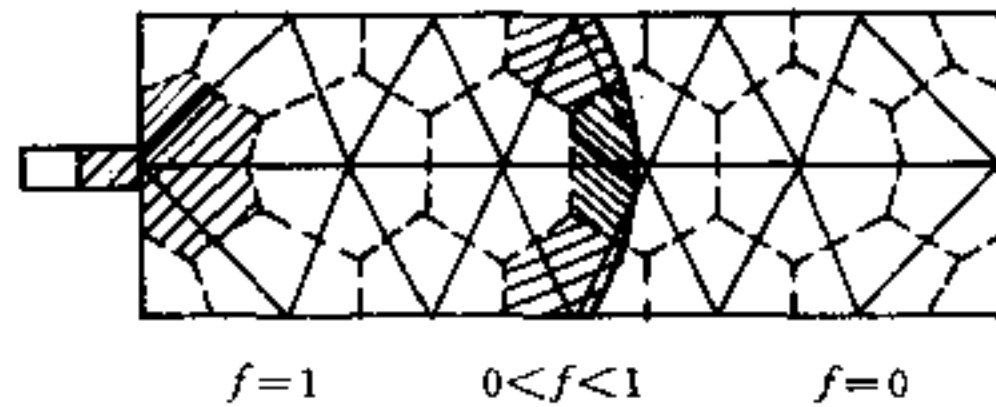


图 13.4-4 控制体积的标定及前沿位置的确定

控制体积法使确定熔体流动前沿位置的算法简单易行。根据当前时刻的压力场,由式(13.4-4)计算出流入每一前沿控制体积的净流量以及这些控制体积完全充满所需要的时间,取其中最小的充满时间作为当前时间步长,则在下一时刻必有某一个前沿控制体积被熔体充满,与其相邻的各个控制体积将在该时刻变为新的流动前沿,如此进行下去,直至所有的控制体积,也即整个型腔被熔体完全充满。

### 13.4.3 温度场计算

熔体温度在流动平面内以及沿型腔壁厚方向均发生变化。因此,在求解温度场时需沿厚向( $y$ 向)划分差分网格,即

$$y_j = (j-1)\Delta y \quad j = 1, 2, \dots, N_{y+1} \quad (13.4-8)$$

单元内的温度分布仍采用线性插值。例如,对三角形单元,有

$$T^{(l)}(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^3 L_k^{(l)}(x, y) T_k^{(l)}(y, t) \quad (13.4-9)$$

其中,  $L_k^{(l)}$  为插值函数;由式(13.4-2)定义;  $T_k^{(l)}(y, t)$  为  $t$  时刻三角形单元节点处的温度分布。

由于式(13.1-14)中的热传导项、热对流项和粘性热项在单元边界不连续,通常的解



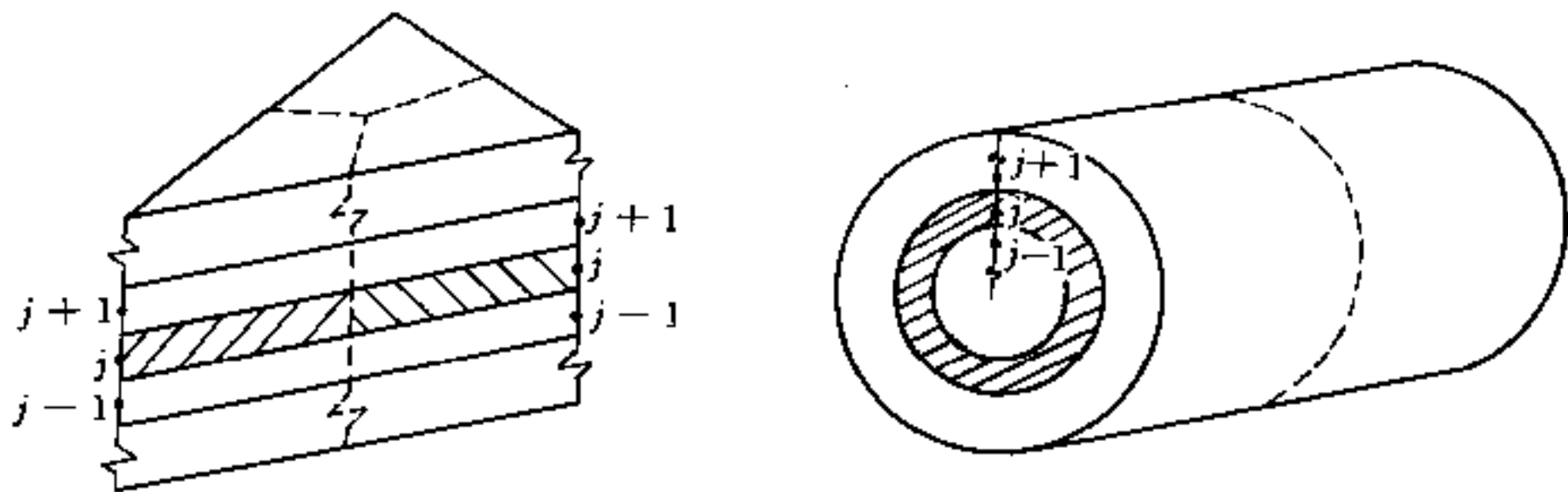


图 13.4-5 三角形单元和圆柱单元的分层

决方法是采用加权平均。

图 13.4-5 示出三角形单元和圆柱单元沿厚向和径向的分层。热传导项、热对流项和粘性热项在各层单元的重心处计算后,再加权平均。权函数取相应层(如第  $j$  层)上单元  $l$  对节点  $N$  的分层控制体积的体积贡献( $V_{i,j}^{(l)}$ ),各项的处理过程分述如下

### 1. 瞬态项

瞬态项采用向后差分近似,即

$$\rho C_P \frac{\partial T}{\partial t} = \rho C_P \frac{T_{N,j,t+1} - T_{N,j,t}}{\Delta t} \quad (13.4-10)$$

### 2. 热传导项

对三角形单元,有

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \Big|_{N,j,t+1} = \frac{1}{\sum_l V_{i,j}^{(l)}} \sum_l \frac{V_{i,j}^{(l)} K}{3\Delta y_j^2} \left[ \sum_{m=1}^3 (T_{N',j+1,t+1} - 2T_{N',j,t+1} + T_{N',j-1,t+1}) \right] \quad (13.4-11)$$

$$j = 2, 3, \dots, N_y$$

其中,  $l$  遍历所有包含节点  $N$  的单元,  $N' = \text{NOD}(l, m)$ ,  $\text{NOD}$  表示单元局部节点号与总体节点号的关系数组。

在模壁处( $j = 1$  及  $j = N_y + 1$ )的热传导项基本上与上式相同,所不同的是还需代入边界条件式(13.1-15)中。

### 3. 热对流项

为了保证数值计算过程的稳定性,在流动分析中,通常采用“上风法”来处理热对流项。所谓上风法,是指在对热对流项进行加权平均计算时,仅考虑来自节点上游单元的贡献,而不考虑节点下游单元的贡献。

如图 13.4-6 所示,  $\mathbf{CN}$  表示从单元重心到节点  $N$  的向量,  $\mathbf{V}$  表示单元重心处的速度矢量。引入函数

$$\text{DOT} = \begin{cases} \mathbf{CN} \cdot \mathbf{V} & \text{对三角形单元} \\ P_{N'} - P_N & \text{对圆柱单元} \end{cases}$$

于是,加权函数可定义为

$$\hat{V}_{i,j}^{(l)} = \begin{cases} V_{i,j}^{(l)} & \text{若 DOT} > 0 \\ 0 & \text{若 DOT} \leq 0 \end{cases}$$

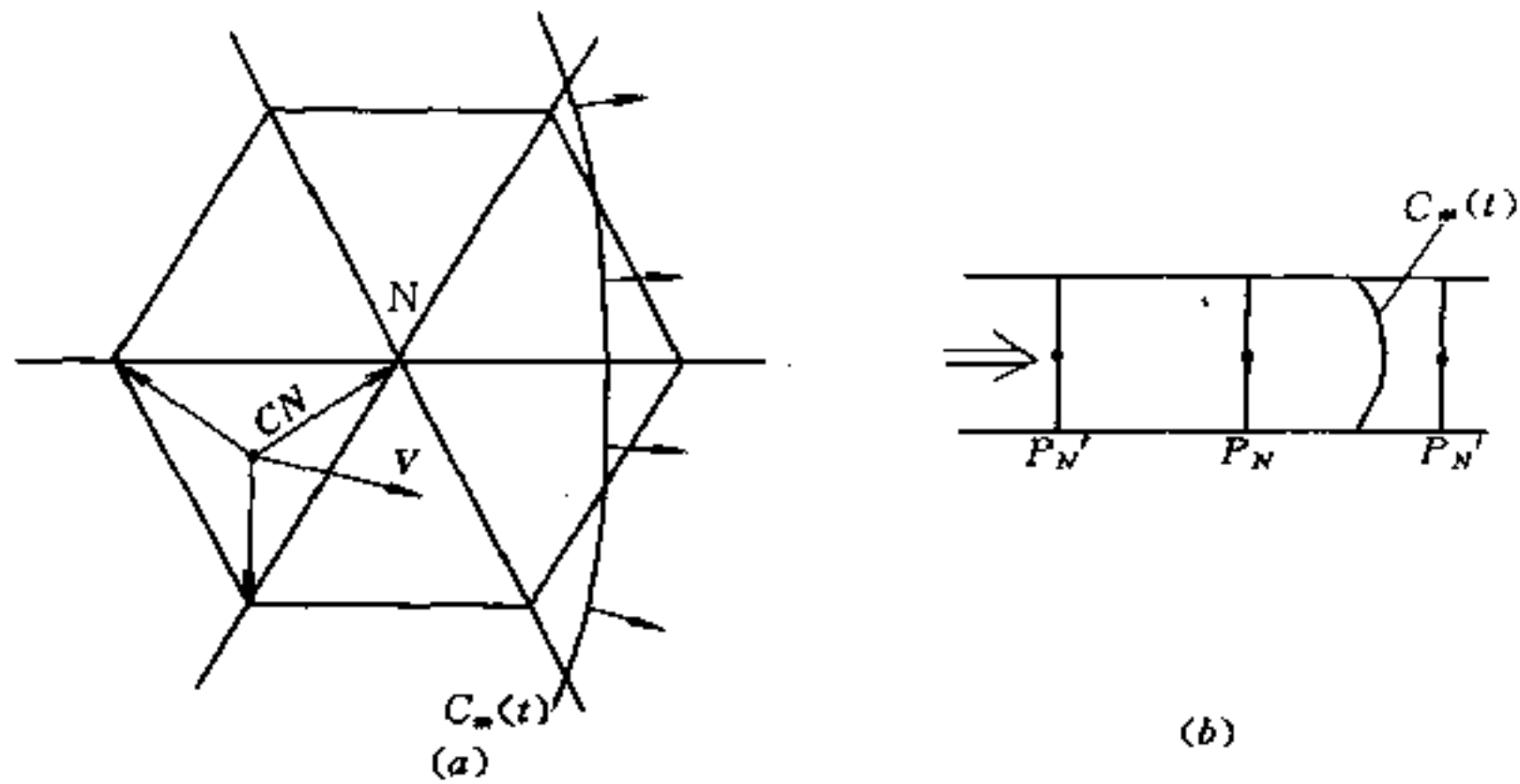


图 13.4-6 节点上游单元判断

对三角形单元,热对流项的加权平均计算公式为

$$\rho C_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + u \frac{\partial T}{\partial z} \right) \Big|_{N,j,t+1} = \frac{\rho C_p}{\sum_i \hat{V}_{i,j}^{(t)}} \sum_i \hat{V}_{i,j}^{(t)} \frac{\int_{-b}^{z_j} \left( \frac{\bar{y} - y_0}{\eta} \right)^{(t)} d\bar{y}}{2A^{(t)}} \times \sum_{m=1}^3 [\Lambda_x^{(t)} b_{2m}^{(t)} + \Lambda_z^{(t)} b_{3m}^{(t)}] \cdot T_{N,j,t+1} \quad j = 2, 3, \dots, N_y \quad (13.4-12)$$

在模壁处 ( $j = 1$  及  $j = N_y + 1$ ), 所有单元的热对流项均为零。

#### 4. 粘性热项

粘性热项的处理方法同热对流项, 即

$$\eta \dot{\gamma}^2 \Big|_{N,j,t+1} = \frac{1}{\sum_i \hat{V}_{i,j}^{(t)}} \sum_i \hat{V}_{i,j}^{(t)} \frac{[\Lambda^{(t)} z_j]^2}{\eta^{(t)}} \quad j = 1, 2, \dots, N_y + 1 \quad (13.4-13)$$

对于每个节点, 都写出式 (13.4-10) ~ 式 (13.4-13), 并代入到温度控制方程式 (13.1-14) 中, 便可得到以各节点的温度为未知量的方程组

$$[\lambda] \{T\} = \{F\} \quad (13.4-14)$$

### 13.4.4 数值计算过程

注射成型流动有限元 / 有限差分法的数值计算过程如图 13.4-7 所示。

程序在开始时, 需要读入的初始数据包括型腔形状、网格单元、塑料材料特性数据及流动工艺条件等参数。开始分析时, 假定塑料熔体入口的第一个控制体积已被熔体充满。此时可以近似认为, 熔体仍处于等温状态, 其温度即为熔体的入口温度  $T_i$ , 这样便可获得初始时刻熔体的前沿位置和温度场, 然后再求解压力场。利用压力场的计算结果, 更新流动前沿位置 (增加一个控制体积), 确定时间增量, 求解新时刻的温度场、压力场, 如此循环下去, 直至整个型腔被熔体充满为止。



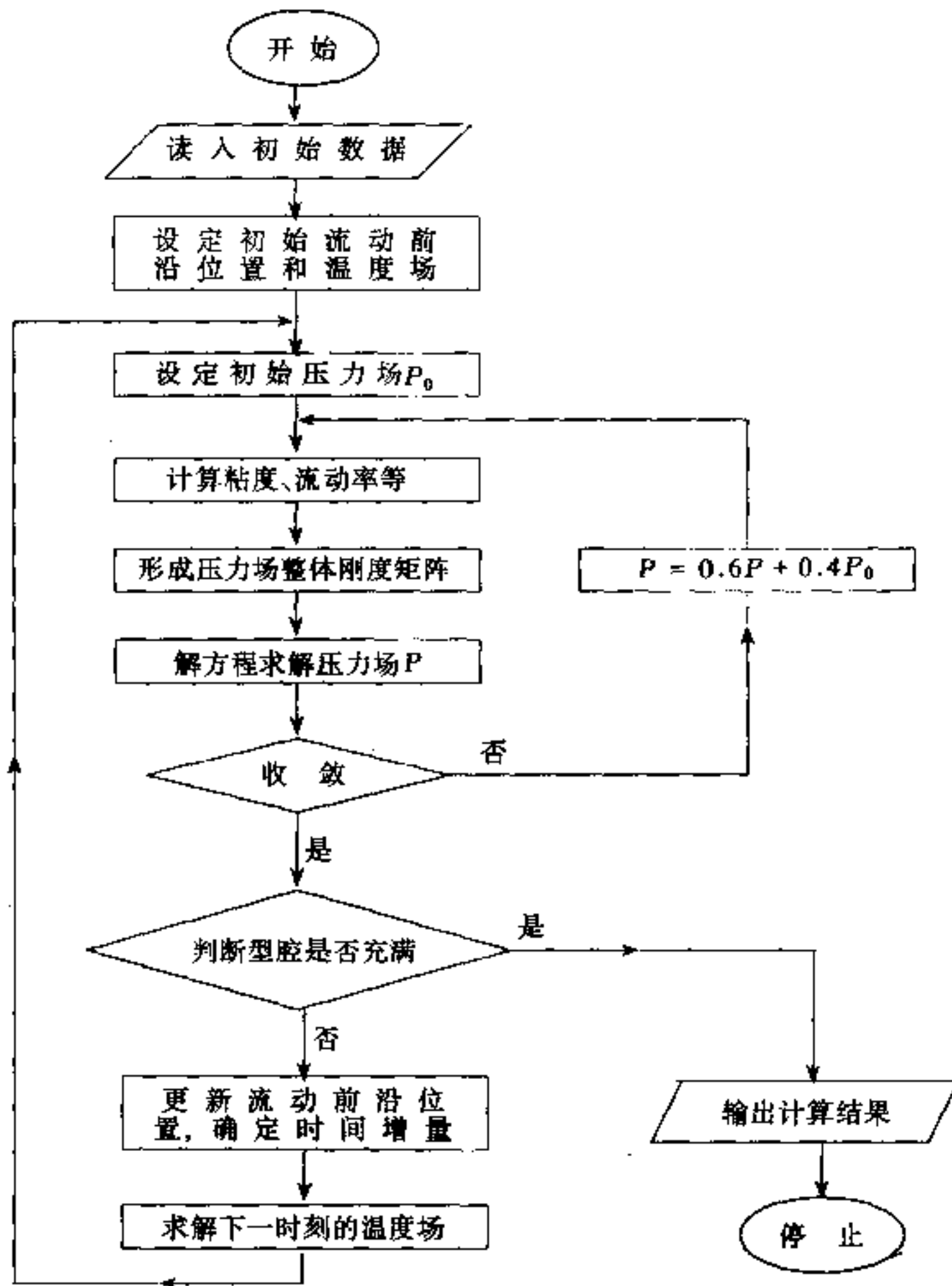


图 13.4-7 流动分析程序流程图

## 13.5 保压过程分析

保压过程的分析原理与充模过程类似,但有如下区别:

(1) 在充模流动阶段,若熔体填充过程比较均衡,型腔各部分基本上可被熔体同时充满,不存在着严重的局部过压问题,因此熔体密度  $\rho$  的变化很小。在充模流动阶段,假定熔体不被压缩是合理的。但是在保压阶段,熔体密度变化较大,在保压过程分析中必须要计算熔体密度的变化。

(2) 由于考虑了熔体密度的变化,因此在保压分析时需引入熔体的状态方程 (P-V-T) 才能求解。

(3) 在保压过程中,熔体温度的变化范围较大,因此需采用适合于更宽温度范围的粘度模型。熔体的比热容和导热系数也应是随温度变化的变量。

(4) 充模过程的流动分析计算区域是逐渐扩大的,分析过程中需不断更新流动前沿位置,熔体流动前沿的压力为大气压,注射压力为待求量。而保压分析的计算区域是固定的,保压压力是设定值,熔体的压力分布为待求值。因此,保压与充模过程压力场求解的边

界条件是不同的。

保压过程数学模型的推导与充模流动过程相似,其控制方程为

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (13.5-1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \quad (13.5-2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \frac{\partial w}{\partial y} \right) = 0 \quad (13.5-3)$$

$$\rho C_P(T) \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left[ X(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \eta \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (13.5-4)$$

其中,  $\rho$  表示熔体密度,  $v$  为沿型腔壁厚方向( $y$ 向)的流动速度,其他参数的含义均同于充模流动分析。

采用式(13.1-15)的边界条件,可得到与流动分析相同的表达式,经推导可保压过程压力场的控制方程:

$$G \left( \frac{\partial P}{\partial t} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( \bar{S} \frac{\partial P}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \bar{S} \frac{\partial P}{\partial z} \right) = -F \quad (13.5-5)$$

式中, 
$$G = \int_{-b}^{x^-} \left( \frac{\partial \rho_s}{\partial P} \right)_T dy + \int_{x^-}^{x^+} \left( \frac{\partial \rho_l}{\partial P} \right)_T dy + \int_{x^+}^b \left( \frac{\partial \rho_s}{\partial P} \right)_T dy \quad (13.5-6)$$

$$F = \int_{-b}^{x^-} \left( \frac{\partial \rho_s}{\partial T} \right)_P \frac{\partial T}{\partial t} dy + \int_{x^-}^{x^+} \left( \frac{\partial \rho_l}{\partial T} \right)_P \frac{\partial T}{\partial t} dy + \int_{x^+}^b \left( \frac{\partial \rho_s}{\partial T} \right)_P \frac{\partial T}{\partial t} dy \\ + (\rho_s - \rho_l)_{y=x^-} \frac{\partial x^-}{\partial t} + (\rho_l - \rho_s)_{y=x^+} \frac{\partial x^+}{\partial t} \quad (13.5-7)$$

其中,下标  $l$ 、 $S$  分别表示液相和固相,  $x^+$  和  $x^-$  分别为靠近型芯和型腔一侧的液、固相交界面位置。

由实验研究结果表明,在保压分析中采用七参数粘度模型比较理想,因为它适用于较宽的温度范围,其表达式为

$$\eta = \frac{\eta_0(T, P)}{1 + (\eta_0 \dot{\gamma} / \tau^*)^{1-n}} \quad (13.5-8)$$

式中, 
$$\eta_0(T, P) = D_1 \exp \left[ - \frac{A_1(T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)} \right] \quad (13.5-9)$$

$$T^*(P) = D_2 + D_3 P \quad (13.5-10)$$

$$A_2(P) = \bar{A}_2 + D_3 P \quad (13.5-11)$$

以上各式中,  $n$ 、 $\tau^*$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $A_1$ 、 $\bar{A}_2$  为粘度模型的七参数,它们由实验结果确定。

图 13.5-1 为一典型的  $P$ - $V$ - $T$  关系图(塑料为 PS),它描述了比容随压力和温度的变化特征。目前,在保压分析中所用的状态方程尚依赖于经验公式。例如,美国 AC-Tech 公司的保压分析软件 C-PACK 所用的经验公式为

$$\frac{V_0(T) - V(T, P) - V_l(T, P)}{V_0(T)} = C \ln \left[ 1 + \frac{P}{B(T)} \right] \quad (13.5-12)$$

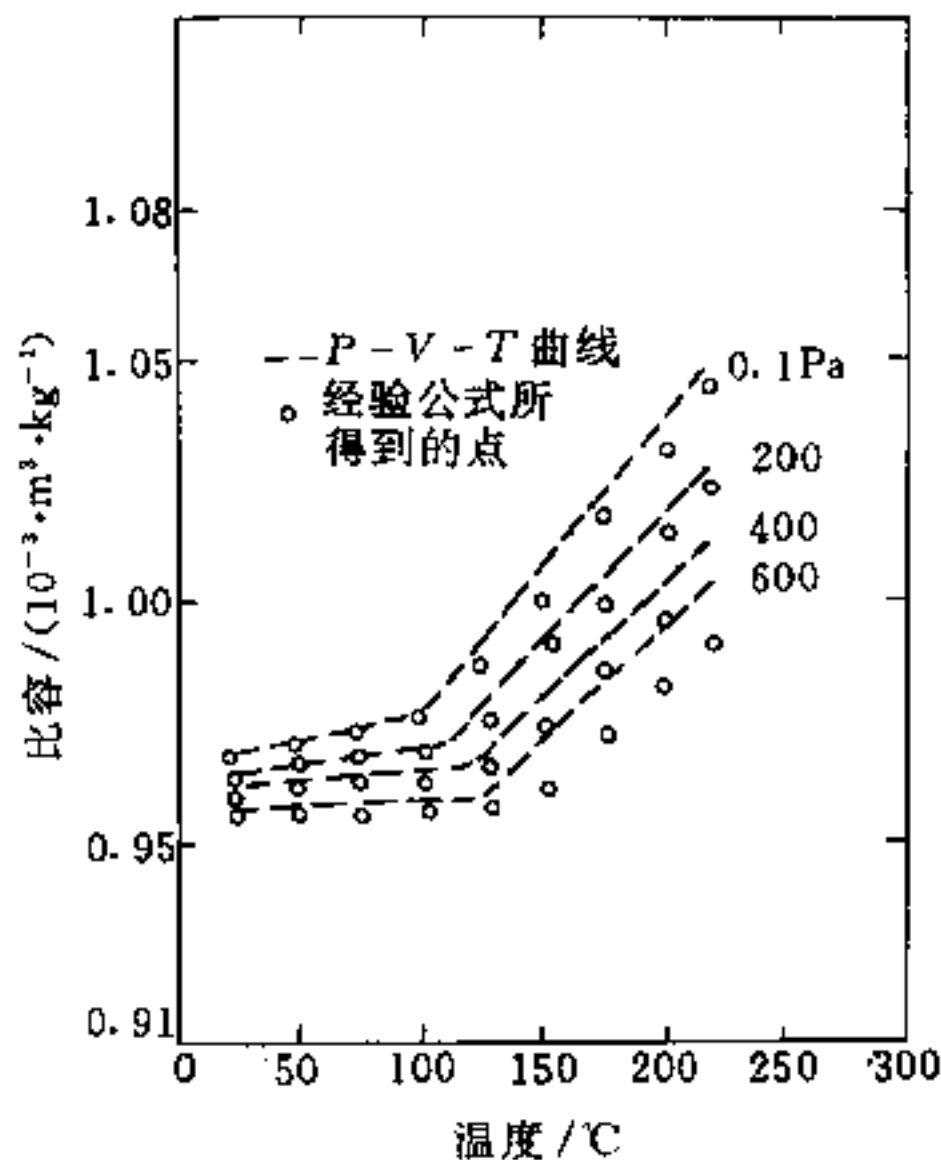


图 13.5-1 P-V-T 关系图(PS)

式中,  $C = 0.0894$ ,  $V_0(T) = \begin{cases} (b_1)_l + (b_2)_l \bar{T} & \text{对于 } T > T_t, \\ (b_1)_s + (b_2)_s \bar{T} & \text{对于 } T < T_t, \end{cases} \quad (13.5-13)$

$$B(T) = \begin{cases} (b_3)_l \exp[-(b_4)_l \bar{T}] & \text{对于 } T > T_t, \\ (b_3)_s \exp[-(b_4)_s \bar{T}] & \text{对于 } T < T_t, \end{cases} \quad (13.5-14)$$

$$T = T - b_5 \quad (13.5-15)$$

其中,  $T_t$  为玻璃化温度(对无定形塑料)或结晶温度(对结晶形塑料)。  $T_t$  可近似为压力的线性函数,即

$$T_t(P) = b_5 + b_6 P \quad (13.5-16)$$

$V_t(T, P)$  的引入是为了克服密度的不连续性,其表达式为

$$V_t(T, P) = \begin{cases} 0, & \text{对于 } T > T_t \\ b_7 \exp(b_8 \bar{T} - b_9 P), & \text{对于 } T < T_t \end{cases} \quad (13.5-17)$$

$b_1 \sim b_9$  均为材料常数,由实验测定。

在保压分析中,熔体的比热容  $c_p$  和导热系数  $\lambda$  随温度的变化关系,也依赖于经验公式,如

$$\text{对无定形塑料} \quad c_p(T) = C_1 + C_2 \bar{T} + C_3 \tanh(C_4 \bar{T})$$

$$\text{对结晶形塑料} \quad c_p(T) = C_1 + C_2 \bar{T} + C_3 \exp(-C_4 \bar{T}^2)$$

式中,  $\bar{T} = T - C_5$ ,  $C_1 \sim C_5$  皆为由实验测定的材料常数。

$$\lambda(T) = \lambda_1 + \lambda_2 \bar{T} + \lambda_3 \tanh(\lambda_4 \bar{T})$$

式中,  $\bar{T} = T - \lambda_5$ ,  $\lambda_1 \sim \lambda_5$  也是由实验测定的材料常数。

从以上公式可知,保压过程的分析与充模流动一样,归结为求解一组满足给定边界条件的偏微分方程。实践表明,采用有限元与有限差分的混合法是求解保压过程最有效的数值方法。因保压分析的计算方法与充模流动过程极为相似,故略去其推导过程及求解步骤。图 13.5-2 示出保压过程数值计算流程图。

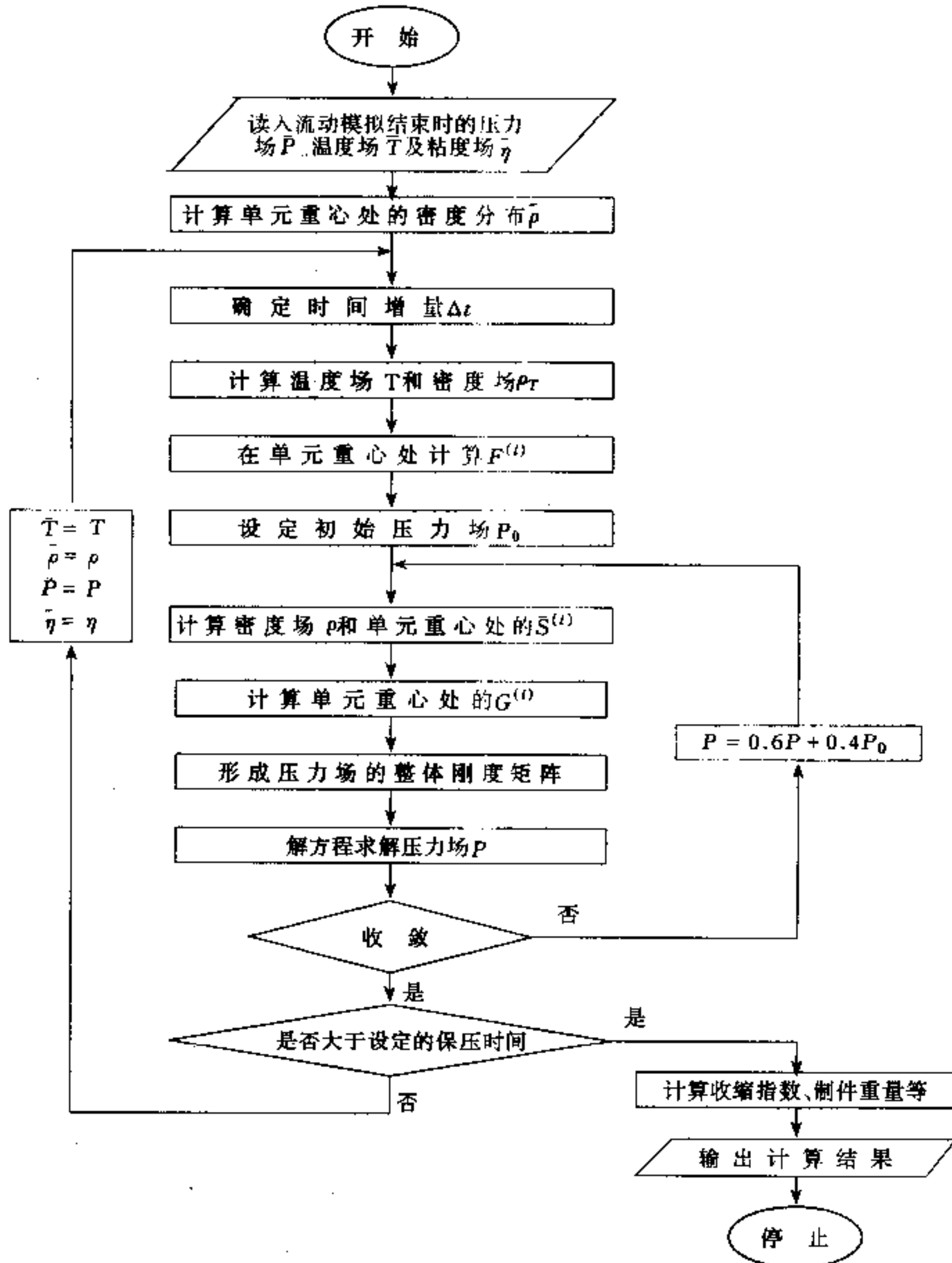


图 13.5-2 保压过程数值计算流程图

## 13.6 冷却过程分析

实践表明,塑料注射模冷却时间约占整个注射循环周期的三分之二。塑料制品的翘曲变形与局部凹痕等弊病常常是冷却不良所致。因此,注射模冷却系统的设计直接影响到制品的生产效率和质量,模具设计师必须充分重视模具冷却系统的设计。

影响冷却系统的因素很多,诸如制品形状、冷却管道类型、尺寸与位置、冷却介质的流速与温度、制品与模具之间的非稳定热交换等,都对制品的冷却过程影响很大。

长期以来,注射模冷却系统的设计主要依赖于经验。模具设计师因缺乏经验而造成注射模具冷却效果不好的例子屡见不鲜。当今科学技术的飞跃发展使得我们能借助于计算机,分析影响冷却系统的各个因素,模拟制品在模具内的冷却过程,从而提高模具冷却系统的设计质量。

### 13.6.1 一维冷却分析

对于具有简单扁平形状的大型注射模型腔,常采用如图 13.6-1 所示的等间距冷却管道布置方案。

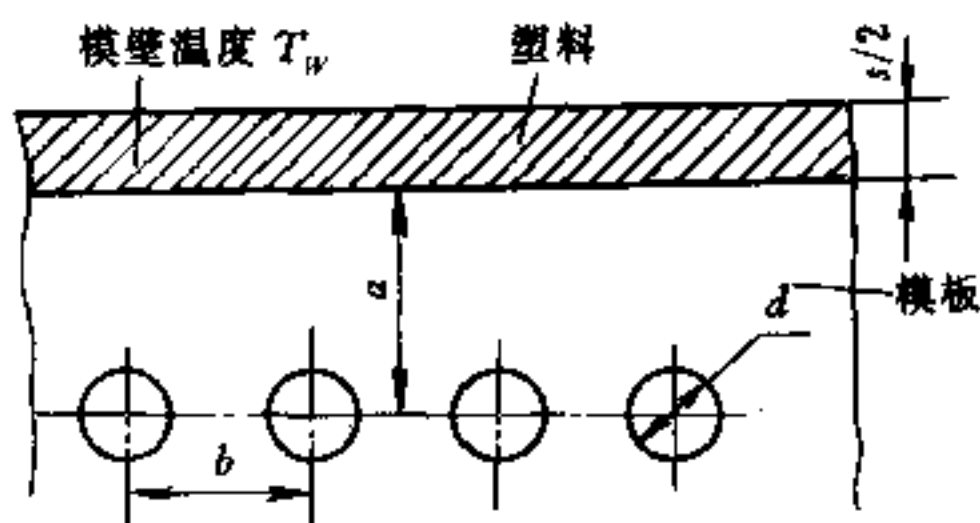


图 13.6-1 一维冷却系统的管道布置

因为模具的型腔壁较长,这样的冷却系统仅用图示的  $a$  和  $b$  两个参数就可确定,通常将这样的管道布置称之为—维冷却系统。

若设定冷却管道中允许的温度波动率为  $J$ ,可用如下公式迭代求解—维冷却系统中的管边距  $a$  和管间距  $b$ :

$$J = 2.4 \left( \frac{h_c d}{\lambda_w} \right)^{0.22} \left( \frac{b}{a} \right)^{2.8} \ln \left| \frac{b}{a} \right| \quad (13.6-1)$$

$$Q_C = \frac{0.87(T_w - T_C)\lambda_w h_c d}{0.876\lambda_w + h_c d[a - 0.13(\pi d - b)]} \quad (13.6-2)$$

其中,  $J$  为冷却管道中允许的温度波动率,对于无定形塑料,  $J < 5\%$ ; 对于结晶形塑料,  $J < 2.5\%$ ;  $d$  为设定的冷却管道直径;  $h_c$  为冷却水与管壁之间的传热系数;  $\lambda_w$  为模具材料的导热系数;  $T_w$  为型腔壁的平均温度;  $T_C$  为冷却水的平均温度;  $Q_C$  为冷却水应带走的热量。

由于直接利用上述两式求解  $a$  和  $b$  不方便,在编制程序时可按如下步骤计算  $a$  和  $b$ :

(1) 设定允许的水管温度波动率  $j$ 、水管直径  $d$  以及  $b/a$  的初始值(如选定一个大值  $b/a = 5.0$ )。

(2) 将  $b/a$  的初始值代入式(13.6-1)中,计算  $J$  值。比较  $J$  值与  $j$  值的接近程度,若  $J$  值不接近于  $j$  值,则依次减小  $b/a$ (如每次减小 0.1)。

(3) 通过制品与冷却水的热平衡分析获得冷却水应带走的热量  $q_C$ 。初次利用式(13.6-2)计算  $Q_C$  时,可假定  $a = d$ (管道直径)。比较  $Q_C$  与  $q_C$  的大小,若两值有较大差距,逐次增加  $a$  值(如每次增加 1mm),重新计算  $Q_C$  值,一直计算到  $Q_C$  与  $q_C$  接近为止,以此方法得到管边距  $a$  与管间距  $b$ 。

此算法简单,易于编程。对于大型、规则的塑料制品,如电视机外壳、箱类零件等,一维冷却分析的结果是令人满意的。

在冷却系统设计时,模具设计师除了水管的距离外,还希望能够获得冷却管道的长度、预测制品在脱模时的温度以及计算所需冷却时间等,其常用算法分列如下:

### 一、冷却时间计算

假定热量仅沿着制品的厚向传递,由一维微分方程  $\partial T/\partial t = \alpha_1 \partial^2 T/\partial y^2$  的解析解,可近似求得制品最小冷却时间  $t_C$

$$t_C = \frac{4h^2}{\pi^2 \alpha_1} \ln \left[ \frac{4(T_{1\max} - T_{2\min})}{\pi(T_{1\min} - T_{2\min})} \right] \quad (13.6-3)$$

其中,  $h$  为制品的半个厚度,  $\alpha_1$  为塑料的热扩散系数,  $T_{1\max}$  为熔体注射温度,  $T_{1\min}$  为制品推出温度,  $T_{2\min}$  为型腔壁最低温度。  $T_{1\max}$  与  $T_{2\min}$  由注射成型工艺确定,  $T_{1\min}$  可作为模具设计师的期望值事先确定。此时,  $t_C$  是在理论上为了达到制品推出温度期望值所需的最小冷却时间。

### 二、热阻计算

假定在模具型腔一侧有  $n$  个水管,模壁与水管  $i$  之间的传热阻力为  $R_{V_i}$ ,则总传热阻力  $R_V$  与各个单独的传热阻力  $R_{V_i}$  的关系为

$$\frac{1}{R_V} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{V_i}} \quad (13.6-4)$$

如图 13.6-2 所示,为了计算热阻,可将型腔壁简化为矩形面( $a \times b$ ),将水管  $i$  也简化

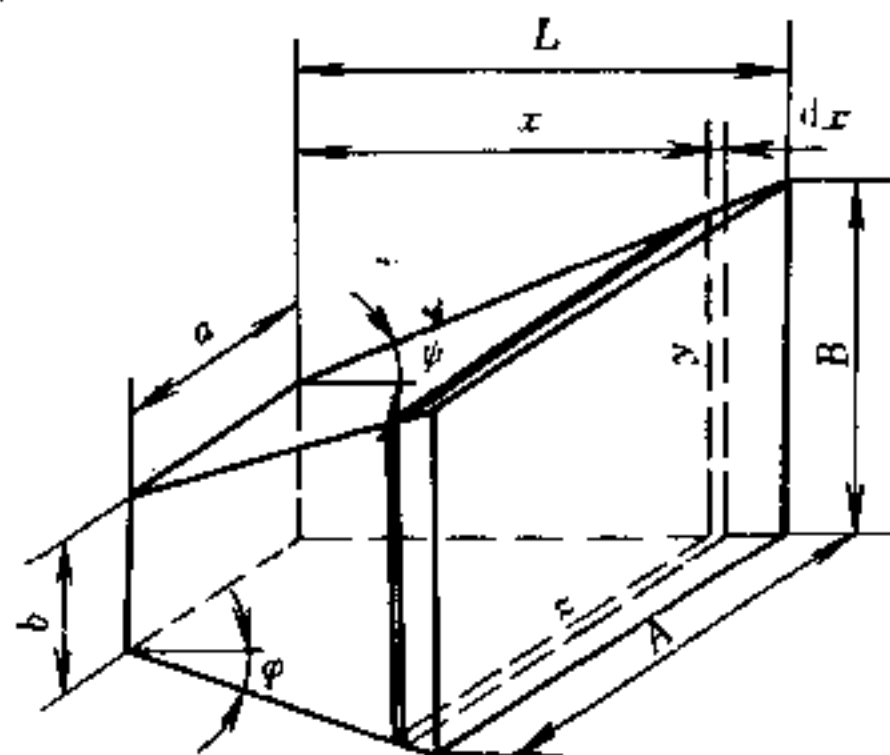


图 13.6-2 热阻计算模型

为与型腔壁平行、间距为  $\delta$  的矩形面( $A \times B$ )。此时可建立如下关系式

$$dR_{V_i} = \frac{dx}{\lambda \phi(x)} \quad (13.6-5)$$

其中,  $\phi(x)$  为与矩形面( $a \times b$ ) 距离为  $x$  的平行截面的面积;  $dx$  为两相邻平行截面的距离;  $\lambda$  为模具材料的导热系数。

对型腔而言,解式(13.6-5) 可得

$$R_{V_i} = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{2.3\delta}{(A-a)b - (B-b)a} \right] \lg \left( \frac{Ab}{aB} \right) \quad (A/B \neq a/b) \quad (13.6-6)$$

$$\text{或} \quad R_{V_i} = \frac{2.3\delta}{\lambda a B} \quad (A/B = a/b) \quad (13.6-7)$$

对型芯内部的冷却水管,用类似方法可得

$$R_{V_i} = \frac{2.3}{2\pi\lambda L_C} \lg\left(\frac{d_c}{d_i}\right) \quad (13.6-8)$$

其中,  $L_C$  为型芯长度;  $d_c$  为型芯外径;  $d_i$  为型芯内安置的冷却水管  $i$  的直径。

### 三、冷却水管总长度计算

冷却水管总长度取决于所需要的冷却水管传热总面积  $A$ , 其表达式为

$$A = \frac{Q}{(T_{3_m} - T_{4_m})\alpha_2} \quad (13.6-9)$$

其中,  $Q$  为冷却水需带走的热量;  $T_{3_m}$  为水管壁平均温度;  $T_{4_m}$  为冷却水平均温度;  $\alpha_2$  为水管壁与冷却水交界面的传热系数, 其表达式为

$$\alpha_2 = 7348(1 + 0.015T_{4_m}) \frac{v^{0.87}}{d^{0.13}} \quad (13.6-10)$$

其中,  $d$  为水管直径;  $v$  为冷却水流速, 其值应大于在直径为  $d$  的水管内达到湍流状态的最低流速。

水管壁平均温度  $T_{3_m}$  可由下式决定:

$$T_{3_m} = T_{2_m} - QR_V \quad (13.6-11)$$

其中,  $T_{2_m}$  为型腔壁平均温度,  $R_V$  为总热阻,  $Q$  为所需带走的热量。

### 四、预测制品的实际推出温度

在计算冷却时间时, 制品从模具中的推出温度  $T_{1\min}$  已作为模具设计师的期望值而预先设定。以此为基础, 经过一系列计算, 可以获得所需冷却水管总长度等参数, 这些参数能否保证制品的实际推出温度与模具设计师预先设定的期望值相吻合呢? 仍需要利用实验公式加以验证。

图 13.6-3 为实验曲线, 横坐标为冷却时间  $t_c$ , 纵坐标为冷却过程中制品与型腔壁之间的温差  $\Delta T$ 。此波动曲线可用幂律函数表征, 即

$$\Delta T = T_1 - T_2 = (T_{1\max} - T_{2\min})e^{-kt_c} \quad (13.6-12)$$

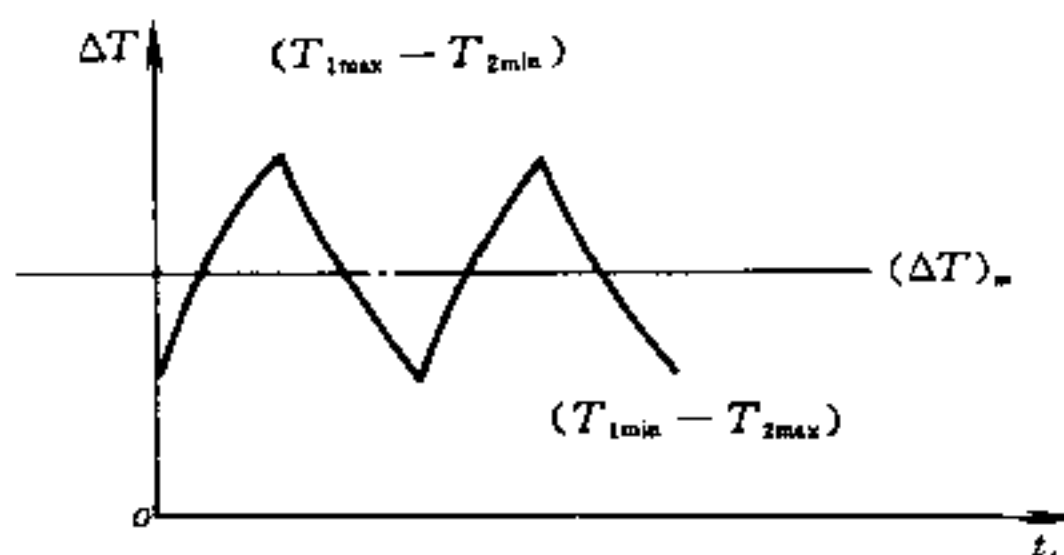


图 13.6-3 温差波动曲线

其中,  $T_1$  为制品温度;  $T_2$  为型腔壁温度;  $k$  为常数;  $t_c$  为冷却时间;  $T_{1\max}$  与  $T_{1\min}$  为制品在冷却过程中的最高温度与最低温度, 也即熔体注入温度与制品在推出时的实际温度;  $T_{2\max}$  与  $T_{2\min}$  为型腔壁在冷却过程中的最高温度与最低温度。

从图中可见, 对于稳定的注射过程, 该曲线在一个恒定的温度水平  $(\Delta T)_m$  上重复出



现。

在制品的一个冷却过程中对上式积分,取关于时间  $t_c$  的平均值,并利用  $t_c = 0$  时的初始条件,可得对数平均温差值

$$(T_1 - T_2)_m = \frac{(T_{1\max} - T_{2\min}) - (T_{1\min} - T_{2\max})}{\ln\left(\frac{T_{1\max} - T_{2\min}}{T_{1\min} - T_{2\max}}\right)} \quad (13.6-13)$$

根据牛顿冷却定律,  $(\Delta T)_m$  又可表示为

$$(T_1 - T_2)_m = \frac{Q}{\alpha_3 f \tau} \quad (13.6-14)$$

其中,  $Q$  为模具冷却系统在一个冷却过程中应带走的热量;  $\alpha_3$  为制品与模具之间的传热系数;  $f$  为制品与模具的接触面积;  $\tau$  为有效传热率(冷却时间与注射循环周期之比)。

联立式(13.6-13)与式(13.6-14),采用迭代法便可计算出在设定的冷却条件下制品推出温度的预测值。

若此预测值与模具设计师预先设定的期望值不符,可调整诸如冷却时间、型腔壁温度或者型腔壁温度波动值等参数,使预测值逐步与期望值相符。由这样的交互计算所获得的冷却系统工艺条件及冷却水管总长度等参数是较为可靠的。华中理工大学开发的 H-Mold2.0 软件具有此功能。

### 13.6.2 二维冷却分析

由于大多数塑料制品均具有复杂的形状,以等间距水管布置为基础的一维冷却系统设计方案显然是无法胜任的。一种行之有效的方法是,对注射模典型截面上的冷却系统进行二维冷却分析。

注射模的冷却过程具有非稳态性。模具内某点的测量温度在循环注射过程中呈周期性变化。但这种非稳态温度波动较小,且主要表现在型腔表面区域。在二维冷却分析中,经常忽略温度的这种周期性变化,认为温度场是稳定的。

二维稳态传热在数学上归结为求解拉普拉斯方程

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad x \in \Omega \quad (13.6-15)$$

其边界条件为

$$T = T_0 \quad x \in \Gamma_1 \quad (13.6-16)$$

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad x \in \Gamma_2 \quad (13.6-17)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_{1\max} - T_0) \quad x \in \Gamma_3 \quad (13.6-18)$$

其中,  $T$  为温度、 $\lambda$  为模具材料的导热系数、 $\Gamma_1$ 、 $\Gamma_2$  和  $\Gamma_3$  分别对应不同的边界条件。例如,模具与空气接触的部分属于  $\Gamma_1$ ,有时可简单地认为模具外壁温度是恒定的,且等于室温  $T_0$ ,边界条件  $\Gamma_2$  常用于对称的模具,此时因对称性可以只分析半个模具。模具的对称面便成为模具边界的一部分,因为在对称面上热流量为零。故温度的法向梯度  $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$ ,边界条件  $\Gamma_3$  分别对应如下三种情况:

(1) 模具与空气的边界, 此时不认为模具外壁温度是恒定的, 式(13.6-18)中的  $h$  为模具与室温  $T_0$  之间空气的热系数。

(2) 模具与冷却管道的边界, 此时式(13.6-18)中的  $h$  为水管壁与冷却水交界面的传热系数  $\alpha_2$  (参见式(13.6-10)),  $T_0$  此时为冷却水的温度。

(3) 塑料制品与型腔壁的边界, 此时  $h$  为塑料与模具之间的传热系数,  $T_0$  为塑料制品冷却时的温度。对此, 系数  $h$  可定义为:

$$h(t_c) = \frac{\int_0^{t_c} q(t) dt}{t_c(T_{1\max} - T_{2\min})} \quad (13.6-19)$$

其中,  $q(t)$  为随时间变化的塑料制品的热流量、 $t_c$  为冷却时间、 $T_{1\max}$  为熔体注入温度、 $T_{2\min}$  为型腔壁最低温度。从上式可见,  $h(t_c)$  是制品与型腔壁之间在一个冷却周期内传热系数的平均值。

式(13.6-15)既可用有限元法求解, 又可用边界元法求解。在求解冷却问题时, 常用边界元法。因为边界元法仅需离散二维截面的边界而不是整个截面, 能够简化操作, 节省计算时间。

边界元积分公式借助于格林第二公式得到。格林第二公式可写为

$$\int_D (T \nabla^2 K - K \nabla^2 T) dt = \int_{\Omega} \left( T \frac{\partial K}{\partial n} - K \frac{\partial T}{\partial n} \right) dA \quad (13.6-20)$$

其中,  $T$  和  $K$  是任意两个在区域  $D$  内二次可微函数;  $\Omega$  是区域  $D$  的边界。如果能够选择函数  $T$  和  $K$  均满足拉普拉斯方程, 即  $\nabla^2 K = \nabla^2 T = 0$ , 则有:

$$\int_{\Omega} \left( T \frac{\partial K}{\partial n} - K \frac{\partial T}{\partial n} \right) dA = 0 \quad (13.6-21)$$

$T$  选择满足拉普拉斯方程式(13.6-15)的温度场函数,  $K$  选择满足拉普拉斯方程的“自由空间格林函数”,  $K$  称为基本解。

在选定基本解后, 通过积分计算, 由上式可得到如下形式的公式

$$C(P)T(P) = \int_{\Gamma} [K_n(P, Q)T(Q) - K(P, Q)T_n(Q)] dS \quad (13.6-22)$$

其中,  $P$ 、 $Q$  分别是区域中和边界上的任意点, 如图 13.6-4(a) 所示,  $K(P, Q)$  为基本解, 二维分析时,  $K = \ln |PQ|$ ,  $T_n = \frac{\partial T}{\partial n}$ ,  $K_n = \frac{\partial K}{\partial n}$ ,  $n$  为在点  $Q$  的单位外法向向量,  $C(P)$  为  $P$  点内角,  $S$  为边界  $\Gamma$  的弧长。

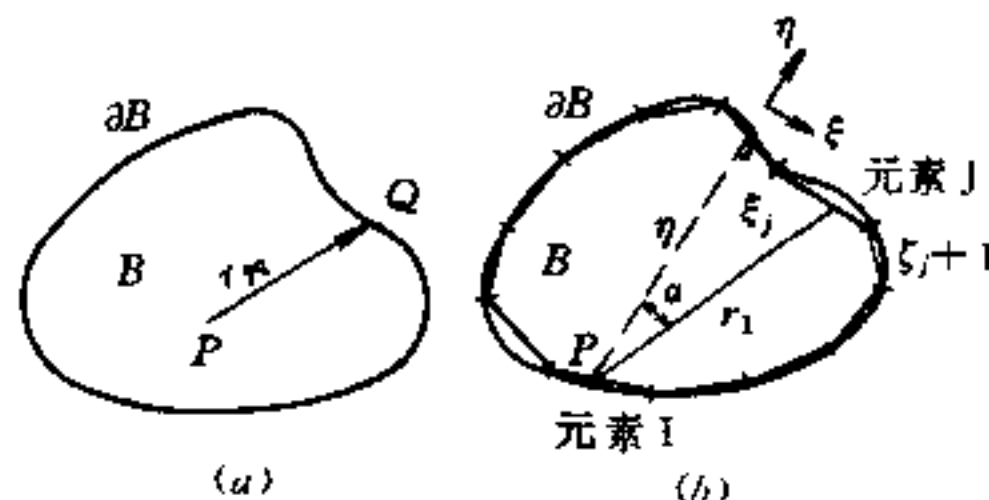


图 13.6-4 二维区域及其离散

式(13.6-22)又可改为

$$C(P)T(P) = \int_{\Gamma} \left( T \frac{\partial \ln r}{\partial n} - \ln r \frac{\partial T}{\partial n} \right) dS \quad (13.6-23)$$

其中,  $r = |PQ|$ , 假定边界  $S$  平滑, 当  $P$  在边界上时  $C(P) = \pi$ ,  $P$  在区域内时  $C(P) = 2\pi$ 。

式(13.6-23)表明, 区域内任一点温度  $T(P)$ , 皆能用边界积分项定义, 即已知边界上的  $T$  和  $\frac{\partial T}{\partial n}$ , 便可利用上式求得区域内任一点的温度。

如图 13.6-4(b) 所示, 若将  $P$  点移至由  $N$  个线性单元组成的边界上, 且假定  $T$  和  $\frac{\partial T}{\partial n}$  在每个单元内为常数, 则式(13.6-23)可改写为

$$\pi T_i(P) = \sum_{j=1}^N \left[ T_j \int_{\Gamma} \frac{\partial \ln r_i}{\partial n} dS - \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)_j \int_{\Gamma} \ln r_i dS \right] \quad (13.6-24)$$

上式的积分项可利用图 13.6-4 中所示的局部坐标系  $(\eta, \xi)$  求出。这样, 随着点  $P$  在边界上的移动, 便可得到  $N$  个代数方程, 加上  $N$  个边界条件, 就能唯一地确定  $2N$  个未知数  $\left( T \text{ 和 } \frac{\partial T}{\partial n} \right)$ 。

二维冷却分析软件可将分析结果(温度场或热流量场)用图形的形式显示在模具边界上, 同时可以输出冷却时间、冷却水管进、出口温度等数据。

模具设计师利用二维冷却与分析软件, 可交互式地改变冷却管道尺寸和位置, 或者改变冷却介质的流速和温度, 或者改变制品推出温度等, 来选择合理的冷却系统设计方案, 以便获得均匀的温度场分布和较短的模具冷却时间。

### 13.6.3 三维冷却分析

用二维典型截面代替三维模具进行冷却分析, 具有编程简单、计算量小等许多优点, 但并非所有的模具都能用二维典型截面来代替。特别是大型、精密注射模具, 需要更精确的分析结果, 此时应采用三维冷却分析。

在三维冷却分析时, 采用边界元法的优点除了能将三维问题化作二维问题处理外, 还能与三维注射流动分析程序共用同一几何模型, 可以大大简化几何选型和图形处理的工作量。下面分别简述三维稳态和非稳态的冷却分析原理及实现方法。

#### 一、三维稳态冷却分析

当考虑稳态传热时, 三维边界积分方程与二维相同(式(13.6-22)), 差别仅是三维基本解  $K = -|PQ|^{-1}$ , 但与二维冷却分析相比, 三维冷却分析的数值求解要困难得多, 具体表现为:

(1) 模具尺寸比例相差悬殊。例如, 模具外表面比冷却管道内表面尺寸大若干数量级, 冷却管道本身长度又比管道直径大许多倍, 型腔厚度和长度的尺寸也相差甚远, 除非将单元划分得很细, 否则边界元法无法适应单元尺寸的这种大幅度变化。

(2) 离散管道圆周一般需要 8 个单元。由于模具内冷却管道很长, 当划分管道表面网格时, 就会产生大量单元。

(3) 边界元法产生非对称满矩阵。当模具具有复杂型腔时往往导致计算量过大, 一种

解决方法是,将模具分解为若干子区域,然后分别对各子区域进行三维冷却分析,用化整为零的方法来减小数值计算的工作量。但是,对于复杂的冷却管道布置和不规则的模具型腔,三维子区域的划分方法很难实现。

由于注射模具内的封闭型腔与金属零件内的封闭裂纹较为相似,目前流行一种解决办法是采用断裂力学的研究手法,用型腔的中心面代替封闭表面来克服上述数值求解的困难。这种简化方法意义很大,不仅使计算量成倍地减少,而且其几何模型及网格划分能与三维流动分析软件共用。如果忽略温度和热流量沿冷却管道圆周方向上的变化,还可避免沿冷却管道表面划分网格的困难,这些措施为开发实用的三维冷却分析软件创造了极为有利的条件。

如图 13.6-5 所示模具,外表面为  $S_E$ ,型腔上表面为  $S^+$ ,下表面为  $S^-$ ,  $S_I = S^+ + S^-$ ,  $\Gamma$  为中心面。

假定型腔边界光滑,将  $S^+$ 、 $S^-$  面分别向  $\Gamma$  面无限接近,则趋近后的各面上满足拉普拉斯方程的基本解相同,即

$$K(P, Q^+) = K(P, Q^-) \quad (13.6-25)$$

$$K_n(P, Q^+) = -K_n(P, Q^-) \quad (13.6-26)$$

将此关系代入式(13.6-22),并将点  $P$  从区域  $V$  内移至中心面  $\Gamma$  上,可得

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma} [K(P, Q) \sum T_n(Q) - K_n(P, Q) \Delta T(Q)] dS_E \\ & + \int_{S_E} [K(P, Q) T_n(Q) - K_n(P, Q) T(Q)] dS_E \\ & = T(P^+) - C(P^+) [T(P^+) - T(P^-)] \end{aligned} \quad (13.6-27)$$

求解式(13.6-27),所得到的是  $\sum T_n(Q)$  和  $\Delta T(Q)$ ,它们分别是两型腔面  $S^+$  与  $S^-$  热通量的和及两型腔面的温差。为了求解出型腔的温度和热通量,需要补充公式。为此,采用在断裂力学中常用的微分法,可得

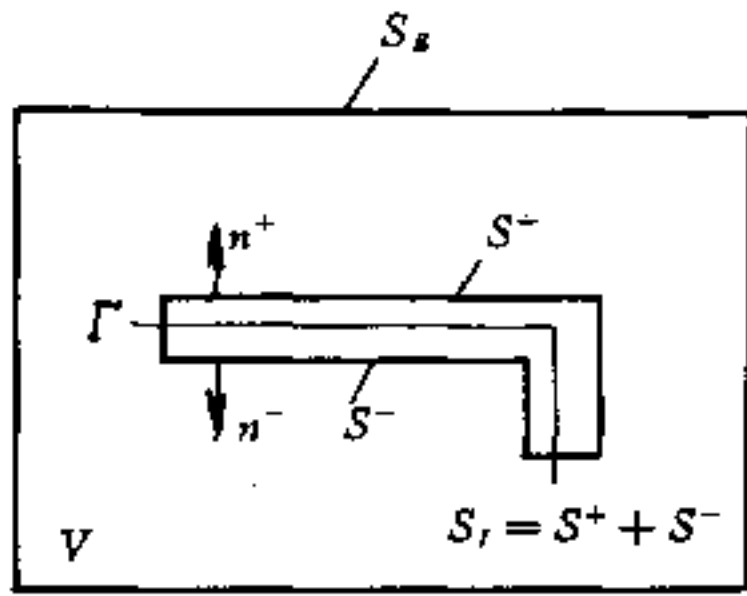
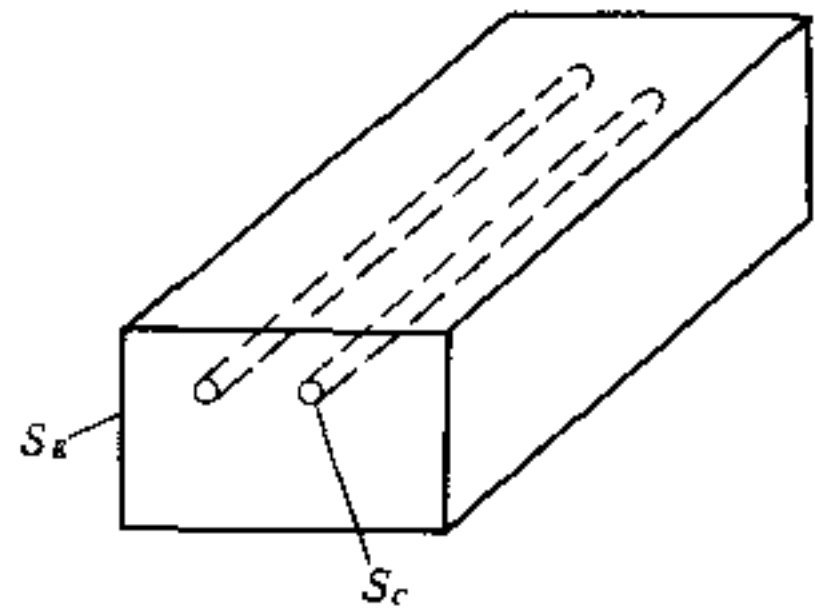
$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma} [K_m(P, Q) \sum T_n(Q) - K_{mn}(P, Q) \Delta T(Q)] dS_F \\ & + \int_{S_E} [K_m(P, Q) T_n(Q) - K_{mn}(P, Q) T(Q)] dS_E \\ & = T_m(P^+) - C(P^+) [T_m(P^+) + T_m(P^-)] \end{aligned} \quad (13.6-28)$$

$$K_m = \frac{\partial K}{\partial m_1}, K_{mn} = \frac{\partial^2 K}{\partial m \partial n}$$

冷却管道也可用类似方法简化,如图 13.6-6 所示。设  $S_C$  为冷却管道表面,将点  $P$  移到管道轴线上,并将管道沿轴线划分为  $M$  段,采用柱面坐标系,由式(13.6-22)有

$$\begin{aligned} & \int_{l_j} \int_{S_E} [K(P, Q) T_n(Q) - K_n(P, Q) T(Q)] dS dl \\ & + \int_{l_j} \sum_{i=1}^M \int_{l_i} \int_0^{2\pi} [K(P, Q) T_n(Q) - K_n(P, Q) T(Q)] R d\theta dl(Q) dl(P) = 0 \end{aligned} \quad (13.6-29)$$

其中,  $l_j$  表示第  $j$  段圆柱管道长度,因为一般冷却管道之间的距离大于管道直径,在上式中

图 13.6-5 由表面  $S_E$  和  $S_I$  围成的  $V$  域图 13.6-6 由表面  $S_E$  和  $S_C$  围成的  $V$  域

可忽略  $T$  和  $T_m$  沿  $\theta$  角的变化。

在模具中,同时考虑型腔和冷却管道,用类似的推导,可以得到一组点  $P$  在模具外表面、点  $P$  在型腔中心面、点  $P$  在冷却管道轴线上的方程式,然后用数值方法求解。

### 二、三维非稳态冷却分析

当对精密注射模作冷却系统分析时,需要考察型腔壁的各点温度随时间变化的情况,此时就需采用三维非稳态冷却分析,非稳态问题的求解比稳态问题要复杂得多。

非稳态分析的传热方程为

$$\frac{\lambda}{\rho C} \nabla^2 T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (13.6-30)$$

其中,  $T$  为温度;  $\lambda$  为导热系数;  $\rho$  为密度;  $C$  为比热容。

对式(13.6-30)的计算机求解,国内外许多学者进行了大量研究,最早是采用有限差分法,用差分 and 差商代替微分和微商。为了提高求解的精度,60年代又流行有限元法。从理论上讲,将非稳态热传微分方程求解转化为泛函变分问题,将温度对时间的微分用差分法展开,用数值方法求出各时间步长的温度场是可行的。然而,有限元法需对整个模具进行三维网格划分,会导致数据量过大、计算时间过长、操作复杂等弊病。

对于三维非稳态传热问题。国外学者在70年代曾提出用直接边界元法求解,采用了与时间有关的基本解。但采用与时间有关的基本解进行边界元计算时仍要求三维网格划分,失去了边界元法中只计算边界积分和只划分边界网格的优越性。

美国SDRC公司的三维非稳态冷却分析软件,在求解式(13.6-30)时采用了傅里叶转换消去其时间变量,然后采用边界元法求解。对应于不同的傅里叶数的温度场,该方法或者由于精度问题,或者由于计算量大,在使用中仍受到一定限制。

华中理工大学塑料模CAD组,采用特解边界元法将非稳态传热问题转化为完全边界积分的形式,开发了实用可靠的三维非稳态冷却分析软件。其处理过程如下

引入满足式(13.6-30)的基本解

$$K(P, Q) = \frac{\rho C}{4\pi\lambda r(P, Q)} \quad (13.6-31)$$

其中,  $r$  为计算点  $P$  与积分点  $Q$  的距离;  $\rho$  为密度;  $C$  为比热容;  $\lambda$  为导热系数。

根据格林公式,由式(13.6-28)得到边界积分方程为

$$\int_V \frac{\partial T}{\partial t} K(P, Q) dV = \int_{S_I} [K_n(P, Q) T(Q) - K(P, Q) T_n(Q)] dS_I - C(P) T(P) \quad (13.6-32)$$



其中,  $V$  为体积;  $\Gamma$  为  $V$  的边界;  $S_\Gamma$  为弧长;  $T$  为温度;  $C(P)$  为  $P$  点内角。等式左边包含体积分。为了将体积分化为面积分, 将温度对时间的微分表示为一系列与空间有关的函数  $f$  和与时间有关的函数  $\alpha$  的乘积

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \sum_{j=1}^N f_j(x) \frac{\partial \alpha_j(t)}{\partial t} \quad (13.6-33)$$

假定  $f$  为某函数  $\psi$  的二阶导数  $f = \nabla^2 \psi$ , 式(13.6-32) 左端的体积分可表为

$$\int_V \left[ K \frac{\partial T}{\partial t} \right] dV = \sum_{j=1}^N \frac{\partial \alpha_j}{\partial t} \int_V [f_j K] dV = \sum_{j=1}^N \frac{\partial \alpha_j}{\partial t} \int_V \nabla^2 \psi_j K dV \quad (13.6-34)$$

将上式用格林公式变换, 整理后得到

$$\begin{aligned} \int_V \nabla^2 \psi_j(Q) K(P, Q) dV &= - \int_\Gamma [K(P, Q) \psi_j(Q) + K_n(P, Q) \psi_j(Q)] dS_\Gamma \\ &\quad - C_j(P) \psi_j(P) \end{aligned} \quad (13.6-35)$$

式中,  $\varphi = \frac{\partial \psi}{\partial n}$ 。将上式代入式(13.6-32) 可得

$$\begin{aligned} C(P) T(P) + \int_\Gamma [K(P, Q) T_n(Q) - K_n(P, Q) T(Q)] dS_\Gamma \\ = \frac{\rho C}{\lambda} \sum_{j=1}^N \left\{ C_j(P) \psi_j(P) + \int_\Gamma [K(P, Q) \varphi_j(Q) - K_n(P, Q) \psi_j(Q)] dS_\Gamma \right\} \end{aligned} \quad (13.6-36)$$

至此, 已将温度对时间微分有关的体积分转化为面积分, 因此可用纯边界积分求解。

在冷却过程中, 制品与模具不断地进行热交换。理想的非稳态分析应同时考虑四方面的热交换: 制品内部、制品与模具之间、模具内部、模具与冷却介质之间。由于在制品和模具的冷却分析中分别采用了不同的数值分析方法, 需采用迭代法对制品和模具的冷却进行耦合分析, 其计算步骤如下:

- (1) 选定时间步长。由于在制品及模具计算中采用的有限差分格式皆为无条件稳定, 该时间步长的确定主要以考虑计算精度为主, 如可取时间步长为 0.5s。
- (2) 读入流动分析结果。以流动结束时刻的温度作为非稳态冷却分析的初始温度。
- (3) 对制品进行一维非稳态传热的有限差分计算, 确定本时间步长内制品与模具界面的热通量。
- (4) 根据特解边界元法, 对模具进行三维非稳态冷却分析, 求出模具内的温度分布。
- (5) 根据模具内的温度分布, 重复步骤 3 和步骤 4, 直至制品与模具上的每一节点温度值满足收敛条件

$$\frac{T_i^{(n)} - T_i^{(n-1)}}{T_i^{(n)}} < 0.01 \quad (13.6-37)$$

式中,  $T_i^{(n)}$  与  $T_i^{(n-1)}$  分别为第  $n$  次和第  $n-1$  次迭代时求出的节点  $C$  的温度值。

- (6) 将上一时间步长的模具温度分布作为本时间步长的初始条件, 重复步骤(3) 至步骤(5), 直至所有时间步长全部计算完毕。

美国 AC-Tech 公司、澳大利亚 Moldflow 公司和我国华中理工大学模具技术国家重点

实验室开发的冷却分析软件都具有三维非稳态冷却计算功能,可以为模具设计师提供各个冷却时刻中制品与模具的温度分布。

### 参 考 文 献

- 1 冯元桢.连续介质力学导论.北京:科学出版社,1984
- 2 俞昌铭.热传导及其数值分析.北京:清华大学出版社,1981
- 3 孔祥谦.热传导中的有限单元法.北京:科学出版社,1986
- 4 Zienkiewicz O. C. The Finite Element Method, 3rd edition, McGraw-Hill, 1977
- 5 Wang V. W. Hieber C. A. and Wang K. K., Dynamic Simulation and Graphics for the Injection Molding of Three Dimensional Thin Parts, J. Polym, Eng., 7, 21 - 45(1986)
- 6 李志刚主编.模具 CAD/CAM.北京:机械工业出版社,1994



## 第十四章 注射模软件开发与应用

### 14.1 注射模软件概述

塑料注射成型是生产塑料制品的主要手段。随着塑料工业的飞速发展,注射模传统的手工设计与制造已无法适应当前的形势。缩短模具设计与制造时间,提高制品精度与性能的正确途径是采用计算机辅助设计(CAD)、辅助工程(CAE)和辅助制造(CAM)。近二十年来塑料流变学、计算机技术、几何造型和数控加工等技术的突飞猛进,为注射模设计与制造采用高新技术创造了条件。80年代以来,注射模CAD/CAE/CAM技术已从实验室研究阶段进入了实用化阶段,并在生产中取得了明显的经济效益。注射模CAD/CAE/CAM技术的发展和推广,被认为是CAD技术在机械工业中应用的典范。

从70年代起,注射模CAD/CAE/CAM技术已成为当今世界的热门研究课题,分散、零星的研究发展为集中、系统的开发。1987年澳大利亚Modflow公司率先推出商品化的二维流动模拟软件,在生产中发挥了显著作用。尔后在短短20年间,国际市场上涌现出大量注射模CAD/CAE/CAM商品化软件。如美国AC-Tech公司的注射模CAE软件C-Mold,它包括:优选注射工艺材料,优化成型工艺参数,平衡流道系统设计,三维流动、保压、冷却分析程序以及应力分析和翘曲变形预测程序。澳大利亚Moldflow公司的CAE软件,包括流动模拟、冷却分析、应力分析和翘曲变形预测等。该公司又开发出一套智能控制器(IPC),它先利用分析软件产生的结果对塑料流动情况进行优化,然后据此以控制注射机。该系统可在较短时间内自动地做好机器的起动准备,通过对充模、保压等工艺参数的优化,来减小产品质量的波动。德国IKV研究所的CAD/CAE软件、CADMOLD软件(包括模具结构设计、模具强度与刚度分析、流动模拟及冷却分析等程序)以及美国麦道公司UGII、法国GISIGRAPH公司STRIM1000、英国DELTACAM公司DUCT5等软件,这些软件除了能在工作站上运行,还能在微机上运行。

我国自80年代以来陆续从国外引进了数十套注射模CAD/CAE/CAM系统。实践表明这些系统对提高我国模具技术水平有一定的推动作用,但由于这些软件大都在工作站上运行,硬件和软件的价格昂贵,而且这些软件大多局限在分析模拟及CAM方面,在CAD方面没有做更多的工作。譬如不能很好地解决制品模型至模具型腔面的转换,二次开发能力差,同时在许多方面不符合我国的实际情况,如单位制、模架标准、无汉字库等。造成了这些软件在应用上未能充分发挥其作用。

我国的一些科研机构,特别是高等院校,自80年代中期开展注射模高技术的研究,武汉华中理工大学、上海交通大学、浙江大学、天津轻工业学院、成都科技大学等都先后取得了一批喜人的科研成果。如华中理工大学于1988年底研制出了注射模CAD/CAE/CAM系统的原型版本HSC1.0,经过近五年时间的推广,国内十余家工厂的验证,目前已推出一套适用范围广,运行稳定,结果可靠、使用方便,并具有自主知识产权的商品化注射模

CAD/CAE/CAM 软件 H-MOLD2.0。此外，国家“八五”科技攻关项目注射模 CAD/CAE/CAM 集成系统软件的开发和应用，已于 1996 年 4 月在北京进行了鉴定和验收。

## 14.2 H-Mold 总体结构

H-Mold2.0 是一套集注射模设计、制造、工艺分析于一体的商品化软件。它是基于 Auto CAD12.0 环境，面向模具设计人员开发的，它适用于普通 PC386-486-586，其主流操作系统为 OS2、MS-DOS、MS-Windows 系统。它包括三个库和八个功能模块，其中数据库存储了塑料的物性数据、注射工艺参数、模具材料以及模具设计和制造过程所需要的数据，模架库存储了标准模架装配及零件数据，图形库则存储了各种典型结构的图形数据、关系数据，用户可借助于 H-Mold2.0 所提供的二次开发工具生成或修改数据库、模架库和图形库，所有功能模块的输入和输出数据均由数据库统一管理。图 14.2-1 为 H-Mold2.0 的总体结构图。

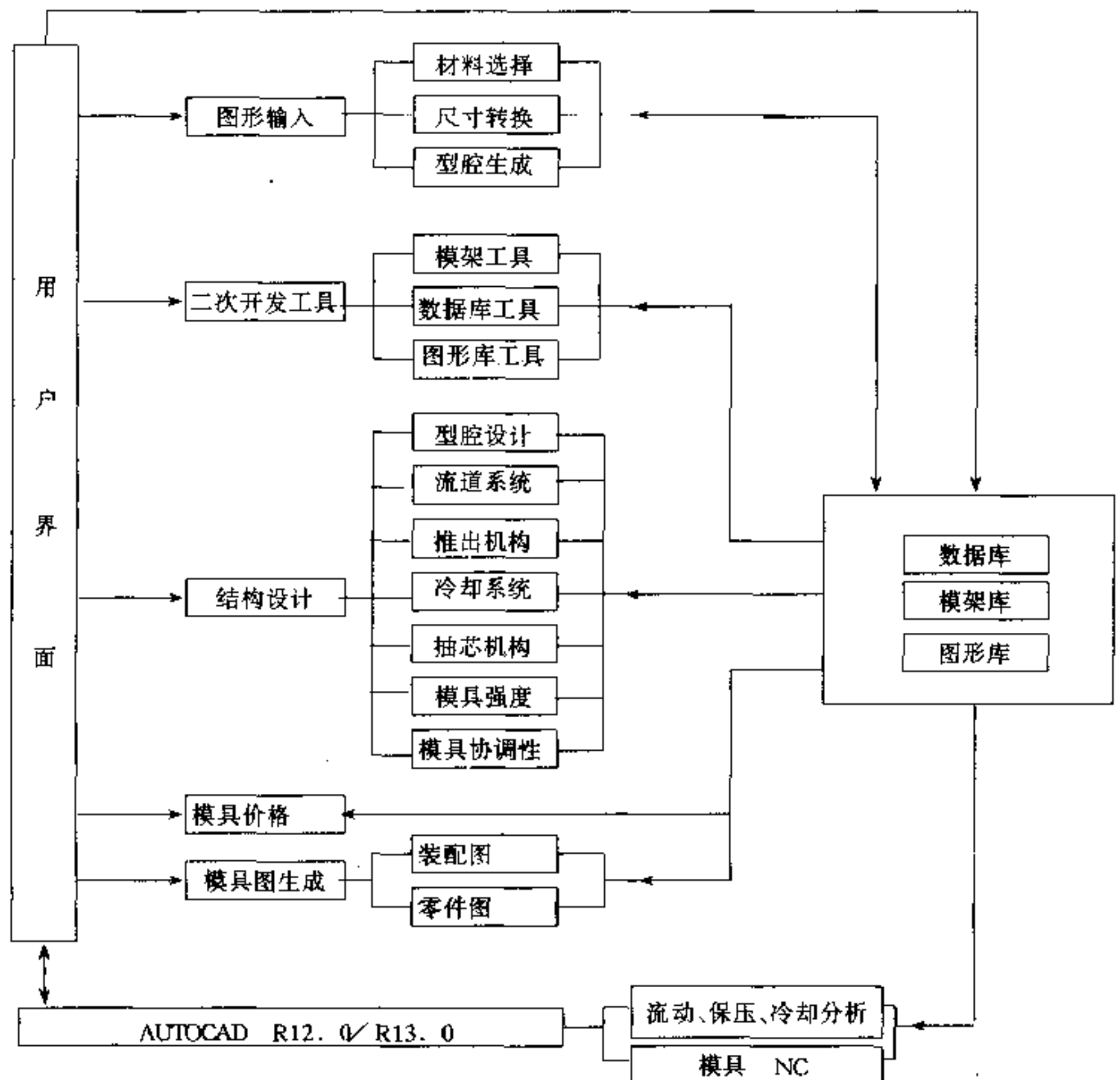


图 14.2-1 H-Mold2.0 的总结结构图

## 14.3 图形输入软件

塑料模腔几何模型的建立,是实现计算机辅助设计(CAD),计算机辅助分析(CAE),计算机辅助制造(CAM)关键性的基础技术。近年来,不论是应用国外的注射模软件还是国内自行开发的注射模软件,都表明如果不能快速简便地建立模腔的几何模型,这些软件的应用价值将大打折扣,直接影响注射模 CAD/CAE/CAM 系统的推广和应用。

通常模腔几何模型的建模方法有两种:等比例缩放法和尺寸驱动法。等比例缩放法,就是对塑料制品的几何模型进行等比例变换得到模腔几何模型,所用比例为  $1 + S$  ( $S$  为塑料收缩率),这种方法由于未充分考虑到不同类型尺寸的缩放量应有所不同,因而它的应用受到限制。尺寸驱动法,是用户直接借助于图形软件的功能输入模腔的图形,从而在计算机内建立模腔的几何模型。采用这种方法必须首先进行塑料制品的尺寸到模腔尺寸的换算,而目前通用的几何造型软件,均不能在图形编辑过程中进行尺寸的叠加运算,因而需要在现有通用几何造型软件上进行二次开发,使得模腔图形的生成得以简化。

H-Mold2.0 采用了一种基于图形尺寸图形输入法,借助于尺寸转换,同时生成塑料制品的型腔面和型芯面。

### 14.3.1 模腔图形输入软件

塑料注射成型的特点,决定了模腔的几何形状必须完全与制品几何形状一致,只是由于考虑塑料的收缩、模具的磨损、模具结构及制造精度,而将模腔尺寸作相应的改变。模腔图形输入软件正是紧紧围绕模腔与制品的拓扑信息完全相同这一特征,为用户提供多种简便易行的图形输入方法,其主要功能有材料选择、尺寸转换、模腔生成三大模块,如图 14.3-1 所示。材料选择模块用以确定制品的最大与最小收缩率,尺寸转换模块主要完成制品尺寸到模腔尺寸的换算,模腔生成用以完成二维图形的输入及三维图形的输入,二维图形的输入可以采用逐点移动法,布尔运算法以及基于尺寸的编辑法,其输出结果可直接用于模具结构设计,为了建立用三维流动、冷却分析所需的模腔几何模型,用户可选用基于尺寸的编辑法、扫描法等方法生成三维图形。

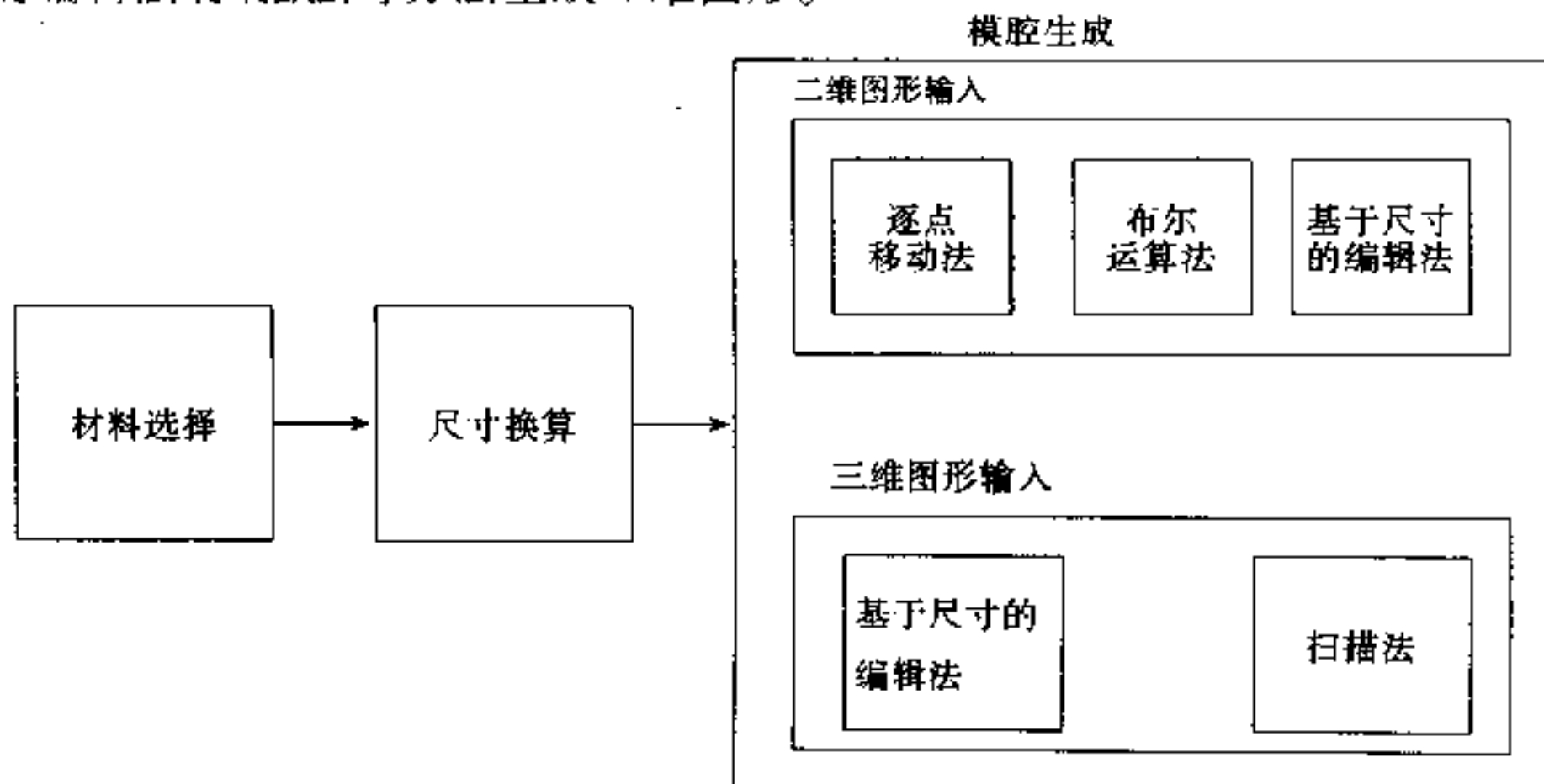


图 14.3-1 图形输入功能结构图

### 14.3.2 模腔尺寸换算

模具设计师在进行模具设计时,考虑到塑料的收缩和模具的磨损与机械加工,必须将塑料制品的尺寸换算成模腔尺寸。对于一个中等复杂程度的塑料制品而言,需要换算的尺寸常常有上百个。这项工作如果完全由手工完成无疑十分繁琐、费时,因此,图形输入软件应能进行尺寸的自动换算,模腔尺寸换算是以制品尺寸为依据,考虑塑料收缩率及模具的磨损进行的,通常采用基于平均收缩率的计算公式,如型腔径向尺寸的换算公式为:

$$L_M = [(1 + S_{\bar{r}})L_S - \alpha\Delta]_0^{+\delta_z} \quad (14.3-1)$$

式中  $S_{\bar{r}}$  —— 平均收缩率;

$L_M$  —— 模具尺寸;

$L_S$  —— 制品的名义尺寸;

$\Delta$  —— 制品尺寸公差;

$\delta_z$  —— 模具制造公差;

$\alpha$  —— 修正系数,它与塑料的收缩、型腔磨损及制造精度有关,一般取 0.5 ~ 0.8。

实践表明,当塑料实际收缩率为最大收缩率而模腔又被加工到最小允许尺寸,或实际收缩率为最小收缩率,而模腔又被加工到最大允许尺寸,制品的尺寸常常超差。在前种情况下尺寸可能偏小,在后一种情况下尺寸可能偏大,修正系数  $\alpha$  的正确选取,有助于扩大公式(14.3-1)的适应范围,为此 H-Mold 采用下式判断  $\alpha$  的取值。

$$\frac{L_S(S_{\max} - S_{\min})}{2\Delta} + \frac{1}{n} \leq \alpha \leq 1 - \frac{L_S(S_{\max} - S_{\min})}{2\Delta} \quad (14.3-2)$$

其中,  $S_{\max}$ 、 $S_{\min}$  为塑料的最大和最小收缩率;  $n$  为尺寸公差与制造偏差的比值,为保证式(14.3-2)成立,必须有:

$$\Delta \geq L_S(S_{\max} - S_{\min}) + \delta_z \quad (14.3-3)$$

根据注射模成型尺寸特点,  $\alpha$  若存在,则取  $[1 - L_S(S_{\max} - S_{\min})/2\Delta]$  为最佳值,这样不仅保证了在极端情况下制品尺寸仍不超差,又有最大的磨损量。

模腔尺寸换算步骤为:先根据最大、最小收缩率按式(14.3-3)判断制品公差是否合理,若合理程序按式(14.3-2)右边取定  $\alpha$ ,然后由式(14.3-1)计算出型腔的尺寸,用户只需输入制品的名义尺寸  $L_S$ ,公差  $\Delta$  及模具制造精度,其余工作由程序自动完成。尺寸换算时以便进行尺寸叠加,将建立尺寸号、制品尺寸、模腔尺寸索引链表。

图形输入过程中所需的数据量如位移、等距值半径、角度等均通过尺寸的叠加运算求得,用户在生成模腔的几何元素或进行几何编辑时,用户只需输入参加叠加运算的尺寸号,程序便自动在索引链表中搜索出参加运算的尺寸,并计算出所需最终数值。

### 14.3.3 二维模腔图形输入

依据制品图,用户可以采用逐点移动法、布尔运算法、基于尺寸编辑法输入模腔的二维图形,为模具的结构设计和二维数控加工提供几何模型。

逐点移动法,是通过尺寸叠加的方法完成尺寸驱动的。尺寸叠加法计算结点坐标值的

基本公式为:

$$X_B = X_A + \sum_{i=1}^m K_i L_i; Y_B = Y_A + \sum_{i=1}^m K_i L_i \quad (14.3-4)$$

式中,  $(X_A, Y_A)$  为已知结点的坐标值,  $(X_B, Y_B)$  为所求结点的坐标值,  $L_i$  为由 A 点求取 B 点所用到的尺寸值,  $m$  为用到的尺寸个数,  $K_i$  为运算系数, 根据不同的图形标注方法,  $K_i$  取不同值。

逐点移动法的优点, 是可以一次完成制品图至模腔图的转换, 不足之处是输入图形的速度较慢。

二维图形的布尔运算, 能通过简单几何图形的并、交、差运算快速生成复杂的图形。因此, 可以作为注射模模腔图形输入的辅助方法, 尽管注射零件的形状、尺寸复杂多变, 但其图形的构成中常常有许多相同或相似的基本图形, 如正方形、矩形、三角形、圆等。可将这些图形作为基本图形定义成参数化的特征图, 用户在图形输入时直接依尺寸号调用。

基于尺寸编辑法, 是借助于一组基于尺寸的作图和编辑命令来生成模腔图形, 运用这组命令用户只需输入计算所需的尺寸号, 并选择不同的运算系数, 程序便自动完成画图命令或编辑命令。这种方法可大大加快输入图形的速度且简便易学。

#### 14.3.4 三维模腔图形输入

为了进行三维流动分析和冷却分析, 必须首先建立模腔的三维几何模型。塑料模模腔图形输入软件提供了基于尺寸编辑法、扫描法和三维重构法输入三维模腔的几何图形。二维图形输入时所用的基于尺寸编辑法, 可以推广应用到三维图形的输入中, 通过定义不同的用户坐标系, 用户能在不同的参考面上进行图形编辑。

扫描法能将二维图形转化为三维立体图。系统除提供常用的平移式扫描和旋转式扫描外, 还针对塑料模的特点提供一种变截面的扫描法。平移式扫描法, 是将平面图形沿某矢量方向移动一给定距离生成柱面或多棱体; 旋转式扫描法, 是将平面图形绕某轴线旋转产生一旋转体; 变截面扫描法, 在沿给定矢量方向移动平面图形时, 根据给定斜度放大或缩小平面图形, 这种方法可方便地输入带脱模斜度的三维模腔图。

图 14.3-2 为采用 H-Input 图形输入软件所生成的某牌号汽车上拨动件三维模腔图。

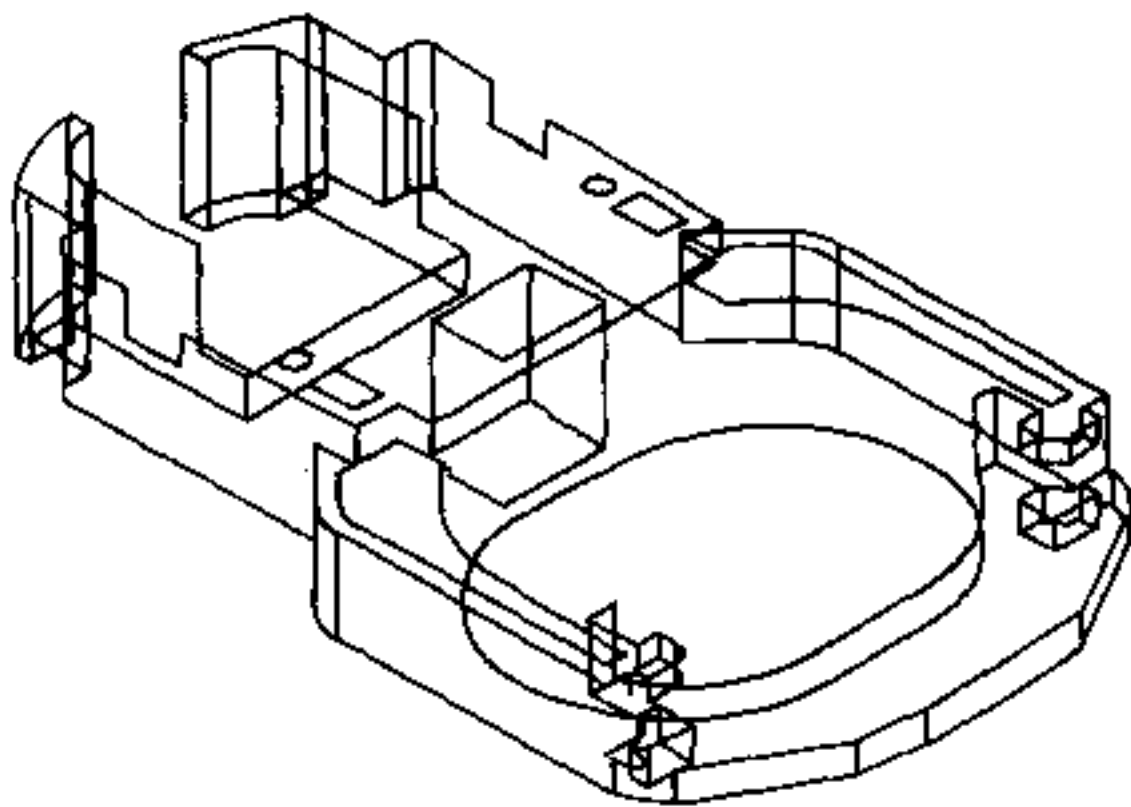


图 14.3-2 汽车拨动件模腔图



## 14.4 结构设计软件

在注射模设计中,模具结构设计涉及的内容既深又广。由于大多数注射零件形状复杂,传统的手工设计周期长,模具图的绘制也非常繁杂,利用计算机辅助手段来进行注射模的结构设计很有必要。

在传统设计中,模具设计人员首先根据产品图,进行模腔尺寸换算得到模腔图形,然后通过型腔布置、标准模架选择、流道设计、动模和定模部装图设计、顶出机构设计、斜抽芯机构设计、冷却系统设计、总装图设计等步骤完成注射模总装图、部装图、零件图等绘制。然而注射模复杂多变的结构形式和模具设计师风格各异的设计习惯给注射模 CAD 软件的开发增添了很大困难。为此,在注射模 CAD 软件的开发之前必须对注射模结构设计的功能分析得清楚、透彻。在进行充分需求分析的基础上运用软件工程中结构化分析和设计思想建立系统的功能模型和设计模型,以此为依据开发模块化的注射模 CAD 软件。

### 14.4.1 结构设计软件结构

模具设计的主要目标是完成模具施工图纸的绘制。注射模设计是一个自上往下、逐步求精的过程。典型的步骤是:

(1) 确定模具结构的总体方案,包括型腔布置,模架选择等;

(2) 根据制品的特点选择不同的模具结构进行功能单元的分配,如斜抽芯机构、冷却系统等都属于功能单元;

(3) 功能单元的细化,包括组成各种功能单元的零件设计及绘图,由此建立如图 14.4-1 所示的注射模结构设计软件结构图。

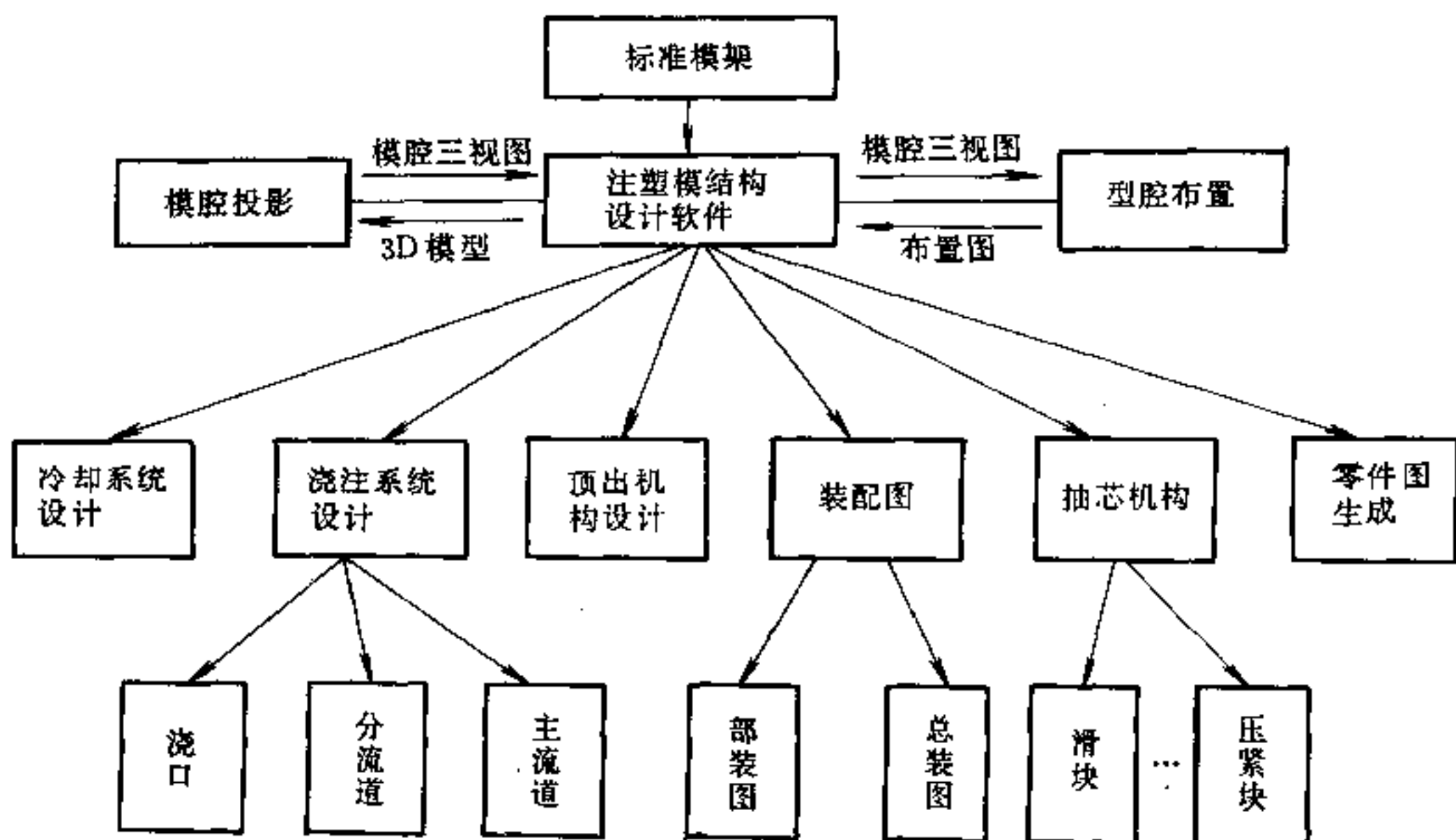


图 14.4-1 注射模结构设计软件结构图

### 14.4.2 标准模架选择及编码

标准模架的选择是注射模结构 CAD 工作的一个重要步骤,标准模架系列应在设计工作开始之前,就已存放在数据库中供程序选用。

日本、美国、德国等先进工业国家均已实现了注射模架的标准化,并已广泛运用到生产中。我国的注射模架系列已有国家标准(详见 § 18.10),正在推广和运用之中,这是开展模具 CAD 的前提。

下面以我国许多厂家习惯采用的部颁标准模架 SJ2528-84 为例,介绍标准模架的选择和编码。该标准模架共有 10 种模架组合形式,44 种组合系列、31150 种规格。这 10 种组合形式分两大系列,Z 系列是定模无附加分型面的组合类型集合,属单分型面系列,T 系列是定模有附加分型面的组合类型集中,属双分型面系列。

由于模架结构形式的选择难以用数学方法来描述,影响选择的因素与制品形状、顶出方式,注射机等因素有关,因而这是一种创造性的工作,在很大程度上只能依赖于设计人员的经验来确定。利用图 14.4-2 所示的程序流程,模具设计人员能方便地选择出所需的标准模架系列。

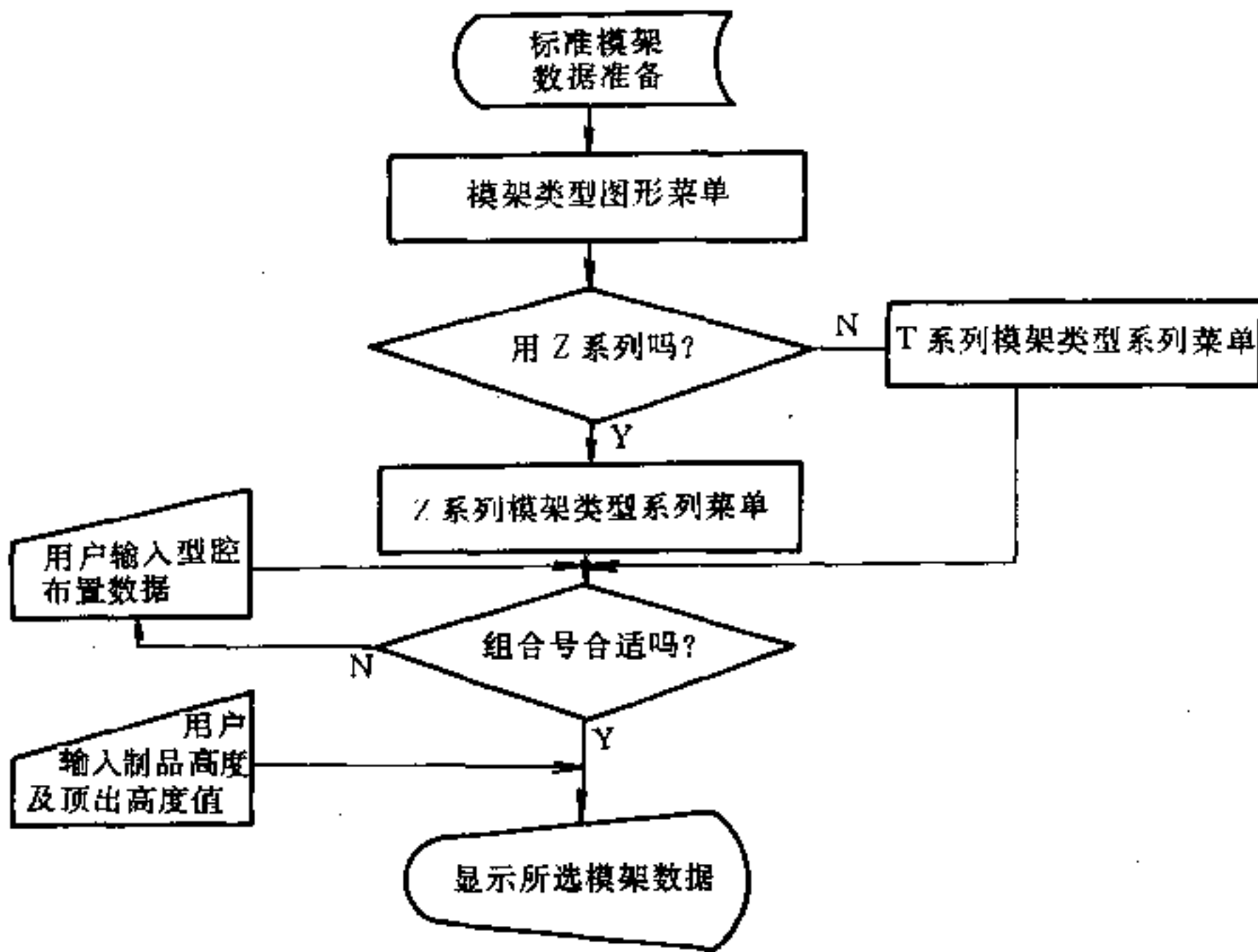


图 14.4-2 标准模架选择程序流程图

模架系列确定后,仍需要确定该系列中合适的模具零件尺寸。因此各种模架系列中全部模具零件尺寸,均需要存放在数据库中以供查询。存放的方式若是将模架手册中的表格数据原封不动地照搬,这样势必要占去计算机大量的存储空间,且查找也不方便。当尚无合适的数据库可采用时,自行建立简明的编码系统是一种行之有效的方法。

根据模具零件尺寸之间的隶属关系,在这样的编码系统里一般可采用链表数据结构和树状数据结构。链表结构属于顺序关系结构,程序通过指针对一组数据逐个访问,以选取合适的的数据,可避免同一属性的数据项的重复存储,从而实现信息的压缩,例如在决定



顶杆长度时,只需存储对应规格顶杆的长度指针以及一组长度尺寸,查询时,通过这种长度指针可以方便地选取合适的顶杆长度,如图 14.4-3(a)所示。

树状结构属于层次关系结构。根据隶属关系,可将不同种类的模具零件安排在不同的层次里。例如,可将顶板放在第一层次,将动模板放在第二层次,因为一旦顶板的宽度确定下来,动模板的宽度也就确定了,这时可进入第二层查找在确定的宽度下合适的动模板长度,如图 14.4-3(b)所示。

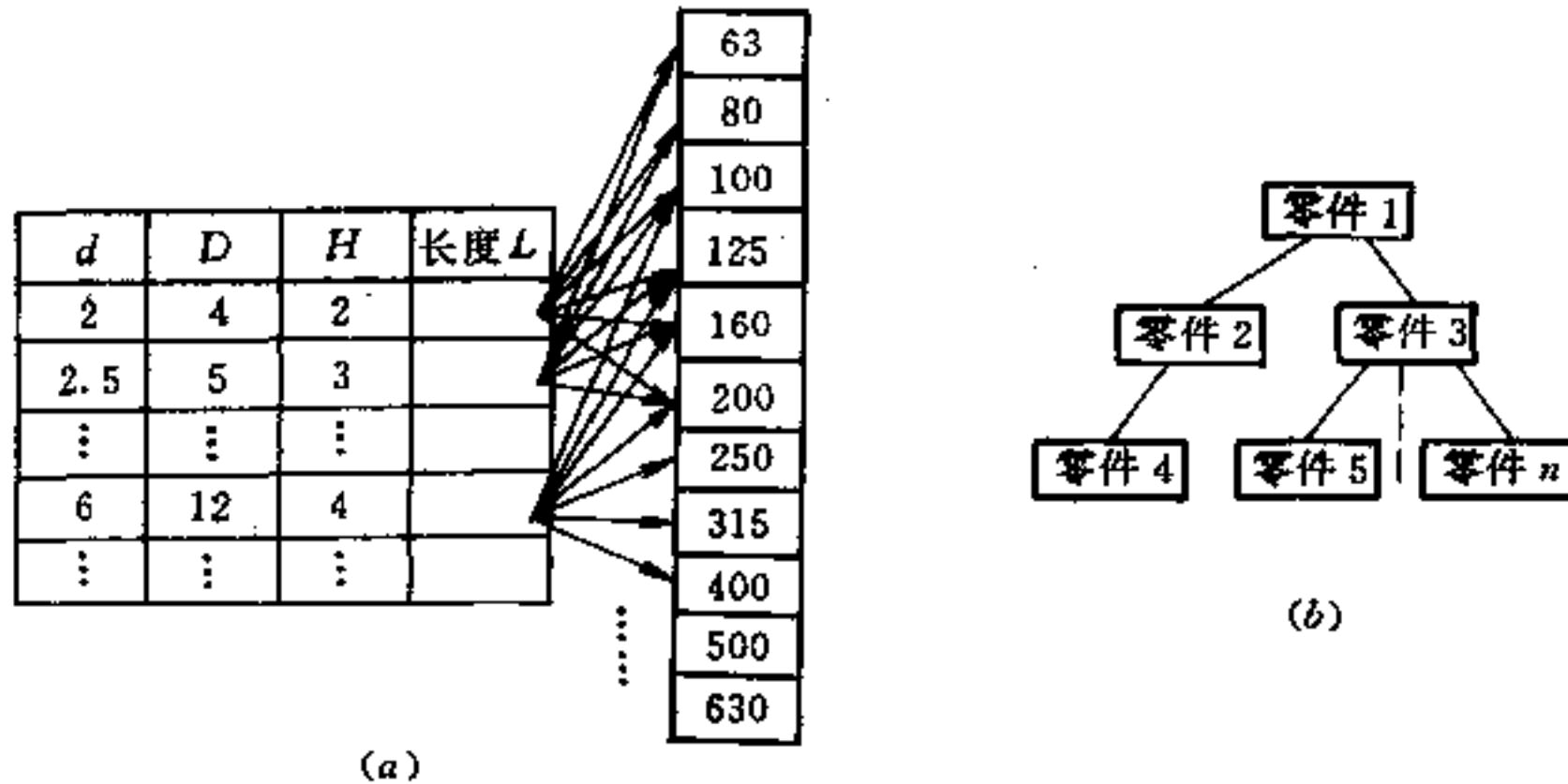


图 14.4-3 模具零件编码的两种数据结构

(a) 链表结构;(b) 树状结构。

编码时,采用如下数据压缩技术来减少数据的存储。

(1) 以一种分离的尺寸量形式存储零件的几何数据,尽可能使每个存储单元存储最大的信息量。

(2) 以整型量代替实型量,因为双字节的整数在计算机内占 16 位,而实数占 32 位,因此应尽量将模具尺寸中的实数转换成整数形式编码。

(3) 同一属性的数据不重复存储,在编码时安排好必要的的数据联系指针,做到同一属性的数据项只存储一次。

采用上述的编码技术后,可大大节省计算机的存储空间,华中理工大学对标准模架(SJ2528-84)13 种系列 31150 种规格进行了编码。由于所占用存储空间小,使得全套的注射模 CAD/CAE/CAM 软件能在 PC386/486 机上运行。

在编码系统的基础上,需要制定一组原则来选择模具零件的尺寸,并根据这些原则编制计算机程序,使模具零件尺寸的选择过程能够自动地或者以人机交互的形式完成。例如,动、定模板的尺寸选择首先应遵循如下两条原则:

- (1) 顶板的宽度应大于型腔的总宽度;
- (2) 在长度方向上,导柱的中心距离应大于型腔的总长度。

第一条原则的依据是,所有推杆必须位于顶板的平面内,这就要求顶板宽应大于型腔的总宽度;第二条原则保证动模板在长度方向上能容纳下型腔和导柱。由于每一种宽度的动模板对应着某一宽度的顶板,所以一旦顶板宽确定下来,动模板宽度也就随之而定,动模板的长度则根据第二条原则确定。

根据第一条原则选定动模板的宽度后,若宽度所对应的动模板所有长度等尺寸无法满足第二条原则,则动模板宽度和顶板宽度需增加一个档次,然后重新根据第二原则,

选取动模板合适的长度,一直到以上的两原则全部满足为止。这个选择过程可由程序自动完成,然后显示结果等待模具设计人员认可或修改。

### 14.4.3 成型零件设计及程序处理

在小型、精密接插件注射模设计中,成型零件多采用镶拼式结构,以满足要求型腔高强度、高耐磨、高精度及良好的互换性的要求。镶拼式结构是把型腔或型芯分解成若干镶块相互拼合而成。该结构的工艺特点是以成型面磨削加工为主要加工手段,变内型面加工为外型面加工,将镶块拼合装入定、动模板上已加工好的模孔内。

成型零件分块设计是十分复杂的,与成型零件尺寸大小、尺寸精度、定位精度、排列方式、加工手段等诸多因素有关。针对小型、精密接插件形状特征,可总结出如下分块设计原则。

- (1) 镶块外形应尽量简单,镶块数应尽量少,以减少装配工作量和过多的拼接痕迹;
- (2) 同一镶块上的接合线应尽量平行或垂直,便于修配,加工时互为基准;
- (3) 镶块的角度应为  $90^\circ$  或钝角,避免锐角;
- (4) 如果制品具有对称性,为便于加工,在凹模分块设计时应该沿对称线分开;
- (5) 在分块时,应尽量将复杂的内形加工变为外形加工;
- (6) 在分块时,应尽量让每个镶块具有良好的互换性;
- (7) 镶块之间应尽量采用凹凸槽嵌接,防止其在注射成型过程中发生相对位移;
- (8) 镶块之间的拼接线应尽量与制品脱模方向一致,以免渗入塑料,妨碍制品脱模;
- (9) 个别容易磨损部分可单独做成一块,以便加工和更新,如在小型精密多腔注射模设计中,由于流道较长,压力损失大,磨损较严重,为便于修理和更新,常把流道和浇口单独做在流道板上;
- (10) 接插件模具型芯较多且细长,因此在对型芯进行分块设计时,一定要控制其高径比,避免分块成细长型芯;同时要避免在正对着浇口处安置单独的型芯,以免型芯在注射成型过程中折断。

由于镶拼结构分块设计原则的灵活性,同时根据模具设计者的习惯和加工条件的不同也可能引起分块设计有多种方案,因而很难建立起小型、精密、多腔注射模镶拼结构设计统一的数学模型,这就给计算机编程带来了很大困难。采用自动设计与人机交互相结合的方式,来处理小型精密多腔接插件注射模镶拼结构设计,是一种行之有效的办法。该法在自动把型腔布置图和流道布置图复制到标准化的镶拼结构图后,为用户提供各种交互方式进行镶拼结构的细部设计,并进行镶拼零件的分离,其工作步骤如下:

首先,根据工厂的情况,建立起标准化的镶拼结构图及镶拼块图如图 14.4-4(a) 所示,图 14.4-4(b) 所示为 D 型镶拼结构中镶块 A 的参数图。对于已标准化的镶块可利用建库工具,建立起它们参数化图形库,供零件设计时调用。

然后,在已复制型腔布置及流道布置图的镶拼结构上,交互式地进行分块设计,生成定、动模镶拼组件部装图。其交互过程主要包括如下 4 种操作:以型腔某条边为基准添加一条平行线;选择分割点,从分割点绘制分块线;延长某一分块线或型腔边;对分块线进行编辑处理。

一旦定、动模镶拼组件部装图设计完成,就可以按交互方式从已设计完毕的部装图上

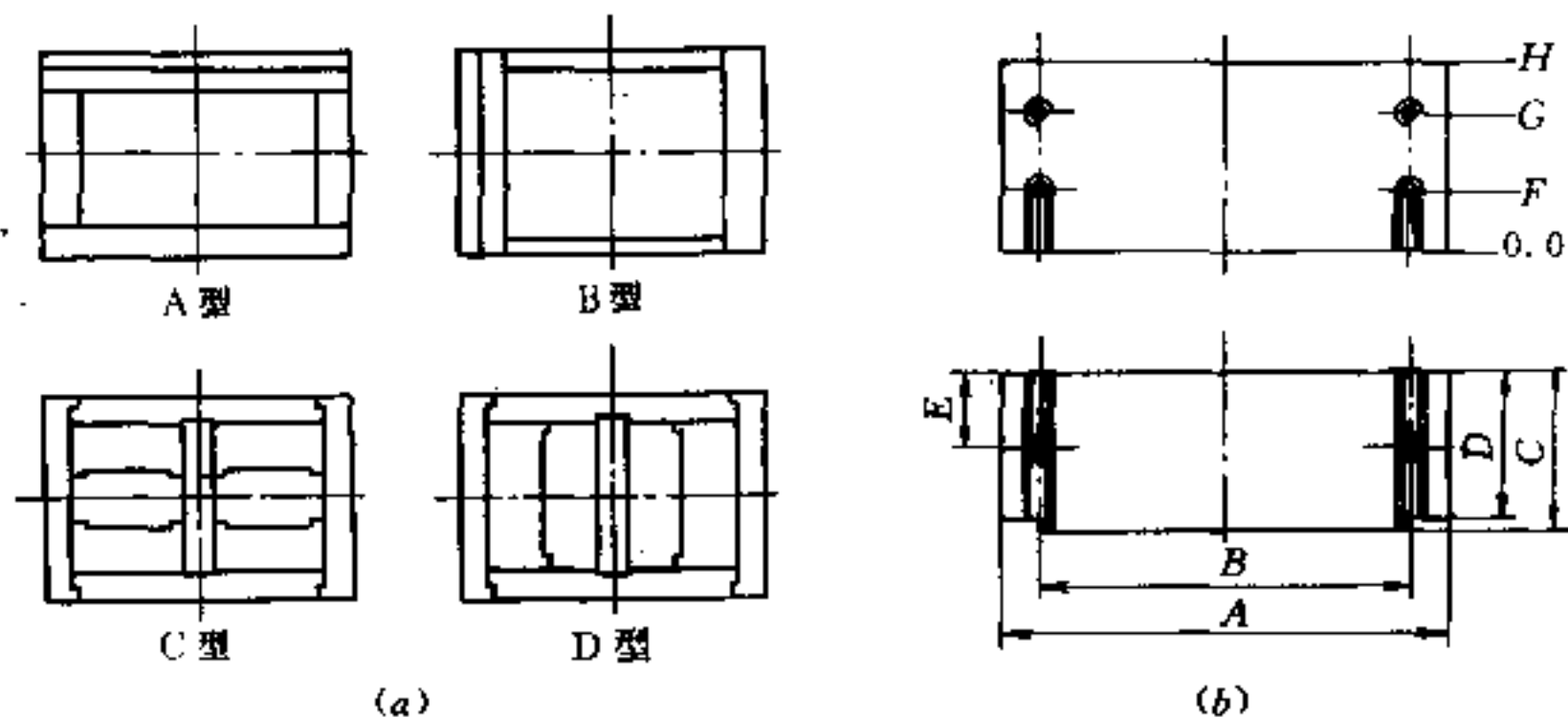


图 14.4-4 标准化的镶拼结构图及镶拼块图

(a) 常用镶拼结构类型; (b) D型镶拼结构拼块 A 尺寸参数图。

进行分离镶拼零件的工作。首先输入镶拼零件名, 进行镶拼零件视图选择, 然后在程序的提示下从部装图上选择出属于该镶拼零件的实体, 分离后的零件视图存入图形库, 供零件设计时调用, 图 14.4-5 为镶拼结构设计程序流程图。

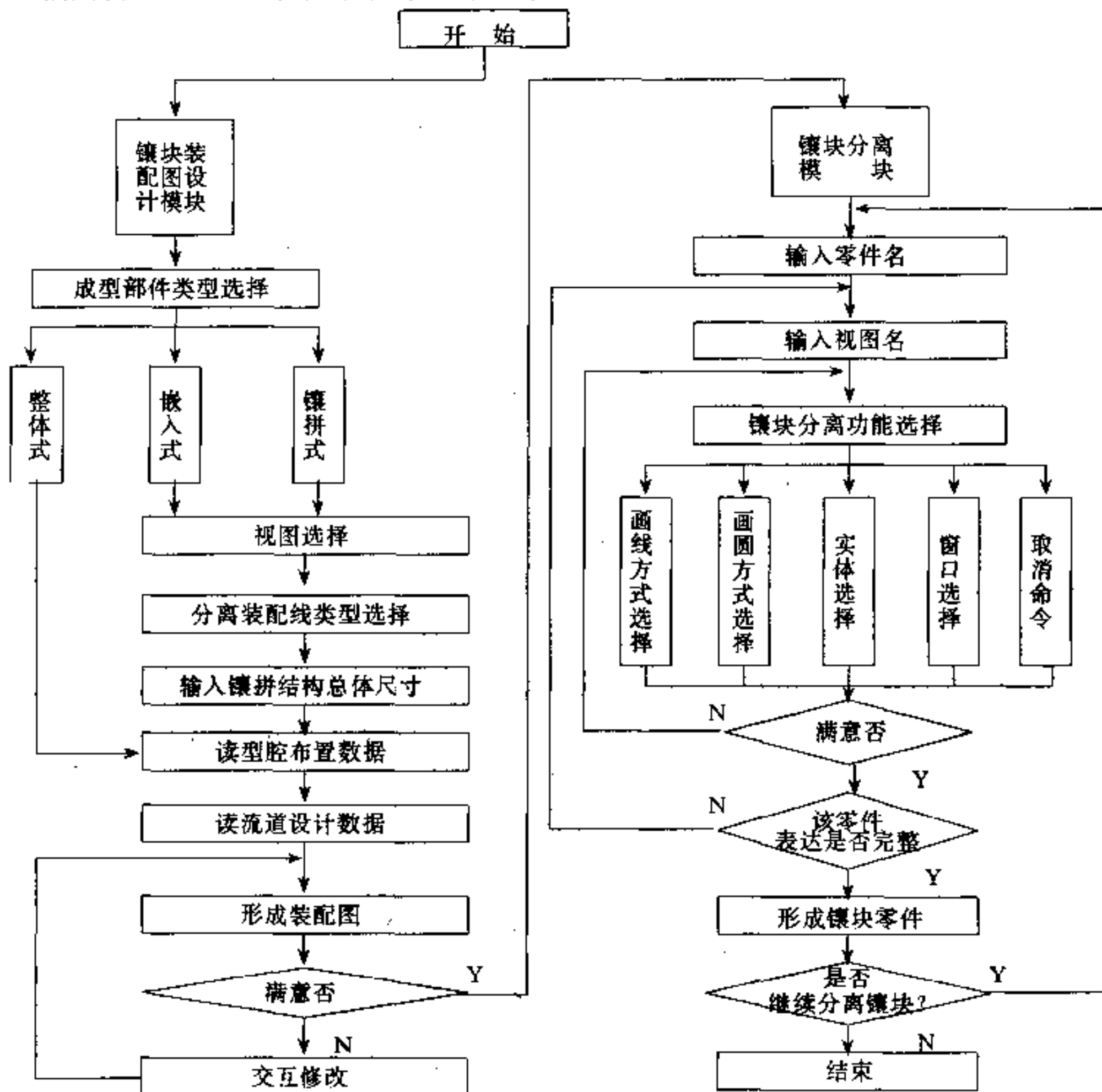


图 14.4-5 镶拼结构设计程序流程图

## 14.5 参数化图形库的应用

在注射模设计中, CAD 技术的应用极其普遍, 被公认为 CAD 技术在机械工程中应用的典范, 其原因之一就是注射模标准化程序高。这些标准化结构, 随着工艺和结构上的不同要求, 它们只是在尺寸上按照标准发生变化, 基本图形并无实质性改变, 即图形的数据结构没有变化。这样就有必要和可能建立起相应的图库, 这种参数化图库的建立对实用性和设计效率影响很大。

### 14.5.1 图形库构成及其数据结构

每个零件在二维空间中, 都是由几个视图组成, 每一视图又由若干元素组成, 若把一个零件看成一个集合  $G$ , 则有:

$$G = G_P \cup G_F \cup G_L \cup G_d$$

其中  $G_P$ 、 $G_F$ 、 $G_L$  分别表示零件俯视图, 主视图, 侧视图, 它们为零件集合  $G$  的子集,  $G_d$  为各视图的尺寸标注, 也为集合  $G$  的子集。

并有:

$$G_P = \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_1} G_{PP_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_2} G_{PL_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_3} G_{PC_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_4} G_{PA_i} \right\}$$

$$G_F = \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_1'} G_{FP_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_2'} G_{FL_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_3'} G_{FC_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_4'} G_{FA_i} \right\}$$

$$G_L = \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_1''} G_{LP_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_2''} G_{LL_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_3''} G_{LC_i} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_4''} G_{LA_i} \right\}$$

其中下标  $P_i$ 、 $L_i$ 、 $C_i$ 、 $A_i$  分别表示构成各视图的点、线、圆、圆弧、元素子集:

$$G_d = \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_1'''} G_{dt_{1i}} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_2'''} G_{dt_{2i}} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_3'''} G_{dt_{3i}} \right\} \cup \left\{ \bigcup_{i=1}^{K_4'''} G_{dp_i} \right\}$$

其中下标  $t_{1i}$ 、 $t_{2i}$ 、 $t_{3i}$  分别表示各种不同标注方式子集。

零件是点元素集合、线元素集合、圆元素集合、圆弧元素集合及标注方式集合的并集, 因此, 每个零件具有如图 12.6-1 所示的树状层次结构。

图形库内零件图形信息分 3 类, 第一类为拓扑信息, 第二类为几何信息, 第三类为尺寸信息。为表征图 14.5-1 所示的树结构, 采用了如图 14.5-2 所示的数据结构, 三类信息有效地统一于该数据模型中。

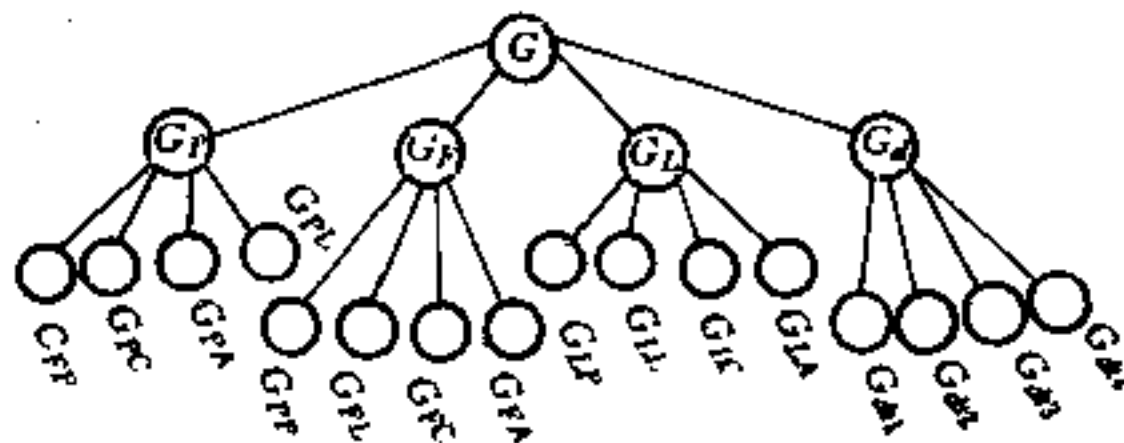


图 14.5-1 零件的树结构

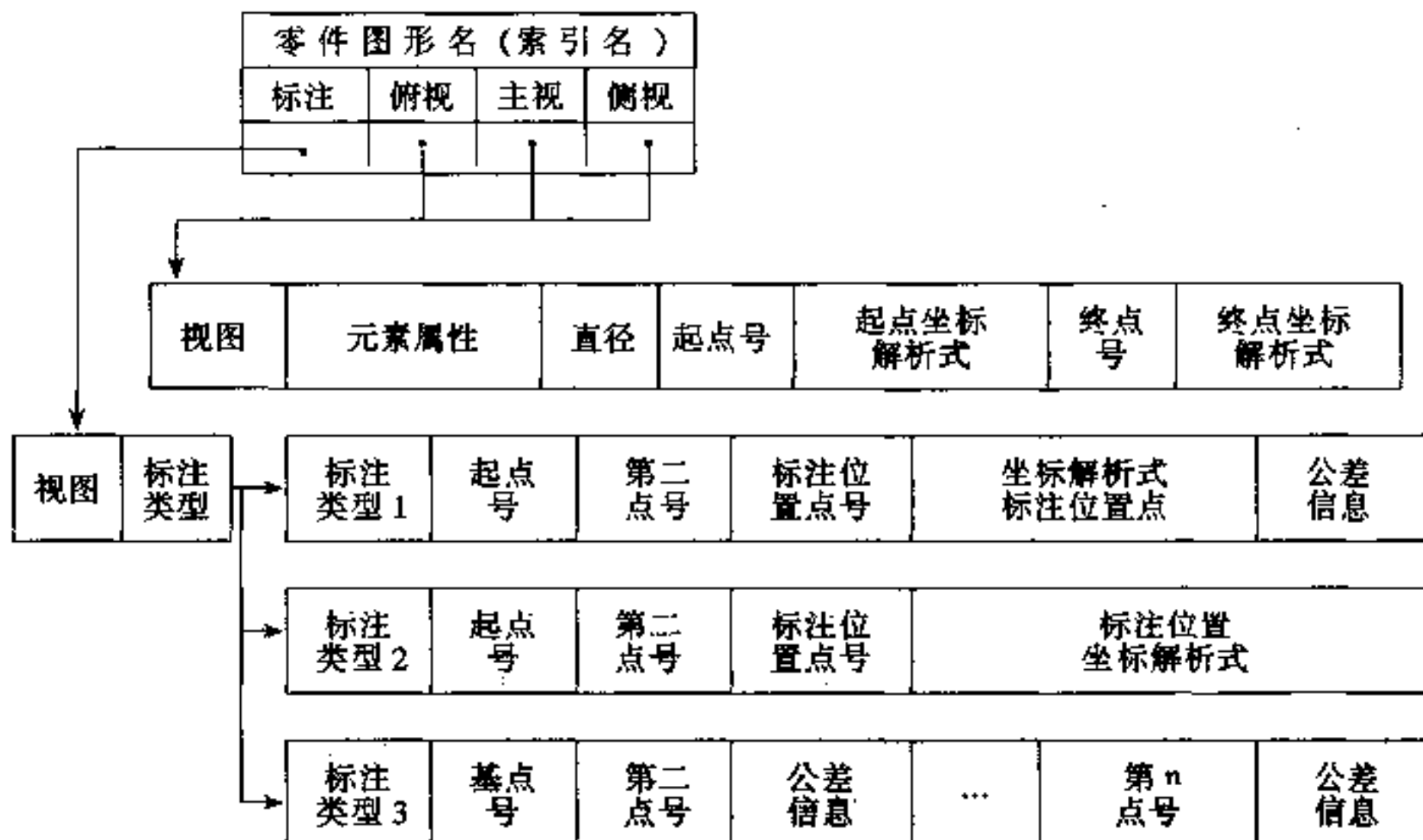


图 14.5-2 图形库数据结构

### 14.5.2 参数化图形库实现方法

为此,在 H-MOLD 系统中采用了尺寸叠加、人机交互程序做为建立参数化图形库的基本工具。尺寸叠加算法的基本原理,是根据图形所标注的尺寸值建立起图形节点关于尺寸的方程,可表述为:

在图形的  $x$  方向有:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{n-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{11} & \cdots & K_{1m} \\ K_{21} & \cdots & K_{2m} \\ \vdots & & \vdots \\ K_{n1} & \cdots & K_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_m \end{bmatrix} \quad (14.5-1)$$

在图形的  $y$  方向有:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_{n-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{11} & \cdots & K_{1m} \\ K_{21} & \cdots & K_{2m} \\ \vdots & & \vdots \\ K_{n1} & \cdots & K_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_m \end{bmatrix} \quad (14.5-2)$$

式(14.5-1)、式(14.5-2)中左边 $(x_i, y_i)$ 为所求结点的坐标值, $(x_0, y_0)$ 为图形已知结点坐标值, $L_i$ 为由已知求取未知点所用到的尺寸值或变量, $m$ 为图形中完整标注的尺寸总数, $n$ 为所求结点的总数, $K_{ij}$ 为求取第 $i$ 个结点所用第 $j$ 个尺寸模式,根据不同图形标注方法, $K_{ij}$ 是不相同的既可为常数;也可为三角函数,基于式(14.5-1)、式(14.5-2)所列的结点方程可完整地描述出零件形状。

建立参数化图形库,首先利用上述参数化建库工具,建立起图形库内最基本的参数化图形元件,形成参数化图形元件库,然后对图形元件实现交、并、差操作;同时可利用 COPY 拷贝、镜面变换、旋转等编辑功能对已生成图形进行操作,最后对图形进行尺寸标注,形成参数化图形库,图 14.5-3 为实现参数化图形库的结构。



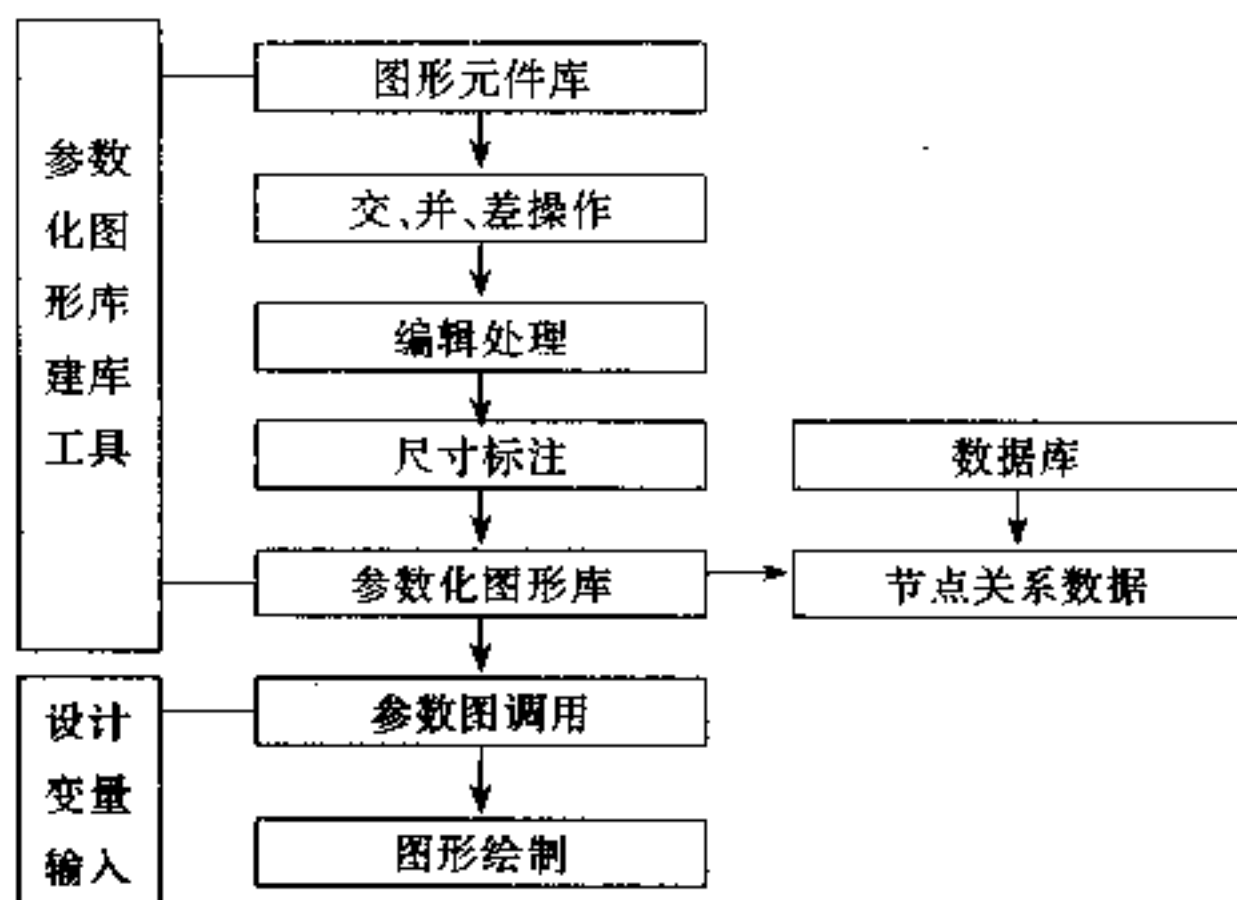


图 14.5-3 参数化图形库实现结构图

由于图形结点以解析式存入数据库,因而,图形的调用程序十分容易编写,只要编制能处理点、线、圆及尺寸标注的简单程序即可,零件名即为索引名。

## 14.6 充模流动模拟软件

注射模流动模拟软件作为一种辅助设计工具,能在模具制造之前预测塑料熔体在型腔内的流动行为,因而能提高模具设计质量、降低模具成本、缩短模具制造时间,得到了模具行业的极大关注。

### 14.6.1 流动模拟软件总体结构

利用前述塑料注射成型流动分析、流动平衡分析以及保压过程分析的数学模型和数值计算方法,开发出相应的分析模块,以这些分析模块为核心,配置统一的前、后置处理模块,便构成了流动模拟分析软件。从总体上看,H-MOLD 系统将所有的功能模块分为三级,材料选择、工艺条件选择、几何造型及网格划分为第一级;这一级的工作完成是分析程序的先决条件。分析模块包括简易流动分析、详细流动分析、流动平衡分析、工艺条件优选、保压分析,它们构成第二级;第三级由后置处理程序组成,其总体结构如图 14.6-1 所示。

### 14.6.2 简易流动分析

简易流动分析,是将塑料熔体的充模流动简化为牛顿流体的等温流动进行分析,所得流动状态的预测结果和详细流动分析的预测结果较为接近。由于在简易流动分析中省去了温度场的计算过程,其所需分析时间仅为详细流动分析的  $1/30 \sim 1/20$ ,因此,简易流动分析模块的开发可以减少详细流动分析的次数,提高分析效率。

### 14.6.3 详细流动分析

详细流动分析,是将塑料熔体的充模流动视为非牛顿流体、非等温流动进行分析。采用有限元/有限差分混合法求解流动模拟问题,所得流动状态的预测结果较简易流动分析更接近实际情况。除了能得到浇口数目、位置、流道尺寸、流动前沿外,还能得到压力分

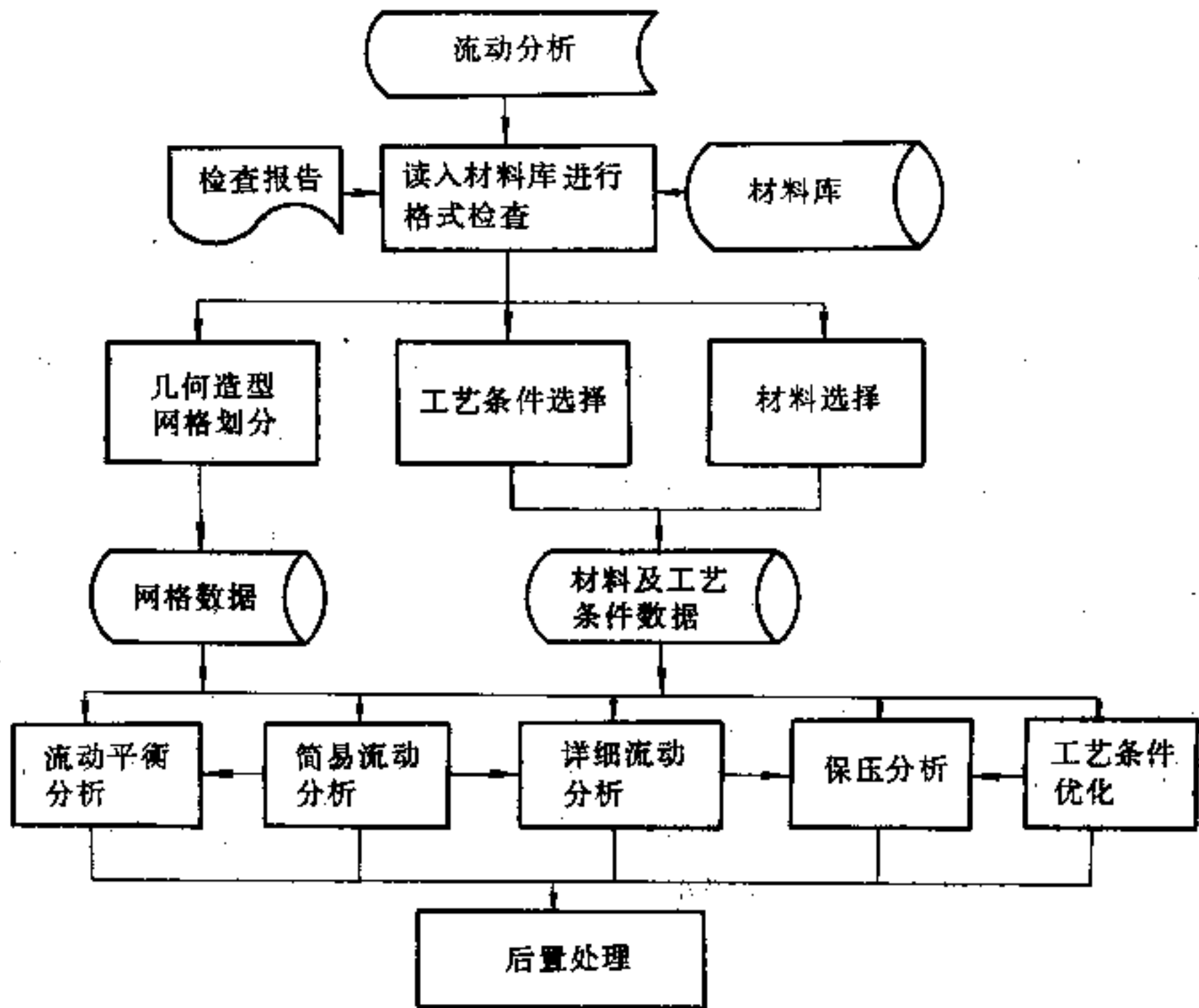


图 14.6-1 流动模拟软件总体结构图

布、温度分布、剪切速率、剪切应力、锁模力等结果，但由于在分析中基于温度场和压力场的迭代求解导致了分析时间较长。

#### 14.6.4 成型工艺条件分析

在设置成型工艺条件时，注射时间、注射温度和模具温度是设计者根据经验初步确定的。注射成型工艺分析模块的功能，是通过一维流动分析，帮助设计者在进行详细流动分析之前较合理地确定上述三个参数。首先，设计者根据制品的几何特征和浇口位置，确定制品的最大流动长度，并将制品按体积相等的原则简化成端部浇口的矩形平板，然后采用有限差分法进行一维流动分析，得到所需注射压力、温度分布、剪切应力等信息，再依次改变注射时间、注射温度、模具温度，重复上述计算，就可得到一组反映注射压力、温度分布、剪切应力与注射时间、注射温度、模具温度之间关系的一组曲线，再根据三个条件（注射压力应小于注射机额定的最大注射压力；熔体平均温度（沿型腔壁厚方向）的最大差值不大于  $20^{\circ}\text{C}$ ；熔体的剪切应力尽可能小），可得到相应于给定注射温度和模具温度的可选注射时间范围，最后由设计者根据分析结果确定较合理的注射时间、注射温度和模具温度。

#### 14.6.5 保压分析

保压模拟的实质，是求解可压缩、非牛顿流体的非等温流动问题。其分析原理与充模流动模拟类似，所不同的是在流动模拟中流体是不被压缩的，而保压分析中流体是被压缩的，因而必须引入合适的状态方程才能求解，在保压模拟中，熔体温度的变化范围较大，因



此,必须采用适用于更宽范围的粘度模型。同时,不能再将熔体的比热容和导热系数作常数处理,必须考虑其温度的变化。

#### 14.6.6 流动软件的层次及作用

注射模流动模拟软件可分为三个层次,即一维、二维和三维流动模拟。一维流动模拟软件实质上是一维有限差分程序,使用这类程序时,需要输入塑料名称、型腔最大的流动长度、平均厚度、熔体温度和模具温度,便能及时得到输出结果,包括一组允许的熔体填充时间,以及与每个填充时间相对应的注射压力、剪切应力和不同时刻的熔体温度。

二维流动模拟软件需将三维型腔展平,从设定的进料口出发,人为地划分熔体在型腔中的各个流动分支,每个分支又被抽象为若干个基本流动单元(如圆管、圆板、圆环、矩形板等)的组合,将这些数据连同塑料名称、熔体与模具温度、填充时间等输入到计算机中,则二维软件能计算出每个流通分支的压力、剪切速率,剪切应力,不同时刻的熔体温度、熔体凝固时间以及所需锁模力等。二维流动模拟软件的基本算法仍然是一维有限差分,也有一些二维流动软件采用有限元方法。

三维流动模拟软件,一般采用有限元与有限差分的混合方法。用户可以直接在型腔的三维视图上生成有限元网格。输入塑料名称和成型工艺参数后,三维流动软件能给出熔体流动前沿的动态图,提供不同时间间隔熔体各处的温度、压力、剪切速率、剪切应力以及所需最大锁模力等。应该指出,这里所说的三维是指流动方向的二维有限元计算与厚度方向的一维有限差分计算的混合。目前尚无真正的三维流动模拟商品化软件出售。

在三个层次的流动模拟软件中,应数三维软件使用价值最高。这类有限元分析程序不依靠模具设计者事先选定的流动分支和基本流动单元,程序能给出流动前沿的动态位置,对于那些富有经验的模具设计师都难有把握的流动问题,三维软件预测结果便具有特别的指导意义。三维软件的缺点是需要花费较多时间,编辑与生成型腔中心层的三维几何形状。当采用注射模 CAD/CAE 集成系统后,此问题便可迎刃而解。在 CAD 阶段生成的型腔几何形状经过数据转换和适当处理,可直接供流动模拟软件调用。目前国外许多计算机软件公司均能提供这类接口软件。实践表明,型腔有限元结点数据文件一旦建立起来,三维软件的使用比二维软件更为方便,在二维软件中,当进料口修改后各个流动分支得重新划分,而在三维软件中,修改进料口不必重新划分网格,只需重新选择作为进料口的网格结点。三维流动模拟软件自从 80 年代问世以来,得到了愈来愈广泛地使用。

三维流动模拟软件的诞生,并不意味着一维和二维软件的过时。考虑到减少程序运行时间、节省费用,在一些简单情况下采用一维和二维流动模拟软件已能解决问题,就没有必要运用三维软件。当需要使用三维软件时,为了获得精确的分析结果,先要设定正确的输入数据,诸如熔体温度、熔体填充时间等工艺参数。当然可以反复运行三维流动程序,参照计算结果来修改输入数据,这得耗费大量的机时和人力。正确的做法是先采用一维流动软件来初选注射成型工艺参数,采用二维流动软件来平衡流道系统,然后在必要的情况下可根据一维和二维软件的分析结果,设定较为正确的工艺参数,再运行三维软件,这样就能以较小的代价获得最佳的分析结果。

### 14.6.7 输入数据的准备

三维流动模拟软件的输入数据包括三部分：

- (1) 塑料流变和物理性能数据；
- (2) 型腔几何形状数据；
- (3) 注射成型工艺参数。

正确选择和输入这些数据是成功地运行三维流动软件的先决条件。

由于商品化流动模拟软件具有塑料流变和物性数据库,用户不必通晓塑料的粘度模型,只需在塑料品种的菜单中选取所需要的牌号即可。便可得到这种材料不同温度下的粘度与剪切速率关系曲线图,据此判断该材料时成型条件的敏感性。

成型工艺参数的设定,是流动模拟软件中最难输入的数据,用户除了可借助一维或三维流动软件来确定这些数据外,还可根据自身的经验和常用公式来设定成型工艺参数。例如熔体充填时间  $T_f$  可以由模具所需要的冷却时间  $T_c$  来估计:

$$T_f = (0.1 - 0.2) T_c = (0.1 - 0.2) h^2 / 4a \quad (14.6-1)$$

式中  $h$ ——制品厚度(mm);

$a$ ——热扩散系数( $\text{mm}^2/\text{s}$ )。

熔体温度不能简单地用注射机的料筒温度代替,这是因为塑料熔体在通过注射机喷嘴时因剪切发热而导致温度上升。流动模拟软件所需要的是进料口处的熔体温度而不是料筒温度,用户应参照熔体温度与注射速率对应的关系(或者是经验图表,或者实测数据)作适当修正。用户也可以将喷嘴处的熔体视为制品的一部分,让流动软件直接计算熔体有喷嘴里的温升,此时喷嘴部分可以定义成热流道。

模具温度可以用模具冷却水的出口温度代替。研究表明,模具温度对熔体填充过程的影响较小( $< 3\%$ ),因此设定均匀的模具温度是合理的,在需要作精密分析的场合,可以利用冷却分析软件,得到比较精确的模具温度分布,然后再调用流动模拟软件。

### 14.6.8 输出结果的指导意义

注射模流动模拟软件的指导意义十分广泛。它是一种设计工具,能够辅助模具设计师优化流道系统,指导产品设计师从工艺的角度改进产品形状,选择最佳成型性能的塑料,帮助模具制造者选择合适的注射机。当变更塑料品种时对现有模具的可行性作出判断,分析现有模具设计弊病。同时,流动软件又是一种教学工具,能够帮助模塑工作者熟悉熔体在型腔内的流动行为,把握熔体流动的基本原则。下面逐项分析三维流动软件主要输出结果的指导意义。

#### 1. 熔体流动前沿动态显示

三维流动软件能显示熔体从进料口逐渐充满型腔的动态过程,由此可判断熔体的流动是否为较理想的单向流形式?各个流动分支是否同时在同时充满型腔的各个角落?熔合纹是否产生在预定的位置?熔体在何处最后充满型腔?有可能产生气穴吗?若熔体的填充过程不理想,可以改变进料口的尺寸、数量和位置,反复运行流动分析软件,一直到获得理想的流动形式为止。若仅仅是为了获得较好的流动形式而暂不考察详尽的温度场、应力场的变化,或是初调流道系统,最好是运行等温流动分析软件,即简易流动分析软件,经过几次修

改,得到较为满意的流道系统后,再运行非等温三维流动软件。

## 2. 型腔压力

在填充过程中最大的型腔压力值,能帮助判断在指定的注射机上熔体能否顺利充满型腔?何处最有可能产生飞边?在各个流动方向上压力梯度是否相等?因为最有效的流动形式是沿着每个流动分支熔体的压力梯度相等。流动分析软件还能给出熔体填充时模具所需的最大锁模力,以使用户选择注射机。

## 3. 熔体温度

流动模拟软件能提供型腔内熔体在填充过程中的温度场。可鉴别在填充过程中熔体是否存在因剪切发热而形成的局部热点,检查流动前沿的熔体温度是否接近该熔体的不流动温度?熔体接合部的温度还可帮助判断熔合纹的相对强度。

## 4. 剪切速率

剪切速率又称应变速率和速度梯度。该值对熔体的流动过程影响甚大,实验表明,熔体在剪切速率为  $10^3 \text{s}^{-1}$  左右成型,制品的质量最佳。流道处熔体剪切速率的推荐值约为  $5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^4 \text{s}^{-1}$ ,浇口处熔体剪切速率约为  $10^5 \text{s}^{-1}$ ,这有助于用户判断在该设计方案下预测的剪切速率是否与推荐值接近,而且还能判断熔体的最大剪切速率是否超过该材料的所允许的极限值。

## 5. 剪切应力

剪切应力也是影响制品质量的一个重要因素。制品的残余应力值与熔体的剪力应力值有一定的对应关系。一般,剪切应力值大,残余应力值也大,因此总希望熔体的剪切应力值不要过大,以避免制品翘曲或开裂。根据经验,熔体在填充型腔时所承受的剪切应力,不应超过该材料抗拉强度的 1%。

# 14.7 冷却模拟软件

在注射模设计过程中,模具设计师往往把注意力集中在流道系统和推出系统上,而事先对注射模的冷却系统重视不够,导致冷却管道最终只能沿模具空余空间布置。这种轻视冷却过程的设计是不合理的,因为注射成型周期主要取决于冷却时间。据统计,注射成型周期中 5% 的时间用于注射成型,15% 的时间用于推出塑件,而 80% 的时间用于冷却。由此可见,注射模冷却系统的设置直接影响到注射制品的生产效率和质量。

衡量注射模冷却系统优劣的标准有两条,第一是使注射模冷却时间最短;第二是使注射制品表面温度均匀,以减少制品的变形。

影响注射模冷却系统的因素是多方面的,除了注射制品的几何形状、冷却介质、流速、温度、冷却管道的布置、模具材料、熔体温度、工件推出温度、模具温度外,还涉及到塑料熔体和模具之间非稳态热交换用。用实验方法测试不同冷却系统,对冷却时间和制品质量的影响是相当困难的,而计算机模拟则是完成这种预测的最佳方法。

## 14.7.1 冷却模拟软件总体结构

利用前面几章论述的塑料注射成型冷却模拟的数学模型和数值计算方法,开发出相应的分析模块,以这些分析模块为核心,配置统一的前后置处理模块,便构成了冷却模拟

软件。从总体上看,该软件将所有的功能模块分为三级,材料选择、工艺条件选择、几何造型及网格划分为第一级,这一级的工作完成是分析程序的先决条件;分析模块(包括稳态分析和非稳态分析)构成第二级;第三级由后置处理程序组成。其总体结构如图 14.7-1 所示。

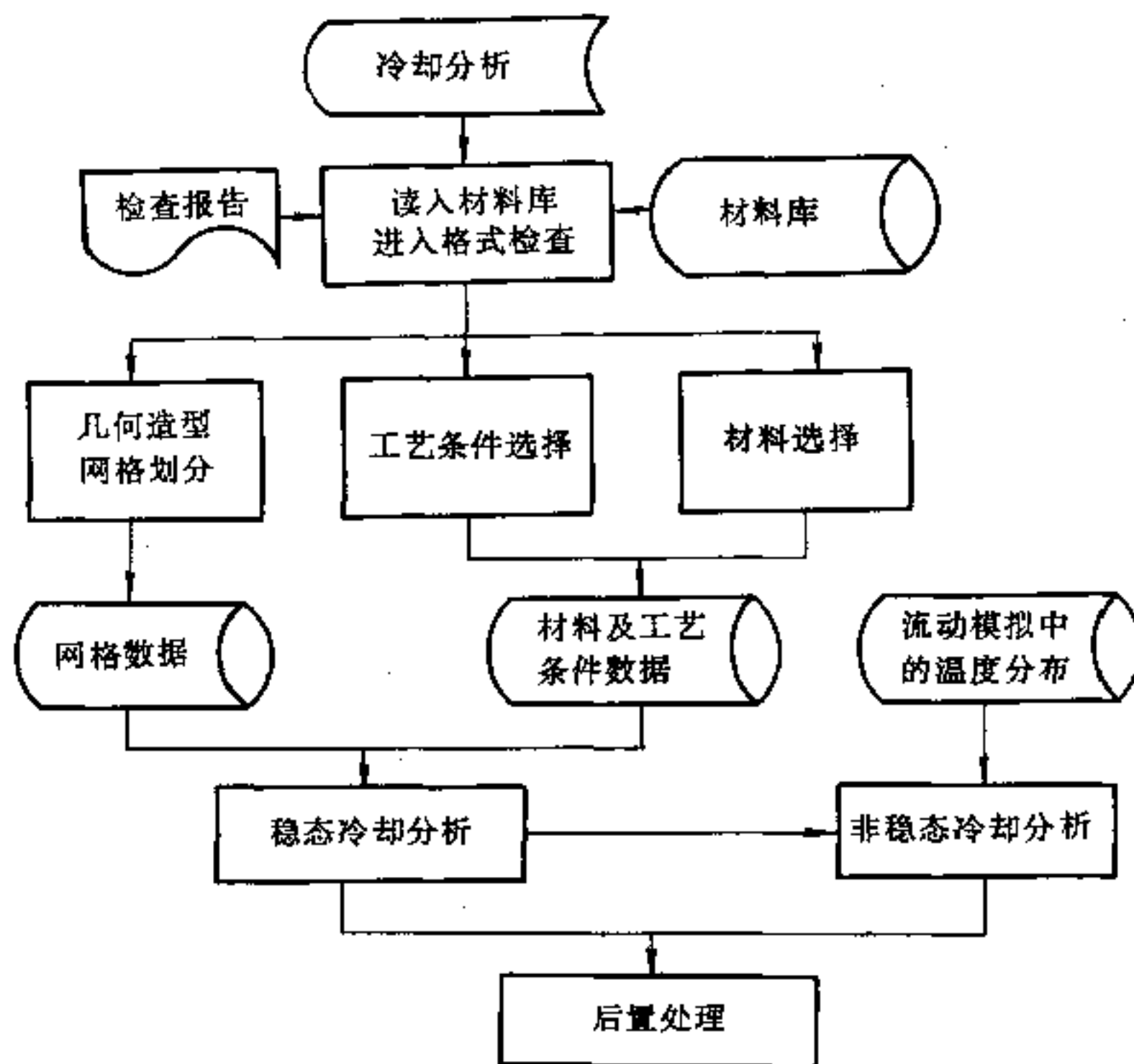


图 14.7-1 冷却模拟软件总体结构图

### 14.7.2 稳态冷却分析

稳态冷却分析是模拟在一个注射循环周期中的平均换热,计算出各点的平均温度。利用稳态分析结果,根据模具型腔及制品的温度分布,可以判断冷却装置各部分的冷却效果。据此对模具的冷却装置进行调整,因而稳态冷却分析是模具冷却装置设计的重要依据。稳态冷却分析的流程图如图 14.7-2 所示。

### 14.7.3 非稳态冷却分析

非稳态冷却分析是模拟在一个注射循环周期中的实时换热,计算出各点温度随时间的变化情况。这样可以观察各点温度达到制品推出条件的时间顺序;同时,在计算制品的内应力时,需要利用制品温度随时间变化的数据。因而,非稳态冷却分析是制品应力分析及翘曲分析的先决条件。非稳态冷却分析的流程图如图 14.7-3 所示。

### 14.7.4 商品化冷却模拟软件

目前已有许多公司出售商品化冷却模拟软件,如美国 GRAFTEK 公司的



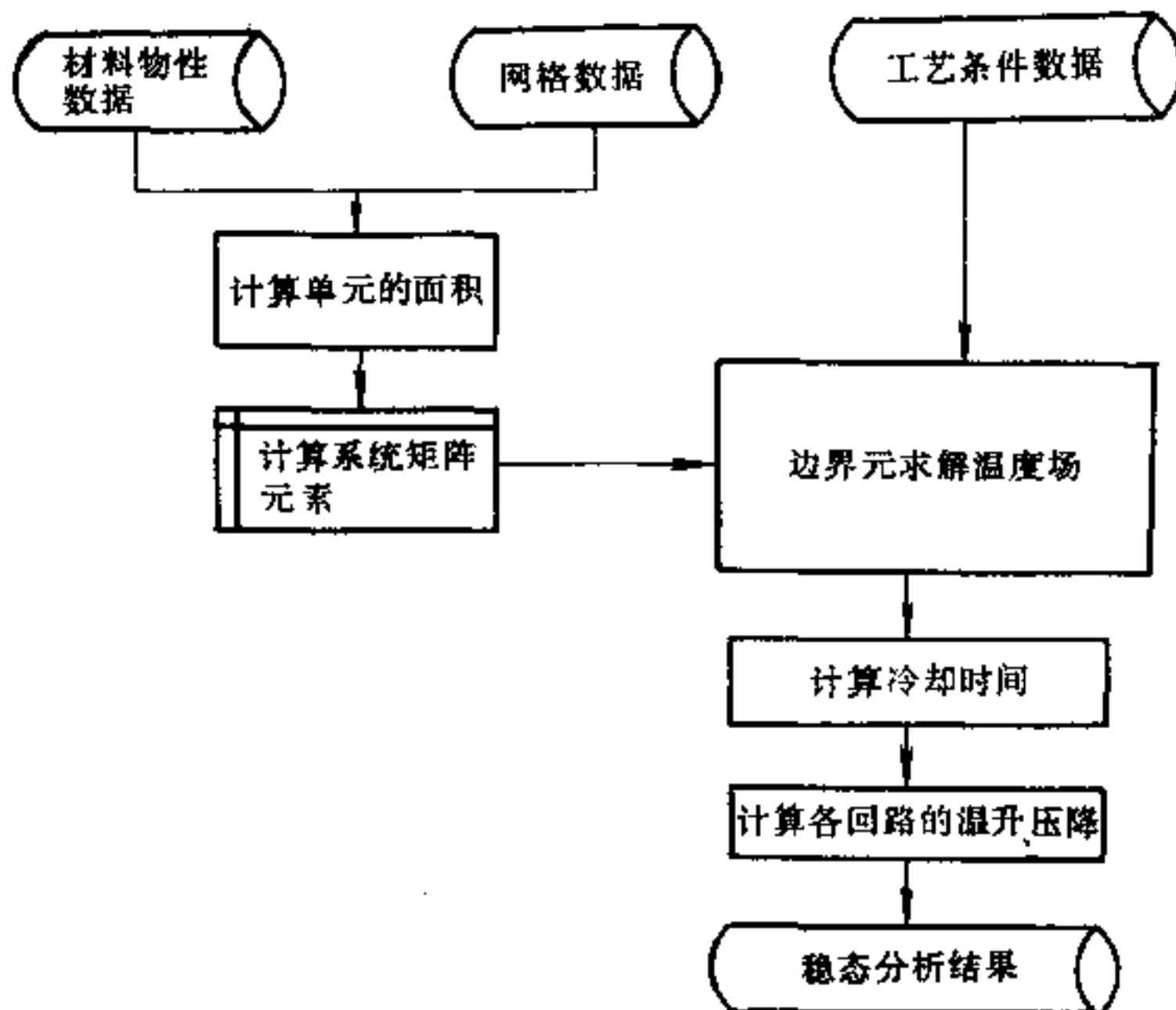


图 14.7-2 稳态冷却分析的数据流图

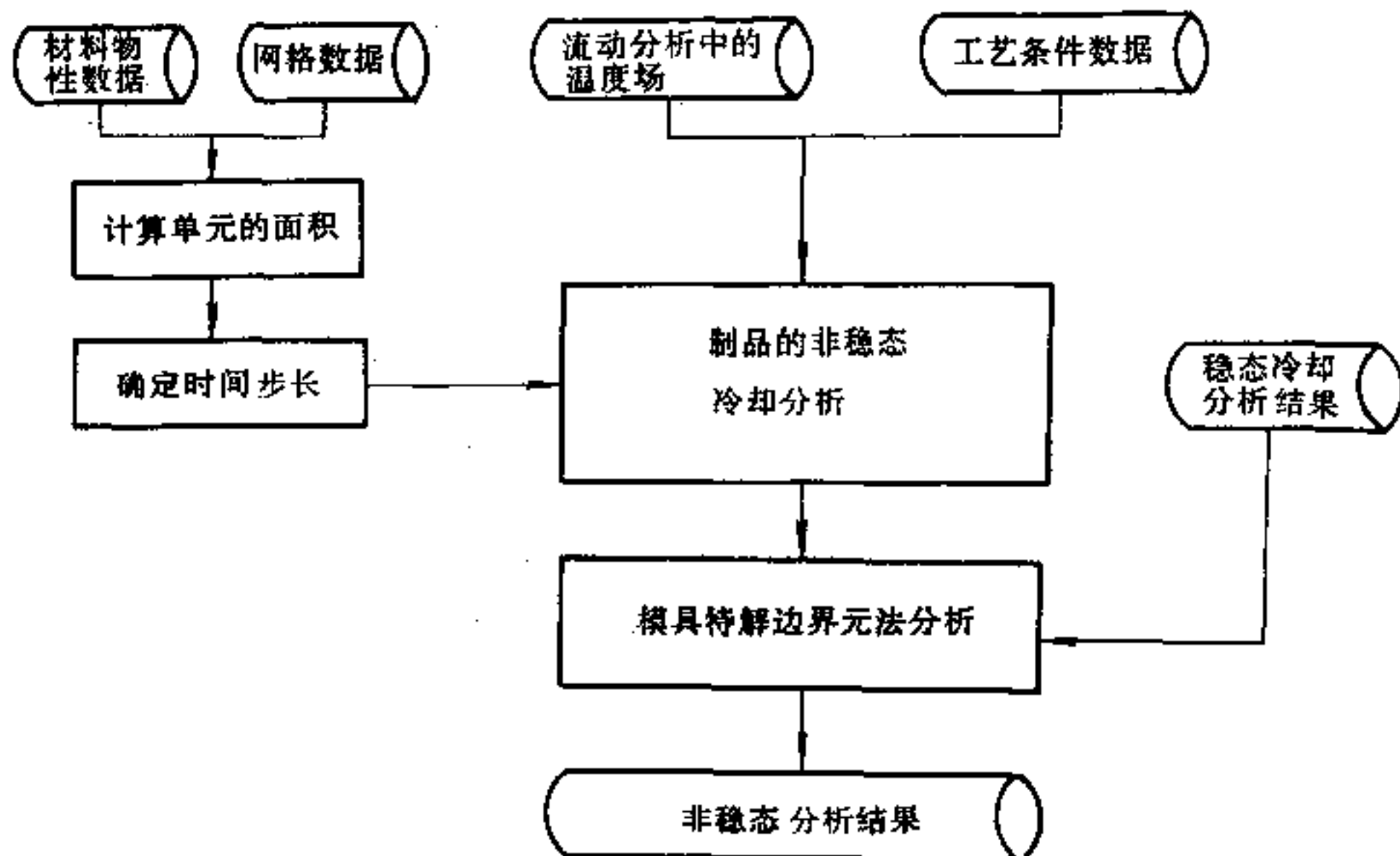


图 14.7-3 非稳态冷却分析的数据流图

SLMUCCOOL, APPLICATION 公司的 MOLDCOOL, AC Tech 公司的 C-Cool 和 SDRC 公司的 POLYCOOL2, 澳大利亚 Moldflow 公司的 MF/COOL 等。我国华中理工大学也研制出实用的三维非稳态冷却软件 H-COOL, 并在生产中应用。应注意的是, 无论是一维、二维、还是三维冷却分析软件都不能代替模具设计师设计注射模冷却系统。它们的主要作用是用来检验模具设计人员的冷却系统是否合理。所谓“优化”是体现在对冷却方案的反复验证, 对冷却系统的反复模拟, 比较的基础上的, 切勿误解。

## 参考文献

- 1 陈兴等. 模拟注射模具传统设计方法的 CAD 系统. 华中理工大学学报, 1993(4)
- 2 李德群等. 注塑模浇注系统的设计研究. 中国塑料, 1994(3)
- 3 陈兴等. 计算机辅助注射模成型零件结构设计. 模具工业, 1994(2)
- 4 陈兴等. 参数化图形库技术及其在注塑模中的应用. 机械与电子, 1994(2)
- 5 陈兴等. 注塑模 CAD/CAM/CAE 集成系统的开发. 计算机辅助工程, 1992(4)
- 6 李德群等. 注塑模 CAD/CAM/CAE 技术的发展和运用. 塑料科技, 1992(1)
- 7 李德群等. 计算机辅助生成注塑模型腔及型芯. 模具技术, 1992(1)
- 8 叶显高. 基于尺寸驱动的注塑模图形输入软件. 华中理工大学学报, 1994(12)
- 9 李德群等. 如何使用注射模流动模拟软件. 模具工业, 1993(2)

# 第十五章 试模与投产

## 15.1 概 述

如前所述，塑料模具是生产塑料制品的工具。设计塑料模具的目的是要生产合格的产品，模具成型的制品质量如何，必须通过试模来检验。影响制品质量的要素有注塑机、模具和成型技术。当然，即便是以选定的注塑机和预想的成型条件来设计模具，但有些问题不经过实际“成型”检验，仍无法真正了解。因此，模具完成后必须进行试模。试模是模具图纸设计的延伸，是模具制造过程中的重要环节。试模中的修改、补充和调整，是模具设计的一个组成部分，也是设计师提高和完善设计思想、修正设计错误的良好机遇。因此，试模的重要意义是：

- (1) 验证设计师的工作是否准确无误以及模具加工质量及生产操作可行性；
- (2) 为模具正常投入生产寻求最佳工艺参数；
- (3) 为设计者提高和改进创造一个良好机会。

因此，模具设计师应当创造一切机会参加试模，提出试模的必要技术条件，及时提出对模具的修改意见，直到模具完全合格验收为止。这就是模具设计师工作的全过程。

## 15.2 注射机选用

在模具设计时，根据产品几何尺寸及模具结构特点，尽可能选用适合的注塑机以充分发挥设备的内在能力。但也要考虑到生产厂家的实际设备情况进行设计。试模时如能安装在设定的设备上进行，应当是没有什么问题的。但是在生产实际中，经常会遇到模具制造商与产品生产厂家相距较远的情况，模具制造厂不得不在本地区选择代用注射机以完成试模任务。因我国现有塑料加工设备，从国外进口居多，规格容量、型号多样化，技术参数极不统一。因此，当一台相应的加工设备被选用之前，设计师必须对该设备的有关技术参数进行校核，以确认该机能否承担试模任务。

### 15.2.1 锁模力校核

锁模力是指注射机合模机构在工作中对模具所能施加的最大夹紧力。锁模力与注射容量全面地反映了设备的主要特征和加工能力。

合模机构的作用，在于使模具在生产运行中可靠地启用，在注射、保压时保证足够的锁紧力和开模后实现制品顶出。

在实际注射成型中，由于制品形状不同，所采用树脂品种不同，注射工艺条件及模具结构不同，所需要的合模力大小也各不相同。因此，在选用注射机时，要对其合模力



进行校核。通常，可采用下列公式进行

$$F \geq nP_C A \quad (15.2-1)$$

式中  $F$ ——注射机最大合模力 (MN)；

$n$ ——型腔个数；

$P_C$ ——成型时模腔平均压力 (MPa)；

$A$ ——塑件、浇注系统在开模方向的最大投影面积 ( $m^2$ )。

模腔投影面积，由产品图尺寸计算确定。模腔平均压力，受树脂性能、注射工艺条件、模具结构及浇注系统类型与尺寸、制品形状及模温等多种因素的影响，很难准确计算确定。以生产实际情况来看，一般认为模腔压力在 30~50MPa 范围内。据此，表 15.2-1 可供参考。

表 15.2-1 常用塑料模腔平均压力

制品要求及物料特性	平均压力/MPa	举 例
易于成型制品	30~35	PE、PP、PS 等壁厚均匀制品等
一般制品	40	薄壁容器、框架类制品
高粘度物料、高精度制品	45	ABS、PMMA、PC 等工业用机械零件
特高粘度、高精度、难充模制品	45~50	高精度机械工业零件、齿轮等

在实际生产中人们发现，根据流长比、塑料粘度系数和制品厚度条件，来确定模腔平均压力更为恰当。

流长比，泛指熔料从浇口流至制品最边缘的极限长度与制品厚度之比。定义为：

$$i = l/t \quad (15.2-2)$$

式中  $i$ ——流长比；

$l$ ——熔料流程极限长度；

$t$ ——制品壁厚。

据此，可由图 15.2-1 中查得模腔平均压力  $P_C$ ，即：

$$P_C = \alpha P$$

式中  $P_C$ ——模腔平均压力 (MPa)；

$\alpha$ ——塑料粘度系数 (表 15.2-2)；

$P$ ——模腔压力 (MPa)。

表 15.2-2 塑料粘度系数  $\alpha$

塑料名称	PE, PS, PP	PA	ABS	CA	PMMA	PC
粘度系数	1.0	1.2~1.4	1.3~1.4	1.3~1.5	1.5~1.7	1.7~2.0

【例】 已知欲成型一个聚丙烯 (PP) 塑料制品，其投影面积为  $0.018m^2$ ，极限流程为  $0.23m$ ，制品厚度为  $1.5mm$ ，一模两腔，试确定所需设备合模力为多少。

【解】 根据已知条件可得：

流长比  $i = l/t = 0.23/0.0015 = 153.3 \approx 153$

再由  $t = 1.5mm$ ，查图 15.2-1 可得模腔压力  $P$  为  $33MPa$ 。

由表 15.2-2 查得树脂粘度系数  $\alpha$  为 1.0，故得锁模力：

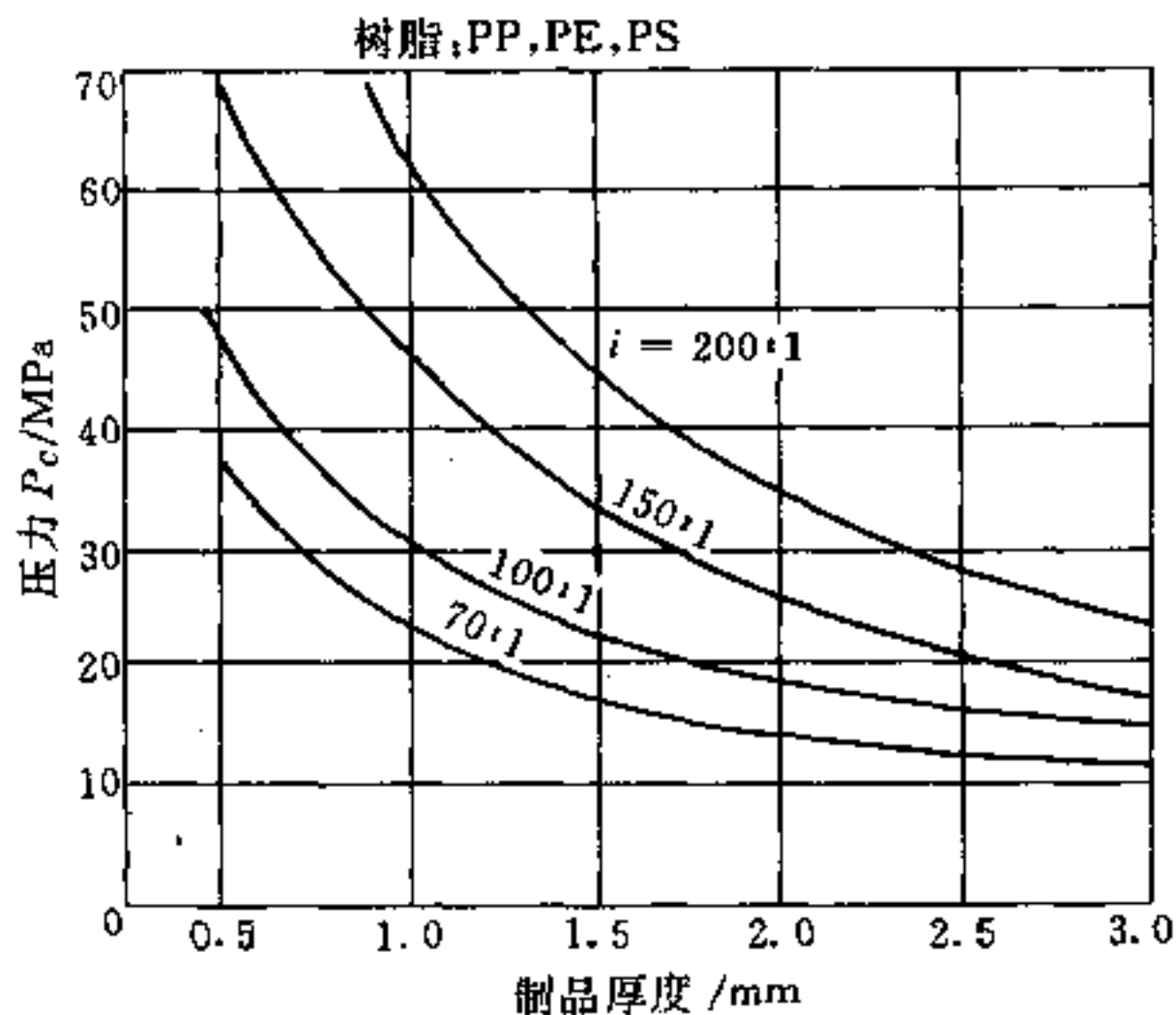


图 15.2-1 模腔压力与流长比的关系 ( $i = L/t$ )

$$F \geq nP_c A = naPA$$

$$= 2 \times 1.0 \times 33 \times 0.018 = 1.188 \text{ MN}$$

或:  $F = 1188 \text{ kN}$

值得注意的是, 注射成型机的额定合模力 (kN), 在实际生产应用中, 通常只能使用其额定值的 80% 以下。因为模腔开启方向与合模力方向正好相反, 在正常运行中须有压力损失。

确认了模具正常生产操作所必需的合模力以后, 可以此初选所需注射机的型号。

在实际工业化生产操作中, 选用注射机时, 针对制品形状特点, 分别校核合模力和额定注射容量 ( $\text{cm}^3$ )。对于板状制品, 锁模力大小对成型至关重要; 对于深腔薄壁、框架式制品, 注射容量的校核显得更为重要。

### 15.2.2 注射容量校核

注射机的理论注射量, 指在对空注射时能完成一次注射熔料的体积量 ( $\text{cm}^3$ )。模具安装后, 对模腔注射容量的计算, 可以制件产品图为准, 计算其体积量。然后确认总体积注射量, 从而可得:

$$V > n (V_c + V_G) \quad (\text{cm}^3) \quad (15.2-3)$$

式中  $V$ ——注射机理论注射量 ( $\text{cm}^3$ );

$V_c$ ——1 个制件的体积量 ( $\text{cm}^3$ );

$V_G$ ——浇注系统体积量 ( $\text{cm}^3$ );

$n$ ——型腔数。

当计算得出所需注射物料体积量小于设备理论注射容量时, 只能说明注塑机额定容量符合生产要素的一个条件, 不能确认该设备完全可用。还要与合模力、开模行程等参数综合考虑。另外, 通常认为, 实际注射量为理论注射量的 80% 以下为可靠注射量, 对复杂薄壁制品, 这个比率还会更小。

获得锁模力和注射容量两个参数后,设计者可以参考表 15.2-3,最后选用注射机型号。

表 15.2-3 注射机类型与加工能力

注射机类型	锁模力/kN	注射容量/cm <sup>3</sup>
超小型	<200~300	<10
小型	300~1500	15~350
中型	350~6300	350~3000
大型	6500~30000	4000~24000
超大型	>30000	>32000

注射机型号确认后,还要对该设备的有关机构及与模具安装相关尺寸进行校核,以确保模具顺利安装并且正常工作。

### 15.2.3 顶出机构校核

注射机的顶出机构大致可分为液压顶出和机械顶出两大类。设计师根据自身模具结构操作原理,参考设备设置的顶出机构,合理地选用顶出方式,是试模的重要环节。

#### 1. 机械顶出

机械顶出,是靠模具动模板在开模过程中,与设备固定顶杆,通常是被固定在一定的位置,无法调整。在大中型设备上,多在动模板中心顶出或以中心为对称的四周均布;试模前须注意在模具动模底板上是否留出有试模用的顶出孔。其位置和尺寸由设备顶出杆尺寸而定。如图 15.2-2 (a) 所示。在中小型设备上,顶出杆多分布在模板的外两侧,这时要求顶板要长出模具外侧尺寸若干,否则将无法实现顶出动作。机械顶出,在中小型注射机上常被采用。

#### 2. 液压顶出

液压顶出,是靠安装在设备动模板一侧的油缸来完成的。液压顶出力大小、速度的快慢、行程长短,均可通过设备液压系统和控制系统来调整。在开模过程中或开模后完成顶出制品的动作。液压顶出杆可以先复位,能适合多种场合,有利于缩短机器循环周期和自动化生产。因而应用范围广,尤其在大中型注射机中被广泛使用。

对于设备动模板上有规律排列的数个顶出孔,要根据模具结构要求进行选用。在孔内固定顶出杆后,即可实现对模具顶板的推动作用,如图 15.2-2 (b) 所示。在选择顶杆位置时,要本着尽量分布合理,受力均匀的原则,力求顶出效果好。一般选用四根、六根或八根顶出杆。

#### 3. 其他顶出方式

除以上两种常见的顶出方式外,根据制品特点及模具结构的不同,还可以采用其他顶出方式。最常见的是气动顶出和反向顶出。

气动顶出是靠设备外的气源,通过模具上配置的气路、气阀及其他气压元件,进行对制品的气动顶出,使其脱离型腔或型芯。这种顶出方式简单、动作灵活,既可使制品表面无顶出痕迹,又可使生产循环缩短。生产中常用的空气压缩机,其规格在 0.4~0.8MPa 范围内,即可完成一般制品的顶出动作。

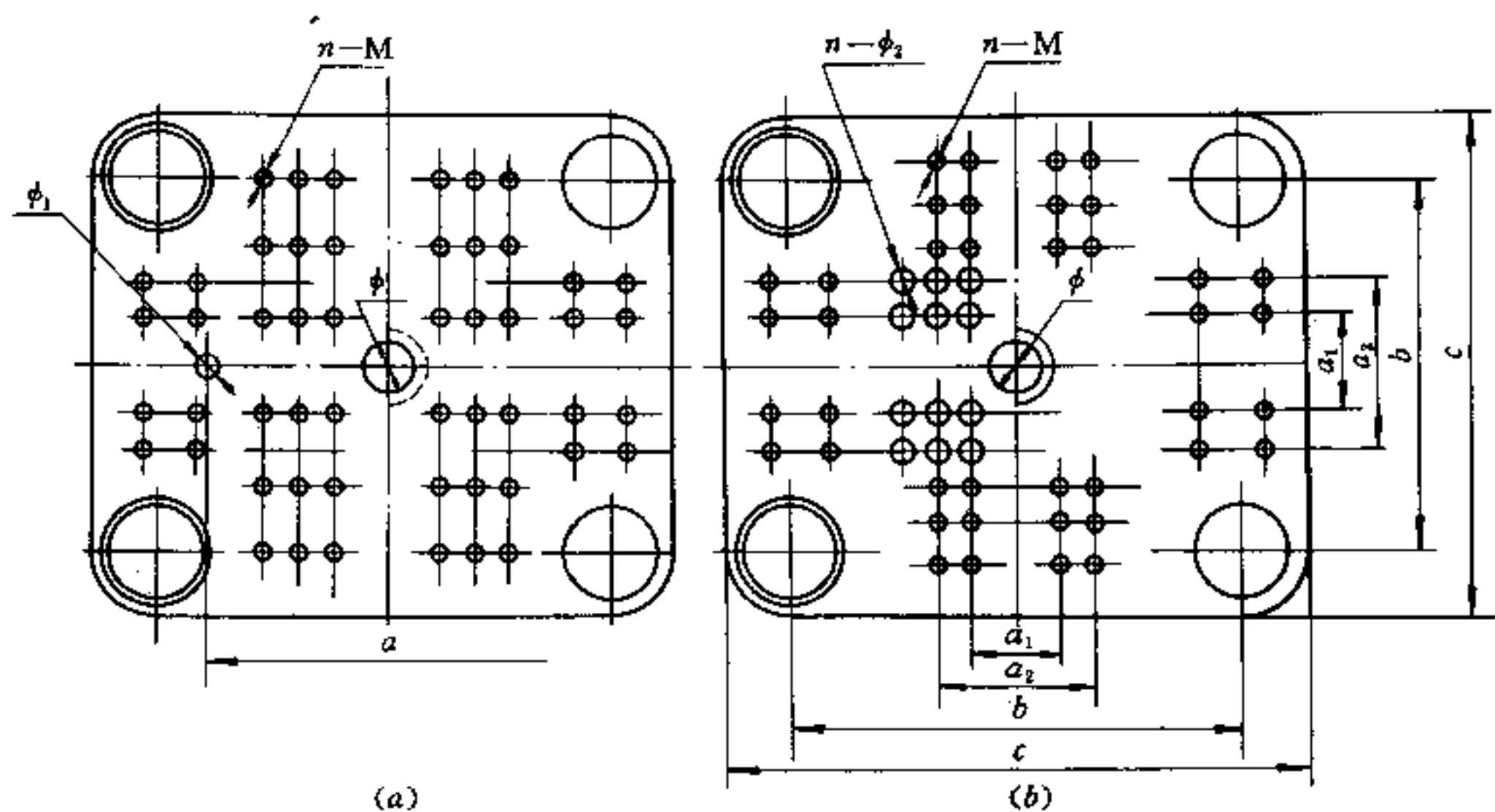


图 15.2-2 注射机顶出杆的分布

$\phi_1$ —机械顶出孔； $\phi_2$ —液压顶出固定杆孔； $M$ —固定模具螺钉孔；

$a$ —孔距； $b$ —设备拉杆距离； $c$ —设备模板外形尺寸。

反向顶出方式有两种，一种是机械顶出，另一种是液压顶出。

机械式反顶装置是依靠模具上的拉板、拉链、拉条、拉钩等装置，在模具开启过程中，将留在定模型腔内的制品顶出。这时，动模板的移动速度即为顶出速度。因此，合理地调整动模板行速十分重要。另外，开模距离要严格控制，机械式反顶装置行程要比开启模具行程大 5~10mm，以防止开距过量损坏模具上的反顶装置。此种方式多在中小模具上使用。

液压式反顶装置，是靠安装在模具定模一侧的油缸驱动完成顶出动作的。油缸行程靠行程开关来控制；行程速度，以调整油缸的流量来改变；顶出距离可根据要求调整行程开关的位置。油缸的进出口，可直接与设备侧抽芯所提供的液压分流板油口相联接。通过控制侧抽芯按钮完成反顶动作，也可以实现半自动和全自动。一般大型注射机备有 2~8 对油路接口，可以满足反顶装置的使用。如果注射机中配有一对油路接口，可在模具上备一油路分流板，即可完成其相同的动作。如图 15.2-3 所示。

#### 15.2.4 其他因素考虑

除顶出方式的选择外，还有其他因素需要考虑。

设备定位圈孔尺寸大于模具定位环外径公称尺寸时，可在模具定位环外径公称尺寸上加一圆环，见图 15.2-4 (a)。模具定位环过大，可将其卸下换成新的，或稍加修改均可。但此种情况少见。

通常模具在设备上的固定螺钉孔尺寸是固定的，只要模具外形尺寸不大于最外行螺钉孔尺寸即可试模。对于一般模具用压板夹紧即可试模，必要时也可采用下托板来辅助托起固定。详见 15.3.3 节模具安装。

模具主流道口球形凹坑半径尺寸，要比注射机喷嘴球头半径大 2~5mm，否则会造

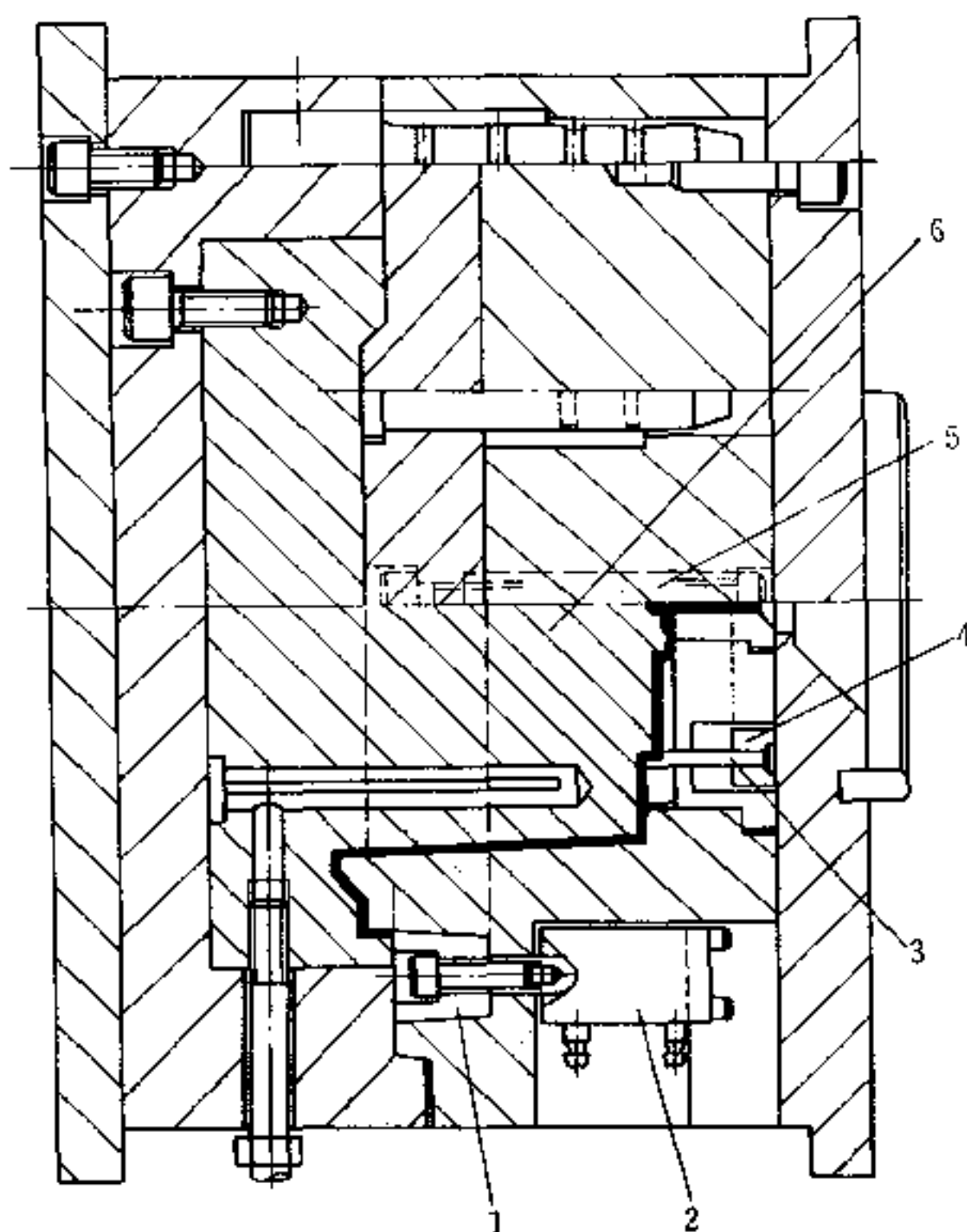


图 15.2-3 液压油缸反顶式模具结构

1—推板；2—油缸；3—顶杆；4—顶板；5—拉杆；6—直型芯。

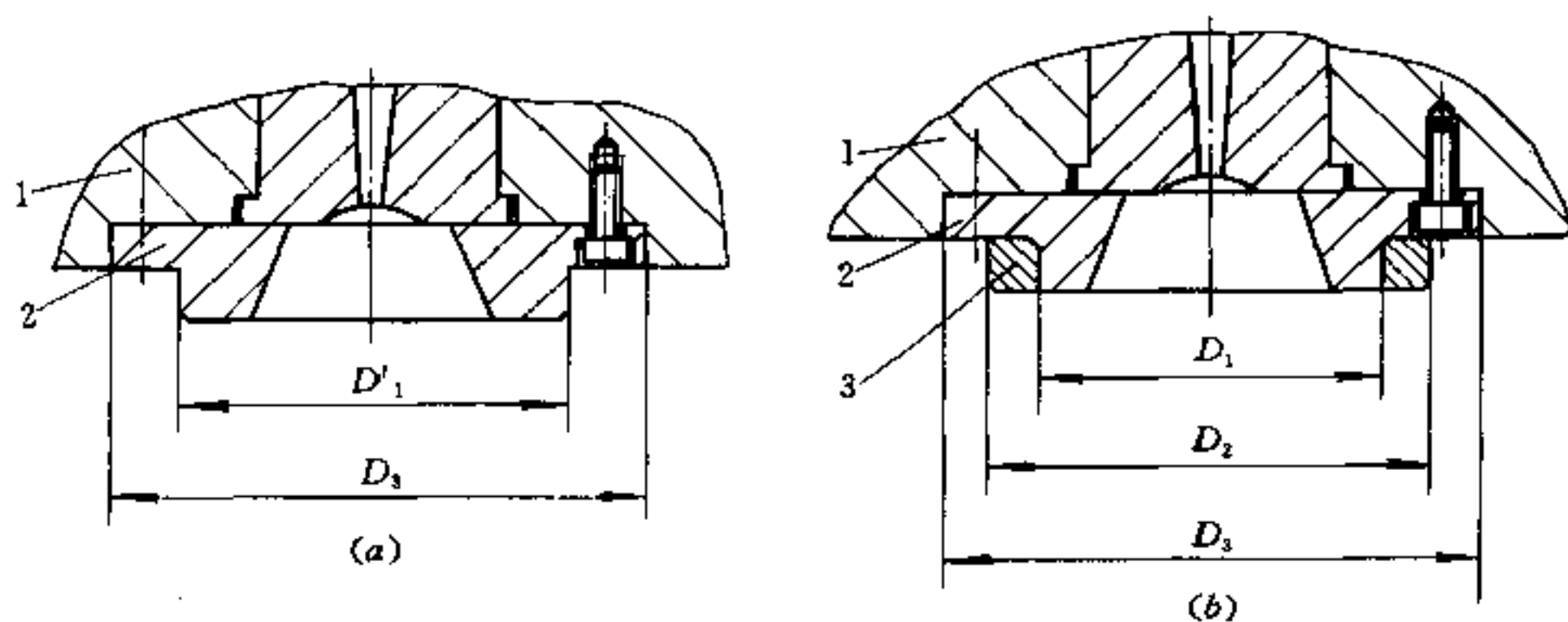


图 15.2-4 定位圈的处理

1—定模板；2—定位圈；3—外圈。

成接触不良导致溢料或喷射，无法连续注射。此外，设备喷嘴孔内径  $\phi_s$  应小于模具主流道入口内径  $\phi_m$ ，即：

$$\phi_s = \phi_m - (0.5 \sim 1.0) \text{ mm} \quad (15.2-4)$$

### 15.2.5 注射机空行程试验

所选注射机一经确认后，在模具安装前，要对该设备进行全面检查，避免模具安装



后再发现设备问题，给设备维修带来不便，同时还可减少试模中模具出现问题的范围。因此，必须进行空行程试验。

### 1. 开机前检查

注射机开动前，必须对以下几方面进行仔细检查：

(1) 设备所有润滑面是否有足够的润滑剂。最好将有尘土的润滑剂擦去，涂抹新润滑剂；

(2) 查看设备各个运动部位（拉杆、导轨、油缸）表面是否清洁，有无异物，以免拉伤磨损部件表面；

(3) 检查紧固件有无松动，加热元件是否与加热部件正确接触，电路、水管有无明显损坏；

(4) 液压系统，油压及工作油量是否满足要求，若不是，应当立刻加到所要求的位置；

(5) 螺杆空转。预加热时，未加料可检查螺杆转动是否正常，一般空转速在 50r/min 以下。待加料后可将螺杆转速提高到适当的速度；

(6) 检查动模板运行是否正常，调整运行速度，一般快速运行在 30~35m/min 范围内，慢速运行在 0.3~3m/min 范围内；

(7) 设备各指示仪表有无失灵现象，调整其指针误差，在说明书中允许的范围内，及时排出仪表误差过大现象。特别是高温计和压力表要经过检查。油过滤器是否在规定的维护周期内（每隔 6 个月）进行一次清洗。

### 2. 空运行实验

确认上述几方面无问题以后，可以仿照整个注射工作过程，使注射机在规定条件下进行连续运行，确认无任何不正常现象时，方可开始对注射机进行预热。预热时间依室温不同可在 1.5~3h 左右。注射机料筒温度达树脂处于熔融状态，视为预热结束。

设备预热期间，可以开始安装模具，并对模具进行预热。当两者温度均适宜时，可视为准备工作结束，试注射开始。

## 15.3 模具安装

模具的安装，是指将模具从制造地点运至注射机所在地，并安装在指定注射机上的全过程。将设备按钮选择在“调试”位置上，使机器的全部功能置于调试者手动控制之下。吊装模具时将电源关闭，以避免引起意外事故的可能性。即应遵守“确保操作者人身安全，确保模具和设备在调试中不受损坏”的原则。

### 15.3.1 模具检验

模具装配完成后（试模前），应完整地检验模具各部分的机能，最后还要对模具进行水压试验，检查冷却回路是否漏水。模具检验，通常应按表 15.3-1 逐项进行。确认模具完全符合图纸设计要求后，方可试模。这会对缩短试模时间，提高试模成功率起保证作用。另外，模具闭合状态必须有锁紧板，尤其是大型模具，以防吊装时模具开启发生意外。详见图 15.3-1。

表 15.3-1 模具检验表

检验部位	项 目	摘 要	检验部位	项 目	摘 要	
成型部位	表面加工	合格否(锉刀痕、裂纹、抛光)	分模面	间隙	合格否	
	钳工修整	有(在镶件方面的更换、焊接)没有		滑槽与滑动型芯的间隙	抽出活动镶件,合格否(多少毫米)	
	相接配合	合格否		滑动型芯与底面的接触	适当,紧,松	
	倒锥角	没有,有		滑动距离	锁模时与底面均匀接触,不接触	
流道部分	壁厚	合格否	侧型芯	后退距离	合格否	
	形状	合格否		挡块位置	合格否	
	整体	流道完善、不完善		斜导柱孔	合格否	
浇口套	表面加工	合格否	冷却水道	水压试验	用 50kg/cm <sup>2</sup> 、4.9MPa 试验,合格否	
	与喷嘴接触 R	合格否		位置及数量	是否符合图纸	
	进口直径	合格否		加热器	加热器配合	合格否
	出口直径	合格否			位置及数量	是否符合图纸
	抛光	合格否		动模	绝缘电阻试验	用 500 万 MΩ 试验,合格否
	侧向凹凸面	没有,有			连接推杆孔直径	合格否
浇口	套的间隙	合格否	装模板	连接推杆孔间隙	合格否	
	直径	合格否	装模板	装模孔直径	合格否	
	浇口带	合格否(长多少毫米,短多少毫米)		连接推杆孔间隙	合格否	
导柱	与套的配合	适当,紧,松	其他	模具研合痕迹	有,无	
	配合段长度	与模板相符,不相符(短多少毫米)		各部分的敲打痕迹	有,无	
推出机构	动作状况	轻巧,不灵活,非常不灵活		模具安装面	与图相同,不同	
	推出量	多少 mm		吊环孔	与图相同,不同	
	推杆轴向松动	合格否		装模槽	与图相同,不同	
	推杆痕迹	没有,有(凹凸多少毫米)		附件	齐备,不齐备	
	推杆与孔的间隙	适当,小,大		防锈处理	有,无	
	复位杆间隙	适当,小,大		备件	有,无	
表面加工	合格否					



### 15.3.2 吊环螺钉

通常，模具吊环螺钉是设计师在设计中按模具实重而规定的。当一副模具加工完毕后，模板侧面常留下若干个螺钉孔，其中有模板加工工艺吊装螺钉孔和模具整体吊装螺钉孔，在吊装时可以相互借用。要保证相对两侧模板上均设吊环螺钉，以保证其平衡起吊模座。吊环承载能力见表 15.3-2。

表 15.3-2 锻钢吊环螺钉的安全承载能力

吊环螺钉直径/mm	起吊能力/kN
M16	5.5
M20	8.5
M24	12.5
M30	20
M36	30
M42	40

注：1. 所注起吊重量为单一吊环承受重量；  
2. 具体选用可查 18.8 节吊环螺钉标准 GB825—88。

为了安全起见，规定只允许使用锻钢吊环螺钉，并且使用带肩的吊环螺钉，以提高稳定性。若使用两个以上吊环，须增大 50% 的安全系数。

### 15.3.3 模具吊装

一般模具吊装需要 2~3 人，大型模具吊装时需要 4~6 人。现场操作时，最好选一名具有吊装经验的人员做现场总指挥。通常在吊装设备允许的条件下，尽量将模具整体起吊，如果起重设备受限制，也可以进行分体吊装。

**模具的整体吊装。**将模具动定模一起吊入设备拉杆内，调整方向，将定模侧定位环进入设备同侧的定位孔内，模具水平放正后慢速闭合设备模板，用压板或螺钉将动定模两侧压紧。初步固定后，可慢速微量开启动模 3~5 次，确认模具在开启过程中平稳、灵活、无卡住现象，可将模板最后压死。

**模具的分体吊装。**先将定模部分吊入设备拉杆内，用定位圈将其定位，螺钉（压板）将模板压紧。然后将动模部分吊入，依靠模具的导柱和导杆将动模部分定位并与定模部分闭合，设备动模板要以微量前推，完全闭合后，用螺钉（压板）将两侧把紧。

**模具的吊装方式。**将模具从设备上方吊进设备拉杆的模板中间。如果模具水平方向尺寸大于拉杆间水平距离时，可以采用从设备拉杆侧面滑进的方法，这种方法比较适合中小型模具。另一种方式是：将模具长方向平行于设备拉杆轴线方向（模厚小于拉杆水平距离），吊入拉杆间后，水平转 90° 角，即可将模具定位环与设备定位孔相定位后把紧模板。当然，这时模板短方向尺寸必须小于拉杆垂直方向的距离。如图 15.3-2 所示。

### 15.3.4 安装方位

在模具总图上，一般以吊装方向为图纸上方绘制主视图。也有标注吊环孔位置以说明模具起吊方向。按照总装图所示起吊符合设计思想，比较合理。如果图纸无明确表示或因其他原因无明确规定时，模具安装方向的选择应本着以下原则：

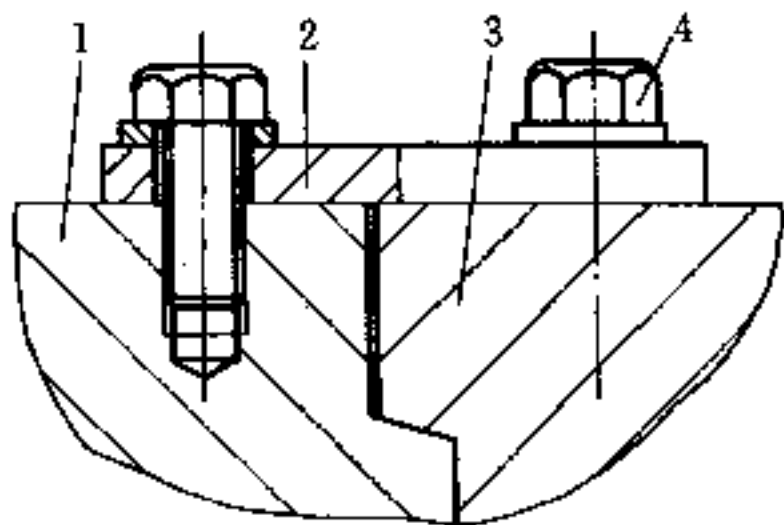


图 15.3-1 模具锁紧板装置

1—固定模板；2—锁紧板；3—动模板；4—螺母。

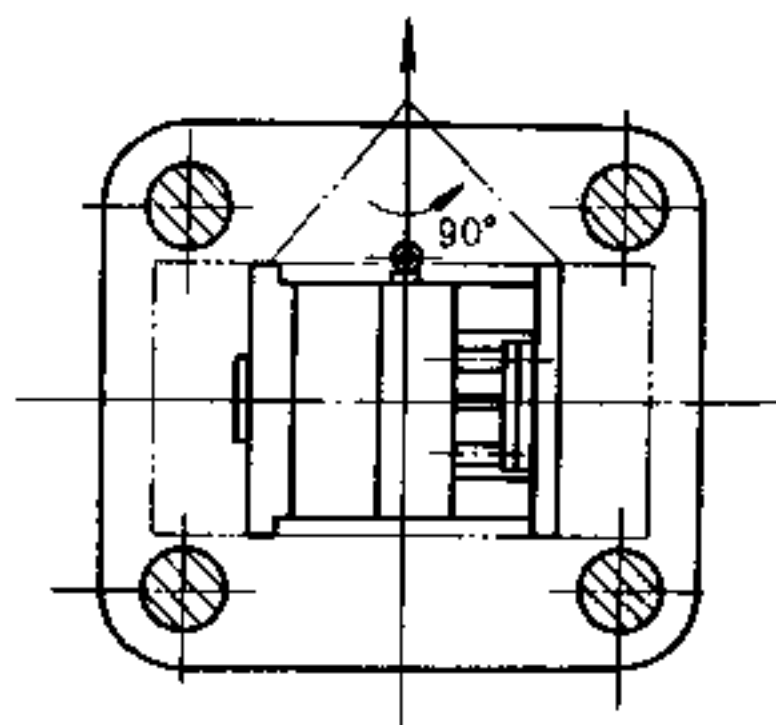


图 15.3-2 模具吊装方式

(1) 模具中有侧向滑动结构时，尽量将其运动方向与水平方向相平行，或者向下开启，切忌放在向上开启的方向。这样能有效地保护侧滑块的安全复位，防止碰伤侧型芯。

(2) 当模具长度与宽度尺寸相差较大时，应尽可能将较长边与水平方向平行，可以有效地减轻导柱、拉杆或导杆在开启模时的负担，并且使因模具重量而造成导向件产生的弹性变形控制在最小范围内。见图 15.3-3 所示。

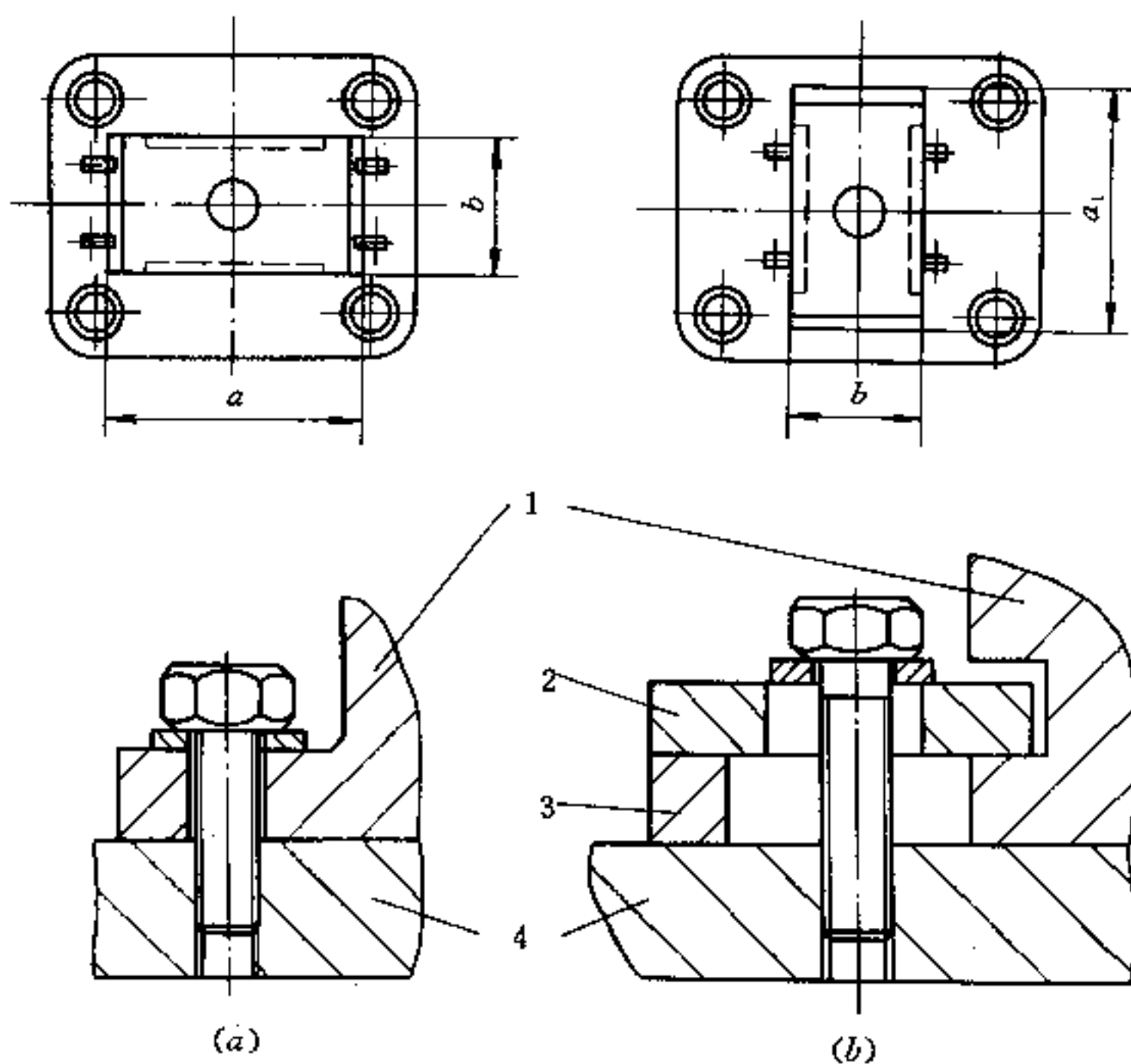


图 15.3-3 模具安装方向

(a) 正确；(b) 错误。

(3) 模具带有液压油路接头、气压接头、热流道元件接线板时，尽可能放置在非操作一侧，以免操作不方便。

### 15.3.5 模具紧固

#### 1. 紧固螺钉的数量

采用螺钉将模具紧固在模板上，要求平稳可靠。中小型模具（注射量在  $500\text{cm}^3$  以下的设备所用模具）采用四块压板压紧动模或定模；大中型模具要采用六块或八块压板压紧。其中包括底部的两个支承压板，见图 15.3-4 (d)。压板摆布要尽量对称，受力均匀。螺钉距模具与支承垫块的相对位置要合适，避免压板工作点受力不足。

#### 2. 压紧形式

根据模具压脚结构的不同形式，常见压紧形式有三种。如图 15.3-4 所示。压板垫块的高度必须大于等于模具压脚板的高度，不得小于。如果是长期使用的压板，可以制作成图 15.3-4 (c) 所示的结构。压板厚度一般在  $25\sim 40\text{mm}$ ，长宽尺寸自行决定，长度一般不超过设备模板螺钉孔距的  $1/2$ 。

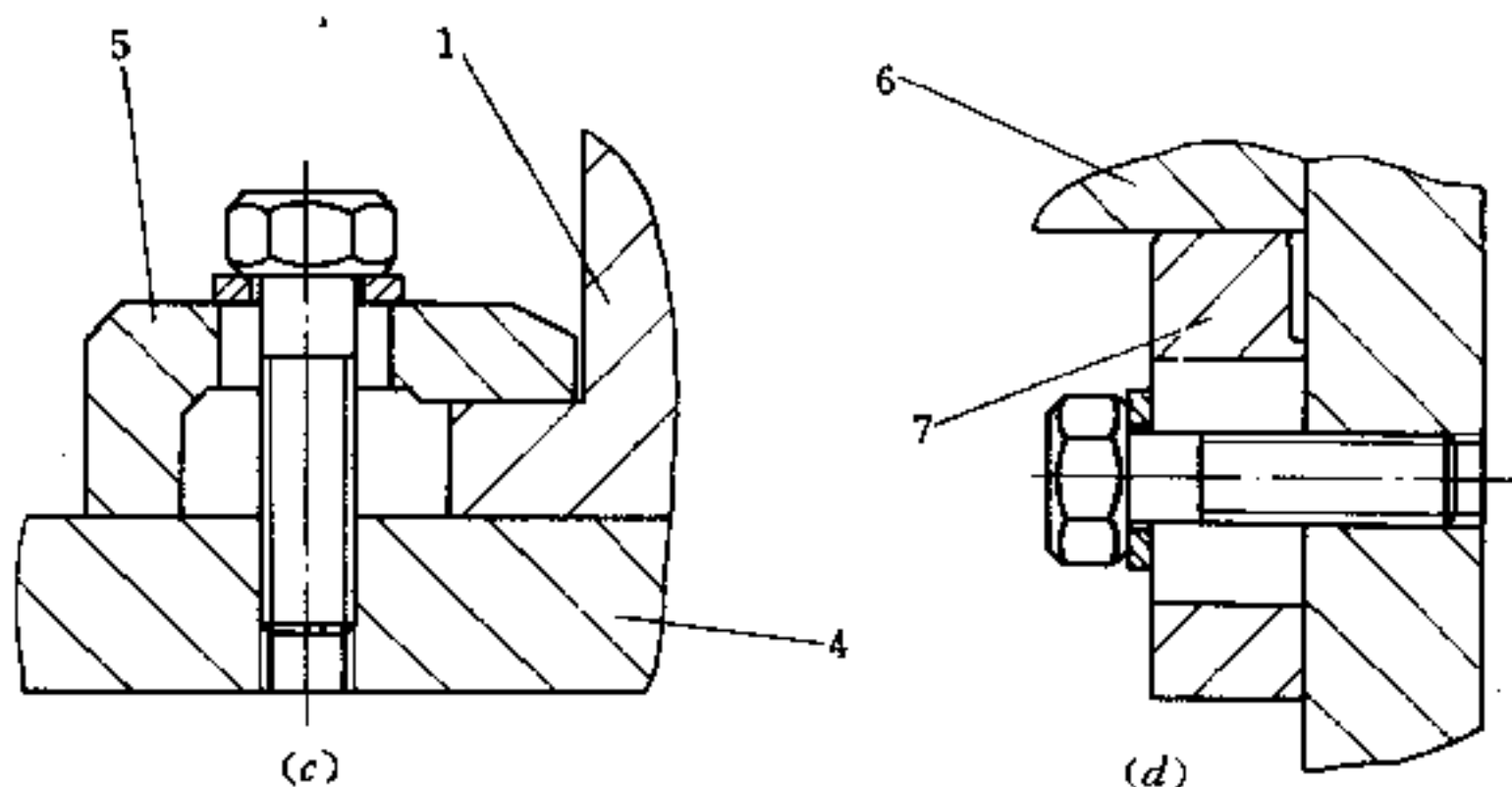


图 15.3-4 模板压紧的式

1—动定模板；2—压板；3—垫块；4—设备模板；5—梯形压板；6—动模板；7—支承压板。

### 15.3.6 调整锁模机构

液压式合模系统的动模板行程，是由工作油缸的行程决定的。调整机构是利用合模油缸来实现的，对模具的厚度无严格限制，一般规定为：模板间的最大距离，其值大约为最小模厚的  $3\sim 4$  倍。

液压肘杆式合模系统的调整机构，目前较多使用的有四种方式，见图 15.3-5。一般将动模板与定模板之间的距离调整在模厚 +  $(1\sim 2)$  mm，然后处于开启状态，准备吊装模具。

图 15.3-5 (a) 通过调节带有正反扣的调整螺母件 2，就可实现调整模板间距的目的。图 15.3-5 (b) 旋动调节螺母 4，使模板厚度  $H$  发生改变，从而实现模具高度及合模力的调整。图 15.3-5 (c) 搬动调节手柄，旋动油缸螺母 8，使模板油缸产生轴向位移、模具高度相应得到调整。图 15.3-5 (d) 通过调节四根拉杆上的调节螺母 10 位置，使后固定模板沿轴向改变位置达到调节的目的。(a)、(b)、(c) 三种结构多用于中小型设备，(d) 种结构应用广泛。

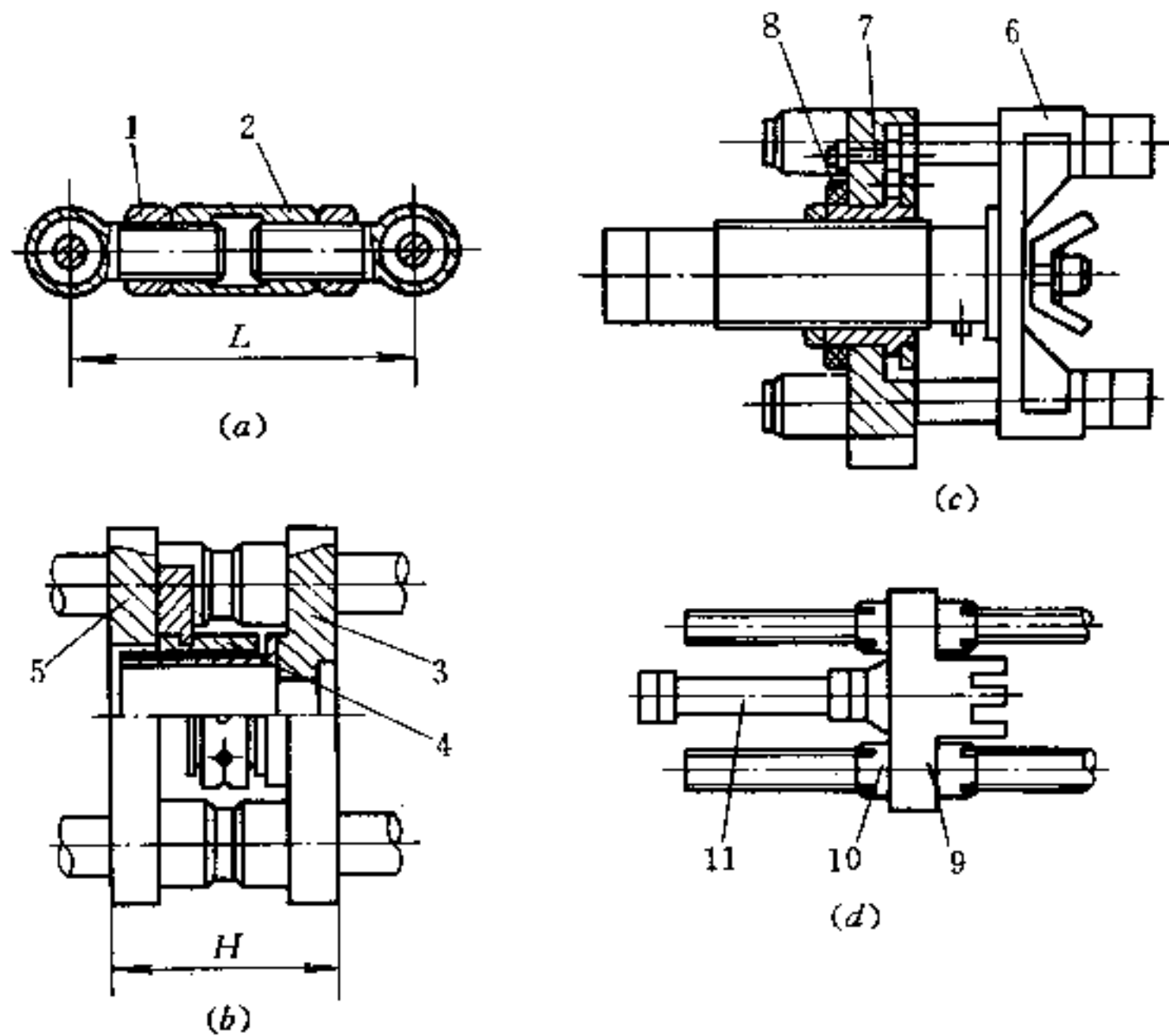


图 15.3-5 设备调模形式

1—锁紧螺母；2—调整螺母；3—右动模板；4—调节螺母；5—左定模板；6—后模板；  
7—调节手柄；8—油缸螺母；9—后模板；10—调节螺母；11—移动油缸。

### 15.3.7 模具空循环试验

模具主体安装在注射机上之后，要进行空循环试验，其目的在于检验模具上各运行机构是否灵活，定位装置是否能够有效作用。

首先，对顶出距离进行调节。模具紧固后，慢速开启模具，直到动模板停止后退，将注射机上顶出机构的顶出杆位置，调节到使模具的顶出板和动模板之间距离尚有不小于5mm的间隙。做到既能顶出制品，又能防止损坏模具。对于依靠顶出力或开模力实现抽芯的模具，应注意顶出距离和抽芯机构工作配合协调，保证动作起止、定位、行程的准确，避免发生干涉现象。当顶出制品速度由动模板的运行速度来决定时，如果开模速度过快，常常使制品在顶出瞬间受损。一般选用快速开模，低速运行时顶出制品为好。

其次，要观察锁模松紧程度。对于全液压式合模机构，只要观察锁模力是否在预定的工艺范围内即可。对于液压肘杆式合模机构，可根据锁模压力的大小或经验来判断。既要保证锁模后注射不产生飞边，又要保证有足够的排气间隙。具体调整方法在15.3.6一节中已详细介绍，锁模力大小的选择，一方面要防止模具被挤压坏，另一方面也要避免锁模力过大，使设备模板上产生过大的集中应力，从而引起模板塑性变形，产生凹坑。

当以上工作完毕后，操作者在设计师的监视下，对模具进行开启和闭合的空运行，要在手动或半自动状态下进行。确认模具与机构动作与设计思想完全相符后，方可进行

下一工序。

### 15.3.8 模具配套件安装

当模具主体部分安装在注射机上，通过空循环运行确认动作正常后，可进行配套部分的安装。主要包括：热流道元件及电气元件的接线；电控部分的调整；液压回路联接；气压回路的联接；冷却水路的联接等。

带有热流道浇注系统的模具，要注意加热元件、电路接线和控温表的调试，尤其是两个以上浇口时，温度控制器与热电偶的联接要对号，并且逐个调试，然后按照试模选用的原料特性将表指针调至合适的温度处进行加温。

配有液压系统的模具，液压动作经常用于侧抽芯或反顶装置，其行程大小由行程开关控制。接通线路后，要对行程大小进行调整，然后选择顺序动作，防止侧抽芯与开启、闭合之间产生干涉。

气动装置经常用于脱模机构，联接气路后要试验气压是否达到要求，与模具和机械动作有无冲突。

冷却水路联接应按设计思想进行接管，掌握进水口要低于出水口的原则，或者水平流动，可保证冷却效果良好。另外要将进水与出水口交叉联接，使冷却温度趋于均匀。

### 15.3.9 模具预热

模具安装完毕，在试注射前要对其进行预热。模具预热方法大致分两种，内部加热和外部加热。内部加热是利用模具本身的冷却水孔，不断通入热水进行加温。目前国内大量使用模温控制器，即可加热又可控制模具温度恒定在理想状态，是推荐使用的设备；外加热是指用铸铝加热板安装在模具外部进行加温。这种方式可做辅助加热用。在北方寒冷的冬季里，有加热不均匀的缺点，同时耗能大，对于大型模具不适用。

对于中小型模具，可以靠注射料的热量来提高模温。对于注射不困难的原料也无需进行模具预热。但是，对于大中型模具和型腔复杂模具，采用高料温、高压将原料强行注射到模体内，尽管可以得到试模样件，但对模具自身损伤较大，其制件尺寸收缩不够合理，变形偏大，又浪费能源，给制件尺寸的检验带来麻烦。因此，这种方法不宜采用。

模具安装后预热的同时，注射机筒也在加热，当两者温度均符合要求时，即模温在 $30\sim 60^{\circ}\text{C}$ 以上时，机筒内吐料已呈熔融料状态时，即吐料为塑化均匀状态，视为温度合适，具备了试模条件，试模可进入试注射阶段。

## 15.4 塑料选用及工艺条件拟定

### 15.4.1 塑料选用

塑料是一个庞大的家族，分支多，分类方法也很多。根据合成树脂受热后所表现的性能不同来划分为热塑性塑料和热固性塑料。热塑性塑料以注射成型为主；热固性塑料



以压制成型为主。热固性塑料的注射成型方法正处于开发阶段，所占比例甚小。

试模之前，首先遇到的是采用何种原料进行试模的问题。在产品的设计时，根据塑件的用途及要求，确认了材料的规格及牌号，并且在模具设计时，依照塑料的特点进行结构设计和流道设计，以满足注射成型的要求。试模用料力求与制品设计要求一致，这样便于成型注射及对样品的检查和验收。所以，有必要对所选用的原料的性能及工艺特性进行全面了解。

用于注射成型的通用塑料，主要是聚苯乙烯类（包括聚苯乙烯、耐冲击聚苯乙烯和苯乙烯-丁二烯）、聚乙烯、聚丙烯、ABS 四种，这四种材料在当前生产中约占全部注射成型塑料的 80% 以上，其中前三种占 70%。

聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯是通用材料，使用时不需要预先干燥，流动性能比较好。ABS 塑料属工程塑料，在注塑成型前需要预先干燥，且其成型流动性稍差。

通用塑料与工程塑料性能，详见本书表 18.1-4。热固性塑料性能，列于表 18.1-5 中，选料时可对其进行全面了解。

如果在试模时，难以寻求牌号完全一致的原料，也可以代用料来完成试注射。尤其是头一次试模，目的在于检验模具的基本结构、制件的成型状况和壁厚状况时，可以这样做。但是在选代用料时要掌握住一个原则：原料性能要基本接近，收缩率大小要基本一致。如果原料的成型收缩率大小不同时，要在试模后进行核算，以求得检验所需要的数据。

原料选定后，在试模前要进行原料预干燥处理。各种塑料的干燥方法，应根据塑料性能和具体条件进行选择，注射成型塑料的吸水率见表 15.4-1，对于单纯吸湿的塑料，如 SAN、PMMA、ABS、PVC 等可用热风干燥器，或者料斗干燥器，在 75~85℃ 时进行干燥；对于吸水率高的聚酰胺（尼龙），要采用真空烘箱干燥；聚碳酸酯吸水率虽然小，但只要有少许水分就会造成水解，水解后相对分子质量下降，使成型制件变得很脆，因此，应在温度 120℃ 时干燥 10h 以上。为了防止聚碳酸酯在料斗内吸湿，需要采用料斗干燥器或红外线加热器进一步防潮。

表 15.4-1 注射成型塑料的吸水率

(0~0.01)%	聚乙烯 (PVC), 聚丙烯 (PP)
(0.01~0.05)%	聚苯乙烯 (PS)
(0.05~0.5)%	耐冲击聚苯乙烯 (HIPS), 聚氯乙烯 (PVC), 苯乙烯-丙烯腈 (SAN), ABS, 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA), 聚碳酸酯 (PC), 聚甲醛 (POM)
0.5% 以上	尼龙 (PA), 醋酸纤维素 (CA)

### 15.4.2 工艺条件拟定

试模目的之一是要寻找合理的注射工艺条件。原料不同，工艺条件也各不相同。然而，因为是试模过程，模具方面必定存在许多不利于注射成型的因素。当成型结果不理想时，一时难以判断是注射工艺问题还是模具结构问题。对此，在首次注射时，要根据制件的特点及选用原料的牌号，尽量选择理论上趋于合理的工艺条件。要从基本工艺条件入手，假定模具结构及尺寸是合理的，试注射过程中，针对模具特点，对工艺条件逐

步进行调整。这是一个不断解决矛盾，又不断地出现新矛盾的艰难过程。

工艺条件中的三要素是注射量、注射压力、注射速度或注射速度。模具温度和注射料温应根据原料特性而选定。

### 一、注射量 (cm<sup>3</sup> 或 g)

注射量是指设备在无模具安装条件下，注射螺杆或柱塞杆作一次注射行程时，注射装置所达到的注射量。其表示方法为：

(1) 注射出熔料的体积 (cm<sup>3</sup>)；

(2) 以聚苯乙烯为标准，用注射熔料的重量 (g) 表示。因为质量相等的塑料在塑化温度和常温下制品的体积有差异，所以实际注射量必须小于理论注射量。即用下列公式表示。

$$Q = \alpha Q_t = \alpha A_s s = \alpha \frac{\pi}{4} D_s^2 s \quad (15.4-1)$$

式中 Q——实际注射量 (cm<sup>3</sup>)；

Q<sub>t</sub>——理论注射量 (cm<sup>3</sup>)；

α——注射量修正系数，通常取 0.7~0.9；

A<sub>s</sub>——螺杆端截面积 (cm<sup>2</sup>)；

D<sub>s</sub>——螺杆直径 (cm)；

s——螺杆最大注射行程 (cm)。

设计者在试模中只需了解所用设备的螺杆直径，即可得初选注塑量大小，以指导试注射的料量选择。

制品所需料量多少通过产品图提供参考尺寸外，也可根据实际样件进行测量计算，以获样件所需料量。当第一次试注射完毕后，应做详细记录，观察实际注射结果，以便进一步调整。当料量确准之后，要记录在册，为下一次试模或正式生产提供准确的参考数据。

### 二、注射压力 (MPa)

注射压力是指在注射中螺杆或柱塞端面处作用于熔料单位面积上的力。注射的实际压力是要克服熔料流经喷嘴、浇道和模腔等处的流动阻力。注射压力与塑料性能、塑化方式、塑化温度、模具温度、流动阻力、制品形状及制品精度等因素均有密切关系。对于某一制品，注射成型压力过高，制品可能产生飞刺，脱模困难，影响制品外观质量，引起制品较大的内应力，甚至成为废品，也会影响机器的使用寿命。反之，注射压力过低，又会造成缩痕、熔料难以充满型腔，甚至不能成型。

根据塑料特性和制品特征，推荐使用表 15.4-2 作为注射压力粗略选用的参考。

表 15.4-2 注射压力范围

注射压力/MPa	塑料特性	制品特征
<70	流动性能好	形状简单、壁厚
70~100	粘度较低	形状、精度要求一般
100~140	中、高粘度	形状、精度要求较高
140~180	高粘度	壁薄、流程长、壁不均、精度高



目前国产注射机的注射压力为(100~150)MPa,国外注射机一般为105~200MPa。由于注射制品开始大量用于工程结构零件,并且该类制品结构复杂,形状多样,精度要求高,所用塑料大多为中高粘度,所以注射压力有提高的趋势。对于一些精密塑料制品的注射成型,注射压力已用到230~250MPa。

### 三、注射速度 (cm/s) 和注射速率 (cm<sup>3</sup>/s)

指螺杆或柱塞移动的速度和单位时间内熔料从喷嘴射出的理论容量,完成一次注射所需要的时间为注射时间。三者关系可用下式表达。

$$q_z = Q_t/t = \frac{\pi}{4} D_s^2 s/t = \frac{\pi}{4} D_s^2 V_z \quad (15.4-2)$$

式中  $q_z$ ——注射速率 (cm<sup>3</sup>/s);

$s$ ——注射行程 (cm);

$t$ ——注射时间 (s);

$D_s$ ——螺杆直径 (cm);

$Q_t$ ——理论注射量 (cm<sup>3</sup>)。

三者均是描述熔料流动速度的参数,它们之间关系密切。注射速度的快慢直接影响到制品质量和生产效率。注射速度慢,则注射时间过长,制品易产生冷接缝,密度不均,制品内应力大等。合理地提高注射速度,可以减少熔料在模腔内的温度降,改善压力传递效果,保持制品密度均匀和精度。尤其对于一些薄壁、流长比大的制品,采用高速注射更为有利。但是,注射速度过高,熔料离开喷嘴后会产生不规则流动,过大的剪切力会烧焦物料。因而,应根据树脂性能、工艺条件、制品形状、壁厚、模具等情况来确定注射速率。常用注射速率与注射时间见表15.4-3。

表 15.4-3 常用注射速率、注射时间

注射量/cm	125	250	500	1000	2000	4000	6000	12000	18000	24000
注射速率/cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	78	125	200	310	500	800	1050	1500	2000	2400
注射时间/s	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	5.7	8.0	9.0	10.0

当高速注射结束时,马上进入注射保压阶段,注射机的保压压力由小流量、高压油泵提供,该压力能在浇口尚未冻结时消除制品中心的凹陷和空隙。目前,注射保压实际设定时间是根据经验确定的。如果能绘出模腔内压力与时间关系图,就可以较精确地预测保压时间。如图15.4-1所示,高速注射定为2s,保压时间定为4.5s。设备的保压定时器一般设为5s以上,根据定时器的不同进行选择。

以上所谈是注射工艺条件中的几个主要条件。因塑料树脂不同,工艺条件也不尽相同。几种常用塑料和主要工程塑料的注射成型工艺条件,见表15.4-4,可供试模时参考。

### 15.4.3 试模工艺条件的倾向性

试模的目的一方面是检验模具自身结构的可行性,加工精度及制品的精确程度;另一方面是寻找制品成型的最合理工艺条件。既减少试模次数,又可达到试模的目的,是降低模具成本的一个重要途径。

针对塑料制品的形状特征,模具的结构特点,以改造工艺中某个条件因素来弥补制

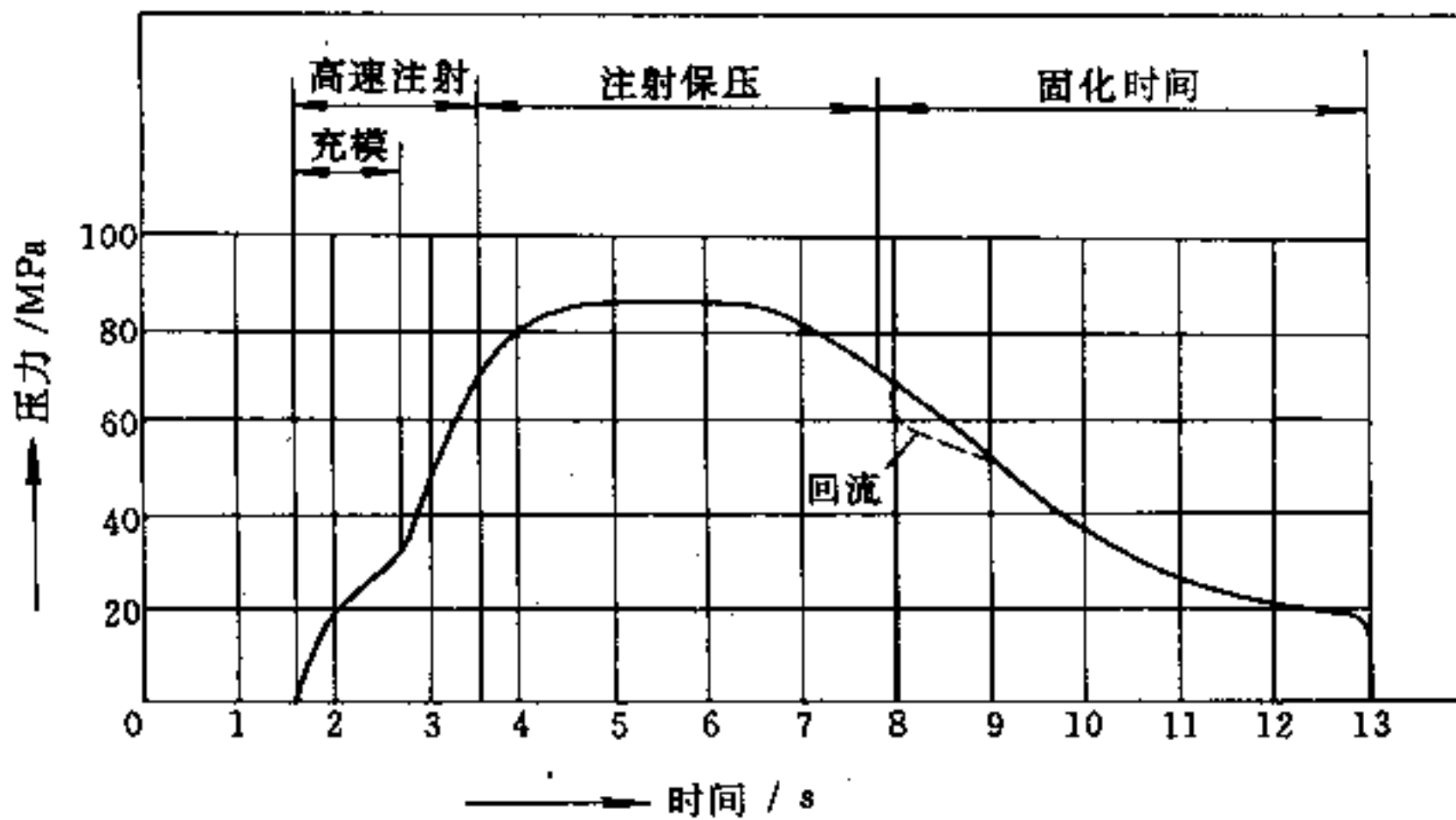


图 15.4-1 模腔压力分布图

品特异点的成型不足，可以有效地避免因试模操作上的失误而使试模无法进行。

在生产实践中，我们总结了针对不同制品特征选择工艺条件的倾向性。

### 一、板状制品

板状制品多是成型面积大而型腔较浅，需要较大的合模力来保证注射。因而，这类制品在试模之前，认真地校核合模力大小是否符合要求是十分重要的。

此类模具结构如图 15.4-2 所示。这种情况下最好采用梯度压力注射法，一方面摸索能够使熔料充满塑腔的最小压力，同时寻找合理的料温以防止产品翘曲变形。当熔料冲出流道直接作用在型腔板上时，其压力是相当大的，这个压力要比通常的型腔压力大几倍甚至十几倍。因此，在注射压力过大时，会造成注射困难，必须认真对待。

### 二、框式制品

框架式制品的特点是成型投影面积不大，但是型腔复杂，带有部分加强筋使制品整体得到加强作用。因而在首次注射中，我们推荐采用高温、低中压注射工艺条件，在料量选用上不得少于 80% 欲用料量，这样可以弥补框架式制品不易充满并且取制品困难的不足。反之，很易造成填充过实过量，镶块缝内充入原料，使筋、条等被夹在型腔内，继续注射根本无法进行。这也是框架式制品模具的试模次数偏多的重要原因之一。

例如，电视机前壳模具，如图 15.4-3 所示制件重量 1.5kg，需要在 4kg 以上注射机上成型，型腔复杂，筋条多。初注射时，采用上述方法进行试模。当注射一段时间后，可根据制品的缺陷进行工艺调整，以求得合理成型工艺条件。

### 三、深腔制品

型腔深度大于边长的  $2/3$  时，通常被称为深腔。这种制品的特点是工作面可能是内腔也可能是外壁，致使开启模具时制品留在定（凹）模或动（凸）模一方。当制品留在定模一方时，需要依靠安装在定模上的反顶装置将其推出型腔。这时必须采用一次性充满型腔，使制品尽可能完整。反之，制品缺料过多，导致脱模板无法起作用，欲清理型腔内残缺不足的制品是一件十分困难的事。例如，双缸洗衣机内桶制品，内腔面为工作面，模具开启时，制品留在型腔内，由油缸反顶装置将制品脱出型腔，采用分段注射方法，试图一次性充满型腔，效果很好。

表 15.4-4 常用热塑性塑料的注射成型工艺条件

1	工艺条件	原料名称		尼龙 1010	玻纤增强 尼龙 66	聚三氟乙 烯	聚全氟乙 烯	聚甲基丙 酸甲酯	聚碳酸酯	PC GF30
		注压机型式	注压机型式							
2	螺杆型式	柱塞式	往复螺杆式	往复螺杆式	往复螺杆式	往复螺杆式	往复螺杆式	柱塞式	往复螺杆式	往复螺杆式
3	螺杆转速/(r/min)	—	渐变	突变, 止回圈	突变	30	30	30	三段通用式	通用式
4	喷嘴型式	通用式	通用式	弹簧针阀式					延伸式	延伸式
5	温度/°C	料筒温度 { 后 中 前	150~170	190~210	230~240	200~210	165~190	160~180	210~240	270~320
			170~190	200~230	270~310	285~290	270~290	230~280	280~320	230~280
				240~280	270~310	275~280	310~330	210~240	280~320	240~285
6	注射压力/MPa	60~130	60~100	40~100	80~130	80~130	80~130	80~130	80~130	80~130
7	时间/min	注射时间	15~45	20~90	20~60	20~60	20~60	20~60	20~90	20~90
		高压时间	0~3	0~5	2~5	0~3	0~5	0~5	0~5	0~5
		冷却时间	15~45	20~120	20~60	20~60	20~90	20~90	20~90	20~90
		总周期	40~100	45~220	50~130	50~130	50~150	40~190	40~190	40~190
8	收缩率/%	1~1.5	0.4~0.7	1~2.5	0.7~1	1~2.5	2~5	0.5~1.0	0.5~0.3	0.3~0.5
9	原料干燥	预热和干燥温度/°C	70~80	100±5	100±5			70~80	真空 110±5	
		预热和干燥时间/h	2~4	10~24	16~24		2~4	常压 120~130		
		真空度(毫米汞柱) 干燥合格指标	常压	760	760	<0.1%	常压	16 以上 2~3 760 常压 ≤0.01%		同左
10	后处理	处理方法 处理温度和时间	油、液体石蜡或充氮炉 中于 100~120°C 处理 30~60min, 冷却; 或水 中或水/磷酸钾 (1/ 1.25) 溶液中于 100~ 120°C 处理 2~8h, 冷却						甘油、乙二 醇、液体石蜡或 热空气 110~ 130°C、1~2h 缓慢冷却	同左



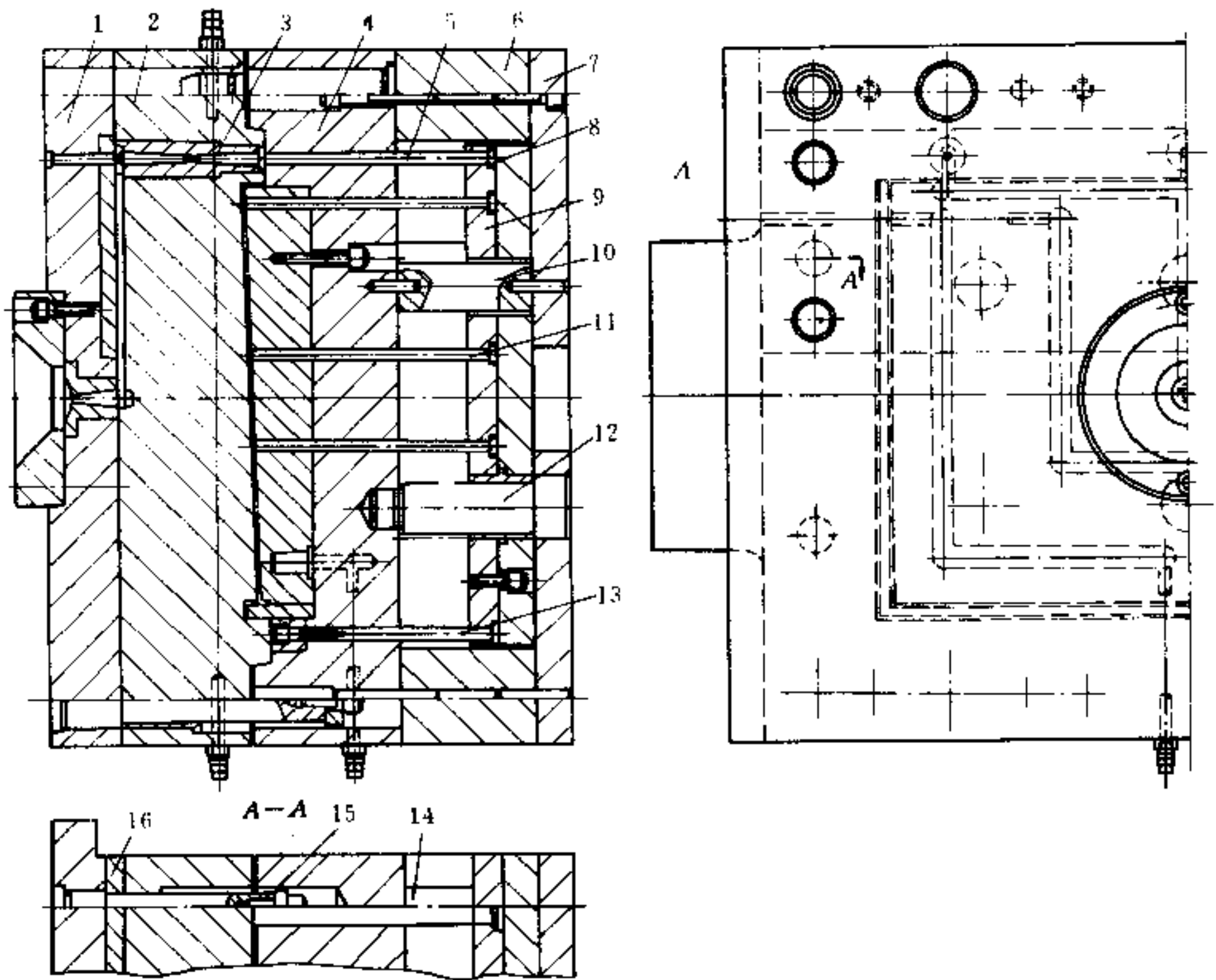


图 15.4-2 板状制品模具结构

1—定模板；2—型腔板；3—料道套；4—动模板；5—料顶杆；6—压脚；7—垫板；8—顶垫板；  
9—顶板；10—支承柱；11—顶杆；12—导杆；13—勦板顶杆；14—回程杆；15—拉柱；16—脱料板。

模具开启时，需要制品留在动模一方时情况大不相同，即使有不完整的制件留在动模芯上，清理也是比较方便的，所以不必要一次过量注射。

总之，做为一名模具设计者，能有效地指挥新模具的试注射，调整注射工艺，是使模具尽快尽早交验重要途径。制品形状多种多样，模具的整体结构和镶拼方式也各有所异，巧妙地选用工艺条件及特点，可使试模进行得顺利，且保证模具不受损坏。当选用了合理的工艺条件和注射方式，注射成型效果仍不尽理想时，可以在一定范围内进行工艺条件分项变化的探索。但是实际上，料温调整在短时间内是很难看出效果的，而注射压力和注射速度的变换，效果明显，行之有效。因此，一般将料温提高在偏高的位置上，调整其他两者，当趋于正常时，可将料温控制在理想的温度上。

当今随着计算机在模具设计方面的开发和应用，模具结构设计日趋合理化，尤其是分析软件的问世，使设计人员的经验和智慧得到完善，并且使其系列化、智能化。在计算上给定设计参数及工艺条件，模拟注射成型，可以减少实际试模次数，降低模具成本，提高模具质量。但是，计算机也需要设计师有丰富的试模经验。因此，在计算机辅助设计的帮助下达到一次试模成功，仍是多次修定工艺条件的结果。

无论采用何种方式试模，都要掌握一个基本原则，即每一次注射间隔时间要尽可能短，以力求注射连续性。这样，一方面可以有利地寻找注射工艺条件的不合理处，另一



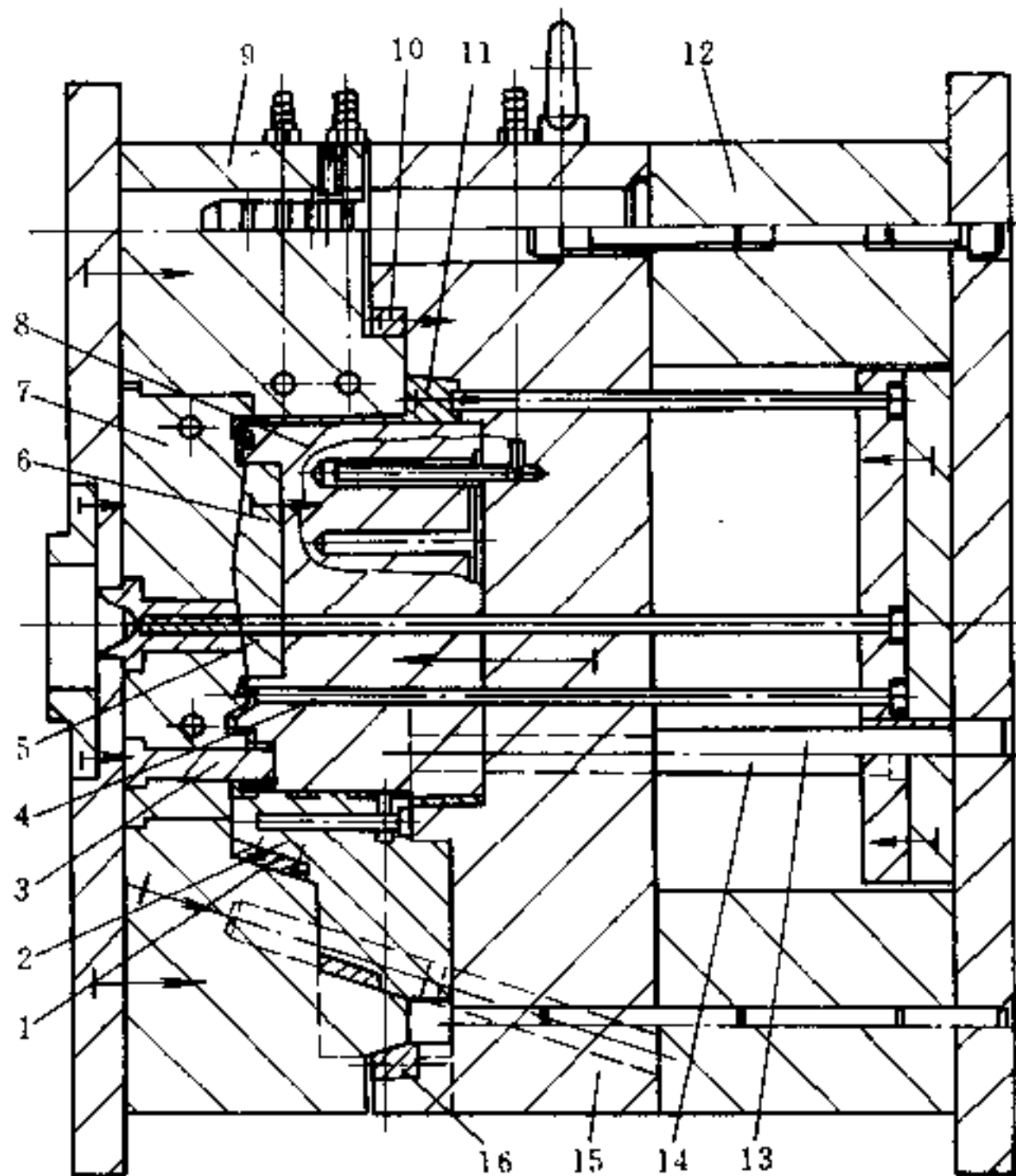


图 15.4-3 框架式制品模具结构

1—耐磨板；2—侧滑块；3—上镶型芯；4—顶杆；5—顶料杆；6—上中心芯；7—上芯；

8—下芯；9—定模板；10—止口块；11—顶板；12—压脚；13—支柱；14—回程杆；15—动模板；16—止块。

方面可在短时间内使模温达到理想状态，便于成型以取得理想的样品。

## 15.5 成型缺陷及对策

### 15.5.1 影响成型的因素

模具初次要通过设备来完成提供制件的过程。除常规成型的影响因素外，还有其他方面诸多因素的影响。设计者不仅要学会分析来自模具方面的原因，同时还要进行综合性分析。主要从三个方面着手。

#### 一、成型工艺条件

温度、压力和时间是注塑成型工艺条件的三大要素。其他因素的变化是围绕着它们来进行。

诸多温度条件中，模具温度的均匀性对于获得优质制件是十分重要的。应当用手携式温度计检查模具各区域，以确认冷却水路布置是否合理。模温范围的使用方法也在于合理选择。模温上限可以用于控制内应力较低、长期使用中尺寸变化最小、外观很光亮的制件。模温下限一般可缩短注射周期，并认为不使制件产生明显缺陷的最低温度。对于大多数塑件来说，外观上的一致性主要取决于模具表面温度均匀性。对于工程塑料制品，模温控制还可控制塑件尺寸、拉伸强度和脆性等性能，以及最大限度降低模塑件内

应力。因此，试模中准确地检测模具加工尺寸精度有效地控制模温和分析冷却合理性是至关重要的一环。

其次，与压力有关的因素是塑化压力（背压）、注塑压力和模腔压力。增加塑化压力可提高熔体温度，使熔体温度均匀、色料混合均匀，并易于排出熔体内的气体，但会减小塑化速率。注射压力是克服熔料从料筒流向型腔的流动阻力、给予熔料充模的速率以及对熔料进行压实，并直接影响制品外观与质量。模腔压力是指熔体流经小浇口、长浇口、小流道、无圆角弯道、流道粗糙表面、排气不畅等产生压降后的熔体压力。模腔压力是直接影响塑件质量的重要因素。

与时间有关的因素是注射时间、充模时间、保压时间、闭合冷却时间、材料塑化时间等。完成一次注射模塑过程所需总时间称为成型周期。试模的成型周期通常比正常生产时的时间要长，为了获得理想的样件，在范围内取偏大值。充模时间一般约3~5s；保压时间一般为20~120s，保压时间直接影响制品尺寸的准确性；冷却时间一般约在30~120s，试模中的冷却时间因模温偏低可适当缩短。

## 二、设备状况

具备高精度的设备是生产高质量产品的必要条件。设备锁模方式及精度可以直接影响制品分型面的精度和质量；分段注射及调整工艺条件功能好坏可以影响制品能否顺利填充成型；注射速率的调整可影响制品的表观质量；注射成型周期中动作连续性和稳定性，可直接影响到试模能否得到准确的工艺数据。例如，双缸洗衣机内桶，是一种薄壁深腔制品，流长比为1/300，只有在高速率、分段注射的条件下才能顺制成型；注射时，还要配有模具整体温度控制系统、油缸顺序动作控制系统。没有这些功能的注射机，该模具就无法试模，更别说生产。

## 三、模具条件

具备了精度良好的设备，选择了相对合理的工艺条件，制品质量将取决于模具质量。设计者要着重观察模具的结构形式、动作顺序是否合理，料道及型腔加工是否符合设计要求，表面粗糙度及脱模斜度是否符合技术要求。如果没有这些问题，仍注射不出理想的产品，那么原因可能是模具方面的问题。这里包括成型浇注方式、浇口大小、浇口位置、镶块镶拼方式的合理性、脱模方式的可行性；排气隙流畅程度、整体加工精度等。

模具结构方面的问题，有的是可以在试模中发现并进行改进的，如注射进料浇口位置及数量、尺寸大小、排气隙大小及多少等。而有的是不可修改的。例如，洗衣机上面板模具，通常采用侧浇口进料，以防止成型后的翘曲变形。如果简单地采用中心直浇口方式，无论怎样改变工艺条件都难以获得理想的产品。还有模具强度、刚度不足等问题，修改上更为困难，甚至不可能。因此模具设计者的责任十分重大，并且可通过试模进行检验。这也是试模的主要目的之一。

### 15.5.2 常见塑件缺陷与措施

试模中所获得的样件是对模具整体质量的一个全面反映。以检验样件来修正和验收模具，是塑料模具这种特殊产品的特殊性。

首先，在初次试模中我们最常遇到的问题根本得不到完整的样件。常因塑件被粘



附于模腔内，或型芯上，甚至因流道粘着制品被损坏。这是试模首先应当解决的问题。

### 一、粘着模腔

制品粘着在模腔上，是指塑件在模具开启后，与设计意图相反，离开型芯一侧，滞留于模腔内，致使脱模机构失效，制品无法取出的一种反常现象。其主要原因是：

- (1) 注射压力过高，或者注射保压压力过高。
- (2) 注射保压和注射高压时间过长，造成过量充模。
- (3) 冷却时间过短，物料未能固化。
- (4) 模芯温度高于模腔温度，造成反向收缩。
- (5) 型腔内壁残留凹槽，或分型面边缘受过损伤性冲击，增加了脱模阻力。

### 二、粘着模芯

(1) 注射压力和保压压力过高或时间过长而造成过量充模，尤其成型芯上有加强筋槽的制品，情况更为明显。

- (2) 冷却时间过长，制件在模芯上收缩量过大。
- (3) 模腔温度过高，使制件在设定温度内不能充分固化。
- (4) 机筒与喷嘴温度过高，不利于在设定时间内完成固化。
- (5) 可能存在不利于脱模方向的凹槽或抛光痕迹需要改进。

### 三、粘着主流道

- (1) 闭模时间太短，使主流道物料来不及充分收缩。
- (2) 料道径向尺寸相对制品壁厚过大，冷却时间内无法完成料道物料的固化。
- (3) 主流道衬套区域温度过高，无冷却控制，不允许物料充分收缩。
- (4) 主流道衬道内孔尺寸不当，未达到比喷嘴孔大0.5~1mm。
- (5) 主流道拉料杆不能正常工作。

一旦发生上述情况，首先要设法将制品取出模腔（芯），不惜破坏制件，保护模具成型部位不受损伤。仔细查找不合理粘模发生的原因，一方面要对注射工艺进行合理调整；另一方面要对模具成型部位进行现场修正，直到认为达到要求，方可进行二次注射。不合理粘模频繁发生，对模具型腔损伤较大，并且延长了试模时间，增加了试模次数，加大了试模费用。如果是在连续成型注射中偶尔发生不合理粘着现象，不要轻易调整工艺条件，可以用局部喷涂脱模剂的方式来克服解决。直到连续成型稳定后，再进行一次性修正。

当注射成型得到了近乎完整的制件时，制件本身必然存在各种各样的缺陷，这种缺陷的形成原因是错综复杂的，一般很难一目了然，要综合分析，找出其主要原因来着手修正，逐个排出，逐步改进，方可得到理想的样件。下面就对试模中常见的成型制品缺陷及其改进的措施进行分析。

#### 1. 注射填充不足

所谓填充不足是指在足够大的压力、足够多的料量条件下注射不满型腔而得不到完整的制件。这种现象极为常见。其主要原因有：

- (1) 熔料流动阻力过大。

a. 主流道或分流道尺寸不合理。流道截面形状、尺寸不利于熔料流动。尽量采用整圆形、梯形等相似的形状，避免采用半圆形、球缺形料道。尽可能缩短料道流程，浇

口要放在易进料的成型部位，防止熔料在分流道或初进型腔时产生堵塞。

b. 熔料前锋冷凝所致。熔料前锋的冷凝料未能有效地“捕捉”在冷料穴内，直接充入模腔妨碍了熔料的流程。增加冷料穴或加大冷料穴尺寸，同时提高注射速度可以解决此问题。

c. 塑料流动性能不佳。因熔料本身流动性能不好，未等流到型腔末端就已经冷凝，造成填充不足。可采用加快注射速度、提高料筒温度、提高注射压力、提高模具温度等方法。如果仍不能达到理想效果，只有另选流动性较好的原料来代替。

d. 制品壁厚过薄。可能是整个制品壁厚均过薄所致，也可能是局部问题。如果是前者，要在工艺条件选择上加以修正，仍不行只有与设计者商议改进制件设计。如果是后者，可在现场进行修改，相对加厚局部尺寸，或在透孔位置增开辅助分流道，增加熔料流通渠道，降低充模阻力。

(2) 型腔排气不良，这是极易被忽视的现象，但又是一个十分重要的问题。模具加工精度越高，排气显得越为重要。尤其在模腔的转角处、深凹处等，必须合理地安排顶杆、镶块，利用缝隙充分排气，否则不仅充模困难，而且易产生烧焦现象。排气槽设计详见 4.3.2 节。

(3) 锁模力不足。因注射时动模稍后退，制品产生飞边，壁厚加大，使制件料量增加而引起的缺料。应调大锁模力，保证正常制件料量。

## 2. 溢边（毛刺）

与第一项相反，物料不仅充满型腔，而且出现毛刺，尤其是在分型面处毛刺更大，甚至在型腔镶块缝隙处也有毛刺存在，其主要原因有：

(1) 注射过量。为了防止缩孔而注入过量熔料，造成注射过量，产生毛刺。为此，应改为增加注射时间或增加保压时间来防止缩孔为妥。

(2) 锁模力不足。由于型腔胀力大于合模力，在注射压力作用下，动、定模之间产生缝隙而形成毛刺。降低注射压力，加大合模力可以解除这种现象。或改用流动性较好的原料，采用低压成型也可获得理想的效果。

(3) 流动性过好。塑料流动性过好或模温过高，哪怕细微的缝隙也可钻入熔料。降低模温，降低料温或降低注射压力，均可有效地解决此类问题。

(4) 模具局部配合不佳。模具结构不合理或模具加工精度不佳，使模板锁模装置不良或模板平行度不佳均可产生毛刺。改进锁模精度和研合面，将密贴不严部分重新研作，可从根本上解决此种问题。

(5) 模板翘曲变形。因模板刚度不足，受力时产生弹性变形，甚至塑性变形，致使分型面间隙过大。采用增大模板厚度，增加模板或补加支承柱等方法，可有效地消除间隙过大问题。

## 3. 缩孔（凹痕）

制件表面因收缩产生的凹陷叫作缩孔，这是成型时经常产生的缺陷。这是一个十分复杂的过程，故产生缩孔的原因也是多方面的。

(1) 熔料压缩不足。因注射压力偏低，未能将物料压缩至适当的密度；也不能将气体和空气充分从物料中排除，从而形成缩孔。故应提高注射压力，使物料充分填充型腔，或加大浇口直径。

(2) 熔料温度偏高。当物料温度较高时，分子链段间自由体积增大在物料固化时，这种自由体积减小，从而产生较大的收缩。故适当降低熔体温度，可有效地预防缩孔出现。

(3) 注射量调整不当，保压失效。当注射終了时，必须在螺杆头与喷嘴入口之间留有适当数量熔料的“缓冲垫”，若这个缓冲垫为零，会致使保压失效。为此，解决的方法是使注射结束时螺杆仍能够前进数毫米至十几毫米，保压时仍有熔料补进，以此解决缩孔问题。

(4) 原料收缩量过大。通常，用低温高压注射不易产生缩孔。可是如果熔料温度过低，即便提高压力，也很难防止结晶性塑料的缩孔。因为结晶性塑料固态与熔融态的密度显著不同，彻底消除缩孔很困难。这时如果允许用非结晶性共聚物代替，或者允许填充无机填充剂，如玻璃纤维、石棉等也可以使缩孔变小。

(5) 模具冷却不均。设计者在布置冷却水循环回路时力图达到均匀效果，实际上均匀是相对的，不均匀是绝对的。靠改造冷却水路来彻底消除缩痕也是很困难的。因此，用调整冷却水的进出口流向改变模温，以此将制件缩孔减轻或移位，保证制件工作面的表观质量，是行之有效的办法。

#### 4. 熔接痕

注射成型时熔料汇合处产生的细线称为熔接痕。

熔接痕多发生在制件表面带通孔处，或几个浇口同时注射成型时的汇合处。熔接痕处温度低于其他部位，影响制件表观质量，强度不够。然而，要从根本上消除熔接痕，几乎是不可能的。只有改变其位置或降低其清晰度，以达到用户的要求。其方法如下：

(1) 提高注射压力，加快注射速度，使熔料在高压下快速充模，迅速达到熔合，以得到最好的熔合强度。

(2) 提高模具温度。人为地使熔合区模温偏高，以达到良好的自然熔合。

(3) 少用或不用脱模剂。模腔表面涂有脱模剂时，一旦接合处的熔料前锋沾有脱模剂时，会因二者相互不熔合而造成接合缝加深、强度降低，使熔接部位易开裂。

(4) 合理设置排气槽。在熔接线处预先设置镶块、顶杆或排气槽，使该部位空气和挥发成分排出顺畅，从而提高其熔接效果。

#### 5. 裂纹

当制件被顶出型腔的瞬间，由于各种原因产生开裂、裂纹、微裂和发白等现象，部位呈观白印的形式表现出来。尽管它们的表现形式不同，但就其原因有如下几点：

(1) 脱模不畅。主要原因是成型部位的表面粗糙度和脱模斜度不合适。顺着制件的脱模方向查看侧壁表面粗糙度是否为  $R_a 0.8 \sim 0.4$ ，或者机械抛光方向与脱模方向不一致时，也对脱模有阻碍作用。因原料种类而异，脱模斜度不一，详见 3.2.2 节。当模腔设有达到必要的脱模斜度时，制件在脱模过程中因收缩量大于收缩尺寸而产生“抱紧”现象，使脱模受阻。

如果以上两种原因均排除，仍未解决脱模不畅现象时，可以认为顶出机构受力过于集中，顶出力量不足，可能是顶杆数量不够或脱模板工作不佳等，要在增加顶杆或改善脱模板工作状态上下功夫。

(2) 冷却不充分。当制件未完全硬化时，就将其脱出型腔，使制件在顶出过程中产

生破损。用延长冷却时间，或者改变模具的冷却方式，争取在相同的冷却时间下，得到更好的冷却效果。

(3) 过量填充。这是注射工艺方面的不适所造成的。为防止缩孔而使过量填充，致使制件内应力过大，造成顶出困难，在自然放置状态下产生微裂。欲消除过填充的开裂，可提高熔料温度，降低注射压力，提高模温等。

## 6. 翘曲变形

翘曲、弯曲和扭曲都属于不规则的翘曲变形。引起翘曲变形是制件内部分子排列取向及冷却收缩不均所致。熔料流动方向及垂直方向上的收缩不一致，制品壁厚不均时收缩不一致，这些均可引起翘曲变形。

(1) 由成型应力引起。浇注系统设计不合理，浇口位置、数量与进浇形式不恰当。如大面积板状制品采用中心浇口是难以控制不翘曲变形的，若改用侧面扇形浇口或多浇口情况会得到改善。适当提高模温或熔料温度、降低注射压力、改善浇注系统的流动条件等，均可减小收缩率在方向上的差异。

(2) 冷却不充分或不均匀所致。在制件尚未完全冷却的情况下被脱出型腔，非对称制件产生非对称收缩，造成不规则变形。这时用延长在模腔中的冷却时间，或适当降低模具温度，均可收到较好效果。

(3) 采用辅助工具矫正尚未完全定型的塑件，也是实际生产中常用的方式。尤其对于框架式非对称形状制品，可获得较好的成效。

## 7. 银丝

在塑件表面熔料流动方向上产生银白色纹理称为银丝。这种现象产生的原因虽然很多，但主要是料内水分或挥发份过量所致。除彻底干燥原料外，可检查以下原因：

(1) 熔料温度偏低。如果注入模腔的熔料温度偏低，或熔料温度不均匀，被注入模腔即产生了波纹。提高熔料温度，增大模具的冷料穴等有助于消除此类问题。

(2) 模腔表面有水分或挥发成分。被高温熔料气化后，在制件表面形成银丝。这时制件表面发暗，消除发暗缺陷也就消除了银丝。

(3) 粉料直接注射。此时很容易卷入空气，从喷嘴注射出来夹杂着气体的熔料与型腔表面不密切贴合而产生银丝。解决方法是使料筒后部温度偏低，或降低螺杆转数，提高背压。

(4) 塑件壁厚不均。因制件壁厚变化大，使制件成型时排气不畅以及注射量不足等，也可产生银丝。改善壁厚变化程度，提高转角光滑圆整状况，使熔料流动顺畅，可免除银丝出现。

## 8. 光泽不佳（透明度差）

制件表面达不到塑料所应有的光亮程度，其原因如下：

(1) 模具型腔表面粗糙度不符合要求。这是在试模中常见的问题。如果是交验模具，将是一个非常重要的问题。

模腔抛光须达到粗糙度要求。有时肉眼看上去很亮，但制件仍然光泽不佳，是因为表面尚有微小的凸凹纹所致。大面积抛光，单靠手工操作是难以达到要求的。

透明制件，模型镀铬，但是要防止镀层脱落。同时在镀铬前须对型腔适当增加脱模斜度。



表 15.5-1 制品缺陷的种类与对策

制品缺陷 树脂种类 对策	填充不满										塌陷										飞边										色泽										差																															
	硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	三氟氯乙烯	甲基丙烯	丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	三氟氯乙烯	甲基丙烯	丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	甲基丙烯	丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	甲基丙烯	丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	甲基丙烯	丙烯腈苯乙烯																				
扩大主浇口 缩小浇口带面积 扩大主浇道 变更冷却水道位置 重新研合分模面 增加排气槽数量 变更浇口位置 抛光模具表面 增大冷料穴容量 变更喷嘴位置 检查喷嘴加热部分 抛光主浇道、浇道、浇口	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
抛光浇口套 检查主浇道拉丝状况	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
增加注射压力 降低注射压力 增加保压时间 减少保压时间 调整树脂供给量 增加锁模压力 提高树脂温度 减少树脂温度 提高模具温度 减少模具温度 供给干燥的树脂 降低注射速度 检查树脂是否清洁	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
(一) 模具条件																																																																								
(二) 成型条件																																																																								

(续)

制品缺陷 树脂种类 对策	波纹		尺寸不稳定		熔接不牢		脆性	
	硬聚氯乙烯 氯化聚醚 尼龙 ABS树脂 醋酸纤维素 聚碳酸酯 中压聚乙烯 聚甲醛 三氟氯乙烯 甲基丙烯 丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯 氯化聚醚 尼龙 ABS树脂 醋酸纤维素 聚碳酸酯 中压聚乙烯 聚甲醛 三氟氯乙烯 甲基丙烯 丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯 氯化聚醚 尼龙 ABS树脂 醋酸纤维素 聚碳酸酯 中压聚乙烯 聚甲醛 三氟氯乙烯 甲基丙烯 丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯 氯化聚醚 尼龙 ABS树脂 醋酸纤维素 聚碳酸酯 中压聚乙烯 聚甲醛 三氟氯乙烯 甲基丙烯 丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯 氯化聚醚 尼龙 ABS树脂 醋酸纤维素 聚碳酸酯 中压聚乙烯 聚甲醛 三氟氯乙烯 甲基丙烯 丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯 氯化聚醚 尼龙 ABS树脂 醋酸纤维素 聚碳酸酯 中压聚乙烯 聚甲醛 三氟氯乙烯 甲基丙烯 丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯 氯化聚醚 尼龙 ABS树脂 醋酸纤维素 聚碳酸酯 中压聚乙烯 聚甲醛 三氟氯乙烯 甲基丙烯 丙烯腈苯乙烯	硬聚氯乙烯 氯化聚醚 尼龙 ABS树脂 醋酸纤维素 聚碳酸酯 中压聚乙烯 聚甲醛 三氟氯乙烯 甲基丙烯 丙烯腈苯乙烯
扩大主浇道、流道、浇口								
减小浇口带面积								
扩大主浇道								
变更冷却水道位置								
重新研分模面								
增加排气槽数量								
变更浇口位置								
抛光模具表面								
增大冷料穴容量								
变更喷嘴位置								
检查喷嘴加热部分								
抛光主浇道、流道、浇口								
抛光浇口套								
检查主浇道拉丝状况								
增加注射压力								
降低注射压力								
增加保压时间								
减少保压时间								
调整树脂供给量								
增加锁模压力								
提高树脂温度								
减少树脂温度								
提高模具温度								
减少模具温度								
供给干燥的树脂								
降低注射速率								
检查树脂是否清洁								
使用新框								
	(I) 模具条件				(II) 成型条件			

(续)

制品缺陷	树脂种类	浇口部分雾状纹										熔接痕差				翘曲或弯曲										表面质量差																	
		硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	三氟氯乙烯	甲基丙烯	丙烯腈苯乙	硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	三氟氯乙烯	甲基丙烯	丙烯腈苯乙	硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	三氟氯乙烯	甲基丙烯	丙烯腈苯乙	硬聚氯乙烯	氯化聚醚	尼龙	ABS树脂	醋酸纤维素	聚碳酸酯	中压聚乙烯	聚甲醛	三氟氯乙烯
对策		(I) 模具条件 扩大主浇道、流道、浇口 缩小浇口带面积 扩大主浇道 变更冷却水道位置 重新研合气槽数量 增加排气槽位置 变更浇口位置 抛光模具表面 增大冷料穴容量 变更喷嘴位置 检查喷嘴加热部分 抛光主浇道、流道、浇口 抛光浇口套 检查主浇道拉丝状况																																									
		(II) 成型条件 增加注射压力 降低注射压力 增加保压时间 减少保压时间 调整树脂供给量 增加树脂模压力 提高树脂温度 减少树脂温度 提高模具温度 减少模具温度 供给干燥的树脂 降低注射速度 检查树脂是否清洁 使用																																									



(2) 模温不适。模具的最佳温度能够提供制件最佳光亮度。模温波动会影响制件的表观质量。在注射工艺调整中寻找最佳模具温度是试模目的之一。

(3) 熔料温度不佳。熔料在接触模腔表面时，立即冷凝会产生细微的凸凹纹，降低光泽。提高熔料温度，加快注射速度，或提高模具温度，均可提高制件表面光泽。

(4) 型腔残存有脱模剂。脱模剂残留在型腔表面，阻碍熔料与模腔贴合，使制件表面模糊发暗。因而在交验模具样件时，工艺调整稳定后，要尽量少用或不用脱模剂。

### 9. 制件尺寸不准确

初始试模时，经常出现制件尺寸与设计要求尺寸相差较大。这时不要轻易修改型腔，应先从注射工艺上找原因。

(1) 尺寸变大。注射压力过高，保压时间过长，此条件下产生了过量充模，收缩率趋向小值，使制件的实际尺寸偏大；模温较低，事实上使熔料在较低温度的情况下成型，收缩率趋于小值。这时要继续注射，提高模具温度、降低注射压力，缩短保压时间，制件尺寸可得到改善。

(2) 尺寸变小。注射压力偏低、保压时间不足，制件在冷却后收缩率偏大，使制件尺寸变小；模温过高，制件从模腔取出时，体积收缩量大，尺寸偏小。此时调整工艺条件即可。

通过调整工艺条件，通常只能在极小范围内使尺寸变化，可以改变制件相互配合的松紧程度，但难以改变公称尺寸。

### 15.5.3 因素分析与对策

在前两节中，针对影响成型因素、试模中出现的不合理粘着、制件表观质量缺陷等问题进行了分析。但是，制件产生缺陷的原因大多是综合性因素，可归为模具条件和成型条件两类因素同时作用的结果。在诸多因素中找出主要因素是解决问题的关键，因此有必要把其各种影响因素列于表 15.5-1 中，“○”表示应采取的对策。

## 15.6 试模结论

试模过程中基本得到验证的是：模具结构是否合理；所提供的样件是否符合用户要求；模具是否能够批量生产。因此，在讨论模具修改问题时，要假设试模工艺条件是基本合理的。试模后设计人员及模具钳工与操作人员所做记录基本包括下列内容：

- (1) 模具名称及附件 模具本体、电、气、油等辅助装置名称；
- (2) 设备名称 规格型号，生产厂家，顶出机构特点；
- (3) 试模工艺参数 料筒温度（分段记录）、注射压力、成型时间；
- (4) 试模原料 名称、牌号、生产厂家、熔融指数；
- (5) 试模结果 样件情况、数量、总操作时间及注射成型时间所存在的问题，需要改进的初步意见；
- (6) 时间、地点 试模场地、日期。

模具经过试注射获得样件的验证，得到了存在问题的全面反映，其问题大致表现在以下几个方面。

### 15.6.1 模具结构不尽合理

试模中未获得完整的样品，不能视为模具整体结构有问题，可能因为其他诸多但不严重的问题存在所致。反之，压能提供完整样品，可视为模具整体设计上基本合理。当然，这不是绝对的，也可能存在局部结构的不合理处。

#### 一、浇注系统不合理

浇注系统存在的问题大致出现在两个方向：

(1) 浇口位置和数量，这种情况改正起来比较麻烦，往往要将模具全部拆开后进行机械加工。试模后改进是对设计的一种完善手段，很难避免，尤其是对非对称性的制品，在浇口改动上工作量会更大。若在模具设计中采用 CAD 技术，此项问题可以完全避免。

(2) 主流道和分流道尺寸的修正。这种修正一般可在试模中进行。尤其是潜伏式浇口、针浇口等，对尺寸要求十分严格，在加工时应注意留有余量，在试模时逐步调整。

#### 二、排气不畅

在设计模具时，虽然对排气给予了充分考虑，顶杆、镶块都有良好的排气通道。但是，对于大中型模具、梯形槽为定位止口的模具、高精度模具，在结合面上必须设有排气槽。如图 15.6-1 所示。在试模中发现有烧焦点，局部注射成型困难时，可手工开制排气槽。排气槽尺寸深度  $h$  可参考表 4.3-1 以不出现飞边为原则。

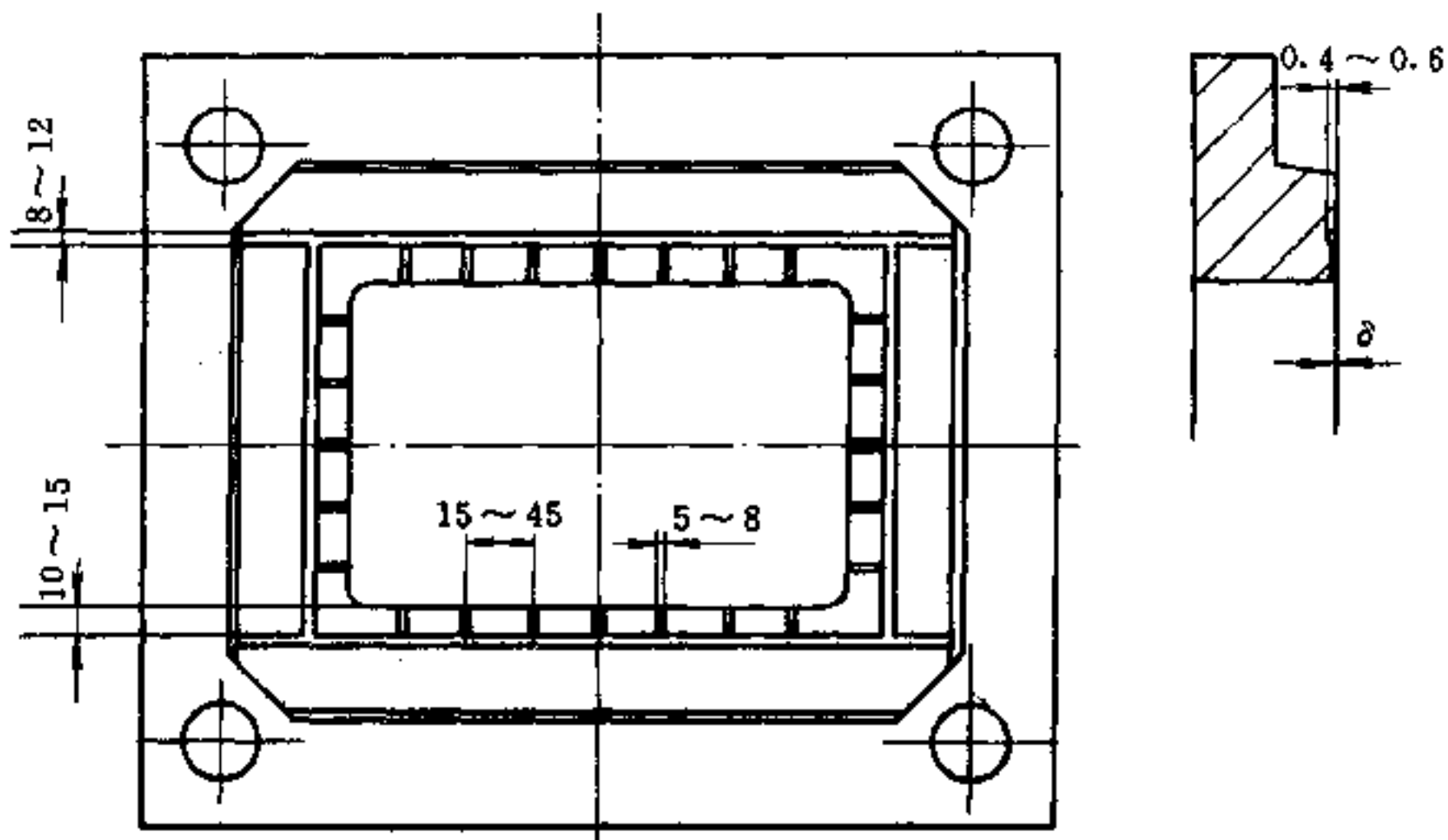


图 15.6-1 梯形止口分型面上排气布置

当发现制品局部有烧伤认定为排气不良所致又无法手工开制排气槽时，即需要增加排气杆或镶块进行局部排气，如图 15.6-2 所示。

由于妥善地解决了模具排气而使试模获得成功的事例很多。例如，载重汽车的左右灯罩模具为一模两腔的大型模具，分型面为空间不规则曲面，采用数控机床加工而成，精度高，研磨后使制品分型面结合很好。但是试模时发生中部胀模而两侧注射不满的情况，经分析认为是排气不畅所致。故在分型面上增加了排气槽，使再次注射一次成功。可见排气槽的效果是十分显著的。

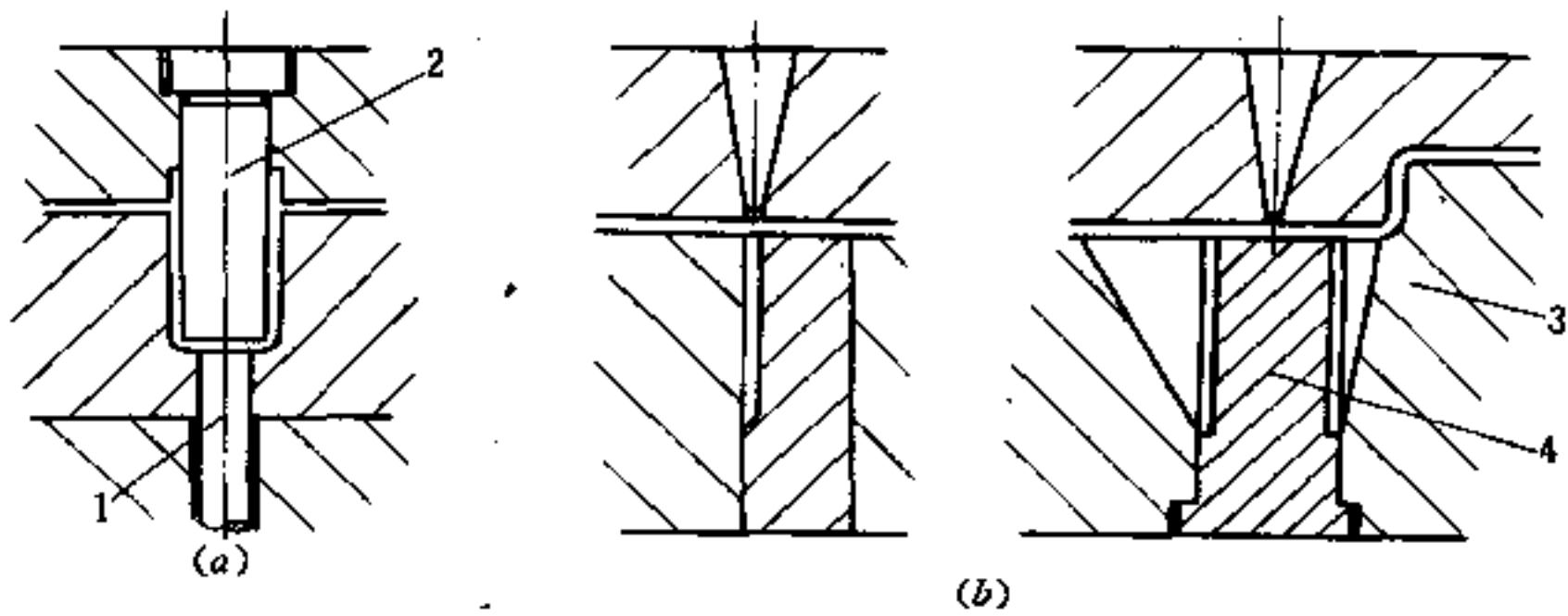


图 15.6-2 深腔底处增加排气零件  
1—顶杆；2—型芯；3—镶块；4—型腔板。

### 三、脱模困难

设计中已经计算好的脱模距离全部完成后，制件并没有完全脱出型芯，或者脱出后的制件已经被拉裂、有白印等。这并不是脱模机构有问题，而是制件收缩变形产生的影响。由于制件受冷却时各部位速度不尽相同，收缩情况也不同，使局部产生抱紧现象。如图 15.6-3 所示，当制件被脱出  $H$  高度时，制件内壁与型芯的公称尺寸在理论值上产生了  $\delta$  差。但是，当制件此刻的冷却收缩净值大于  $\delta$  值时，实际上制件内壁并未脱开型芯而产生局部抱紧。如图 15.5-4 所示，在  $S$  距离内两条加强筋的收缩是一复合值。筋的本身要有适当的脱模斜度，在制件横向壁的收缩作用下， $S$  量也将发生变化，因此，试模时极易产生该筋断裂情况，修模时应着重放大两筋内侧的脱模斜度，即要求  $\delta_2 > \delta_1$ ，可以使脱模顺利。为了防止  $\delta_2$  尺寸加大后，筋根部尺寸过大而使正面产生缩痕，可以在加工较深筋时，适当使  $\delta_1$  尺寸小于常规值，因筋外侧壁是很易离开模腔的。

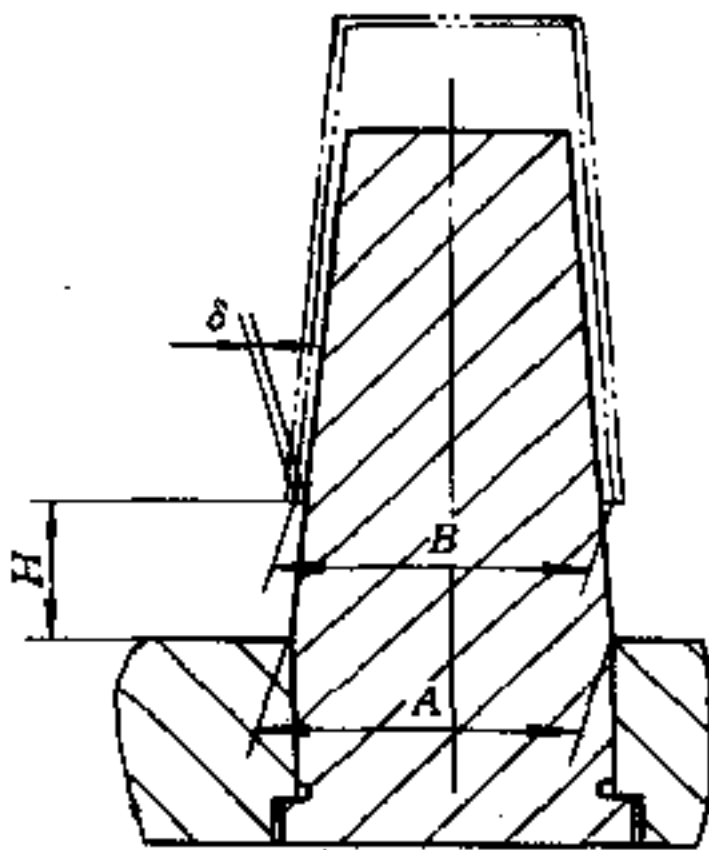


图 15.6-3 制件收缩量与脱模高度

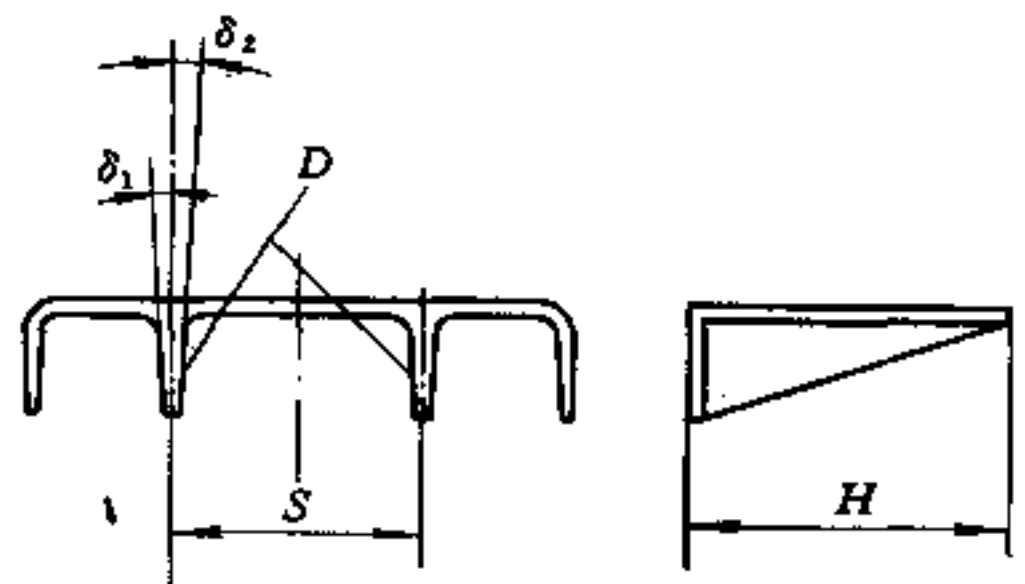


图 15.6-4 收缩变形的复合

### 四、刚度不足

这是在试模中常遇到的比较棘手的问题。设计时虽经计算取其合理值，但在试模中一般多采用高压注射，以弥补低模温注射的困难，从而产生了模具被“打胀”，形成了“模具打不开”的困难局面。当发生“胀模”后，要将腔内余量清理干净，停放 24h 后，测量实际变形量，修整变形面后，从以下几个方面进行加强或改进。

(1) 增加固定螺钉数量。对于有缝隙胀大，模板膨胀变形，如图 15.6-5 所示。当模板件 1 胀开沿径向变形过量时，可增加螺钉件 3 的数量，使板 1 与板 4 结合加固，从而增加了板 1 的刚度。这是比较容易改进的方法。

(2) 增加支柱数量。对于动模垫板等受纵向力作用而产生弯曲变形过量的模板，在型腔底部可增加支承柱，以减小其挠曲变形。

(3) 增加模板。这种方式改进比较麻烦。对于以上两种方式无法实现的模具，只有采用此方式。对中小型模具可在原模板外套上一个加固套以防胀腔，或增加垫板厚度或再加上一块板，以减轻弯曲变形。

试模中如果预料模具刚度余量不大时，要尽量先加热模具再试注射，尽量减少胀模次数，对于在弹性变形范围内的多次发生，对模具也是一个损伤。

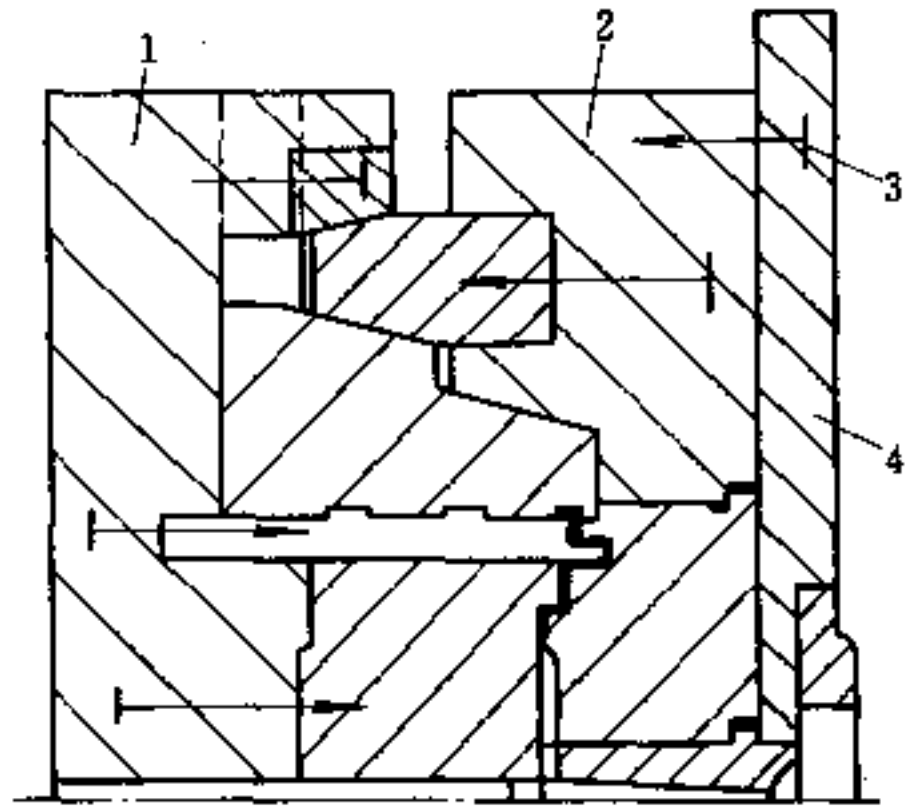


图 15.6-5 胀模例图

1, 2, 4—模板；3—螺钉。

模具结构设计方面存在的问题，在试模中会得到充分暴露，需要认真分析，透过各种现象找出本质性的根源，采取行之有效的措施加以改造。修改模具结构要十分慎重，了解设计者的构思本意，切勿随意改动。

## 15.6.2 制造精度不符合要求

### 一、导向精度不佳

试模中常见有导柱拉伤、型腔错位、顶杆折断、制件壁厚不均等情况，这均与导向精度不佳有关。模具加工时通常是立式启闭研合。当安装在注射机上呈卧式启闭合时，导向机构起作用。当模具导柱、回程杆、止口等加工精度不符合要求时，会引起型腔错位、导向不灵；精度过高，尺寸公差过紧，会导致开闭模困难；定位件位置超差，会导致拉伤制件。此类情况发生后，要将模具卸下后重新研合、更换导向零件。不要在设备上强行拉动，以免给拆卸模具带来困难。

### 二、型腔错位

型腔错位是模具加工中常见的问题。主要原因在于模具加工工艺不合理，没能保证模具定模和动模的中心一致。对于单腔模具，可以适当增加壁厚而使其对中。如图 15.6-6 (a) 所示。可依各自单面为基准扩腔。如果是多腔模中小模具，也可用局部增加镶块的方法（如图 15.6-6 (b) 所示）解决问题。在修改错腔的镶块加工时，因单面模板已有型腔中心，在加工另一面型腔时，工艺上要认真考虑，防止新的错腔发生。

### 三、型腔尺寸精度超差

型腔尺寸主要包括成型非配合尺寸和配合尺寸。非配合尺寸按照模具设计要求一次性加工完成。配合尺寸在加工中通常留修善量，待工艺条件稳定后生产出样件，相互装配再做修整。一般外圆尺寸留正公差，内径尺寸留负公差。孔距尺寸限制在一定的公差范围内，多采用数控或数显机床加工，公称尺寸是比较准确的。因制件的不规则收缩，可能造成相对尺寸超差。这时只有按实际变量加以修改，这种修改方案要认真制定，切



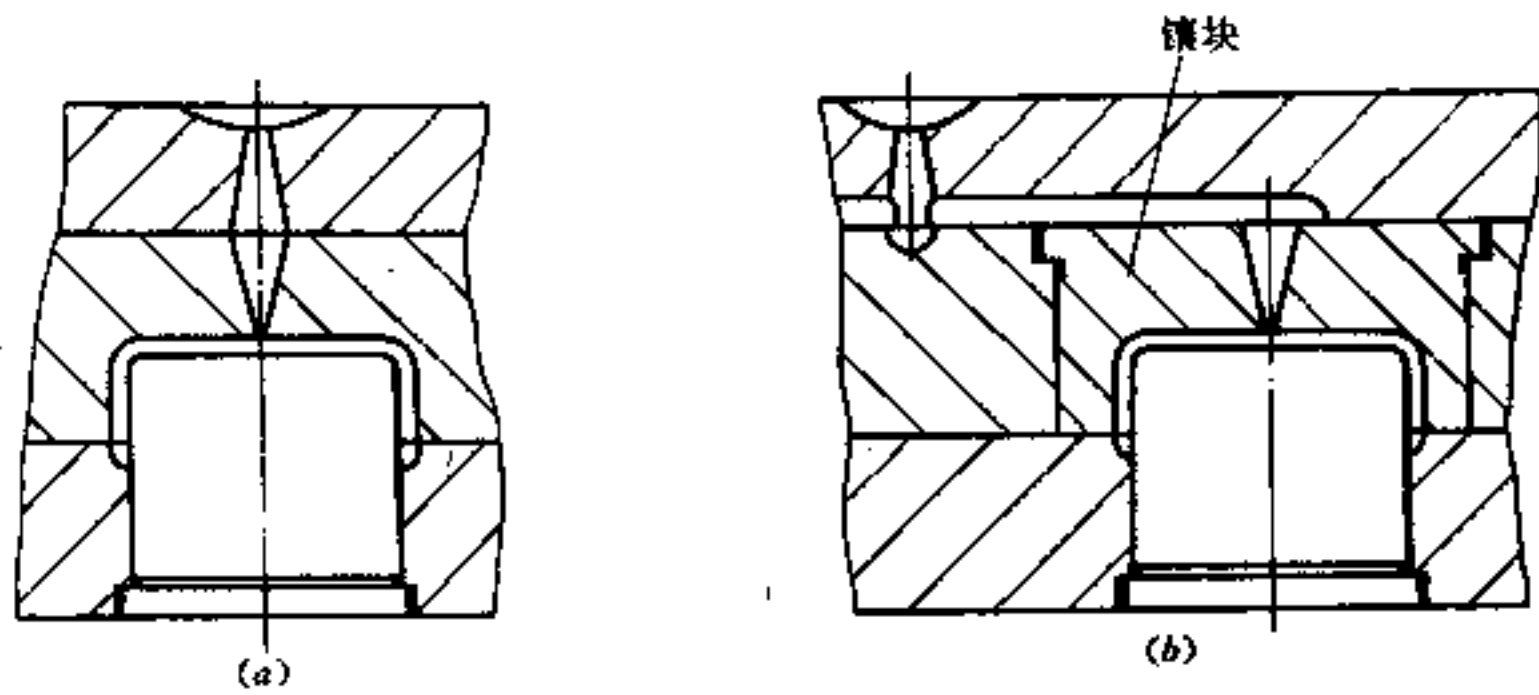


图 15.6-6 错腔模的修复

不可马虎。要按照塑件收缩的规律性，采取不同方法解决，切忌一概而论。

#### 四、脱模斜度不适

这里指的不适部位是在加工中留在型腔表面不利于脱模的不平度部位。留在型腔表面的加工痕迹、上光或麻纹痕迹会阻碍正常脱模。如反顶出的模具要求制件留在定模一侧，型腔必须有横向痕迹，以保证制件粘滞于定模方向，如果上光过度会适得其反。制件的工作面不仅要光滑，而且在任何时候不得留加工纹理。试模中对型腔上光和增加加工痕迹虽然是两种手段，但都是为了正常脱模。

### 15.6.3 配套部分不完善

配套部分包括模具本体以外的全部辅助装置。如热流道元件、液压元件、气动元件、易损部件、行程开关、温控箱等。随着模具复杂程度的提高，配套部分比重增大。

试模中，这些配套元件通常是临时固定，修模时要拆下保管。当本体试模得到标准样件时，要将其配件合理固定在模具上，并且调整好工作位置，标示出调整余量和拆卸方向，使用户使用时方便易操作。在固定配件时要力求使模具外观整齐，运输不易损坏。

对于行程开关及电磁阀等元件，要通过试模确认安装位置，认真调整行程加以固定。并检查动作灵活性、可复位程度，以免生产中损坏模具。

对于模具控温等设备，要针对该模具在其表面标注上部位和温度要求，为异地操作提供方便。

对于热元件的接线和控温表，要有明显标号，方便再次接线。模具内连线要有线槽，切勿用线夹固定，防止试模、生产中将线损坏。

对于油缸和气阀等未接管路的开口管嘴，应采用堵孔的方式保护，防止存放运输中掉进异物给再生产带来麻烦。

对于模具冷却部分，要按照冷却方式备好全部冷却水管，并在管线上标有标号，以便按图联接。对于试模中发现的漏水现象，要彻底修复，并且进行打压试验，直到确保无任何漏水现象为止。如果在制品厂试模发现漏水将是一个非常麻烦的问题。

经过几次试模，设计者对所发现的问题提出修改意见，要形成文字材料。操作者逐条落实，严防下次试模发生类似问题。并且预计下次试模可能出现的问题，一并解决，力争减少试模次数。修模工作进行得如何，直接影响着模具的质量和生

题找得不准，就有重复出现的可能。可见，有力地组织修整模具是缩短模具加工周期的重要措施之一。

#### 15.6.4 移交生产

模具在制造厂所在地经过试模提供样品给用户，得到认可后即可将其转交用户生产所在地进行交验。交验之前要对模具的全部备件、资料进行整理。其内容包括：

(1) 模具外形规整，标有制造厂商标标牌，模体外刷防锈漆。易损坏部位注有标志。装有吊装用吊环，明示吊起方向。

(2) 模具辅助件单独装箱，如油缸、气阀、行程开关、拉板拉注、冷却水管、电控柜等。并附有装箱单，备件使用说明等。

(3) 将模具总装图、使用说明书、质量检验报告、冷却水接管示意图等单独装订成册，交用户使用时查阅。

(4) 将最后一次试模的样件妥善保管。随模具一同带往生产厂家，以备在用户最终验收发生问题时分析原因。

(5) 将制造厂试模的原始资料整理、提供最佳试模生产工艺数据，供在异地试模参考。

(6) 制造厂家要派该模具设计者及钳工前往用户厂家交验试模，以防出现新的问题。

#### 参考文献

- 1 邹立谦编著，塑料制品设计（下册），北京：机械工业出版社，1993
- 2 [美] J.B. 戴姆著，注射模具与注射成型实用手册，沈金堂译，北京：化学工业出版社，1987
- 3 张如彦等编译，塑料注射成型与模具，北京：中国铁道出版社，1997
- 4 [日] 白石顺一郎著，注塑成型模具，北京：中国石化出版社，1989
- 5 本书编写组编著，塑料模设计手册（第2版）北京：机械工业出版社，1994

# 第十六章 模具验收、维修及保养

## 16.1 模具验收

模具的最终验收包括制件和模具本体两部分，通常在模具使用所在地进行。在此之前，可能已经进行了若干次试模，中小型模具 1~3 次，大中型模具 3~5 次，结构特殊的复杂模具次数可能还要增加。最能够全面反映模具水平的是最后一次试模所提供的样件。因此，首先要从验收塑件入手。

### 16.1.1 塑件验收

作为验收的塑件，要在塑件成型或所需的后处理完成 16h 之后进行。验收的标准环境温度为  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度为  $(50 \pm 6)\%$ ，露点温度  $12^\circ\text{C}$ ，空气流速  $\leq 1\text{m/s}$ 。如果实际环境不标准，可在双方协商的条件下进行，或者将所测得的数值用相应的长度膨胀系数加以修正。

#### 一、基本尺寸检验

基本尺寸决定了塑件的基本形状。首先要观察整体形状是否符合产品设计思想，然后进行基本尺寸检查。

制件的基本尺寸分模具部件决定的尺寸，(见图 16.1-1) 和非模具部件决定的尺寸，如图 16.1-2 所示。模具零部件决定的尺寸直接反映了塑件的精度。非模具零部件决定的尺寸，是由模具多个零件组合而形成的尺寸；此类尺寸的公差大于模具零部件决定的尺寸公差。

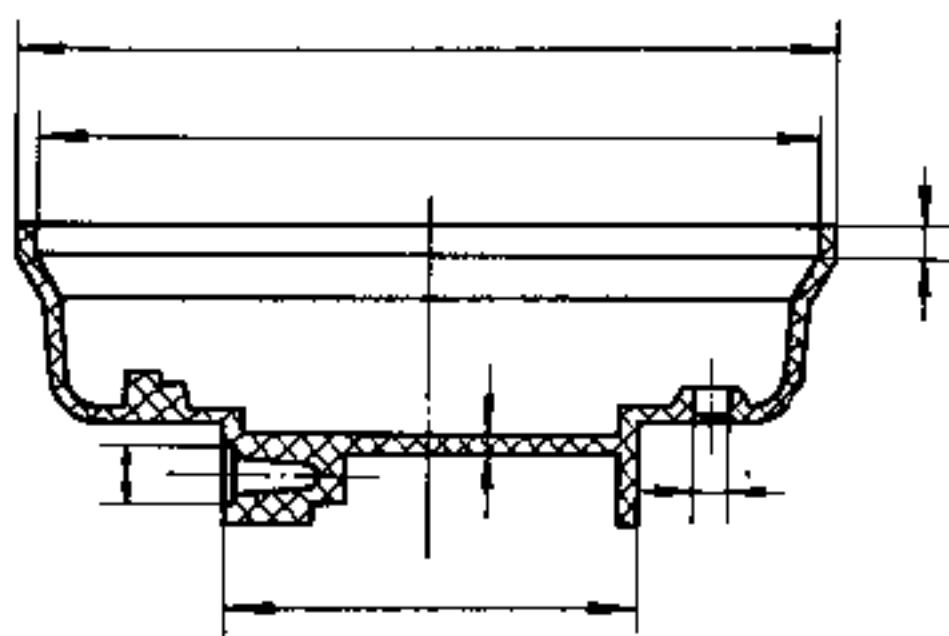


图 16.1-1 模具部位决定的尺寸

塑件必然存在有一定的脱模斜度。制品图中标注的尺寸为名义尺寸，如图 16.1-3 所示，相对于成型基本外形尺寸有余量时，称脱模斜度为“正”；相对于成型基本外形不足时，称脱模斜度为“负”。

根据《模具国家级企业塑料成形件质量标准》(模企 002) 规定，塑件成形尺寸分为“一般公差尺寸”和“直接标注偏差的尺寸”，表 16.1-1 中第 3、4、5 栏所列数字表示与表 16.1-2 相对应的各公差组。在“直接标注数值的公差”一栏的，第 A 列公差无需支付特殊费用即可达到；第 B 列公差则需支付较高的加工费用。当制品图未标注尺寸公差时塑件基本尺寸的验收可按标准和表 16.1-2 中某一公差组实施。如果在订货文



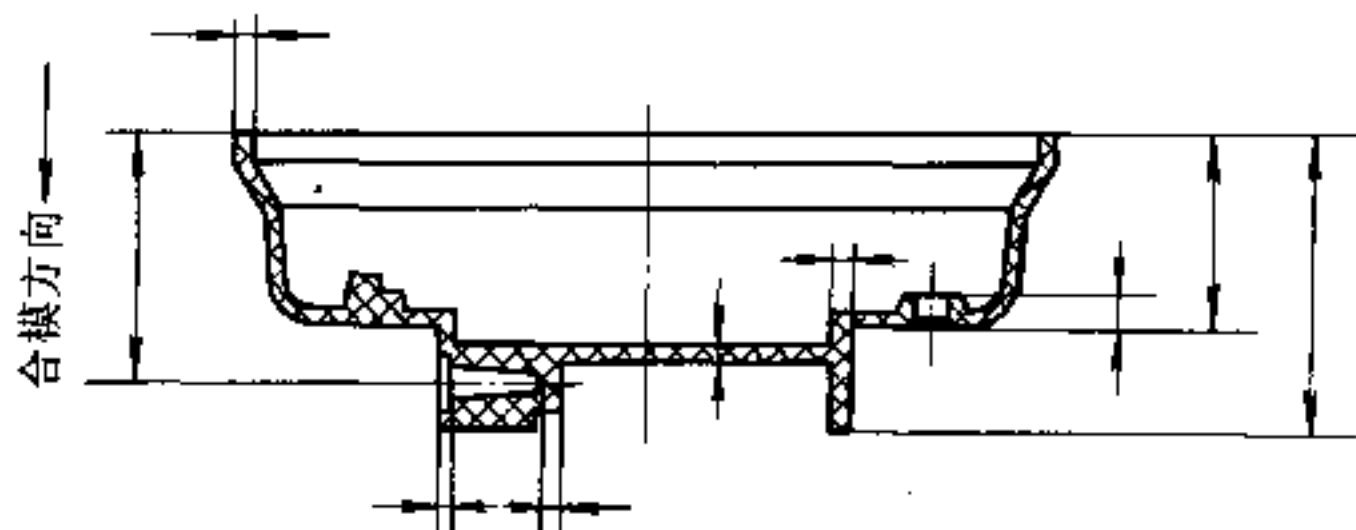


图 16.1-2 非模具部位决定的尺寸

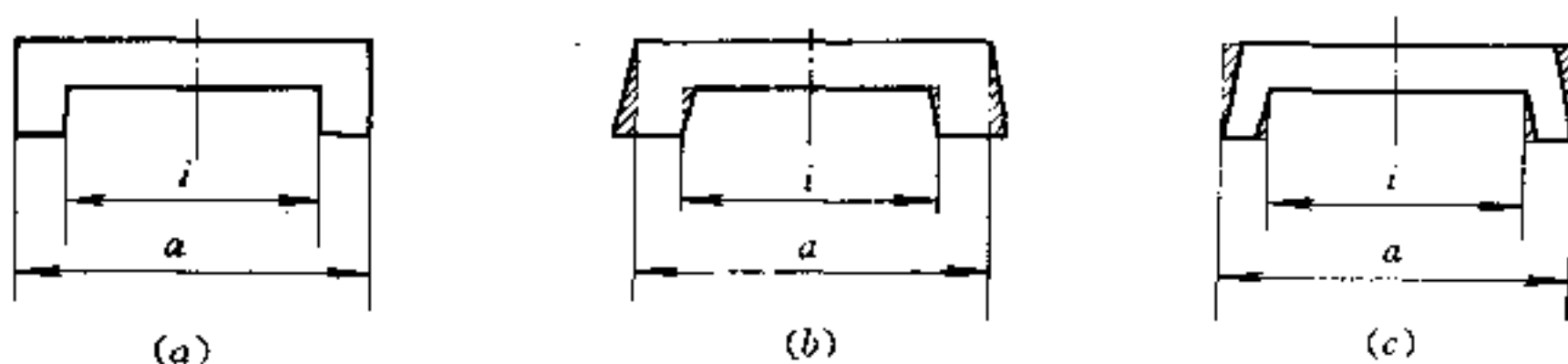


图 16.1-3 塑件的脱模斜度

(a) 塑件基本外形；(b) “正”脱模斜度；(c) “负”脱模斜度。

件或工艺文件中有协议要求，也应符合标准。

表 16.1-1 相对于各种模塑材料的公差组配置

1	2		3	4	5
基本材料 缩写符号	成形件所用模塑材料		公差组		
			一般公差	直接标注偏差的尺寸	
				第1列	第2列
EP	环氧树脂-模塑材料		130	120	110
EVA	乙烯-醋酸乙烯共聚物-模塑材料		140	130	120
PF	酚醛-模塑材料	带无机填充物 11.5、12、13、13.5、13.9、15、16 型	130	120	110
		带有机填充物 30.5、31、31.5、31.9、32、51、51.5、51.9、52、52.9、71、74、75、83、84 型	140	130	120
UF MF	氨基-模塑材料和氨基/酚醛-模塑材料	带有机填充物 131、131.5、150、152、152.7、153、154、180、181、181.5 型	140	130	120
		带无机填充物 155、156、158 型	140	130	120
		带有机填充物 157、182、带无机填充物 183 型	120	130	110
UP	不饱和聚酯树脂-模塑材料	801、802、803、803 型	130	120	110
UP	聚酯树脂	830、830.5、831、831.5、832、832.5、833、833.5 型	140	130	120
	冷模塑材料 212、214 型		140	130	120
ASA	丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物		130	120	110

(续)

1	2	3	4	5	
基本材料 缩写符号	成形件所用模塑材料	公差组			
		一般公差	直接标注偏差的尺寸		
			第1列	第2列	
ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物	130	120	110	
CA	乙酸酯纤维素-模塑材料	140	130	120	
CAB	乙酰丁酸酯纤维素-模塑材料	140	130	120	
CAP	丙酰化丙酸酯纤维素-模塑材料	140	120	130	
CP	丙酸酯纤维类-模塑材料	140	130	120	
PA	尼龙-模塑材料(非结晶、无填充、有填充)	130	120	110	
PA6	尼龙6-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充)	140	130	120	
PA66	尼龙66-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充)	140	130	120	
PA610	尼龙610-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充)	140	130	120	
PA11	尼龙11-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充)	140	130	120	
PA12	尼龙12-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充)	140	130	120	
	玻璃纤维填充尼龙6、66、610、11、12、模塑材料	130	120	110	
PB	聚丁烯-模塑材料	160	150	140	
PBTP	对酞酸多丁撑酯-模塑材料	无填充	140	130	120
		填充	130	120	110
PC	聚碳酸酯-模塑材料(无填充、填充)	130	120	110	
PDAP	酞酸多二烯丙酯-模塑材料(带无机填充材料)	130	120	110	
PE	聚乙烯-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充)	150	140	130	
PESU	聚砜-乙醚-模塑材料(无填充)	130	120	110	
PSU	聚砜-模塑材料(填充、无填充)	130	120	110	
PETP	对酞酸多乙烯醇酯-模塑材料(非结晶)	130	120	110	
	对酞酸多乙烯醇酯-模塑材料(结晶)	140	130	120	
	对酞酸多乙烯醇酯-模塑材料(填充)	130	120	110	
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯-模塑材料	130	120	110	
POM	聚缩醛(聚甲醛)-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充), 成形件长度: <150mm	140	130	120	
	聚缩醛(聚甲醛)-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充), 成形件长度: ≥150mm	150	140	130	
	聚缩醛(聚甲醛)-模塑材料 <sup>①</sup> (填充)	130	120	110	
PP	聚丙烯-模塑材料 <sup>①</sup> (无填充)	150	140	130	
	聚丙烯-模塑材料 <sup>①</sup> (玻璃纤维填充, 带有滑石及石棉填充物)	140	130	120	
PP/EPDM	聚丙烯-橡胶混合物(无填充)	140	130	120	
PPO	聚苯撑氧-模塑材料	130	120	110	

(续)

1	2	3	4	5
基本材料 缩写符号	成形件所用模塑材料	公差组		
		一般公差	直接标注偏差的尺寸	
			第1列	第2列
PPS	聚苯撑氧-模塑材料(填充)	130	120	110
PS	聚苯乙烯-模塑材料	130	120	110
PVC-U	无增塑剂的聚氯乙烯-模塑材料	130	120	110
PVC-P	含增塑剂的聚氯乙烯-模塑材料	目前尚未公布		
SAN	苯乙烯-丙烯腈共聚物-模塑材料(无填充、填充)	130	120	110
SB	苯乙烯-丁二烯共聚物-模塑材料	130	120	110
	聚苯撑氧-聚苯乙烯混合物(无填充、填充)	130	120	110
	氟化聚乙烯-聚丙烯-模塑材料	150	140	130
	热塑性聚氨酯 产品肖氏 A70~90 <sup>②</sup> 产品肖氏 D50 以上 <sup>②</sup>	150	140	130
		140	130	120

①对非填充、部分结晶化、热塑性模塑材料壁厚在4mm以上则适用于最近的较高公差组。  
②硬度检验按肖氏A和D。

制件直观可见的圆角、曲线、曲面等部位是否连贯、一致、平滑过渡,尽管在功能上没有什么直接作用,但是直接影响整体美观,也应是塑件外观质量检查的一个重要组成部分。

## 二、配合尺寸检验

塑件与塑件或塑件与相关元件之间配合部位的尺寸为配合尺寸。有局部配合尺寸和相对位置尺寸,局部配合尺寸大多由模具部位决定;相对位置尺寸是在产品设计标注的公差前提下,模具设计师依照收缩率大小计算所得的尺寸。实际制件的尺寸是否符合设计思想,需要通过检测样件来验证,这类尺寸的检测最为重要。

塑件尺寸受注射工艺及其外界条件影响甚大。对于配合精度高的尺寸,在试模时尽量将同样原料的配合件在同一种工艺条件下试模,如果原料不同,可选择工艺条件倾向尽量相近,所获制件尺寸视为合理。

然而,样件尺寸符合公差要求,装配时未必合适。其产生的原因:第一因产品不规则变形所致;第二因位置公差所致。通常包容尺寸(孔)公差弥补不了位置公差值。有经验的钳工采用预留量的方法能较好地解决配合公差问题。因此,检验时不可一味追求达到公差范围,而是以装配方便、符合要求为准。

## 三、试装配检验

试装配是塑件检查验收中一个十分重要的手段,它可以对配合尺寸和空间曲面进行验证。如电视机壳前框荧光屏球面尺寸 $R745\text{mm}$ ,需要用三坐标测量机检验,操作复杂,费用昂贵。

用荧光屏实物实际装配,一目了然,很方便地检查出尺寸公差和非对称变形量。因此,空间曲面尽管尺寸符合图样要求,也要进行实际装配后方可确认制件是否合适。装配时产生不合理现象,或与图样尺寸要求发生冲突时,应以实际装配结果为依据进行修正。

试装配检验,模具厂和产品厂应密切配合进行。所发现的问题原因是多方面的,不

表 16.1-2 一般公差和直接标注偏差的公差

表 16.1-1 中公 差值	标 字 记 母 $\phi$	基 本 尺 寸																					
		从 到	0 1	1 3	3 6	6 10	10 15	15 22	22 30	30 40	40 53	53 70	70 90	90 120	120 160	160 200	200 250	250 315	315 400	400 500	500 630	630 800	800 1000
160	A		$\pm 0.28$	$\pm 0.30$	$\pm 0.33$	$\pm 0.37$	$\pm 0.42$	$\pm 0.49$	$\pm 0.57$	$\pm 0.66$	$\pm 0.78$	$\pm 0.94$	$\pm 1.15$	$\pm 1.40$	$\pm 1.80$	$\pm 2.20$	$\pm 2.70$	$\pm 3.50$	$\pm 4.10$	$\pm 5.10$	$\pm 6.30$	$\pm 7.90$	$\pm 10.0$
	B		$\pm 0.18$	$\pm 0.20$	$\pm 0.23$	$\pm 0.27$	$\pm 0.32$	$\pm 0.39$	$\pm 0.47$	$\pm 0.56$	$\pm 0.68$	$\pm 0.84$	$\pm 1.05$	$\pm 1.30$	$\pm 1.70$	$\pm 2.10$	$\pm 2.60$	$\pm 3.20$	$\pm 4.00$	$\pm 5.00$	$\pm 6.20$	$\pm 7.80$	$\pm 9.90$
150	A		$\pm 0.23$	$\pm 0.25$	$\pm 0.27$	$\pm 0.30$	$\pm 0.34$	$\pm 0.38$	$\pm 0.43$	$\pm 0.49$	$\pm 0.57$	$\pm 0.68$	$\pm 0.81$	$\pm 0.97$	$\pm 1.20$	$\pm 1.50$	$\pm 1.80$	$\pm 2.20$	$\pm 2.80$	$\pm 3.40$	$\pm 4.30$	$\pm 5.30$	$\pm 6.60$
	B		$\pm 0.13$	$\pm 0.15$	$\pm 0.17$	$\pm 0.20$	$\pm 0.24$	$\pm 0.28$	$\pm 0.33$	$\pm 0.39$	$\pm 0.47$	$\pm 0.58$	$\pm 0.71$	$\pm 0.87$	$\pm 1.10$	$\pm 1.40$	$\pm 1.70$	$\pm 2.10$	$\pm 2.70$	$\pm 3.30$	$\pm 4.20$	$\pm 5.20$	$\pm 6.50$
140	A		$\pm 0.20$	$\pm 0.21$	$\pm 0.22$	$\pm 0.24$	$\pm 0.27$	$\pm 0.30$	$\pm 0.34$	$\pm 0.38$	$\pm 0.43$	$\pm 0.50$	$\pm 0.60$	$\pm 0.70$	$\pm 0.85$	$\pm 1.05$	$\pm 1.25$	$\pm 1.55$	$\pm 1.90$	$\pm 2.30$	$\pm 2.90$	$\pm 3.60$	$\pm 4.50$
	B		$\pm 0.10$	$\pm 0.11$	$\pm 0.12$	$\pm 0.14$	$\pm 0.17$	$\pm 0.20$	$\pm 0.24$	$\pm 0.28$	$\pm 0.33$	$\pm 0.40$	$\pm 0.50$	$\pm 0.60$	$\pm 0.75$	$\pm 0.95$	$\pm 1.15$	$\pm 1.45$	$\pm 1.80$	$\pm 2.20$	$\pm 2.80$	$\pm 3.50$	$\pm 4.40$
130	A		$\pm 0.18$	$\pm 0.19$	$\pm 0.20$	$\pm 0.21$	$\pm 0.23$	$\pm 0.25$	$\pm 0.27$	$\pm 0.30$	$\pm 0.34$	$\pm 0.38$	$\pm 0.44$	$\pm 0.51$	$\pm 0.60$	$\pm 0.70$	$\pm 0.90$	$\pm 1.10$	$\pm 1.30$	$\pm 1.60$	$\pm 2.00$	$\pm 2.50$	$\pm 3.00$
	B		$\pm 0.08$	$\pm 0.09$	$\pm 0.10$	$\pm 0.11$	$\pm 0.13$	$\pm 0.15$	$\pm 0.17$	$\pm 0.20$	$\pm 0.24$	$\pm 0.28$	$\pm 0.34$	$\pm 0.41$	$\pm 0.50$	$\pm 0.60$	$\pm 0.80$	$\pm 1.00$	$\pm 1.20$	$\pm 1.50$	$\pm 1.90$	$\pm 2.40$	$\pm 2.90$
直 接 标 注 偏 差 的 公 差																							
160	A		0.56	0.60	0.66	0.74	0.84	0.98	1.14	1.32	1.56	1.88	2.30	2.80	3.60	4.40	5.40	6.60	8.20	10.20	12.50	15.80	20.00
	B		0.36	0.40	0.46	0.54	0.64	0.78	0.94	1.12	1.36	1.68	2.10	2.60	3.40	4.20	5.20	6.40	8.00	10.00	12.30	15.60	19.80
150	A		0.46	0.50	0.54	0.60	0.68	0.76	0.86	0.98	1.14	1.36	1.62	1.94	2.40	3.00	3.60	4.40	5.60	6.80	8.60	10.60	13.20
	B		0.26	0.30	0.34	0.40	0.48	0.56	0.66	0.78	0.94	1.16	1.42	1.74	2.20	2.80	3.40	4.20	5.40	6.60	8.40	10.40	13.00
140	A		0.40	0.42	0.44	0.48	0.54	0.60	0.68	0.76	0.86	1.00	1.20	1.40	1.70	2.10	2.50	3.10	3.80	4.60	5.60	7.00	8.80
	B		0.20	0.22	0.24	0.28	0.34	0.40	0.48	0.56	0.66	0.80	1.00	1.20	1.50	1.90	2.30	2.90	3.60	4.40	5.60	7.00	8.80
130	A		0.36	0.38	0.40	0.42	0.46	0.50	0.54	0.60	0.68	0.76	0.88	1.02	1.20	1.50	1.80	2.20	2.60	3.20	3.90	4.90	6.00
	B		0.16	0.18	0.20	0.22	0.26	0.30	0.34	0.40	0.48	0.56	0.68	0.82	1.00	1.30	1.60	2.00	2.40	3.00	3.10	4.70	5.80
120	A		0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.46	0.50	0.54	0.60	0.68	0.78	0.90	1.06	1.24	1.50	1.80	2.20	2.60	3.20	4.00
	B		0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.26	0.30	0.34	0.40	0.48	0.58	0.70	0.86	1.04	1.30	1.60	2.00	2.40	3.00	3.80
110	A		0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.36	0.40	0.44	0.50	0.58	0.68	0.80	0.90	1.16	1.40	1.70	2.10	2.60
	B		0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.26	0.30	0.34	0.40	0.48	0.58	0.70	0.86	1.06	1.30	1.60	2.00	2.50
精密技术	A		0.10	0.12	0.14	0.16	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.31	0.35	0.40	0.50								
	B		0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.25	0.30	0.40								

①A 非模具部件决定的尺寸, B 模具部件决定的尺寸。

能仅以图样为依据，要双方共同协商解决。这也是模具产品验收的特殊点之一。

#### 四、外观质量检验

预装配一旦通过，说明尺寸方面的检验基本合格，需要对外观质量进行全面检查。制件表面质量处理主要有两种，一种是仿真纹面；另一种是抛光亮面。

##### 1. 仿真纹面检验

用户根据制品美观实用或功能的需要，预选了某种花纹图案，模具加工厂将其加工在型腔表面。其效果可基本相似或完全相似于原图样。检查应着重以下几点进行。

- (1) 花纹须均匀，深浅度一致；
- (2) 拐角处、形状变化处花纹疏密度一致；
- (3) 制件表面光亮、整洁；
- (4) 花纹与光面界线分明平直，花纹与镶块间的光亮带尺寸均匀等宽；
- (5) 无花纹处光亮、平整，无漏液所致的各种斑点。

仿真纹面的效果，直接反映了塑件的档次。加工得当，使塑件锦上添花；反之，会使模具型腔受到致命的破坏。在花纹型腔验收时，要以样件与原样本为依据，仔细认真观查，切不可漏检。

##### 2. 抛光面检验

制件表面要求光亮程度高，使用时不用其他手段处理，其模腔多采用特殊抛光处理手段。如电化学机械抛光、超声波化学抛光等。目的是要使模腔平整光亮。反映在制件上主要是以下几方面：

- (1) 表面平整度好，无波纹痕迹；
- (2) 表面光亮、无上光纹理痕迹；
- (3) 表面无模具材料产生的缺陷，如砂眼、凹坑等；
- (4) 透明制品表面粗糙度小于  $R_a0.01$ ；
- (5) 大面积平面与拐角、凹槽处表面粗糙度一致，不产生眼眶式光亮带。

如果制件表面还要进行其他处理手段，可要求  $R_a0.08$  以下即可。当然，因模具结构要求，或人为所造成的粗糙，即制品非工作面的麻面或留有刀痕，可不必苛求。

#### 五、动、静平衡试验

对于高速运转的工程塑件，要进行动、静平衡试验，对于要求强度高的制件，要进行抗冲击试验，强度、高温试验等。也有待于产品整体装配后，对各方面指标进行全面检查，必要时对模具重新修正，添加强筋或增加壁厚以提高强度及平衡性能，以达到工作性能要求。

### 16.1.2 模具验收

制件通过验收后，要对模具进行验收。包括模具结构部位的加工精度、镶拼方式、热处理手段等，诸因素直接影响着模具的使用寿命。

#### 一、模具外观质量

观察模板机械加工质量，模板平直，上下端面状况、外形尺寸整齐，周边  $2 \times 45^\circ$  倒角等。外观质量好会给人留下良好印象，同时要检查：

- (1) 模具表面要刷防锈漆，颜色可由订货方确定；



(2) 要钉有出厂标牌，注有模具名称、外形尺寸、模具重量、出厂日期、生产编号、制造厂名。便于用户使用和管理。

(3) 模具起吊方向上要装备吊环，可一次性将模具平衡吊起；

(4) 大中型模具要装有锁紧装置，防止模具起吊开启；

(5) 带液压系统的模具应备有分流板，不可将油管散落在模具外部，以免运输装配时损坏。

(6) 带有热流道系统的模具要配有接线板，传感器、热元件电线通过快换插头迅速安装，尽量减少模具安装时的繁杂工作。电线导出后要用波纹管套上，防止散乱，方便用户。

## 二、检查结构件状况

结构件是保证模具能够正常工作的关键，要从以下几方面检验：

(1) 导柱、斜导柱动作灵活，表面无拉伤痕迹，当模具卧式装配后无单面受力过大的现象；

(2) 回程杆、推杆、推管在开启和闭合模具过程中无刺耳声音，动作平滑，不窜劲；

(3) 侧滑块、侧抽芯机构动作正常，并附有保护装置或自锁装置；

(4) 定位止口处研合着力面在 80% 以上，四周着力点均匀分布；

(5) 分型面平整度好，无损伤和压痕；

(6) 基本动作同步，液压、气动动作正常，开启距离符合设计要求。

## 三、零部件检验

在塑件验收中对于型腔部位尺寸已有了验证。其他零部件也要检验，以保证模具的整体质量。依照《模具国家级企业塑料模具精度标准》（模企 003）规定执行，见表 16.1-3。此公差适用于制造符合模企 002 的成形件的模具尺寸。表中第 1 列公差适用于不注明公差成形件尺寸的模具型腔尺寸公差；第 2、3 行适合于第 1、2 列公差成形件的模具型腔尺寸公差；第 4 行适用于制造精密技术公差成形件的模腔尺寸公差。

零部件热处理的检验，要依照生产用图样及合同规定的特殊要求进行，在塑料模零部件标准 GB4169.1/11-84 中有明确规定，详见第十章相关内容。

## 四、易损件及备件

推杆、推管、顶针、滑块、滚轮、拉板等辅助模具完成预期动作的零件，称为易损件。在每一次开闭模具时，要有一次动作，比其他零件磨损快。因此，模具出厂时要配备易损件。非标准的易损件在模具生产中就应备双份。热流道元件应备一份，并附订货厂家联系资料；液压元件中的油封、密封圈等也应有备份。备件数量多少由供需双方协商，可按订货协议验收。

模具验收有一个过程。一副模具尤如一台设备，涉及面很广，一时很难顾及周全。模具使用方很难在验收的短时间内熟悉模具的全部性能。为了对所验收的模具有一个全面评价，并为今后指导生产提供依据，双方应有一个验收凭证，以便在今后的生产、维修及生产厂家修模过程中查找有关资料。为此，表 16.1-4 提供了模具验收记录，供参考使用。





表 16.1.1-4 模具验收记录

模具名称		产品		模具		提供物品		文件		外观检查	
设计者						模具结构形式		实物		动作状况	
制造厂	名称	地址	负责人	电话	预付	每模型腔数				推出量	
交货	日期	地点	价格	结算		分模面形式		平面	阶梯面	复位精度	
制 品	名称					顶出方式				轴向精度	
	使用树脂名称					顶杆				动作状况	
	成型收缩率					顶板				复位精度	
	色 调					顶套				磨损状况	
使 用 设 备	重量/g					其它				同步动作	
	制品投影面积/cm <sup>2</sup>					浇注方式				导柱	
	外形尺寸/mm					其它				拉杆	
	供货厂家					浇注方式				支承杆	
使 用 设 备	型 号					喷嘴形式				其它	
	制造厂家					种类				型 芯	
	注射量/g					脱模方式				型 腔	
	锁模力/t					冷却方式				导向件	
使 用 设 备	型 式					加热方式				耐磨件	
	水平方向					仿真纹面				位置、数量	
	垂直方向					抛光面				调整温度	
	最大					涂镀				联接方式	
使 用 设 备	最小					其它				顶杆	
	定位圈孔径/mm					油缸				顶(针)套	
						气缸				易损件	
						控制箱				液压备件	
					其它				流道备件		
模 具 整 体 检 验											
模 具 结 构											
普通、热流道、绝热流道											
回路数量											
加热圈数量											

## 16.2 模具管理

产品生产厂家将模具投入生产后，模具经常是间断性工作。在全年生产中，在相当一段时间内需要存放。因此，模具在非工作期间能否妥善地得到保管，避免遭到意外损坏，是保证模具达到预期使用寿命的重要环节。

### 16.2.1 模具档案

在实际生产中，一台注射机要使用若干副模具。模具的频繁调换和维修都要有详细的记录。因此，要建立模具档案。模具档案包括以下几方面的内容。

(1) 试模记录。指在使用地试模的记载，见表 16.2-1。

(2) 模具验收记录。是供需双方对模具的全面定论，是模具的最基础资料。参见表 16.1-4。

(3) 使用记录。是每次重新使用时的记载，它全面记录了一副模具的基本状况和寿命。见表 16.2-2。

(4) 维修及保管记录。模具的每次使用前都要进行必要的维护和保养，在一段时间要进行大修和更换零部件，作好详细的记录是十分必要的。见表 16.2-3。

模具档案的建立。记载了模具试模、验收、使用、维护及维修的全过程。可定期向决策者提供模具修理、维护的建议，备品备件的订购和加工计划，报废和生产复制品的决策。同时，使模具在生产使用中得到有效的维护，一旦发生故障，可以及时解决，以免耽误生产。

### 16.2.2 模具使用及保养

模具正常使用的好坏，直接影响着模具的寿命。一副模具的设计寿命能否实现，也决定着使用状况如何。所谓的使用是指在正常维护和保养下进行工作，使模具不遭到意外损坏。主要注意以下几个方面：

(1) 严防掉入异物。异物掉入型腔使型腔受损是模具损坏的常见现象。保持暂停生产时模具处于合模状态；维修或清理期间，不将工具放在模具上面，是防止异物掉入型腔的关键。

(2) 偶尔发生粘模时，要彻底清理干净，包括主分流道的残留料。清理残余料的严谨用尖硬工具，以防碰伤型腔表面。

(3) 交接班时要通报上一班生产情况，使下班操作人员及时全面了解模具使用状态，使问题处理在萌芽状态。

(4) 模具使用时要保持正常温度，不可忽冷忽热，常温工作可延长使用寿命。

(5) 工作中认真观察各控制部件的工作状态，严防辅助系统发生异常。

(6) 观察滑动部件，如导柱、回程杆、推杆、内外侧抽芯等工作状态，交接班时要有记录和说明。操作者要定期给滑动件上油，防止干摩擦乃至工作面拉伤。

(7) 当开闭模具有异常声音时，不可强行开启或合模，要找其原因，排出故障后再工作，以免有断、裂零件，损伤模具。

表 16.2-1 试 模 记 录

模具名称		树脂	名称				操作者	钳工	
试模地点			收缩率		%			设计	
设备型号			重量	单件		全部		其它	
次 数		1	2		3		4		
成型条件	注射压力/MPa								
	树脂温度/℃	喷嘴							
		其它段							
	模具温度/℃	型芯							
		型腔							
	成型时间/s	注射							
周期									
试样检查	外 观								
	尺寸	成 型							
		配 合							
	壁厚	部 位							
		厚薄程度(±)							
	缺 陷								
数量及其它									

表 16.2-2 使 用 记 录

模具名称		使用设备		操作者	
使用地点		使用树脂		检查员	
时期、起止年月日					
成型条件	注射压力/kg·cm <sup>-2</sup>				
	树脂温度/℃				
	模具温度/℃				
注射制品数量					
整体合格率/%					
模具状况					
维修建议					

表 16.2-3 模具维修及保管记录

模具名称		使用设备			
维修时间	维修内容	维修厂家	操作者	检查者	

(8) 当设备发生异常时,要停止工作对设备进行维修,不可带病工作以至模具被损伤。

(9) 生产中的暂时停机达 24h 以上,要对型腔进行涂油防锈处理。连续工作的模具也要每周进行一次污物杂质大清扫,使模具始终处于整洁的工作之中。型腔有花纹、抛光处理的更要缩短清理间隔的时间。

(10) 模具保全工要对其辅助系统进行巡回检查,发现异常现象及时处理;对大中型重点模具要按计划定期保养和维护,不可待问题出现后再解决。

### 16.2.3 模具存放前的修整

模具拆下后,要对重要的尺寸进行检查,需要维修的零部件应予以注明。

确认模具完好无损后,要对其进行全面清理,检查型腔内有无残留料,料道内是否清洁,合模面、滑块工作面有无拉伤、碰伤等现象。

型腔表面要认真检查,当发现光亮面有锈蚀或水锈现象时,大面积的可以进行喷砂处理,然后重新上光;局部或小面积的可以直接上光。花纹面型腔有锈蚀或水锈时,要根据实际使用情况选择维修方式。

型腔清理干净后,要涂抹机用甘油。防腐材料最好在室温下施于表面,以防温度变化产生副作用。

模具配套装置也要进行修理。必要时可以将部分装置拆下来,归类排放在箱内,写上标记,与模具配套放置,以免在装卸模具时造成遗失或损坏。

模具运往储存地点前,要将体内的残余冷却水,油管内的残余油清除干净,然后用锁紧板将动定模固定,防止随意开启。

型腔去油处理,须在重新启用前进行。去油方法一般是采用三氯乙烷、三氯乙烯等液剂进行清洗。也可以用丙酮清洗,但使用时要防止火灾。

### 16.2.4 模具存放及管理

模具在使用中大多受到操作者的重视,但在存放期间却经常受到忽视。然而,在实际生产中,因模具保管存放不善而造成模具受损影响生产的事例并不少见,应引起重视。

模具存放场地要求平整、干燥、干净、便于起吊搬运。小型模具可存放在架子上,按序排列。大中型模具可直接放在木质垫上。存放应分类,同一产品配套模具应摆放在一起。存放的具体方法因各企业实际情况及条件不同,很难强行规定,但其注意事项大体相同。

(1) 主标牌。模具前要立有标牌,记录模具名称、编号、外形尺寸及重量。同时记有使用设备型号。

(2) 摆样品。将该模具所提供的样品摆放在模具之上,以示区分,尤其厂内同类模具,有双套情况下,更是十分必要。

(3) 划区域。同一类产品配套模具放在同一区域内便于查找。也可按年代摆放,常用模具放在易搬运处,暂时不常用者放在一起。

(4) 闭合模。存放的大小模具一律闭合存放,不可留合模缝隙,以防止异物掉入。

(5) 勤检查。对于存放的模具要定期检查, 清理环境, 发现丢失、遗忘的工件, 要及时添补, 保证模具随时可投入生产运行。

(6) 查备件。模具备件一般存放在库房内, 要经常查看, 以向供应部门提供购置计划和更换计划。出入库要登记。若一种备件多次更换要及时向主管部门报告, 并查找模具有无其它潜在问题需要解决。

目前, 国内大多数厂家, 模具管理尚无一个规范模式。根据笔者多年来的工作经验, 提出上述见解供参考。

## 16.3 模具维修

模具正常使用中需要定期或不定期的维修和保养。无论是对于正常磨损还是意外事故所造成的损坏均应如此, 以保证模具的使用精度和寿命。

### 16.3.1 常见磨损及修复

模具经过使用一段时间后, 可能会产生一些不良现象, 影响制品的精度和模具正常使用, 这时需要进行适当修复。

#### 一、定位元件磨损

1. 导柱磨损或拉伤中小型模具均以导柱为定、动模之间的定位元件, 在长期使用中, 反复开启和闭合会产生导柱与导套间磨损, 间隙过大, 定位精度超差。这种情况出现时, 应仔细检查:

- (1) 导柱、导套周边均匀磨损时, 可更换新导套, 重新配置, 达到精度要求;
- (2) 导柱、导套之间有单面磨损过重, 多属导柱固定部位公差过大产生松动所致, 此时需更换导柱或导套一方即可;
- (3) 导柱(套)局部有拉伤现象, 产生的原因有配合过紧、表面有污物、两者之间中心距误差等。轻者可局部打磨、上光, 重者需要更换导柱(套), 重新寻找定位精度。

#### 2. 定位块、定位止口磨损

在大中型模具中, 导柱前段起导向杆作用, 动、定模之间的梯形止口或定位斜键起定位作用。这种定位装置研合面积大、磨损小、定位精度高, 是大中型模具常用的定位方式。然而, 在长期使用过程中, 也会产生磨损使定位精度降低, 主要修复方式有:

(1) 定位块修复。如图 16.3.1 所示, 定位块 1 在长期使用中磨损,  $L$  尺寸变小, 定位精度超差。可在其下端面垫上  $\delta$  厚垫片, 使  $L$  尺寸复位, 再将  $M$  面磨去  $\delta$  厚, 即可达到修复的目的。

(2) 止口修复。如图 16.3-2 所示, 止口部位装有耐磨板件, 可在  $M$  面上垫  $\delta$  厚垫片, 恢

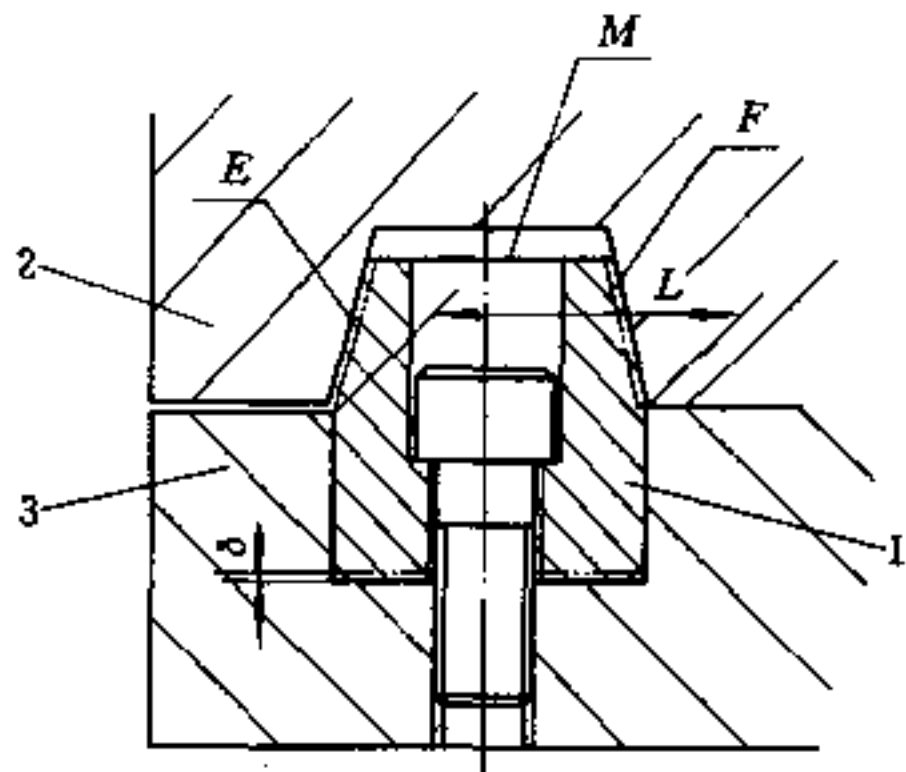


图 16.3-1 定位块的修复

1—定位块; 2—定模板; 3—动模板。

复原来尺寸， $\delta$  尺寸因磨损情况而定；如果没有耐磨板，可将定模的  $N$  面磨去  $\delta$  厚，在不影响型腔尺寸的情况下可行。磨损过于严重者，可将此结构改为加垫磨板式，这也是延长模具使用寿命的重要手段。

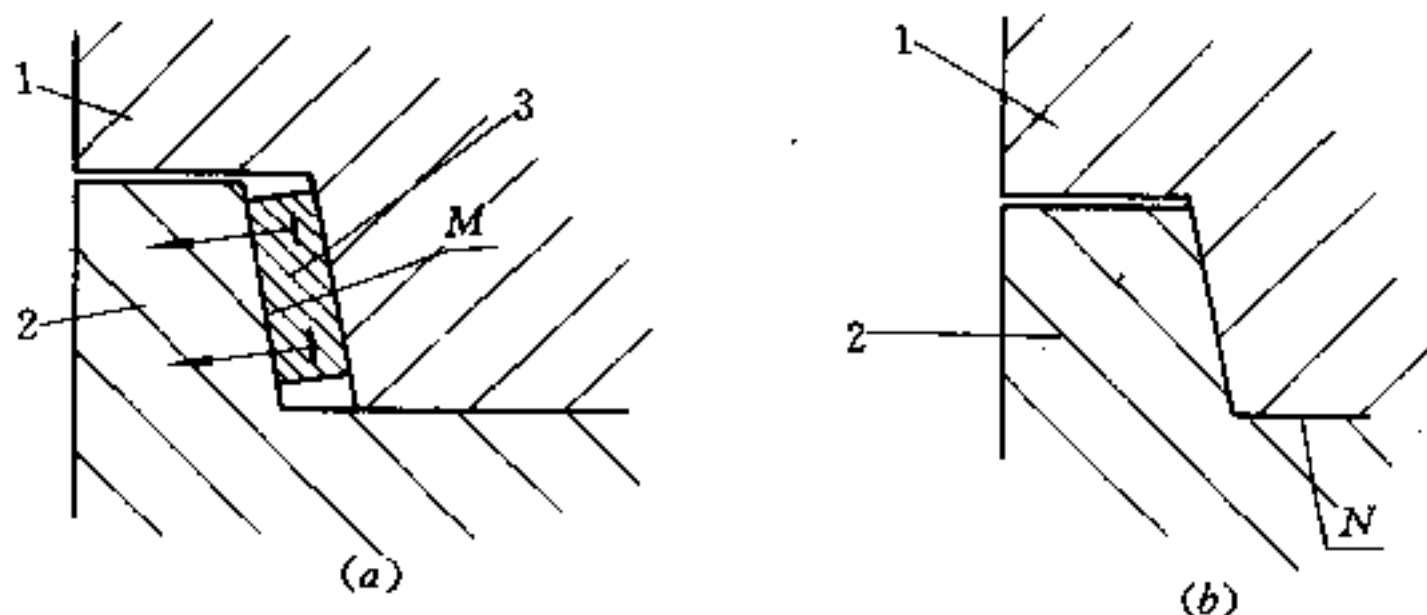


图 16.3-2 止口的修复

1—定模板；2—动模板；3—耐磨板。

## 二、分型面磨损

模具经过一段时间的使用后，原来很清晰的分型面变成了钝口，使制件产生飞边、飞刺，制件质量难以达到设计标准，需要人工进行二次修边，造成人力物力浪费。产生的原因可能是多方面的：

- (1) 注射的料量过多，产生分型面反复开胀；
- (2) 分型面边界处粘有残余料没有及清理干净，即进行二次合模；
- (3) 取制件时操作不慎，对合模锐边有撞击；
- (4) 反复闭合开启及制件脱模，对模具局部的正常磨损。

以上原因所产生的分型面磨损，可采取将磨损面在平面磨床上磨去  $\delta$  厚，一般  $\delta = 0.2 \sim 0.4 \text{mm}$ 。此时制件在垂直方向变薄，若不妨碍制品功能要求时可行。必要时须对型腔进行修正。

如果是局部磨损严重者，可以局部镶块、镶套方式解决，效果较好。

## 三、镶块松动

镶块（型芯）是以过盈配合方式镶入模体内，使用一段时间后，接合处产生缝隙，使制件产生飞刺致使脱模困难。要从根本上解决问题，主要是更换镶块或型芯，进行重新研配，可以达到尺寸精度如初的效果。

## 四、移动件磨损

在模具启合过程中产生移动而实现脱模的部件称移动件。移动件一般采用中碳钢进行淬火或调质处理，也有要求硬度更高的采用合金工具钢制成。因此在与移动件相对应的承压件必然磨损更为严重，致使滑动件得不到精确复位。如图 16.3-3 所示，机构中件 1 在使用一段时间后产生凹槽，件 2 不能及时复位。

修复方法为：将  $F$  面磨去  $\delta$  厚，或将  $E$  面垫上  $\delta$  厚垫片，以补偿磨损量。严重者可将磨损件更换，按实际测量尺寸加工配件，效果良好。

## 五、研合面磨损

成型通孔的模具零部件通常有研合面。长期使用可产生通孔不通，如果是平面通



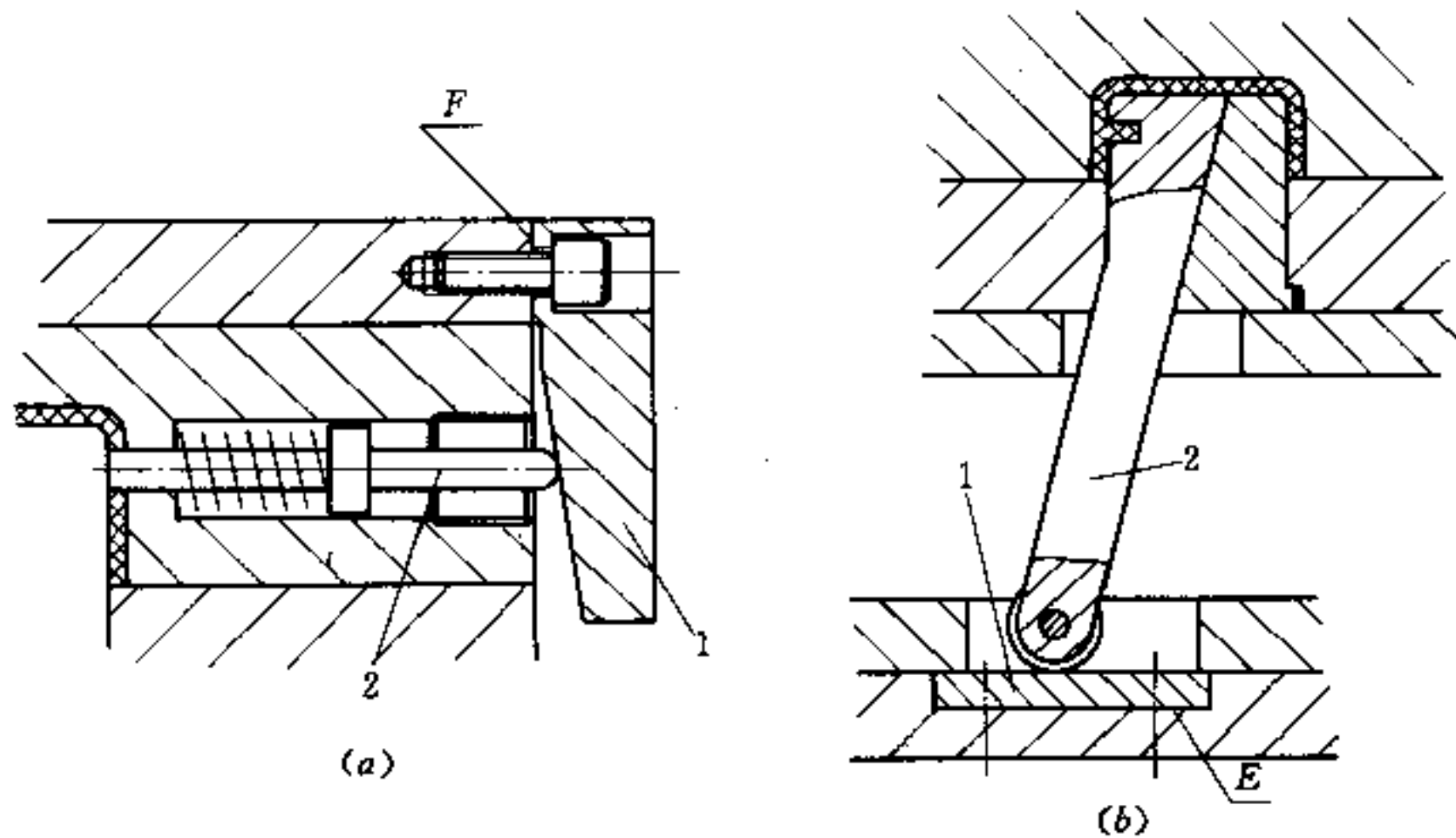


图 16.3-3 移动件修复

1—耐磨板；2—工作件。

孔，可设法将型芯上提，重新研合；如果是网窗式通孔或曲面通孔不通，需要将研合面重新研合，修复比较麻烦。

如果通孔出现飞边是因型芯倒边所致，可磨平、局部长焊添“肉”。总之通孔不通是模具使用中常见的问题，修复起来比较困难。

## 六、推杆折断

在模具使用中顶杆折断是比较常见的现象。原因大致如下：

(1) 推杆孔加工直线度较差。当一副模具上有十几根甚至几十根推杆，整体同时动作会产生“掣劲”现象；加工直线度差或孔内粗糙度差，均可造成杆件弯曲以至折断；

(2) 推杆 T 字头为焊接而成。热处理效果差，焊接应力未消除而产生断裂。在采购标准件时要了解该厂加工工艺过程。

推杆被折断后，模具推板可在弹簧力作用下驱动推杆复位。如果操作者疏忽，未能及时排除，折断推杆会碰撞在型腔上使型腔受损。这种损伤问题严重，难以处理。轻者可局部修复，重者模具报废。因此，模具操作者要时刻注意顶杆复位情况，千万不可大意。

### 16.3.2 意外损坏及修复

模具正常使用造成的磨损是不可避免的，而意外损坏的关键在于预防。因意外事故使模具受损的情况不在少数。必须引起充分重视。

#### 一、异物掉入、型腔被损坏

这是意外事故中较为常见的一种。如果是掉入残余料，受损情况较轻；若掉入金属零件，会使型腔遭到严重破坏。尤其是仿真纹面型腔或抛光面型腔，给修复带来困难。修复的方式主要靠镶拼、焊补、挤胀等方法，一般型腔遭到破坏后，恢复如初是不可能的。因此要立足于预防：

(1) 模具上方不可放置任何工具、杂物，包括扳手、铜棒、模具上卸下的各类零



件。

(2) 型腔经过修整后, 要严格杜绝不加清理而直接合模, 以防铁屑、废件、杂物留在型腔内。

(3) 经过运输而进厂的模具, 或放置一段时间后重新开启的模具要先开模, 将型腔清理干净后, 再投入生产。

(4) 正常生产中因各种原因需要暂时停车时, 必须使模具处于闭合状态。

## 二、推杆、成型杆折断损坏型腔

折断的推杆或成型杆在众多杆件回程中未被发现而撞击在型腔表面, 使模型遭受损伤。这时只有将模具全部卸下拆开, 换上备用件, 一般要 2~3h, 严重影响生产进度; 若型腔受损, 后果更不堪设想。故操作者在正常工作中, 此点尤为重要。

## 三、残余料未清理干净

成型过程中的制品飞边、料道残余料等未清理干净后合模, 可将模具型腔损坏, 尤其是透孔处、分模处受损严重。尽管凝固的残余料不是金属, 但在闭合模具时可起到金属件的作用破坏模型。因此, 每次合模要注意观察分模面及型腔内干净与否, 再进行下一次合模注射。

## 四、辅助机构失灵

以机械动作辅助机构实现内外抽芯、推出、顺序脱模等, 因结构不可靠、突然断裂、失灵, 可使模具结构受损坏。因此, 操作者应经常观察结构的灵活性、滑动顺畅性、复位精确性。防止零部件因疲劳破坏、强度降低而产生损坏。液压或气动辅助机构以及顺序动作的控制等, 要经常认真观察附件的控制柜, 电线、插座、水管、气管、油管、行程开关等工作中有无异常现象、有无外部破损、有无失效动作, 要进行定期检查和维修。使辅助系统始终处于良好工作状态, 可有效地保证模具整体工作状态。

## 参 考 文 献

- 1 [日] 白石顺一郎著, 注塑成型模具, 许鹤峰译, 北京: 轻工业出版社, 1989
- 2 本书编写组编著, 塑料模设计手册, 北京: 机械工业出版社, 1994

## 第十七章 塑料模具的价格估算

塑料模具制造显示了非重复性生产的特点，具有新产品开发研制的特征。它的制造成本决定了企业内部设备配置、人员结构、管理水平等诸多方面因素；它的实际价格与社会供需情况、产品档次、生产成本等因素也有关。因此，塑料模具价格估算难度大，准确率低。寻求既科学又较为合理的计算方法，一直是模具企业多年来探索的问题。下面就目前国内塑料模价格估算的方法及所涉及的问题进行简单剖析。

### 17.1 影响模具价格的因素

#### 17.1.1 生产成本

生产成本是模具价格的主要组成部分，是影响价格的主要因素。同一副模具在不同的企业中制造，尽管价格中所包含的因素一致，但所用的费用却不尽相同。如机械化加工程度、手工操作比例大小，生产工艺路线合理状况等。当然，手段不同，模具制造精度也不同。随着产品质量的不断提高，对模具的档次和精度要求日益提高，迫使模具生产厂必须配置高精度机床，以机电加工代替手工操作，而那种以手工代替机电加工来降低制造成本的作法逐步被淘汰。制造成本的降低要依靠合理的设计、加工流程和标准件利用率、零部件系列化来实现。同时，对于如何减少试模次数、降低试模成本，也是降低生产成本的重要环节，CAD/CAM/CAE在模具制造业的应用，大大减少了试模次数，提高了试模的成功率。

#### 17.1.2 供货周期

模具制造厂向产品厂提供模具的周期是该厂新产品能否尽早问世的重要条件之一。因此，模具供货周期与模具销售价格有着直接的关系。供货时间相对缩短，模具价格相对提高，是模具产品社会效益的具体体现。这种良性循环，使新产品及早问世，也迫使专业模具厂以各种手段缩短生产周期。更新设备、改进加工手段，向时间要效益成为模具厂的奋斗目标之一。它也将促进模具行业水平提高。因此，供货周期缩短带来的模具价格上浮这一现象，在模具价格变化中将愈来愈突出，并成为模具估价的一个重要组成部分。

#### 17.1.3 市场状况

处于激烈的市场竞争中，老产品更新换代，新产品层出不穷，模具随之翻新、改型。一副前所未有的模具设计思想、基本结构或型腔造型，提供了有独到之处的新产品或配件，在市场上独占鳌头。即使它的加工成本与一副相类似的模具成本相同，它的价

格也应相对提高。因为它为新产品赢得了市场，它使产品创出了一个“新”字。这种模具价格的浮动，无疑是符合市场经济竞争规律的。

#### 17.1.4 高技术成分

模具是塑件批量生产的基础工艺装备。做为技术密集型产品，模具估价方法中必然含有模具高技术成分，以体现价格与价值彼此相应的发展原则。在国际市场上，模具是在卖技术，故其价格十分昂贵。而我国的模具市场，技术附加值极低，致使国内很多模具生产厂微利或亏损，严重影响了模具行业的技术进步。一般，难度越大的模具，它的技术附加值越高，高技术成分在价格中占的比例越大，约占 10%~30% 或更高。把模具的技术价值，作为重要组成部分计算在价格之中，以体现高技术、高精度模具的技术价值，是市场竞争中模具工业发展的重要环节，关系到模具制造企业自身改造和技术进步能否顺利进行。

#### 17.1.5 模具寿命

一种新产品通常在不断更新改型中得到完善，产品寿命决定了模具的计划寿命，因此，并非模具寿命越长越好。寿命值剩余过多的模具，因产品改型而被淘汰本身也是一种浪费。模具的价格与预期寿命有直接关系。我国模具标准中明确规定大中型注塑模具一般寿命为 10 万次，中小型为 15~20 万次。但是，有的新产品预期生产只有几次甚至更少。寿命要求不高，在保证同样精度的情况下，可以降低制造成本，对供需双方都是一种节省。在日新月异的产品更新年代，模具预期寿命影响模具价格问题不容忽视。

## 17.2 模具价格简易估算法

模具从一种辅助工装工具发展成为直接面向市场的基础工业。作为一种产品的模具，直接走向市场，商品化的模具价格，已成为供需双方共同关心的问题。在多年经营、制造实践中，形成了三种行之有效的简易估算法，现介绍如下，仅供参考。

### 17.2.1 经验估算法

依照模具价格组成的基本原则：

$$\begin{aligned} \text{模具价格} &= \text{完成成本} + \text{税金利润} \\ &= (\text{料材费} + \text{工本费}) + \text{税金利润} \end{aligned}$$

其中通常按下列比例估算：

- (1) 模具原材料及标准件占模具总费用的 20%~30%；
- (2) 工本费（模具设计费和制造费），占总价格成本的 70%~80%；
- (3) 税金：上缴所得税金是利润的 35%，增值税是增值部分的 17%。

模具估价时所取得的利润可在 15%~30% 范围。对于大中型复杂模具或需要赴外地试模的模具，一般利润率取产值的 20%~35%，或者可以将试模费适当增加。

模具制造成本与制造周期有着密切的联系。生产周期长短可以直接影响该模具盈利多少，即实际生产周期短于预计周期时，实际盈利将大于预计盈利，反之亦然。因此，

有必要对模具制造所需时间与占用的成本比例有全面了解，以便合理安排生产工艺，作为价格估算的依据。可参考表 17.2-1。

表 17.2-1 模具制造时间与成本的关系

分 类	占用时间/%	占用成本/%
模具设计	10	5~15
材料(备料)	5	15~25
常规粗加工	10	10
型腔加工	40~60	30~50
手工加工及研合	5	5
试 模	10	5

### 17.2.2 材料价格系数法

模具设计方案确认后，模具几何尺寸及其基本费用和所需标准件可初步被确认。材料费可随之估算出来。以此作为估算模具价格的依据。每副模具所需材料费是常量，只要乘以相应的系数即可。因此，根据经验可得：

$$\text{模具价格} = (3.5 \sim 6) \times \text{材料费}$$

在模具结构比较简单的情况下，系数可以取小值；模具结构及型腔趋于复杂的模具，要取偏大值。这种估算方法简单易行，在模具行业广泛使用。

### 17.2.3 类比法

尽管塑料模具多是单件（不重复）生产的产品，但在市场需求量大的品种上市时，经常出现，要同时生产两副模具以上的情况。这时，重复性生产可省略技术开发、模具设计等方面的工作，类比第一套进行估价，用户可以接受。

也有这种情况，市场需求量特大的产品，许多厂家都竞相开发类似的模具投放市场。这时，该产品在一段时间内形成了固定的价格，各企业之间都遵守这个价格，只在小范围内上下浮动。比如，在一段时间内啤酒周转箱模具，价格在 7~8 万元，汽水周转箱模具价格在 5~6 万元内变动等。这时的模具估价，就要遵守市场价格规律办事。

市场价格随着市场变化和其它因素的影响而变化。比如，一套电视机模具（前后壳及辅助配套塑件），由初始定价每英寸为一万元至二万元，已升至到五万元以上。当然，在价格提高的过程中，模具的质量也在提高，并且所做的屏幕也在逐步扩大，从 14 英寸已开发到 29 英寸甚至 34 英寸。可见市场价格的提高是必然趋势。因此，在估价过程中，随着同类模具难度提高，价格上升；原材料、能源及其它费用提高，价格上升。参考市场价格是估价中要考虑的重要因素。

## 17.3 模具价格详细计算法

塑料模价格的简易估算法，是多年来广大模具工作者在实际工作积累、并广泛流传使用的一些经验。由于塑料模具品种规格繁多，技术特性千差万别，各地价格的制定又

多缺乏科学依据，难以将各种复杂的技术因素估计得当。针对此种现状，中国模具工业协会经营管理委员会推荐如下模具价格详细计算方法。

### 17.3.1 塑料模具价格构成

商品价格由产品成本、流通费用、税金和利润构成。模具作为一种商品，在市场上流通情况大不相同。供需双方直接见面定价成交，使价格中不含流通费用只含销售费用。模具销售价格可表示为：

$$\begin{aligned} M &= M_e + m \\ &= M_o + e + m \end{aligned} \quad (17.3-1)$$

式中  $M$ ——模具销售价格；  
 $M_e$ ——模具销售成本；  
 $e$ ——模具销售费用；  
 $m$ ——税金利润；  
 $M_o$ ——模具生产成本。

模具生产成本是模具在制造过程中所发生的各种费用之和。那么：

$$M_o = C + Q + G + W + D + E + U + F \quad (17.3-2)$$

式中  $C$ ——材料费；  
 $Q$ ——能源费；  
 $G$ ——人工费；  
 $W$ ——管理费；  
 $D$ ——设计及技术服务费；  
 $E$ ——专用工具、工装费；  
 $U$ ——试模费；  
 $F$ ——试制性不可预见费。

在构成模具生产成本的8项主要费用中，后4项费用是根据模具生产独有的“单体试制性”和“技术、资金、劳动力三密集”特点而单项列支的。模具的实际生产成本在与需方定货时，只是各种成分逐项统计的汇总估算，待模具制成后方可得出详细准确的结算。那么，如何寻求生产成本——模具价格主要组成部分的准确概算方法，是我们下面要探讨的问题。

### 17.3.2 塑料模具价格计算方法

塑料模具的主要零部件是动模、定模、型腔和型芯，采用优质模具钢，经过多道工序加工而成。设定采用常规制造工艺流程是：铣削（仿形铣、数控铣、工具铣）、电加工（电火花成形、线切割成形）、磨削（成形磨、坐标磨），经模具钳工研修、抛光、装配，再经反复试模与修整，直至严格检验合格后才算完成模具的制造过程。

由式（17.3-2）中可以看出，塑料模具销售成本的主要成分是人工费  $G$  和原材料费  $C$ ，只要设法通过有关公式将这两项费用计算出来，塑料模具销售成本的主体就出来了。

同时，塑料模具设计工作量的大小与制件的复杂程度、精度、模具结构等因素有



关，而制件质量及模具状况又与模具的制造工时有关。因此，塑料模设计费  $D$ ，通常与塑料模的人工费  $G$  之间有一线性关系，即：

$$D = d \cdot G \quad (17.3-3)$$

式中  $d$ ——塑料模具设计费系数，见表 17.3-8。

因而，塑料模的销售成本还可以写成：

$$M_c = G(1 + d) + C + E + U + W + Q + F \quad (17.3-4)$$

### 17.3.3 塑料模具价格计算公式

#### 一、人工费 $G$ 计算公式

在型腔模具中，从设计投产、备料至试模合格验收为止，所发生的全部工时费用总和为：

$$G = \sum T \cdot A \quad (17.3-5)$$

式中  $\sum T$ ——型腔模具制造全过程中的总工时 (h)。

$A$ ——型腔模具制造中单位工时平均金额 (元/h)。

根据模具规格大小、结构繁易、精度高低的不同。影响制造总工时  $\sum T$  的最主要因素有：(1) 制件外形尺寸 (长、宽、高)；(2) 制件几何体的复杂程度；(3) 制件精度；(4) 模具成型部位表面粗糙度；(5) 模具结构等。

因此，塑料模具制造总工时的计算公式可表示为

$$\sum T = T_0 K_1 K_2 K_3 K_4 (1 + K_5) \quad (17.3-6)$$

式中  $T_0$ ——型腔模具制造基点工时 (h)，见表 17.3-1；

$K_1$ ——塑料模型腔深度系数，见表 17.3-2；

$K_2$ ——模塑件形状复杂系数，见表 17.3-3；

$K_3$ ——模塑件精度系数，见表 17.3-4。

$K_4$ ——型腔模成型部位表面粗糙度系数，见表 17.3-7；

$K_5$ ——型腔模结构系数，见表 17.3-8；

#### 1. 基点工时 $T_0$ 。

用于计算塑料模具制造总工时  $\sum T$  的基础参数  $T_0$ ，称之为基点工时。表 17.3-1 中列出了塑料注射模具标准模架常用规格的制造基点工时  $T_0$  值。

模塑件在开模方向上的投影面积决定着模具动定模的周边尺寸。例如，两个几何体相似的模塑件，它们在开模方向上的投影面积不同，则它们相应的模具规格就不同。

表 17.3-1 所列为塑料注射模标准模架直浇口式注射模的基点工时。各种规格模具的基点工时中，均含有模具加工不可预见及自然工时费。

在尚无模具施工图而只有制件图或塑件样品的情况下，可用下列经验公式近似确定该制件相应的模具规格。

$$L = l/I \quad (17.3-7)$$

式中  $L$ ——模具定模边长 (mm)；

$l$ ——制件在开模方向上的投影边长 (mm)；

$I$ ——系数， $I = 0.6$ 。

表 17.3-1 塑料模制造基点工时  $T_0$ 

模具规格	自制模架 $T_0$	模具规格	自制模架 $T_0$
1215	186	3035	268
1520	196	3545	309
1820	202	4550	369
2020	210	5063	441
2030	216	6380	617
2330	234	8090	926
2530	240	9010	1277

2. 型腔深度系数  $K_1$ 

模具型腔深度不等，加工工时自然不相等，如果两个制件投影面积相等，制件高度不等，加工较深型腔所需要的工时较多。如果深度相等，但它们在开模方向上投影面积不等，在一般情况下，加工投影面积大的型腔比加工投影面积小的型腔较为容易。因此，选择深度系数要考虑制件在开模方向上的投影面积。

如表17.3-2所示，在选择型腔深度系数  $K_1$  时，要以制件最大轮廓尺寸，算出它

表 17.3-2 型腔深度系数  $K_1$ 

型腔深度 /mm	型腔横截面/mm <sup>2</sup>					
	<1000	1000~5000	5000~10000	10000~22500	22500~40000	>40000
≤10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
>10~20	1.12	1.08	1.05	1.04	1.03	1.02
>20~30	1.24	1.16	1.10	1.08	1.06	1.04
>30~40	1.36	1.24	1.15	1.12	1.09	1.06
>40~50	1.50	1.32	1.20	1.10	1.12	1.08
>50~60	1.62	1.40	1.25	1.20	1.16	1.10
>60~70		1.48	1.30	1.24	1.20	1.12
>70~80		1.58	1.35	1.30	1.24	1.14
>80~90		1.65	1.40	1.36	1.28	1.16
>90~100		1.75	1.45	1.42	1.32	1.18
>100~125		2.00	1.51	1.48	1.38	1.20
>125~150		2.35	1.57	1.56	1.42	1.22
>150~175				1.64	1.50	1.24
>175~200					1.58	1.26
>200~250					1.68	1.30
>250~300					1.80	1.36
>300~400					1.94	1.44
>400~450					2.10	1.60



在开模方向上的投影面积，作为型腔的横截面积。以制件在开模方向上的最大高度，作为型腔的最大深度。然后在相应的面积和深度范围内选取相应的型腔深度系数  $K_1$ 。一模多腔时，要以相对加工量最大的一个型腔横截面积和深度为依据进行选择。

### 3. 模塑件形状复杂系数 $K_2$

制件形状复杂程度系数，见表 17.3-3。按照国家标准制图的正规制件图样，图面标准尺寸应不会重复出现。通常情况下，制件尺寸数目越多，则制件的几何形状越复杂（非圆曲面的情况除外），与制件相应的模具型腔几何形状复杂程度就越大。

表 17.3-3 制件形状复杂系数  $K_2$

制件 尺寸数目	≤10	10~20	20~30	30~40	50~60	60~70	70~80	80~90
$K_2$	1.00	1.10	1.20	1.25	1.50	1.65	1.80	2.00
制件 尺寸数目	90~100	100~120	120~150	150~200	200~250	250~300	300~400	400~500
$K_2$	2.20	2.70	3.25	3.90	4.30	4.40	4.60	4.90

在选取  $K_2$  值时，须遵循以下几点规定：

- (1) 当制件几何体有非圆曲面时，其非圆曲面部分按 100~150 个尺寸数目计。
- (2) 当制件上有螺纹时，螺纹的每个尺寸要素按 5 个尺寸数目计。
- (3) 当一模有两个不同制件型腔时，总尺寸为二者之和。
- (4) 当一模有几个相同型腔时，总尺寸数目等于一个制件尺寸数目的几倍。

### 4. 模塑件精度系数 $K_3$

模塑件精度要求直接影响着总工时的多少，高精度的模具才能生产出高质量的制件。但是，有了高精度的模具，也会因制件材质不同而使制件达到的精度不同。为此，通常以工程塑料所能达到的精度等级为依据。塑料精度等级公差值见第三章表 3.11-2 和表 3.11-3。根据这两个表可查得模塑件精度系数（见表 17.3-4） $K_3$  值。其步骤是：

- (1) 依照制件材质由表 3.11-3，确认塑件的一般精度等级。
- (2) 将制件图上所标注的尺寸公差值与表 3.11-2 中相应的精度等级逐一对照，并将制件图上小于精度等级公差值的尺寸数目逐一累计。

表 17.3-4 模塑件精度系数  $K_3$

说 明	制件尺寸精度相对于“一般精度”				
	制件上最高的尺寸 精度为一般精度	5 个或少于 5 个尺 寸的精度提高一级	6 个~10 个尺寸的 精度提高一级	11 个~20 个尺寸 的精度提高一级	多于 20 个尺寸的 精度提高一级
$K_3$	1.00	1.05	1.10	1.20	1.30~2.00

(3) 依据累计的比“一般精度”提高了的尺寸数目在表 17.3-4 中选取相应的精度系数  $K_3$  值。

### 5. 成型部位表面粗糙度系数 $K_4$

其值见表 17.3-5。型腔或型芯表面粗糙度的等级，一般要比制件本身要求的表面粗糙度低一级。

表 17.3-5 模具成型表面粗糙度系数  $K_4$ 

$R_a/\mu\text{m}$	0.800	0.400	0.200	0.100	0.050	0.025	0.012	0.008	
$K_4$	型腔和型芯 全部表面	1.00	1.05	1.10	1.20	1.32	1.58	2.00	3.00
	型腔或型芯 全部表面	1.00	1.025	1.050	1.10	1.160	1.300	1.500	2.00
	型腔和型芯 局部表面	1.00	1.012	1.025	1.050	1.080	1.150	1.250	1.50

6. 型腔结构系数  $K_5$ 

其值列于表 17.3-6 之中。

表 17.3-6 模具结构系数  $K_5$ 

结构要素	侧抽芯									主分型面		开模次数		
	无	1处		2处		3处		4处		平面	非平面	1次	2次 点浇口	3次
		全部	局部	全部	局部	全部	局部	全部	局部					
$K_5 = K_{51} + K_{52} + K_{53}$	$K_{51}$									$K_{52}$		$K_{53}$		
	0	0.15	0.10	0.25	0.15	0.35	0.20	0.45	0.25	0	0.12	0	0.15	0.20

涉及模具结构方面的要素很多，很难将所有要素全部包含在模具结构系数之中，只能择其中最主要、最普遍的要素取而代之。在表 17.3-6 中包含了三个最主要、最普通的结构要素，即侧抽芯、主分型面及开模次数。其相应的系数称为“子系数”，并分别以代号  $K_{51}$ 、 $K_{52}$ 、 $K_{53}$  表示。其相互关系为：

$$K_5 = K_{51} + K_{52} + K_{53} \quad (17.3-8)$$

需要说明的是，塑料模具内外抽芯的方式很多，结构也相应不同，在表中的侧抽芯系数  $K_{51}$  是最通常采用的斜导柱、斜滑块方式为基础而设定的。如果遇到模具采用其它侧抽芯结构时， $K_{51}$  值可以适当修订。哈夫块模的结构视为侧抽芯结构。

7. 单位工时平均金额  $A$ 

单位工时平均金额  $A$  是计算型腔模制造工时费  $G$  的重要参数。如果从企业完全成本  $M_c$  中去掉原材料费  $C$ 、设计费  $D$ 、专用工具费  $E$ 、试模费  $U$ 、销售费  $e$  这五项费用后，所余下的那部分成本暂且称作“不完全成本”的话，那么  $A$  就是企业不完全成本与企业实动工时之比值，即：

$$A = \text{不完全成本} / \text{实动工时}$$

由于各企业在人员结构、设备配置、管理水平等诸方面的情况不尽相同，因此，各企业间的  $A$  值也就不同。即使是同一企业，随着时间的推移，企业内部结构的变化， $A$  值也是不断变化的，有必要在一段时间内进行修订（一般以一个年度为测算期）。可见， $A$  是需要根据本企业在一时期内的具体情况予以测算。因此，在这里很难给  $A$  赋予一个固定值。

在测算 A 值时还应考虑以下两点：第一，模具作为技术密集型产品，在它的价格中应反映出技术价值，应含有适当比例的高技术成分；第二，中小型模具与大型模具均有采用精密设备加工的可能，但采用的设备规格不同，因此 A 值也应有些差异。

## 二、材料费 C 计算公式

塑料模具材料费 C，是指制造一副模具所需全部金属材料的购置费用。

当外购标准模架时，模具材料费等于模架购置费、模具标准件购置费、部分耗用钢材费（含锻件费）等三部分费用之和。

当自制模架时，模具材料费等于所有耗用钢材费（包括不同牌号钢材及锻件费），和其它标准件购置费这两项之和。可用如下公式来表示：

$$C = P(1 + K_b)a_1 + \sum a_2 \quad (17.3-9)$$

式中 C——材料费；

P——模架毛重 (kg)， $P = 1.3P'$ ；

P'——模架重量 (kg)；

$K_b$ ——与模具结构有关的材料重量修正系数，见表 17.3-7；

$a_1$ ——模具钢材单价 (元/kg)；

$\sum a_2$ ——模具标准件费用总和。

表 17.3-7 与模具结构有关的材料修正系数  $K_b$

结 构 要 素		修 正 系 数	
推出制件	推杆(管)推出	$K_{b1}$	0.15
	推件板推出		0.20
浇 口	直浇口	$K_{b2}$	0
	点浇口		0.25
镶 件	仅动模有镶件	$K_{b3}$	0.20
	定模、动模均有镶件		0.30
主分型面	为平面	$K_{b4}$	0
	为非平面		0.15
侧抽芯	无	$K_{b5}$	0
	有		0.05
侧抽芯方式	无	$K_{b6}$	0
	斜导柱		0.10
	斜滑块		0.15

每副模具使用的钢材有多种，而其中以中碳钢为多。将各种牌号钢材重量与单价之积累集起来，便可得到模具材料的总费用。

## 三、销售价格计算公式中的其它参数

除人工费 G 和材料费 C 的计算外，还有其它费用需要计算，下面就逐项分析。

### 1. 型腔模具设计费系数 d

模具生产厂承接模具制作时，在图纸方面通常存在着以下三种情况：第一，订货方自带模具施工图，模具厂只需对现在图纸进行审核，制订出加工工艺便可加工；第二，

订货方提供制件图（含供参考的制件样品），模具厂依据产品图设计模具施工图并加工模具；第三，订货方只提供塑料样品，模具厂须对制件样品进行测绘，然后经订货方签字认可，再进行模具设计及加工。

针对这三种情况，塑料模具设计费系数  $d$  应有所不同。见表 17.3-8。

表 17.3-8 塑料模具设计费系数  $d$

设计分类	审核模具图样	依产品图设计模具图	依制件样品设计模具
$d$	0.02~0.04	0.12~0.14	0.14~0.16

在样件测绘过程中，如果采用普通测量手段可依照该表系数。若采用三坐标测量仪等高精度测绘手段时， $d$  值应有所变化。其费用可由双方协商确定。

## 2. 模具利润 $r_1$ 、税率 $r_2$ 、利税率 $r_0$

模具行业尽管是一个技术、资金、劳动力三密集型企业。但长期以来，由于各种原因，该行业仍是一个微利行业。因此，要使模具的技术价值和社会价值，真正地在模具的价格中得到体现，理顺模具价格，逐步扩大模具价格中积累的比例是十分必要的。目前模具行业的平均成本利润率、综合税率及利税率，如表 17.3-9 所述。

表 17.3-9 模具的利润率、税率、利税率

成本利润率 $r_1$	综合税率 $r_2$	利税率 $r_0$
20%~30%	10%~15%	25%~35%

在式 (17.3-1) 中，税金利润  $m$  可分解为税金  $m_1$  和利润  $m_2$ ，即可得如下定义表达式：

$$\text{成本利润率 } r_1 = \frac{\text{税金 } m_1}{\text{销售成本 } M_c} \quad (17.3-10)$$

$$\text{综合税率 } r_2 = \frac{\text{利润 } m_2}{\text{税金 } m} \quad (17.3-11)$$

$$\text{利税率 } r_0 = \frac{m_1 + m_2}{\text{销售价格 } M} \quad (17.3-12)$$

在实际生产中，各企业情况不同，其率值将有所差异。由于模具规格大小、难易程度、精度高低、加工难易程度不同等因素，也促使率值上下浮动。随着模具技术的发展，技术附加值提高，模具利润率将向增加的趋势发展。

## 3. 模具专用工具费 $E$

模具制造过程中所涉及的专用工具，主要有：

专用特型刀具，电火花加工用电极，仿型铣用模型，以及必要的样板等。这些专用工具费用主要由制造过程中所需工时费及材料费构成。

## 4. 试模费 $U$

试模是模具制造过程中一个十分重要的工序。当专业模具厂没有合适的设备供试模时，则需要外协试模。这样，每进行一次试模，都需要试模运输费、差旅费和设备使用费，此时试模费用将有所增加。

在一般情况下，大中型模具试模次数在 3~5 次，中小型模具为 1~3 次。随着 CAD/CAM/CAE 技术的推广使用，试模次数将逐步减少，试模费比例逐步缩小，加工

周期随之得到缩短。

#### 5. 不可预见费 $F$

模具生产具有新产品开发的性质，必然存在着一定的风险，需要一些预想不到的费用，其金额大小很难估计。大型复杂模具风险性大，技术上把握性大就可以避免风险。因此，每副模具的销售价格中，含有适当比例的不可预见费是合情合理的。根据本企业的实际情况，将该费用控制在模具销售价格的 3% ~ 5% 为好。各企业也可根据模具的实际情况，双方协商确认。

### 参 考 文 献

- 1 [日] 白石顺一郎著，注塑成型模具，许鹤峰译，北京：轻工业出版社，1989

# 第十八章 塑料模具设计基础

## 18.1 材料与基本数据

表 18.1-1 塑料名称与缩写代号对照

缩写代号	塑料或树脂全称	缩写代号	塑料或树脂全称
ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物	E/P/D	乙烯-丙烯-二烯三元共聚物
ACS	丙烯腈-氯乙聚乙稀-苯乙烯共聚物	EPS	泡沫聚苯乙烯
AI	聚酰胺-酰亚胺(聚合物)	E/TFE	乙烯-四氟乙稀共聚物
AK	醇酸树脂	E/VA	乙烯-乙酸乙稀共聚物
A/MMA	丙烯腈-甲基丙烯酸甲酯共聚物	E/VAL	乙烯-乙醇共聚物
A/S	丙烯腈-苯乙烯共聚物	FEP (PFEP)	全氟(乙烯-丙烯)共聚物;四氟乙稀-六氟丙烯共聚物
A/S/A	丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物	F RTP	纤维增强热塑性塑料
BMC	预制整体模塑料(也称块状模塑料)	GPS	通用聚苯乙烯
BOPP	双轴定向聚丙烯	GRP	玻璃纤维增强塑料
BS	丁二烯-苯乙烯共聚物	HDPE	高密度聚乙烯
CA	醋酸纤维素	HIPS	高冲击强度聚苯乙烯
CAB	乙酸-丁酸纤维素	IO	离子聚合物
CAP	乙酸-丙酸纤维素	IPN	互贯网络聚合物
CF	甲酚-甲醛树脂	LDPE	低密度聚乙烯
CMC	羧甲基纤维素	LLDPE	线型低密度聚乙烯
CN	硝酸纤维素	MC	甲基纤维素
CP	丙酸纤维素	MDPE	中密度聚乙烯
CRP	碳纤维增强塑料	MF	三聚氰胺-甲醛树脂
CS	酪素塑料	MS	甲基丙烯酸甲酯-苯乙烯树脂
CSPE	氯磺化聚乙烯	OPP	定向聚丙烯
CTA	三醋酸纤维素	OPS	定向聚苯乙烯
DAIP	间苯二甲酸二烯丙酯树脂	OPVC	定向聚氯乙烯
DAP	邻苯二甲酸二烯丙酯树脂	PA	聚酰胺
DMC	团状模塑料	PAA	聚丙烯酸
EC	乙基纤维素	PAI	聚酰胺-酰亚胺
EEA	乙烯-丙烯酸乙酯共聚物	PAN	聚丙烯腈
EP	环氧树脂	PAR	聚芳酯



(续)

缩写代号	塑料或树脂全称	缩写代号	塑料或树脂全称
PARA	聚芳酰胺	PUR	聚氨酯
PAS	聚芳砜	PVAC	聚乙酸乙烯酯
PB	聚丁烯-1	PVAL	聚乙烯醇
PBI	聚苯并咪唑	PVB	聚乙烯醇缩丁醛
PBTP	聚对苯二甲酸丁二醇酯	PVC	聚氯乙烯
PC	聚碳酸酯	PVCA	聚氯乙烯-乙酸乙烯酯
PCTFE	聚三氟氯乙烯	PVCC	氯化聚氯乙烯
PDAIP	聚间苯二甲酸二烯丙酯	(CPVC)	
PDAP	聚邻苯二甲酸二烯丙酯	PVDC	聚偏二氯乙烯
PDMS	聚二甲基硅氧烷	PVDF	聚偏二氟乙烯
PE	聚乙烯	PVF	聚氟乙烯
PEA	聚丙烯酸乙酯	PVFM	聚乙烯醇缩甲醛
PEC	氯化聚乙烯	PVK	聚乙烯基吡唑
PEEK	聚醚醚酮	PVP	聚乙烯吡咯烷酮
PEOX	聚氧化乙烯;聚环氧乙烷	RF	间苯二酚-甲醛树脂
PES	聚醚砜	RP	增强塑料
PETP	聚对苯二甲酸乙二醇酯	RTP	增强热塑性塑料
PF	酚醛树脂	S/AN	苯乙烯-丙烯腈共聚物
PFA	全氟烷氧基树脂;可溶性聚四氟乙烯	SBS	苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物
PI	聚酰亚胺	SI	聚硅氧烷
PIB	聚异丁烯	SMC	片状模塑料
PMA	聚丙烯酸甲酯	S/MS	苯乙烯- $\alpha$ -甲基苯乙烯共聚物
PMCA	聚 $\alpha$ -氯代丙烯酸甲酯	TMC	厚片模塑料
PMI	聚甲基丙烯酰亚胺	TPE	热塑性弹性体
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯	TPS	韧性聚苯乙烯
PMMI	聚均苯四酰亚胺	TPU	热塑性聚氨酯
PMP	聚4-甲基戊烯-1	PXT	聚4-甲基戊烯-1(实际上是4-甲基戊烯-1
PO	聚烯烃	(商品名)	与少量己烯的共聚物)
POM	聚甲醛	UF	脲甲醛树脂
PP	聚丙烯	UHMWPE	超高分子量聚乙烯
PPC	氯化聚丙烯	UP	不饱和聚酯
PPO	聚苯醚(聚2,6-二甲基醚);聚苯撑氧	VC/E	氯乙烯-乙烯共聚物
PPOX	聚氧化丙烯;聚环氧丙烷	VC/E/MA	氯乙烯-乙烯-丙烯酸甲酯共聚物
PPS	聚苯硫醚;聚苯撑硫	VC/E/VAC	氯乙烯-乙烯-乙酸乙烯酯共聚物
PPSU	聚苯砜	VC/MA	氯乙烯-丙烯酸甲酯共聚物
PS	聚苯乙烯	VC/MMA	氯乙烯-甲基丙烯酸甲酯共聚物
PSU	聚砜	VC/OA	氯乙烯-丙烯酸辛酯共聚物
PTFE	聚四氟乙烯	VC/VAC	氯乙烯-乙酸乙烯酯共聚物
		VC/VDC	氯乙烯-偏二氯乙烯共聚物



表 18.1-2 材料幂律参数

名称 牌号 生产厂	温度/℃	$\dot{\gamma} = 10 \sim 10^2$		$\dot{\gamma} = 10^2 \sim 10^3$		$\dot{\gamma} = 10^3 \sim 10^4$		$\dot{\gamma} = 10^4 \sim 10^5$	
		$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$
ABS 301 兰州石化	210	0.59	0.97	0.39	2.47	0.20	9.61	0.00	51.21
	230	0.62	0.56	0.42	1.45	0.22	5.79	0.02	33.08
	250	0.73	0.22	0.49	0.70	0.25	3.87	0.00	31.89
ABS 301M 兰州石化	210	0.62	0.71	0.43	1.81	0.23	7.03	0.04	39.32
	230	0.66	0.44	0.43	1.33	0.20	6.53	0.00	0.00
	250	0.74	0.21	0.48	0.71	0.23	4.20	0.00	0.00
ABS B-101 上海高桥	210	0.45	2.18	0.33	3.88	0.21	9.04	0.08	27.03
	230	0.60	0.54	0.44	1.11	0.29	3.19	0.14	12.68
	250	0.72	0.25	0.49	0.73	0.27	3.48	0.05	25.66
ABS ETL-100 上海高桥	210	0.49	1.74	0.34	3.60	0.19	10.40	0.04	39.86
	230	0.52	1.07	0.37	2.11	0.23	5.72	0.09	20.72
	250	0.62	0.44	0.43	1.09	0.24	4.11	0.06	22.30
ABS IMT-100 上海高桥	210	0.49	1.66	0.36	3.08	0.23	7.61	0.10	24.66
	230	0.56	0.85	0.40	1.86	0.23	5.80	0.07	25.10
	250	0.53	0.85	0.38	1.68	0.24	4.59	0.09	16.79
ABS PA757 (台)奇美实	210	0.50	1.30	0.36	2.58	0.22	7.02	0.07	25.50
	230	0.60	0.67	0.39	1.84	0.18	7.96	0.00	0.00
	250	0.67	0.32	0.45	0.94	0.22	4.50	0.00	0.00
ABS TH-100 上海高桥	210	0.59	0.85	0.40	2.05	0.22	7.40	0.03	37.65
	230	0.59	0.61	0.42	1.41	0.25	4.73	0.08	22.49
	250	0.61	0.44	0.44	0.98	0.27	3.15	0.11	14.36
HDPE 5070 上海高桥	180	0.84	0.15	0.53	0.66	0.23	5.56	0.00	0.00
	200	0.89	0.10	0.58	0.41	0.28	3.50	0.00	0.00
	220	0.91	0.07	0.62	0.29	0.33	2.23	0.04	30.30
HDPE GC7260 辽阳石化	180	0.79	0.18	0.54	0.58	0.30	3.25	0.05	29.62
	200	0.83	0.11	0.58	0.38	0.33	2.19	0.09	21.29
	220	0.79	0.14	0.58	0.39	0.37	1.75	0.16	12.16
HIPS 429J 辽阳石化	210	0.40	1.49	0.33	2.09	0.26	3.46	0.19	6.71
	230	0.48	0.73	0.37	1.24	0.26	2.72	0.15	7.56
	250	0.58	0.20	0.43	0.43	0.27	1.28	0.12	5.24
HIPS 503 兰州石化	210	0.34	2.18	0.29	2.78	0.24	3.97	0.19	6.37
	230	0.45	0.92	0.34	1.56	0.22	3.38	0.11	9.30
	250	0.58	0.35	0.39	0.86	0.21	3.18	0.02	16.36

(续)

名称 牌号 生产厂	温度/℃	$\dot{\gamma} = 10 \sim 10^2$		$\dot{\gamma} = 10^2 \sim 10^3$		$\dot{\gamma} = 10^3 \sim 10^4$		$\dot{\gamma} = 10^4 \sim 10^5$	
		$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$
HIPS A 上海高桥	210	0.36	1.89	0.29	2.56	0.23	4.01	0.16	7.26
	230	0.45	0.88	0.33	1.52	0.22	3.42	0.10	9.81
	250	0.53	0.46	0.37	0.98	0.21	2.99	0.05	12.40
HIPS HI825 汕头海洋	210	0.51	0.53	0.38	0.99	0.24	2.52	0.11	8.46
	230	0.68	0.16	0.45	0.47	0.23	2.26	0.00	15.93
	250	0.59	0.19	0.44	0.40	0.28	1.20	0.13	4.94
HIPS PH88 齐美实业	210	0.47	0.78	0.37	1.22	0.28	2.38	0.18	5.70
	230	0.66	0.18	0.47	0.47	0.27	1.85	0.08	10.88
	250	0.81	0.07	0.53	0.26	0.25	1.85	0.00	0.00
LDPE AH40 上海石化	160	0.48	1.15	0.39	1.79	0.29	3.44	0.20	8.12
	180	0.51	0.78	0.41	1.25	0.31	2.50	0.22	6.24
	200	0.54	0.53	0.44	0.87	0.34	1.79	0.23	4.63
LDPE IT2A 燕山石化	140	0.43	2.27	0.35	3.34	0.27	5.88	0.19	12.38
	160	0.48	1.49	0.38	2.32	0.29	4.47	0.20	10.55
	180	0.52	0.98	0.41	1.62	0.30	3.40	0.20	9.00
LDPE IT2A-1 燕山石化	140	0.42	2.75	0.34	4.02	0.26	7.03	0.18	14.66
	160	0.44	2.39	0.36	3.47	0.28	6.00	0.20	12.34
	180	0.53	0.97	0.41	1.74	0.29	4.09	0.17	12.53
PA FRPA1010 晨光化工	240	0.58	0.65	0.54	0.78	0.50	1.00	0.47	1.42
	260	0.65	0.37	0.53	0.68	0.40	1.66	0.27	5.38
	280	0.63	0.35	0.52	0.59	0.41	1.30	0.30	3.67
PC 2858 Bayer 公司	260	1.02	0.16	0.71	0.72	0.40	6.40	0.10	
	280	1.07	0.06	0.87	0.16	0.67	0.68	0.47	4.39
	300	1.23	0.01	0.95	0.06	0.67	0.44	0.38	6.26
PC 6109 重庆长风	280	0.90	0.19	0.67	0.56	0.44	2.81	0.21	23.34
	300	0.82	0.11	0.70	0.19	0.58	0.45	0.46	1.37
	320	0.68	0.11	0.69	0.11	0.70	0.10	0.70	0.09
PC 6705 重庆长风	290	0.80	0.27	0.61	0.66	0.43	2.54	0.24	14.73
	310	0.71	0.19	0.72	0.18	0.74	0.16	0.75	0.14
	330	0.78	0.07	0.81	0.06	0.84	0.05	0.87	0.04
PC 6709 重庆长风	290	0.85	0.09	0.81	0.10	0.77	0.14	0.74	0.19
	310	0.88	0.04	0.84	0.04	0.79	0.06	0.75	0.09
	330	0.90	0.02	0.80	0.04	0.70	0.08	0.60	0.19

(续)

名称 牌号 生产厂	温度/℃	$\dot{\gamma} = 10 \sim 10^2$		$\dot{\gamma} = 10^2 \sim 10^3$		$\dot{\gamma} = 10^3 \sim 10^4$		$\dot{\gamma} = 10^4 \sim 10^5$	
		$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$
PC	280	0.57	0.76	0.58	0.75	0.58	0.74	0.58	0.72
GF20	300	0.68	0.40	0.59	0.63	0.49	1.25	0.40	3.07
重庆长风	320	0.80	0.11	0.66	0.22	0.51	0.63	0.36	2.46
PC	260	0.61	1.21	0.56	1.55	0.51	2.27	0.46	3.73
GF30	280	0.58	0.73	0.64	0.55	0.69	0.37	0.75	0.22
重庆长风	300	0.64	0.45	0.63	0.46	0.63	0.48	0.62	0.52
PC	240	0.78	0.37	0.52	1.28	0.26	7.92	0.00	0.00
PC/ABS	250	0.80	0.29	0.52	1.08	0.25	7.27	0.00	0.00
晨光化工	260	0.87	0.16	0.60	0.59	0.33	4.11	0.05	49.24
PC	260	0.82	0.29	0.67	0.59	0.52	1.68	0.38	6.65
PC/PBT	280	0.87	0.18	0.67	0.48	0.47	1.97	0.27	12.69
晨光化工	300	0.86	0.06	0.71	0.13	0.56	0.38	0.42	1.56
PC/PE	260	0.82	0.29	0.67	0.59	0.52	1.68	0.38	6.65
	280	0.87	0.18	0.67	0.48	0.47	1.97	0.27	12.69
重庆长风	300	0.87	0.07	0.83	0.08	0.79	0.10	0.75	0.15
PMMA	210	0.35	5.26	0.26	8.03	0.17	14.95	0.08	33.51
372	230	0.38	2.92	0.29	4.45	0.20	8.26	0.11	18.54
常州东方红	250	0.51	0.79	0.38	1.49	0.25	3.74	0.12	12.46
POM	170	0.86	0.21	0.52	1.10	0.19	11.78	0.00	0.00
M90-02	190	0.87	0.17	0.55	0.79	0.23	7.43	0.00	0.00
日本	210	0.90	0.12	0.59	0.51	0.28	4.52	0.00	0.00
POM	170	0.73	0.31	0.53	0.83	0.32	3.59	0.11	23.88
M9044	190	0.89	0.12	0.58	0.55	0.26	5.12	0.00	0.00
784厂	210	0.90	0.09	0.62	0.34	0.35	2.42	0.07	29.90
PP	190	0.40	1.65	0.36	2.00	0.32	2.67	0.28	3.90
1300	210	0.37	1.77	0.31	2.27	0.26	3.27	0.21	5.29
燕山石化	230	0.46	0.92	0.35	1.54	0.24	3.30	0.13	8.90
PP	180	0.39	2.70	0.34	3.46	0.29	4.99	0.23	8.10
1330	200	0.33	2.82	0.29	3.37	0.25	4.38	0.21	6.21
燕山石化	220	0.34	2.31	0.29	2.88	0.25	3.97	0.20	6.09
PP	190	0.48	0.75	0.40	1.12	0.32	2.01	0.23	4.33
1430	210	0.47	0.74	0.37	1.19	0.27	2.42	0.17	6.11
燕山石化	230	0.56	0.40	0.41	0.83	0.26	2.41	0.10	9.56
PP	180	0.35	2.02	0.35	2.05	0.35	2.10	0.34	2.17
2401	200	0.44	1.07	0.34	1.75	0.24	3.61	0.13	9.33
燕山石化	220	0.50	0.61	0.39	1.03	0.28	2.24	0.17	6.18

(续)

名 称 牌 号 生 产 厂	温度/℃	$\dot{\gamma} = 10 \sim 10^2$		$\dot{\gamma} = 10^2 \sim 10^3$		$\dot{\gamma} = 10^3 \sim 10^4$		$\dot{\gamma} = 10^4 \sim 10^5$	
		$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$	$n$	$K' \times 10^4$
PP AY564 住友化工	180	0.48	0.49	0.44	0.60	0.40	0.80	0.35	1.18
	200	0.62	0.18	0.47	0.37	0.32	1.06	0.17	4.15
	220	0.76	0.06	0.56	0.15	0.36	0.63	0.16	4.01
PP H-T-045-A 兰州石化	180	0.34	1.76	0.36	1.60	0.39	1.38	0.41	1.14
	200	0.43	1.09	0.34	1.64	0.26	2.98	0.17	6.54
	220	0.41	0.92	0.35	1.24	0.28	1.93	0.22	3.46
PP MF47C 德山曹达	180	0.52	0.31	0.46	0.41	0.41	0.59	0.36	0.98
	200	0.67	0.10	0.53	0.21	0.38	0.60	0.23	2.39
	220	0.87	0.02	0.67	0.06	0.46	0.24	0.26	1.61
PP MK711 船和电工	180	0.53	0.28	0.47	0.37	0.41	0.58	0.35	1.04
	200	0.70	0.08	0.54	0.18	0.39	0.53	0.23	2.27
	220	0.84	0.02	0.65	0.06	0.47	0.21	0.29	1.17
PP 滑石填充 晨光化工	190	0.38	1.79	0.35	2.13	0.31	2.74	0.27	3.84
	210	0.42	1.33	0.32	2.07	0.23	3.96	0.14	9.27
	230	0.42	1.12	0.33	1.75	0.23	3.36	0.14	7.93
PP 阻燃增强 晨光化工	220	0.38	1.66	0.31	2.28	0.24	3.66	0.17	6.80
	240	0.39	1.18	0.32	1.70	0.24	2.90	0.16	5.84
	260	0.43	0.73	0.34	1.12	0.24	2.13	0.15	4.94
PS 666D 燕山石化	220	0.49	0.62	0.37	1.10	0.25	2.55	0.13	7.59
	240	0.48	0.51	0.37	0.84	0.27	1.77	0.16	4.69
	260	0.60	0.23	0.43	0.53	0.25	1.78	0.08	8.44
PS B-1 兰州石化	240	0.48	0.54	0.36	0.95	0.24	2.22	0.12	6.66
	260	0.47	0.47	0.36	0.82	0.24	1.90	0.12	5.63
	280	0.66	0.12	0.46	0.32	0.25	1.40	0.04	8.93
PS GP 上海高桥	240	0.62	0.27	0.43	0.68	0.23	2.63	0.04	14.73
	260	0.50	0.49	0.39	0.85	0.27	1.91	0.16	5.47
	280	0.82	0.04	0.55	0.17	0.28	1.15	0.01	12.57
PS GP525 汕头海洋	220	0.49	0.50	0.38	0.86	0.27	1.91	0.15	5.42
	240	0.63	0.18	0.44	0.46	0.24	1.81	0.05	10.35
	260	0.73	0.08	0.49	0.24	0.26	1.28	0.02	10.32
PVC 特软 晨光化工	150	0.32	1.62	0.29	1.88	0.26	2.35	0.23	3.15
	170	0.51	0.31	0.41	0.51	0.30	1.06	0.20	2.77
	190	0.60	0.09	0.50	0.14	0.41	0.26	0.32	0.61
SAN G101 上海高桥	220	0.64	0.47	0.42	1.39	0.19	6.67	0.00	0.00
	240	0.83	0.11	0.52	0.51	0.20	4.70	0.00	0.00
	260	0.91	0.04	0.59	0.21	0.28	1.97	0.00	0.00

表 18.1.1-3 热塑性塑料性能

表 18.1.3-1 热塑性塑料的机械、电气性能

塑料性能	聚乙烯		聚丙烯				聚甲基丙烯酸甲酯			
	高密度	低密度	纯聚丙烯	乙烯丙烯嵌段共聚	玻璃纤维增强	添加 CaCO <sub>3</sub> 等填充物	聚甲基丙烯酸甲酯	与苯乙烯共聚	与 $\alpha$ -甲基苯乙烯共聚	
屈服强度/MPa	22~30	7~19	37	36	78~90	16~185	80	63	35~63	
拉伸强度/MPa	27	7~16			78~90	16~175	80			
断裂伸长率/%	15~100	90~650	>200	>430	—	43	2~10	4~5	>15~50	
拉伸弹性模量/GPa	0.84~0.95	0.12~0.24	1.1~1.6		5.0~6.0		3.16	3.5	1.4~2.8	
弯曲强度/MPa	27~40	25	67	53	132	77	145	113~130	56~91	
弯曲弹性模量/GPa	1.1~1.4	0.11~0.24	1.45	1.23	4.5		2.56			
压缩强度/MPa	22		56	43	70	35	84~127	77~105	28~98	
剪切强度/MPa						190				
冲击韧性(无缺口) (简支梁式)	不断	不断	78	不断	51	56	23.7	悬臂缺口	0.64 (悬臂缺口)	
(缺口)/(kJ·m <sup>-2</sup> )	65.5	48	3.5~4.8	10	14.1	7.4	3	0.75~1.1 (悬臂缺口)		
布氏硬度 HB	2.07 邵 D60~70	邵 D41~46	8.65 R95~105	6.94	9.1	5.4	15.3	M70~85	R99~120	
表面电阻率/ $\Omega$										
体积电阻率/( $\Omega\cdot m$ )	$10^{13}\sim 10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$			$>10^{12}$	$>10^{12}$	$1.35\times 10^{13}$	
击穿电压/(kV·mm <sup>-1</sup> )	17.7~19.7	18.1~27.5	30	24			17.7~21.6	15.7~17.7	18.7	
介电常数(10 <sup>6</sup> Hz)	2.30~2.35	2.25~2.35	2.0~2.6				2.7~3.2	2.81	3.03	
介电损耗角正切 (10 <sup>6</sup> Hz)	$<0.0003$	$<0.0005$	0.001				0.02~0.03	0.019		
耐电弧性/s	150	135~160	125~185							

(续)

塑料性能	聚氯乙烯		聚苯乙烯			苯乙烯共聚			
	硬质	软质	一般型	抗冲型	20%~30% 玻璃纤维增强	ACS	AAS	ABS	改性聚苯乙烯 (丁苯橡胶改性)
屈服强度/MPa	35~50	10~24	35~63	14~48	77~106	36	36	50	33
拉伸强度/MPa	35~50		35~63	14~48	77~106	31	35	38	38
断裂伸长率/%	20~40	300	1.0	5.0	0.75	11	37	35	30.8
拉伸弹性模量/GPa	2.4~4.2		2.8~3.5	1.4~3.1	3.2		1.7~2.3	1.8	5.0~5.0
弯曲强度/MPa	≥90		61~98	35~70	70~119	47	59	80	56
弯曲弹性模量/GPa	0.05~0.09	0.006~0.012				1.34	1.7	1.4	1.8
压缩强度/MPa	68		80~112	28~63	84~112	44	46	53	72
剪切强度/MPa								24	
冲击初性(无缺口) (简支梁式) (缺口)/(kJ·m <sup>-2</sup> )	58		0.54~0.86 (悬臂缺口)	1.1~23.6 (悬臂缺口)	0.75~13 (悬臂缺口)	214	130	261	89
布氏硬度 HB	16.2 R110~120	邵 96(A)	M65~80	M20~80	M65~90	4.98	5.98	9.7 R121	9.8
表面电阻率/Ω						6.2×10 <sup>15</sup>	1.2×10	1.2×10 <sup>13</sup>	
体积电阻率/(Ω·m)	6.71×10 <sup>11</sup>	6.71×10 <sup>11</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	10 <sup>11</sup> ~10 <sup>15</sup>	2.55×10 <sup>14</sup>		6.9×10 <sup>14</sup>	
击穿电压/(kV·mm <sup>-1</sup> )	26.5	26.5	19.7~27.5			21.7			
介电常数(10 <sup>6</sup> Hz)	4.24	4.24	2.4~2.65	2.4~3.8	2.4~3.1	3.01		3.04	
介电损耗角正切 (10 <sup>6</sup> Hz)	0.0579	0.0579	0.00001 ~0.0004	0.0004 ~0.002	0.0005~ 0.005	0.0114		0.097	
耐电弧性/s			60~80	20~100	60~135			50~85	90

机 械 性 能

电 气 性 能





(续)

塑料性能	聚甲醛		聚四氟乙烯						聚苯醚	
	纯	聚四氟乙烯填充	纯	30% 玻璃纤维增强	聚四氟乙烯填充	聚芳醚	聚醚醚	纯	改性聚苯醚 (与聚苯乙烯共混)	
屈服强度/MPa	69	62	82	>103	77	98	104	87	82	
拉伸强度/MPa	60	45~50	58	>103	55	98	97	69	67	
断裂伸长率/%	55	59~72	30	0	28		26	14	55	
拉伸弹性模量/GPa	2.5		2.5	3.0	2.0		2.6	2.5	2.1	
弯曲强度/MPa	104	105	>120	>180	107	154	147	140	130	
弯曲弹性模量/GPa	1.8	2.1~2.8	2.0	3.1	1.8	2.1	2.1	2.0	1.7	
压缩强度/MPa	69	73~88	85	116	>60	127	113	103	93	
剪切强度/MPa	45		45	>45	>40			725		
冲击韧性(无缺口) (简支梁式)(缺口) (kJ·m <sup>-2</sup> )	202 15	88~90 13~16	430 20	46 10.1	270 10.9	102 17	480 18	100 13.5	310 27	
布氏硬度 HB	11.20 M78	12.5	12.7 M69、R120	14	12.8	14.0 M110	12.93	13.3 R118~123	13.5 R119	
表面电阻率/Ω			6.5 × 10 <sup>16</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>16</sup>	1.8 × 10 <sup>14</sup>	4.52 × 10 <sup>16</sup>	2.1 × 10 <sup>16</sup>	2.96 × 10 <sup>14</sup>	
体积电阻率/(Ω·m <sup>-1</sup> )	1.87 × 10 <sup>14</sup>		9.46 × 10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>14</sup>	1.1 × 10 <sup>15</sup>	6.14 × 10 <sup>14</sup>	2.0 × 10 <sup>15</sup>	3.8 × 10 <sup>14</sup>	
击穿电压/(kV·mm <sup>-1</sup> )	18.6		16.1	20	22	29.7		16~20.5		
介电常数(10 <sup>6</sup> Hz)	3.56		2.97			3.57	3.07	2.70	2.95	
介电损耗角正切 (10 <sup>6</sup> Hz)	7.8 × 10 <sup>-3</sup>		5.6 × 10 <sup>-3</sup>			8.2 × 10 <sup>-3</sup>	6.92 × 10 <sup>-3</sup>	1.33 × 10 <sup>-3</sup>	2.03 × 10 <sup>-3</sup>	
耐电弧性/s	129~140	129~140	122	122	122	67			75	

机械性能

电气性能

(续)

塑料性能	聚酰胺树脂											
	氯化聚醚		聚酚氧		尼龙1010		尼龙6		尼龙610			
	纯	改性氯化聚醚(与聚乙烯共混)	纯		纯	30%玻璃纤维增强	纯	30%玻璃纤维增强	纯	40%玻璃纤维增强	纯	40%玻璃纤维增强
屈服强度/MPa	32	34	68		62	174	70	164	75	210		
拉伸强度/MPa	26	26	48~53		54	174	62	164	56	210		
断裂伸长率/%	230	120	40~100		168	0	90~200	0	66	0		
拉伸弹性模量/GPa	1.1		2.7		1.8	8.7	2.6		2.3	11.4		
弯曲强度/MPa	49	41	137		88	208	96~	227	110	281		
弯曲弹性模量/GPa	0.9		2.4		1.3	4.6	2.3	7.5	1.8	6.5		
压缩强度/MPa	38	44	81		57	134	92	180	76	165		
剪切强度/MPa					42	59	59		42	93		
冲击韧性(无缺口) (简支梁式)(缺口) (kJ·m <sup>-2</sup> )	不断 10.7	38 7.7	220 13.4		不断 25.3	84 18	不断 11.8	80 15.5	82.6 15.2	103 38		
布氏硬度 HB	4.2 R100	3.9	10 R121		9.75	13.6	11.6 R85~114	14.5	9.52 R90~113	14.9		
表面电阻率/Ω	2.61×10 <sup>16</sup>		5.75×10 <sup>13</sup>		4.7×10 <sup>15</sup>	3.7×10 <sup>15</sup>	6.1×10 <sup>15</sup>	1.57×10 <sup>13</sup>	4.9×10 <sup>13</sup>	>10 <sup>13</sup>		
体积电阻率/(Ω·m)	1.56×10 <sup>14</sup>				1.5×10 <sup>13</sup>	6.7×10 <sup>13</sup>	1.7×10 <sup>14</sup>	4.77×10 <sup>13</sup>	3.7×10 <sup>14</sup>	>10 <sup>12</sup>		
击穿电压/(kV·mm <sup>-1</sup> )	16.4~20.2				20	>20	>20		15~25	23		
介电常数(10 <sup>6</sup> Hz)	3.1		3.69		3.1	2.73	3.4	3.43	2.98	3.1		
介电损耗角正切 (10 <sup>6</sup> Hz)	8.38×10 <sup>-3</sup>		4.9×10 <sup>-2</sup>		1.6×10 <sup>-2</sup>	2.7×10 <sup>-2</sup>	7.0×10 <sup>-2</sup>	1.59×10 <sup>-2</sup>	9.05×10 <sup>-3</sup>	1.7×10 <sup>-2</sup>		
耐电弧性/s												

机械性能

电气性能

(续)

塑料性能	聚酰胺树脂						含氟树脂			
	尼龙66	尼龙9	尼龙11	MC-尼龙	聚四氟乙烯	聚三氟氯乙烯	聚偏氯乙烯	聚四氟乙烯与六氟丙烯共聚		
屈服强度/MPa	89	55	54	97	14~25	32~40	46~49	20~25		
拉伸强度/MPa	74	38	42	84						
断裂伸长率/%	28	75	80	36	25~35	30~190	30~300	250~370		
拉伸弹性模量/GPa	1.2~2.8	6.0~12.6	1.4	3.6	0.4	1.1~1.3	0.8	0.3		
弯曲强度/MPa	126	90	101	134	11~14	55~70				
弯曲性能模量/GPa	2.8	1.3	1.6	4.2	12 42(1%变形)	1.3~1.8	1.4			
压缩强度/MPa	71~98	60	51	98		32~52	70			
剪切强度/MPa	67	50	40			38~42				
冲击韧性(无缺口) (简支梁式) (缺口)/(kJ·m <sup>-2</sup> )	49 6.5	不断	56 15	不断	不断 16.4	13~17	160 20.3	不断		
布氏硬度 HB	12.2 R100~118	8.31 M94	7.5 R100	12.5 R91	R58 邵 D50~65	9~13 邵 D74~78	邵 D80	R25		
表面电阻率/Ω	3.1×10 <sup>13</sup>	3.06×10 <sup>14</sup>	3.1×10 <sup>14</sup>	9.3×10 <sup>14</sup>	>10 <sup>17</sup>	>10 <sup>16</sup>				
体积电阻率/(Ω·m)	4.2×10 <sup>12</sup>	4.44×10 <sup>13</sup>	1.6×10 <sup>13</sup>	3×10 <sup>13</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>15</sup>	2×10 <sup>12</sup>	0.94~2.1 ×10 <sup>16</sup>		
击穿电压/(kV·mm <sup>-1</sup> )	>15	>15	>15	19.1	25~40	19.7	10.2	40		
介电常数(10 <sup>6</sup> Hz)	4	3.1	3.7	3.7(60赫)	2.0~2.2	2.3~2.7		2.1		
介电损耗角正切 (10 <sup>6</sup> Hz)	4×10 <sup>-3</sup>	2.49×10 <sup>-2</sup>	6×10 <sup>-2</sup>	2×10 <sup>-2</sup>	0.0002 (60Hz)	0.0012 (60Hz)	0.049 (60Hz)	0.0007		
耐电弧性/s					>200	360	50~70	>165		

表 18.1.1.3-2 热塑性塑料的物理、热性能

塑料性能	聚乙烯		聚丙烯			聚甲基丙烯酸甲酯			
	高密度	低密度	纯聚丙烯	乙烷、丙烯嵌段共聚	玻璃纤维增强	添加 CaCO <sub>3</sub> 等填充物	聚甲基丙烯酸甲酯	与苯乙炔共聚	与 $\alpha$ -甲基苯乙炔共聚
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.941~0.965	0.910~0.925	0.90~0.91	0.91			1.17~1.20	1.12~1.16	1.16
比容/(m <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	1.03~1.06	1.08~1.10	1.10~1.11	1.10			0.83~0.84	0.86~0.89	0.86
吸水率 <sup>24h</sup> 长期/%	<0.01	<0.01	0.01~0.03 浸水 18d0.5		0.05 —		0.3~0.4	0.2	0.2
折射率(或折光指数)/%(或 n <sub>D</sub> )	1.54	1.51	—				n <sub>D</sub> 1.41	—	
透光率或透明度/%	不透明	半透明	半透明				90~92	90	
摩擦系数	0.23	0.4	聚丙烯/钢 0.34 (无润滑) 聚丙烯/铜 0.16 (油润滑)				0.4~0.5	Taber 法 5.5(mm /1000 转)	
玻璃化温度/℃	-120~-125	-120~-125	-18~-10				105		
熔点(或粘流温度)/℃	105~137	105~125	170~176	160~170	170~180	160~170	160~200		
熔融指数(MFI) /[g(10min) <sup>-1</sup> ]	190℃ 负荷 21N 喷嘴 φ2.09 0.37	0.3~17.0	230℃ 负荷 21N φ2.09 2.03~8.69	1.0~4.0	1.5~2.5		200℃ 负荷 50N 喷嘴 φ2.09 1.07		
维卡针入度/℃	121~127		140~150	105				≥110	
马丁耐热/℃	—	—	—	<60	65		68	<60	
热变形温度/℃ (45N/cm <sup>2</sup> ) (180N/cm <sup>2</sup> )	60~82 48	38~49	102~115 56~67		127		74~109 68~99	85~99	127~131 108~112
线膨胀系数 /(10 <sup>-5</sup> ×C <sup>-1</sup> )	11~13	16~18	9.8		4.9		5~9	6~8	5.4
计算收缩率/%	1.5~3.0	1.5~5.0	1.0~3.0		0.4~0.8	0.5~1.5	0.5~0.7		
比热容 /(J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	2310	2310	1930	2100			1470		
导热系数 /(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	0.490	0.335	0.118	0.126			0.210	0.147	
燃烧性/(cm·min <sup>-1</sup> )	很慢	很慢	慢	慢			慢	慢	慢

(续)

塑料性能	聚氯乙 烯		聚 苯 乙 烯		苯乙烯共聚树脂				
	硬质	软质	一般型	抗冲型	20%~30% 玻璃纤维增强	ACS	AAS	ABS	ABS玻璃 纤维增强
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.35~1.45	1.16~1.35	1.04~1.06	0.98~1.10	1.20~1.33	1.07~1.10	1.05~1.12	1.02~1.16	1.20~1.38
比容/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	0.69~0.74	0.74~0.86	0.94~0.96	0.91~1.02	0.75~0.83	0.91~0.93	0.89~0.95	0.86~0.98	0.72~0.83
吸水率 <sup>24h</sup> 长期/%	0.07~0.4	0.15~0.75	0.03~0.05	0.1~0.3	0.05~0.07	0.20~0.30	0.5	0.2~0.4	0.1~0.7
折射率(或折光 指数)/(或 n <sub>D</sub> )	n <sub>D</sub> 1.52~1.55		n <sub>D</sub> 1.59~1.60 88~92	n <sub>D</sub> 1.57	—	—	—	—	—
透光率或透明度/%	透明	透明	透明	透明	不透明	不透明	不透明	不透明	不透明
摩擦系数	0.45~0.60	负荷10N 1000 转磨痕量 15~17mg	0.35~0.45	0.5				0.45	0.45
玻璃化温度/℃	87		100						
熔点(或粘流温度)/℃	160~212	110~160	131~165			200	200	130~160	
熔融指数 /[g(10min) <sup>-1</sup> ]			190℃ 负荷 50N, 喷嘴φ2.09 23.9					200℃ 负荷 50N, 喷嘴φ2.09 0.41~0.82	
维卡针入度/℃						93~94	90	71~122	
马丁耐热/℃	65	<60	70	70				63	
热变形温度/℃ (45N/cm <sup>2</sup> ) (180N/cm <sup>2</sup> )	67~82 54		65~96	64~92.5	82~112	85~100	106~108 80~102	90~108 83~103	116~121 112~116
线膨胀系数 /(10 <sup>-5</sup> ×℃ <sup>-1</sup> )	5.0~18.5	7.0~25	6~8	3.4~21	3.4~6.8	6.8	8~11	7.0	2.8
计算收缩率/%	0.6~1.0	1.5~2.5	0.5~0.6	0.3~0.6	0.3~0.5	0.4~1.0	0.4~1.0	0.4~0.7	0.1~0.2
比热容 /(J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	1260	1680	1340	1400	1000	1180	1470	1470	
导热系数 /(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	0.210	0.147	0.120	0.084	0.163	0.122	0.263	0.263	0.263
燃烧性/(cm·min <sup>-1</sup> )	自熄	自熄	慢	慢	慢	慢	慢	慢	慢

(续)

塑料性能	聚对苯二甲酸乙二醇酯		纤维素			聚碳酸酯			改性聚碳酸酯	
	纯	玻璃纤维增强	乙基纤维素	醋酸纤维素	硝酸纤维素	纯	20%~30%长玻璃纤维	20%~30%短玻璃纤维	与高密度聚乙烯共混	与ABS共混
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.32~1.37	1.63~1.70	1.09~1.17	1.23~1.34	1.35~1.40	1.20	1.35~1.50	1.34~1.35	1.18	1.15
比容/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	0.73~0.76	0.59~0.61	0.85~0.92	0.75~0.81	0.71~0.74	0.83	0.67~0.74	0.74~0.75	0.85	0.87
吸水率 24h 长时期/%	0.26		0.8~1.8	1.9~6.5	1.0~2.0	23℃ 50%RH 0.15 23℃ 浸水中 0.35	23℃ 50%RH 0.09~0.15 23℃ 浸水中 0.2~0.4	0.09~0.15 0.2~0.4	0.15	0.15
折射率(或折光 指数)/%(或 n <sub>D</sub> )			n <sub>D</sub> 1.47	n <sub>D</sub> 1.46~1.50	n <sub>D</sub> 1.49~1.51	25℃ n <sub>D</sub> 1.586	—	—	—	—
透光率或透明度/%										
摩擦系数	阿姆斯勒 试验 μ=0.27 b=2.5	0.54				阿姆斯勒试验 μ=0.37 b=16.0 PC/PC 0.24 (速度 1cm/s) PC/不锈钢 0.73(速度 1cm/s)				
玻璃化温度/℃	69				53	149				
熔点(或粘流温度) /℃	255~260		165~185			225~250 (267)	245~250	235~245	225~240	220~240
熔融指数 /[g(10min) <sup>-1</sup> ]										
维卡针入度/℃										
马丁耐热/℃	82	150~178				150~162				
热变形温度/℃ (45N/cm <sup>2</sup> ) (180N/cm <sup>2</sup> )	115 85	240	46~88	49~76 44~88	60~71	132~141 132~138	146~157 143~149	146~149 140~145		
线膨胀系数 /(10 <sup>-5</sup> ×℃ <sup>-1</sup> )	6.0	2.5	10~20	8~16	8~12	6	2.13~5.16	3.2~4.8		
计算收缩率/%	1.8	0.2~1.0	0.2~0.5	0.2~0.5		0.5~0.7	0.05~0.4	0.05~0.5		
比热容 /(J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	2200	1800	2200	1680	1480	1220	840	840	1500	1900
导热系数 /(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	0.250	0.270	0.227	0.252	0.231	0.193	0.290	0.218		
燃烧性/(cm·min <sup>-1</sup> )	慢	慢	快	快	快	自燃	自燃	自燃	慢	慢

物理性能

热性能

(续)

塑料性能	聚 甲 醛			聚 苯 砜					聚 苯 醚	
	纯	聚四氟乙烯填充	纯	30%玻璃纤维增强	聚四氟乙烯填充	聚芳砜	聚醚砜	纯	改性聚苯醚 (与聚苯乙 烯共聚)	
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.41	1.52	1.24	1.34~1.40	1.34	1.37	1.36	1.06~1.07	1.06	
比容/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	0.71	0.66	0.80	0.71~0.75	0.75	0.73	0.73	0.93~0.94	0.94	
吸水率 24h 长期/%	0.12~0.15 0.8	0.06~0.15 0.55	0.12~0.22 23℃ 28d 0.62	<0.1	<0.1	1.8	0.43	24h 0.06 23℃ 水中长期 0.14	0.06 0.11	
折射率(或折光 指数)/%(或 n <sub>D</sub> )	—	—	n <sub>D</sub> 1.63	—	—	n <sub>D</sub> 1.67	n <sub>D</sub> 1.65	—	—	
透光率或透明度/%	—	—	透明	—	—	—	—	—	不透明	
摩擦系数	阿姆斯勒试验 μ=0.31, b=6.0 负荷 28N/cm <sup>2</sup> 动 0.14, 静 0.21 POM/PCM 0.2~0.4 POM/钢 0.1~0.2	负 荷 28N/cm <sup>2</sup> 动 0.07~0.12 静 0.15~0.18	阿姆斯勒试验 μ=0.46, b=16.0 聚砜/聚砜 0.67 聚砜/不锈钢 0.40	—	阿姆斯勒试验 μ=0.15~0.16 b=5.5~6.0	—	—	阿姆斯勒试验 μ=0.36, b=11.5 PPO/PPO 0.18~0.23 磨损(CS17, 1000转)17mg	PPO/PPO 0.24~0.30 磨损(CS-17, 1000转) 20mg	
玻璃化温度/℃	~50	—	190	—	—	288	230	190~220	—	
熔点(或粘流温度)/℃	180~200	—	250~280	—	—	—	—	300	—	
熔融指数 /[g(10min) <sup>-1</sup> ]	190℃负荷 21N φ2.09 2.71~16.9	—	n <sub>1p</sub> 0.5~0.6	—	—	—	—	—	—	
维卡针入度/℃	152~160	—	173	180	170	182	183	217	120	
马丁耐热/℃	≤60	<60	156	177~200	157	182	183	120~140	120	
热变形温度/℃ (45N/cm <sup>2</sup> ) (180N/cm <sup>2</sup> )	158~174 110~157	160~165 100	182 174	191 185	160~165 100	—	274	180~204 175~193	190	
线膨胀系数 /(10 <sup>-5</sup> ×℃ <sup>-1</sup> )	10.7	8.0~9.6	3.5	2.85	4.2~5.8	—	2.6	5.2~6.6	6.7	
计算收缩率/%	1.5~3.0	2.0~2.5	0.5~0.6	0.3~0.4	0.5~0.6	0.5~0.8	0.8	0.4~0.7	0.5~0.7	
比热容 /(J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	1470	—	1300	—	—	—	1100	—	1340	
导热系数 /(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	0.231	0.203	0.118	0.319	—	0.190	0.160	0.195	0.217	
燃烧性/(cm·min <sup>-1</sup> )	2.54	2.0	自熄	自熄	自熄	自熄	自熄	12.7自熄	自熄	

物理性能

热性能



(续)

塑料性能	聚酰胺树脂											
	氯化聚醚		聚酚氧		尼龙 1010			尼龙 6		尼龙 610		
	纯	改性氯化聚醚(与聚乙烯共混)	纯		纯	30% 玻纤增强	纯	30% 玻纤增强	纯	40% 玻纤增强		
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.4~1.41		1.17		1.04	1.19~1.30	1.10~1.15	1.21~1.35	1.07~1.13			
比容/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	0.71		0.85		0.96	0.77~0.84	0.87~0.91	0.74~0.83	0.88~0.93			
吸水率 <sup>24h</sup> 长期/%	<0.01		0.13		24h 0.2~0.4 23℃水中长期 0.5~1.7	0.4~1.0	1.6~3.0	0.9~1.3	0.4~0.5			
折射率(或折光指数)/(或 n <sub>D</sub> )	n <sub>D</sub> 1.586											
透光率或透明度/%	80~87		透明至不透明		半透明	不透明	半透明	不透明	半透明			不透明
摩擦系数	润滑油 0.843		阿姆斯勒试验 μ=0.45 b=23.5		阿姆斯勒试验 μ=0.50 b=6.0		负荷 28 N/cm <sup>2</sup> 动 0.22 静 0.26					
玻璃化温度/℃	74						50		40			
熔点(或粘流温度)/℃	178~182				2.05		210~225		215~225			
熔融指数 /[g(10min) <sup>-1</sup> ]	230℃, 负荷 21N φ2.09 3.2~14.7	3.28			215℃ 负荷 50N 喷嘴 φ1.18 3.19~7.18		230℃ 负荷 50N φ1.18 1.18~8.94					
维卡针入度/℃	165				190		160~180		195~205			
马丁耐热/℃	72		71		<60	172	<60	190	<60			185
热变形温度/℃ (45N/cm <sup>2</sup> ) (180N/cm <sup>2</sup> )	141 100		92 86		148 55		140~176 80~120	216~264 204~259	149~185 57~100			215~226 200~225
线膨胀系数 /(10 <sup>-5</sup> ×℃ <sup>-1</sup> )	12		3.2~3.8		10	1.3~1.8	7.9	1.95	12			
计算收缩率/%	0.4~0.8	0.5~1.0	0.3~0.4		1.3~2.3 (纵向) 0.7~1.7 (横向)	0.3~0.6	0.6~1.4	0.3~0.7	1.0~2.0			0.2~0.6
比热容 /(J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )			1680		1050		1680	1870	1700			1470
导热系数 /(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	0.130		0.176		0.125		0.243	0.353	0.223			0.370
燃烧性/(cm·min <sup>-1</sup> )	自熄	自熄	自熄		自熄	自熄	自熄	自熄	自熄			自熄

热性能

物理性能

(续)

塑料性能	聚酰胺树脂				含氟树脂			
	尼龙66	尼龙9	尼龙11	MC-尼龙 碱聚合浇 铸尼龙	聚四氟乙烯	聚三氟氯乙烯	聚偏氟乙烯	四氟乙烯与 六氟丙烯共聚
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.10	1.05	1.04	1.14	2.1~2.2	2.11~2.3	1.76	2.14~2.17
比容/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	0.91	0.95	0.96	0.88	0.45~0.48	0.43~0.47	0.57	0.46~0.47
吸水率 24h 长期/%	0.9~1.6 7~10.0	0.15 1.2	0.5 0.6~1.2	0.8~1.14 5.5	0.005	0.005	0.04	0.005
折射率(或折光 指数)/%(或n <sub>D</sub> )								
透光率或透明度/%		半透明	半透明	不透明			透明-半透明	
摩擦系数	负荷28N/cm <sup>2</sup> 动0.24,静0.26 尼龙66/尼龙66 0.11~0.19 (无润滑)		0.17	0.45	对钢:动50~65 静0.04 阿姆斯勒试验 μ=0.13 b=14.5 聚四氟乙烯/ 聚四氟乙烯 0.04		对钢 0.14~0.17 磨损(5N) 17.6 (mg/1000转)	
玻璃化温度/℃	47				-126	45		
熔点(或粘流温度)/℃	250~265	210~215	186~190	235~250	327	260~280	204~285	265~278
熔融指数 /[g(10min) <sup>-1</sup> ]		25℃ 50N φ1.0 1.73						5.5~8.0
维卡针入度/℃	220~257	240~247	173~178					
马丁耐热/℃		190	<60	60~90				
热变形温度/℃ (450N/cm <sup>2</sup> ) (180N/cm <sup>2</sup> )	149~176 82~121	262~265 245~262	68~150 47~55	204~218 149~218	121~126 120	130 75	150 90	
线膨胀系数 /(10 <sup>-5</sup> ×℃ <sup>-1</sup> )	7.1~8.9	2.5	11	5~8	10~12	4.5~7.0	15.3	
计算收缩率/%	1.5	0.2~0.8	1.0~2.0		3.1~7.7	1~2.5	2.0	
比热容 /(J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	1680	1260	1260		1050	920	1400	1170
导热系数 /(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	0.247	0.479	0.273		0.252	0.210	0.126	0.252
燃烧性/(cm·min <sup>-1</sup> )	自燃	自燃	自燃		不燃	不燃	自燃	不燃

表 18.1.1.3-3 热塑性塑料的化学性能

塑料性能	聚乙烯		聚丙烯		聚甲基丙烯酸酯	
	高密度	低密度	纯聚丙烯	乙稀丙烯嵌段共聚	玻璃纤维增强	添加 CaCO <sub>3</sub> 等填充物
日光及气候影响	在大气中会被紫外线破坏, 若加入 2.0~2.5% 炭黑及稳定剂, 能改善抗大气老化性能		不含稳定剂时表面迅速变色、发脆, 若添加抗氧化剂时会改善其抗大气老化性能		能透过紫外光达 73.5%, 有一定的耐候性	
	不耐氧化性酸		60℃ 以下中等浓度的酸类无影响, 强酸及高浓度氧化剂能引起破坏, 对水和无机盐溶液稳定		除强氧化酸外, 对酸、盐、水均稳定	
	耐碱类化合物		对碱类稳定		除对强碱有侵蚀外, 对弱碱较为稳定	
	对动、植物油, 矿物油溶解, 随温度提高更甚		对多数油类中稳定, 能吸收极少量矿物油、植物油		对动、植物油, 矿物油稳定	
耐有机溶剂性	脂肪烃、芳香烃、酮类、醇类、酯类增塑剂等有机溶剂会加速聚乙烯应力开裂		室温下不溶于有机溶剂, 超过 80℃ 能溶于苯、甲苯等芳香烃及氯化烃中, 与溶剂长期接触不产生脆裂		对芳香族、氯化烃等有机化合物能溶解, 醇类脂肪族无影响	
塑料性能	聚氯乙稀		聚苯乙烯		苯乙烯共聚	
	硬质	软质	一般型	抗冲型	AAS	ABS ABS ABS 玻纤增强
日光及气候影响	对紫外线敏感		受阳光的作用会变黄, 变色的程度取决于聚合物中存在杂质含量		耐候性要比聚苯乙烯强, 加黑色颜料的苯乙烯共聚物经户外大气侵蚀二年, 其外观和性能基本不变	
耐酸性及对盐溶液的稳定性	对大多数无机酸和盐类水溶液稳定, 但对强酸略有侵蚀		能耐有机酸、盐等水溶液		对酸、水、无机盐几乎完全没有影响, 在冰醋酸中会引起应力开裂	
耐碱性	对强碱侵蚀, 弱碱稳定		对碱类化合物稳定		耐碱类性能优良	
耐油性	对各种油类稳定		影响表面及颜色		对某些植物油会引起应力开裂	
耐有机溶剂性	可溶解于酮类和其他芳香族溶剂。通常增塑剂加入会使聚氯乙稀制品侵蚀和萃取		受许多烃类、酮类高级脂肪族的侵蚀而软化或溶解, 对醇类稳定		在酮、醛、酯以及有些氯化烃中要溶解, 长期接触烃类会软化和溶胀	

(续)

塑料性能	聚对苯二甲酸乙二醇酯		纤维素		聚碳酸酯		改性聚碳酸酯	
	纯	玻璃纤维增强	乙基纤维素	醋酸纤维素	硝酸纤维素	纯	20%~30%长玻璃纤维增强	与低压聚乙烯共混
化学性能	日光及气候影响	在大气中缓慢老化	大气中易老化		日光照射微脆化, 经玻璃纤维增强后紫外线影响减弱		日光照射微脆化	
	耐酸性及对盐溶液的稳定性	对大多数的浓无机酸侵蚀, 对弱无机酸稳定。在热水中有水解作用	强酸侵蚀, 弱酸稳定		对稀无机酸、有机酸、盐溶液和水稳定, 强酸、氧化剂有破坏作用, 在大于60℃水中发生水解作用		对稀无机酸、有机酸、盐溶液和水稳定, 不耐强酸, 氧化剂	
	耐碱性	不耐强碱, 耐弱碱	强碱弱碱均稳定		强碱影响较轻, 强碱溶液、氨和胺类能引起腐蚀或分解		弱碱影响较轻, 胺类强碱溶液要引起腐蚀	
	耐油性	对油类稳定	在油类中稳定		对动、植物油和多数烃油及其酯类稳定, 含有极性溶剂的某些矿物油类有影响		对动、植物油和多数烃油及酯类稳定	
	耐有机溶剂性	能耐多种有机溶剂如氯化烃、芳香烃等	在芳香烃、脂肪烃中稳定可溶解在氯代烃中		溶于氯化烃和部分酮、酯及芳香烃中, 不溶于脂肪族碳氢化合物、醚和醇类		溶于氯化烃、酮、酯及芳香烃中, 可对醇、醚、脂肪族稳定	
化学性能	塑料性能	聚 甲 醛	聚 砜		聚 苯 醚		聚 苯 醚	
		纯	聚四氧乙烯填充	30% 玻璃纤维增强	聚四氧乙 烯填充	聚芳砜	聚醚砜	纯
	日光及气候影响	长期暴露于紫外线辐射下冲击强度显著下降, 表面粉化、龟裂、机械强度下降	抗氧性优异, 不耐强辐射紫外线, 较长期照射后冲击强度将有明显下降		除浓硝酸、硫酸外, 对其它强和弱的无机酸、有机酸、盐和水均稳定		对紫外线不稳定, 在阳光中长期暴露表面颜色变深	
	耐酸性及对盐溶液的稳定性	有机酸、盐溶液和水无影响, 强酸、强氧化剂, 耐蚀性较差	在强微、弱碱中稳定		弱碱无影响, 强碱长时间作用能引起缓慢分解		对水、强和弱的无机酸和有机酸稳定, 盐溶液、水无影响	
	耐碱性	强和弱碱均无影响, 长期作用后微有侵蚀	对一般烃油稳定, 含有极性的某些矿物油类有影响		不耐汽油, 在汽油中会发生开裂		弱碱无影响, 强碱长时间作用能引起缓慢分解	
耐油性	耐各种油类、酯类, 性能稳定	在酯和酮类中会发生溶胀且有部分溶解, 并溶于氯化烃和芳香烃中		溶于氯化烃、芳香烃中, 不溶于脂肪族、醚和醇类		溶于氯化烃、芳香烃中, 不溶于脂肪族、醚和醇类		

(续)

塑料性能	氯化聚醚		聚酚氧		聚酰胺树脂				
	纯	改性氯化聚醚 (与聚乙烯共混)	纯	纯	尼龙1010 30% 玻纤增强	尼龙6 30% 玻纤增强	尼龙610 40% 玻纤增强	纯	纯
化学性能	日光及气候影响	日光照射后, 延伸率明显下降	不耐紫外线长期照射	不耐紫外线长期照射	在阳光暴晒半年后, 其物理机械性能特别是冲击韧性和延伸率, 将明显下降; 若添加抗氧剂及紫外线或加炭黑, 其耐日光照射性能将有明显改善				
	耐酸性及对盐溶液的稳定性	除强氧化剂如浓硝酸、双氧水、发烟硫酸在较高温度下引起腐蚀外, 其它均好	耐稀酸, 盐溶液稳定, 不耐强氧化酸	耐稀酸, 盐溶液稳定, 不耐强氧化酸	能被硫酸、甲酸、乙酸等溶解或部分溶解, 能被硝酸、盐酸所水解; 在常温下某些盐类如氯化钙饱和的甲醇溶液和强氧化剂引起破坏				
	耐碱性	在较高温度下可耐各种碱类	弱碱稳定, 不耐强碱、胺类化合物	弱碱稳定, 不耐强碱、胺类化合物	能耐各种浓度的碱				
	耐油性	对汽油、松节油稳定	对油类稳定	对油类稳定	对各种动、植物油和矿物油类, 有很好的稳定性				
	耐有机溶剂性	脂肪烃、芳香烃、醇类稳定, 丙酮, 酯类及苯胺有影响	耐溶剂性能差, 对脂肪烃稳定	耐溶剂性能差, 对脂肪烃稳定	不受醇、酯、醚、胺、酮等的影响, 可在高温下, 尼龙溶解于乙二醇、冰醋酸、氯乙醇、丙二醇、1, 5-戊二醇、三氯乙烯和氯化锌的甲醇溶液, 能溶于高极性物质如苯酚、甲酚中				
化学性能	塑料性能	聚酰胺树脂		含氟树脂				四氯乙烯与六氟丙烯共聚	
		尼龙66 30%玻纤增强	尼龙9 纯	尼龙11 纯	MC-尼龙 浇铸尼龙	聚三氟氯乙烯	聚偏氯乙烯	四氯乙烯与六氟丙烯共聚	
	日光及气候影响	在阳光暴晒半年后, 其物理机械性能特别是冲击韧性和延伸率将明显下降; 若添加抗氧剂及紫外线或加炭黑, 其耐日光照射性能将有明显改善	在阳光暴晒半年后, 其物理机械性能特别是冲击韧性和延伸率将明显下降; 若添加抗氧剂及紫外线或加炭黑, 其耐日光照射性能将有明显改善	在阳光暴晒半年后, 其物理机械性能特别是冲击韧性和延伸率将明显下降; 若添加抗氧剂及紫外线或加炭黑, 其耐日光照射性能将有明显改善	能耐紫外线, 可耐辐射性能较差, 当 $\gamma$ 射线辐照后变脆, 当辐照剂量达 $2.58 \times 10^4 \text{C/kg}$ 时, 就分解成粉末				
	耐酸性及对盐溶液的稳定性	能被硫酸、甲酸、乙酸等溶解或部分溶解, 能被硝酸、盐酸所水解; 在常温下某些盐类如氯化钙饱和的甲醇溶液和强氧化剂引起破坏	能被硫酸、甲酸、乙酸等溶解或部分溶解, 能被硝酸、盐酸所水解; 在常温下某些盐类如氯化钙饱和的甲醇溶液和强氧化剂引起破坏	能被硫酸、甲酸、乙酸等溶解或部分溶解, 能被硝酸、盐酸所水解; 在常温下某些盐类如氯化钙饱和的甲醇溶液和强氧化剂引起破坏	高温下浓酸、稀酸或强氧化剂不起作用, 仅发现与熔融碱金属起作用				
	耐碱性	能耐各种浓度的碱	能耐各种浓度的碱	能耐各种浓度的碱	浓碱、稀碱均无影响				
耐油性	对各种动、植物油和矿物油类, 有很好的稳定性	对各种动、植物油和矿物油类, 有很好的稳定性	对各种动、植物油和矿物油类, 有很好的稳定性	矿物油、润滑油、石蜡均无影响					
耐有机溶剂性	不受醇、酯、醚、胺、酮等的影响, 可在高温下, 尼龙溶解于乙二醇、冰醋酸、氯乙醇、丙二醇、1, 5-戊二醇、三氯乙烯和氯化锌的甲醇溶液, 能溶于高极性物质如苯酚、甲酚中	不受醇、酯、醚、胺、酮等的影响, 可在高温下, 尼龙溶解于乙二醇、冰醋酸、氯乙醇、丙二醇、1, 5-戊二醇、三氯乙烯和氯化锌的甲醇溶液, 能溶于高极性物质如苯酚、甲酚中	不受醇、酯、醚、胺、酮等的影响, 可在高温下, 尼龙溶解于乙二醇、冰醋酸、氯乙醇、丙二醇、1, 5-戊二醇、三氯乙烯和氯化锌的甲醇溶液, 能溶于高极性物质如苯酚、甲酚中	任何有机溶剂均无影响					

表 18.1.1-4 热固性塑料性能

表 18.1.4-1 热固性塑料的力学、电学性能

塑料性能	酚 醛 树 脂				脲 醛 树 脂		蜜 胺 树 脂		呋 喃 树 脂		有 机 硅 树 脂	
	无 填 料	木 粉 填 充	石 棉 填 充	玻 纤 填 充	$\alpha$ -纤 维 素 填 充	无 填 料	$\alpha$ -纤 维 素 填 充	石 棉 填 充	浇 铸 (软 质)	玻 纤 填 充		
拉伸强度/MPa	49~56	35~63	31~52	35~126	38~91		49~91	21~31	2.4~7.0	28~45		
断裂伸长率/%	1.0~1.5	0.4~0.8	0.2~0.5	0.2	0.5~1.0		0.6~0.9		100~10000			
拉伸弹性模量/GPa	5.2~7.0	5.6~11.9	7.0~21.0	13.3~23.1	7.0~10.5		8.4~9.8	11.0	63			
弯曲强度/MPa	84.0~105.0	49.0~98.0	49.0~98.0	70.0~420.0	70.0~126.0	77.0~84.0	70.0~112.0	4.2~63.0		70.0~98.0		
弯曲弹性模量/GPa		7.0~8.4	7.0~15.4	14.0~23.1	9.1~11.2		7.7			7.0~17.5		
压缩强度/MPa	70.0~210.0	154~252	140~245	112~490	175~315	280~315	280~315	70~91	0.7	70.0~98.0		
剪切强度/MPa		13~15	13~20	30								
冲击强度悬臂梁 (缺口) / (J·m <sup>-1</sup> )	10.6~19.2	12.8~32.0	13.8~186.8	16.0~960	13.3~21.3		12.8~18.6			16.0~427		
硬度 (洛氏)	M124~128	M100~115	M105~115	E54~101	M110~120		M115~125	R110	15~65 (肖氏 A)	M80~90		
表面电阻率/ $\Omega$	$10^{10} \sim 10^{12}$	$10^9 \sim 10^{12}$	$10^8 \sim 10^{12}$	$10^9 \sim 10^{12}$								
体积电阻率 / ( $\Omega \cdot m^{-1}$ )	$10^9 \sim 10^{10}$	$10^7 \sim 10^{11}$	$10^3 \sim 10^{11}$	$10^{10} \sim 10^{11}$	$10^{10} \sim 10^{11}$		$0.8 \sim 2.0 \times 10^{10}$		$10^{12} \sim 10^{13}$	$10^{12}$		
介电强度/(kV·mm <sup>-1</sup> )	11.8~15.7	10.2~15.7	7.8~14.2	5.5~15.7	11.8~15.7		10.6~11.8		21.6	7.8~15.7		
介电常数 (60Hz)	5.0~6.5	5.0~13.0	5.0~20.0	5.0~7.1	7.0~9.5		7.9~9.5		2.7~4.2	3.3~5.0		
介电损耗角正切 (60Hz)	0.06~0.10	0.05~0.30	0.05~0.20	0.04~0.05	0.035~0.043		0.030~0.083		0.001~0.025	0.004~0.030		
耐电弧性/s			10~190	4~190	80~150	100~145	110~140		115~130	200~250		







(续)

塑料性能	不饱和聚酯				聚酰亚胺				聚氨脂
	浇铸(硬)	浇铸(软)	玻璃纤维填充	碳纤维填充	F <sub>4</sub> 改性	石墨填充	玻纤填充	包封级	
拉伸强度/MPa	42~91	3.5~21	100~210	210~350	35	40	189	18	纯
断裂伸长率/%	<5.0	40~310	0.5~5.0	0.5~2.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	100~1000
拉伸弹性模量/GPa	2.1~4.5		5.6~14.0	10.5~31.5			20.0		
弯曲强度/MPa	59.5~161.0		70.0~280.0	280~560	49.7	89.6	346.5	70.0	4.9~31.5
弯曲弹性模量/GPa			7.0~21.0		2.7	6.3	22.7	4.3	0.07~0.70
压缩强度/MPa	91.0~210		105~210	175~350	140	140	227.5	67.9	140
冲击强度悬臂梁 (缺口) /J·m <sup>-1</sup>	10.6~21.3	>370	106~1060	266~1600	13.3	13.3	907	40.5	1334
硬度(洛氏)	M70~115	84~94 (肖氏D)	50~80 (巴氏)	60~80 (巴氏)	M115	M110	M120	50(肖氏D)	10A~90D (肖氏)
体积电阻率/Ω·m	10 <sup>13</sup>		10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	2×10 <sup>14</sup>	10 <sup>8</sup>	5×10 <sup>13</sup>	8×10 <sup>12</sup>	2×10 <sup>9</sup> ~10 <sup>13</sup>
介电强度/kV·mm <sup>-1</sup>	14.9~19.6	9.8~15.7	13.7~19.6	13.5~19.6	14.9		19.6	28.5	11.8~19.6
介电常数(60Hz)	3.0~4.3	4.4~8.1	3.8~6.0	4.1~5.5			4.8		4.0~7.5
介电损耗角正切 (60Hz)	0.003~0.028	0.026~0.310	0.01~0.04	0.01~0.04	0.002		0.003		0.050~0.060
耐电弧性/s	125	135	120~180	60~120					

力学性能

电学性能

表 18.1.4-2 热固性塑料的物理化学性能

塑料性能	酚醛树脂				脲醛树脂		蜜胺树脂		呋喃树脂	有机硅树脂	
	无填料	木粉填充	石棉填充	玻纤填充	$\alpha$ -纤维素填充	无填料	$\alpha$ -纤维素填充	无填料	$\alpha$ -纤维素填充	石棉填充	浇铸(软质)
密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	1.25~1.30	1.34~1.45	1.45~2.00	1.69~1.95	1.47~1.52	1.48	1.47~1.52	1.47~1.52	1.75	0.99~1.50	1.80~1.90
比容/ $(\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1})$	0.80~0.77	0.75~0.69	0.69~0.50	0.59~0.51	0.68~0.66	0.67	0.68~0.66	0.57	0.57	1.01~0.67	0.55~0.53
吸水率 <sup>24h</sup> / <sub>长期</sub> /%	0.1~0.2	0.3~1.2	0.1~0.5	0.03~1.20	0.4~0.8	0.3~0.5	0.1~0.6	0.01~0.20		7天, 0.12	0.2
热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$ (180N/cm <sup>2</sup> )	115~126	148~187	148~260	150~310	126~140	147	176~187				480
线膨胀系数/ $(10^{-5}\times^{\circ}\text{C}^{-1})$	2.5~6.0	3.0~4.5	0.8~4.0	0.8~2.0	2.2~3.6		4.0			8.0~30.0	2.0~5.0
成型收缩率/%	1.0~1.2	0.4~0.9	0.2~0.9	0.0~0.4	0.6~1.4	1.1~1.2	0.5~1.5			0.00~0.6	0.0~0.5
比热容/ $(\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	1680	1510	1260	1070	1680		1680				840
导热系数/ $(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	0.189	0.256	0.546	0.478	0.357		0.357			0.231	0.336
燃烧性/ $(\text{cm}\cdot\text{min}^{-1})$	极慢	极慢	0.80	1.60	自熄	自熄	不燃	慢燃	耐	自熄	慢燃
有机溶剂	尚耐				无至轻微	无	无	耐	耐	溶胀	侵蚀
弱酸	无至极微, 与酸的种类有关				侵蚀	无	无	无至轻微	无至轻微	无至轻微	无至轻微
强酸	受氧化酸分解, 对还原酸和有机酸作用, 无至轻微				分解, 侵蚀	分解	分解	氧化侵蚀	氧化侵蚀	轻轻至激烈	轻轻至激烈
弱碱	轻微至明显, 与碱的种类有关				轻微至明显	无	无	无	无	无至轻微	无至轻微
强碱	分解, 侵蚀				分解	侵蚀	侵蚀	稍蚀	稍蚀	轻微至明显	轻微至明显
阳光	表面变黑				变成灰色	退色	变黄	无	无	无	无

物理性能

化学性能

(续)

塑料性能	环氧树脂				醇酸树脂			邻苯二甲酸二烯丙酯	
	无机物填充	玻纤填充	酚醛改性	脂环族环氧	无机物填充	石棉填充	玻纤填充	玻纤填充	无机物填充
密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	1.70~2.10	1.70~2.00	1.16~1.21	1.16~1.21	1.60~2.30	1.65~2.20	2.03~2.33	1.51~1.78	1.65~1.68
比容/ ( $\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ )	0.58~0.47	0.58~0.50	0.86~0.83	0.86~0.83	0.62~0.43	0.60~0.45	0.49~0.43	0.66~0.56	0.61~0.59
吸水率 <sup>24h</sup> / 长期/%	0.03~0.20	0.04~0.20	优良		0.05~0.50	0.14	0.03~0.50	0.12~0.35	0.20~0.5
热变形温度 /°C (180N/cm <sup>2</sup> )	107~230	107~230	148~260	90~230	176~260	157	200~260	165~230	160~280
线膨胀系数 / ( $10^5\times\text{C}^{-1}$ )	3.0~6.0	3.0~5.0			2.0~5.0		1.5~3.3	1.0~3.6	1.0~4.2
成型收缩率/%	0.4~1.0	0.4~0.8			0.3~1.0	0.4~0.7	0.1~1.0	0.1~0.5	0.5~0.7
比热容/ ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )					1050		1050		
导热系数 / ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	0.294	0.294			0.781		0.840	0.420	0.672
燃烧性/ ( $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ )	慢燃	自熄			慢燃	自熄	慢燃	不燃	不燃
有机溶剂	轻微至无				尚好	无	尚好	无	
弱酸	无				无	无	差至稍好	无	
强酸	轻微至稍蚀				侵蚀	轻微	差至稍好	轻微	
弱碱	轻微至无				侵蚀	无	差至稍好	无至轻微	
强碱	轻微至侵蚀		无或稍蚀		分解	轻微	差至稍好	轻微	
日光	轻微		变黑色	无	无	无	无	无	

物理性能

化学性能

(续)

塑料性能	不饱和聚酯				聚酰胺				聚氨酯
	浇铸(硬)	浇铸(软)	玻纤丝填充	玻纤布填充	F <sub>4</sub> 改性	石墨填充	玻纤填充	包封级	纯
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.10~1.46	1.01~1.20	1.35~2.30	1.50~2.10	1.42	1.45	1.90	1.55	1.10~1.50
比容/(cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup> )	0.91~0.68	0.99~0.83	0.74~0.43	0.66~0.47	0.70	0.69	0.53	0.64	0.91~0.67
吸水率 <sup>24h</sup> / 长期/%	0.15~0.60	0.50~2.50	0.01~1.00	0.05~0.50	0.30	0.60	0.20	0.11	0.02~1.50
热变形温度 /°C (180N/cm <sup>2</sup> )	60~200		200	200	287	287	348	287	
线膨胀系数 /(10 <sup>5</sup> ×°C <sup>-1</sup> )	5.5~10.0		2.5~5.0	1.3~3.0	6.6	1.5	1.5	4.5	
成型收缩率/%			0.0~0.2	0.0~0.2	0.6	0.6	0.1~0.2	0.3	
比热容/(J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )									1800
导热系数 /(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	0.168				0.218	0.147	0.504	0.281	0.210
燃烧性/(cm·min <sup>-1</sup> )			3.4		不燃	不燃	不燃	不燃	自熄
有机溶剂	稍耐				极耐				中等
弱酸	耐				耐				轻微
强酸	侵蚀				耐				侵蚀
弱碱	耐				侵蚀				轻微
强碱	稍蚀至侵蚀				侵蚀				侵蚀
阳光	微黄或轻微								变黄

物 理 性 能 化 学 性 能

## 18.2 塑料制品设计数据

表 18.2-1 模塑件尺寸公差标准(GB/T14486-93)

表 18.2.1-1 常用材料模塑件公差等级的选用

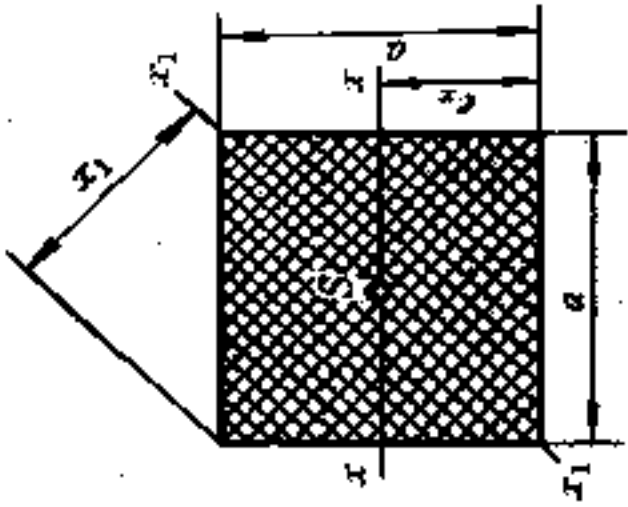
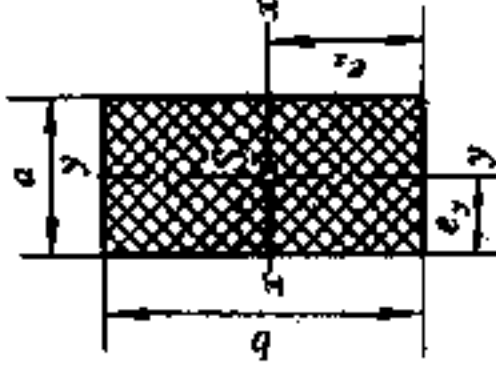
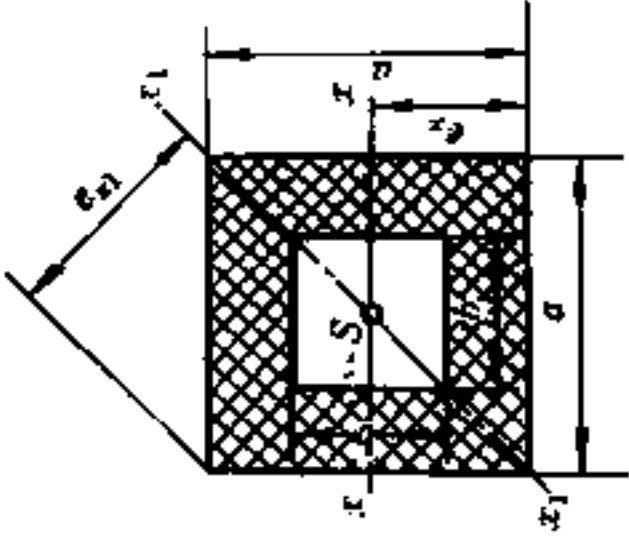
材料代号	模塑材料		公差等级		
			标注公差尺寸		未注公差尺寸
			高精度	一般精度	
ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物		MT2	MT3	MT5
AS	丙烯腈-苯乙烯共聚物		MT2	MT3	MT5
CA	醋酸纤维素塑料		MT3	MT4	MT6
EP	环氧树脂		MT2	MT3	MT5
PA	尼龙类塑料	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PBTP	聚对苯二甲酸丁二醇酯	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PC	聚碳酸酯		MT2	MT3	MT5
PDAP	聚邻苯二甲酸二丙烯酯		MT2	MT3	MT5
PE	聚乙烯		MT5	MT6	MT7
PESU	聚醚砜		MT2	MT3	MT5
PETP	聚对苯二甲酸乙二醇酯	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PF	酚醛塑料	无机填料填充	MT2	MT3	MT5
		有机填料填充	MT3	MT4	MT6
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯		MT2	MT3	MT5
POM	聚甲醛	≤150mm	MT3	MT4	MT6
		>150mm	MT4	MT5	MT7
PP	聚丙烯	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		无机填料填充	MT2	MT4	MT5
PPO	聚苯醚		MT2	MT3	MT5
PPS	聚苯硫醚		MT2	MT3	MT5
PS	聚苯乙烯		MT2	MT3	MT5
PSU	聚砜		MT2	MT3	MT5
RPVC	硬质聚氯乙烯(无强塑剂)		MT2	MT3	MT5
SPVC	软质聚氯乙烯		MT5	MT6	MT7
VF/MF	氨基塑料和氨基酚醛塑料	无机填料填充	MT2	MT3	MT5
		有机填料填充	MT3	MT4	MT6

表 18.2.1-2 模塑件尺寸公差表 (mm)

公差等级	公差种类	基 本 尺 寸																										
		大于0 到3	3	6	10	14	18	24	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	
MT1	A	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.70	0.78	0.86	0.96	
	B	0.14	0.16	0.18	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.70	0.74	0.80	0.88	0.96		
MT2	A	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.60	0.70	0.82	0.94	1.02	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60
	B	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.70	0.82	0.94	1.02	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70
MT3	A	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.46	0.52	0.58	0.64	0.70	0.78	0.86	0.92	1.00	1.10	1.20	1.30	1.44	1.60	1.74		
	B	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.66	0.72	0.78	0.84	0.90	0.98	1.06	1.12	1.20	1.30	1.40	1.50	1.64	1.80	1.94		
MT4	A	0.16	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.42	0.48	0.56	0.64	0.72	0.82	0.92	1.02	1.12	1.24	1.36	1.48	1.62	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60		
	B	0.36	0.38	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.62	0.68	0.76	0.84	0.92	1.02	1.12	1.22	1.32	1.44	1.56	1.68	1.82	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80		
MT5	A	0.26	0.24	0.28	0.32	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.74	0.86	1.00	1.14	1.28	1.44	1.60	1.76	1.92	2.10	2.30	2.50	2.80	3.10	3.50	3.90		
	B	0.40	0.44	0.48	0.52	0.58	0.64	0.70	0.76	0.84	0.94	1.06	1.20	1.34	1.48	1.64	1.80	1.96	2.12	2.30	2.50	2.70	3.00	3.30	3.70	4.10		
MT6	A	0.26	0.32	0.38	0.46	0.54	0.62	0.70	0.80	0.94	1.10	1.28	1.48	1.72	2.00	2.20	2.40	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.30	4.70	5.30	6.00		
	B	0.46	0.52	0.58	0.68	0.74	0.82	0.90	1.00	1.14	1.30	1.48	1.68	1.92	2.20	2.40	2.60	2.80	3.10	3.40	3.70	4.00	4.50	4.90	5.50	6.20		
MT7	A	0.38	0.48	0.58	0.68	0.78	0.88	1.00	1.14	1.32	1.54	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00	3.30	3.70	4.10	4.50	4.90	5.40	6.00	6.70	7.40	8.20		
	B	0.58	0.68	0.78	0.88	0.98	1.08	1.20	1.34	1.52	1.74	2.00	2.30	2.60	3.10	3.20	3.50	3.90	4.30	4.70	5.10	5.60	6.20	6.90	7.60	8.40		
未注公差的尺寸允许偏差																												
MT5	A	±0.10	±0.12	±0.14	±0.16	±0.19	±0.22	±0.25	±0.28	±0.32	±0.37	±0.43	±0.50	±0.57	±0.64	±0.72	±0.80	±0.88	±0.96	±1.05	±1.15	±1.25	±1.40	±1.55	±1.75	±1.95		
	B	±0.20	±0.22	±0.24	±0.26	±0.29	±0.32	±0.35	±0.38	±0.42	±0.47	±0.53	±0.60	±0.67	±0.74	±0.82	±0.90	±0.98	±1.06	±1.15	±1.25	±1.35	±1.50	±1.65	±1.85	±2.05		
MT6	A	±0.13	±0.16	±0.19	±0.23	±0.27	±0.31	±0.35	±0.40	±0.47	±0.55	±0.64	±0.74	±0.86	±1.00	±1.10	±1.20	±1.30	±1.45	±1.60	±1.75	±1.90	±2.15	±2.35	±2.65	±3.00		
	B	±0.23	±0.26	±0.29	±0.33	±0.37	±0.41	±0.45	±0.50	±0.57	±0.65	±0.74	±0.84	±0.96	±1.10	±1.20	±1.30	±1.40	±1.55	±1.70	±1.85	±2.00	±2.25	±2.45	±2.75	±3.10		
MT7	A	±0.19	±0.24	±0.29	±0.34	±0.39	±0.44	±0.50	±0.57	±0.66	±0.77	±0.90	±1.05	±1.20	±1.35	±1.50	±1.65	±1.85	±2.05	±2.25	±2.45	±2.70	±3.00	±3.35	±3.70	±4.10		
	B	±0.29	±0.34	±0.39	±0.44	±0.49	±0.54	±0.60	±0.67	±0.76	±0.87	±1.00	±1.15	±1.30	±1.45	±1.60	±1.75	±1.95	±2.15	±2.35	±2.55	±2.80	±3.10	±3.45	±3.80	±4.20		

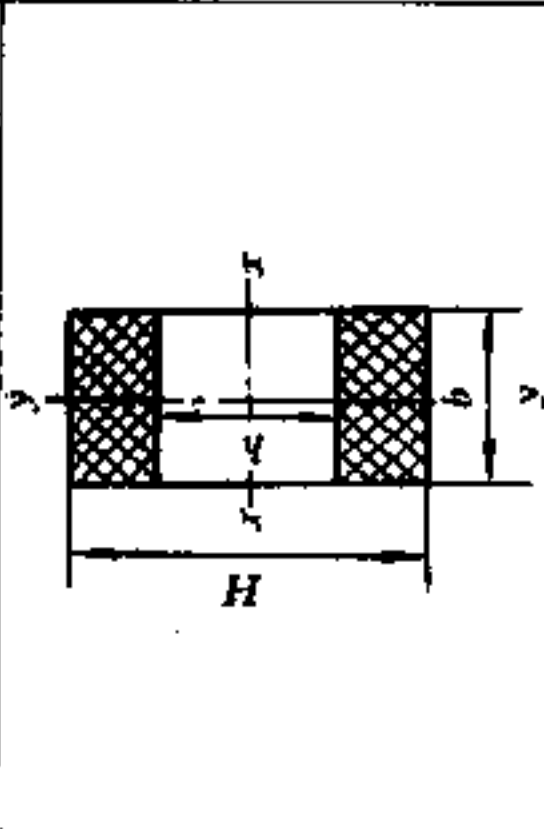
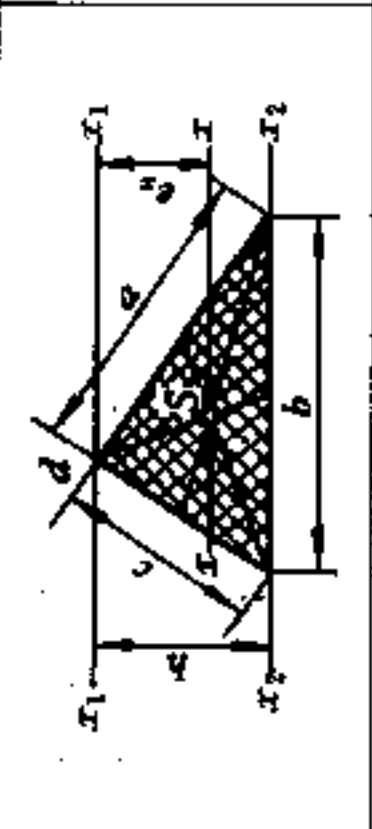
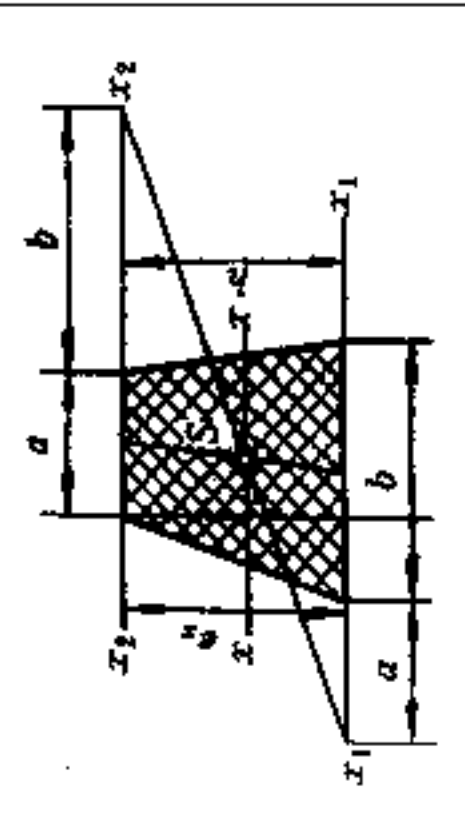
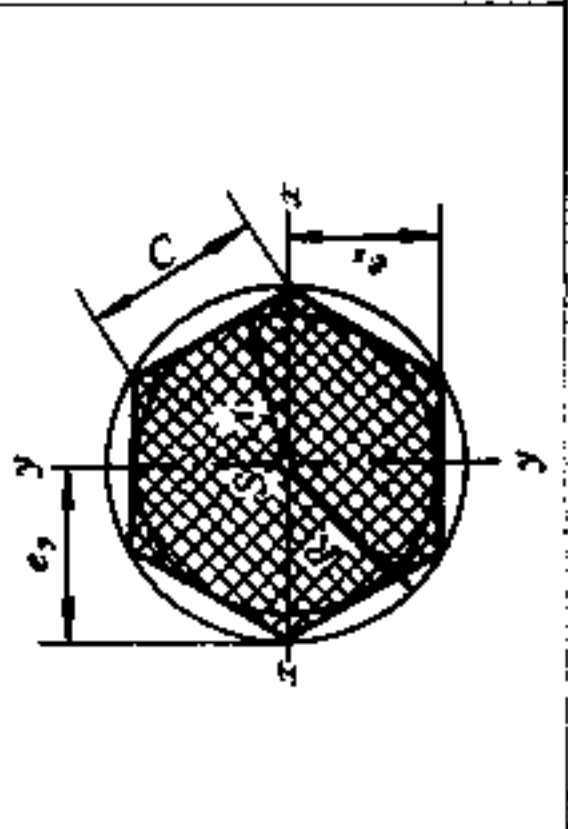
① A 为不受模具活动部分影响的尺寸公差值; B 为受模具活动部分影响的尺寸公差值。

表 18.2-2 塑件几何剖面及力学特性

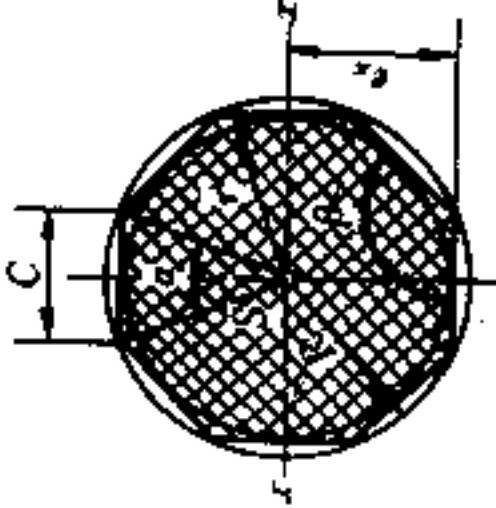
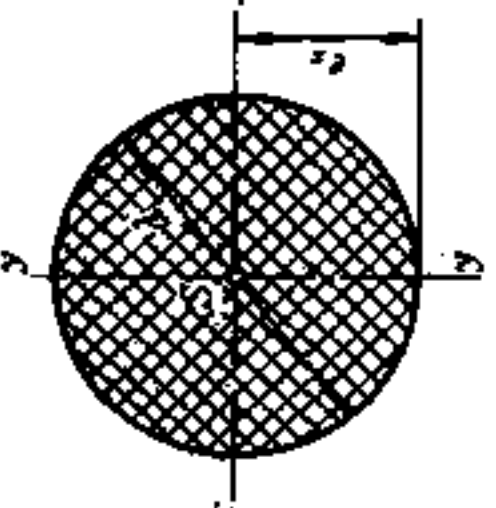
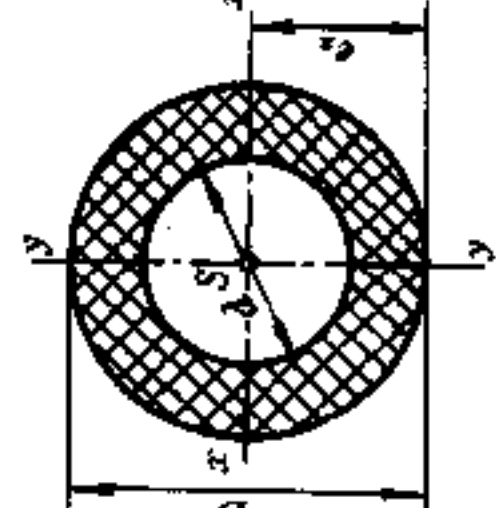
简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	截面模数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边 的距离 $e$	回转半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
	$A = a^2$	$I = \frac{a^4}{12}$	$W_x = \frac{a^3}{6}$ $W_{x1} = 0.1179a^3$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{x1} = 0.7071a$	$i = \frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289a$
	$A = ay$	$I_x = \frac{ay^3}{12}$ $I_y = \frac{a^3y}{12}$	$W_x = \frac{ay^2}{6}$ $W_y = \frac{a^2y}{6}$	$e_x = \frac{y}{2}$ $e_y = \frac{a}{2}$	$i_x = 0.289y$ $i_y = 0.289a$
	$A = a^2 - b^2$	$I = \frac{a^4 - b^4}{12}$	$W_x = \frac{a^4 - b^4}{6a}$ $W_{x1} = 0.1179 \frac{a^4 - b^4}{a}$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{x1} = 0.7071a$	$i = 0.289 \sqrt{a^2 + b^2}$



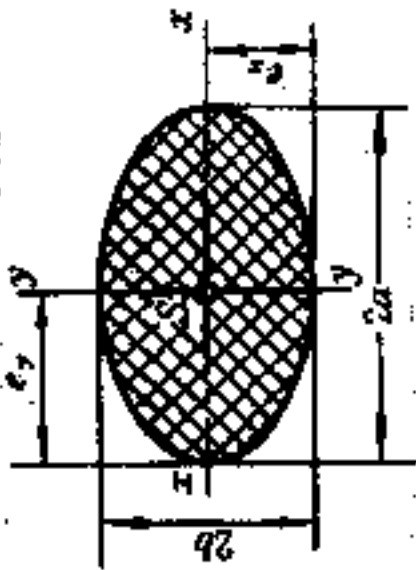
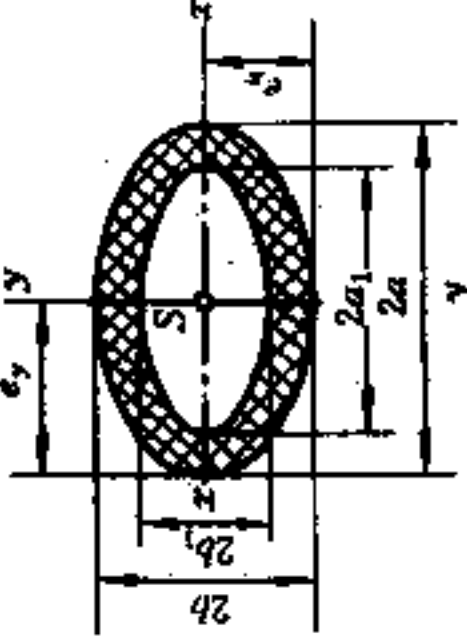
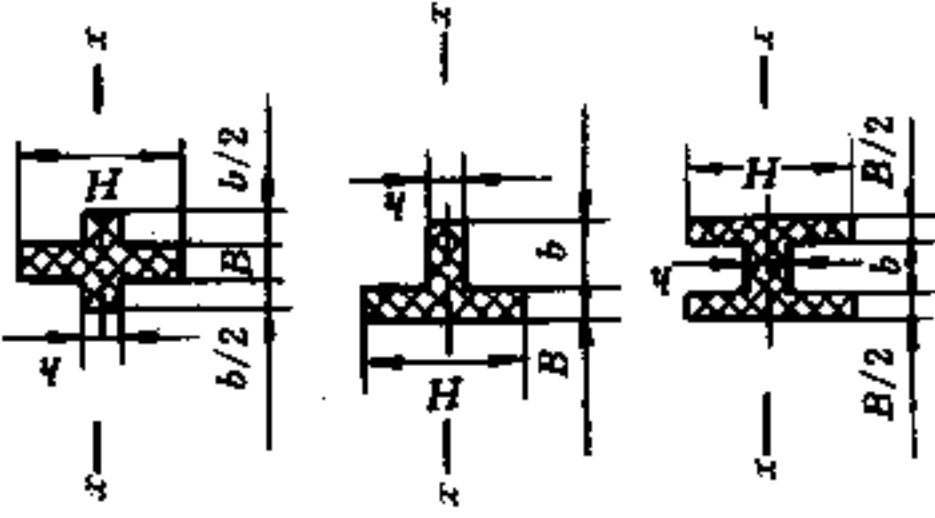
(续)

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	截面模数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的距离 $e$	回转半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
	$A = b(H - h)$	$I_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{12}$ $I_y = \frac{b^3(H - h)}{12}$	$W_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{6H}$ $W_y = \frac{b^2(H - h)}{6}$	$e_x = \frac{H}{2}$ $e_y = \frac{L}{2}$	$i_2 = \sqrt{\frac{H^2 + Hh + h^2}{12}}$ $i_r = 0.289b$
	$A = \frac{bh}{2}$ $= \frac{\sqrt{P(P-a)}(P-b)(P-c)}{2}$ 式中: $P = \frac{1}{2}(a+b+c)$	$I_{x1} = \frac{bh^3}{4}$ $I_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_{x2} = \frac{bh^3}{12}$	$W_{x1} = \frac{bh^2}{24}$ $W_x = \frac{bh^2}{24}$ $W_{x2} = \frac{bh^2}{12}$	$e_x = \frac{2h}{3}$	$i = 0.236h$
	$A = \frac{h(a+b)}{2}$	$I_x = \frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a+b)}$ $I_{x1} = \frac{h^3(b+3a)}{12}$	$W_{x2} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(a+2b)}$ $W_{x1} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(2a+b)}$	$e_x = \frac{h(a+2b)}{3(a+b)}$	$i_x = \frac{h}{3(a+b)}$ $\sqrt{\frac{a^2 + 4ab + b^2}{2}}$
	$A = 2.598C^2$ $= 3.464r^2$ $C = R$ $r = 0.866R$	$I_x = 0.5413R^4$ $I_y = J_x$	$W_x = 0.625R^3$ $W_y = 0.5413R^3$	$e_x = 0.866R$ $e_y = R$	$i = 0.4566R$

(续)

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	截面模数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边 的距离 $e$	回转半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
 <p style="text-align: center;"><math>n</math>——多边形边数</p>	$A = \frac{nCr}{2}$ $= \frac{nC}{2} \sqrt{R^2 - \frac{c^2}{4}}$ $c = 2 \sqrt{R^2 - r^2}$ $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$ $\beta = 180^\circ - \alpha$ <p>对八角形</p> $F = 2.828R^2 = 4.828C^2$ $r = 0.924R \quad c = 0.765R$	<p>对八角形</p> $I = 0.638R^4$ $= 0.8752r^4$	<p>对八角形</p> $W_x = 0.691R^3$ $= 0.876r^3$	$e_x = r = \sqrt{R^2 - \frac{c^2}{4}}$ $= R \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$	<p>对八角形</p> $i_x = 0.4749R$ $= 0.514r$ $= 0.621C$
	$A = \frac{\pi}{4} d^2$	$I_x = I_y$ $I_x = \frac{\pi}{64} d^4 = 0.0491d^4$ $I_p = \frac{\pi}{32} d^4 = 0.0982d^4$	$W = \frac{\pi}{32} d^4 = 0.0982d^3$ <p>抗扭截面模数</p> $W_n = 2W$	$e_x = \frac{d}{2}$	$i = \frac{d}{4}$
	$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$	$I_x = I_y = 0.0491(D^4 - d^4)$ $I_y = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $I_p = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$ $= 0.0982(D^4 - d^4)$	$W = 0.0982 \times \left( \frac{D^4 - d^4}{D} \right)$ <p>或</p> $W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$ <p>抗扭截面模数</p> $W_n = 2W$	$e_x = \frac{D}{2}$	$i = \frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2}$

(续)

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	截面模数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的距离 $e$	回转半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
	$A = \pi ab$	$I_x = \frac{\pi ab^3}{4}$ $I_y = \frac{\pi a^3 b}{4}$	$W_x = \frac{\pi ab^2}{4}$ $W_y = \frac{\pi a^2 b}{4}$	$e_x = b$ $e_y = a$	$i_x = \frac{b}{2}$ $i_y = \frac{a}{2}$
	$A = \pi(ab - a_1b_1)$	$I_x = \frac{\pi}{4}(ab^3 - a_1b_1^3)$ $I_y = \frac{\pi}{4}(a^3b - a_1^3b_1)$	$W_x = \frac{\pi(ab^3 - a_1b_1^3)}{4b}$ $W_y = \frac{\pi(a^3b - a_1^3b_1)}{4a}$	$e_x = b$ $e_y = a$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$ $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$
	$A = BH + bh$	$I_x = \frac{BH^3 + bh^3}{12}$	$W_x = \frac{BH^3 + bh^3}{6H}$	$e_x = \frac{H}{2}$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$

(续)

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	截面模数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的距离 $e$	回转半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
	$A = BH - bh$	$I_x = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$	$W_x = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$	$e_x = \frac{H}{2}$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$

(续)

简图	面积 $A$	惯性矩 $I$	截面模数 $W = \frac{I}{e}$	重心 $S$ 到相应边的距离 $e$	回转半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
	$A = BH - b(e_2 + h)$	$I_x = \frac{1}{3} (Bh_1^3 - bh^3 + ae_2^3)$	$W_{x1} = \frac{I_x}{e_1}$ $W_{x2} = \frac{I_x}{e_2}$	$e_1 = \frac{aH^2 + bd^2}{2(aH + bd)}$ $e_2 = H - e_1$	$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$
<p style="text-align: center;">抛物线弯曲的瓦楞</p>		$I = 0.610 (b_1 h^3 - b_2 h_2^3)$ $h_1 = 1/2(H + t)$ $h_2 = 1/2(H - t)$ $b_1 = 1/4(B + 2.6t)$ $b_2 = 1/4(B - 2.6t)$	$W = \frac{2I}{H + t}$		$i = \sqrt{\frac{3I}{t(2B + 5.2H)}}$

(续)

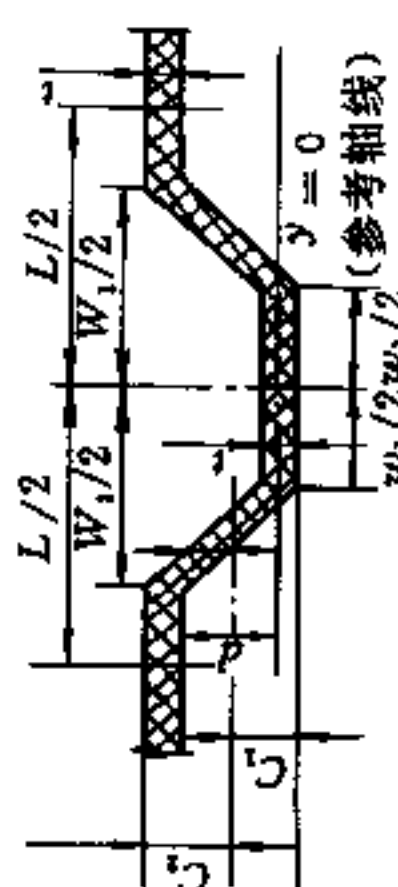
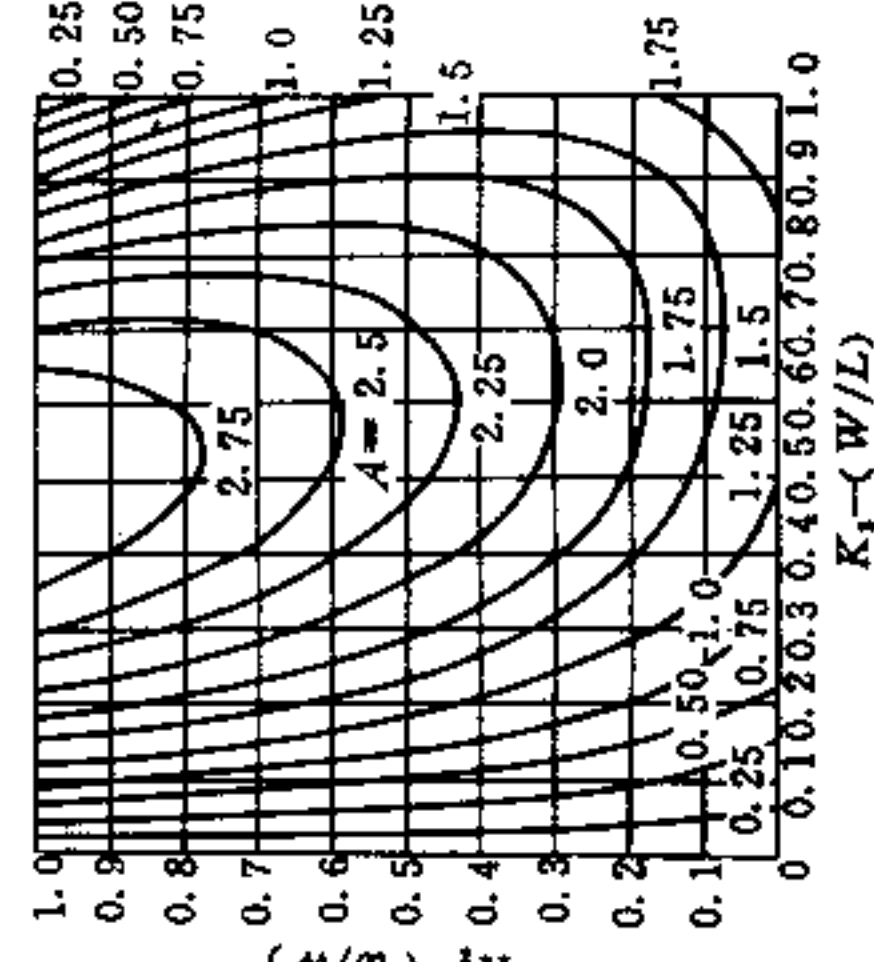
简图	面积 A	惯性矩 I	截面模数 $W = \frac{I}{e}$	重心 S 到相应边的距离 e	回转半径 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
 <p>(a)</p>	<p>A 见图(2)</p> <p><math>C_1 = \frac{K_1 t (2 - K_3 - K_2 K_3)}{2}</math></p> <p><math>C_2 = \frac{3t}{2} + d - C_1</math></p>	<p><math>I = \frac{Lt^3}{12} (K_1^2 F + 1)</math></p> <p><math>= \frac{Lt^3 \beta}{12}</math></p> <p><math>W_1 = \frac{L}{2} - d</math></p> <p><math>K_1 = d/t</math></p> <p><math>K_2 = W_2/W_1</math></p> <p><math>\beta = K_1^2 F + 1</math></p> <p><math>K_3 = W_1/L</math></p>			
 <p>(b)</p>					

表 18.2-3 横梁方程式

序号	梁的剪力图和弯矩图	支反力	弯矩方程式	挠曲线方程	梁端转角	最大挠度
1		$M_A = m_0$	$M(x) = -m_0 x$	$y = -\frac{m_0 x^2}{2EI}$	$\theta_B = -\frac{m_0 l}{EI}$	在 $x = l$ 处 $y_{\max} = -\frac{m_0 l^2}{2EI}$
2		$R_A = P$ $M_A = Pl$	$M(x) = P(x - l)$	$y = -\frac{Pl^3}{6EI} \left( 3\frac{x^2}{l^2} - \frac{x^3}{l^3} \right)$	$\theta_B = -\frac{Pl^2}{2EI}$	在 $x = l$ 处 $y_{\max} = -\frac{Pl^3}{3EI}$
3		$R_A = P$ $M_A = Pa$	$M(x) = P(x - a)$ ( $0 \leq x \leq a$ ) $M(x) = 0$ ( $a \leq x \leq l$ )	$y = -\frac{Px^2}{6EI}(3a - x)$ ( $0 \leq x \leq a$ ) $y = -\frac{Pa^2}{6EI}(3x - a)$ ( $a \leq x \leq l$ )	$\theta_B = -\frac{Pa^2}{2EI}$	在 $x = l$ 处 $y_{\max} = -\frac{Pa^2}{6EI}(3l - a)$
4		$R_A = ql$ $M_A = \frac{1}{2} ql^2$	$M(x) = q \left( lx - \frac{l^2 + x^2}{2} \right)$	$y = -\frac{ql^4}{24EI} \times$ $\left( 6\frac{x^2}{l^2} - 4\frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right)$	$\theta_B = -\frac{ql^3}{6EI}$	在 $x = l$ 处 $y_{\max} = -\frac{ql^4}{8EI}$



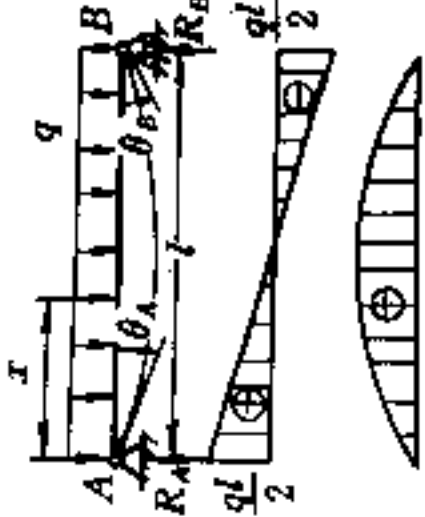
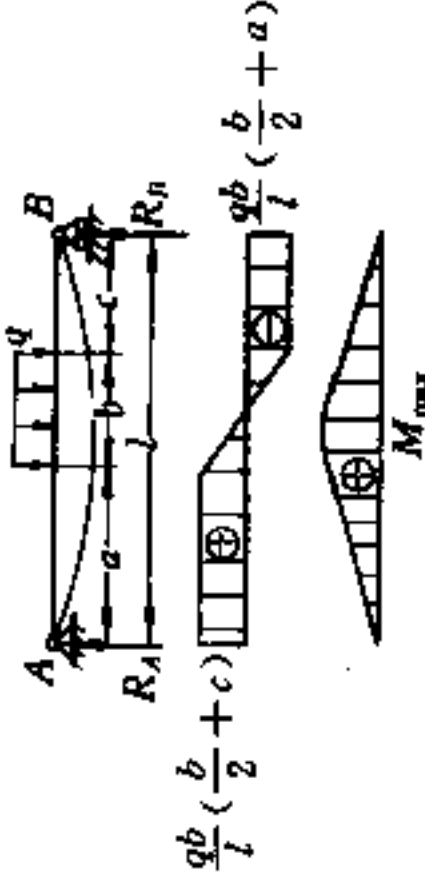
(续)

序号	梁的切力图和弯矩图	支反力	弯矩方程式	挠曲线方程	梁端转角	最大挠度
5		$R_A = \frac{1}{2} q_0 l$ $M_A = \frac{1}{6} q_0 l^2$	$M(x) = \frac{q_0 l^2}{6} \times$ $\left( 3 \frac{x}{l} - 3 \frac{x^2}{l^2} + \frac{x^3}{l^3} - 1 \right)$	$y = -\frac{q_0 l^4}{120EI} \times$ $\left( 10 \frac{x^2}{l^2} - 10 \frac{x^3}{l^3} + 5 \frac{x^4}{l^4} - \frac{x^5}{l^5} \right)$	$\theta_B = -\frac{q_0 l^3}{24EI}$	在 $x = l$ 处 $y_{\max} = -\frac{q_0 l^4}{30EI}$
6		$R_A = \frac{1}{2} q_0 l$ $M_A = \frac{1}{3} q_0 l^2$	$M(x) = \frac{q_0 l^2}{6} \times$ $\left( 3 \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} - 2 \right)$	$y = -\frac{q_0 l^4}{120EI} \times$ $\left( 20 \frac{x^2}{l^2} - 10 \frac{x^3}{l^3} + \frac{x^5}{l^5} \right)$	$\theta_B = -\frac{q_0 l^3}{8EI}$	在 $x = l$ 处 $y_{\max} = -\frac{11 q_0 l^4}{120EI}$
7		$R_A = R_B = \frac{P}{2}$	$M(x) = \frac{Px}{2}$ $\left( 0 \leq x \leq \frac{l}{2} \right)$	$y = -\frac{Pl^3}{48EI} \left( 3 \frac{x}{l} - 4 \frac{x^3}{l^3} \right)$ $\left( 0 \leq x \leq \frac{l}{2} \right)$	$\theta_A = -\theta_B = -\frac{Pl^2}{16EI}$	在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\max} = -\frac{Pl^3}{48EI}$
8		$R_A = \frac{Pb}{l}$ $R_B = \frac{Pa}{l}$	$M(x) = \frac{Pbx}{l}$ $\left( 0 \leq x \leq a \right)$ $M(x) = \frac{Pbx}{l} - P(x-a)$ $\left( 0 \leq x \leq l \right)$	$y = -\frac{Pbx}{6EI} (l^2 - x^2 - b^2)$ $\left( 0 \leq x \leq a \right)$ $y = -\frac{Pb}{6EI} \left[ (l^2 - b^2)x - x^3 + \frac{l}{b}(x-a)^3 \right]$ $\left( a \leq x \leq l \right)$	$\theta_A = -\frac{Pab(l+b)}{6EI}$ $\theta_B = \frac{Pab(l+a)}{6EI}$	若 $a > b$ , 在 $x = \sqrt{\frac{l^2 - b^2}{3}}$ 处 $y_{\max} = -\frac{Pb}{9\sqrt{3}EI} (l^2 - b^2)^{\frac{3}{2}}$ 在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\frac{l}{2}} = -\frac{Pb}{48EI} (3l^2 - 4b^2)$

(续)

序号	梁的切力图和弯矩图	支反力	弯矩方程式	挠曲线方程	梁端转角	最大挠度
9		$R_A = \frac{m_0}{l}$ $R_B = \frac{m_0}{l}$	$M(x) = m_0 \left( 1 - \frac{x}{l} \right)$	$y = -\frac{m_0 l^2}{6EI} \left( 2 \frac{x}{l} - 3 \frac{x^2}{l^2} + \frac{x^3}{l^3} \right)$	$\theta_A = -\frac{m_0 l}{3EI}$ $\theta_B = \frac{m_0 l}{6EI}$	在 $x = \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) l$ 处 $y_{\max} = -\frac{m_0 l^2}{9\sqrt{3}EI}$ 在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\frac{1}{2}} = -\frac{m_0 l^2}{16EI}$
10		$R_A = \frac{m_0}{l}$ $R_B = \frac{m_0}{l}$	$M(x) = \frac{m_0 x}{l}$	$y = -\frac{m_0 l^2}{6EI} \left( \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} \right)$	$\theta_A = -\frac{m_0 l}{6EI}$ $\theta_B = \frac{m_0 l}{3EI}$	在 $x = \frac{l}{\sqrt{3}}$ 处 $y_{\max} = -\frac{m_0 l^2}{9\sqrt{3}EI}$ 在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\frac{1}{2}} = -\frac{m_0 l^2}{16EI}$
11		$R_A = \frac{m_0}{l}$ $R_B = \frac{m_0}{l}$	$M(x) = -\frac{m_0 x}{l}$ $(0 \leq x \leq a)$ $M(x) = m_0 \left( 1 - \frac{x}{l} \right)$ $(a \leq x \leq l)$	$y = \frac{m_0 x}{6EI} (l^2 - 3b^2 - x^2)$ $(0 \leq x \leq a)$ $y = -\frac{m_0 (l-x)}{6EI} \times [l^2 - 3a^2 - (l-x)^2]$ $(a \leq x \leq l)$	$\theta_A = \frac{m_0}{6EI} (l^2 - 3b^2)$ $\theta_B = \frac{m_0}{6EI} (l^2 - 3a^2)$ $\theta_C = -\frac{m_0}{6EI} \times (3a^2 + 3b^2 - l^2)$	在 $x = \sqrt{\frac{l^2 - 3b^2}{3}}$ 处 $y_{\max} = \frac{m_0 (l^2 - 3b^2)^{\frac{3}{2}}}{9\sqrt{3}EI}$ 在 $x = \sqrt{\frac{l^2 - 3a^2}{3}}$ 处 $y_{2\max} = -\frac{m_0 (l^2 - 3a^2)^{\frac{3}{2}}}{9\sqrt{3}EI}$

(续)

序号	梁的切力图和弯矩图	支反力	弯矩方程式	挠曲线方程式	梁端转角	最大挠度
12		$R_A = R_B = \frac{1}{2}ql$	$M(x) = \frac{qx}{2}(l-x)$	$y = -\frac{qx^2}{24EI}(l^3 - 2lx^2 + x^3)$	$\theta_A = -\theta_B = -\frac{ql^3}{24EI}$	在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\max} = -\frac{5ql^4}{384EI}$
13		$R_A = q \frac{b}{l} \cdot \left(\frac{b}{2} + c\right)$ $R_B = q \frac{b}{l} \cdot \left(\frac{b}{2} + a\right)$	$M(x) = \frac{qb}{l} \left(\frac{b}{2} + c\right) x$ $(0 \leq x \leq a)$ $M(x) = \frac{qb}{l} \left\{ \left(\frac{b}{2} + c\right) x + x - \frac{q}{2}(x-a)^2 \right\}$ $(a \leq x \leq a+b)$ $M_{\max} = \frac{qb}{l} \left(\frac{b}{2} + c\right) \times \left[ a + \frac{b}{2l} \left(\frac{b}{2} + c\right) \right]$ (在 $x = a + \frac{b}{l} \left(\frac{b}{2} + c\right)$ 处)	$y = -\frac{qb^2}{6EI} \left(\frac{b}{2} + c\right) \times \left[ l^2 - \left(\frac{b}{2} + c\right)^2 - \frac{1}{4}b^2 - x^2 \right]$ $(0 \leq x \leq a)$ $y = -\frac{qb}{6EI} \left\{ \left(\frac{b}{2} + c\right) x + x - \frac{q}{4b}(x-a)^4 \right\}$ $(a \leq x \leq a+b)$ $y = -\frac{qb}{6EI}(a+b)(l-x) \times \left[ l^2 - \left(a + \frac{b}{2}\right)^2 - \frac{1}{4}b^2 - (l-x)^2 \right]$ $(a+b \leq x \leq l)$	$\theta_A = -\frac{qb}{6EI} \left(\frac{b}{2} + c\right) \times \left[ l^2 - \left(\frac{b}{2} + c\right)^2 - \frac{b^2}{4} \right]$ $\theta_B = \frac{qb}{6EI}(a+b) \cdot \left[ l^2 - \left(a + \frac{b}{2}\right)^2 - \frac{b^2}{4} \right]$	在 $a \leq x \leq a+b$ 令 $y' = 0$ , 求出 $x$ 的数值解, 代入 $y$ 方程即得 $y_{\max}$

序号	梁的切力图和弯矩图	支反力	弯矩方程式	挠曲线方程	梁端转角	最大挠度
14		$R_A = \frac{qb^2}{2l}$ $R_B = qb \cdot \left(1 - \frac{b}{2l}\right)$	$M(x) = \frac{qb^2}{2l} \cdot x$ $(0 \leq x \leq a)$ $M(x) = \frac{qb^2}{2l}x - \frac{q}{2} \times (x-a)^2$ $(a \leq x \leq l)$	$y = -\frac{qb^5}{24EI} \left[ \frac{x}{b} \times \left( 2 \frac{l^2}{b^2} - 1 \right) - 2 \frac{x^3}{b^3} \right]$ $(0 \leq x \leq a)$ $y = -\frac{q}{24EI} [b^2x(2l^2 - b^2) - 2b^2x^3 + l(x-a)^4]$ $(a \leq x \leq l)$	$\theta_A = -\frac{qb^2(2l^2 - b^2)}{24EI}$ $\theta_B = \frac{qb^2(2l - b)}{24EI}$	若 $a > b$ , 在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_c = \frac{qb^5}{24EI} \left( \frac{3}{4} \cdot \frac{l^3}{b^3} - \frac{l}{2b} \right)$ 若 $a < b$ , 在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_c = -\frac{qb^5}{24EI} \left[ \frac{3}{4} \cdot \frac{l^3}{b^3} - \frac{l}{2b} + \frac{1}{16} \cdot \frac{l^5}{b^6} \left( 1 - \frac{2a}{l} \right)^4 \right]$
15		$R_A = \frac{1}{6} q_0 l$ $R_B = \frac{1}{3} q_0 l$	$M(x) = \frac{q_0 l x}{6} \left( 1 - \frac{x^2}{l^2} \right)$	$y = -\frac{q_0 l^4}{360EI} \times \left( 7 \frac{x}{l} - 10 \frac{x^3}{l^3} + 3 \frac{x^5}{l^5} \right)$	$\theta_A = -\frac{7q_0 l^3}{360EI}$ $\theta_B = \frac{q_0 l^3}{45EI}$	在 $x = 0.519l$ 处 $y_{\max} = -0.00652 \frac{q_0 l^4}{EI}$
16		$R_A = R_B = \frac{1}{4} q_0 l$	$M(x) = \frac{q_0 l x}{12} \left( 3 - 4 \frac{x^2}{l^2} \right)$ $(0 \leq x \leq \frac{l}{2})$	$y = -\frac{q_0 l^4}{960EI} \times \left( 25 \frac{x}{l} - 40 \frac{x^3}{l^3} + 16 \frac{x^5}{l^5} \right)$ $(0 \leq x \leq \frac{l}{2})$	$\theta_A = -\theta_B = -\frac{5q_0 l^3}{192EI}$	在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\max} = -\frac{q_0 l^4}{120EI}$

(续)

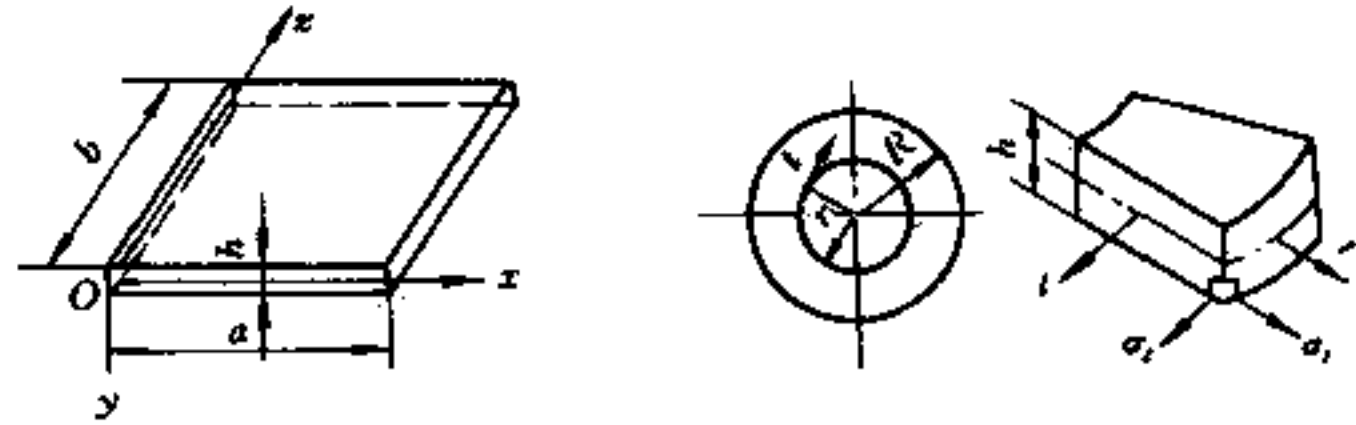
序号	梁的切力图和弯矩图	支反力	弯矩方程式	挠曲线方程	梁端转角	最大挠度
17		$R_A = R_B = P$	$M(x) = Px$ $(0 \leq x \leq a)$ $M = Pa$ $(a \leq x \leq l+a)$	$y = -\frac{Px}{6EI} [3a(l-a) - x^2]$ $(0 \leq x \leq a)$ $y = -\frac{Pa}{6EI} [3x(l-x) - a^2]$ $(a \leq x \leq l+a)$	$\theta_A = -\theta_B$ $= -\frac{Pa}{2EI}(l-a)$	在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\max} = -\frac{Pa}{24EI}(3l^2 - 4a^2)$
18		$R_A = \frac{Pa}{l}$ $R_B = \frac{P(a+l)}{l}$	$M(x) = -\frac{Pa^2x}{l}$ $(0 \leq x \leq l)$ $M(x) = -P(l+a-x)$ $(l \leq x \leq l+a)$	$y = \frac{Pal^2}{6EI} \left( \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} \right)$ $(0 \leq x \leq l)$ $y = \frac{P}{6EI} [al^2x - ax^3 + (a+l)(x-l)^3]$ $(l \leq x \leq l+a)$	$\theta_A = \frac{Pal}{6EI}$ $\theta_B = -\frac{Pal}{3EI}$ $\theta_D = -\frac{Pa}{6EI} \times (2l+3a)$	在 $x = l+a$ 处 $y_{\max} = -\frac{Pa^2}{3EI}(l+a)$ 在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\frac{1}{2}} = \frac{Pal^2}{16EI}$
19		$R_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{qa^2}{l}$ $R_B = qa \left( 1 + \frac{a}{2l} \right)$	$M(x) = -\frac{Pa^2x}{2l}$ $(0 \leq x \leq l)$ $M(x) = -\frac{q}{2}(l+a-x)^2$ $(l \leq x \leq l+a)$	$y = \frac{qa^2l^2}{12EI} \left( \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} \right)$ $(0 \leq x \leq l)$ $y = -\frac{qa^2}{12EI} \left[ -l^2x + x^3 - \frac{(a+2l)(x-l)^3}{a} - \frac{l}{2a^2}(x-l)^4 \right]$ $(l \leq x \leq l+a)$	$\theta_A = \frac{qa^2l}{12EI}$ $\theta_B = -\frac{qa^2l}{6EI}$ $\theta_D = -\frac{qa^2}{6EI}(l+a)$	在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\frac{1}{2}} = \frac{qa^2l^2}{32EI}$ 在 $x = l+a$ 处 $y_{\max} = -\frac{qa^3}{24EI}(3a+4l)$

(续)

序号	梁的切力图和弯矩图	支反力	弯矩方程式	挠曲线方程式	梁端转角	最大挠度
20		$R_A = R_B = P$	$M(x) = -Px$ $(0 \leq x \leq a)$ $M = -Pa$ $(a \leq x \leq l+a)$	$y = -\frac{P}{6EI} [a^2(2a+3l) - 3a(a+l)x + x^3]$ $(0 \leq x \leq a)$ $y = \frac{P}{6EI} [3a(a+l)x - a^2 \cdot (2a+3l) - x^3 + (x-a)^3]$ $(a \leq x \leq l+a)$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{Pal}{2EI}$ $\theta_E = -\theta_D = \frac{Pa(l+a)}{2EI}$	$y_D = y_E = -\frac{Pa^2(2a+3l)}{6EI}$ 在 $x = a + \frac{l}{2}$ 处 $y_c = \frac{Pal^2}{8EI}$
21		$R_A = \frac{m_0}{l}$ $R_B = \frac{m_0}{l}$	$M(x) = \frac{m_0}{l}x$ $(0 \leq x \leq l)$ $M = m_0$ $(l \leq x \leq l+a)$	$y = -\frac{m_0 l^2}{6EI} \left( \frac{x}{l} - \frac{x^3}{l^3} \right)$ $(0 \leq x \leq l)$ $y = \frac{m_0}{6EI} (l-3x)(l-x)$ $(l \leq x \leq l+a)$	$\theta_A = -\frac{m_0 l}{6EI}$ $\theta_B = \frac{m_0 l}{3EI}$ $\theta_D = \frac{m_0}{3EI} (l+3a)$	在 $x = \frac{l}{2}$ 处 $y_{\frac{l}{2}} = -\frac{m_0 l^2}{16EI}$ $y_D = \frac{m_0}{6EI} (2la + 3a^2)$

注:式中  $x$  为从梁左端起量的坐标。

表 18.2-4 平板方程式



直角坐标系的  $xOz$  平面和平板的水平中层面重合,  $y$  轴的方向垂直向下。对于矩形平板,  $x$  轴的方向和平板长边之一重合, 坐标原点和一角重合。对于圆形平板, 用圆柱坐标系; 基面和中层面重合,  $y$  轴通过中心。

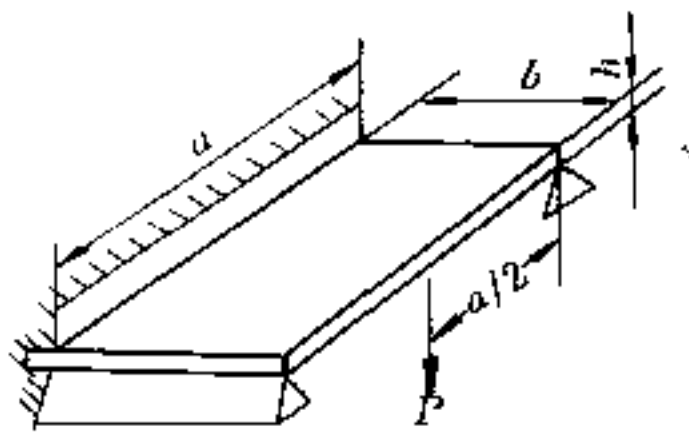
表中所列矩形或圆形板公式适用于  $h \leq 0.2b$  (小边) 的刚性薄板 (即  $\frac{f}{h} \leq 0.2$  的小挠度板, 即薄板内力很小)。公式中取波松比  $\mu = 0.3$ 。

表 18.2.4-1 矩形平板计算公式 ( $a \geq b$ )

支承与载荷特性	中心挠度	中心应力	长边中心应力
<p>周界铰支, 整个板面受均布载荷 <math>q</math></p>	$f = c_0 \frac{qb^4}{Eh^3}$	$\sigma_x = c_1 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$ $\sigma_x = c_2 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$	
<p>周界固定, 整个板面受均布载荷 <math>q</math></p>	$f = c_3 \frac{qb^4}{Eh^3}$	$\sigma_x = c_4 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$ $\sigma_x = c_5 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$	$\sigma = -c_6 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$
<p>周界铰支, 中心受集中载荷 <math>P</math></p>	$f = c_7 \frac{Pb^2}{Eh^3}$	载荷作用点附近的应力分布, 大致和半径为 $0.64b$ 中心受集中力的圆形平板相同	
<p>周界固定, 中心受集中载荷 <math>P</math></p>	$f = c_8 \frac{Pb^2}{Eh^3}$		$\sigma = -c_9 \frac{P}{h^2}$
<p>两个对边简支, 第三边固定, 第四边自由, 整个板面受均布载荷</p> <p>固定</p> <p>简支</p> <p>自由</p> <p><math>a/2</math> <math>a/2</math></p>	<p>最大挠度在自由边的中点 A 处</p> $f = a \frac{qb^4}{Eh^3}$	<p>最大弯曲应力发生在长边中心的 A 点及 B 点处</p> <p>A 点处:</p> $\sigma = \beta_1 q \left( \frac{a}{h} \right)^2$ <p>B 点处:</p> $\sigma = -\beta_2 q \left( \frac{b}{h} \right)^2$	



(续)

支 承 与 载 荷 特 性	中 心 挠 度	中 心 应 力	长 边 中 心 应 力
两个对边简支, 第三边固定, 第四边自由, 自由边中心受集中载荷 $P$ 	当 $a \gg b$ 时, 受力点的挠度 $f = \frac{1.82Pb^2}{Eh^3}$	当 $a \gg b$ 时, 受力点的计算应力 $\sigma = \frac{3.06P}{h^2}$	

注: 1. 负号表示上边纤维受拉伸; 2. 系数  $c_0 \sim c_9$  及  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  见下面(a)(b)表。

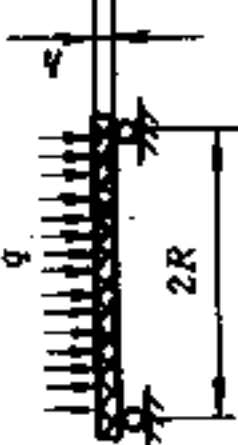
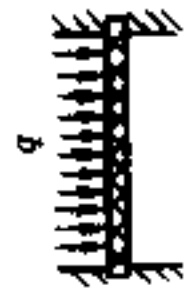
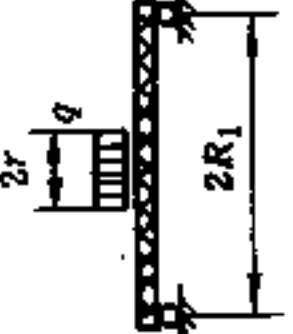
(a) 矩形平板系数 ( $a \geq b$ )

$\frac{a}{b}$	$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	$c_9$	$\frac{a}{b}$
1.0	0.0443	0.2874	0.2874	0.0138	0.1374	0.1374	0.3102	0.1265	0.0611	0.7542	1.0
1.1	0.0530	0.3318	0.2964	0.0165	0.1602	0.1404	0.3324	0.1381			1.1
1.2	0.0616	0.3756	0.3006	0.0191	0.1812	0.1386	0.3672	0.1478	0.0706	0.8940	1.2
1.3	0.0697	0.4158	0.3024	0.0210	0.1968	0.1344	0.4008				1.3
1.4	0.0770	0.4518	0.3036	0.0227	0.2100	0.1290	0.4284	0.1621	0.0755	0.9624	1.4
1.5	0.0843	0.4872	0.2994	0.0241	0.2208	0.1224	0.4518				1.5
1.6	0.0906	0.5172	0.2958	0.0251			0.4680	0.1714	0.0777	0.0006	1.6
1.7	0.0964	0.5448	0.2916								1.7
1.8	0.1017	0.5688	0.2874	0.0267			0.4872	0.1769	0.0786	1.0002	1.8
1.9	0.1064	0.5910	0.2826								1.9
2.0	0.1106	0.6102	0.2784	0.0277			0.4974	0.1803	0.0788	1.0044	2.0
3.0	0.1336	0.7134	0.2424					0.1846			3.0
4.0	0.1400	0.7410	0.2304								4.0
5.0	0.1416	0.7476	0.2250								5.0
$\infty$	0.1422	0.7500	0.2250	0.0284			0.5000	0.1849	0.0792	1.008	$\infty$

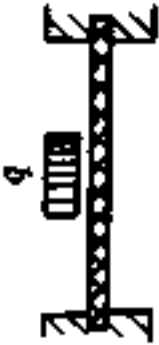
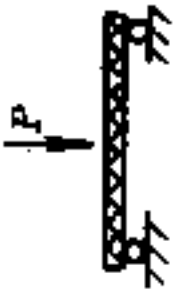
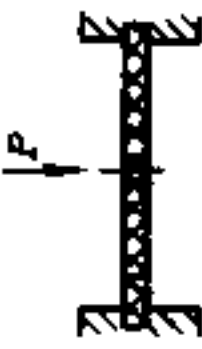
(b) 系数  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  的数值

$\frac{b}{a}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{3}{2}$	2	3	$\infty$
$\alpha$	1.37	1.03	0.635	0.366	0.123	0.154	0.164	0.166	0.166
$\beta_1$	0	0.0468	0.176	0.335	0.583	0.738	0.786	0.798	0.798
$\beta_2$	3.0	2.568	1.914	1.362	0.714	0.744	0.750	0.750	0.750

18.2.4-2 圆形平板计算公式

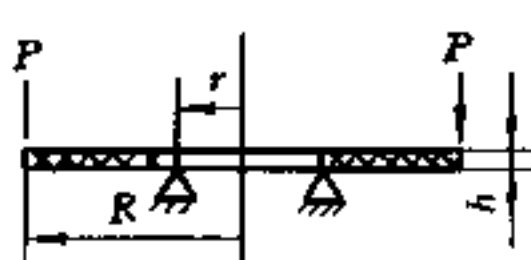
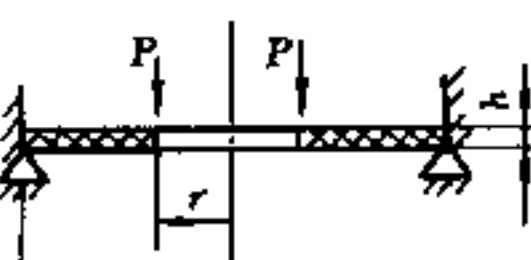

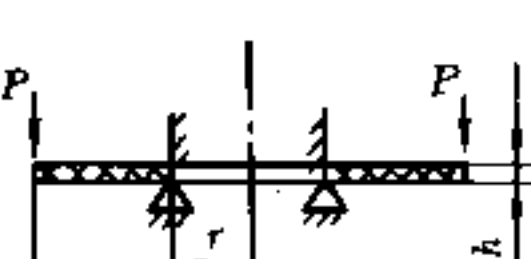
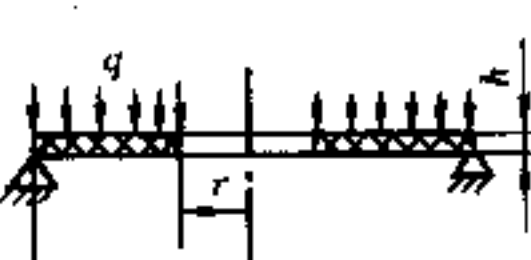
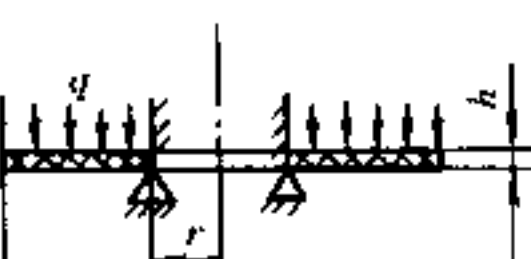
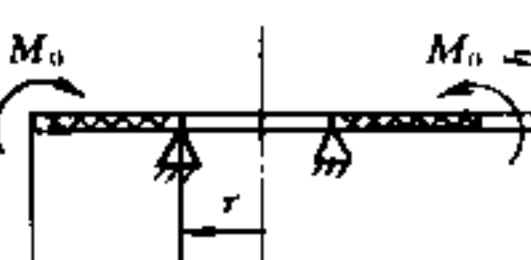
支承与载荷特性	中心挠度	中心应力	周界应力
周界铰支, 整个板面受均布载荷 $q$ 	$f = \frac{0.7qR^4}{Eh^3}$	$\sigma_r = \sigma_t = \mp 1.24q \left( \frac{R}{h} \right)^2$ “+”号指下表面, “-”号指上表面, 下同	$\sigma_r = 0; \sigma_t = \mp 0.52q \left( \frac{R}{h} \right)^2$ “+、-”号同左边
周界固定, 整个板面受均布载荷 $q$ 	$f = -\frac{0.17qR^4}{Eh^3}$	$\sigma_r = \sigma_t = \mp 0.49q \left( \frac{R}{h} \right)^2$	$\sigma_r = \pm 0.75q \left( \frac{R}{h} \right)^2; \sigma_t = \mu\sigma_r$ (μ——波松比, “+”号指上表面, “-”号指下表面)
周界铰支, 载荷均布在中心半径为 $r$ 的圆面积上。比值 $\frac{r}{R} = \beta$ 	$f = (1.73 - 1.03\beta^2 + 0.68\beta^2 \ln\beta) \frac{qR^2 r^2}{Eh^3}$	$\sigma_r = \sigma_t = \mp (1.5 - 0.262\beta^2 - 1.95 \ln\beta) q \left( \frac{r}{h} \right)^2$	$\sigma_r = 0; \sigma_t = \mp 0.525(2 - \beta^2) q \left( \frac{r}{h} \right)^2$ “+”号指下表面, “-”号指上表面

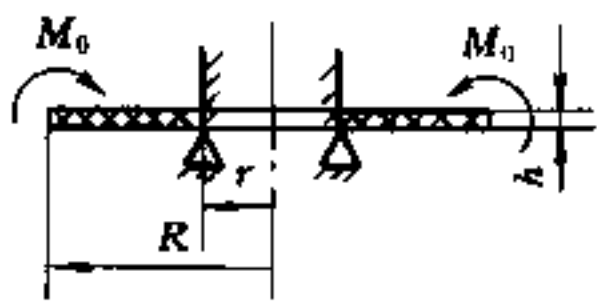
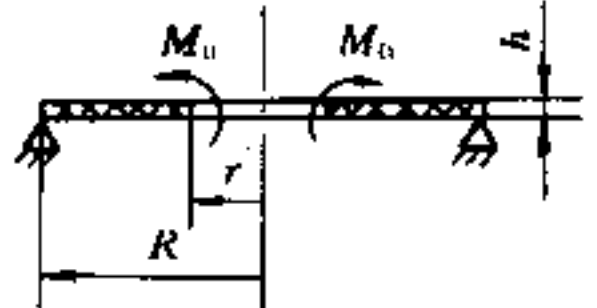
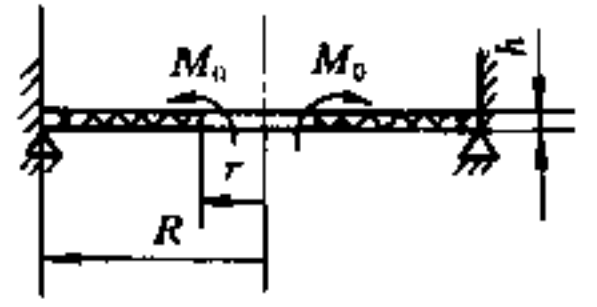
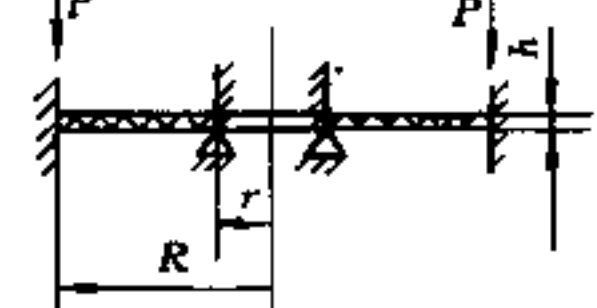
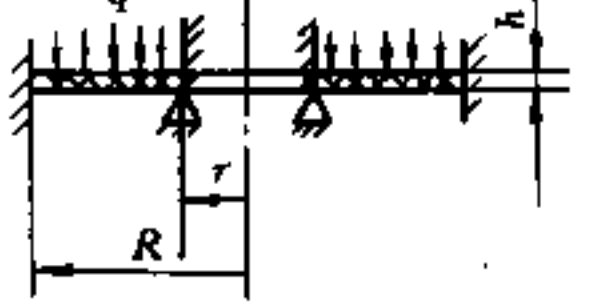
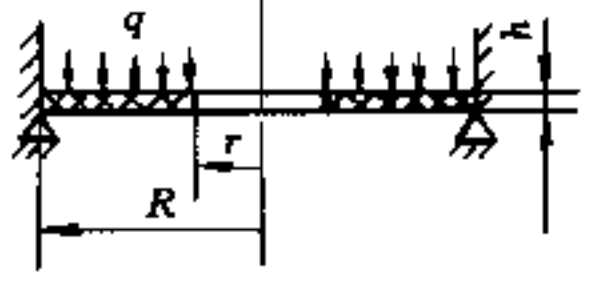
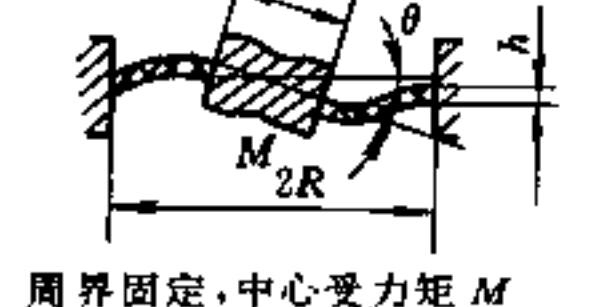
(续)

支承与载荷特性	中心挠度	中心应力	周界应力
周界固定, 载荷均布在中心半径为 $r$ 的圆面积上。比值 $\frac{r}{R} = \beta$ 	$f = (0.68 - 0.53\beta^2 + 0.68\beta^2 \ln \beta) \frac{qR^2 r^2}{Eh^3}$	$\sigma_r = \sigma_t = \mp 0.49(\beta^2 - 4 \ln \beta) q \left( \frac{r}{h} \right)^2$	$\sigma_r = \pm 0.75(2 - \beta^2) q \left( \frac{r}{h} \right)^2; \sigma_t = \mu \sigma_r$ “+”号指上表面, “-”号指下表面
周界铰支, 中心受集中载荷 $P$ 	$f = \frac{0.55PR^2}{Eh^3}$	最大拉伸应力在下表面 $\sigma_{\max} = \sigma_r = \sigma_t = \frac{P}{h^2} \left( 0.63 \ln \frac{R}{h} + 1.16 \right)$	$\sigma_t = \mp 0.334 \frac{P}{h^2}$ “+”号指下表面, “-”号指上表面
周界固定, 中心受集中载荷 $P$ 	$f = \frac{0.218PR^2}{Eh^3}$	最大拉伸应力在下表面 $\sigma_{\max} = \sigma_r = \sigma_t = \frac{P}{h^2} \left( 0.63 \ln \frac{R}{h} + 0.68 \right)$	$\sigma_r = \pm 0.477 \frac{P}{h^2}$ “+”号指上表面, “-”号指下表面

注: 表中  $\sigma_r, \sigma_t$  表示径向应力和圆周向应力。

表 18.2.4-3 圆环形平板计算公式

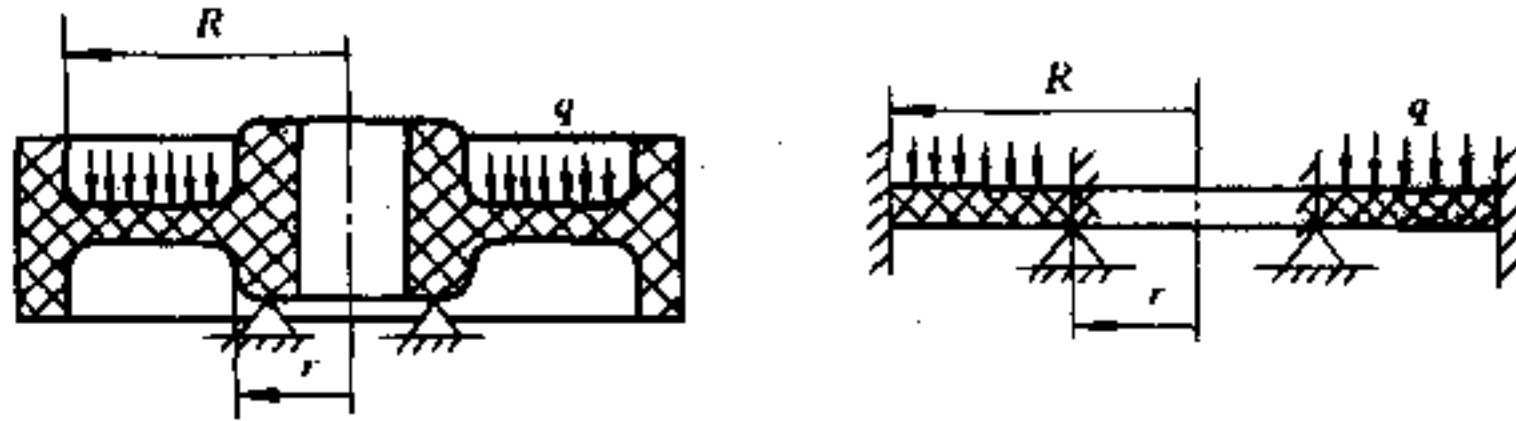
支承与载荷特性	最大挠度	内、外周界处转角	内周界处应力	外周界处应力
1. 	$f = C_1 \frac{PR^2}{Eh^3}$	$\theta_r = K_1 \frac{PR^2}{rEh^3}$ $\theta_R = K_2 \frac{PR^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = A_1 \frac{P}{h^2}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = B_1 \frac{P}{h^2}$
2. 	$f = C_2 \frac{PR^2}{Eh^3}$		$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = A_2 \frac{P}{h^2}$	$\sigma_r = B_2 \frac{P}{h^2}$ $\sigma_t = B_3 \frac{P}{h^2}$
3. 	$f = C_3 \frac{qR^4}{Eh^3}$	$\theta_r = K_3 \frac{qR^4}{rEh^3}$ $\theta_R = K_4 \frac{qR^4}{rEh^3}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = A_3 \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = B_4 \frac{qR^2}{h^2}$
4. 	$f = C_4 \frac{PR^2}{Eh^3}$	$\theta = 0$ $\theta_R = K_5 \frac{PR^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = A_4 \frac{P}{h^2}$ $\sigma_t = A_5 \frac{P}{h^2}$	$\sigma_r \approx 0$ $\sigma_t = B_5 \frac{P}{h^2}$
5. 	$f = C_5 \frac{qR^4}{Eh^3}$	$\theta_r = K_6 \frac{qR^4}{rEh^3}$ $\theta_R = K_7 \frac{qR^4}{rEh^3}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = A_6 \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = B_6 \frac{qR^2}{h^2}$
6. 	$f = C_6 \frac{qR^4}{Eh^3}$	$\theta_r = 0$ $\theta_R = K_8 \frac{qR^4}{rEh^3}$	$\sigma_r = A_7 \frac{qR^2}{h^2}$ $\sigma_t = A_8 \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = B_7 \frac{qR^2}{h^2}$
7. 	$f = C_7 \frac{M_0 R^2}{Eh^3}$	$\theta_r = K_9 \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$ $\theta_R = K_{10} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = A_9 \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = \frac{6M_0}{h^2}$ $\sigma_t = B_8 \frac{M_0}{h^2}$

支承与载荷特性	最大挠度	内、外周界处转角	内周界处应力	外周界处应力
8. 	$f = C_8 \frac{M_0 R^2}{Eh^3}$	$\theta_r = 0$ $\theta_R = K_{11} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = A_{10} \frac{M_0}{h^2}$ $\sigma_t = A_{11} \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = \frac{6M_0}{h^2}$ $\sigma_t = B_9 \frac{M_0}{h^2}$
9. 	$f = C_9 \frac{M_0 R^2}{Eh^3}$	$\theta_r = K_{12} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$ $\theta_R = K_{13} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$	$\sigma_r = \frac{6M_0}{h^2}$ $\sigma_t = A_{12} \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = B_{10} \frac{M_0}{h^2}$
10. 	$f = C_{10} \frac{M_0 R^2}{Eh^3}$	$\theta_r = K_{14} \frac{M_0 R^2}{rEh^3}$ $\theta_R = 0$	$\sigma_r = \frac{6M_0}{h^2}$ $\sigma_t = A_{13} \frac{M_0}{h^2}$	$\sigma_r = B_{11} \frac{M_0}{h^2}$ $\sigma_t = B_{12} \frac{M_0}{h^2}$
11. 	$f = C_{11} \frac{PR^2}{Eh^3}$	$\theta_r = 0$ $\theta_R = 0$	$\sigma_r = A_{14} \frac{P}{h^2}$ $\sigma_t = A_{15} \frac{P}{h^2}$	$\sigma_r = B_{12} \frac{P}{h^2}$ $\sigma_t = B_{14} \frac{P}{h^2}$
12. 	$f = C_{12} \frac{qR^4}{Eh^3}$		$\sigma_r = A_{16} \frac{qR^2}{h^2}$ $\sigma_t = A_{17} \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = B_{15} \frac{qR^2}{h^2}$ $\sigma_t = B_{16} \frac{qR^2}{h^2}$
13. 	$f = C_{13} \frac{qR^4}{Eh^3}$		$\sigma_r = 0$ $\sigma_t = A_{18} \frac{qR^2}{h^2}$	$\sigma_r = B_{17} \frac{qR^2}{h^2}$ $\sigma_t = B_{18} \frac{qR^2}{h^2}$
14.  周界固定, 中心受力矩 M		中心刚性部分的转角 $\theta = K_{15} \frac{M}{Eh^3}$	在内周界上 $\sigma_{r, \max} = A_{19} \frac{M}{Rh^2}$	在外周界上 $\sigma_r = B_{19} \frac{M}{Rh^2}$

(续)

支承与载荷特性	最大挠度	内、外周界处转角	内周界处应力	外周界处应力
---------	------	----------	--------	--------

注:1. 周界固定表示周界(圆柱面)相对支承可以向下或向上产生挠度,但不能旋转(亦称可动固定)。如带有不能变形的轮缘的板(左图)就是属于外周界固定,内周界固定并支起的情况见右图。



2. 表中  $\sigma_r$  表示径向应力,  $\sigma_\theta$  表示圆周向应力。

3. 表中挠度计算应满足下列条件:

如果圆环形板的一个或两个边缘自由支起,应该  $h \leq \frac{2}{3}(R-r)$ ; 如果板的一个或两个边缘固定,则应该  $h \leq \frac{1}{3}(R-r)$ 。

如果上述条件不能满足,则表中所引入的挠度中应附加下列由切力作用所产生的挠度

$$\text{对 1, 4, 11 情况 } \Delta f = \frac{0.239P \ln \frac{R}{r}}{hG};$$

$$\text{对 5 情况 } \Delta f = \frac{0.375qR^2}{hG} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 - \frac{2r^2 \ln R/r}{R^2} \right];$$

$$\text{对 3, 6, 12 情况 } \Delta f = \frac{0.375qR^2}{hG} \left[ 2 \ln R/r - 1 + \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right];$$

式中  $G$ ——剪切弹性模量。

4. 表中  $P$  为沿周界分布的载荷;  $q$  为单位面积上的载荷分布在板的全部表面上;  $M_0$  为单位长度上受的力矩, 分布在板的周界上。

5. 系数  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $K$  见表 3.3-1—表 3.3-5。

(a) 圆环形平板挠度计算系数表

$\frac{R}{r}$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$
1.25	0.341	0.00504	0.201	0.00512	0.184	0.00212	10.39	0.232	8.876	0.197	0.00128	0.0008	0.162
1.50	0.519	0.0241	0.491	0.0249	0.414	0.018	9.26	0.661	6.927	0.485	0.00639	0.00625	0.118
1.75	0.616	0.0516	0.727	0.0545	0.576	0.0523	8.433	1.100	5.604	0.707	0.0143	0.0175	0.0486
2.00	0.672	0.0810	0.901	0.0878	0.674	0.0935	7.804	1.493	4.654	0.847	0.0237	0.0331	0.0114
2.50	0.721	0.133	1.116	0.153	0.782	0.192	6.923	2.114	3.395	0.955	0.0435	0.0706	0.0915
3.00	0.734	0.172	1.225	0.2096	0.820	0.289	6.342	2.556	2.609	0.940	0.0619	0.1097	0.135
3.50	0.732	0.199	1.278	0.256	0.829	0.374	5.937	2.872	2.080	0.878	0.0782	0.146	0.158
4.00	0.724	0.217	1.302	0.294	0.827	0.448	5.642	3.105	1.704	0.802	0.0922	0.179	0.171
4.50	0.714	0.229	1.340	0.325	0.820	0.511	5.419	3.281	1.426	0.726	0.104	0.209	0.178
5.00	0.704	0.238	1.309	0.350	0.811	0.564	5.246	3.418	1.214	0.656	0.115	0.234	0.182

(续)

(b) 圆环形平板转角计算系数表

$\frac{R}{r}$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	$K_{14}$
1.25	1.413	1.323	1.169	6.869	0.0296	3.332	2.774	0.144	42.67	40.85	1.799	37.29	34.13	1.642
1.50	1.102	0.983	0.547	4.597	0.0702	2.330	1.770	0.488	19.20	18.4	2.510	15.47	12.80	2.110
1.75	0.892	0.767	0.258	3.508	0.1000	1.712	1.250	0.936	11.64	11.45	2.749	8.894	6.649	2.136
2.00	0.741	0.621	0.110	2.922	0.119	1.307	0.945	1.436	8.000	8.200	2.777	5.900	4.000	1.998
2.50	0.540	0.441	0.0173	2.352	0.135	0.330	0.629	2.486	4.571	5.189	2.600	3.227	1.829	1.616
3.00	0.415	0.336	0.059	2.083	0.136	0.573	0.467	3.540	3.000	3.800	2.348	2.067	1.000	1.277
3.50	0.331	0.270	0.072	1.920	0.131	0.418	0.373	4.573	2.133	3.010	2.111	1.448	0.610	1.016
4.00	0.271	0.224	0.074	1.804	0.124	0.319	0.310	5.582	1.600	2.500	1.905	1.075	0.400	0.819
4.50	0.227	0.192	0.0716	1.711	0.116	0.251	0.267	6.57	1.247	2.144	1.729	0.832	0.277	0.671
5.00	0.193	0.167	0.0674	1.633	0.109	0.203	0.234	7.54	1.000	1.880	1.579	0.664	0.200	0.558

(c) 圆环形平板内周界处应力计算系数表

$\frac{R}{r}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$
1.25	1.1035	0.0245	1.894	0.227	0.0682	0.592	0.135	0.0456	33.33	6.865
1.50	1.240	0.0868	2.426	0.428	0.128	0.977	0.410	0.123	21.6	7.45
1.75	1.366	0.1723	2.882	0.602	0.181	1.245	0.724	0.217	17.82	7.85
2.00	1.4815	0.270	3.286	0.753	0.226	1.443	1.041	0.312	16.00	8.136
2.50	1.688	0.475	3.983	1.004	0.301	1.710	1.633	0.490	14.29	8.50
3.00	1.868	0.673	4.574	1.206	0.362	1.881	2.153	0.646	13.50	8.71
3.50	2.027	0.855	5.090	1.372	0.412	1.998	2.606	0.782	13.67	8.84
4.00	2.170	1.021	5.547	1.514	0.454	2.082	3.006	0.902	12.80	8.93
4.50	2.298	1.170	5.957	1.637	0.491	2.144	3.362	1.009	12.62	8.99
5.00	2.415	1.305	6.330	1.746	0.524	2.192	3.681	1.104	12.50	9.04

$\frac{R}{r}$	$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$	$A_{14}$	$A_{15}$	$A_{16}$	$A_{17}$	$A_{18}$
1.25	2.059	27.33	0.517	0.114	0.0343	0.0895	0.0269	0.921
1.50	2.234	15.60	0.574	0.219	0.0658	0.273	0.0819	0.677
1.75	2.355	11.82	1.47	0.316	0.0948	0.488	0.146	0.564
2.00	2.440	10.00	2.195	0.405	0.126	0.710	0.213	0.519
2.50	2.550	8.286	3.251	0.564	0.169	1.143	0.343	0.520
3.00	2.613	7.500	3.947	0.703	0.211	1.541	0.462	0.562
3.50	2.653	7.067	4.420	0.825	0.248	1.904	0.571	0.611
4.00	2.679	6.800	4.752	0.935	0.280	2.233	0.670	0.636
4.50	2.698	6.623	4.992	1.033	0.310	2.534	0.760	0.696
5.00	2.71	6.50	5.17	1.123	0.337	2.809	0.843	0.729



(续)

(d) 圆环形平板外周界处应力计算系数表																		
$\frac{R}{r}$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$	$B_9$	$B_{10}$	$B_{11}$	$B_{12}$	$B_{13}$	$B_{14}$	$B_{15}$	$B_{16}$	$B_{17}$	$B_{18}$
1.250	0.8270	0.1940	0.05830	0.4880	0.01830	0.4470	0.00752	27.332	9.242	21.335	0.0131	1.504	0.0986	0.0296	0.040	0.0120	0.330	1.393
1.500	0.7370	0.320	0.096	0.6900	0.05260	0.5960	0.0346	15.603	6.839	14.174	0.041	1.252	0.168	0.0503	0.116	0.0330	0.352	1.347
1.750	0.6710	0.402	0.121	0.7750	0.08750	0.6450	0.0725	11.824	2.2065	11.824	0.065	1.045	0.218	0.0655	0.181	0.0540	0.415	1.309
2.000	0.6210	0.454	0.136	0.807	0.119	0.656	0.113	10.004	0.5764	10.004	0.0927	0.878	0.257	0.077	0.244	0.0730	0.476	1.281
2.500	0.5510	0.510	0.153	0.810	0.168	0.644	0.186	8.2865	0.0482	8.2865	0.1150	0.634	0.311	0.0932	0.346	0.1040	0.566	1.246
3.000	0.5050	0.531	0.159	0.786	0.203	0.624	0.247	7.5005	0.3231	7.5005	0.1579	0.474	0.346	0.104	0.421	0.1260	0.620	1.228
3.500	0.4720	0.538	0.161	0.757	0.229	0.606	0.294	7.0675	0.4951	7.0675	0.2150	0.365	0.371	0.111	0.477	0.1430	0.653	1.218
4.000	0.4490	0.539	0.162	0.731	0.247	0.592	0.330	6.805	0.6090	6.805	0.2800	0.288	0.389	0.117	0.520	0.1560	0.675	1.212
4.500	0.4310	0.536	0.161	0.707	0.261	0.580	0.358	6.6235	0.6900	6.6235	0.330	0.233	0.403	0.121	0.553	0.1660	0.690	1.208
5.000	0.4170	0.533	0.160	0.688	0.272	0.572	0.381	6.5005	0.7470	6.5005	0.380	0.191	0.413	0.124	0.579	0.1740	0.700	1.206

(e) 圆环平板的系数表							
$\frac{r}{R}$	$K_{15}$	$A_{19}$	$B_{19}$	$\frac{r}{R}$	$K_{15}$	$A_{19}$	$B_{19}$
0.5	0.081	1.14	0.573	0.7	0.0128	0.465	0.325
0.6	0.035	0.685	0.452	0.8	0.0032	0.262	0.212

表 18.2-5 压杆受力稳定性计算公式

$$\text{临界载荷 } P_c = \eta \left( \frac{EI}{l^2} \right) \text{ 或 } d = 1.5 \left( \frac{l^2 P}{E} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$E$ —塑件弹性模量(N/cm<sup>2</sup>);  $J = J_{\min}$ —压杆截面惯性矩(cm<sup>4</sup>)

$l$ —压杆全长(cm);  $\eta$ —稳定系数;

$d$ —压杆直径(cm);  $P$ —压杆轴向压力(N)。

表 18.2.5-1 稳定系数  $\eta$ 


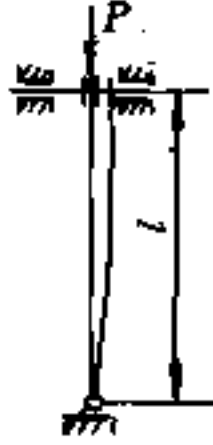

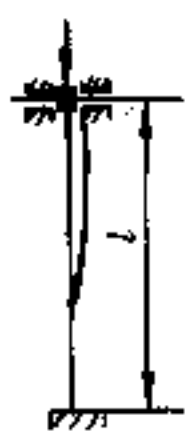
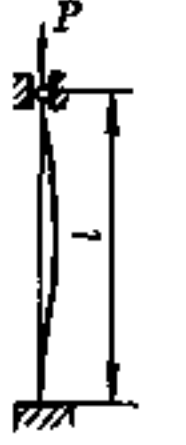
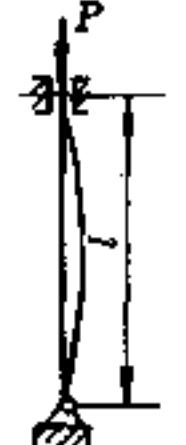
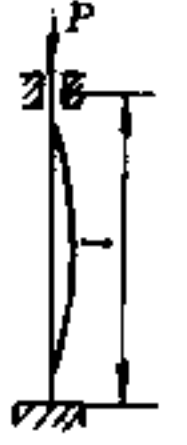

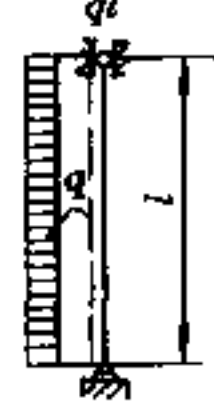
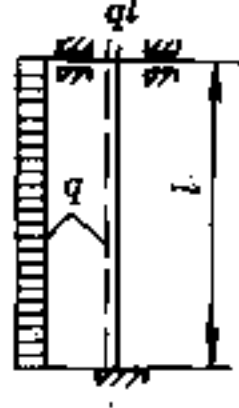
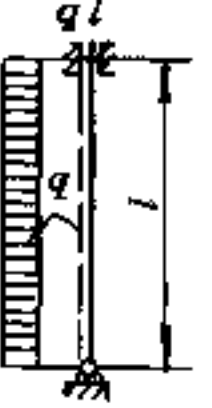
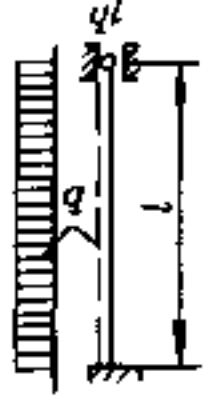
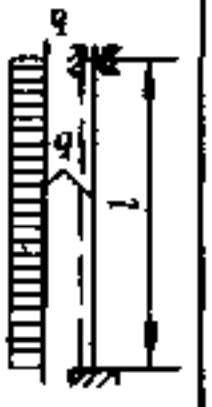
						
$\eta = 2.467$			$\eta = 9.87$		$\eta = 20.19$	$\eta = 39.48$
						
$\eta = 7.87$	$\eta = 18.5$	$\eta = 18.9$	$\eta = 29.6$	$\eta = 52.5$	$\eta = 73.6$	

表 18.2.5-2 中部支撑柱的稳定系数  $\eta$ 

									$\frac{b}{l}$
0	2.467	9.870	20.19	39.48	2.467	9.870	20.19	39.48	0
0.1	2.832	11.33	23.23	45.27	2.883	11.53	23.63	46.13	0.1
0.2	3.283	13.11	27.06	51.97	3.414	13.65	28.09	54.48	0.2
0.3	3.845	15.26	31.75	58.92	4.105	16.37	33.96	64.56	0.3
0.4	4.551	17.72	36.80	58.84	5.021	19.90	41.68	75.22	0.4
0.5	5.438	20.19	39.48	51.12	6.260	24.42	51.12	80.76	0.5
0.6	6.511	21.88	36.80	41.68	7.990	29.82	58.84	75.22	0.6
0.7	7.726	22.14	31.75	33.96	10.39	35.10	58.92	64.56	0.7
0.8	8.874	21.40	27.06	28.09	13.52	38.41	51.97	54.45	0.8
0.9	9.637	20.55	23.23	23.63	17.24	39.40	45.27	46.13	0.9
1.0	9.870	20.19	20.19	20.19	20.19	39.48	39.48	39.48	1.0

## 18.3 塑料管材标准

表 18.3-1 RPVC 管材规格及尺寸公差(GB4219-84)

外径 /mm	外径公差 /mm	压 力 等 级							
		5		6		10		16	
		壁厚及公差 /mm	近似重量 /(kg·m <sup>-1</sup> )	壁厚及公差 /mm	近似重量 /(kg·m <sup>-1</sup> )	壁厚及公差 /mm	近似重量 /(kg·m <sup>-1</sup> )	壁厚及公差 /mm	近似重量 /(kg·m <sup>-1</sup> )
10	±0.2							2.0 <sup>+0.4</sup> <sub>0</sub>	0.05
12	±0.2							2.0 <sup>+0.4</sup> <sub>0</sub>	0.10
16	±0.2							2.0 <sup>+0.4</sup> <sub>0</sub>	0.14
20	±0.3					2.0 <sup>+0.4</sup> <sub>0</sub>	0.17	2.3 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.21
25	±0.3					2.0 <sup>+0.4</sup> <sub>0</sub>	0.18	2.8 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.32
32	±0.3					2.4 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.36	3.6 <sup>+0.6</sup> <sub>0</sub>	0.52
40	±0.4			2.0 <sup>+0.4</sup> <sub>0</sub>	0.36	3.0 <sup>+0.6</sup> <sub>0</sub>	0.57	4.5 <sup>+0.9</sup> <sub>0</sub>	0.91
50	±0.4			2.4 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.60	3.7 <sup>+0.7</sup> <sub>0</sub>	0.88	5.6 <sup>+1.1</sup> <sub>0</sub>	1.27

(续)

外径 /mm	外径公差 /mm	压 力 等 级							
		5		6		10		16	
		壁厚及公差 /mm	近似重量 /(kg·m <sup>-1</sup> )	壁厚及公差 /mm	近似重量 /(kg·m <sup>-1</sup> )	壁厚及公差 /mm	近似重量 /(kg·m <sup>-1</sup> )	壁厚及公差 /mm	近似重量 /(kg·m <sup>-1</sup> )
63	±0.5			3.0 <sup>+0.6</sup> <sub>0</sub>	0.92	4.7 <sup>+0.9</sup> <sub>0</sub>	1.40	7.1 <sup>+1.2</sup> <sub>0</sub>	2.01
75	±0.5			3.6 <sup>+0.7</sup> <sub>0</sub>	1.43	5.5 <sup>+1.1</sup> <sub>0</sub>	2.25	8.4 <sup>+1.4</sup> <sub>0</sub>	2.82
90	±0.7	3.5 <sup>+0.7</sup> <sub>0</sub>	1.47	4.3 <sup>+0.9</sup> <sub>0</sub>	1.80	6.6 <sup>+1.1</sup> <sub>0</sub>	2.53	10.1 <sup>+1.7</sup> <sub>0</sub>	3.84
110	±0.8	4.2 <sup>+0.8</sup> <sub>0</sub>	2.18	5.3 <sup>+1.0</sup> <sub>0</sub>	2.68	8.1 <sup>+1.3</sup> <sub>0</sub>	3.82		
125	±1.0	4.8 <sup>+1.0</sup> <sub>0</sub>	2.85	6.0 <sup>+1.1</sup> <sub>0</sub>	3.45	9.2 <sup>+1.5</sup> <sub>0</sub>	4.63		
140	±1.0	5.4 <sup>+1.1</sup> <sub>0</sub>	3.65	6.7 <sup>+1.1</sup> <sub>0</sub>	4.28	10.3 <sup>+1.7</sup> <sub>0</sub>	6.65		
160	±1.2	6.2 <sup>+1.1</sup> <sub>0</sub>	5.03	7.7 <sup>+1.2</sup> <sub>0</sub>	6.01				
180	±1.4	6.9 <sup>+1.1</sup> <sub>0</sub>	5.79	8.6 <sup>+1.4</sup> <sub>0</sub>	7.60				
200	±1.5	7.7 <sup>+1.2</sup> <sub>0</sub>	7.16	9.6 <sup>+1.5</sup> <sub>0</sub>	9.37				
225	±1.8	8.6 <sup>+1.4</sup> <sub>0</sub>	9.04	10.8 <sup>+1.7</sup> <sub>0</sub>	10.52				
250	±1.8	9.6 <sup>+1.5</sup> <sub>0</sub>	11.98						
280	±2.0	10.7 <sup>+1.7</sup> <sub>0</sub>	13.97						

注：(1)需其他规格、压力等级的管材，可参表 18.3.1-1；

(2)壁厚偏差：管材同一截面的壁厚偏差  $\delta'$  (%) 不得超过 14%，按式(1)计算：

$$\delta' = \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_1} \times 100$$

式中  $\delta_1$ ——管材同一截面的最大壁厚(mm)；

$\delta_2$ ——管材同一截面的最小壁厚(mm)。

(3)颜色：一般为灰色；

(4)长度：4±0.05m, 6±0.05m。

表 18.3.1-1 热塑性塑料管材壁厚表

公称外径 D/mm	管 系 列 S														
	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	32	40	50	63
2.5	0.5														
3	0.5	0.5													
4	0.7	0.6	0.5												
5	0.9	0.7	0.6	0.5											
6	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5										
8	1.4	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5									
10	1.7	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5								
12	2.0	1.7	1.4	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5							
16	2.7	2.2	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5						
20	3.4	2.8	2.3	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5					

(续)

公称外径 D/mm	管系列 S															
	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	32	40	50	63	
25	4.2	3.5	2.8	2.3	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5					
32	5.4	4.4	3.6	2.9	2.4	1.9	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5				
40	6.7	5.5	4.5	3.7	3.0	2.4	1.9	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5			
50	8.3	6.9	5.6	4.6	3.7	3.0	2.4	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5		
63	10.5	8.6	7.1	5.8	4.7	3.8	3.0	2.4	2.0	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	
75	12.5	10.3	8.4	6.8	5.5	4.5	3.6	2.9	2.3	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	
90	15.0	12.3	10.1	8.2	6.6	5.4	4.3	3.5	2.8	2.2	1.8	1.4	1.2	0.9	0.8	
110	18.3	15.1	12.3	10.0	8.1	6.6	5.3	4.2	3.4	2.7	2.2	1.8	1.4	1.1	0.9	
125	20.8	17.1	14.0	11.4	9.2	7.4	6.0	4.8	3.9	3.1	2.5	2.0	1.6	1.3	1.0	
140	23.3	19.2	15.7	12.7	10.3	8.3	6.7	5.4	4.3	3.5	2.8	2.2	1.8	1.4	1.1	
160	26.6	21.9	17.9	14.6	11.8	9.5	7.7	6.2	4.9	4.0	3.2	2.5	2.0	1.6	1.3	
180	29.9	24.6	20.1	16.4	13.3	10.7	8.6	6.9	5.5	4.4	3.6	2.8	2.3	1.8	1.5	
200		27.3	22.4	18.2	14.7	11.9	9.6	7.7	6.2	4.9	3.9	3.2	2.5	2.0	1.6	
225			25.1	20.5	16.6	13.4	10.8	8.6	6.9	5.5	4.4	3.5	2.8	2.3	1.8	
250			27.9	22.7	18.4	14.8	11.9	9.6	7.7	6.2	4.9	3.9	3.1	2.5	2.0	
280				25.4	20.6	16.6	13.4	10.7	8.6	6.9	5.5	4.4	3.5	2.8	2.2	
315				28.6	23.2	18.7	15.0	12.1	9.7	7.7	6.2	4.9	3.9	3.2	2.5	
355					26.1	21.1	16.9	13.6	10.9	8.7	7.0	5.6	4.4	3.5	2.8	
400					29.4	23.7	19.1	15.3	12.3	9.8	7.8	6.3	5.0	4.0	3.2	
450						26.7	21.5	17.2	13.8	11.0	8.8	7.0	5.6	4.5	3.6	
500							29.6	23.9	19.1	15.3	12.3	9.8	7.8	6.2	5.0	4.0
560								26.7	21.4	17.2	13.7	11.0	8.8	7.0	5.6	4.4
630								30.0	24.1	19.3	15.4	12.3	9.8	7.9	6.3	5.0
710									30.6	21.8	17.4	13.9	11.1	8.8	7.1	5.6
800										24.5	19.6	15.7	12.5	10.0	7.9	6.3
900										27.6	22.0	17.6	14.0	11.2	8.9	7.1
1000										30.6	24.5	19.6	15.6	12.4	9.9	7.9

注:  $S = \frac{\sigma}{P}$  S——系列;  $\sigma$ ——许用应力(N/cm<sup>2</sup>); P——流体压力(N/cm<sup>2</sup>)。

表 18.3-2 德国 RPVC 管材系列标准

$d$	壁厚/ mm	质量/ (kg $\cdot$ mm $^{-1}$ )	壁厚/ mm	质量/ (kg $\cdot$ mm $^{-1}$ )	壁厚/ mm	质量/ (kg $\cdot$ mm $^{-1}$ )	壁厚/ mm	质量/ (kg $\cdot$ mm $^{-1}$ )	壁厚/ mm	质量/ (kg $\cdot$ mm $^{-1}$ )	壁厚/ mm	质量/ (kg $\cdot$ mm $^{-1}$ )
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	0.019
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	0.025
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	0.035
10	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	0.045	1.2	0.053
12	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	0.055	1.4	0.073
16	—	—	—	—	—	—	—	—	1.2	0.090	1.8	0.123
20	—	—	—	—	—	—	—	—	1.5	0.137	2.3	0.196
25	—	—	—	—	—	—	1.5	0.174	1.9	0.212	2.8	0.294
32	—	—	—	—	—	—	1.8	0.264	2.4	0.342	3.6	0.482
40	—	—	—	—	1.8	0.334	1.9	0.350	3.0	0.525	4.5	0.750
50	—	—	—	—	1.8	0.422	2.4	0.552	3.7	0.809	5.6	1.16
63	—	—	—	—	1.9	0.562	3.0	0.854	4.7	1.27	7.0	1.82
75	—	—	1.8	0.642	2.2	0.782	3.6	1.22	5.6	1.82	8.4	2.60
90	—	—	1.8	0.774	2.7	1.13	4.3	1.75	6.7	2.61	10.0	3.70
110	1.8	0.950	2.2	1.16	3.2	1.64	5.3	2.61	8.2	3.90	12.3	5.56
125	1.8	1.08	2.5	1.48	3.7	2.13	6.0	3.34	9.3	5.01	13.9	7.13
140	1.8	1.21	2.8	1.84	4.1	2.65	6.7	4.18	10.4	6.27	15.6	8.96
160	1.8	1.39	3.2	2.41	4.7	3.44	7.7	5.47	11.9	8.17	17.8	11.7
180	1.8	1.57	3.6	3.02	5.3	4.37	8.6	6.88	13.4	10.4	20.0	14.7
200	1.8	1.74	4.0	3.70	5.9	5.37	9.6	8.51	14.9	12.8	22.3	18.3
225	1.8	1.96	4.5	4.70	6.6	6.76	10.8	10.8	16.7	16.1	25.0	23.0
250	2.0	2.40	4.9	5.65	7.3	8.31	11.9	13.2	18.6	19.9	27.8	28.4
280	2.3	3.11	5.5	7.11	8.2	10.4	13.4	16.6	20.8	24.9	—	—
315	2.5	3.78	6.2	9.02	9.2	13.2	15.0	20.9	23.4	31.5	—	—
355	2.9	4.87	7.0	11.4	10.4	16.7	16.9	26.5	26.3	39.9	—	—
400	3.2	6.10	7.9	14.5	11.7	21.1	19.1	33.7	29.7	50.8	—	—
450	3.6	7.65	8.9	18.3	13.2	26.8	21.5	42.7	—	—	—	—
500	4.0	9.37	9.8	22.4	14.6	32.9	23.9	52.6	—	—	—	—
560	4.5	11.8	11.0	28.1	16.4	41.4	26.7	65.8	—	—	—	—
630	5.0	14.7	12.4	35.7	18.4	52.2	30.0	83.2	—	—	—	—
710	5.7	18.9	14.0	45.3	20.7	66.1	—	—	—	—	—	—
800	6.4	23.9	15.7	57.2	23.3	83.9	—	—	—	—	—	—
900	7.2	30.2	17.7	72.5	26.3	106	—	—	—	—	—	—
1000	8.0	37.1	19.7	89.6	29.2	131	—	—	—	—	—	—

表 18.3-3 SPVC 管材规格及尺寸公差

(mm)

电 器 套 管			流 体 输 送 管		
内 径	内 径 公 差	壁 厚 及 公 差	内 径	内 径 公 差	壁 厚 及 公 差
1.0	±0.2	0.4±0.05	—	—	—
1.5	±0.25	0.4±0.05	—	—	—
2.0	±0.25	0.4±0.05	—	—	—
2.5	±0.25	0.4±0.05	—	—	—
3.0	±0.25	0.4±0.05	3.0	±0.25	1.0±0.2
3.5	±0.25	0.4±0.05	—	—	—
4.0	±0.25	0.6±0.1	4.0	±0.25	1.0±0.2
4.5	±0.25	0.6±0.1	—	—	—
5.0	±0.25	0.6±0.1	5.0	±0.25	1.0±0.2
6.0	±0.30	0.6±0.1	6.0	±0.30	1.0±0.2
7.0	±0.30	0.6±0.1	7.0	±0.30	1.0±0.2
8.0	±0.50	0.6±0.1	8.0	±0.5	1.5±0.3
9.0	±0.50	0.6±0.1	9.0	±0.5	1.5±0.3
10.0	±0.50	0.7±0.1	10.0	±0.5	1.5±0.3
12.0	±0.50	0.7±0.1	12.0	±0.5	1.5±0.30
14.0	±0.50	0.7±0.1	14.0	±0.5	2.0±0.3
16.0	±0.80	0.9±0.1	16.0	±0.8	2.0±0.3
18.0	±0.9	1.2±0.15	—	—	—
20.0	±1.0	1.2±0.15	20.0	±1.0	2.5±0.4
22.0	±1.0	1.2±0.15	—	—	—
25.0	±1.0	1.2±0.15	25.0	±1.0	3.0±0.4
28.0	±1.0	1.4±0.2	—	—	—
30.0	±1.3	1.4±0.2	32.0	±1.2	3.5±0.4
34.0	±1.3	1.4±0.2	—	—	—
36.0	±1.3	1.4±0.2	—	—	—
40.0	±2.0	1.8±0.2	40.0	±2.0	4.0±0.4
			50.0	±2.0	5.0±0.4

表 18.3.3-1 SPVC 管材与机头参数关系

SG79—75(SPVC 输液管)		机 头 参 数	
内径及公差 /mm	厚度及公差 /mm	口模内径 /mm	芯模外径 /mm
10±0.5	1.5±0.3	16	12
12±0.5	1.5±0.3		
14±0.5	2±0.3		
16±1	2±0.3	26	20
20±1	2.5±0.4		
25±1	3±0.4		
32±1.3	3.5±0.4	40	32
40±2	4±0.4		
50±2	5±0.4	61	50

表 18.3-4 PP 管材规格及尺寸公差

(mm)

公称外径	外径公差	I 型		II 型		III 型	
		壁厚	公差	壁厚	公差	壁厚	公差
16	±0.2	—	—	—	—	—	—
20	±0.3	—	—	—	—	—	—
25	±0.3	—	—	—	—	2.0	+0.4
32	±0.3	—	—	—	—	2.2	+0.4
40	±0.4	—	—	2.1	+0.4	2.8	+0.5
50	±0.4	2.0	+0.4	2.6	+0.5	3.4	+0.6
63	±0.5	2.3	+0.5	3.3	+0.6	4.3	+0.7
75	±0.5	2.7	+0.5	3.9	+0.6	5.1	+0.8
90	±0.7	3.2	+0.6	4.7	+0.7	6.1	+0.9
110	±0.8	3.9	+0.6	5.7	+0.8	7.5	+1.0
125	±1.0	4.4	+0.7	6.5	+0.8	8.5	+1.1
140	±1.0	5.0	+0.7	7.3	+1.0	9.5	+1.2
160	±1.2	5.7	+0.8	8.3	+1.1	10.8	+1.3
180	±1.4	6.4	+0.9	9.4	+1.2	12.2	+1.5
200	±1.5	7.1	+1.0	10.4	+1.3	13.5	+1.6
225	±1.8	7.9	+1.1	11.7	+1.4	—	—
250	±1.8	8.3	+1.1	13.0	+1.5	—	—
280	±2.0	9.9	+1.2	14.5	+1.9	—	—
315	±2.5	11.1	+1.3	16.3	+1.7	—	—
355	±3.0	12.5	+1.5	18.4	+2.1	—	—
400	±3.5	14.1	+1.7	20.7	+2.4	—	—
450	±4.0	15.8	+1.8	—	—	—	—
500	±4.5	17.8	+2.0	—	—	—	—
560	±5.0	—	—	—	—	—	—
630	±5.5	—	—	—	—	—	—

表 18.3-5 PE 管材规格及尺寸公差

外径 /mm	外径公差 /mm	壁厚及公差 /mm	近似质量 /kg·m <sup>-1</sup>
5	±0.1	0.5 <sup>+0.2</sup> <sub>0</sub>	0.007
6	±0.1	0.5 <sup>+0.2</sup> <sub>0</sub>	0.008
8	±0.2	1.0 <sup>+0.3</sup> <sub>0</sub>	0.020
10	±0.2	1.0 <sup>+0.3</sup> <sub>0</sub>	0.026
12	±0.3	1.5 <sup>+0.3</sup> <sub>0</sub>	0.046
16	±0.3	2.0 <sup>+0.4</sup> <sub>0</sub>	0.081
20	±0.4	2.0 <sup>+0.4</sup> <sub>0</sub>	0.104
25	±0.4	2.0 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.133
32	±0.5	2.5 <sup>+0.5</sup> <sub>0</sub>	0.213
40	±0.5	3.0 <sup>+0.6</sup> <sub>0</sub>	0.321
50	±0.5	4.0 <sup>+0.8</sup> <sub>0</sub>	0.532
63	±0.8	5.0 <sup>+0.8</sup> <sub>0</sub>	0.838

管材同一截面的壁厚偏差  $\delta'$  (%) 不得超过 14%，其计算公式如下：

$$\delta' = \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_1} \times 100$$

式中  $\delta_1$ ——管材同一截面的最大壁厚, mm;

$\delta_2$ ——管材同一截面的最小壁厚, mm。



## 18.4 塑料模具设计的力学特性

表 18.4-1 模腔刚性计算的允许变形量  $\delta$  ( $\mu\text{m}$ )

塑件精度等级(SJ1372—78)	1—4			5—8		
模具制造精度(GB1800—79)	IT8			IT9		
基本尺寸/mm	组合式型腔			组合式型腔		
	低粘度塑料	中粘度塑料 (整体式)	高粘度塑料	低粘度塑料	中粘度塑料 (整体式)	高粘度塑料
>10~20	13	20	32	13	20	33
>20~30	14	22	35	14	23	37
>30~40	15	23	38	15	24	40
>40~60	16	25	40	16	26	43
>60~80	17	27	44	18	28	46
>80~100	18	28	46	19	30	49
>100~120	19	30	48	20	31	52
>120~140	20	31	50	20	33	54
>140~160	20	32	51	21	34	56
>160~180	21	33	53	22	35	58
>180~200	21	33	54	22	36	59
>200~225	22	35	55	24	37	60
>225~250	23	35	57	25	39	62
>250~280	23	36	58	25	40	64
>280~315	24	37	60	26	41	66
>315~355	25	38	62	27	42	68
>355~400	25	40	63	28	44	70
>400~450	26	41	65	29	45	72
>450~500	27	42	67	30	47	75
>500	16I <sup>①</sup>	25I <sup>①</sup>	40I <sup>①</sup>	16I <sup>①</sup>	25I <sup>①</sup>	40I <sup>①</sup>

①  $I = [0.45(L_i)^{\frac{1}{3}} + 0.1\Delta_i]$ , 式中:  $L_i$ —塑件名义尺寸(mm);  $\Delta_i$ —塑件公差(mm)。

表 18.4-2 常用模具钢的机械性能

模具加工方法	钢号	适用性和特征	热 处 理	抗拉弯 强 度 /MPa	延伸率 /%	冲击值 /(Nm·mm <sup>-2</sup> )	硬 度 HRC	耐	切	淬	淬	耐	备
								磨	削	火	火	热	
								性	工	透	不	性	注
机 械 加 工	45	切削加工性好, 调质后有较高的强度和韧性 主要用于模具结构零件及要求不高的成型零件	830~850℃水淬 200~560℃回火	150~75	3~15	30~80	52~25	中	优	差	差	差	—
	55	调质状态使用, 具有较高的强度和硬度, 韧性好 用于制造形状简单的成型零件	820~840℃水淬 200~600℃回火	150~81	3~15	30~100	55~23	中	良	中	差	差	—

(续)

模具加工方法	钢号	适用性和特征	热 处 理	抗拉弯 强 度 /MPa	延伸率 /%	冲击值 /(Nm·mm <sup>-2</sup> )	硬度 HRC	耐	切	淬	淬	耐	备
								磨	削	透	火	热	
								性	工	性	不	性	
机 械 加 工	T8	可淬性高,但淬透性差,淬火变形较大	T8: 760~780℃ 水淬, 180~200℃ 回火	205~210	—	—	60~63	中	优	差	差	差	—
			或 790~810℃ 碱浴 淬火, 180~200℃ 回火	205~210	—	—	60~63	中	优	差	中	差	
	T10	用于制造要求耐磨性高的结构零件及尺寸小,形状简单,一般要求的成型零件	T10: 770~790℃ 水淬, 180~200℃ 回火	215~225	—	—	62~64	良	良	差	差	差	—
			或: 800~820℃ 碱浴 淬火, 180~200℃ 回火	215~225	—	—	62~66	良	良	差	中	差	
	40CrMnMo	油淬钢,淬透性好,表面硬度较高,心部韧性好,热处理变形小,易于切削加工。用于制造要求高的结构零件,中等强度要求的成型零件。渗碳后可用于要求高耐磨性的成型零件	850~870℃ 油淬, 560~600℃ 回火	106~125	10~12	70~90	35~40	中	良	良	良	中	—
			880~900℃ 渗碳 850~870℃ 油淬, 180~200℃ 回火	140~160	—	—	61~63	良	良	良	良	中	
	5CrMnMo	淬透性与强度比40CrMnMo高些,也可以渗碳后使用 用于制造尺寸大,要求高强度及韧性的模具零件	840~860℃ 油淬, 200~600℃ 回火	182~105	8~18	—	56~30	中	中	良	良	良	—
			880~900℃ 渗碳, 840~860℃ 油淬, 180~200℃ 回火	—	—	—	58~62	良	中	良	良	良	
	5CrW2Si	切削加工性好,淬透性和耐热性好。热处理后具有高的强度和韧性,可以渗碳。用于尺寸大、要求高强度、韧性和耐热性的模具零件	870~900℃ 油淬, 240~600℃ 回火	185~125	8~13	—	55~35	中	中	良	良	良	—
			880~900℃ 渗碳 870~900℃ 油淬, 180~200℃ 回火	—	—	—	58~62	良	中	良	良	良	
9Mn2V	渗透性好,热处理变形小,具有较高的耐磨性和韧性可制造各种类型模具的成型零件,可代替9CrWMo钢	780~800℃ 油淬, 160~180℃ 回火	200~250	—	—	>60	良	中	良	良	差	—	

(续)

模具加工方法	钢号	适用性和特征	热处理	抗拉弯强度 /MPa	延伸率 /%	冲击值 / $(Nm \cdot mm^{-2})$	硬度 HRC	耐	切	淬	淬	耐	备
								磨	削	透	火	热	
机 械 加 工	9CrWMn CrWMn	基本同 9Mn <sub>2</sub> V 钢, 淬火过热较敏感, CrWMn 钢的碳化物不均匀性大些	810~830℃油淬, 180~200℃回火	220~260	—	50~60	60~63	良	中	良	良	中	—
	MnCrWV	切削加工性和淬透性比 9Mn <sub>2</sub> V、9CrWMn 钢好, 热处理变形小, 用于制造形状复杂, 负荷较大的成形零件, 可代替 9CrWMn 钢	800~840℃油淬, 180~200℃回火	—	—	—	>62	良	良	良	良	中	—
	CrMn2Si WMoV	空冷钢, 淬透性比 Cr12 型钢好, 热处理变形很小。具有高硬度和耐磨性, 较高的韧性。 用于要求高寿命、高精度、形状复杂, 大量生产用的模具成型零件。可代替 Cr12 型钢	820~840℃空气或油淬  180~200℃回火	280~340	—	50~60	61~64	优	中	优	优	中	—
	Cr4W2MoV	基本类似 Cr12 钢, 可代替 Cr12 钢制作高寿命、形状复杂的模具成型零件	970~990℃油淬, 180~200℃回火 1020~1050℃油淬, 500~550℃回火	250 250	— —	30 —	62~64 61~62	优	中	优	优	中	—
	Cr6WV	性能相似于 Cr12 钢, 但耐磨性低些	980~1000℃油淬, 180~200℃回火 1080~1100℃油淬, 490~510℃回火	300~350	—	—	>60 >60	优	中	优	优	中	—
	20CrMnTi	渗碳并热处理后表面硬度高, 心部强韧, 热处理变形小用于形状复杂的成型零件, 可代替 9Mn <sub>2</sub> V 等钢	900~920℃渗碳, 870~890℃, 800~820℃两次淬火, 180~200℃回火	110~125	10~15	80~130	58~62	良	良	中	良	中	—
	20CrMnMo	同上。可代替 20CrNi4 渗碳钢	880~900℃渗碳, 840~860℃, 780~800℃两次淬火, 180~200℃回火	120~145	8~12	50~80	58~62	良	良	良	良	中	—

(续)

模具加工方法	钢号	适用性和特征	热处理	抗拉强度 /MPa	延伸率 /%	冲击值 / $(\text{Nm}\cdot\text{mm}^{-2})$	硬度 HRC	耐磨性	切削加工性	淬透性	淬火不变形性	耐热性	备注
机械加工	38CrMoAl	优质氮化钢,调质并氮化后表面硬度很高,心部强韧。耐热性和耐蚀性也好用于制造尺寸不大、要求高耐磨性、耐热性和耐腐蚀性好的模具零件	930~950℃油淬,550~650℃回火 调质后氮化	105~85	12~18	70~130	HB230~305 HV950~1100	差	良	中	中	中	耐蚀性良
	2Cr13	马氏体钢,调质后具有较高强度,韧性和耐蚀性 调质并氮化后获得高耐磨性和耐蚀性	1010~1030℃油淬,650~700℃回火 调质并氮化	90~75	>14	750	HB230~375 HV800~1100	差	良	良	良	中	良
压力加工	0.8	1. 0.8、10 钢塑性好,易加压成形	0.8、10: 910~930℃渗碳,780~800℃水淬,180~200℃回火	—	—	—	60~62	良	—	差	差	差	—
	10	2. 15Mn 的强度、塑性和淬透性比 15 钢好	15: 900~920℃渗碳,780~800℃水淬,180~200℃回火	—	—	—	60~62	良	—	差	差	差	—
	15	3. 20~35 钢及 15Mn 的成型性差,但心部强度高	15Mn: 890~910℃渗碳,780~800℃回火	—	—	—	60~62	良	—	中	中	差	—
	15Mn 20、25、35	0.8、10、15、15Mn 钢用于制造形状简单、小型、使用期限不长的模具成型零件。20~35 钢用于压缩比不大的简单零件											

表 18.4-3 常用铝合金的基本性能

材料名称	牌 号	硬度 HB≤	抗拉强度/MPa	基 本 性 质
铸造铝合金	ZL <sub>5</sub>	60	20	耐腐性高
	ZL <sub>7</sub>	50	16	耐腐性好、可在高温下工作
	ZL <sub>8</sub>	85	20	强度好,热膨胀系数小
	ZL <sub>16</sub>	80	20	应在压力下铸造,强度高

表 18.4-4 常用弹簧钢的化学成分及基本性质

牌号	化学成分 / %							基本性质
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	
65	0.62~0.70	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25	≤0.25	≤0.04	≤0.04	小型截面的弹性零件可淬火处理
70	0.67~0.75	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25	≤0.25	≤0.04	≤0.04	强度及弹性稍高于 65, 其它同上
75	0.72~0.80	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.25	≤0.25	≤0.04	≤0.04	弹性及耐磨好于 65、70 钢
80	0.77~0.85	0.17~0.37	0.5~0.80	≤0.25	≤0.25	≤0.04	≤0.04	弹性及耐磨的零件
65Mn	0.57~0.65	0.17~0.37	0.70~1.00	≤0.25	≤0.25	≤0.04	≤0.04	弹性较大及耐磨零件, 淬透性较好
55MnSi	0.52~0.60	0.50~0.80	0.6~0.9	≤0.25	≤0.25	≤0.04	≤0.04	弹性较大及耐磨零件, 淬透性较好

表 18.4-5 易切结构钢的基本性能

牌号	化学成分 / %					不经热处理热轧钢的机械性能			不经热处理冷轧钢的机械性能			用途
	C	Mn	Si	P	S	$\delta_b$ /MPa	$\delta$ /%	HB	棒钢直径大于 30mm			
									$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	HB	
Y12	0.08~0.16	0.6~0.9	0.15~0.35	0.08~0.15	0.08~0.20	42~57	>22	≤160	52~70	7	167~217	联接零件
Y20	0.15~0.25	0.6~0.9	0.15~0.35	≤0.06	0.08~0.15	46~61	>20	≤168	54~73	7	167~217	联接零件
Y30	0.25~0.35	0.70~1.00	0.15~0.35	≤0.06	0.08~0.15	52~67	>15	≤185	55~70	6	174~223	耐磨及较复杂零件
Y40 Mn	0.35~0.45	1.20~1.55	0.15~0.35	≤0.05	0.18~0.30	60~75	>14	≤207	—	—	—	耐磨及复杂零件

表 18.4-6 德国塑料模具钢

钢的分类	钢号	德国工业标准 (DIN)	化学成分 / %						热处理	表面硬度 HRC	芯部强度 /MPa
			C	Mn	Cr	Ni	Mo	V			
渗碳钢	2341	X6CrMo4	0.04		3.75		0.40		油淬火	60	80~90
	2162	21MnCr5	0.20	1.2	1.20				油淬火	60	100~120
	2764	X19NiCrMo4	0.20		1.30	4.0	0.20		油淬火 气冷淬火	60 56	120~150 90~120
预先达到使用强度的调质钢	2311	40CrMnMo7	0.40	1.45	1.95		0.20				100
	2708	54NiCrMoS6	0.54	0.65	0.85	1.65	0.30	0.10			100
耐腐蚀钢	2316	X36CrMo17	0.36	0.70	16.0		1.10		油淬火	40~50	
									气冷淬火	43~48	
淬透钢	2743	60NiCrMoV124	0.60		1.20	3.00	0.40	0.10	油, 气冷淬火	58~69, 56~58	
	2842	90MnV8	0.90	2.0	0.35			0.20	油淬火	58~60	
	2080	X210Cr12	2.00		12.0				热油浴淬火	60	
特殊钢	2369	81MoCrV4216	0.81	0.80	4.0			1.0	热浴气冷淬火	60~62	
	2709	X2NiCoMo1895	C 0.02	Ni 18.5	Co 9.0	Mo 5.0	Ti 0.6	其他 Al, BZr	热时效硬化	52~55	200

表 18.4-7 日本塑料模具钢

钢种	一般分类	化学组成 /%							退火		淬火温度 /℃	相当于我国钢号
		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	Al	温度 /℃	硬度 (HB)		
S50C	机械结构用碳素钢	0.47~0.53	0.15~0.35	0.60~0.90					800 徐冷	187 以下	810~860 水	50
S55C		0.52~0.58	0.15~0.35	0.60~0.90					190 徐冷	192 以下	800~860 水	55
SCM <sub>4</sub>	铬钼钢	0.38~0.43	0.15~0.35	0.60~0.90	0.90~1.20		0.15~0.30		830 徐冷	217 以下	830~880 油	42CrMo
SACM <sub>4</sub>	铬钼铝钢	0.04~0.50	0.15~0.50	0.60~0.85	1.30~1.70		0.15~0.30	0.10~1.20	830 徐冷	217 以下	880~930 油	38CrMoAlA
SK <sub>3</sub>	碳素工具钢	1.00~1.10	0.35 以下	0.60 以下					750~780 徐冷	212 以下	760~820 水	T10
SK <sub>4</sub>		0.90~1.00	0.35 以下	0.60 以下					740~760 徐冷	207 以下	760~820 水	
SK <sub>5</sub>		0.80~0.90	0.35 以下	0.50 以下					740~760 徐冷	207 以下	760~820 水	T8MnA
SK <sub>6</sub>		0.70~0.80	0.35 以下	0.50 以下					740~760 徐冷	201 以下	760~820 水	
SK <sub>7</sub>		0.60~0.70	0.35 以下	0.50 以下					750~780 徐冷	201 以下	760~820 水	
SKS <sub>2</sub>	合金工具钢	1.00~1.10	0.35 以下	0.80 以下	0.50~1.00	1.00~1.50			750~780 徐冷	217 以下	830~880 油	CrW
SKS <sub>3</sub>		0.90~1.00	0.35 以下	0.90~1.20	0.50~1.00	0.50~1.00			750~800 徐冷	217 以下	800~850 油	MnCrW
SUI <sub>2</sub>	高碳素铬轴承钢	0.95~1.10	0.15~0.35	0.50 以下	1.30~1.60				760~800 徐冷	201 以下	800~850 油	GCr15

表 18.4-8 美国塑料模具钢

钢号 (AISI)	化学成分 /%							
	C	Cr	Mo	W	V	Mn	Ni	Al
P <sub>1</sub>	0.10				0.01			
P <sub>2</sub>	0.07	0.20	0.20				0.50	
P <sub>3</sub>	0.10						1.25	
P <sub>4</sub>	0.07	5.00	0.75					
P <sub>5</sub>	0.10	2.55						
P <sub>6</sub>	0.10	1.50						
P <sub>20</sub>	0.35	1.25	0.40				3.50	

(续)

钢号	化 学 成 分 /%								
	(AISI)	C	Cr	Mo	W	V	Mn	Ni	Al
P <sub>21</sub>		0.20	0.25					4.00	1.20
PPT		0.20				0.20		4.00	1.20
2		0.50	1.00			0.20			
O1		0.90	0.50		0.50		1.00		
A <sub>2</sub>		1.00	5.00	1.00					
A <sub>6</sub>		0.70	1.00	1.00			2.00		
H <sub>13</sub>		0.35	5.00	1.50		1.00			
S <sub>7</sub>		0.50	3.25	1.40					

表 18.4-9 国内外常用模具钢牌号对照表

中国牌号	日 本 (JIS)	美 国 (AISI)	西 德 (DIN)	苏 联 (ГОСТ)
T7A	SK7	W1-0.7C	C70W2(W1)	Y7A
T8A	SK6	W1-0.8C	—	Y8A
T10A	SK4	W1-1.0C	C100W2	Y10A
T12A	SK2	W1-1.2C	C115W2	Y12A
9CrWMn	SKS3	O1	—	9XBГ
CrWMn	SKS31	—	105WCr6	XBГ
9Mn2V	—	O2	90MnV8	9T2φ
Cr12	SKD1	D3	X210Cr12	X12
Cr12MoV	SKD11	D2	X165CrMoV12	X12Mφ
Cr16WV	SKD12	—	—	X6Bφ
9SiCr	—	—	90SiCr5	9XC
5CrMnMo	SKT5	—	—	5XГM
5CrNiMo	SKT4	L6	55NiCrMoV51	5XHM
4Cr5MoVSi	SKD6	H11	X38CrMoV51	4X5MφC
4Cr5MoV1Si	SKD61	H13	X40CrMoV51	4X5Mφ1C
4Cr5W2VSi	—	—	—	4X5B2φ2C
3Cr2W8V	SKD5	H21	X30WCrV93	3X2B8φ

## 18.5 公差与配合

表 18.5-1 标准公差数值(GB1800-79)

基本尺寸 /mm	公 差 等 级																			
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于 至	(μm)										(mm)									
— 3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
3 6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
6 10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2



(续)

基本尺寸 /mm		公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	(μm)												(mm)							
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7
500	630	4.5	6	9	11	16	22	30	44	70	110	175	280	440	0.70	1.10	1.75	2.8	4.4	7.0	11.0
630	800	5	7	10	13	18	25	35	50	80	125	200	320	500	0.80	1.25	2.00	3.2	5.0	8.0	12.5
800	1000	5.5	8	11	15	21	29	40	56	90	140	230	360	560	0.90	1.40	2.30	3.6	5.6	9.0	14.0
1000	1250	6.5	9	13	18	24	34	46	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.60	4.2	6.6	10.5	16.5
1250	1600	8	11	15	21	29	40	54	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.10	5.0	7.8	12.5	19.5
1600	2000	9	13	18	25	35	48	65	92	150	230	370	600	920	1.50	2.30	3.70	6.0	9.2	15.0	23.0
2000	2500	11	15	22	30	41	57	77	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.80	4.40	7.0	11.0	17.5	28.0
2500	3150	13	18	26	36	50	69	93	135	210	330	540	860	1350	2.10	3.30	5.40	8.6	13.5	21.0	33.0

注:基本尺寸小于1mm时,无IT14~18。

## 新国标与旧国标公差等级对照

新 国 标		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	
旧 国 标		无 相 应 等 级						
新 国 标		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
旧 国 标	轴	1	2	3	3~4	4	5	6
	孔		1	2	3			
新 国 标		IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
旧 国 标		7		8	9	10	11	12

表 18.5-2 常用孔的优先极限偏差(GB1801-79)

基本尺寸 /mm		公差带代号和偏差值 / $\mu\text{m}$																					
大于	至	A11	B11	B12	C11	D8	D9	D10	D11	E8	E9	F6	F7	F8	F9	G6	G7	H6	H7	H8	H9	H10	H11
—	3	+330	+200	+240	+120	+34	+45	+60	+80	+28	+39	+12	+16	+20	+31	+8	+12	+6	+10	+14	+25	+40	+60
		+270	+140	+140	+60	+20	+20	+20	+20	+14	+14	+6	+6	+6	+6	+2	+2	0	0	0	0	0	0
3	6	+345	+215	+260	+145	+48	+60	+78	+105	+38	+50	+18	+22	+28	+40	+12	+16	+8	+12	+18	+30	+48	+75
		+270	+140	+140	+70	+30	+30	+30	+30	+20	+20	+10	+10	+10	+10	+4	+4	0	0	0	0	0	0
6	10	+370	+240	+300	+170	+62	+76	+98	+130	+47	+61	+22	+28	+35	+49	+14	+20	+9	+15	+22	+36	+58	+90
		+280	+150	+150	+80	+40	+40	+40	+40	+25	+25	+13	+13	+13	+13	+5	+5	0	0	0	0	0	0
10	14	+400	+260	+330	+205	+77	+93	+120	+160	+59	+75	+27	+34	+43	+59	+17	+24	+11	+18	+27	+43	+70	+110
		+290	+150	+150	+95	+50	+50	+50	+50	+32	+32	+16	+16	+16	+16	+6	+6	0	0	0	0	0	0
14	18	+430	+290	+370	+240	+98	+117	+149	+195	+73	+92	+33	+41	+53	+72	+20	+28	+13	+21	+33	+52	+84	+130
		+300	+160	+160	+110	+65	+65	+65	+65	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+7	+7	0	0	0	0	0	0
18	24	+470	+330	+420	+280	+119	+142	+180	+240	+89	+112	+41	+50	+64	+87	+25	+34	+16	+25	+39	+62	+100	+160
		+310	+170	+170	+120	+80	+80	+80	+80	+50	+50	+25	+25	+25	+25	+9	+9	0	0	0	0	0	0
24	30	+480	+340	+430	+290	+80	+80	+80	+80	+50	+50	+25	+25	+25	+25	+9	+9	0	0	0	0	0	0
		+320	+180	+180	+130	+100	+100	+100	+100	+60	+60	+30	+30	+30	+30	+10	+10	0	0	0	0	0	0
30	40	+530	+380	+490	+330	+146	+174	+220	+290	+106	+134	+49	+60	+76	+104	+29	+40	+19	+30	+46	+74	+120	+190
		+340	+190	+190	+140	+100	+100	+100	+100	+60	+60	+30	+30	+30	+30	+10	+10	0	0	0	0	0	0
40	50	+550	+390	+500	+340	+100	+100	+100	+100	+60	+60	+30	+30	+30	+30	+10	+10	0	0	0	0	0	0
		+360	+200	+200	+150	+100	+100	+100	+100	+60	+60	+30	+30	+30	+30	+10	+10	0	0	0	0	0	0
50	65	+600	+440	+570	+390	+174	+207	+260	+340	+126	+159	+58	+71	+90	+123	+34	+47	+22	+35	+54	+87	+140	+220
		+380	+220	+220	+170	+120	+120	+120	+120	+72	+72	+36	+36	+36	+36	+12	+12	0	0	0	0	0	0
65	80	+630	+460	+590	+400	+120	+120	+120	+120	+72	+72	+36	+36	+36	+36	+12	+12	0	0	0	0	0	0
		+410	+240	+240	+180	+120	+120	+120	+120	+72	+72	+36	+36	+36	+36	+12	+12	0	0	0	0	0	0
80	100	+600	+440	+570	+390	+174	+207	+260	+340	+126	+159	+58	+71	+90	+123	+34	+47	+22	+35	+54	+87	+140	+220
		+380	+220	+220	+170	+120	+120	+120	+120	+72	+72	+36	+36	+36	+36	+12	+12	0	0	0	0	0	0
100	120	+630	+460	+590	+400	+120	+120	+120	+120	+72	+72	+36	+36	+36	+36	+12	+12	0	0	0	0	0	0
		+410	+240	+240	+180	+120	+120	+120	+120	+72	+72	+36	+36	+36	+36	+12	+12	0	0	0	0	0	0





(续)

基本尺寸 /mm		公差带代号和偏差值 / $\mu\text{m}$																					
大于	至	H12	Js6	Js7	Js8	K6	K7	K8	M6	M7	M8	N6	N7	N8	P6	P7	R6	R7	S6	S7	T6	T7	U7
120	140																-56	-48	-85	-77	-115	-107	-155
140	160	+400	$\pm 12.5$	$\pm 20$	$\pm 31$	+4	+12	+20	-8	0	+8	-20	-12	-4	-36	-28	-58	-50	-93	-85	-127	-119	-175
160	180	0				-21	-28	-43	-33	-40	-55	-45	-52	-67	-61	-68	-83	-90	-118	-125	-152	-159	-215
180	200																-61	-53	-101	-93	-139	-131	-195
200	225	+460	$\pm 14.5$	$\pm 23$	$\pm 36$	+5	+13	+22	-8	0	+9	-22	-14	-5	-41	-33	-71	-63	-121	-113	-157	-149	-219
225	250	0				-24	-33	-50	-37	-46	-63	-51	-60	-77	-70	-79	-100	-109	-150	-159	-200	-209	-287
250	280																-75	-67	-131	-123	-187	-179	-267
280	315	+520	$\pm 16$	$\pm 26$	$\pm 40$	+5	+16	+25	-9	0	+9	-25	-14	-5	-47	-36	-117	-126	-181	-190	-241	-250	-347
315	355	0				-27	-36	-56	-41	-52	-72	-57	-66	-86	-79	-88	-89	-78	-161	-150	-231	-220	-330
355	400	+570	$\pm 18$	$\pm 28$	$\pm 44$	+7	+17	+28	-10	0	+11	-26	-16	-5	-51	-41	-133	-144	-215	-226	-293	-304	-426
400	450	0				-29	-40	-61	-46	-57	-78	-62	-73	-94	-87	-98	-103	-93	-197	-187	-283	-273	-414
450	500	+630	$\pm 20$	$\pm 31$	$\pm 48$	+8	+18	+29	-10	0	+11	-27	-17	-6	-55	-45	-113	-103	-219	-209	-317	-307	-467
500		0				-32	-45	-68	-50	-63	-86	-67	-80	-103	-95	-108	-119	-109	-239	-229	-347	-337	-517
																	-159	-172	-279	-292	-387	-400	-580

表 18.5-3 常用轴的优先极限偏差(GB1801-79)

基本尺寸 /mm		公差带代号和偏差值 / $\mu\text{m}$																			
大于	至	a11	b11	b12	e9	c10	c11	d8	d9	d10	d11	e7	e8	e9	f5	f6	f7	f8	f9	g5	g6
—	3	-270 -330	-140 -200	-140 -240	-60 -85	-60 -100	-60 -120	-20 -34	-20 -45	-20 -60	-20 -80	-14 -24	-14 -28	-14 -39	-6 -10	-6 -12	-6 -16	-6 -20	-6 -31	-2 -6	-2 -6
3	6	-270 -345	-140 -215	-140 -260	-70 -100	-70 -118	-70 -145	-30 -48	-30 -60	-30 -78	-30 -105	-20 -32	-20 -38	-20 -50	-10 -15	-10 -18	-10 -22	-10 -28	-10 -40	-4 -9	-4 -12
6	10	-280 -370	-150 -240	-150 -300	-80 -116	-80 -138	-80 -170	-40 -62	-40 -76	-40 -98	-40 -130	-25 -40	-25 -47	-25 -61	-13 -19	-13 -22	-13 -28	-13 -35	-13 -49	-5 -11	-5 -14
10	14	-290 -400	-150 -260	-150 -330	-95 -138	-95 -165	-95 -205	-50 -77	-50 -93	-50 -120	-50 -160	-32 -50	-32 -59	-32 -75	-16 -24	-16 -27	-16 -34	-16 -43	-16 -59	-6 -14	-6 -17
14	18	-300 -430	-160 -290	-160 -370	-110 -162	-110 -194	-110 -240	-65 -98	-65 -117	-65 -149	-65 -195	-40 -61	-40 -73	-40 -92	-20 -29	-20 -33	-20 -41	-20 -53	-20 -72	-7 -16	-7 -20
18	24	-310 -470	-170 -330	-170 -420	-120 -182	-120 -220	-120 -280	-80 -119	-80 -142	-80 -180	-80 -240	-50 -75	-50 -89	-50 -112	-25 -36	-25 -41	-25 -50	-25 -64	-25 -87	-9 -20	-9 -25
30	40	-320 -480	-180 -340	-180 -430	-130 -192	-130 -230	-130 -290	-100 -146	-100 -174	-100 -220	-100 -290	-60 -90	-60 -106	-60 -134	-30 -43	-30 49	-30 -60	-30 -76	-30 -104	-10 -23	-10 -29
40	50	-340 -530	-190 -380	-190 -490	-140 -214	-140 -260	-140 -340	-100 -146	-100 -174	-100 -220	-100 -290	-60 -90	-60 -106	-60 -134	-30 -43	-30 49	-30 -60	-30 -76	-30 -104	-10 -23	-10 -29
50	65	-360 -550	-200 -390	-200 -500	-150 -224	-150 -270	-150 -340	-100 -146	-100 -174	-100 -220	-100 -290	-60 -90	-60 -106	-60 -134	-30 -43	-30 49	-30 -60	-30 -76	-30 -104	-10 -23	-10 -29
65	80	-380 -600	-220 -440	-220 -570	-170 -257	-170 -310	-170 -390	-120 -174	-120 -207	-120 -260	-120 -340	-72 -107	-72 -126	-72 -159	-36 -51	-36 -58	-36 -71	-36 -90	-36 -123	-12 -27	-12 -34
80	100	-410 -630	-240 -460	-240 -590	-180 -267	-180 -320	-180 -400	-120 -174	-120 -207	-120 -260	-120 -340	-72 -107	-72 -126	-72 -159	-36 -51	-36 -58	-36 -71	-36 -90	-36 -123	-12 -27	-12 -34





(续)

基本尺寸 /mm		公差带代号和偏差值 / $\mu\text{m}$																			
大于	至	g7	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	js5	js6	js7	k5	k6	k7	m5	m6	m7	n5	n6
—	3	-2 -12	0 -4	0 -6	0 -10	0 -14	0 -25	0 -40	0 -60	0 -100	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 5$	+4 0	+6 0	+10 0	+6 +2	+8 +2	+12 +2	+8 +4	+10 +4
3	6	-4 -16	0 -5	0 -8	0 -12	0 -18	0 -30	0 -48	0 -75	0 -120	$\pm 2.5$	$\pm 4$	$\pm 6$	+6 +1	+9 +1	+13 +1	+9 +4	+12 +4	+16 +4	+13 +8	+16 +8
6	10	-5 -20	0 -6	0 -9	0 -15	0 -22	0 -36	0 -58	0 -90	0 -150	$\pm 3$	$\pm 4.5$	$\pm 7$	+7 +1	+10 +1	+16 +1	+12 +6	+15 +6	+21 +6	+16 +10	+19 +10
10	14	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 4$	$\pm 5.5$	$\pm 9$	+9 +1	+12 +1	+19 +1	+15 +7	+18 +7	+25 +7	+20 +12	+23 +12
14	18	-24	-8	-11	-18	-27	-43	-70	-110	-180	$\pm 4.5$	$\pm 6.5$	$\pm 10$	+11 +2	+15 +2	+23 +2	+17 +8	+21 +8	+29 +8	+24 +15	+28 +15
18	24	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 5.5$	$\pm 8$	$\pm 12$	+13 +2	+18 +2	+27 +2	+20 +9	+25 +9	+34 +9	+28 +17	+33 +17
24	30	-28	-9	-13	-21	-33	-52	-84	-130	-210	$\pm 6.5$	$\pm 9.5$	$\pm 15$	+15 +2	+21 +2	+32 +2	+24 +11	+30 +11	+41 +11	+33 +20	+39 +20
30	40	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 7.5$	$\pm 11$	$\pm 17$	+18 +3	+25 +3	+38 +3	+28 +13	+35 +13	+48 +13	+38 +23	+45 +23
40	50	-34	-11	-16	-25	-39	-62	-100	-160	-250	$\pm 9$	$\pm 12.5$	$\pm 20$	+21 +3	+28 +3	+43 +3	+33 +15	+40 +15	+55 +15	+45 +27	+52 +27
50	65	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 10$	$\pm 14.5$	$\pm 23$	+24 +4	+33 +4	+50 +4	+37 +17	+46 +17	+63 +17	+51 +31	+60 +31
65	80	-40	-13	-19	-30	-46	-74	-120	-190	-300	$\pm 11.5$	$\pm 16$	$\pm 26$	+27 +4	+36 +4	+56 +4	+43 +20	+52 +20	+72 +20	+57 +34	+66 +34
80	100	-12	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 12.5$	$\pm 18$	$\pm 28$	+29 +4	+40 +4	+61 +4	+46 +21	+57 +21	+78 +21	+62 +37	+73 +37
100	120	-47	-15	-22	-35	-54	-87	-140	-220	-350	$\pm 13.5$	$\pm 20$	$\pm 31$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
120	140	-14	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 14.5$	$\pm 23$	$\pm 36$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
140	160	-54	-18	-25	-40	-63	-100	-160	-250	-400	$\pm 15.5$	$\pm 26$	$\pm 40$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
160	180	-14	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 16.5$	$\pm 30$	$\pm 45$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
180	200	-15	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 17.5$	$\pm 34$	$\pm 50$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
200	225	-61	-20	-29	-46	-72	-115	-185	-290	-460	$\pm 18.5$	$\pm 38$	$\pm 55$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
225	250	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 19.5$	$\pm 42$	$\pm 60$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
250	280	-69	-23	-32	-52	-81	-130	-210	-320	-520	$\pm 20.5$	$\pm 46$	$\pm 65$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
280	315	-18	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 21.5$	$\pm 50$	$\pm 70$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
315	355	-75	-25	-36	-57	-89	-140	-230	-360	-570	$\pm 22.5$	$\pm 54$	$\pm 75$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
355	400	-20	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 23.5$	$\pm 58$	$\pm 80$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
400	450	-83	-27	-40	-63	-97	-155	-250	-400	-630	$\pm 24.5$	$\pm 62$	$\pm 85$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40
450	500	-17	0	0	0	0	0	0	0	0	$\pm 25.5$	$\pm 66$	$\pm 90$	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+50 +23	+63 +23	+86 +23	+67 +40	+80 +40

(续)

基本尺寸 /mm		公差带代号和偏差值 / $\mu\text{m}$																		
大于	至	n7	p5	p6	p7	r5	r6	r7	s5	s6	s7	t5	t6	t7	u6	u7	v6	x6	y6	z6
—	3	+14 +4	+10 +6	+12 +6	+16 +6	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+18 +14	+20 +14	+24 +14	—	—	—	+24 +18	+28 +18	—	+26 +20	—	+32 +26
3	6	+20 +8	+17 +12	+20 +12	+24 +12	+20 +15	+23 +15	+27 +15	+24 +19	+27 +19	+31 +19	—	—	—	+31 +23	+35 +23	—	+36 +28	—	+43 +35
6	10	+25 +10	+21 +15	+24 +15	+30 +15	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+29 +23	+32 +23	+38 +23	—	—	—	+37 +28	+43 +28	—	+43 +34	—	+51 +42
10	14	+30 +12	+26 +18	+29 +18	+36 +18	+31 +23	+34 +23	+41 +23	+36 +28	+39 +28	+46 +28	—	—	—	+44 +33	+51 +33	—	+51 +40	—	+61 +50
14	18	+36 +15	+22 +18	+22 +18	+22 +18	+28 +23	+28 +23	+28 +23	+35 +28	+35 +28	+35 +28	—	—	—	+54 +33	+62 +33	+50 +39	+56 +45	—	+71 +60
18	24	+36 +15	+31 +22	+35 +22	+43 +22	+37 +28	+41 +28	+49 +28	+44 +35	+48 +35	+56 +35	—	—	—	+54 +48	+62 +48	+60 +55	+67 +64	+76 +75	+86 +88
24	30	+36 +15	+22 +18	+22 +18	+22 +18	+28 +23	+28 +23	+28 +23	+35 +28	+35 +28	+35 +28	—	—	—	+61 +48	+69 +48	+68 +55	+77 +64	+88 +75	+101 +88
30	40	+42 +17	+37 +26	+42 +26	+51 +26	+45 +34	+50 +34	+59 +34	+54 +43	+59 +43	+68 +43	+59 +54	+64 +54	+73 +54	+76 +70	+85 +70	+84 +81	+96 +97	+110 +114	+128 +136
40	50	+42 +17	+37 +26	+42 +26	+51 +26	+45 +34	+50 +34	+59 +34	+54 +43	+59 +43	+68 +43	+59 +54	+64 +54	+73 +54	+76 +70	+85 +70	+84 +81	+96 +97	+110 +114	+128 +136
50	65	+50 +20	+45 +32	+51 +32	+62 +32	+41 +43	+41 +43	+41 +43	+53 +59	+53 +59	+53 +59	+66 +75	+66 +75	+66 +75	+87 +102	+87 +102	+121 +120	+141 +146	+163 +174	+191 +210
65	80	+50 +20	+45 +32	+51 +32	+62 +32	+41 +43	+41 +43	+41 +43	+53 +59	+53 +59	+53 +59	+66 +75	+66 +75	+66 +75	+87 +102	+87 +102	+121 +120	+141 +146	+163 +174	+191 +210
80	100	+58 +23	+52 +37	+59 +37	+72 +37	+51 +54	+51 +54	+51 +54	+71 +79	+71 +79	+71 +79	+106 +104	+113 +104	+126 +104	+146 +144	+146 +144	+168 +172	+200 +210	+236 +254	+280 +310
100	120	+58 +23	+52 +37	+59 +37	+72 +37	+51 +54	+51 +54	+51 +54	+71 +79	+71 +79	+71 +79	+106 +104	+113 +104	+126 +104	+146 +144	+146 +144	+168 +172	+200 +210	+236 +254	+280 +310

(续)

基本尺寸 /mm		公差带代号和偏差值 / $\mu\text{m}$																		
大于	至	n7	p5	p6	p7	r5	r6	r7	s5	s6	s7	t5	t6	t7	u6	u7	v6	x6	y6	z6
120	140					+81 +63	+88 +63	+103 +63	+110 +92	+117 +92	+132 +92	+140 +122	+147 +122	+162 +122	+195 +170	+210 +170	+227 +202	+273 +248	+325 +300	+390 +365
140	160	+67 +27	+61 +43	+68 +43	+83 +43	+83 +65	+90 +65	+105 +65	+118 +100	+125 +100	+140 +100	+152 +134	+159 +134	+174 +134	+215 +190	+230 +190	+253 +228	+305 +280	+365 +340	+440 +415
160	180					+86 +68	+93 +68	+108 +68	+126 +108	+133 +108	+148 +108	+164 +146	+171 +146	+186 +146	+235 +210	+250 +210	+277 +252	+335 +310	+405 +380	+490 +465
180	200					+97 +77	+106 +77	+123 +77	+142 +122	+151 +122	+168 +122	+186 +166	+195 +166	+212 +166	+265 +236	+282 +236	+313 +284	+379 +350	+454 +425	+549 +520
200	225	+77 +31	+70 +50	+79 +50	+96 +50	+100 +80	+109 +80	+126 +80	+150 +130	+159 +130	+176 +130	+200 +180	+209 +180	+226 +180	+287 +258	+304 +258	+339 +310	+414 +385	+499 +470	+604 +575
225	250					+104 +84	+113 +84	+130 +84	+160 +140	+169 +140	+186 +140	+216 +196	+225 +196	+242 +196	+313 +284	+330 +284	+369 +340	+454 +425	+549 +520	+669 +640
250	280	+86 +34	+79 +56	+88 +56	+108 +56	+94 +121	+94 +130	+94 +150	+158 +193	+158 +202	+158 +222	+218 +240	+218 +240	+218 +240	+315 +350	+315 +350	+385 +425	+475 +525	+580 +650	+710 +822
280	315					+98 +133	+98 +144	+98 +165	+170 +215	+170 +226	+170 +247	+240 +293	+240 +293	+240 +293	+350 +426	+350 +426	+425 +511	+525 +626	+650 +766	+790 +936
315	355	+94 +37	+87 +62	+98 +62	+119 +62	+108 +139	+108 +150	+108 +171	+190 +233	+190 +244	+190 +265	+268 +319	+268 +319	+268 +319	+390 +471	+390 +471	+475 +566	+590 +696	+730 +856	+900 +1036
355	400					+114 +153	+114 +166	+114 +189	+208 +259	+208 +272	+208 +295	+294 +357	+294 +357	+294 +357	+435 +530	+435 +530	+530 +635	+660 +780	+820 +960	+1000 +1140
400	450	+103 +40	+95 +68	+108 +68	+131 +68	+126 +159	+126 +172	+126 +195	+232 +279	+232 +292	+232 +315	+330 +387	+330 +387	+330 +387	+490 +580	+490 +580	+595 +700	+740 +860	+920 +1040	+1100 +1290
450	500					+132 +159	+132 +172	+132 +195	+252 +292	+252 +292	+252 +315	+360 +423	+360 +423	+360 +423	+540 +660	+540 +660	+660 +780	+820 +960	+1000 +1140	+1250 +1440

(mm)

表 18.5.4 大尺寸孔的极限偏差(GB1802-79)

基本尺寸 /mm		公差带																	
		D						E			F			G			H		
		8	9	10	11	8	9	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	10
大于	至																		
500	630	+370 +260	+435 +260	+540 +260	+700 +260	+255 +145	+320 +145	+146 +76	+186 +76	+251 +76	+66 +22	+92 +22	+70 0	+110 0	+175 0	+280 0			
630	800	+415 +290	+490 +290	+610 +290	+790 +290	+285 +160	+360 +160	+160 +80	+205 +80	+280 +80	+74 +24	+104 +24	+80 0	+125 0	+200 0	+320 0			
800	1000	+460 +320	+550 +320	+680 +320	+880 +320	+310 -170	+400 +170	+176 +86	+226 +86	+316 +86	+82 +26	+116 +26	+90 0	+140 0	+230 0	+360 0			
1000	1250	+515 +350	+610 +350	+770 +350	+1010 +350	+360 +195	+455 +195	+203 +98	+263 +98	+358 +98	+94 +28	+133 +28	+105 0	+165 0	+260 0	+420 0			
1250	1600	+585 +390	+700 +390	+890 +390	+1170 +390	+415 +220	+530 +220	+235 +110	+305 +110	+420 +110	+108 +30	+155 +30	+125 0	+195 0	+310 0	+500 0			
1600	2000	+660 +430	+800 +430	+1030 +430	+1350 +430	+470 +240	+610 +240	+270 +120	+350 +120	+490 +120	+124 +32	+182 +32	+150 0	+230 0	+370 0	+600 0			
2000	2500	+760 +480	+920 +480	+1180 +480	+1580 +480	+540 +260	+700 +260	+305 +130	+410 +130	+570 +130	+144 +34	+209 +34	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0			
2500	3150	+850 +520	+1060 +520	+1380 +520	+1870 +520	+620 +290	+830 +290	+355 +145	+475 +145	+685 +145	+173 +38	+248 +38	+210 0	+330 0	+540 0	+860 0			

(续)

基本尺寸 /mm		公差带																	
		H						Js						K		M		N	
		11	12	6	7	8	9	10	11	12	6	7	6	7	6	7	6	7	
大丁	至																		
500	630	+440 0	+700 0	±22	±35	±55	±87	±140	±220	±350	0	0	-26	-26	-44	-44	-44	-114	
630	800	+500 0	+800 0	±25	±40	±62	±100	±160	±250	±400	0	0	-30	-30	-50	-50	-50	-130	
800	1000	+560 0	+900 0	±28	±45	±70	±115	±180	±280	±450	0	0	-34	-34	-56	-56	-56	-146	
1000	1250	+660 0	+1050 0	±33	±52	±82	±130	±210	±330	±525	0	0	-40	-40	-66	-66	-66	-171	
1250	1600	+780 0	+1250 0	±39	±62	±97	±155	±250	±390	±625	0	0	-48	-48	-78	-78	-78	-203	
1600	2000	+920 0	+1500 0	±46	±75	±115	±185	±300	±460	±750	0	0	-58	-58	-92	-92	-92	-242	
2000	2500	+1100 0	+1750 0	±55	±87	±140	±220	±350	±550	±875	0	0	-68	-68	-110	-110	-110	-285	
2500	3150	+1350 0	+2100 0	±67.5	±105	±165	±270	±430	±675	±1050	0	0	-76	-76	-135	-135	-135	-345	

注:  $J_s$  的数值: 对 IT7 至 IT11, 若 IT 的数值 ( $\mu\text{m}$ ) 为奇数, 则取  $J_s = \pm \frac{IT-1}{2}$ 。



(续)

基本尺寸 mm		公差带																	
		js		k		m		n		p		r		s		t		u	
大于	至	9	10	11	12	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7
500	560	±87	±140	±220	±350	+44	+70	+70	+88	+114	+122	+148	+194	+220	+324	+350	+470	+644	+670
560	630					0	0	+26	+44	+44	+78	+78	+199	+225	+354	+380	+520	+704	+730
630	710	±100	±160	±250	±400	+50	+80	+80	+100	+130	+138	+168	+225	+255	+390	+420	+580	+790	+820
710	800					0	0	+30	+50	+50	+88	+88	+235	+265	+430	+460	+640	+890	+920
800	900	±115	±180	±280	±450	+56	+90	+90	+112	+146	+156	+190	+266	+300	+486	+520	+710	+996	+1030
900	1000					0	0	+34	+56	+56	+100	+100	+276	+310	+526	+560	+770	+1106	+1140
1000	1120	±130	±210	±330	±525	+66	+105	+106	+132	+171	+186	+225	+316	+355	+586	+625	+885	+1216	+1255
1120	1250					0	0	+40	+66	+66	+120	+120	+326	+365	+646	+685	+945	+1366	+1405
1250	1400	±155	±250	±390	±625	+78	+125	+126	+156	+203	+218	+265	+378	+425	+718	+765	+1085	+1528	+1575
1400	1600					0	0	+48	+78	+78	+140	+140	+403	+455	+798	+845	+1175	+1678	+1725
1600	1800	±185	±300	±460	±750	+92	+150	+150	+184	+242	+262	+320	+462	+520	+912	+970	+1350	+1942	+2000
1800	2000					0	0	+58	+92	+92	+170	+170	+492	+550	+1012	+1070	+1500	+2092	+2150
2000	2240	±220	±350	±550	±875	+110	+175	+178	+220	+285	+305	+370	+550	+615	+1110	+1175	+1675	+2410	+2475
2240	2500					0	0	+68	+110	+110	+195	+195	+570	+635	+1210	+1275	+1825	+2610	+2075
2500	2800	±270	±430	±675	±1050	+135	+210	+211	+270	+345	+375	+450	+685	+760	+1385	+1460	+2110	+3035	+3110
2800	3150					0	0	+76	+135	+135	+240	+240	+715	+790	+1535	+1610	+2310	+3335	+3410

注:js的数值;对IT7至IT11,若IT的数值( $\mu\text{m}$ )为奇数,则取 $js = \pm \frac{IT-1}{2}$ 。



表 18.5-6 未注公差尺寸的极限偏差(GB1804-79)

基本尺寸 /mm		公 差 带																				
大于	至	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	Js12 (js12)	Js13 (js13)	Js14 (js14)	Js15 (js15)	Js16 (js16)	Js17 (js17)	Js18 (js18)
—	3	+0.10 0	+0.14 0	+0.25 0	+0.40 0	+0.60 0	+1.0 0	+1.4 0	0 -0.10	0 -0.14	0 -0.25	0 -0.40	0 -0.60	0 -1.0	0 -1.4	±0.05	±0.07	±0.125	±0.20	±0.30	±0.5	±0.7
3	6	+0.12 0	+0.18 0	+0.30 0	+0.48 0	+0.75 0	+1.2 0	+1.8 0	0 -0.12	0 -0.18	0 -0.30	0 -0.48	0 -0.75	0 -1.2	0 -1.8	±0.06	±0.09	±0.15	±0.24	±0.375	±0.6	±0.9
6	10	+0.15 0	+0.22 0	+0.36 0	+0.58 0	+0.90 0	+1.5 0	+2.2 0	0 -0.15	0 -0.22	0 -0.36	0 -0.58	0 -0.90	0 -1.5	0 -2.2	±0.075	±0.11	±0.18	±0.29	±0.45	±0.75	±1.1
10	18	+0.18 0	+0.27 0	+0.43 0	+0.70 0	+1.10 0	+1.8 0	+2.7 0	0 -0.18	0 -0.27	0 -0.43	0 -0.70	0 -1.10	0 -1.8	0 -2.7	±0.09	±0.135	±0.215	±0.35	±0.55	±0.9	±1.35
18	30	+0.21 0	+0.33 0	+0.52 0	+0.84 0	+1.30 0	+2.1 0	+3.3 0	0 -0.21	0 -0.33	0 -0.52	0 -0.84	0 -1.30	0 -2.1	0 -3.3	±0.105	±0.165	±0.26	±0.42	±0.65	±1.05	±1.65
30	50	+0.25 0	+0.39 0	+0.62 0	+1.00 0	+1.60 0	+2.5 0	+3.9 0	0 -0.25	0 -0.39	0 -0.62	0 -1.00	0 -1.60	0 -2.5	0 -3.9	±0.125	±0.195	±0.31	±0.50	±0.80	±1.25	±1.95
50	80	+0.30 0	+0.46 0	+0.74 0	+1.20 0	+1.90 0	+3.0 0	+4.6 0	0 -0.30	0 -0.46	0 -0.74	0 -1.20	0 -1.90	0 -3.0	0 -4.6	±0.15	±0.23	±0.37	±0.60	±0.95	±1.5	±2.3
80	120	+0.35 0	+0.54 0	+0.87 0	+1.40 0	+2.20 0	+3.5 0	+5.4 0	0 -0.35	0 -0.54	0 -0.87	0 -1.40	0 -2.20	0 -3.5	0 -5.4	±0.175	±0.27	±0.435	±0.70	±1.10	±1.75	±2.7
120	180	+0.40 0	+0.63 0	+1.00 0	+1.60 0	+2.50 0	+4.0 0	+6.3 0	0 -0.40	0 -0.63	0 -1.00	0 -1.60	0 -2.50	0 -4.0	0 -6.3	±0.20	±0.315	±0.50	±0.80	±1.25	±2.0	±3.15
180	250	+0.46 0	+0.72 0	+1.15 0	+1.85 0	+2.90 0	+4.6 0	+7.2 0	0 -0.46	0 -0.72	0 -1.15	0 -1.85	0 -2.90	0 -4.6	0 -7.2	±0.23	±0.36	±0.575	±0.925	±1.45	±2.3	±3.6
250	315	+0.52 0	+0.81 0	+1.30 0	+2.10 0	+3.20 0	+5.2 0	+8.1 0	0 -0.52	0 -0.81	0 -1.30	0 -2.10	0 -3.20	0 -5.2	0 -8.1	±0.26	±0.405	±0.65	±1.05	±1.60	±2.6	±4.05

(续)

基本尺寸		公差带																				
大于	至	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	h12	h13	h14	h15	h16	h17	h18	Js12 (js12)	Js13 (js13)	Js14 (js14)	Js15 (js15)	Js16 (js16)	Js17 (js17)	Js18 (js18)
315	400	+0.57 0	+0.89 0	+1.40 0	+2.30 0	+3.60 0	+5.7 0	+8.9 0	-0.57 0	-0.89 -1.40	0 -2.30	0 -3.60	0 -5.7	0 -8.9	±0.285	±0.445	±0.70	±1.15	±1.80	±2.85	±4.45	
400	500	+0.63 0	+0.97 0	+1.55 0	+2.50 0	+4.00 0	+6.3 0	+9.7 0	-0.63 0	-0.97 -1.55	0 -2.50	0 -4.00	0 -6.3	0 -9.7	±0.315	±0.485	±0.775	±1.25	±2.00	±3.15	±4.85	
500	630	+0.70 0	+1.10 0	+1.75 0	+2.8 0	+4.4 0	+7.0 0	+11.0 0	-0.70 0	-1.10 -1.75	0 -2.8	0 -4.4	0 -7.0	0 -11.0	±0.35	±0.55	±0.875	±1.4	±2.2	±3.5	±5.5	
630	800	+0.80 0	+1.25 0	+2.00 0	+3.2 0	+5.0 0	+8.0 0	+12.5 0	-0.80 0	-1.25 -2.00	0 -3.2	0 -5.0	0 -8.0	0 -12.5	±0.40	±0.625	±1.00	±1.6	±2.5	±4.0	±6.25	
800	1000	+0.90 0	+1.40 0	+2.30 0	+3.6 0	+5.6 0	+9.0 0	+14.0 0	-0.90 0	-1.40 -2.30	0 -3.6	0 -5.6	0 -9.0	0 -14.0	±0.45	±0.70	±1.15	±1.8	±2.8	±4.5	±7.0	
1000	1250	+1.05 0	+1.65 0	+2.60 0	+4.2 0	+6.6 0	+10.5 0	+16.5 0	-1.05 0	-1.65 -2.60	0 -4.2	0 -6.6	0 -10.5	0 -16.5	±0.525	±0.825	±1.30	±2.1	±3.3	±5.25	±8.25	
1250	1600	+1.25 0	+1.95 0	+3.10 0	+5.0 0	+7.8 0	+12.5 0	+19.5 0	-1.25 0	-1.95 -3.10	0 -5.0	0 -7.8	0 -12.5	0 -19.5	±0.625	±0.975	±1.55	±2.5	±3.9	±6.25	±9.75	
1600	2000	+1.50 0	+2.30 0	+3.70 0	+6.0 0	+9.2 0	+15.0 0	+23.0 0	-1.50 0	-2.30 -3.70	0 -6.0	0 -9.2	0 -15.0	0 -23.0	±0.75	±1.15	±1.85	±3.0	±4.6	±7.5	±11.5	
2000	2500	+1.75 0	+2.80 0	+4.40 0	+7.0 0	+11.0 0	+17.5 0	+28.0 0	-1.75 0	-2.80 -4.40	0 -7.0	0 -11.0	0 -17.5	0 -28.0	±0.875	±1.40	±2.20	±3.5	±5.5	±8.75	±14.0	
2500	3150	+2.10 0	+3.30 0	+5.40 0	+8.6 0	+13.5 0	+21.0 0	+33.0 0	-2.10 0	-3.30 -5.40	0 -8.6	0 -13.5	0 -21.0	0 -33.0	±1.05	±1.65	±2.70	±4.3	±6.75	±10.5	±16.5	

注:基本尺寸小于1mm时,H14至H18、h14至h18和Js14(js14)至Js18(js18)均不采用。

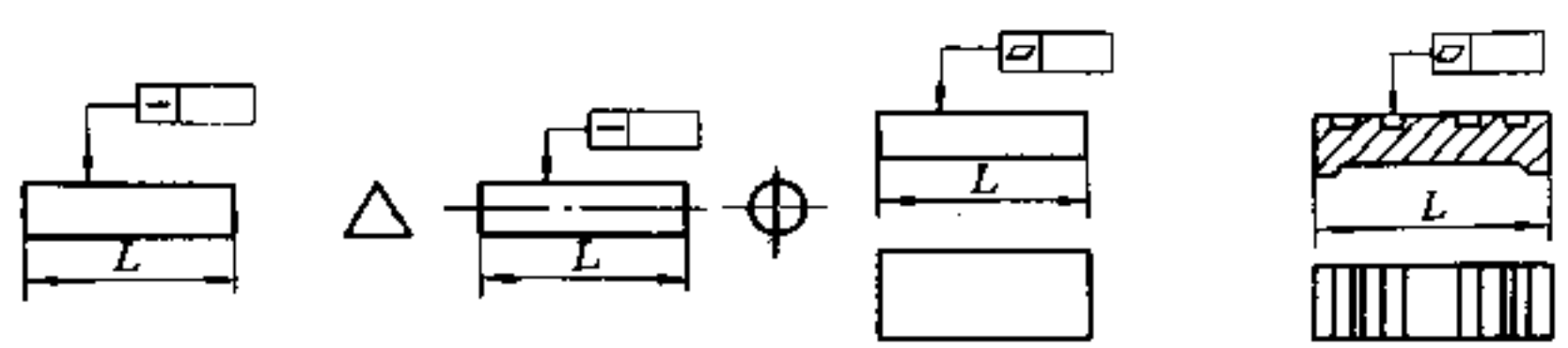
## 18.6 形位公差与表面粗糙度

表 18.6-1 平行度、垂直度、倾斜度公差值(GB1184-80)

( $\mu\text{m}$ )

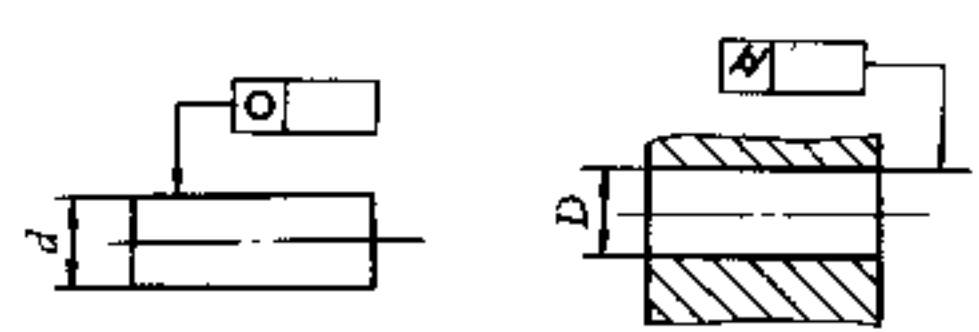
主参数 $l, d(D)$ /mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\leq 10$	0.4	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120
$> 10 \sim 16$	0.5	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150
$> 16 \sim 25$	0.6	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200
$> 25 \sim 40$	0.8	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250
$> 40 \sim 63$	1	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300
$> 63 \sim 100$	1.2	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400
$> 100 \sim 160$	1.5	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500
$> 160 \sim 250$	2	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600
$> 250 \sim 400$	2.5	5	10	20	30	50	80	120	200	300	500	800
$> 400 \sim 630$	3	6	12	25	40	60	100	150	250	400	600	1000
$> 630 \sim 1000$	4	8	15	30	50	80	120	200	300	500	800	1200

表 18.6-2 直线度、平面度公差值(GB1184-80)

( $\mu\text{m}$ )


主参数 $L$ /mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\leq 10$	0.2	0.4	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60
$> 10 \sim 16$	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80
$> 16 \sim 25$	0.3	0.6	1.2	2	3	5	8	12	20	30	50	100
$> 25 \sim 40$	0.4	0.8	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120
$> 40 \sim 63$	0.5	1	2	3	5	8	12	20	30	50	80	150
$> 63 \sim 100$	0.6	1.2	2.5	4	6	10	15	25	40	60	100	200
$> 100 \sim 160$	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120	250
$> 160 \sim 250$	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150	300
$> 250 \sim 400$	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200	400
$> 400 \sim 630$	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250	500
$> 630 \sim 1000$	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300	600

表 18.6-3 圆度、圆柱度公差值(GB1184-80)

( $\mu\text{m}$ )


主参数 $d(D)$ /mm	公差等级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\leq 3$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25
$> 3 \sim 6$	0.1	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30
$> 6 \sim 10$	0.12	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36
$> 10 \sim 18$	0.15	0.25	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43
$> 18 \sim 30$	0.2	0.3	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52
$> 30 \sim 50$	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62
$> 50 \sim 80$	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74
$> 80 \sim 120$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87
$> 120 \sim 180$	0.6	1	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100
$> 180 \sim 250$	0.8	1.2	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115

表 18.6-4 同轴度、对称度、圆跳动、全跳动公差值( $\mu\text{m}$ )(GB1184-80)

主参数 $d(D), B, L$ /mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\leq 1$	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60
$> 1 \sim 3$	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	20	40	60	120
$> 3 \sim 6$	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	12	25	50	80	150
$> 6 \sim 10$	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	30	60	100	200
$> 10 \sim 18$	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	40	80	120	250
$> 18 \sim 30$	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	50	100	150	300
$> 30 \sim 50$	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60	120	200	400
$> 50 \sim 120$	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80	150	250	500
$> 120 \sim 250$	2	3	5	8	12	20	30	50	100	200	300	600
$> 250 \sim 500$	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120	250	400	800

表 18.6-5 未注形位公差的公差值(GB1184-80)

直线度、平面度					同轴度、对称度				
主参数 $L/mm$	公差等级				主参数 $d, D, B, L/mm$	公差等级			
	A	B	C	D		A	B	C	D
	公差值/ $\mu m$					公差值/ $\mu m$			
$\leq 10$	12	20	30	60	$\leq 1$	15	25	40	60
$> 10 \sim 16$	15	25	40	80	$> 1 \sim 3$	20	40	60	120
$> 16 \sim 25$	20	30	50	100	$> 3 \sim 6$	25	50	80	150
$> 25 \sim 40$	25	40	60	120	$> 6 \sim 10$	30	60	100	200
$> 40 \sim 63$	30	50	80	150	$> 10 \sim 18$	40	80	120	250
$> 63 \sim 100$	40	60	100	200	$> 18 \sim 30$	50	100	150	300
$> 100 \sim 160$	50	80	120	250	$> 30 \sim 50$	60	120	200	400
$> 160 \sim 250$	60	100	150	300	$> 50 \sim 120$	80	150	250	500
$> 250 \sim 400$	80	120	200	400	$> 120 \sim 250$	100	200	300	600
$> 400 \sim 630$	100	150	250	500	$> 250 \sim 500$	120	250	400	800
$> 630 \sim 1000$	120	200	300	600	$> 500 \sim 800$	150	300	500	1000
$> 1000 \sim 1600$	150	250	400	800	$> 800 \sim 1250$	200	400	600	1200
$> 1600 \sim 2500$	200	300	500	1000	$> 1250 \sim 2000$	250	500	800	1500
$> 2500 \sim 4000$	250	400	600	1200	$> 2000 \sim 3150$	300	600	1000	2000
$> 4000 \sim 6300$	300	500	800	1500	$> 3150 \sim 5000$	400	800	1200	2500
$> 6300 \sim 10000$	400	600	1000	2000	$> 5000 \sim 8000$	500	1000	1500	3000
					$> 8000 \sim 10000$	600	1200	2000	4000
其 它									
公差项目	公差值								
圆 度	不大于尺寸公差值								
圆 柱 度	标有Ⓢ的圆柱表面,其公差值不大于尺寸公差,并应遵守包容原则规定 不标Ⓢ的圆柱表面由圆度、素线的直线度未注公差值和要素的尺寸公差分别控制								
平 行 度	标有Ⓢ的平行要素,其平行度应在尺寸公差内,并应遵守包容原则的规定 不标Ⓢ的平行要素,由平面度或直线度的未注公差值和平行要素间的尺寸公差分别控制								
垂 直、倾 斜	由角度公差和直线度或平面度未注公差值分别控制								
跳 动、全 跳 动	不应大于该要素的形状和位置未注公差的综合值								

表 18.6-6 表面粗糙度数值系列(GB3505-83)

$R_a/\mu m$	第 1 系列	0.012      0.025      0.050      0.100									
	第 2 系列	0.008	0.010	0.016	0.020	0.032	0.040	0.063	0.080	0.125	0.160
	第 1 系列	0.20      0.40      0.80      1.60      3.2									
	第 2 系列	0.25	0.32	0.50	0.63	1.00	1.25	2.0	2.5	4.0	5.0
	第 1 系列	6.3      12.5      25      50      100									
	第 2 系列	8.0	10.0	16.0	20	32	40	63	80		

(续)

$R_z$ 或 $R_y/\mu\text{m}$	第 1 系列	0.025	0.050		0.100		0.20				
	第 2 系列	0.032	0.040	0.063	0.080	0.125	0.160	0.25	0.32		
	第 1 系列	0.40		0.80		1.60		3.2			
	第 2 系列	0.50		0.63	1.00	1.25	2.0	2.5	4.0	5.0	
	第 1 系列	6.3		12.5		25		50			
	第 2 系列	8.0		10.0	16.0	20	32	40	63	80	
	第 1 系列	100		200		400		800		1600	
	第 2 系列	125		160	250	320	500	630	1000	1250	
取样长度的数值(mm)											
0.08 0.25 0.8 2.5 8 25											
说明	<p>1. 本标准适用于工业制品的表面粗糙度的评定。2. 在常用的参数值范围内(<math>R_a</math> 为 <math>0.025\mu\text{m} \sim 6.3\mu\text{m}</math>, <math>R_z</math> 为 <math>0.100\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}</math>)推荐优先选用 <math>R_a</math>。3. 参数的数值,一般应优先选用第 1 系列。4. 规定表面粗糙度要求的一般规则:①在规定的表面粗糙度要求时,必须给出粗糙度参数值和测定时的取样长度值两项基本要求(一般情况下,在测量时取样长度按 GB1031-83 附录 B 选取,可不在于图样上标注),必要时也可规定表面加工纹理,加工方法或其顺序和不同区域的粗糙度等附加要求。②为保证制品表面质量,可按功能需要规定表面粗糙度参数。否则,可不规定其参数值,也不需检查。③对表面粗糙度的要求不适用于表面缺陷。④表面粗糙度参数的数值是指在垂直于基准面的各截面上获得。对给定的表面如截面方向与高度参数(<math>R_a</math>、<math>R_z</math>、<math>R_y</math>)最大值的方向一致时,则可不规定测量截面的方向,否则应在图样上标出。</p>										

表 18.6-7 表面光洁度与表面粗糙度第一系列代号对照参考表

旧标准 (GB1031-68)		$\nabla 1$	$\nabla 2$	$\nabla 3$	$\nabla 4$	$\nabla 5$	$\nabla 6$	$\nabla 7$	$\nabla 8$	$\nabla 9$	$\nabla 10$	$\nabla 11$	$\nabla 12$	$\nabla 13$	$\nabla 14$	
新标准 (GB1031-83)	$R_a$	第一种方式	100/ $\nabla$	50/ $\nabla$	25/ $\nabla$	12.5/ $\nabla$	6.3/ $\nabla$	3.2/ $\nabla$	1.60/ $\nabla$	0.80/ $\nabla$	0.40/ $\nabla$	0.20/ $\nabla$	0.100/ $\nabla$	0.050/ $\nabla$	0.025/ $\nabla$	0.012/ $\nabla$
		第二种方式	50/ $\nabla$	25/ $\nabla$	12.5/ $\nabla$	6.3/ $\nabla$	3.2/ $\nabla$	1.60/ $\nabla$	0.80/ $\nabla$	0.40/ $\nabla$	0.20/ $\nabla$	0.100/ $\nabla$	0.050/ $\nabla$	0.025/ $\nabla$	0.012/ $\nabla$	
	$R_z$ 或 $R_y$	第一种方式	400/ $\nabla$	200/ $\nabla$	100/ $\nabla$	50/ $\nabla$	25/ $\nabla$	12.5/ $\nabla$								
		第二种方式	200/ $\nabla$	100/ $\nabla$	50/ $\nabla$	25/ $\nabla$	12.5/ $\nabla$		6.3/ $\nabla$	3.2/ $\nabla$	1.6/ $\nabla$	0.80/ $\nabla$	0.40/ $\nabla$	0.20/ $\nabla$	0.10/ $\nabla$	0.05/ $\nabla$

注: 1. 在表面粗糙度的常用参数范围内( $R_a$  为  $0.025\mu\text{m} \sim 6.3\mu\text{m}$ ,  $R_z$  为  $0.100\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}$ )推荐优先选用  $R_a$ 。一般旧标准  $\nabla 4 \sim \nabla 12$  推荐用  $R_a$ ,  $\nabla 1 \sim \nabla 3$ 、 $\nabla 13 \sim \nabla 14$  推荐用  $R_z$ 。在轴承、仪表和木材制品中多用参数  $R_y$ 。

2. 一般机械常用第一种方式,但对表面质量要求较高的场合,设计者可根据零件的功能要求,采用较低的粗糙度数值(如第二种方式)



表 18.6-8 表面粗糙度代(符)号(GB1031-83)

图样上表示零件表面粗糙度的符号	符 号	意 义		
	✓	基本符号,单独使用这符号是没有意义的		
	▽	基本符号上加一短划,表示表面粗糙度是用去除材料的方法获得。例如:车、铣、钻、磨、剪切、抛光、腐蚀、电火花加工等		
	○	基本符号上加一小圆,表示表面粗糙度是用不去除材料的方法获得。例如:铸、锻、冲压变形、热轧、冷轧、粉末冶金等 或者是用于保持原供应状况的表面(包括保持上道工序的状况)		
说明:图样上所标注的表面粗糙度代(符)号,是该表面完工后的要求				
表面粗糙度参数的标注	代号	意义	代号	意义
	3.2 ✓	用任何方法获得的表面, $R_a$ 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$	$R_y$ 3.2 ✓	用任何方法获得的表面, $R_y$ 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$
	3.2/ ▽	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$	$R_z$ 200 ○	用不去除材料方法获得的表面, $R_z$ 的最大允许值为 $200\mu\text{m}$
	3.2 ○	用不去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$	$R_z$ 3.2 $R_z$ 1.6 ▽	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大允许值( $R_{a\max}$ )为 $3.2\mu\text{m}$ , 最小允许值( $R_{a\min}$ )为 $1.6\mu\text{m}$
	3.2 1.6 ▽	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大允许值( $R_{a\max}$ )为 $3.2\mu\text{m}$ , 最小允许值( $R_{a\min}$ )为 $1.6\mu\text{m}$	$R_y$ 3.2 $R_y$ 12.5 ▽	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$ , $R_y$ 的最大允许值为 $12.5\mu\text{m}$
说明	有关表面粗糙度的各项规定应按功能要求给定。若仅需要加工但对表面粗糙度的其他规定没有要求时,可以只注表面粗糙度符号。其他表面粗糙度高度参数,即轮廓微观不平度十点高度 $R_z$ , 轮廓最大高度 $R_y$ 值的标注,在参数值前需标注出相应的符号			

表 18.6-9 公差等级与表面粗糙度数值

公差等级	基 本 尺 寸 /mm							
	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~180	>180~250
	表面粗糙度数值 $R_a$ 不大于/ $\mu\text{m}$							
IT6	0.2			0.4			0.8	
IT7	0.8				1.6			
IT8	0.8		1.6					
IT9	1.6					3.2		
IT10	1.6			3.2				6.3
IT11	1.6	3.2					6.3	
IT12	3.2					6.3		

## 18.7 弹簧与聚氨酯弹性体

表 18.7-1 圆柱螺旋压缩弹簧的尺寸系列(GB1358-78) (mm)

	第一系列 (优先选用)	第二系列(括号内尺寸只限于老产品用)
弹簧直径 $d$	0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.40, 0.45, 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.6, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80	0.7, 0.9, 1.4, (1.5), 1.8, 2.2, 2.8, 3.2, 3.8, 4.2, 5.5, 7, 9, 14, 18, 22, (27), 28, 32, (36), 38, 42, 55, 65
弹簧中径 $D_2$	0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.2, 1.6, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 360, 400	1.4, 1.8, 2.2, 2.8, 3.2, 3.8, 4.2, 4.8, 5.5, 6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 14, 18, 22, 28, 32, 38, 42, 48, 52, 58, 65, 75, 85, 95, 105, 115, 125, 135, 145, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290, 340, 380, 450
工作圈数 $n$	2, 2.25, 2.5, 2.75, 3, 3.25, 3.5, 3.75, 4, 4.25, 4.5, 4.75, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5, 10, 10.5, 11.5, 12.5, 13.5, 14.5, 15, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30	
自由高度 $H_0$	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 58, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, 520, 550, 580, 600, 620, 650, 680, 700, 720, 750, 780, 800, 850, 900, 950, 1000	
注: 压缩弹簧端部型式与高度、总圈数的关系: 端部并紧, 磨平, 支承圈为 1 圈时, 总圈数 $n_1 = n + 2$ , $H_0 = nt + 1.5d$ ; 端部并紧, 磨平, 支承圈为 $1\frac{1}{2}$ 圈时, 总圈数 $n_1 = n + 2.5$ , $H_0 = nt + 2d$ , 其中 $t$ 为弹簧的节距。		

表 18.7-2 圆柱螺旋压缩弹簧计算

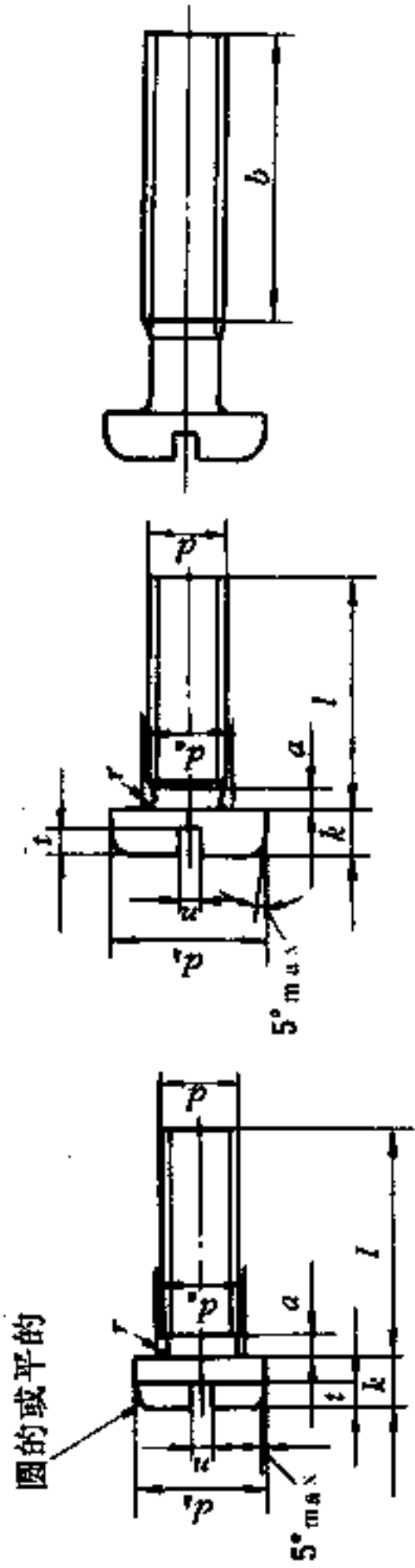
弹簧丝直径 $d$ /mm	弹簧中径 $D_2$ /mm	节 距 $t \approx$ /mm	最大工作负荷 $P_n (\times 10N)$		最大工作负荷下单圈变形 $f_n / mm$	
			III 类	II 类	III 类	II 类
0.5	3.0	1.19	1.437	1.150	0.621	0.497
	3.5	1.48	1.272	1.018	0.873	0.698
	4.0	1.81	1.140	0.912	1.167	0.934
	4.5	2.18	1.033	0.826	1.506	1.205
	5.0	2.61	0.943	0.754	1.886	1.509
	6.0	3.13	0.804	0.643	2.779	2.223
	7.0	4.80	0.700	0.560	3.842	3.073
0.6	3.0	1.14	2.319	1.855	0.483	0.387
	3.5	1.36	2.067	1.854	0.684	0.547
	4.0	1.63	1.862	1.490	0.920	0.736
	4.5	1.930	1.692	1.354	1.190	0.952
	5.0	2.270	1.551	1.241	1.496	1.197
	6.0	3.08	1.328	1.062	2.213	1.771
	7.0	4.40	1.160	0.928	3.070	2.456
	8.0	5.15	1.030	0.824	4.069	3.255

表 18.8-4 常用螺钉结构尺寸

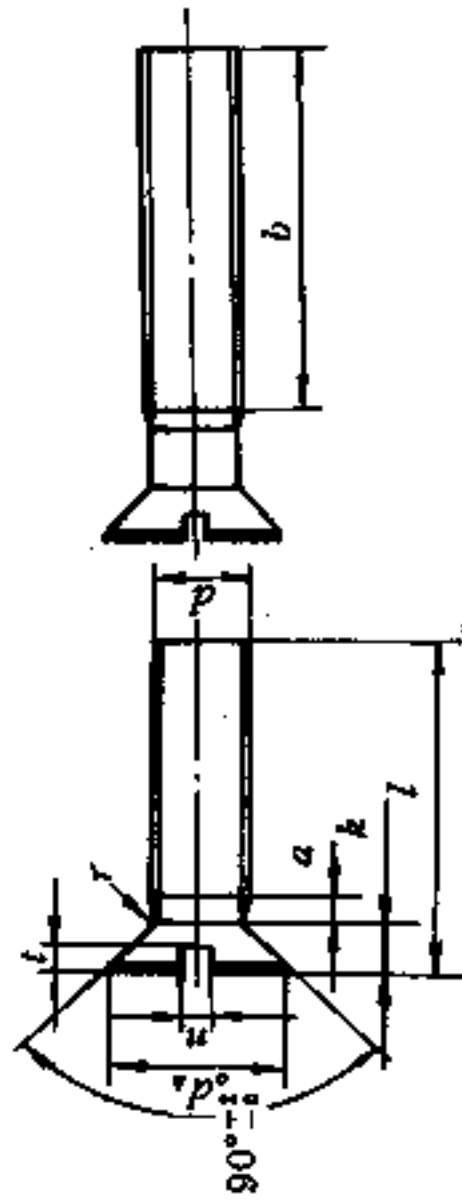
表 18.8.4-1 开槽头螺钉

(mm)

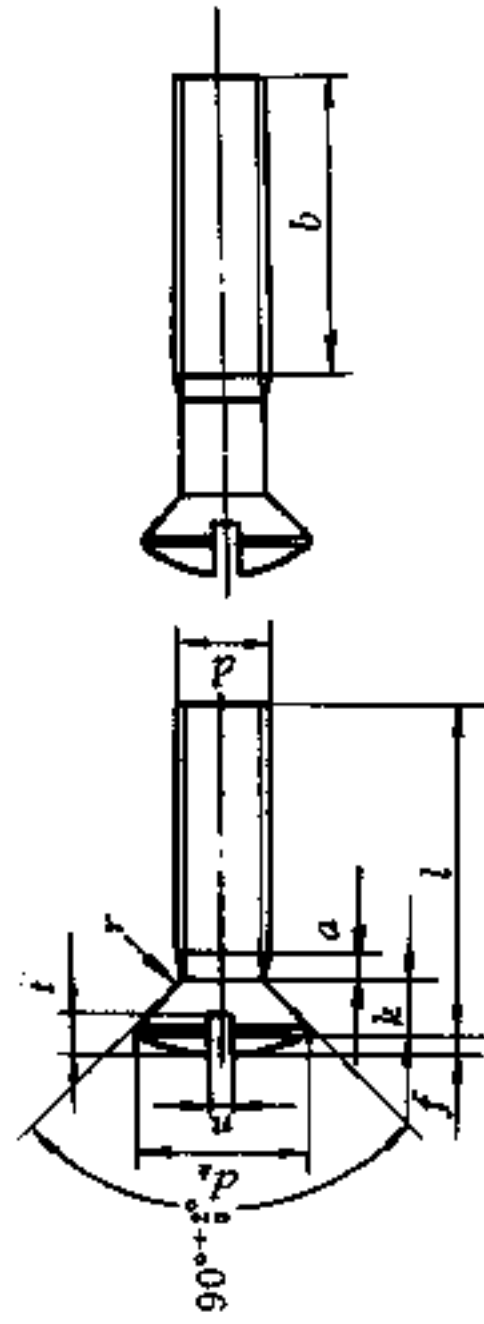
开槽圆柱头螺钉(GB65—85) 开槽盘头螺钉(GB67—85)



开槽沉头螺钉(GB68—85)



开槽半沉头螺钉(GB69—85)



标记示例：  
 螺钉 GB65—85-M5，公称长度  $l = 20\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理  
 的开槽圆柱头螺钉：  
 螺钉 GB65—85-M5 × 20

(续)

弹簧丝直径 $d$ /mm	弹簧中径 $D_2$ /mm	节 距 $t \approx$ /mm	最大工作负荷 $P_n (\times 10N)$		最大工作负荷下单圈变形 $f_n / mm$	
			III类	II类	III类	II类
1.4	7.0	2.52	11.160	8.928	0.996	0.797
	8.0	2.91	10.102	8.082	1.346	1.077
	9.0	3.36	9.219	7.375	1.749	1.400
	10.0	3.87	8.473	6.778	2.206	1.764
	12.0	5.07	7.286	5.829	3.277	2.622
	14.0	6.51	6.387	5.110	4.562	3.650
	16.0	8.18	5.684	4.547	6.060	4.848
	18.0	10.10	5.119	4.095	7.771	6.217
	20.0	12.58	4.655	3.724	9.694	7.755
1.6	8.0	2.84	14.192	11.354	1.109	0.887
	9.0	3.22	13.002	10.402	1.446	1.157
	10.0	3.65	11.987	9.590	1.829	1.463
	12.0	4.66	10.355	8.284	2.730	2.184
	14.0	5.87	9.106	7.285	3.813	3.050
	16.0	7.29	8.123	6.488	5.077	4.062
	18.0	8.91	7.329	5.863	6.522	5.218
	20.0	10.73	6.675	5.340	8.148	6.519
	22.0	12.75	6.128	4.902	9.957	7.965
1.8	9.0	3.15	17.476	13.981	1.214	0.971
	10.0	3.52	16.162	12.930	1.540	1.232
	12.0	4.39	14.026	11.221	2.309	1.547
	14.0	5.42	12.375	9.900	3.235	2.588
	16.0	6.640	11.065	8.852	4.317	3.454
	18.0	8.02	10.002	8.002	5.557	4.445
	20.0	9.59	9.124	7.299	6.953	5.563
	22.0	11.30	8.387	6.710	8.507	6.806
	25.0	14.30	7.479	5.983	11.132	8.906
2.0	10.0	3.51	21.575	17.200	1.348	1.079
	12.0	4.28	18.812	15.050	2.032	1.625
	14.0	8.20	16.652	13.322	2.856	2.285
	16.0	6.28	14.925	11.940	3.821	3.057
	18.0	7.52	13.517	10.814	4.927	3.942
	20.0	8.92	12.349	9.879	6.175	4.940
	22.0	10.50	11.364	9.091	7.563	6.050
	25.0	13.10	10.149	8.119	9.911	7.929
	28.0	16.10	9.167	7.334	12.577	10.062

(续)

弹簧丝直径 $d$ /mm	弹簧中径 $D_2$ /mm	节 距 $t \approx$ /mm	最大工作负荷 $P_n (\times 10N)$		最大工作负荷下单圈变形 $f_n / mm$	
			III类	II类	III类	II类
2.5	12.0	4.08	31.825	25.460	1.408	1.126
	14.0	4.73	28.407	22.726	1.995	1.596
	16.0	5.51	25.618	20.494	2.686	2.149
	18.0	6.40	23.311	18.649	3.480	2.784
	20.0	7.40	21.377	17.102	4.378	3.502
	22.0	8.52	19.733	15.786	5.379	4.303
	25.0	10.40	17.687	14.150	7.075	5.660
	28.0	12.60	16.021	12.817	9.003	7.203
	30.0	14.20	15.074	12.059	10.419	8.335
	32.0	15.90	14.231	11.385	11.938	9.550
3.0	14.0	4.77	46.756	37.405	1.584	1.267
	16.0	5.40	42.434	33.947	2.146	1.717
	18.0	6.13	38.800	31.040	2.794	2.235
	20.0	6.95	35.715	28.572	3.527	2.822
	22.0	7.87	33.071	26.457	4.347	3.478
	25.0	9.43	29.751	23.801	5.739	4.591
	28.0	11.20	27.027	21.622	7.325	5.860
	30.0	12.50	25.469	20.375	8.490	6.792
	32.0	13.90	24.079	19.263	9.741	7.793
	35.0	16.20	22.255	17.804	11.780	9.424
	38.0	18.70	20.685	16.548	14.013	11.210
3.5	16.00	5.35	60.656	48.525	1.656	1.324
	18.00	5.93	55.737	44.590	2.166	1.733
	20.00	6.58	51.506	41.295	2.746	2.197
	22.00	7.30	47.843	38.274	3.395	2.716
	25.00	8.54	43.201	34.561	4.498	3.599
	28.00	9.95	39.359	31.487	5.758	4.606
	30.00	10.98	37.150	29.720	6.684	5.347
	32.00	12.10	35.172	28.138	7.680	6.144
	35.00	13.92	32.565	26.052	9.304	7.443
	38.00	15.91	30.315	24.252	11.085	8.868
	40.00	17.34	28.878	23.182	12.359	9.887
4.00	20.00	6.51	71.917	57.634	2.247	1.798
	22.00	7.12	67.017	53.614	2.787	2.230
	25.00	8.15	60.743	48.594	3.707	2.966
	28.00	9.33	55.505	44.404	4.760	3.808
	30.00	10.19	52.474	41.979	5.534	4.427
	32.00	11.13	49.750	39.800	6.368	5.094
	35.00	12.65	46.147	36.918	7.729	6.183
	38.00	14.32	43.023	34.418	9.222	7.377
	40.00	15.52	41.162	32.930	10.291	8.232
	45.00	18.80	37.140	29.712	13.220	10.576
	50.00	22.50	33.829	27.063	16.518	13.214

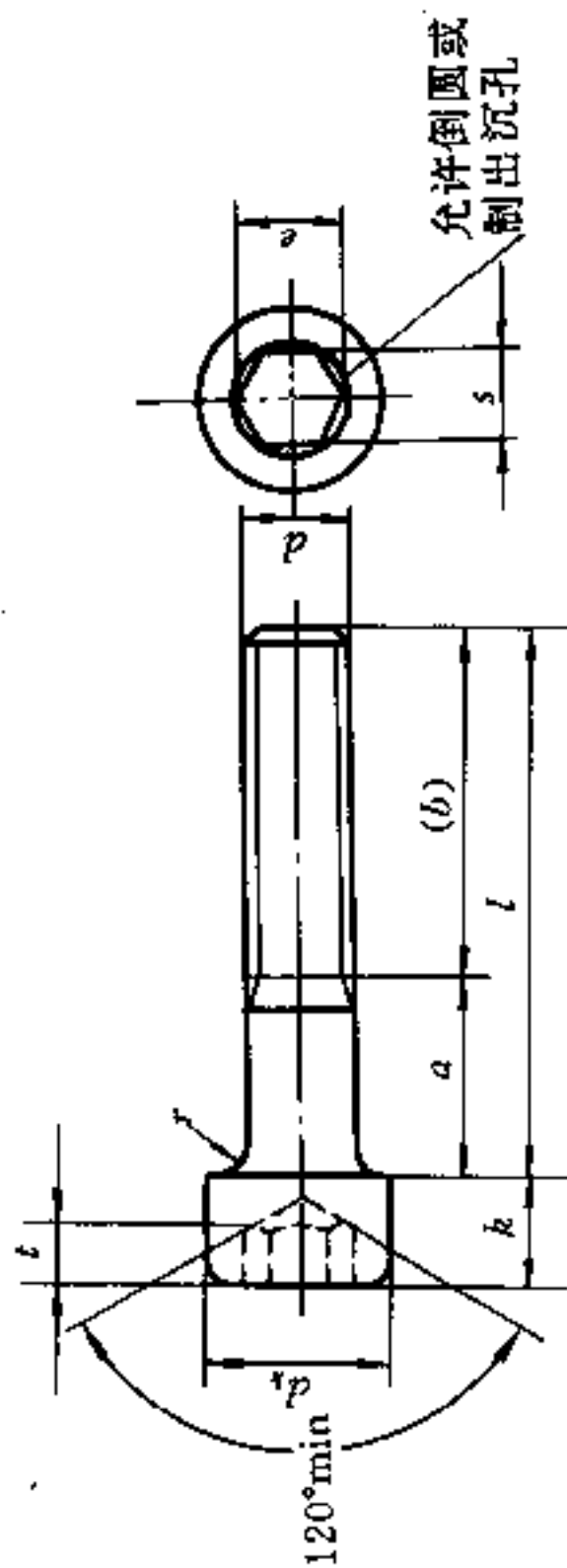
(续)

螺纹规格 $d$	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
$a$	0.7	0.8	0.9	1	1.4	1.6	2	2.5	3
$b$	38								
$n$	25								
	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.6	2	2.5	
GB65—35					7	8.5	10	13	16
					2.6	3.3	3.9	5	6
					1.1	1.3	1.6	2	2.4
					4.7	5.7	6.8	9.2	11.2
					0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
商品规格长度 $l$					5~40	6~50	8~60	10~80	12~80
全螺纹长度 $l$					5~40	6~40	8~40	10~40	12~40
GB67—85	3.2	4	5	5.6	8	9.5	12	16	20
	1	1.3	1.5	1.8	2.4	3	3.6	4.8	6
	0.35	0.5	0.6	0.7	1	1.2	1.4	1.9	2.4
	2.1	2.6	3.1	3.6	4.7	5.7	6.8	9.2	11.2
	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4
商品规格长度 $l$	2~16	2.5~20	3~25	4~30	5~40	6~50	8~60	10~80	12~80
全螺纹长度 $l$	2~30	2.5~30	3~30	4~30	5~40	6~40	8~40	10~40	12~40
GB68—85	3	3.8	4.7	5.5	8.4	9.3	11.3	15.8	18.3
	1	1.2	1.5	1.65	2.7	2.7	3.3	4.65	5
	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.3	1.5	2	2.5
GB69—85	0.32	0.4	0.5	0.6	1	1.1	1.2	1.8	2
	0.64	0.8	1	1.2	1.6	2	2.4	3.2	3.8
	0.4	0.5	0.6	0.7	1	1.2	1.4	2	2.3
商品规格长度 $l$	2.5~16	3~20	4~25	5~30	6~40	8~50	8~60	10~80	12~80
全螺纹长度 $l$	2.5~30	3~30	4~30	5~30	6~45	8~45	8~45	10~45	12~45

注: 技术条件同表 18.8-1, 但材料为钢时的性能等级多一个 5.8 级。

(mm)

表 18.8.4-2 内六角圆柱头螺钉 (GB70-85)



标记示例：  
 螺纹规格  $d = M5$ 、公称长度  $l = 200\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化的内六角圆柱头螺钉：  
 螺钉 GB70-85-M5×20

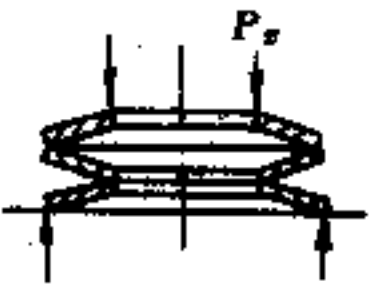
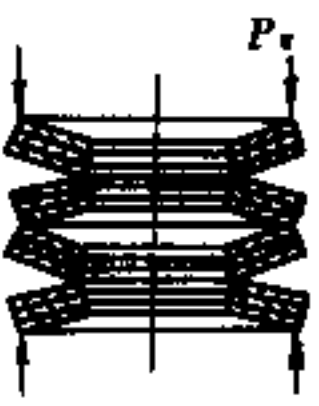
螺纹规格 $d$	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20	M24	M30	M36
$P$ (螺距)	0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2	2.5	3	3.5	4
$d_k$	3	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16	18	21	24	30	36	45	54
$k$	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36
$t$	0.7	1	1.1	1.3	2	2.5	3	4	5	6	7	8	10	12	15.5	19
$r$	0.1															
$s$	1.5	2	2.5	3	3	4	5	6	8	10	12	14	17	19	22	27
$e$	1.73	2.3	2.87	3.44	4.58	5.72	6.86	9.12	11.43	13.72	16	19.44	25.15	30.85		
$(b)$ (参考)	15	16	17	18	20	22	24	28	32	36	40	44	52	60	72	84
$l$	2.5~16	3~20	4~25	5~30	6~40	8~50	10~60	12~80	16~100	20~120	25~140	25~160	30~200	40~200	45~200	55~200
全螺纹长度	2.5~16	3~16	4~20	5~20	6~25	8~25	10~30	12~35	16~40	20~45	25~55	30~65	40~80	45~90	55~110	
$a$	≤3P															
$l$ 系列	2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, (14), (16), 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, (55), 60, (65), 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200															

技术条件	材料	钢	不锈钢	产品等级: A
	性能等级	8.8, 12.9	≤M20 时为 A2-70; >M20 时为 A2-50	螺纹公差: 12.9 级为 5g, 6g 其他等级为 6g
	表面处理	①氧化; ②镀锌钝化	不经处理	

注: M3~M20 为商品规格, 其他为通用规格。



(续)

组合方式及说明		简 图	计算公式(不计摩擦力时)
对合组合	由 $i$ 个相同规格的一组碟簧组成		$P_s = P$ $f_s = if$ $H_s = iH$
合	由叠合和对合碟簧复合组成		$P_s = nP$ $f_s = if$ $H_s = i[H + (n-1)\delta]$

注:1.  $P_s$ 、 $f_s$ 、 $H_s$  分别为组合碟形弹簧的负荷、变形量和自由高度。

2. 碟形弹簧与导向件之间的直径差应为

碟簧内径	直径差
4.2~14.2	0.2(mm);
16.3, 18.3	0.3(mm);
20.4~25.4	0.4(mm);
28.5~35.5	0.5(mm);
40.6, 45.6	0.6(mm);
50.8~70.8	0.8(mm)。

3. 导向件表面硬度大于 HRC42~52, 粗糙度不得高于  $3.2\mu\text{m}$ 。

表 18.7-5 聚氨酯弹性体的尺寸(HG2867.9-81)

(mm)

D		d		H		D <sub>1</sub>	
16	20	6.5	8.5	12	16	20	25
25	32	10.5	12.5	16	20	25	32
45	60	16.5	20	25	32	40	50
21	26	33	42	58	78		

注: 1.  $D_1$  为  $F=0.3H$  时的参考尺寸。

2. 弹性体的尺寸按 GB1800-79IT15 级精度制造。

表 18.7-6 聚氨酯弹性体压缩量与工作负荷的关系

压缩量 $F$ /mm	聚氨酯弹性体直径 $D$ /mm																
	16	20	25			32			45			60					
	工 作 负 荷 (10N)																
0.1H	17	30	51	45	47	84	74	70	182	172	163	168	363	298	288	372	270
0.2H	40	62	112	102	106	182	130	172	388	372	358	358	773	726	652	652	605
0.3H	69	108	197	184	179	322	304	294	695	652	620	600	1438	1271	1173	1117	1080
0.35H	88	139	253	236	229	412	390	380	890	836	793	768	1843	1629	1504	1434	1383

注:表中数值按聚氨酯橡胶硬度邵氏  $A_{50} \pm 5$  确定。其他硬度的聚氨酯橡胶工作负荷用修正系数乘以表中数值。修正系数的值如下:

硬度邵氏 A	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
修正系数	0.843	0.873	0.903	0.934	0.996	1.000	1.035	1.074	1.116	1.212	1.270

## 18.8 联接紧固件

表 18.8-1 螺栓、螺钉和螺柱性能等级及其力学性能(GB3098-82)

性能等级	力 学 性 能																			
	抗拉强度 $\sigma_b$ /(N $\cdot$ mm $^{-2}$ )		维氏硬度 (HV $_{30}$ )		布氏硬度 HB $P=30D^2$ (HB $\leq 140$ 时 $P=10D^2$ )		洛氏硬度 (HB)				表面 硬度 (HV $_{0.3}$ )	屈服点 $\sigma_s$ /(N $\cdot$ mm $^{-2}$ )	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /(N $\cdot$ mm $^{-2}$ )		保证应力 $S_p$ /(N $\cdot$ mm $^{-2}$ )		伸 长 率 $\delta_5$ /%	楔 负 载 强 度		
	公称	min	min	max	min	max	min		max		max	公称	min	公称	min	$S_p/\sigma_{\min}$ 或 $S_p/\sigma_{0.2\min}$	min			
							HRB	HRC	HRB	HRC										
3.6	300	330	95	250	90	242	52	—	100	—	—	180	190	—	—	0.94	180		25	对螺栓和螺钉(不包括螺柱)的数值等于最小抗拉强度
4.6	400	400	120		114		67	—		—	—	240	240	—	—	0.94	230	22		
4.8		420	130		124		70	—		—	—	320	340	—	—	0.91	310	14		
5.6	500	500	155		147		80	—		—	—	300	300	—	—	0.94	280	20		
5.8		520	160		152		83	—		—	—	400	420	—	—	—	380	10		
6.8	600	600	190		181		89	—		—	—	480	480	—	—	—	440	8		
8.8	$\leq M16$	800	800	250	320	238	304	—	22	—	32	*	—	—	640	640	0.91	580	12	
	$> M16$	800	830	255	335	242	318	—	23	—	34	*	—	—	640	660	—	600	12	
8.8																				
9.8	900	900	290	336	276	342	—	28	—	37	*	—	—	720	720	0.91	660	10		
9.8																				
10.9	1000	1040	320	330	304	361	—	32	—	39	*	—	—	900	940	0.88	830	9		
10.9																				
12.9	1200	1220	385	435	366	414	—	39	—	44	*	—	—	1080	1100	0.88	970	8		

注:1. 本标准适用于由碳钢或合金钢制造的、任何形状的、螺纹直径为 3~39mm 的螺栓、螺钉和螺柱。其螺纹尺寸及公差按 GB193-81、GB196-81 和 GB197-81 规定。不适用于紧定螺钉及类似的不规定抗拉强度的螺纹紧固件。

2. 本标准未规定可焊接性、耐腐蚀性及工作温度高于 +300℃ 或低于 -50℃ 的力学性能要求。

3. 性能等级的标记代号由“·”隔开的两部分数字组成:第一部分数字(“·”前)表示公称抗拉强度( $\sigma_b$ )的 1/100;第二部分数字(“·”后)表示公称屈服点( $\sigma_s$ )或公称屈服强度( $\sigma_{0.2}$ )与公称抗拉强度( $\sigma_b$ )比值(屈强比)的 10 倍。

表 18.8-2 螺栓的保证载荷(GB3098.1-82)

螺纹直径 $d$ /mm	螺距 $P$ /mm	公称应力 截面积 $A_s$ /mm <sup>2</sup>	性能等级									
			3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
			保证载荷( $A_s \times S_p$ )/N									
粗 牙 螺 纹												
3	0.5	5.03	905	1160	1560	1410	1910	2210	2920	3320	4170	4880
3.5	0.6	6.78	1220	1560	2100	1900	2580	2980	3930	4470	5630	6580
4	0.7	8.78	1580	2020	2720	2460	3340	3860	5090	5790	7290	8520
5	0.8	14.2	2560	3270	4400	3980	5400	6250	8240	9370	11800	13800
6	1	20.1	3620	4620	6230	5630	7640	8840	11700	13300	16700	19500
7	1	28.9	5200	6650	8960	8090	11000	12700	16800	19100	24000	28000
8	1.25	36.6	6590	8240	11300	10200	13900	16100	21200	24200	30400	35500
10	1.5	58.0	10400	13300	18000	16200	22000	25500	33600	38300	48100	56300
12	1.75	84.3	15200	19400	26100	23600	32000 (3260)	37100	48900*	55600	70000	81800
14	2	115	20700	26400	35600	32200	43700	50600	66700*	75900	95400	112000
16	2	157	28300	36100	48700	44000	59700	69000	91100*	104000	130000	152000
18	2.5	192	34600	44200	59500	53800	73000	84500	115000	—	159000	186000
20	2.5	245	44100	56400	76000	68600	93100	108000	147000	—	203000	238000
22	2.5	303	54500	69700	93900	84800	115000	133000	182000	—	251000	294000
24	3	353	63500	81200	109000	98800	134000	155000	212000	—	293000	342000
27	3	459	82600	106000	142000	129000	174000	202000	275000	—	381000	445000
30	3.5	561	101000	129000	174000	157000	213000	247000	337000	—	466000	544000
33	3.5	694	125000	160000	215000	194000	264000	305000	416000	—	576000	673000
36	4	817	147000	188000	253000	229000	310000	359000	490000	—	678000	792000
39	4	976	176000	224000	303000	273000	371000	429000	586000	—	810000	947000
细 牙 螺 纹												
8	1	39.2	7060	9020	12200	11000	14900	17200	22700	25900	32500	38000
10	1	64.5	11600	14800	20000	18100	24500	28400	37400	42600	53500	62600
10	1.25	61.2	11000	14100	19000	17100	23300	26900	35500	40400	50800	59400
12	1.25	92.1	16600	21200	28600	25800	35000	40500	53400	60800	76400	89300
12	1.5	88.1	15900	20300	27300	24700	33500	38800	51100	58100	73100	85500
14	1.5	125	22500	28800	38800	35000	47500	55000	72500	82500	104000	121000
16	1.5	167	30100	38400	51800	46800	63500	73500	96900	110000	139000	162000
18	1.5	216	38900	49700	67000	60500	82100	95000	130000	—	179000	210000
20	1.5	272	49000	62600	84300	76200	103000	120000	163000	—	226000	264000
22	1.5	333	59900	76700	103000	93200	127000	147000	200000	—	276000	323000
24	2	384	69100	88300	119000	108000	146000	169000	230000	—	319000	372000
27	2	496	89300	114000	154000	139000	188000	218000	298000	—	412000	481000
30	2	621	112000	143000	193000	174000	236000	273000	373000	—	515000	602000
33	2	761	137000	175000	236000	213000	289000	335000	457000	—	632000	738000
36	3	865	156000	199000	268000	242000	329000	381000	519000	—	718000	839000
39	3	1030	185000	237000	319000	288000	391000	453000	618000	—	855000	999000

注:1. 同表 18.8-1 之注 1、2。

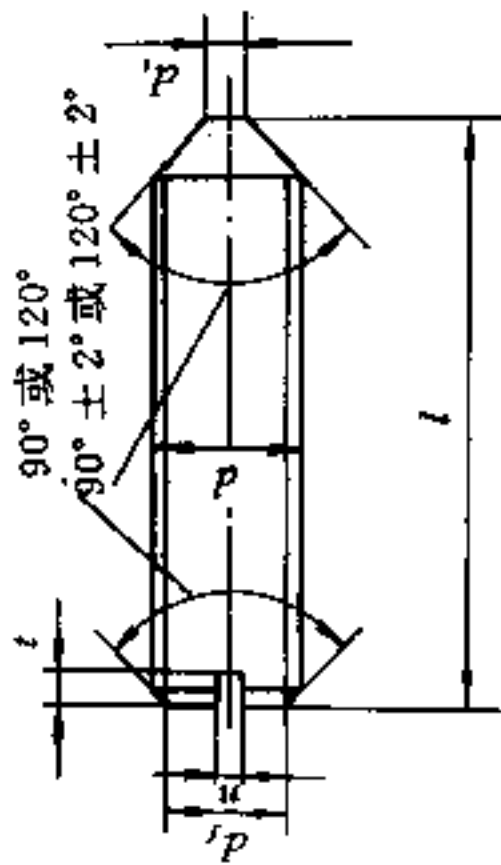
2. 对钢结构用螺栓,在表内数值带“\*”者,分别以 50700、68800 及 94500N 代替。

3. 保证载荷,即螺栓受载后,不发生永久变形的最大载荷。其值等于公称应力截面积  $A_s \times$  保证应力  $S_p$ 。

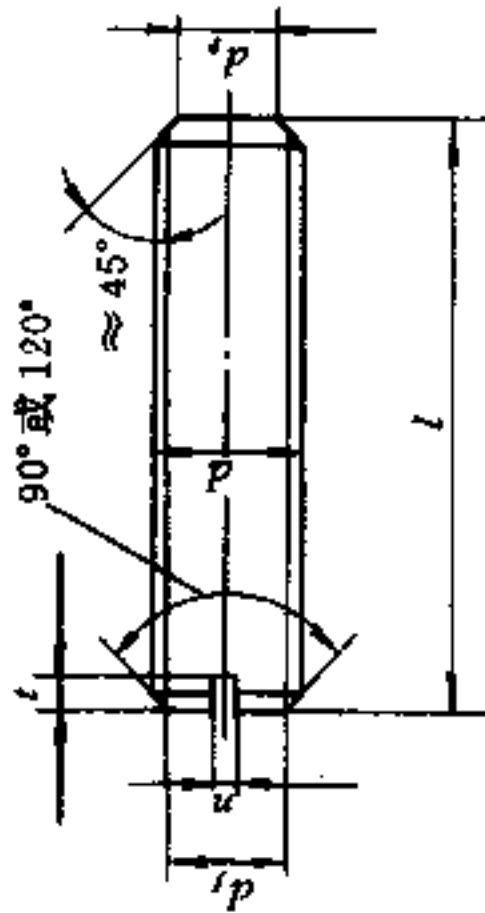
表 18.8.4-3 开槽紧定螺钉

(mm)

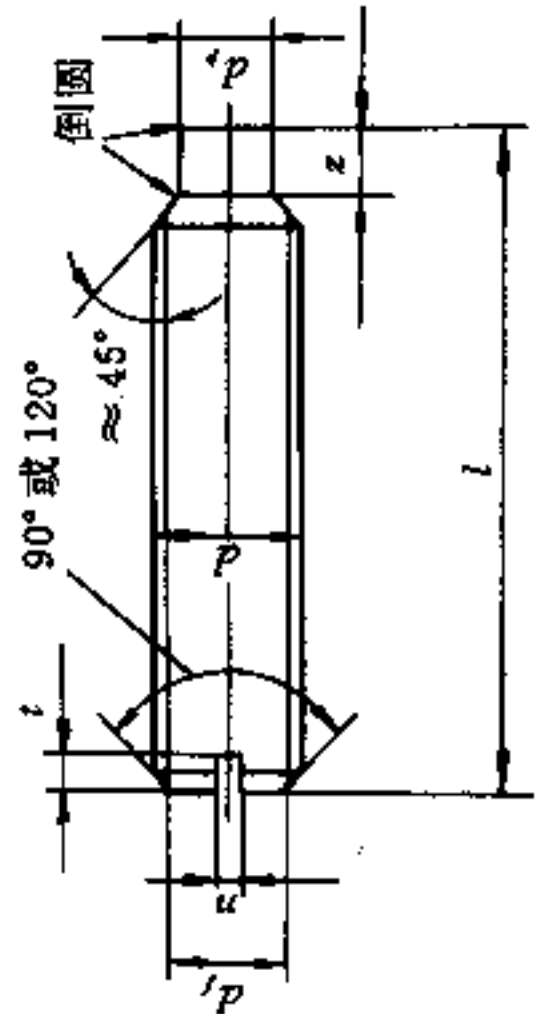
开槽锥端紧定螺钉(GB71—85)



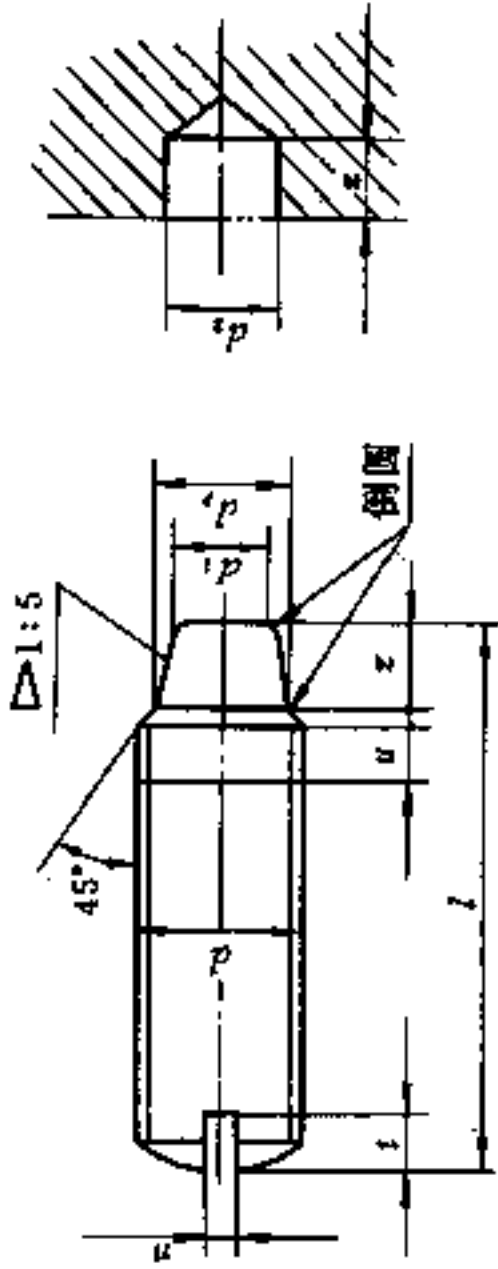
开槽平端紧定螺钉(GB73—85)



开槽长圆柱端紧定螺钉(GB75—85)

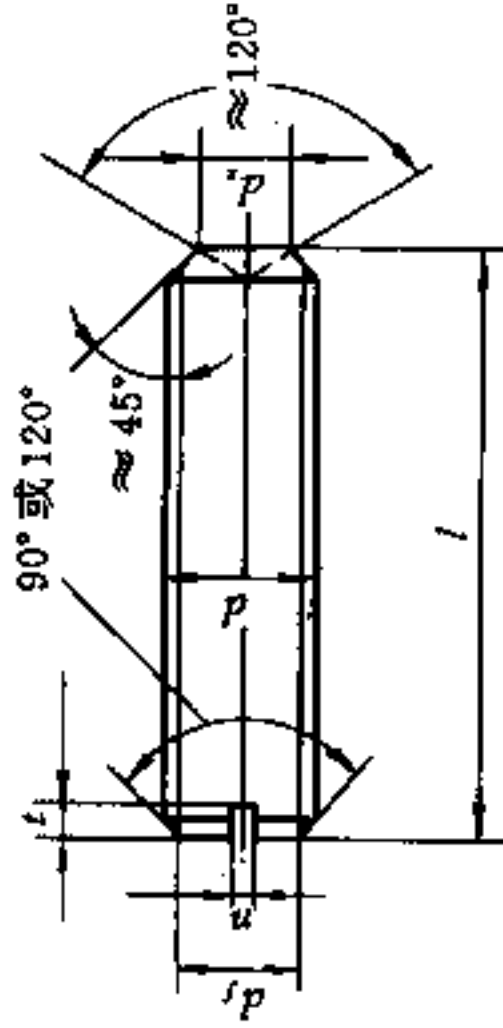


开槽锥端定位螺钉(GB72—88)



$u$  (不完整螺纹的长度  $\leq 2P$ ;  $P$ —螺距)

开槽凹端紧定螺钉(GB74—85)



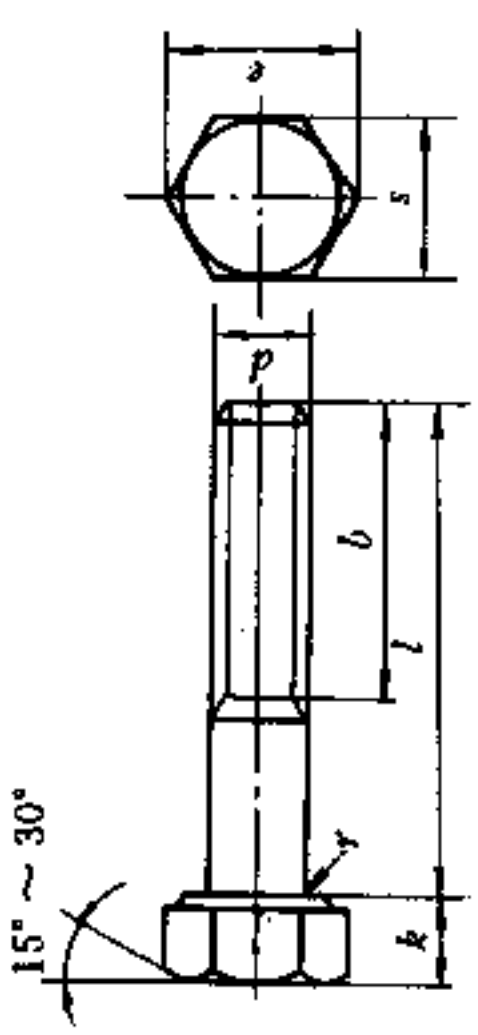
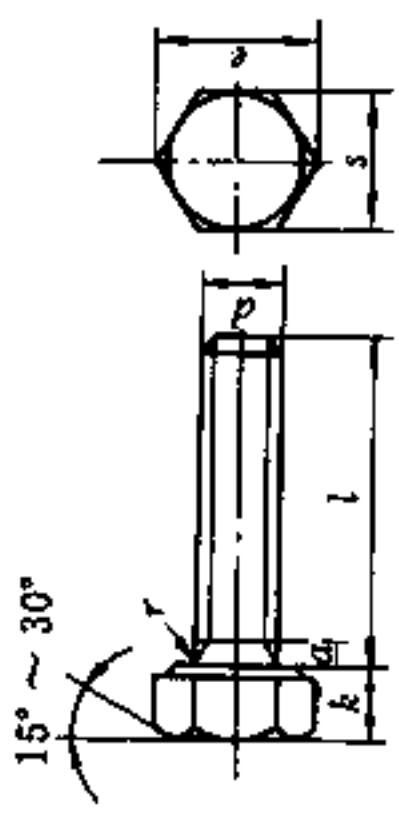
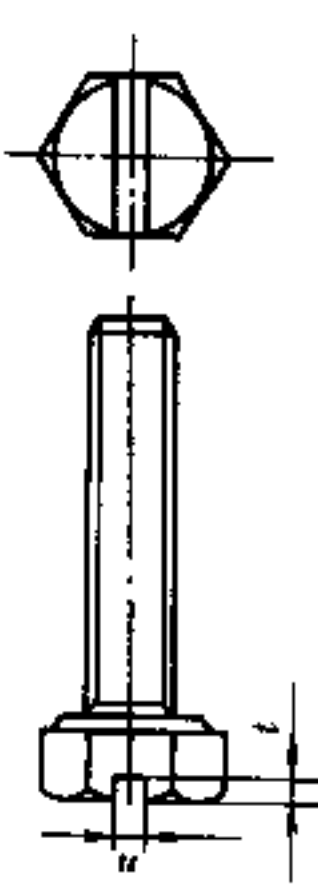
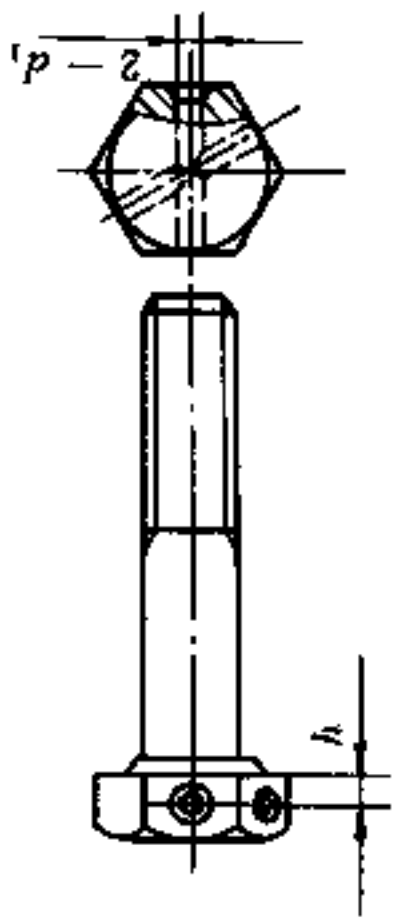
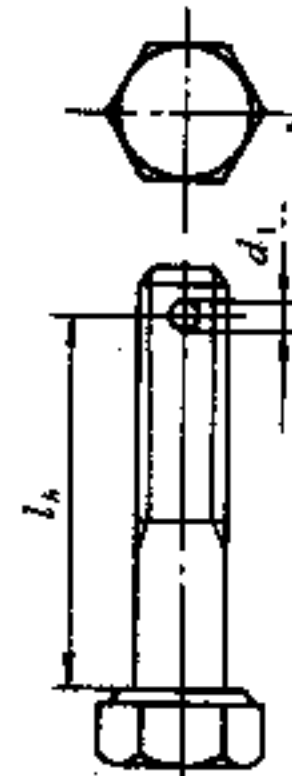
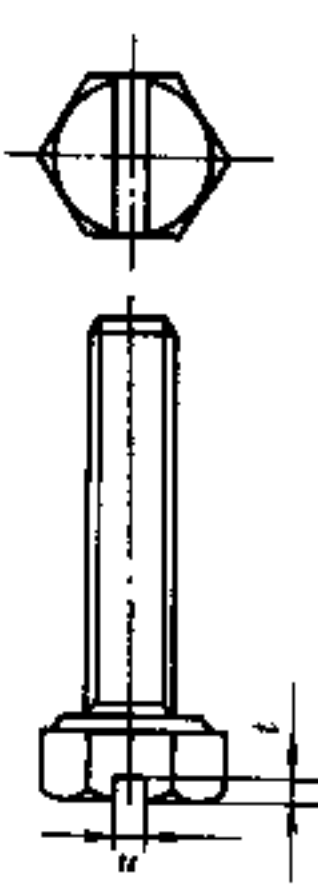
标记示例:

螺纹规格  $d = M5$ 、公称长度  $l = 12\text{mm}$ 、性能等级为 14H 级、表面氧化的开槽

锥端紧定螺钉:

螺钉 GB71—85 M5 × 12

表 18.8.3-2 特殊用途螺栓

六角头螺栓-A和B级(GB5782-86)		六角头螺栓-全螺纹-A和B级(GB5783-86)		六角头螺栓带孔螺栓-A和B级(GB31.1-88)																
 <p>六角头带孔螺栓-A和B级(GB32.1-88)</p>		 <p>六角头头部带槽螺栓-A和B级(GB29.1-88)</p>		 <p>六角头螺栓带孔螺栓-A和B级(GB31.1-88)</p>																
 <p>六角头头部带孔螺栓-A和B级(GB32.1-88)</p>		 <p>六角头头部带槽螺栓-A和B级(GB29.1-88)</p>		 <p>六角头螺栓带孔螺栓-A和B级(GB31.1-88)</p>																
<p>其余的型式与尺寸按 GB5782 规定。</p> <p>标记示例：                      螺栓规格 <math>d = M12</math>、公称长度 <math>l = 80\text{mm}</math>、性能等级为 8.8 级、不经表面处理、A 级的六角头螺栓带孔螺栓：                      螺栓 GB31.1 M12×80</p>		<p>其余的型式与尺寸按 GB5783 规定。</p> <p>标记示例：                      螺栓规格 <math>d = M12</math>、公称长度 <math>l = 80\text{mm}</math>、表面氧化、A 级的六角头螺栓；螺栓 GB5782-86-M12×80</p>		<p>其余的型式与尺寸按 GB5782 规定。</p> <p>标记示例：                      螺栓规格 <math>d = M12</math>、公称长度 <math>l = 80\text{mm}</math>、性能等级为 8.8 级、表面氧化、A 级的六角头螺栓；螺栓 GB5782-86-M12×80</p>																
螺栓规格 $d$	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	(M27)	M30	M36	M42	M48	M56	M64
$s$	5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75	85	95
$k$	2	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	14	15	17	18.7	22.5	26	30	35	40
$r$	0.1	0.2	0.25	0.25	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	1	0.8	1	1	1.2	1.2	1.6	2	2
$e$	6.1	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8	20	23.4	26.8	30	33.5	37.7	40	45.2	50.9	60.8	72	82.6	93.6	104.9

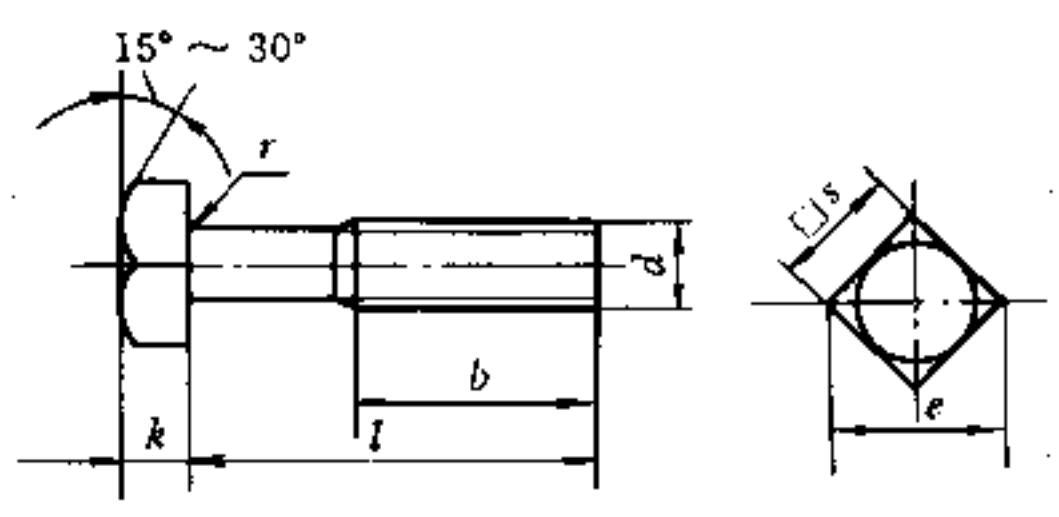
(续)

螺纹规格 $d$	M1.2 <sup>①</sup>	M1.6 <sup>①</sup>	M2 <sup>①</sup>	M2.5 <sup>①</sup>	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12		
$P$ (螺距)	0.25	0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75		
螺 纹 小 径													
$n$	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2		
$t$	0.52	0.74	0.84	0.95	1.05	1.42	1.63	2	2.5	3	3.6		
$d_1 \approx$	—	—	—	—	1.7	2.1	2.5	3.4	4.7	6	7.3		
$d_2$ (推荐)	—	—	—	—	1.8	2.2	2.6	3.5	5	6.5	8		
$d_s$	—	0.8	1	1.2	1.4	2	2.5	3	5	6	8		
$d_i$	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	1.5	2	2.5	3		
$d_p$	0.6	0.8	1	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5		
$Z$	—	1.05	1.25	1.5	1.75	2.25	2.75	3.25	4.3	5.3	6.3		
	—	—	—	—	1.5	2	2.5	3	4	5	6		
商品规格 长度 $l$	2~6	2~8	3~10	3~12	4~16	6~20	8~25	8~30	10~40	12~50	14~60		
	—	—	—	—	4~16	4~20	5~20	6~25	8~35	10~45	12~50		
	2~6	2~8	2~10	2.5~12	3~16	4~20	5~25	6~30	8~40	10~50	12~60		
	—	2~8	2.5~10	3~12	3~16	4~20	5~25	6~30	8~40	10~50	12~60		
	—	2.5~8	3~10	4~12	5~16	6~20	8~25	8~30	10~40	12~50	14~60		
$l$ 系列	2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, (14), 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, (55), 60												
技术条件	材料		钢									不锈钢	
	性能等级	GB72 其他	14H, 33H 14H, 22H	AL-50, C4-50 Al-50									产品等级; A
	表面处理	GB72 其他	①不经处理;②氧化; ③镀锌钝化 ④氧化;⑤镀锌钝化	不经处理									螺 纹 公 差: 6g

①表示 GB72 无此规格;GB74、75 没有 M1.2 规格。

表 18.8.3-3 方头螺栓-C级(GB8-88)

(mm)

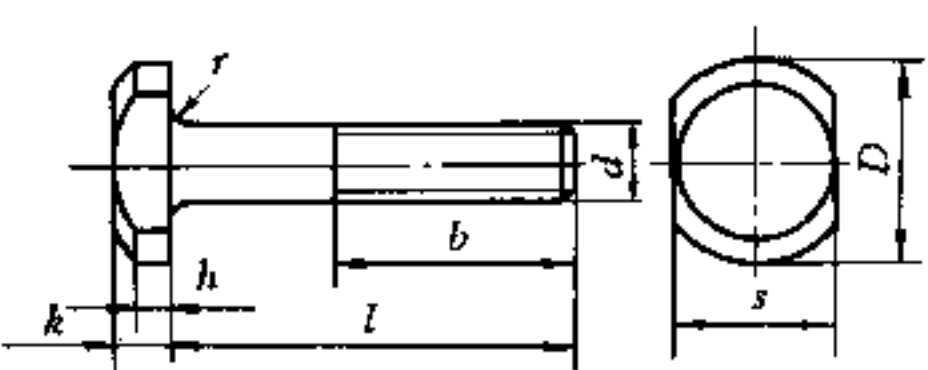


标记示例：  
 螺纹规格  $d = M12$ 、公称长度  $l = 80\text{mm}$ 、性能等级为 4.8 级、不经表面处理的方头螺栓：  
 螺栓 GB8 M12×80

螺纹规格 $d$		M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36	M42	M48
$b$	$l \leq 125$	26	30	34	38	42	46	50	54	60	66	78	—	—
	$125 < l \leq 200$	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	84	96	108
	$l > 200$	—	—	53	57	61	65	69	73	79	85	97	109	121
$e$	20.24	22.84	26.21	30.11	34.01	37.91	42.9	45.5	52.0	58.5	69.94	82.03	95.03	
$k$	7	8	9	10	12	13	14	15	17	19	23	26	30	
$r$	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	1	1	1	1.2	1.6	
$s$	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75	
商品规格长度 $l$	40~	45~	50~	55~	60~	65~	70~	80~	90~	90~	110~	130~	140~	
	100	120	140	160	180	200	220	240	260	300	300	300	300	
100mm 长重量约/kg	0.060	0.087	0.122	0.166	0.216	0.277	0.353	0.416	0.560	0.721	1.117	1.611	2.276	
$l$ 系列	20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, (55), 60, (65), 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300													
技术条件	材料	螺纹公差		性能等级				产品等级	表面处理					
	钢	8g		$d \leq 39$ 时为 4.8 级; $d > 39$ 时按协议				C	①不经处理;②氧化; ③镀锌钝化					

表 18.8.3-4 T形槽用螺栓(GB37-88)

(mm)



标记示例：  
 螺纹规格  $d = M10$ 、公称长度  $l = 100\text{mm}$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化的 T 形槽用螺栓：  
 螺栓 GB37 M10×100

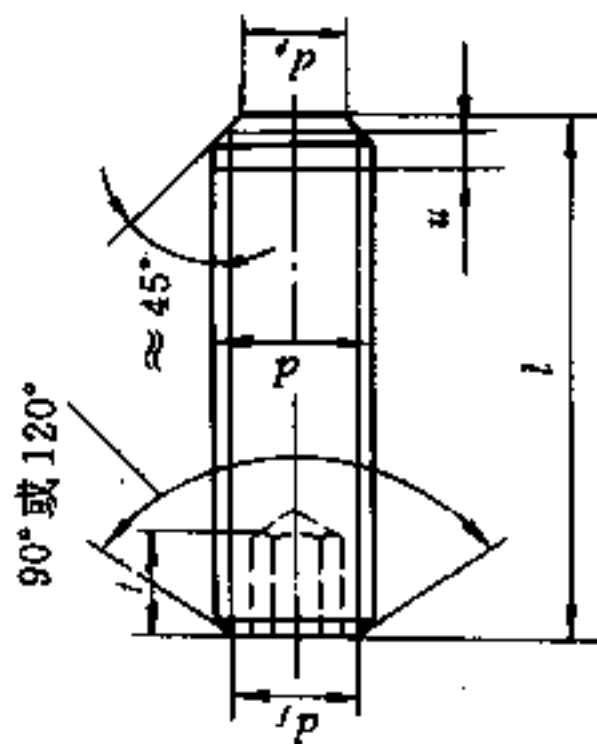
螺纹规格 $d$		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48
$b$	$l \leq 125$	16	18	22	26	30	38	46	54	66	78	—	—
	$125 < l \leq 200$	—	—	28	32	36	44	52	60	72	84	96	108
	$l > 200$	—	—	—	—	—	57	65	73	85	97	109	121
$D$		12	16	20	25	30	38	46	58	75	85	95	105



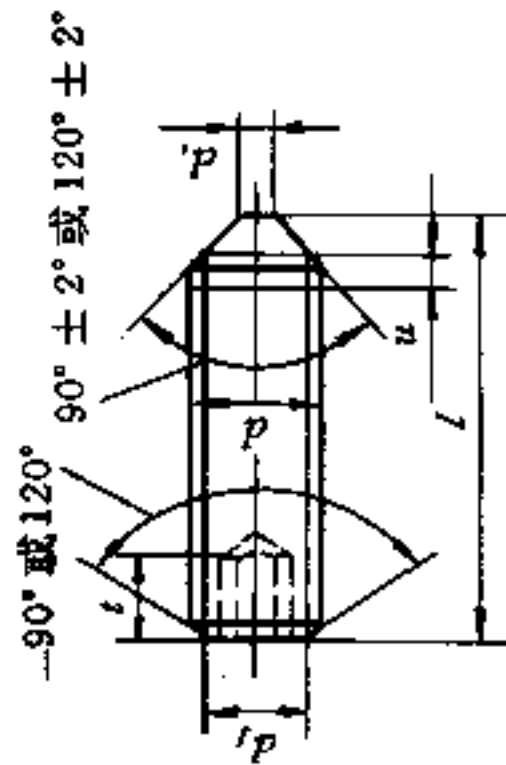
(mm)

表 18.8.4-4 内六角紧钉螺钉

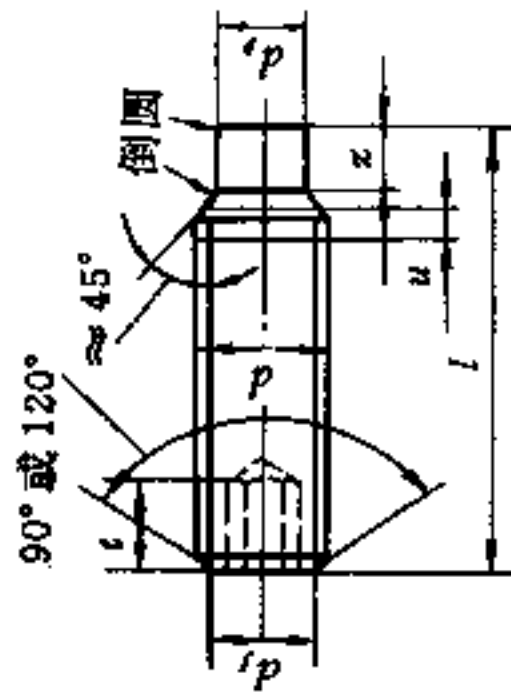
内六角平端紧定螺钉  
(GB77—85)



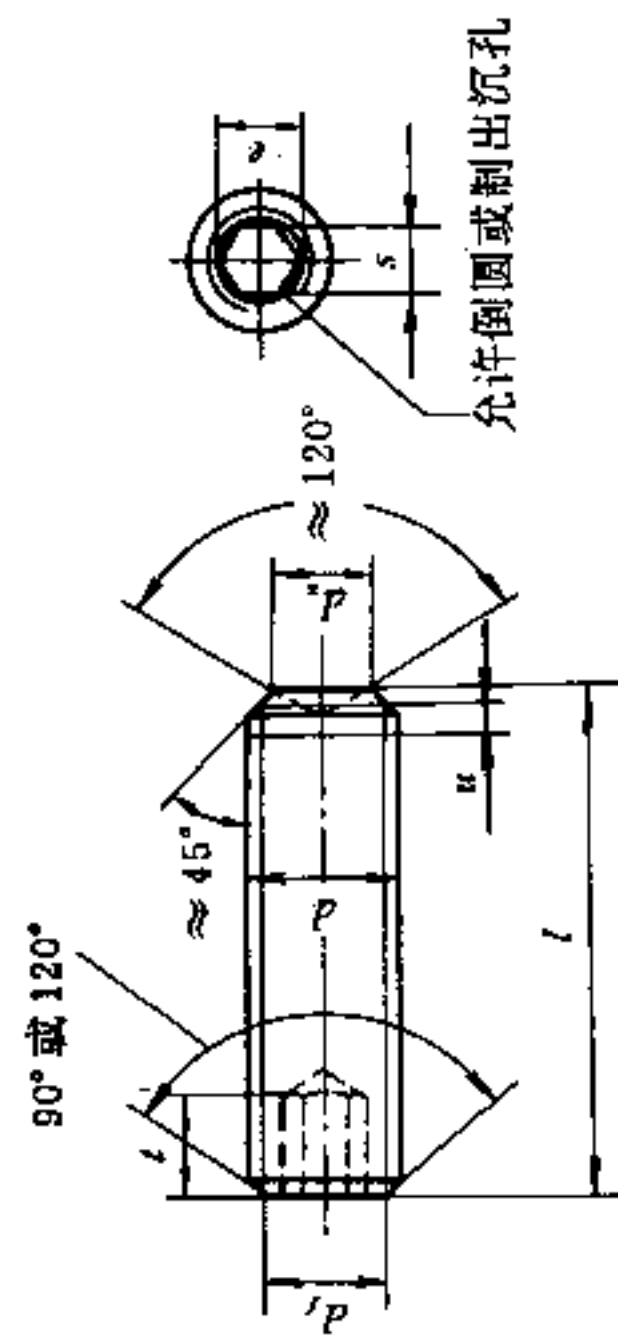
内六角锥端紧定螺钉  
(GB78—85)



内六角圆柱端紧定螺钉  
(GB79—85)



内六角凹端紧定螺钉  
(GB80—85)



标记示例:

螺纹规格  $d = M6$ 、公称长度  $l = 12\text{mm}$ 、性能等级为 33H、表面氧化的内六角平端紧定螺钉:

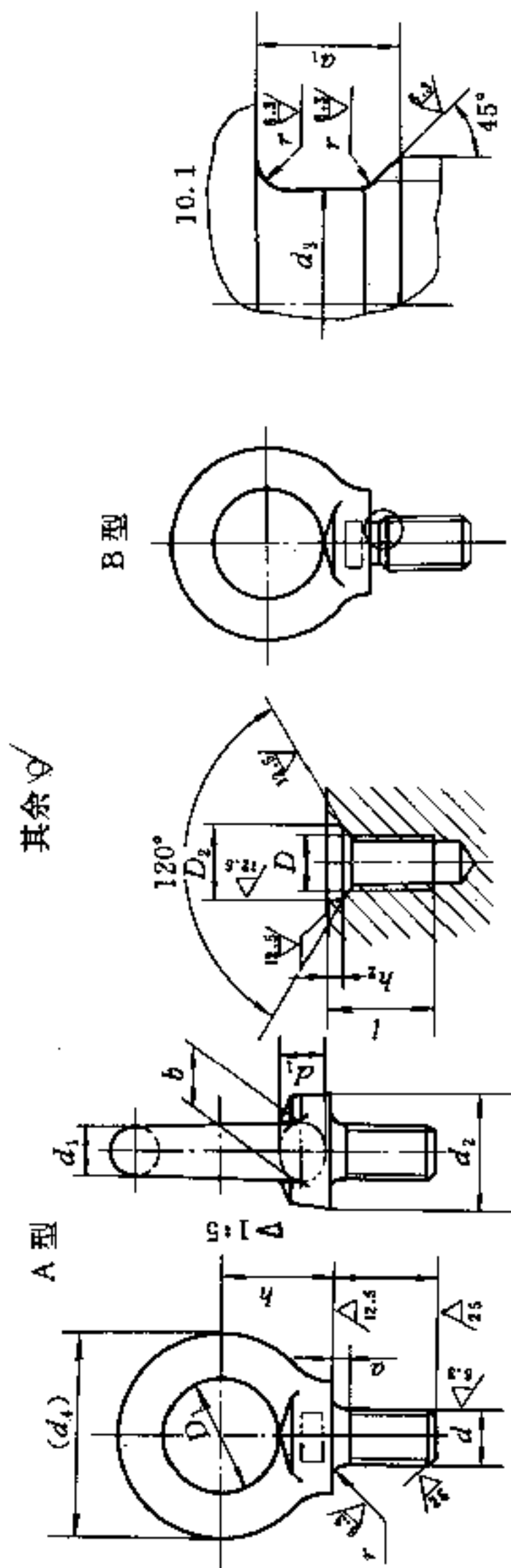
螺钉 GB77—85—M6×12

(续)

螺纹规格 $d$	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24
$P$ (螺距)	0.35	0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0
$u$ (不完整螺纹长度)	$\leq 2P$												
$d_f$	螺纹小径												
$d_p$	0.8	1	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5	12	15	18
$d_r$	0	0	0	0	0	0	1.5	2	2.5	3	4	5	6
$d_s$	0.8	1	1.2	1.4	2	2.5	3	5	6	8	10	14	16
$e$	0.8	1	1.43	1.73	2.3	2.87	3.44	4.58	5.72	6.86	9.15	11.43	13.72
$s$	0.7	0.9	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
$z$	短圆柱端	0.75	0.88	1	1.25	1.5	1.75	2.25	2.75	3.25	4.3	5.3	6.3
	长圆柱端	1.05	1.25	1.5	1.75	2.25	3.25	4.3	5.3	6.3	8.36	10.36	12.43
商品规格 长度 $l$	GB77—85	2~8	2~10	2~12	2~16	2.5~25	3~30	4~40	5~50	6~60	8~60	10~60	12~60
	GB78—85	2~8	2~10	2.5~12	2.5~16	3~20	4~30	5~40	6~50	8~60	10~60	14~60	20~60
通用规格 长度 $l$	GB79—85	2~8	2.5~10	3~12	4~16	5~25	6~30	8~40	10~50	12~60	14~60	20~60	25~60
	GB80—85	2~8	2~10	2~12	2.5~16	3~20	4~30	5~40	6~50	8~60	10~60	14~60	20~60
$l$ 系列	2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, (14), 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, (55), 60												
技术条件	材料	钢											
	性能等级	33H, 45H											
	表面处理	①氧化; ②镀锌钝化											
	不锈钢												
	A2-2												
	不经处理												
	螺纹公差: 45H 级为 5g, 6g, 其他等级为 6g												
	产品等级: A												

表 18.8.4-5 吊环螺钉(GB825-88)

(mm)

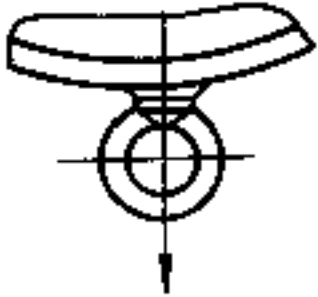
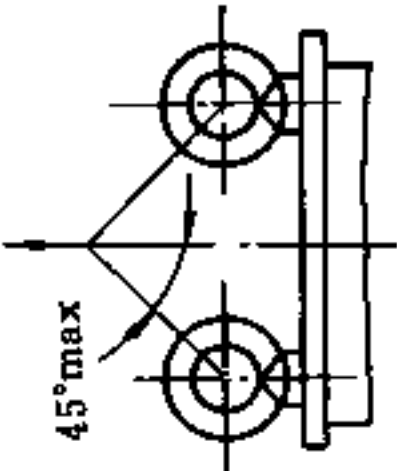


标记示例:

规格为 20mm, 材料为 20 钢, 经正火处理, 不经表面处理的 A 型吊环螺钉; 螺钉 GB825M20

规格 $d$	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M72×6	M80×6	M100×6
$d_1$	9.1	11.1	13.1	15.2	17.4	21.4	25.7	30	34.4	40.7	44.7	51.4	63.8	71.8	79.2
$D_1$	20	24	28	34	40	48	56	67	80	95	112	125	140	160	200
$d_2$	21.1	25.1	29.1	35.2	41.4	49.4	57.7	69	82.4	97.7	114.7	128.4	143.8	163.8	204.2
$l$	16	20	22	28	35	40	45	55	65	70	80	90	100	115	140
$d_4$ (参考)	36	44	52	62	72	88	104	123	144	171	196	221	260	296	350
$h$	18	22	26	31	36	44	53	63	74	87	100	115	130	150	175

(续)

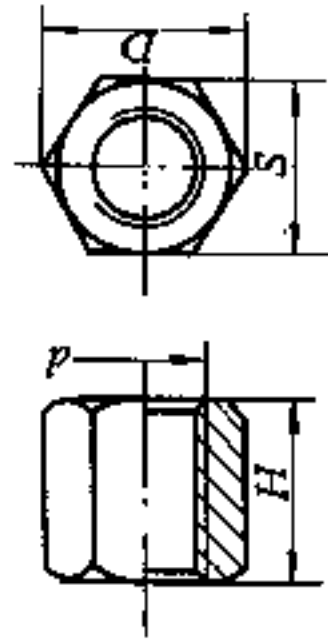
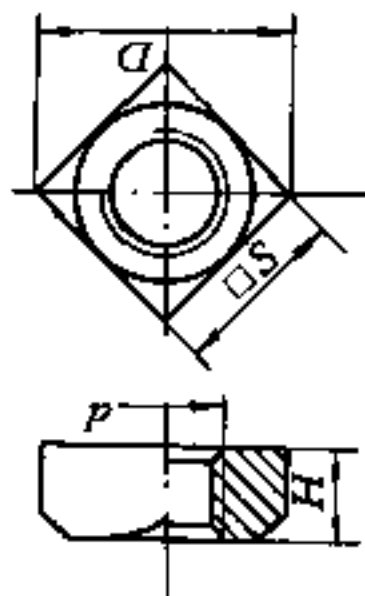
规格 $d$	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M72 × 6	M80 × 6	M100 × 6
	1			2			3			4			5		
$a_1$	3.75	4.5	5.25	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18	18	18	18
$d_3$	6	7.7	9.4	13	16.4	19.6	25	30.8	35.6	41	48.3	55.7	63.7	71.7	91.7
$a$	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12	12
$b$	10	12	14	16	19	24	28	32	38	46	50	58	72	80	88
$D_2$	13	15	17	22	28	32	38	45	52	60	68	75	85	95	115
$h_2$	2.5	3	3.5	4.5	5	7	8	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14	14	14
每 1000 个的重量约/kg	40.5	77.9	131.7	233.7	385.2	705.3	1205	1998	3070	4947	7155	10382	17758	25892	40273
 单螺钉起吊	0.16	0.25	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3	8	10	16	20	25	40
	 双螺钉起吊														
最大起吊重量 $t$ (平稳起吊)															
技术条件	材料: 20 或 25 钢			螺纹公差: 8g			热处理: 整体铸造, 正火处理			表面处理: ①不处理; ②镀锌钝化; ③镀铬					

注: M8 ~ M36 为商品规格。

表 18.8-5 常用螺母结构尺寸

表 18.8.5-1 方螺母-C级(GB39—88)、六角特厚螺母(GB56—88)

(mm)



(GB39—88)

(GB56—88)

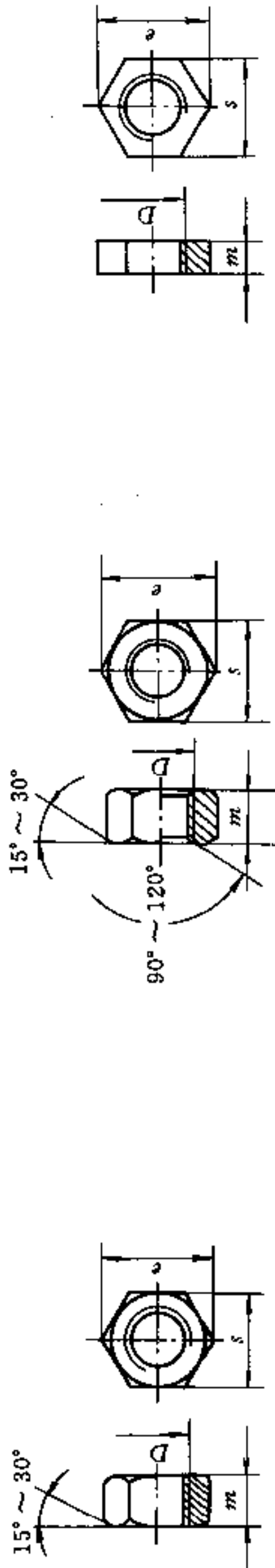
标记示例:

螺纹规格为  $D = M16$ 、性能等级 5 级、不经表面处理、C 级的方螺母:

螺母 GB39—88 M16

$d$	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M(18)	M20	M(22)	M24	M(27)	M30	M36	M42	M48
S	5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75
D	6.76	8.63	9.93	12.53	16.34	20.24	22.84	26.21	30.11	34.01	37.91	42.9	45.5	45.2	50.85	60.79	72.09	82.6
H	2.4	3.2	4	5	5	8	10	11	13	15	16	18	19					
									25	28	32	35	38	48	55	65	75	

表 18.8.5-2 1 型六角螺母-C 级 (GB41-86)、1 型六角螺母-A 和 B 级 (GB6170-86)、六角薄螺母-B 级-无倒角 (GB6174-86) (mm)



(GB41-86)

(GB6170-86) (GB6172-86)

(GB6174-86)

标记示例:

螺纹规格  $D = M12$ 、性能等级为 5 级、不经表面处理、C 级的 1 型六角螺母:

螺母 GB41-86-M12

螺纹规格 $D$	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16 (M18)	M20	(M22)	M24 (M27)	M30	M36	M42	M48	M56	M64
$e$	3.4	4.3	5.6	6	7.7	8.8	11	14.4	17.8	20	23.4	26.8	33	37.3	39.6	45.2	60.8	72	82.6	93.6	104.9
$s$	3.2	4	5	5.5	7	8	10	13	16	18	21	24	30	34	36	46	55	65	75	85	95
GB6170-86	1.3	1.6	2	2.4	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	12.8	14.8	18	19.4	21.5	23.8	31	34	33	45	51
GB6172-86	1	1.2	1.6	1.8	2.2	2.7	3.2	4	5	6	7	8	9	11	12	13.5	18	21	24	28	32
GB6174-86	—	—	—	—	—	5.6	6.1	7.9	9.5	12.2	13.9	14.9	15.9	20.2	22.3	24.7	31.5	34.9	38.9	45.9	52.4

表 18.8.5-3 2型六角螺母-A和B级(GB6175-86)

(mm)



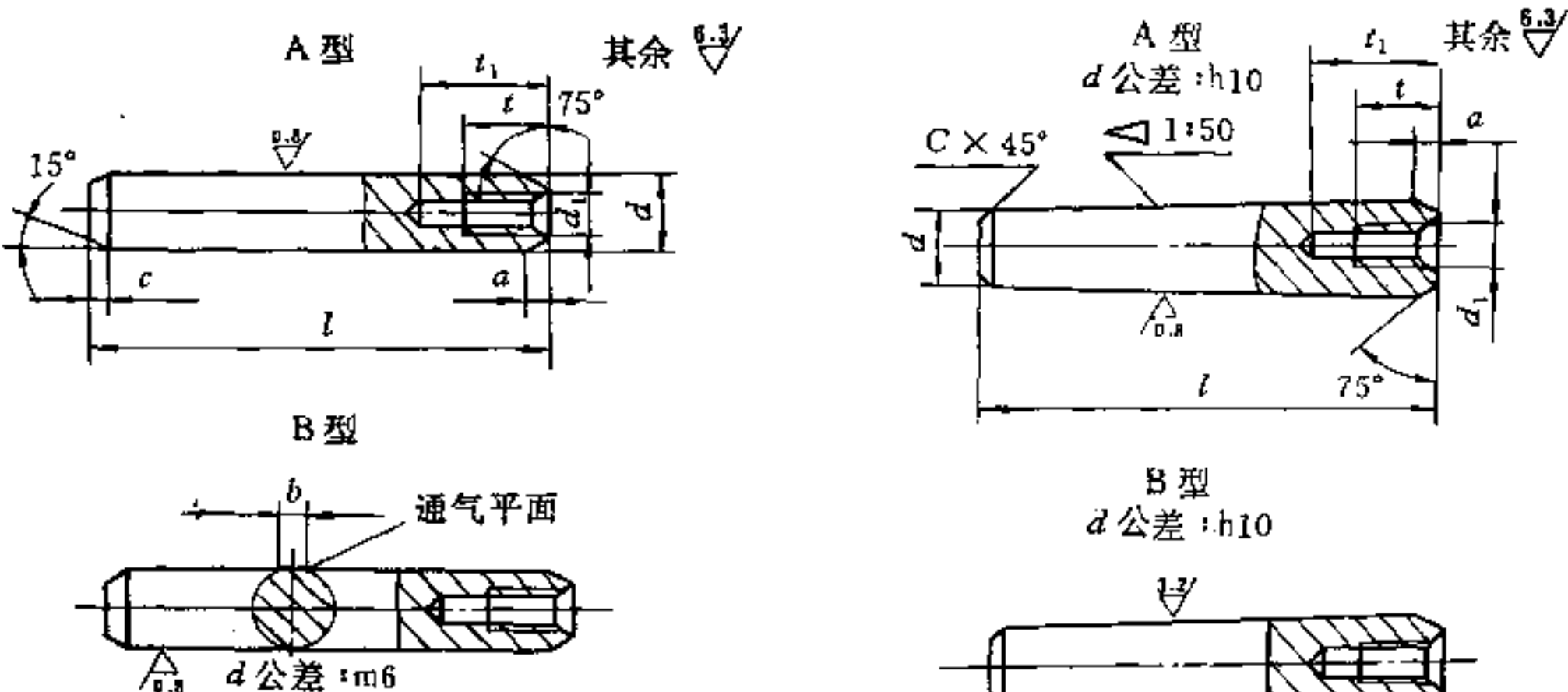
标记示例:  
 螺纹规格  $D = M16$ 、性能等级为 9 级、不经表面处理、A 级的 2 型六角螺母  
 螺母 GB6175-86-M16

螺纹规格 $D$	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	M20	M24	M30	M36
$e$	8.8	11.1	14.4	17.8	20.1	23.4	26.8	33	39.6	50.9	60.8
$s$	8	10	13	16	18	21	24	30	36	46	55
$m$	5.1	5.7	7.5	9.3	12	14.1	16.4	20.3	23.9	28.6	34.7

表 18.8-6 定位销结构尺寸

表 18.8.6-1 内螺纹圆柱销(GB120-86)和内螺纹圆锥销(GB118-86)

(mm)



标记示例:  
 公差直径  $d = 10\text{mm}$ 、长度  $l = 60\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 HRC28~38、表面氧化处理的内螺纹圆柱销:  
 销 GB120-86-A10×60

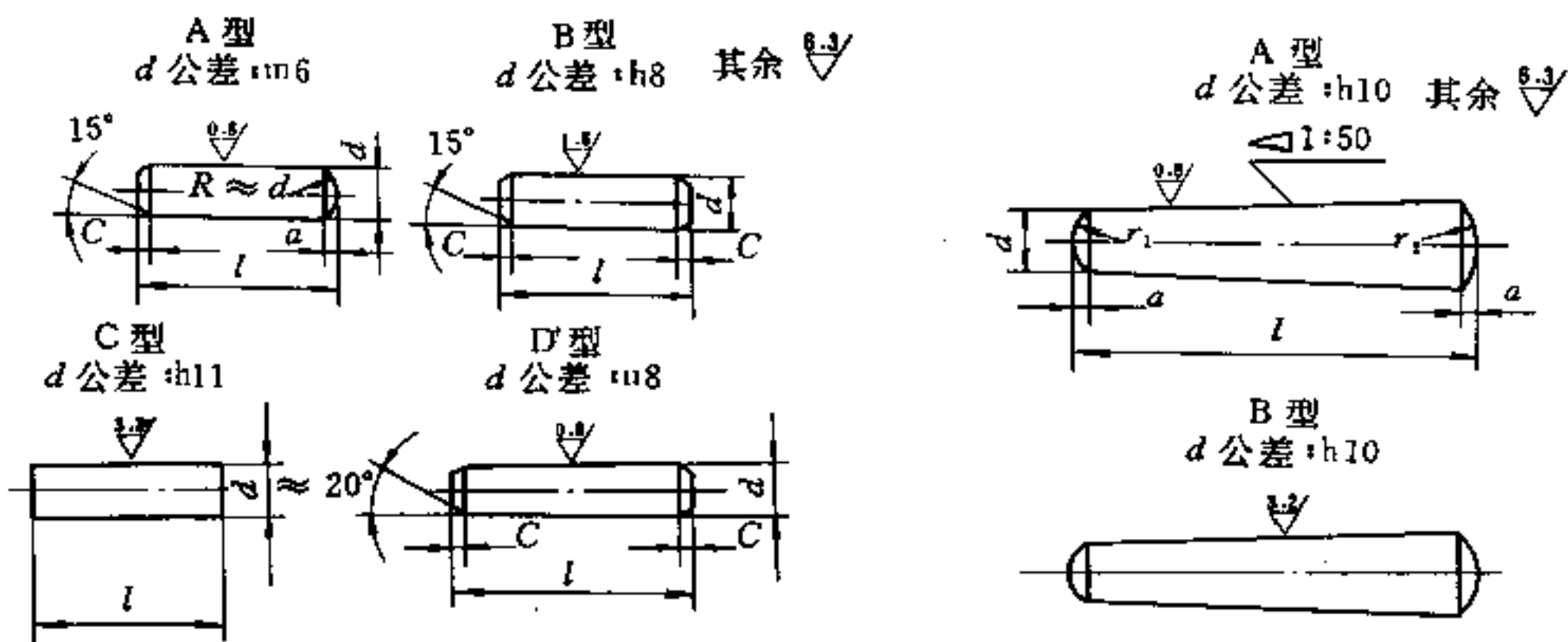
标记示例:  
 公称直径  $d = 10\text{mm}$ 、长度  $l = 60\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 HRC28~38、表面氧化处理的 A 型内螺纹圆锥销:  
 销 GB118-86-A10×60

$d$	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	
$a \approx$	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6.3	
$t$	6	8	10	12	16	18	24	30	30	36	
$t_1$ min	10	12	16	20	25	28	36	40	40	50	
$b \approx$	1	1.2		1.5			2		2.5		
$l$	16~60	18~80	22~100	26~120	32~160	40~200	50~200	60~200	80~200	100~200	
圆柱销 圆柱销	$C \approx$	1.2	1.6	2	2.5	3	3.5	4	5	6.3	8
	$d_1$	M4	M5	M6		M8	M10	M16	M20		M24
圆柱销 圆柱销	$C \approx$	1	1.2		1.5			2		2.5	
	$d_1$	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20		M24
$l$ 系列	16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 120, 140, 160, 180, 200										



表 18.8.6-2 圆柱销(GB119-86)和圆锥销(GB117-86)

(mm)



标记示例:

公称直径  $d = 8\text{mm}$ 、长度  $l = 30\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 HRC28~38、表面氧化处理的 A 型圆柱销:

销 GB119-86-A8×30

标记示例:

公称直径  $d = 10\text{mm}$ 、公称长度  $l = 60\text{mm}$ 、材料为 35 钢、热处理硬度 HRC28~38、表面氧化处理的 A 型圆锥销:

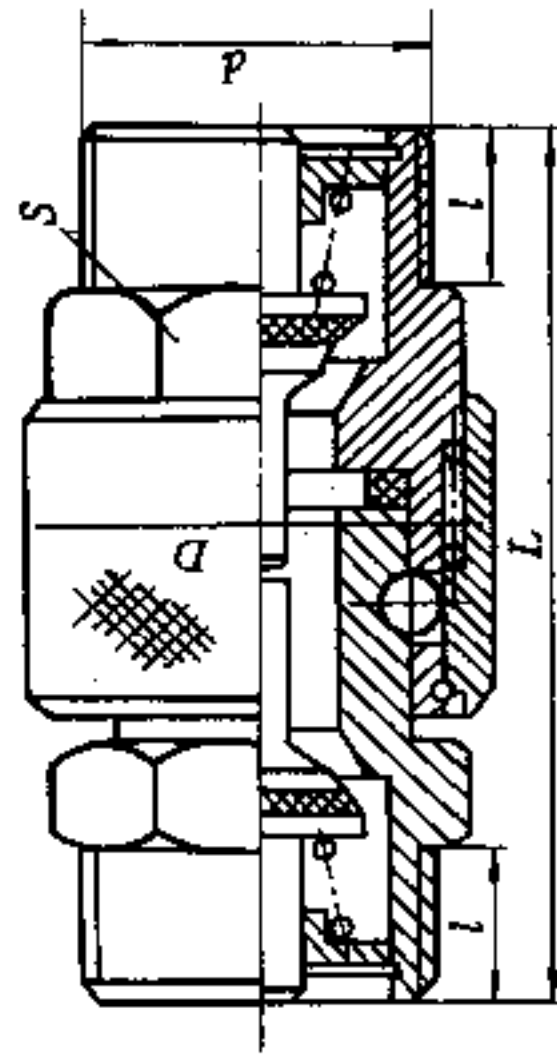
销 GB117-86-A10×60

$d$ (公称)	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	
$a \approx$	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.63	
$C \approx$	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	0.63	0.80	
$l$	圆柱销	2~6	2~8	4~10	4~12	4~16	6~20	6~24	8~30	8~40	10~50
	圆锥销	4~8	5~12	6~16	6~20	8~24	10~35	10~35	12~45	14~55	18~60
$d$ (公称)	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	
$a \approx$	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.3	
$C \approx$	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.3	8.0	
$l$	圆柱销	12~60	14~80	18~95	22~140	26~180	35~200	50~200	60~200	80~200	95~200
	圆锥销	22~60	22~120	26~160	32~180	40~200	45~200	50~200	55~200	60~200	65~200
$l$ 系列	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 33, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 120, 140, 160, 180, 200										

## 18.9 管件与密封

表 18.9-1 快速接头(JB/ ZQ4434-86)

(mm)



(a) 主要技术参数与标记

公称通径 DN/mm	额定流量 $l/\text{min}$	工作压力 /MPa	工作温度 /°C	工作介质	$d$	$D$	$L$	$l$	$S$	重量 /kg
6	6.3	16~32	-20~+80	气体 液体 水油	M16×1.5	28	67	43	19	0.144
8	25	16~32	-20~+80		M22×1.5	31	70	49.5	22	0.224
10	40	16~32	-20~+80		M27×1.5	36	76	55.5	27	0.347
15	63	16~32	-20~+80		M30×1.5	40	87	60.5	30	0.449
20	100	16~32	-20~+80		M36×2	48	97	70.5	36	0.718

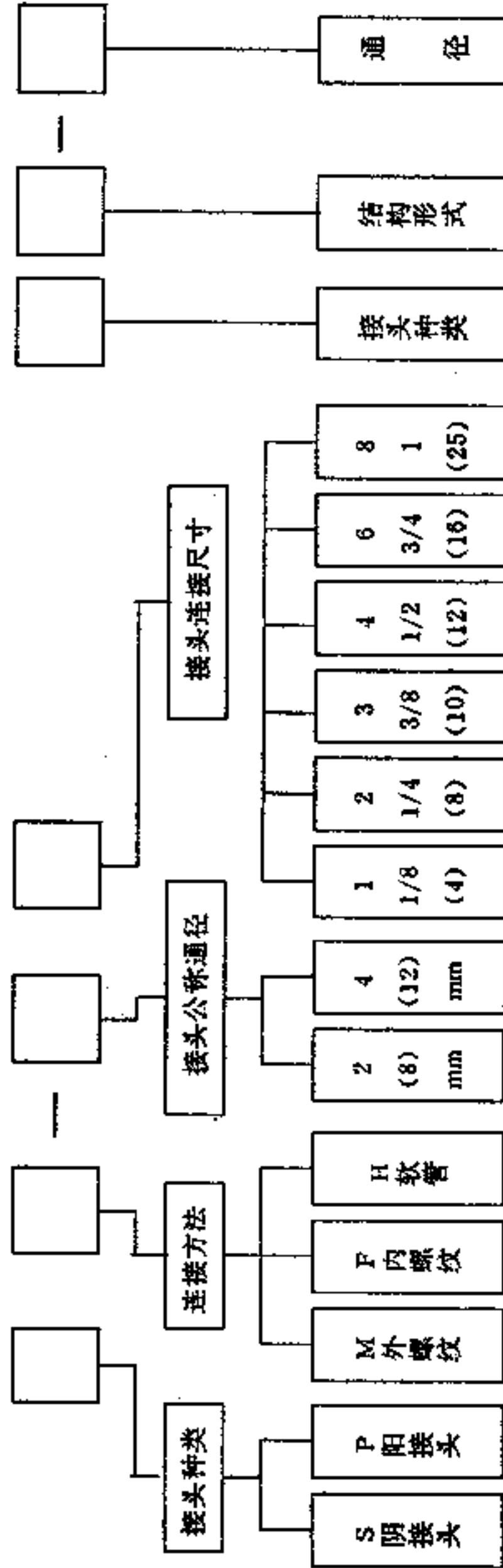
(续)

公称直径 DN/mm	额定流量 V/min	工作压力 /MPa	工作温度 /℃	工作介质	d	D	L	l	S	重量 /kg
25	160	16~32	-20~+80		M42×2	56	110	77.5	46	1.199
32	250	16~32	-20~+80		M52×2	66	129	89.5	55	1.841
40	400	16~32	-20~+80		M60×2	77	145	99.5	65	2.715
50	630	16~32	-20~+80		M68×2	82	157	104.5	70	3.985

系列快速接头及终端接头的阴接头与阳接头均具有多种结构型式和尺寸,可根据工作和安装的具体条件选用不同的结构和尺寸。为方便用户选用,对型号标记作如下说明:

快速接头

终端接头

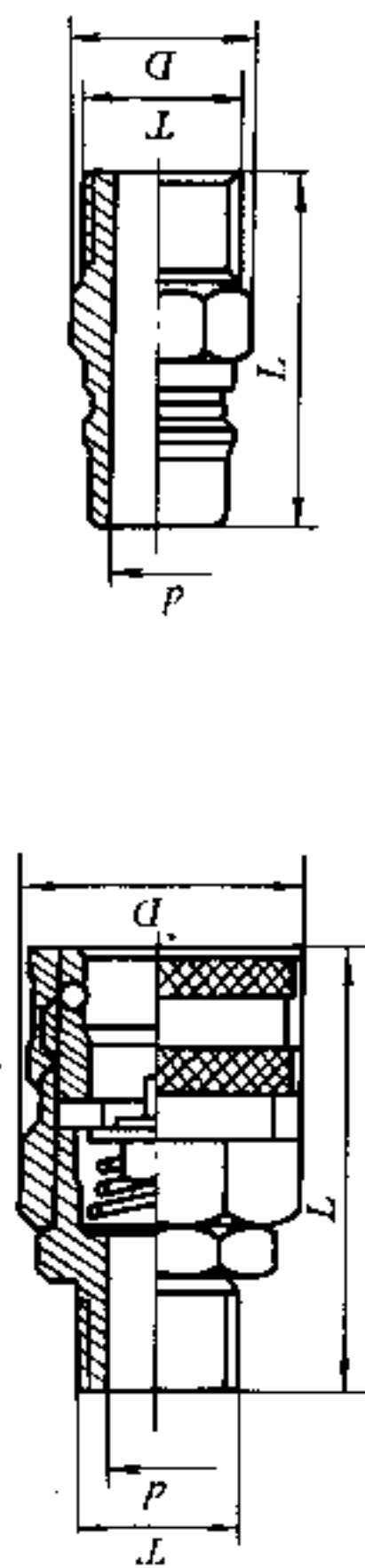


[例]:

PM-22 表示公称直径为 8mm 连接尺寸为 R1/4 外螺纹的阳接头。

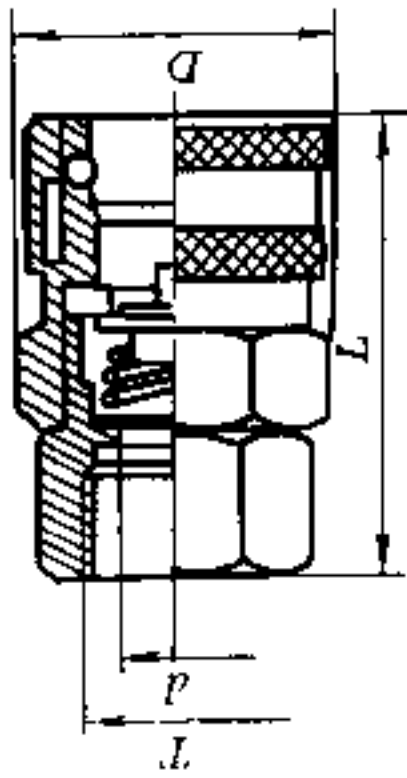
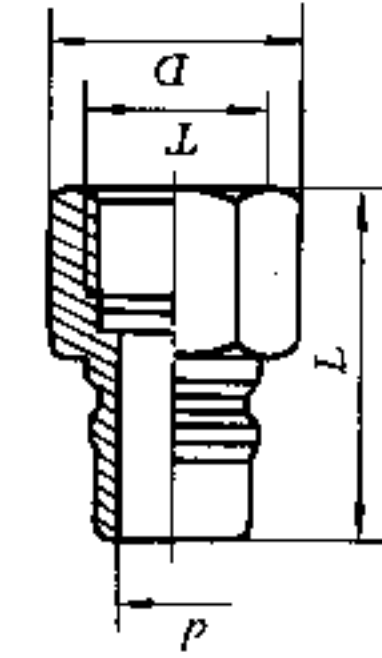
(b) LJ 系列快速接头

LJ 系列快速接头适用于工矿、企事业单位及家庭之气动工具、液压管路、水管路、油、气路等的联接安装,特别适用于需要经常移动的管道,是一种不用工具即可实现快速装、拆的接头。当两个接头体(如 SM 型、PM 型)分开时,即能自动封闭。互换性能好,材质可分别用钢镀铬、黄铜、不锈钢材料制造。其工作压力  $1.5 \sim 2 \text{MPa}$ , 工作温度  $-20 \sim +80^\circ\text{C}$ 。工作介质为气体、油、水。



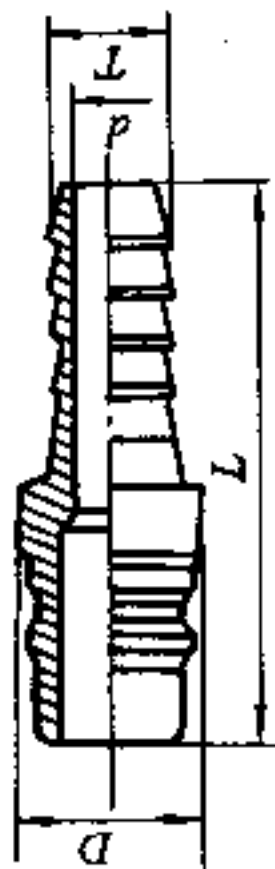
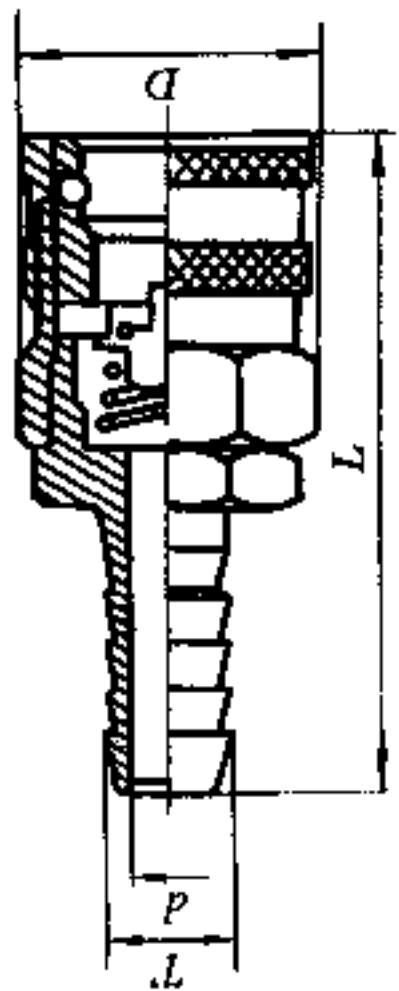
SM 型		PM 型		
型号	螺纹 T		尺寸/mm	材质重量/g
	英制	公制		
SM-21	G1/8	M10×1	L 54.5 D φ25 d φ4	钢 90 黄铜 98 不锈钢 92
SM-22	G1/4	M12×12.5	L 55.5 D φ25 d φ7.5	钢 95 黄铜 104 不锈钢 95
SM-23	G3/8	M16×1.5	L 57.5 D φ25 d φ7.5	钢 100 黄铜 109 不锈钢 100
SM-24	G1/2	M20×1.5	L 59.5 D φ25 d φ9	钢 110 黄铜 117 不锈钢 111
SM-44	G1/2	M20×1.5	L 64 六角 32/37 d φ13	钢 220 黄铜 240 不锈钢 218
SM-46	G3/4	M27×2	L 67 六角 32/37 d φ17	钢 240 黄铜 255 不锈钢 237
SM-48	G1"	M33×2	L 68 六角 35/40.4 d φ17	钢 250 黄铜 270 不锈钢 245
			L 39 六角 14/16.2 d φ4	钢 23 黄铜 25 不锈钢 24
			L 41 六角 14/16.2 d φ7.5	钢 25 黄铜 27 不锈钢 26
			L 43 六角 17/19.6 d φ7.5	钢 40 黄铜 45 不锈钢 41
			L 46 六角 21/24.2 d φ7.5	钢 65 黄铜 70 不锈钢 66
			L 50 六角 21/24.2 d φ12.5	钢 70 黄铜 76 不锈钢 70
			L 54 六角 27/31.2 d φ12.5	钢 115 黄铜 123 不锈钢 117
			L 53 六角 35/40.4 d φ12.5	钢 125 黄铜 133 不锈钢 128

(续)



SF 型		PF 型		SF 型		PF 型						
型号	螺纹 T		尺寸/mm		材质重量/g	型号	螺纹 T		尺寸/mm		材质重量/g	
	英制	公制	L	D			d	英制	公制	L		D
SF-21	G1/8	M10×1	52.5	φ25	105	PF-21	G1/8	M10×1	37	六角 14/16.2	φ7.5	24
SF-22	G1/4	M12×1.25	52.5	φ25	104	PF-22	G1/4	M12×1.25	38	六角 14/16.2	φ7.5	30
SF-23	G3/8	M16×1.5	54.5	φ25	103	PF-23	G3/8	M16×1.5	41	六角 17/19.6	φ7.5	45
SF-24	G1/2	M20×1.5	54.5	φ25	122	PF-24	G1/2	M20×1.5	43	六角 21/24.2	φ7.5	65
SF-44	G1/2	M20×1.5	60	六角 32/37	225	PF-44	G1/2	M20×1.5	43	六角 21/42.2	φ12.5	70
SF-46	G3/4	M27×2	61	六角 32/37	235	PF-46	G3/4	M27×2	47	六角 27/31.2	φ12.5	106
SF-48	G1	M33×2	63	六角 38/43.9	260	PF-48	G1	M33×2	46	六角 35/40.4	φ12.5	120
					108							26
					110							26
					111							48
					123							65
					225							77
					230							108
					263							118

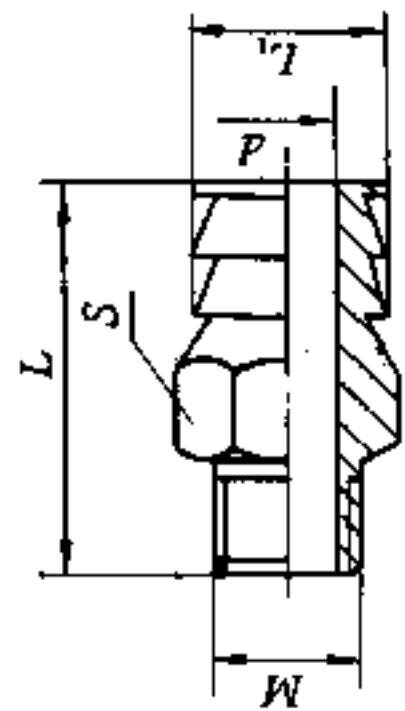
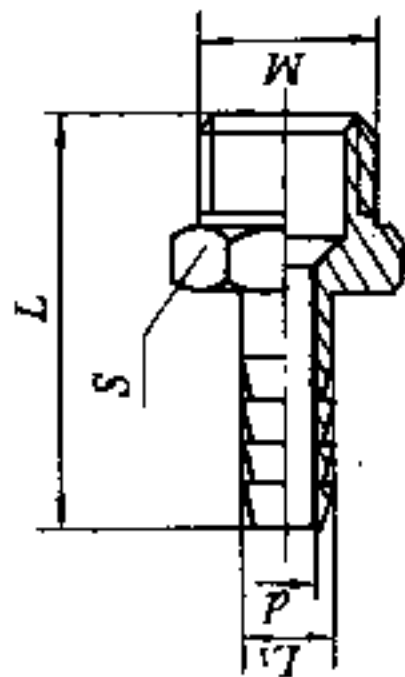
(续)



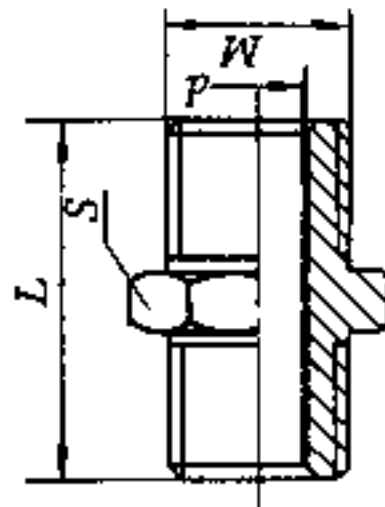
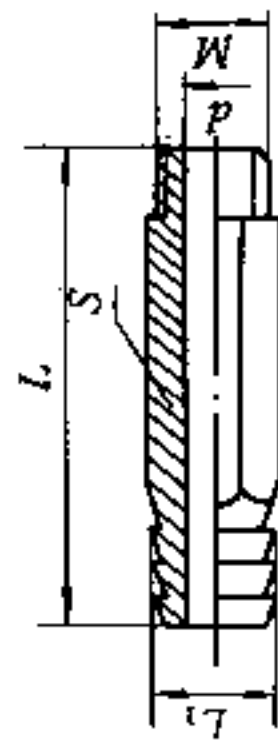
SF 型		尺寸/mm		材质重量/g			软管内径		PF 型					
型号	软管内径	L	D	d	钢	黄铜	不锈钢	T	L	D	d	材质重量/g		
												钢	黄铜	不锈钢
SH-21	6	72.5	φ25	φ4	93	102	95	6	58	φ16	φ4	25	27	25
SH-22	8	72.5	φ25	φ5	95	104	98	8	58	φ16	φ5	27	29	26
SH-23	10	76.5	φ25	φ7.5	100	108	99	10	62	φ16	φ7.5	35	38	31
SH-24	13	78.5	φ25	φ9	110	117	112	13	64	φ16	φ7.5	50	55	48
SH-44	16	83	六角 25/30	φ9	220	240	218	16	69	φ22	φ9	75	80	75
SH-46	19	83	六角 32/37	φ12.5	240	262	235	19	74	φ23	φ12.5	122	132	126
SH-48	22	93	六角 32/37	φ17	296	296	268	22	78	φ30	φ12.5	145	165	148

(c) 异型铜接头及紧固件系列

(mm)



代号	接口螺纹 M	S	L	L <sub>1</sub>	d	代号	接口螺纹 M	S	L	L <sub>1</sub>	d
DF-1	G1/2"	22	40	13.2	9	DF-5	G3/8"	10.2	32	10.2	5.5
DF-2	G1/2"	22	40	10.2	6	DF-6	G1/8"	10.2	34	10.2	5.5
DF-3	G3/8"	17.4	40	10.5	6.5	DF-7	G1/4"	12.7	35	12.7	8
DF-4	G3/8"	17.4	40	9.3	5	DF-8	G1/2"	12.7	35	12.7	8

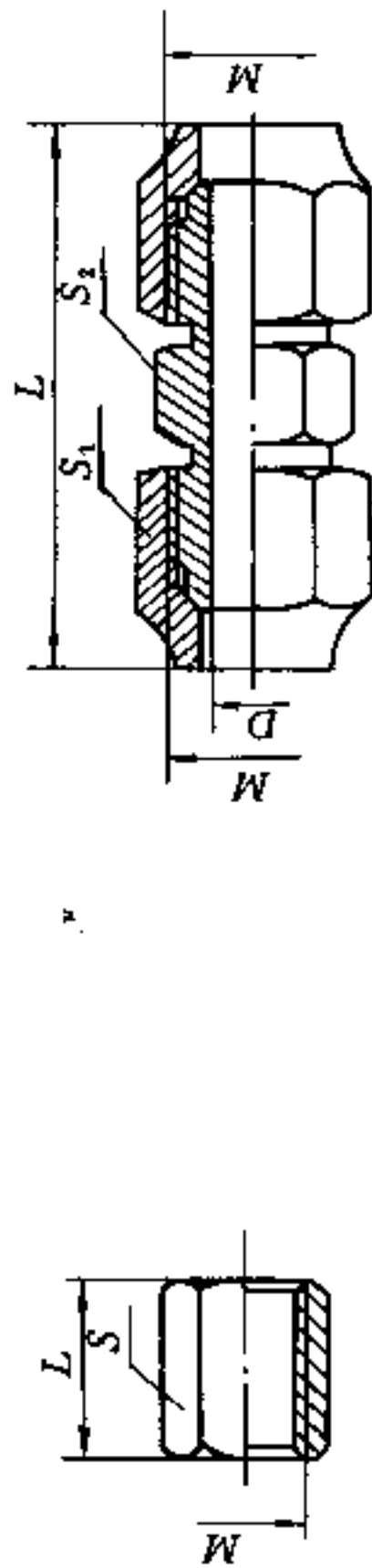


代号	接口螺纹 M	S	L	L <sub>1</sub>	d	代号	接口螺纹 M	L	S	d
DF-9	G3/8"	10.2	76 101	10.2	5.6	DF-13	G1/8"	10.2	26	6
DF-10	G1/8"	10.2	127 152	10.2	5.6	DF-14	G1/4"	12.7	26	8
DF-11	1/2"	12.7	76 101	12.7	8	DF-15	G3/8"	17	28	10
DF-12	1/4"	12.7	127 152	12.7	8	DF-16	G1/2"	22	33	14



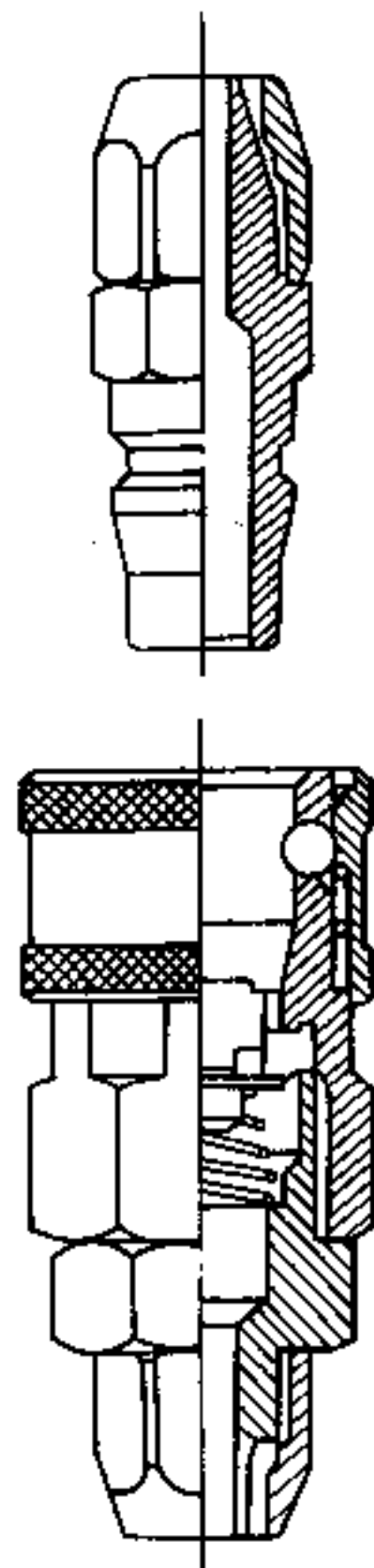
(续)

代号	接口螺纹 M	S	L	代号	接口螺纹 M	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	L	d
DF-17	G1/8"	12.7	22	DF-21	1/2"-20牙	15.6	12.7	44	5.5
DF-18	G1/4"	17	26	DF-22	5/8"-18牙	19	15.6	47	7
DF-19	G3/8"	19	31	DF-23	3/4"-16牙	22	19	49	11
DF-20	G1/2"	25.4	34	DF-24	7/8"-14牙	28	28	63	12



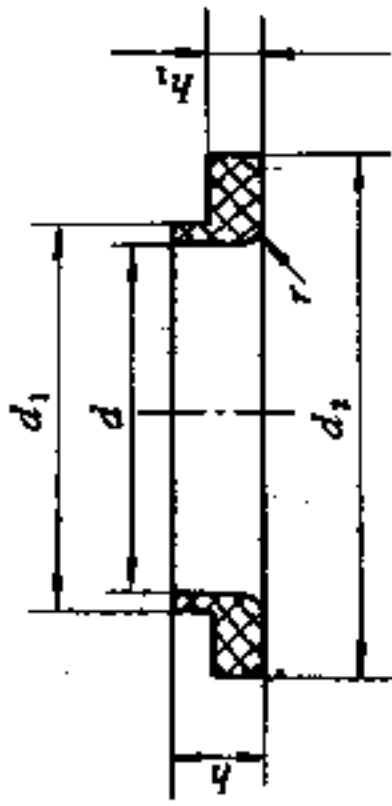
(d) LJ 单向快速接头螺母系列

螺纹规格	型 号		胶管尺寸	
	主体接头 S	插头 P	内径/mm	外径/mm
1/8	21-SA	21-PA	φ5	φ8
		22-SF	φ6	φ9
1/4	22-SB	22-PB	φ6.5	φ10
		23-SA	φ8	φ12
3/8	23-SB	23-PB	φ8.5	φ12.5



(e) 密封垫圈 (JB/ZQ4436—86)

(mm)



标记示例:

公称通径 DN 为 15mm 的快换接头用密封垫圈:

垫圈 15 JB/ZQ4436—86

公称通径 DN	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	h	h <sub>1</sub>	r	重量/kg
6	7	9	14	4	2	0.5	0.0003
8	11	14	20	5			0.0008
10	15	18	25	5	2	0.5	0.0011
15	19	22	28				0.0016
20	24	28	33	6	2	0.5	0.0019
25	28	32	39				0.0023
32	36	40	49	8	3	1	0.005
40	43	18	57				0.0067
50	50	55	65				0.0079

注:1. 本垫圈用于两端开闭式快换接头。

2. 材料尼龙 1010。

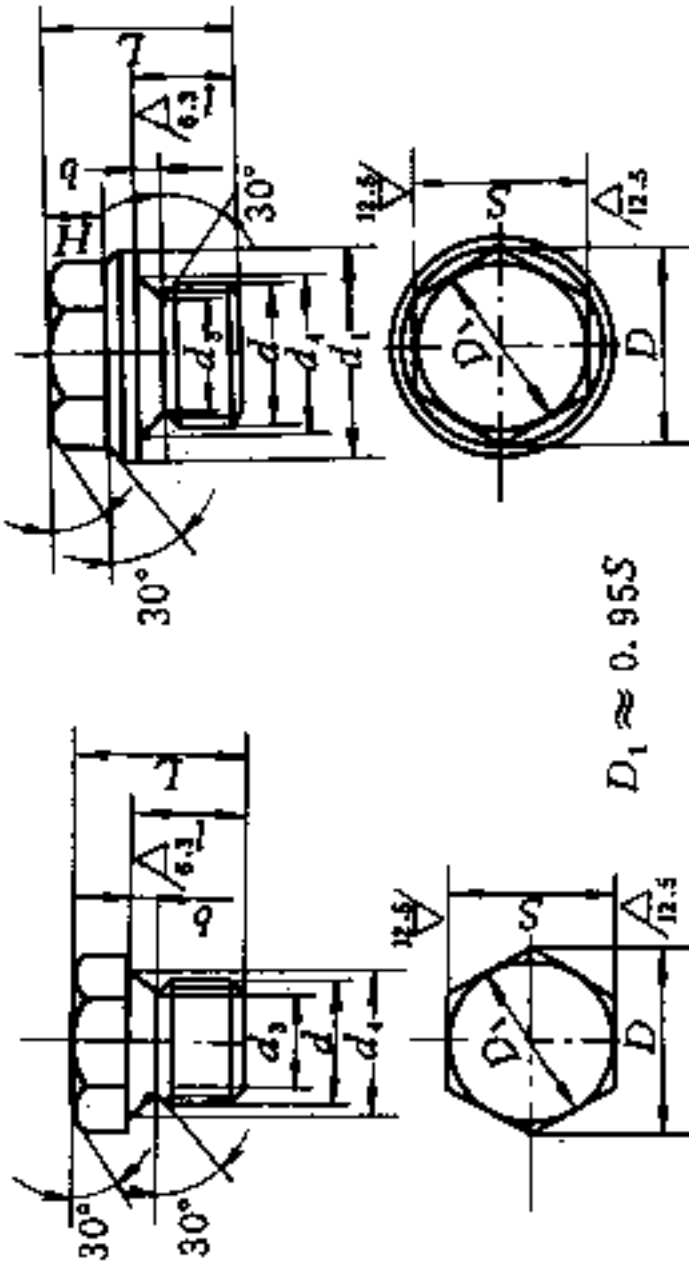
表 18.9.2 螺塞规格

表 18.9.2-1 外六角螺塞 (JB1000-77)

(mm)

其余  $\nabla_{2.5}$

M8 × 1 ~ M14 × 1.5      30° M16 × 1.5 ~ M60 × 2



标记示例:

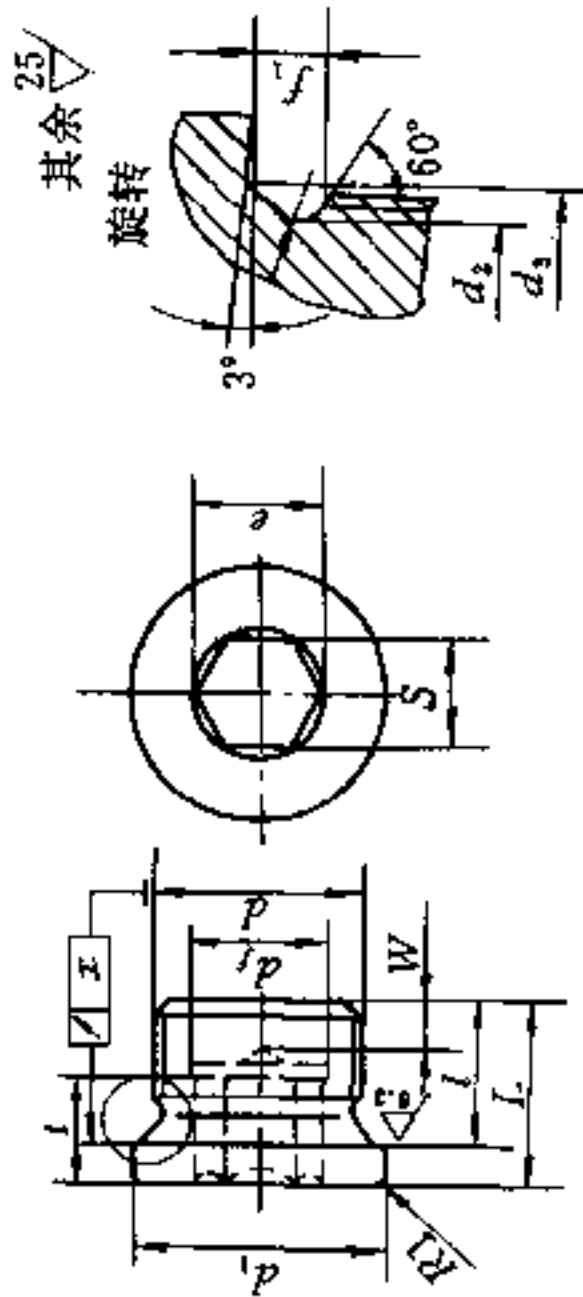
螺纹直径  $d = 18\text{mm}$ 、螺距  $P = 1.5\text{mm}$  的外六角螺塞: 螺塞 M18 × 1.5 JB1000-77

d	d <sub>1</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	b	H	l	L	r	D	S	
										基本尺寸	极限偏差
M8 × 1	—	6.4	8.3	2	—	8	13	1	16.2	16	0
M10 × 1	—	8.4	10.3	2	—	8	14	1	19.6	18	-0.24
M12 × 1.5	—	9.7	12.3	3	—	12	19	1.5	21.9	18	0
M14 × 1.5	—	11.7	14.3	3	—	12	22	1.5	21.9	18	-0.28
M16 × 1.5	22	13.7	16.3	3	7	14	25	1.5	21.9	18	0
M18 × 1.5	25	15.7	18.3	3	7	14	25	1.5	21.9	18	-0.28
M22 × 1.5	30	19.7	22.3	3.5	8	16	29	2	25.4	21	0
M27 × 2	35	24	27.3	3.5	8	16	29	2	25.4	21	0
M33 × 2	42	30	33.3	3.5	10	18	34	2	31.2	27	0
M42 × 2	53	39	42.3	3.5	14	20	41	2	41.6	36	0
M48 × 2	60	45	48.3	3.5	18	22	43	2	47.3	41	0
M60 × 2	74	57	60.3	3.5	18	26	51	2	57.7	50	-0.34

注: 材料 35

表 18.9.2-2 内六角螺栓 (JB/ZQ4444-86)

(mm)



标记示例:  
 $d = M20 \times 1.5$  的内六角螺栓; 螺塞 M20  $\times$  1.5  
 JB/ZQ4444-86  
 $d = G^3/8^{\circ}A$  的内六角螺栓; 螺塞  $G^3/8^{\circ}A$  JB/  
 ZQ4444-86

米制螺纹	管螺纹		$d_1$	$d_2$	$d_3$	$e$	$l$	$L$	$S$	$l$	$W$	$f_1$	$x$	重量 kg/ 1000 件 $\approx$
	米制螺纹	管螺纹												
M8 $\times$ 1	—	—	h14	0	0	$\geq$	$\pm 0.2$	$\approx$	D12	$\geq$	$\geq$	+0.3 0		6.4
M10 $\times$ 1	—	G1/3 $^{\circ}A$	14	8.3	10	5.7	8	11	5	5	3	2		6.34
M12 $\times$ 1.5	—	—	17	9.7	12.3	6.9	12	15	5.5	7	3	3		11.3
—	—	G1/4 $^{\circ}A$	18	11.2	13.4	6.9	12	15	5.5	7	3	3		14.6
M14 $\times$ 1.5	—	—	19	11.7	14.3	6.9	12	15	5.5	7	3	3	0.1	16.0
M16 $\times$ 1.5	—	—	21	13.7	16.3	9.2	12	15	8	7.5	3	3		19.0
—	—	G3/8 $^{\circ}A$	22	14.7	17	9.2	12	15	8	7.5	3	3		21.4
M18 $\times$ 1.5	—	—	23	15.7	18.3	9.2	12	16	8	7.5	3	3		28.3
M20 $\times$ 1.5	—	—	25	17.7	20.3	11.4	14	18	10	7.5	4	3		37.5
—	—	G1/2 $^{\circ}A$	26	18.4	21.3	11.4	14	18	10	7.5	4	4		40.8

(续)

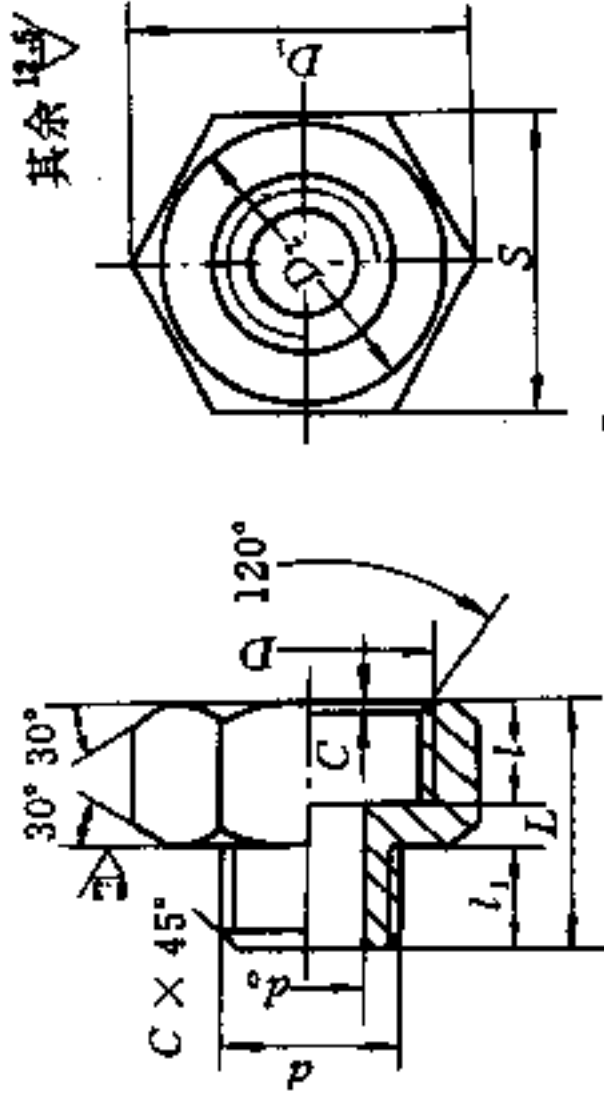
d		管螺纹	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	e	l	L	S	l	W	f <sub>1</sub>	x	重量 kg/ 1000件≈
M22×1.5	—	—	27	19.7	22.3	11.4	14	18	10	7.5	4	3	0.1	47.5
M24×1.5	—	—	29	21.7	24.3	13.7	14	18	11	7.5	4	3		53.5
M26×1.5	—	—	31	23.7	26.3	13.7	16	20	11	9	4	3		68.7
—	M27×2	G3/4"A	32	23.9	27	13.7	16	20	11	9	4	4		73.5
M30×1.5	M30×2	—	36	27.7	30.3	19.4	16	20	16	9	4	4		84.0
—	M33×2	G1"A	39	29.9	33.3	19.4	16	21	16	9	4	4		111
M36×1.5	M36×2	—	42	33	36.3	21.7	16	21	18	10.5	4	4		134
M38×1.5	—	G1/8"A	44	35	38.3	21.7	16	21	18	10.5	4	4		149
—	M39×2	—	46	36	39.3	21.7	16	21	18	10.5	4	4		163
M42×1.5	M42×2	G1 <sup>1</sup> /4"A	49	39	42.3	25.2	16	21	21	10.5	4	4	0.2	187
M45×1.5	M45×2	—	52	42	45.3	25.2	16	21	21	10.5	4	4		215
M48×1.5	M48×2	G1 <sup>1</sup> /2"A	55	45	48.1	27.4	16	21	24	10.5	4	4		246
M52×1.5	M52×2	—	60	49	52.3	27.4	16	21	24	10.5	4	4		302
—	—	G1 <sup>3</sup> /4A	62	50.4	54	36.6	20	25	32	14	4	5		320
—	M56×2	—	64	53	56.3	36.6	20	25	32	14	4	4		386
—	M60×2	G2"A	68	56.3	60.3	36.6	20	25	32	14	4	4		445
—	M64×2	—	72	61	64.3	36.6	20	25	32	14	4	4		530

注:1. d<sub>f</sub> 尺寸由制造厂确定。

2. 材料 35

表 18.9-3 过渡接头 (JB/ ZQ4437-86)

(mm)

 $D_2 \approx 0.95S$ 

标记示例:

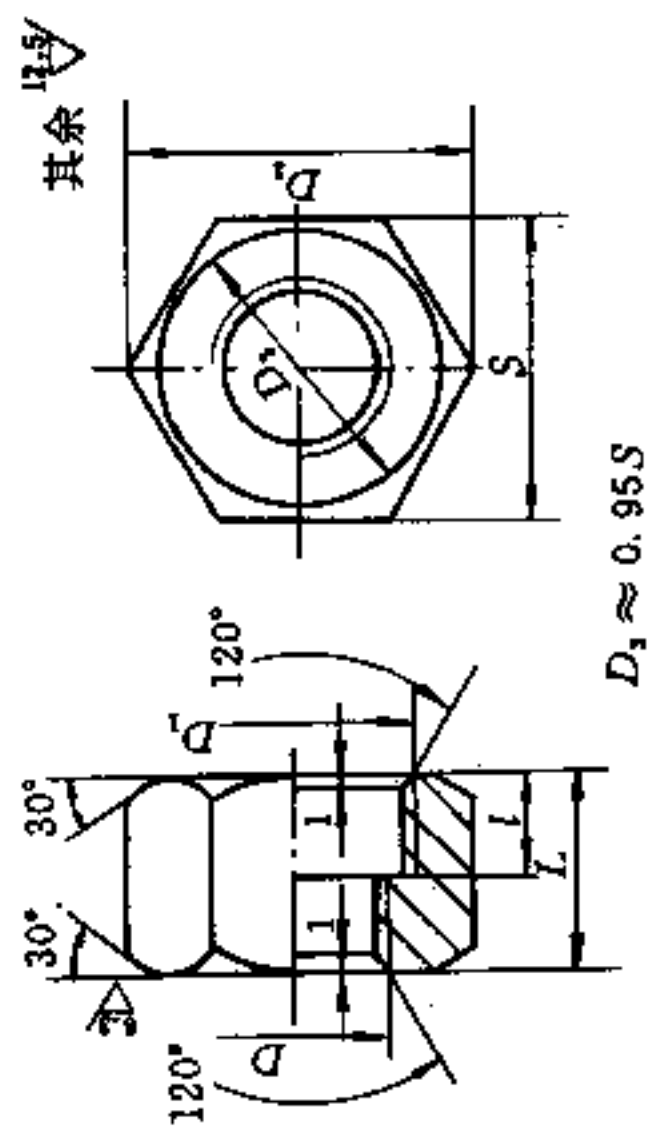
配公称通径 DN 为 15mm,  $d$  为 M22 ×  
1.5 的快换接头用的过渡接头: 接头 15 JB/  
ZQ4437-86

公称通径 DN	$d_{6h}$	$d_0$	$D(6h)$	$l$	$l_1$	L	C	S	$D_1$	重量/kg
6	M10 × 1	4	M16 × 1.5		8	27		21	25.4	0.063
8	M14 × 1.5	7	M22 × 1.5	13	12	32	1	30	34.6	0.1
10	M18 × 1.5	11	M27 × 1.5		14	38		36	41.6	0.136
15	M22 × 1.5	13	M30 × 1.5	16	14	38		41	47.3	0.183
20	M27 × 2	17	M36 × 2		16	40		46	53.1	0.245
25	M33 × 2	22	M42 × 2	20	16	44		50	57.7	0.298
32	M42 × 2	28	M52 × 2	22	18	48	1.5	60	69.3	0.476
40	M48 × 2	33	M60 × 2	26	20	54		70	80.8	0.7
50	M60 × 2	46	M68 × 2	30	24	62		80	92.4	0.98

注: 材料 35

表 18.9-4 联接螺母 (JB/ZQ4438-86)

(mm)



标记示例:

公称通径 DN 为 15mm, D 为 M22 × 1.5  
的联接螺母;

螺母 M22 × 1.5 JB/ZQ 4438—86

 $D_2 \approx 0.95S$ 

公称通径 DN	D(6H)	D <sub>1</sub> (6H)	l	L	S	D <sub>2</sub>	重量/kg
6	M10 × 1	M16 × 1.5	13	20	22	25.4	0.062
8	M14 × 1.5	M22 × 1.5		24	30	34.6	0.105
10	M18 × 1.5	M27 × 1.5		28	36	41.6	0.151
15	M22 × 1.5	M30 × 1.5	16	28	41	47.3	0.213
20	M27 × 2	M36 × 1.5		30	46	53.1	0.264
25	M33 × 2	M42 × 2	20	34	50	57.7	0.266
32	M42 × 2	M52 × 2	22	38	60	69.3	0.433
40	M48 × 2	M60 × 2	26	45	70	80.8	0.71
50	M60 × 2	M68 × 2	30	52	80	92.4	0.98

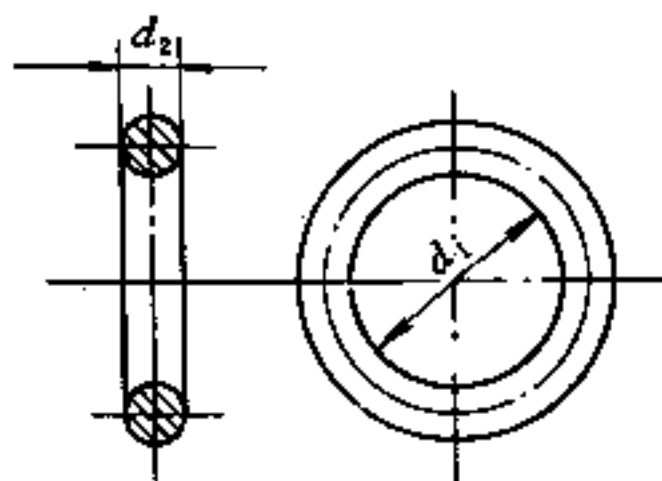
注:材料 35



表 18.9-5 液压气动用 O 形橡胶密封圈

表 18.9.5-1 O 形橡胶密封圈尺寸及公差(GB3452.1-82)

(mm)



标记示例:

O 形圈内径  $d_1 = 5.00\text{mm}$  截面直径  $d_2 = 1.80\text{mm}$

第一种方法: O 形密封圈 5×1.8 GB3452.1-82

第二种方法: 18000500 GB3452.1-82

代表  $d_1$   
代表  $d_2$

内 径		截面直径 $d_2$					内 径		截面直径 $d_2$					内 径		截面直径 $d_2$				
$d_1$	极限 偏差	1.8±0.08	2.65±0.09	3.55±0.1	5.3±0.13	7.0±0.15	$d_1$	极限 偏差	1.8±0.08	2.65±0.09	3.55±0.1	5.3±0.13	7.0±0.15	$d_1$	极限 偏差	1.8±0.08	2.65±0.09	3.55±0.1	5.3±0.13	7.0±0.15
1.8		*					11.2		*	*				41.2		*	*	*	*	
2		*					11.8		*	*				42.5		*	*	*	*	
2.24		*					12.5		*	*				43.7		*	*	*	*	
2.5		*					13.2		*	*				45		*	*	*	*	
2.8		*					14	±0.17	*	*				46.2	±0.30	*	*	*	*	
3.15		*					15		*	*				47.5		*	*	*	*	
3.55		*					16		*	*				48.7		*	*	*	*	
3.75		*					17		*	*				50		*	*	*	*	
4	±0.13	*					18		*	*	*			51.5		*	*	*	*	
4.5		*					19		*	*	*			53		*	*	*	*	
4.87		*					20		*	*	*			54.5		*	*	*	*	
5		*					21.2		*	*	*			56		*	*	*	*	
5.15		*					22.4		*	*	*			58		*	*	*	*	
5.3		*					23.6	±0.22	*	*	*			60		*	*	*	*	
5.6		*					25		*	*	*			61.5		*	*	*	*	
6		*					25.8		*	*	*			63		*	*	*	*	
6.3		*					26.5		*	*	*			65	±0.45	*	*	*	*	
6.7		*					28		*	*	*			67		*	*	*	*	
6.9		*					30		*	*	*			69		*	*	*	*	
7.1		*	*				31.5		*	*	*			71		*	*	*	*	
7.5		*	*				32.5		*	*	*			73		*	*	*	*	
8	±0.14	*	*				33.5		*	*	*			75		*	*	*	*	
8.5		*	*				34.5		*	*	*			77.5		*	*	*	*	
8.75		*	*				35.5	±0.30	*	*	*			80		*	*	*	*	
9		*	*				36.5		*	*	*			82.5		*	*	*	*	
9.5		*	*				37.5		*	*	*			85		*	*	*	*	
10		*	*				38.7		*	*	*			87.5	±0.65	*	*	*	*	
10.6	±0.17	*	*				40		*	*	*	*		90		*	*	*	*	

(续)

内 径		截面直径 $d_2$					内 径		截面直径 $d_2$					内 径		截面直径 $d_2$							
$d_1$	极限偏差	1.8±0.08	2.65±0.09	3.55±0.1	5.3±0.13	7.0±0.15	$d_1$	极限偏差	1.8±0.08	2.65±0.09	3.55±0.1	5.3±0.13	7.0±0.15	$d_1$	极限偏差	1.8±0.08	2.65±0.09	3.55±0.1	7.0±0.15	5.3±0.13			
92.5	±0.65	*	*	*	*	*	185	±1.2			*	*	*	365	±2.1					*	*		
95		*	*	*	*	*	190		*	*	*	*	*	375		*					*	*	*
97.5		*	*	*	*	*	195		*	*	*	*	*	387		*					*	*	*
100		*	*	*	*	*	200		*	*	*	*	*	400		*					*	*	*
103		*	*	*	*	*	206		*	*	*	*	*	412		*					*	*	*
106		*	*	*	*	*	212		*	*	*	*	*	425		*					*	*	*
109		*	*	*	*	*	218		*	*	*	*	*	437		*					*	*	*
112		*	*	*	*	*	224		*	*	*	*	*	450		*					*	*	*
115		*	*	*	*	*	230		*	*	*	*	*	462		*					*	*	*
118		*	*	*	*	*	236		*	*	*	*	*	475		*					*	*	*
122		±0.9	*	*	*	*	*		243	±1.6			*	*		*	487	±3.2					*
125	*		*	*	*	*	250	*	*		*	*	500	*						*	*	*	
128	*		*	*	*	*	258	*	*		*	*	515	*						*	*	*	
132	*		*	*	*	*	265	*	*		*	*	530	*						*	*	*	
136	*		*	*	*	*	272	*	*		*	*	545	*						*	*	*	
140	*		*	*	*	*	280	*	*		*	*	560	*						*	*	*	
145	*		*	*	*	*	290	*	*		*	*	580	*						*	*	*	
150	*		*	*	*	*	300	*	*		*	*	600	*						*	*	*	
155	*		*	*	*	*	307	*	*		*	*	615	*						*	*	*	
160	*		*	*	*	*	315	*	*		*	*	630	*						*	*	*	
165	*		*	*	*	*	325	*	*		*	*	650	*						*	*	*	
170	*	*	*	*	*	335	±2.1	*	*	*	*	670	±3.8					*	*	*			
175	*	*	*	*	*	345		*	*	*	*							*	*	*			
180	*	*	*	*	*	355		*	*	*	*							*	*	*			

注:表中标有“\*”者系指 GB3452.1—82 标准规定的规格。

表 18.9.5-2 轴向密封沟槽尺寸(GB3452.3—88)

(mm)

密封圈尺寸		沟 槽 尺 寸					
内 径 $d_1$	截面直径 $d_2$	$d_7(H11)$	$d_8(H11)$ * $d_8 = d_1$	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	$r_1$	$r_2$
见表 4.6-1	1.8	$d_1 + 3.6$		2.6	1.28	0.2~0.4	0.1~0.3
	2.65	$d_1 + 5.3$		3.8	1.97	0.2~0.4	0.1~0.3
	3.55	$d_1 + 7.1$		5.0	2.75	0.4~0.8	0.1~0.3
	5.3	$d_1 + 10.6$		7.3	4.24	0.4~0.8	0.1~0.3
	7.0	$d_1 + 14$		9.7	5.72	0.8~1.2	0.1~0.3

注:沟槽尺寸是以硬度为 70IRHD(为国际橡胶硬度标度)的合成橡胶材料做的密封圈为基础制定的,工作温度随胶料而定。

## 18.10 注射模模架标准

注射模模架共有两个国家标准,即 GB/T12556-90《塑料注射模中小型模架及技术条件》和 GB/T12555-90《塑料注射模大型模架》。两个标准的主要区别在于适用范围,前者的模板尺寸  $B \times L \leq 560\text{mm} \times 900\text{mm}$ ,而后者的模板尺寸  $B \times L$  为  $630\text{mm} \times 630\text{mm} \sim 1250\text{mm} \times 2000\text{mm}$ 。

### 18.10.1 中小型模架标准

#### 一、中小型模架结构形式

可按以下特征进行分类

(1)按结构特征可分为基本型和派生型。基本型有4种,即A1、A2、A3、A4,如图18.10-1所示。派生型有9种,即P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7、P8、P9,如图18.10-2所示。

(2)以导柱和导套安装方式为特征可分为正装(代号为Z)型和反装(代号为F)型,脚码1、2、3为分别采用带头导柱、有肩导柱和有肩定位导柱的种别,如图18.10-3所示。

基本型和派生型模架特点及用途,见表18.10-1。

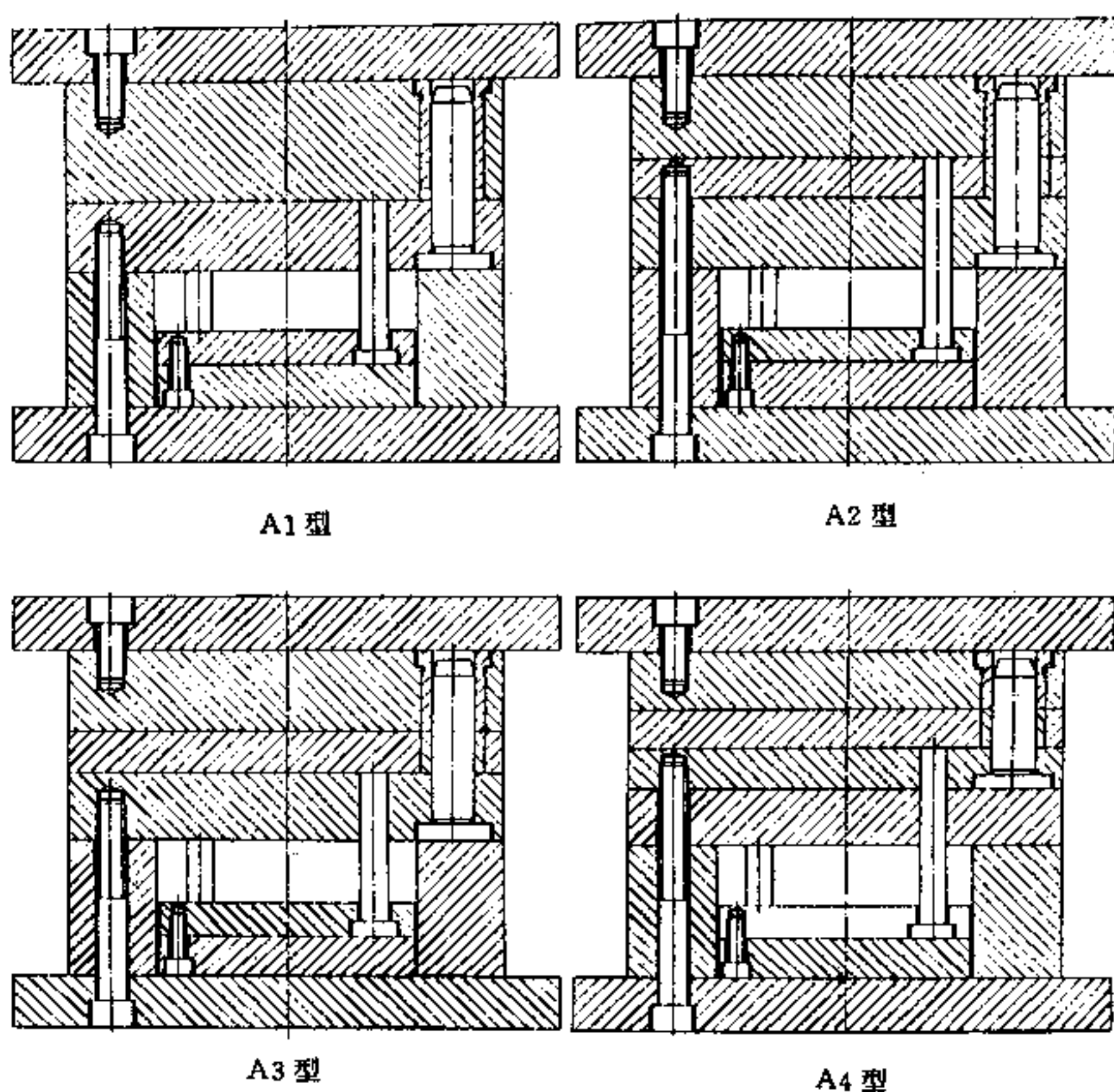


图 18.10-1 基本型模架结构

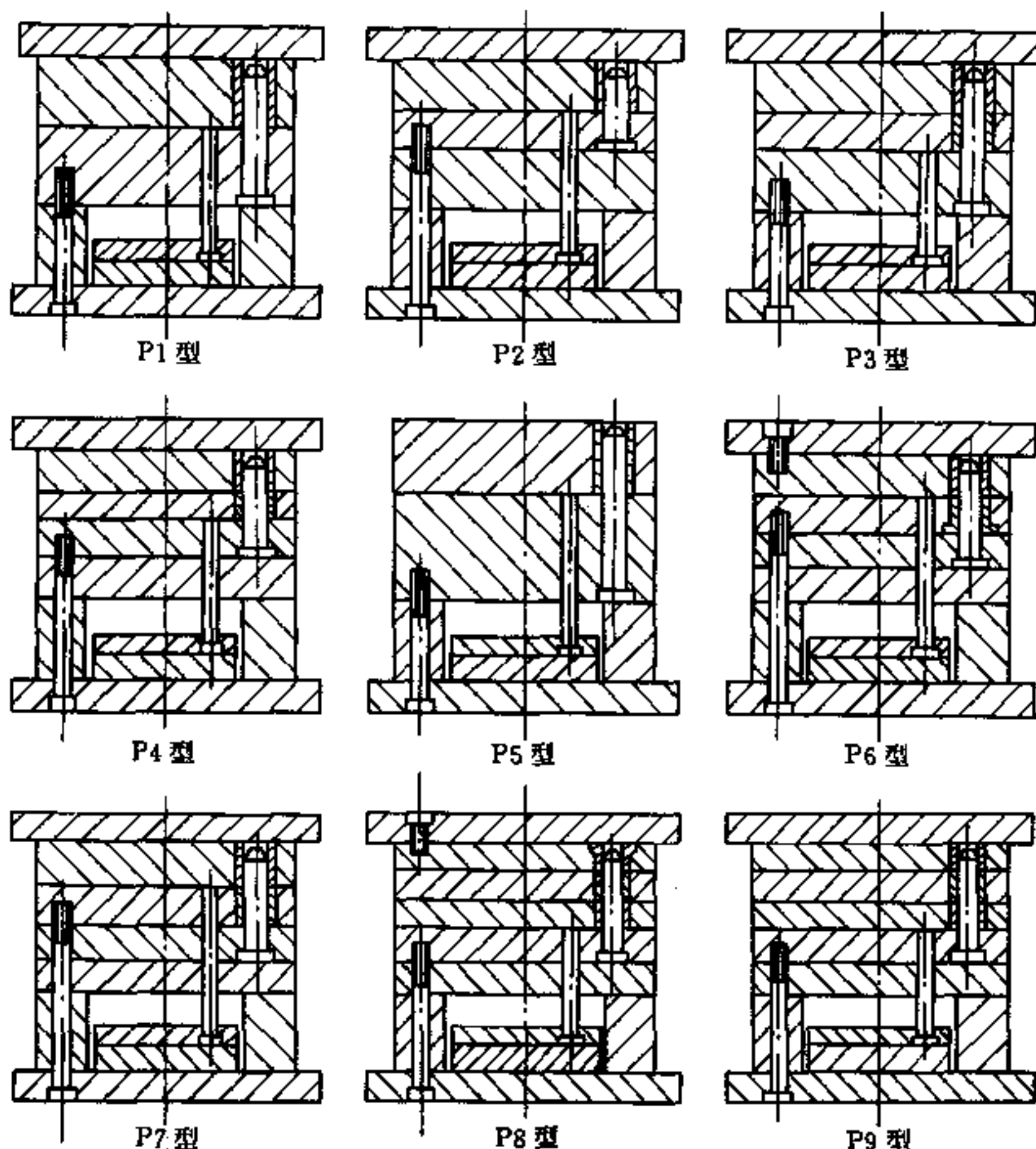


图 18.10-2 派生型模架结构

表 18.10-1 基本型和派生型模架特点及用途

类 型		模架特点及用途
基 本 型	A1 型	定模采用两块模板,动模采用一块模板,设置推杆推出机构,适用于单分型面注射模
	A2 型	定、动模均采用两块模板,设置推杆推出机构。适用于具有侧向分型抽芯注射模
	A3 型	定模采用两块模板,动模采用一块模板,设置推件板推出机构,适用于成型薄壁壳体塑件注射模
	A4 型	定、动模均采用两块板,设置推件板推出机构,适用范围同 A3 型
派 生 型	P1~P4 型	由 A1~A4 对应派生而成。经去掉 A1~A4 型定模座板上固定螺钉,致使增加一个分型面,构成三板式、点浇口注射模结构,其它特点和用途同 A1~A4 型模架
	P5 型	动、定模均为一块模板构成,主要适用于直浇口、简单整体型腔结构注射模
	P6~P9 型	P7 对应于 P6, P9 对应于 P8, 去掉了定模座板上的固定螺钉,多用于具有复杂结构的注射模

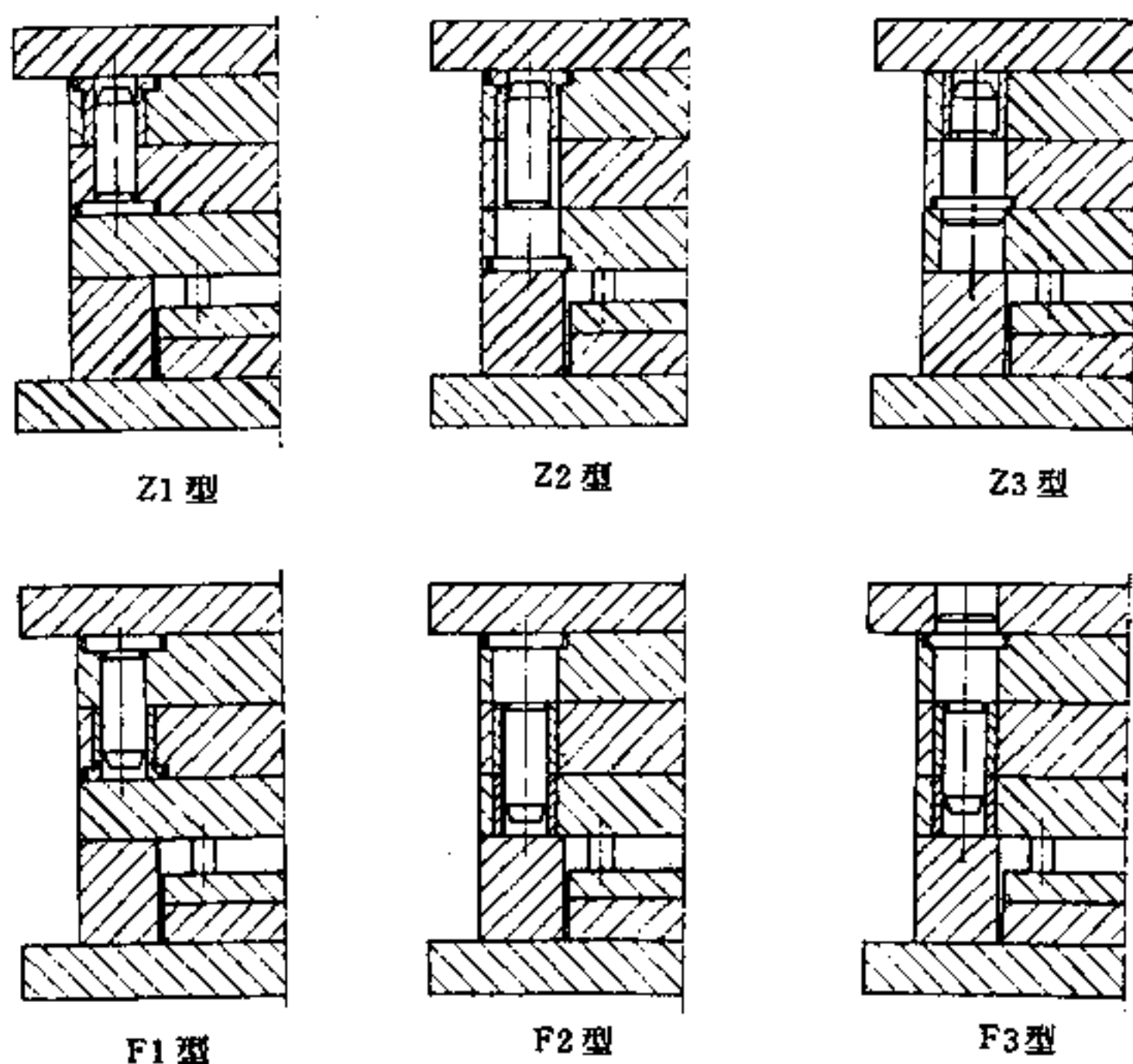


图 18.10-3 导柱正装与反装模架结构

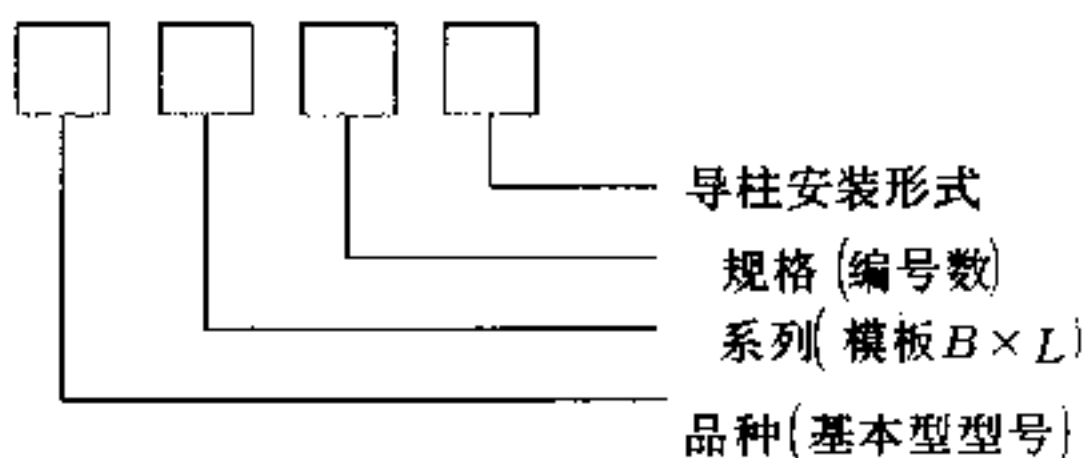
## 二、中小型模架尺寸组合系列

基本型模架系列由模板  $B \times L$  决定, 动模板厚度需由设计者从标准中选定外, 模架其它尺寸在标准中已有规定。如表 18.10-2 所示为  $355 \times L(1)$  系列的模架标准, 由此不难看出它们间的尺寸组合关系。该系列模架标准中规定有 64 种规格, 以编号 01~64 表示, 由 A、B 板各有 8 种厚度经排列组合而成。其特点是 A、B 板的 8 种厚度均为: 25mm、32mm、40mm、50mm、63mm、80mm、100mm 和 125mm。于是可查得编号 01 的 A、B 板厚度均为 25mm, 而编号 57 的 A、B 板厚度各为 125mm 和 25mm。

中小型模架系列  $B \times L$ , 在本标准中共规定有 16 种, 它们的 A、B、C 和导柱尺寸的组合, 如表 18.10-3 所示, 它包含了国家标准 GB/T12556-90 中所有尺寸关系。

## 三、中小型模架标记方法

规定标记方法如下



[例] A3-355450-16-F1 GB/T12556-90

模架类型 A3 型, 模板  $B \times L$  为  $355 \times 450$ , 规格编号 16, 即模板 A 厚度为 32mm, 模板 B 厚度为 125mm, 导柱反装为 F1。

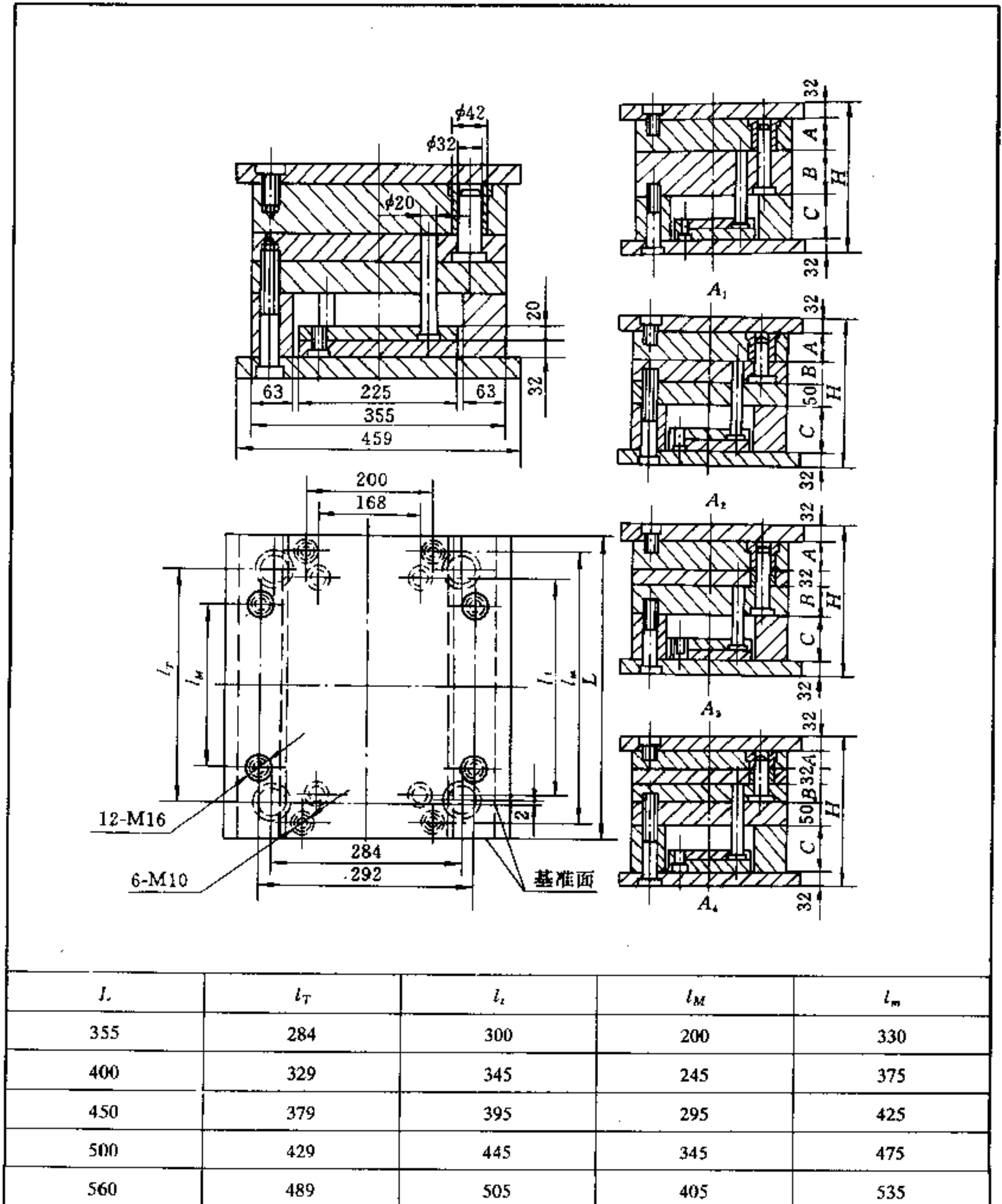
## 18.10.2 大型模架标准

### 一、大型模架结构形式

按结构特征可分为基本型和派生型,基本型模架有A型和B型两种,如图18.10-4所示。派生型模架有P1、P2、P3和P4四种结构,如图18.10-5所示。大型模架类型与结构特点见表18.10-4。

表 18.10-2 355×L(1)模架标准

(mm)





(续)

编号	模板		垫块	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	编号	模板		垫块	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>																							
	A	B							C	A						B	C	H																				
01	25	25	80	64 + A + B + C	114 + A + B + C	96 + A + B + C	146 + A + B + C	33	25	100	64 + A + B + C	114 + A + B + C	96 + A + B + C	146 + A + B + C																								
02		32						34	32																													
03		40						35	40																													
04		50						36	50																													
05		63						37	63																													
06		80						38	80																													
07		100						39	100																													
08		125						40	125																													
09	32	25	80					64 + A + B + C	114 + A + B + C	96 + A + B + C					146 + A + B + C	41	25	100	64 + A + B + C	114 + A + B + C	96 + A + B + C	146 + A + B + C																
10		32														42	32																					
11		40														43	40																					
12		50														44	50																					
13		63														45	63																					
14		80														46	80																					
15		100														47	100																					
16		125														48	125																					
17	40	25	80													64 + A + B + C	114 + A + B + C	96 + A + B + C					146 + A + B + C	49	25	100	64 + A + B + C	114 + A + B + C	96 + A + B + C	146 + A + B + C								
18		32																						50	32													
19		40																						51	40													
20		50																						52	50													
21		63																						53	63													
22		80																						54	80													
23		100																						55	100													
24		125																						56	125													
25	50	25	100																					64 + A + B + C	114 + A + B + C	96 + A + B + C					146 + A + B + C	57	25	100	64 + A + B + C	114 + A + B + C	96 + A + B + C	146 + A + B + C
26		32																														58	32					
27		40																														59	40					
28		50																														60	50					
29		63																														61	63					
30		80																														62	80					
31		100																														63	100					
32		125																														64	125					

注: L = 355 时, 螺钉 M<sub>16</sub> 用 8 只, M<sub>10</sub> 用 4 只。

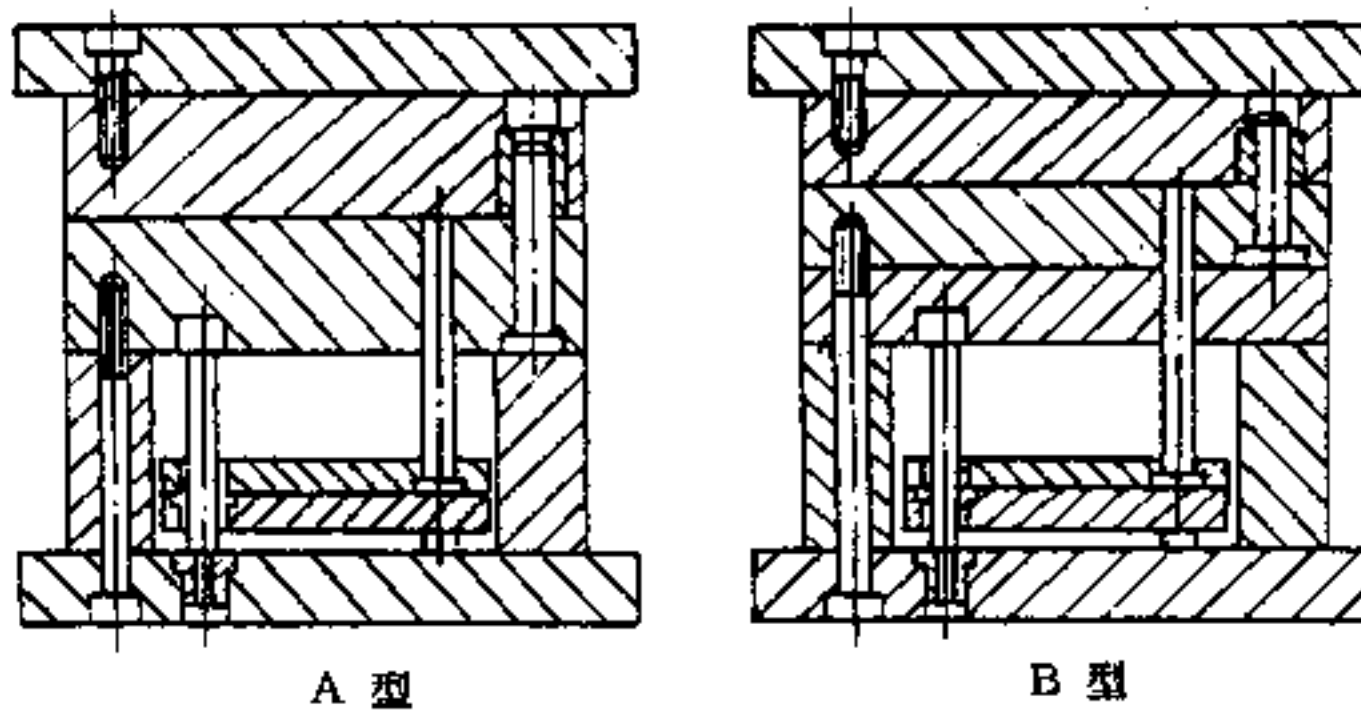


图 18.10-4 大型模架基本结构



表 18.10-3 注射模中小型模架标准的尺寸组合(GB/T12556-90)

序号	系列 B×L	L/mm	编号数	导柱 φ /mm	模板 A、B 尺寸/mm	垫块高度 C /mm
1	100×L	100, 125, 160	01-64	12	12.5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	40, 50, 63
2	125×L	125, 160, 200	01-64	12	12.5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	40, 50, 63
3	160×L	160, 200, 250, 315	01-64	16	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80	50, 63, 80
4	180×L	200, 250, 315	01-49	16	20, 25, 32, 40, 50, 63, 80	50, 63, 80
5	200×L	200, 250, 315, 355, 400	01-49	20	20, 25, 32, 40, 50, 63, 80	50, 63, 80
6	250×L(1)	250, 315, 355, 400	01-64	25	20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	50, 63, 80
7	250×L(2)	450, 500, 560	01-49	25	25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	63, 80
8	315×L(1)	315, 355, 400, 450, 500	01-49	32	25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	63, 80, 100
9	315×L(2)	560, 630	01-36	32	32, 40, 50, 63, 80, 100	80, 100
10	355×L(1)	355, 400, 450, 500, 560	01-64	32	25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	80, 100, 125
11	355×L(2)	630, 710	01-49	32	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	80, 100, 125
12	400×L(1)	400, 450, 500, 560	01-64	32	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	80, 100, 125
13	400×L(2)	630, 710	01-49	32	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	80, 100, 125
14	450×L(1)	450, 500, 560	01-64	40	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	80, 100, 125
15	450×L(2)	630, 710, 800	01-49	40	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	100, 125, 160
16	500×L(1)	500, 560, 630	01-64	40	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	100, 125, 160
17	500×L(2)	710, 800	01-49	40	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	100, 125, 160
18	560×L	560, 630, 710, 800, 900	01-64	40	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200	100, 125, 160, 200

## 二、大型模架尺寸组合

其组合原则与中小型模架相同,如表 18.10-5 为 1000×L 系列模架标准,表 18.10-6 为 GB/T12555-90《塑料注射模大型模架》的全部尺寸组合系列。

## 三、大型模架标记方法

与中小型模架标记方法基本相同,只是模板尺寸 B×L 的单位为 cm 罢了,且无导柱安装方式的表示。

【例】A-80125-25 GB/T12555-90

模架类型 A 型,模板尺寸 B×L 为 800mm×1250mm,规格编号 26,即模板 A 厚度为 160mm,而模板 B 厚度为 100mm。

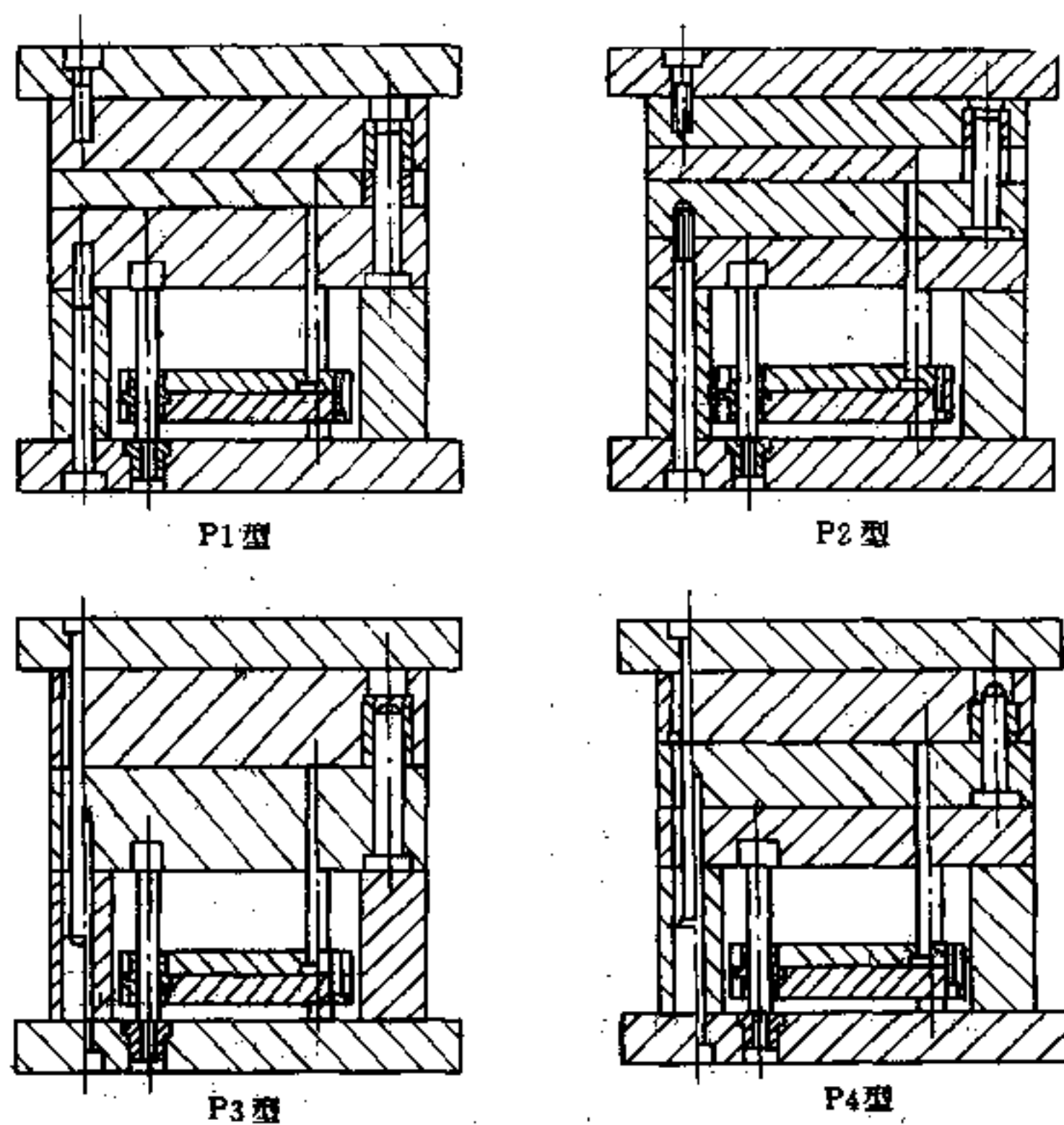


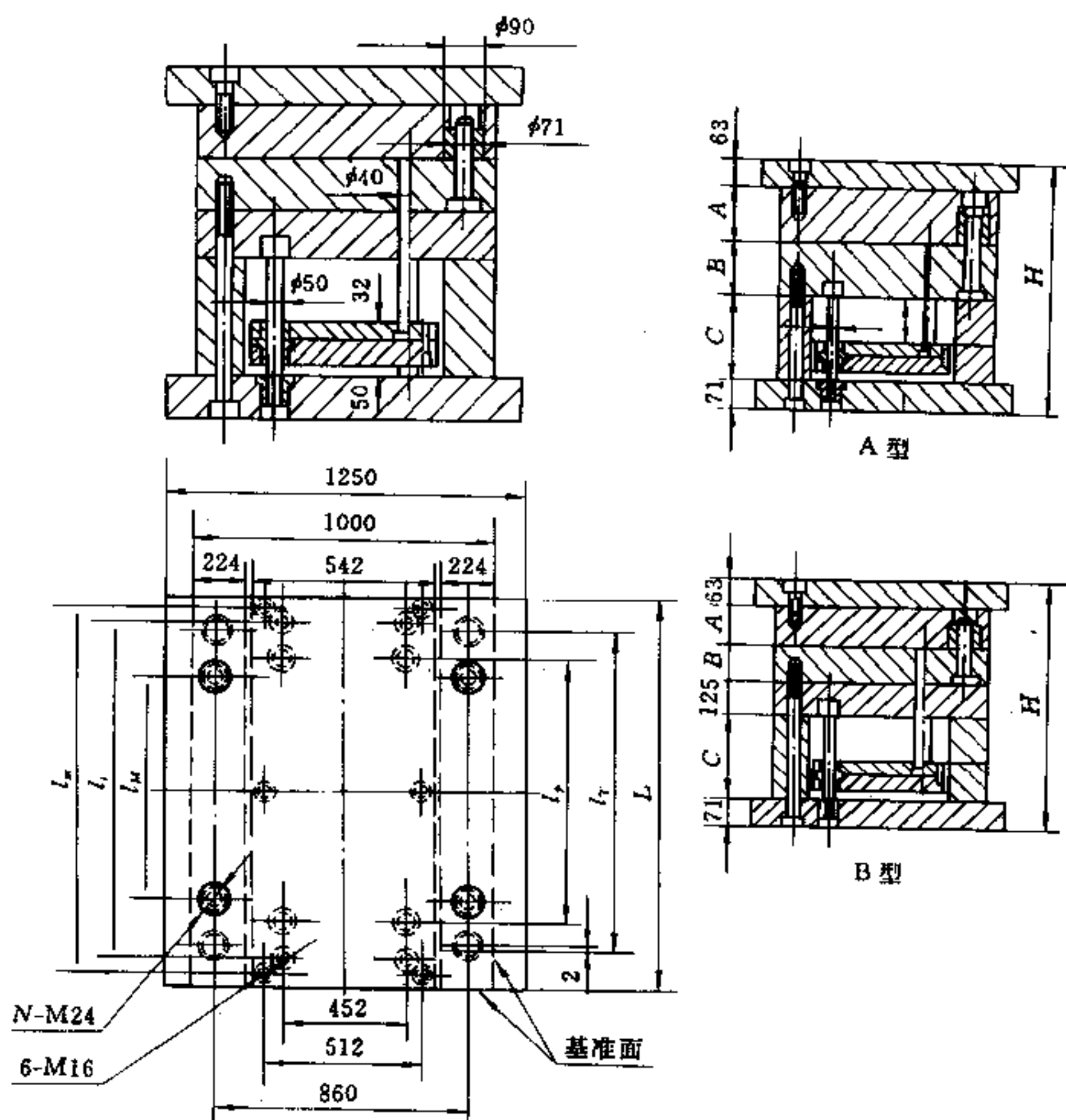
图 18.10-5 大型模架派生结构

表 18.10-4 大型模架类型与结构特点

类型		结构特点及用途
基本型	A型	由定模两块板、动模一块板构成
	B型	定、动模各由两块板构成
派生型	P1型	定、动模各由两块板构成,采用推件板推出机构
	P2型	定模两块板,动模3块板,采用推件板推出机构
	P3型	定模两块板,动模1块板,采用点浇口充模
	P4型	适用于定、动模各为两块板的点浇口结构

表 18.10-5 1000×L 模架标准

(mm)



$L$	$l_T$	$l_t$	$l_M$	$l_m$	$l_p$	$N$
1000	860	910	710	970	760	10
1250	1110	1160	960	1220	1010	12
1600	1460	1510	1310	1570	1360	12

编号	模板		垫块 C	A型	B型	编号	模板		垫块 C	A型	B型												
	A	B					A	B				H		H									
01	100	100	160	$134 + A + B + C$	$258 + A + B + C$	33	224	100	250	$134 + A + B + C$	$259 + A + B + C$												
02		125				34		125															
03		140	35			140																	
04		180	36			180																	
05		224	37			224																	
06		250	38			250																	
07		315	39			315																	
08		355	40			355																	
09	125	100	160			$134 + A + B + C$	$258 + A + B + C$	41	250			100	250	$134 + A + B + C$	$259 + A + B + C$								
10		125						42				125											
11		140	43					140															
12		180	44					180															
13		224	45					224															
14		250	46					250															
15		315	47					315															
16		355	48					355															
17	160	100	200					$134 + A + B + C$	$258 + A + B + C$			49	315			100	250	$134 + A + B + C$	$259 + A + B + C$				
18		125										50				120							
19		140	51									140											
20		180	52									180											
21		224	53									224											
22		250	54									250											
23		315	55									315											
24		355	56									355											
25	180	100	200									$134 + A + B + C$	$258 + A + B + C$			57	355			100	250	$134 + A + B + C$	$259 + A + B + C$
26		125														58				125			
27		140	59													140							
28		180	60													180							
29		224	61													224							
30		250	62													250							
31		315	63													315							
32		355	64													355							

表 18.10-6 注射模大型模架标准的尺寸组合(GB/T12555-90)

序号	系列 B×L	L/mm	编号数	导柱 φ /mm	模板 A、B 尺寸/mm	垫块高度 C/mm
1	630×L	630, 710, 800, 900, 1000	01~64	50	63, 80, 100, 125, 140, 160, 200, 250	125, 160, 200, 250
2	710×L	710, 800, 900, 1000, 1250	01~64	63	63, 80, 100, 125, 140, 160, 200, 250	125, 160, 200, 250
3	800×L	800, 900, 1000, 1250	01~64	63	80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355	160, 200, 250, 315
4	900×L	900, 1000, 1250, 1600	01~64	71	80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355	160, 200, 250, 315
5	1000×L	1000, 1250, 1600	01~64	71	100, 125, 140, 180, 224, 250, 315, 355	160, 200, 250, 315
6	1250×L	1250, 1600, 2000	01~64	80	100, 125, 140, 180, 224, 250, 315, 355	160, 200, 250, 315

## 18.11 液压机性能及规格

液压机技术规范见表 18.11-1, 常用液压机工作台规格见图 18.11-1~图 18.11-14。

表 18.11-1 液压机技术规范

常用液 压机 型号	特征	液压部分			活动横梁部分		顶出部分			附注
		公称 压力 /kN	回程 压力 /kN	工作液 最大压 力 /(N·cm <sup>-2</sup> )	动梁至 工作台 最大距 离(L) /mm	动梁最 大行程 (L <sub>1</sub> ) /mm	顶出杆 最大顶 出力 /kN	顶出杆 最大回 程力 /kN	顶出杆 最大行 程(L <sub>2</sub> ) /mm	
45-58	上压式、 框架结 构、下顶 出	450	68	3200	650	250	—	—	150	—
YA71-45	上压式、 框架结 构、下顶 出	450	60	3200	750	250	120	35	175	—
SY71-45	上压式、 框架结 构、下顶 出	450	60	3200	750	250	120	35	175	—
YX(D)-45	上压式、 框架结 构、下顶 出	450	70	3200	—	250	—	—	150	—
Y32-50	上压式、 框架结 构、下顶 出	500	105	2000	600	400	75	37.5	150	—
YB32-63	上压式、 框架结 构、下顶 出	630	133	2500	600	400	95	47	150	—
BY32-63	上压式、 框架结 构、下顶 出	630	190	2500	600	400	180	100	130	—
Y71-63	—	630	300	3200	—	300	3 (手动)	—	130	—
Y71-100	—	630	300	3200	600	300	3 (手动)	—	130	—

(续)

常用液 压机 型号	特征	液压部分			活动横梁部分		顶出部分			附注
		公称 压力 /kN	回程 压力 /kN	工作液 最大压 力 /(N·cm <sup>-2</sup> )	动梁至 工作台 最大距 离(L) /mm	动梁最 大行程 (L <sub>1</sub> ) /mm	顶出杆 最大顶 出力 /kN	顶出杆 最大回 程力 /kN	顶出杆 最大行 程(L <sub>2</sub> ) /mm	
YX-100	上压式、 框架结 构、下 顶出	1000	500	3200	650	380	200	—	165(自动) 280(手动)	—
Y71-100	上压式、 框架结 构、下 顶出	1000	200	3200	650	380	200	—	165(自动) 280(手动)	动梁没 有四孔
Y32-100	上压式、 柱式结 构、下 顶出	1000	230	2000	900	600	150	80	180	—
Y32-100A	—	1000	160	2100	850	600	165	70	210	—
ICH-100	上压式、 框架结 构、下 顶出	1000	500	3200	650	380	200	—	165(自动) 280(手动)	动梁没 有四孔
Y32-200	上压式、 柱式结 构、下 顶出	2000	620	2000	1100	700	300	82	250	—
YB32-200	上压式、 框架结 构、下 顶出	2000	620	2000	1100	700	300	150	250	—
YB71-250	上压式、 框架结 构、下 顶出	2500	1250	3000	1200	600	340	—	300	—
ICH-250	上压式、 框架结 构、下 顶出	2500	1250	3000	1200	600	630	—	300	工作 台有 三个 顶出 杆, 动梁 上有 两孔

(续)

常用液 压机 型号	特征	液压部分			活动横梁部分		顶出部分			附注
		公称 压力 /kN	回程 压力 /kN	工作液 最大压 力 /(N·cm <sup>-2</sup> )	动梁至 工作台 最大距 离(L) /mm	动梁最 大行程 (L <sub>1</sub> ) /mm	顶出杆 最大顶 出力 /kN	顶出杆 最大回 程力 /kN	顶出杆 最大行 程(L <sub>2</sub> ) /mm	
SY-250	上压式、 框架结 构、下 顶出	2500	1250	3000	1200	600	340	—	300	工作台 有三个 顶出杆, 动梁上 有两孔
Y32-300 YB32-300	上压式、 框架结 构,下 顶出	3000	400	2000	1240	800	300	82	250	—
Y33-300	—	3000	—	2400	1000	600	—	—	—	—

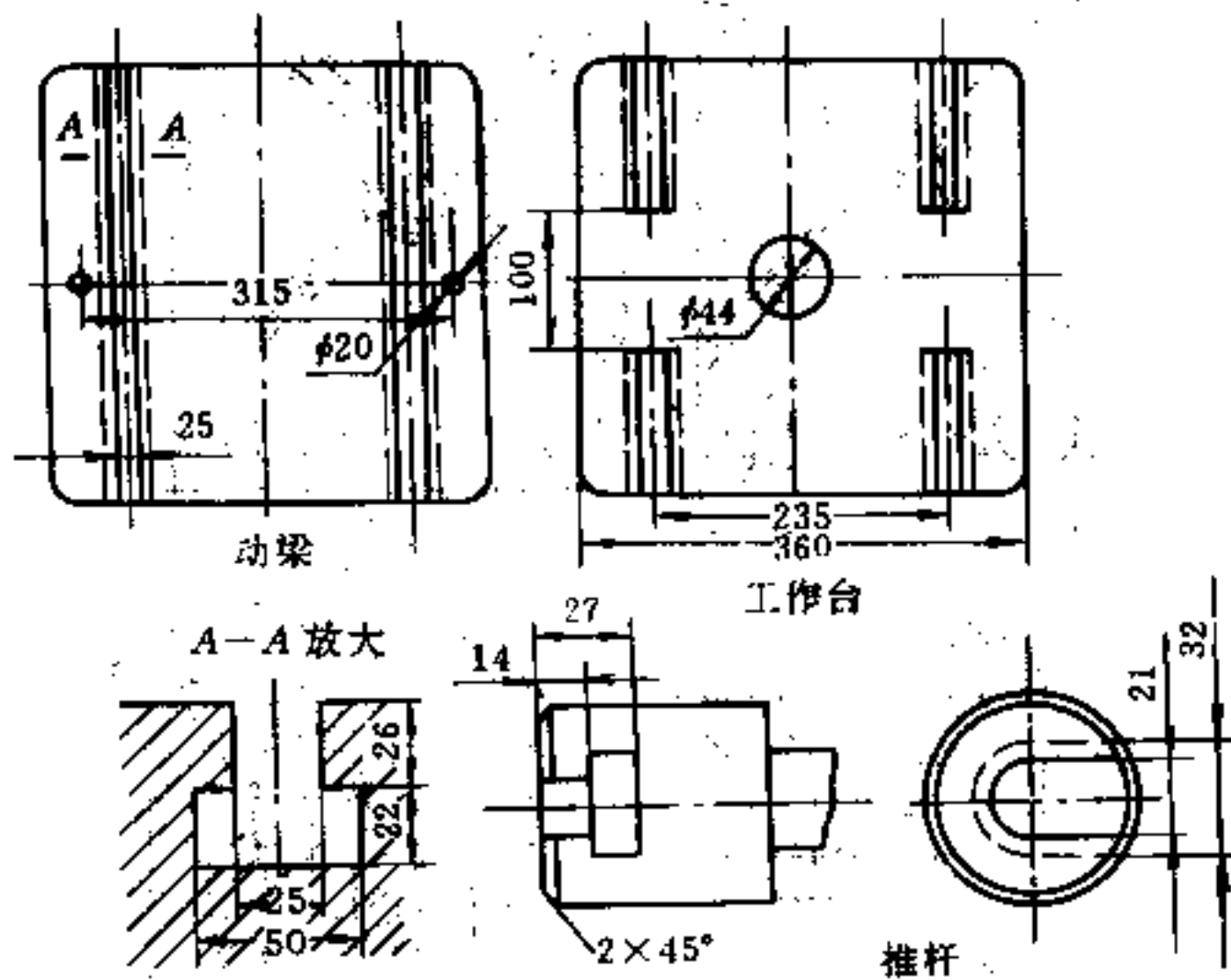


图 18.11-1 YX(D)-45(45-58)型液压机工作台



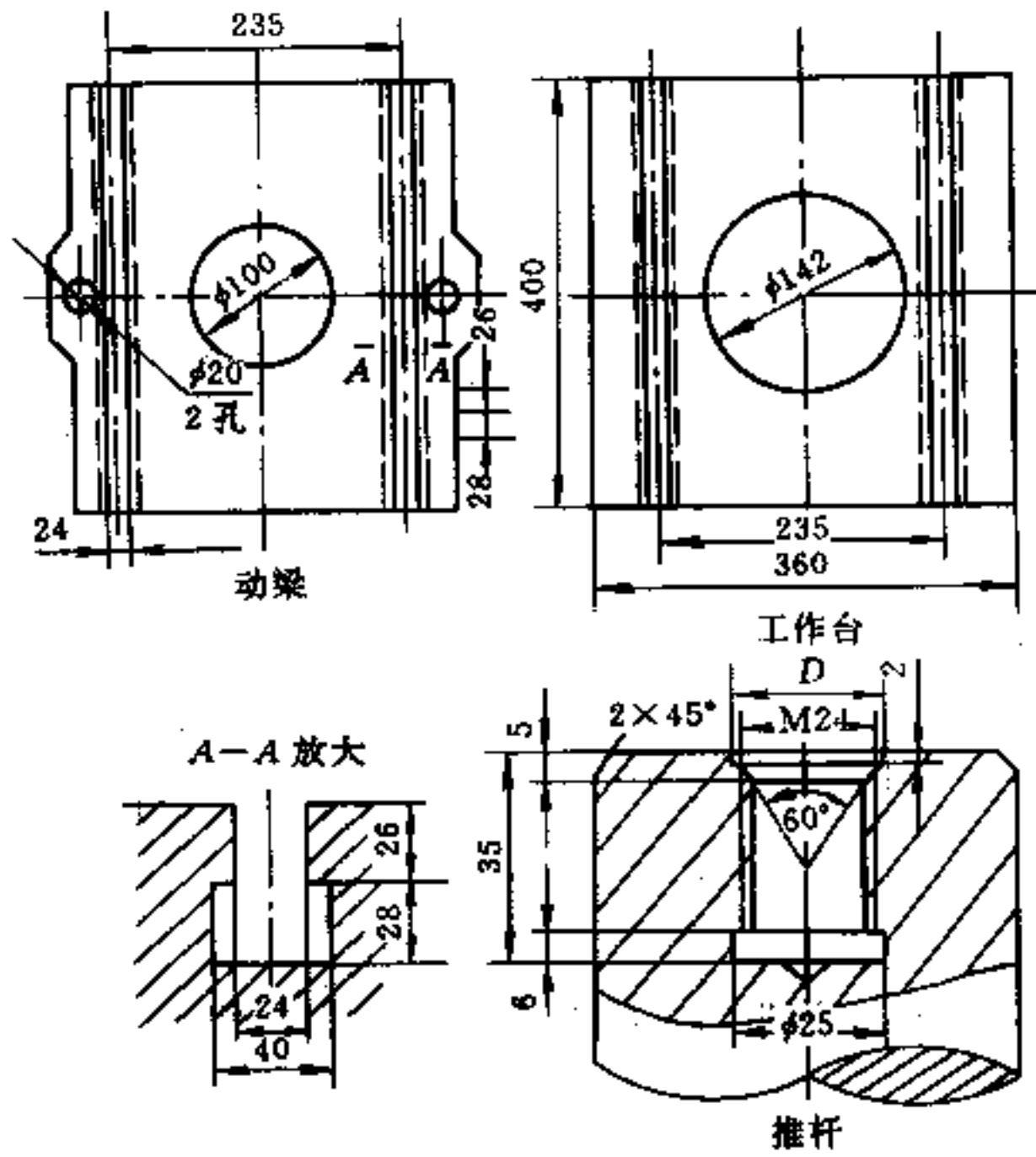


图 18.11-2 SY71-45 型液压机工作台

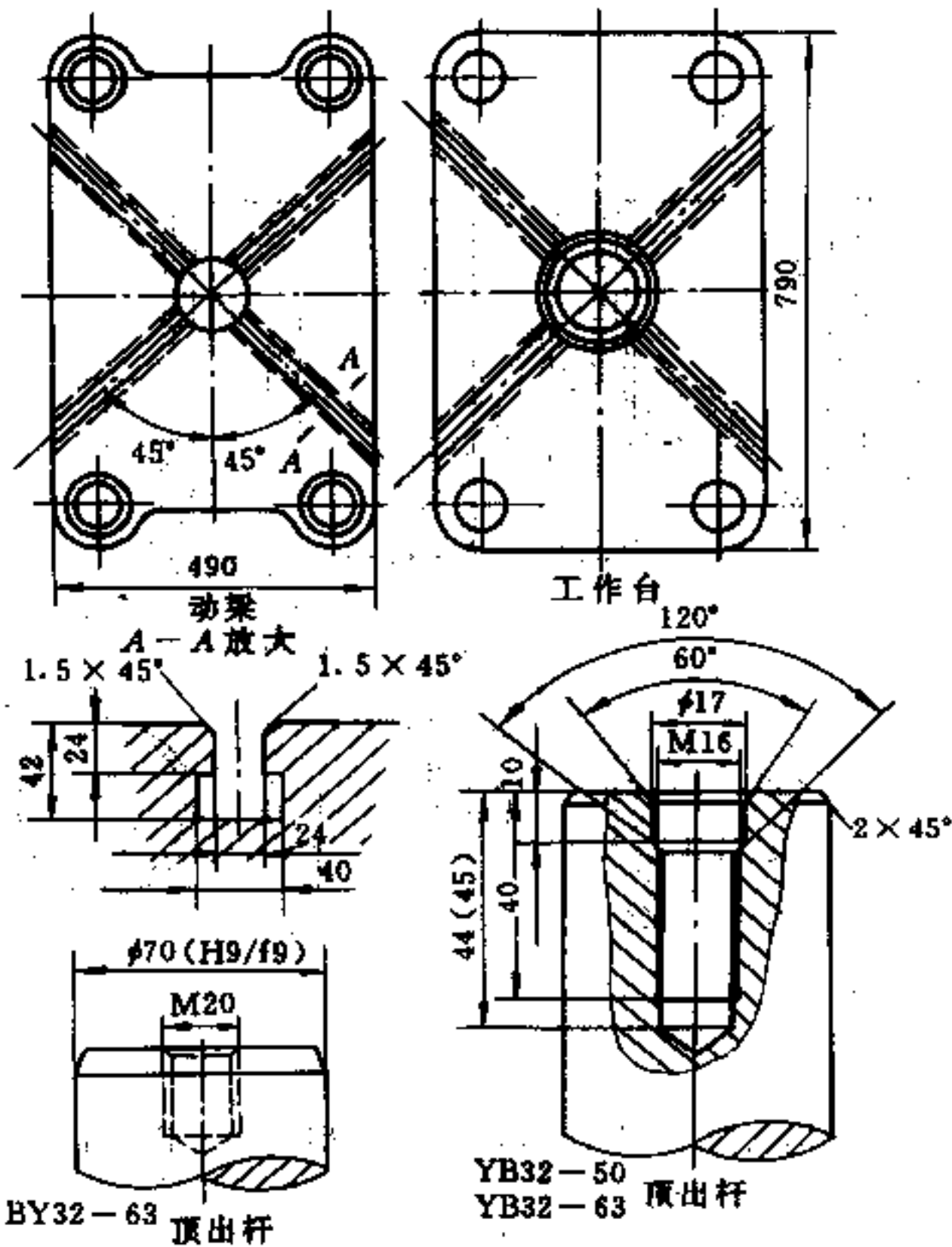


图 18.11-3 Y32-50 (YB32-63, BY32-63) 型液压机工作台

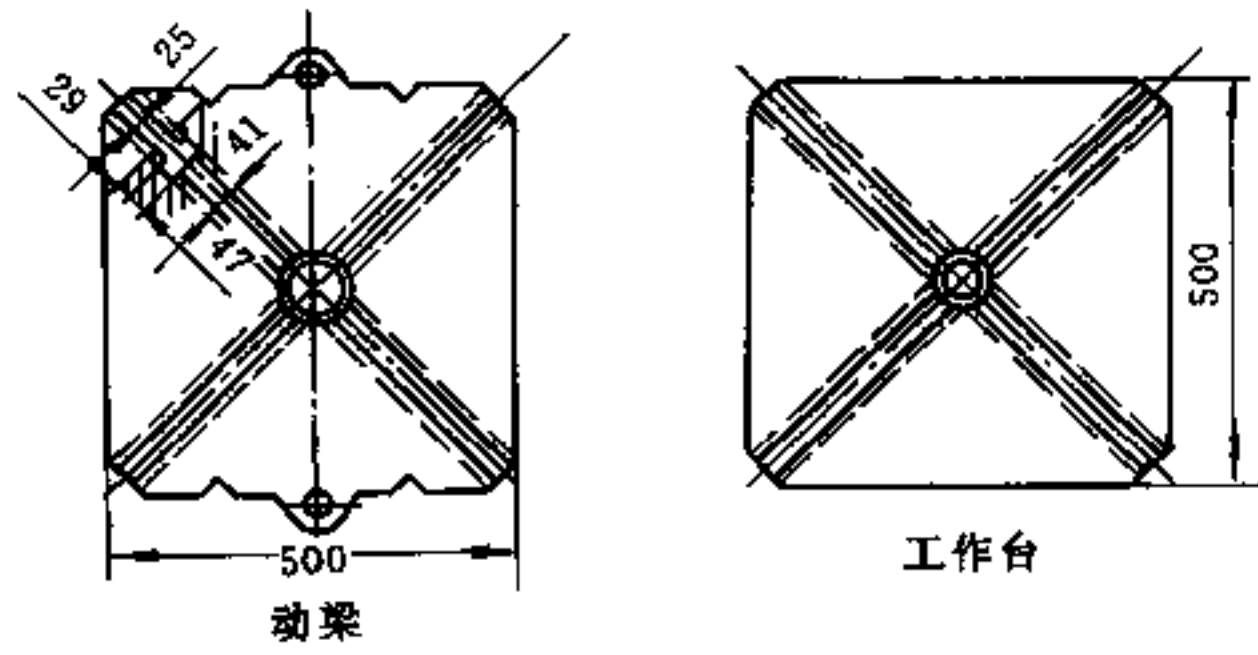


图 18.11-4 Y71-63 型液压机工作台

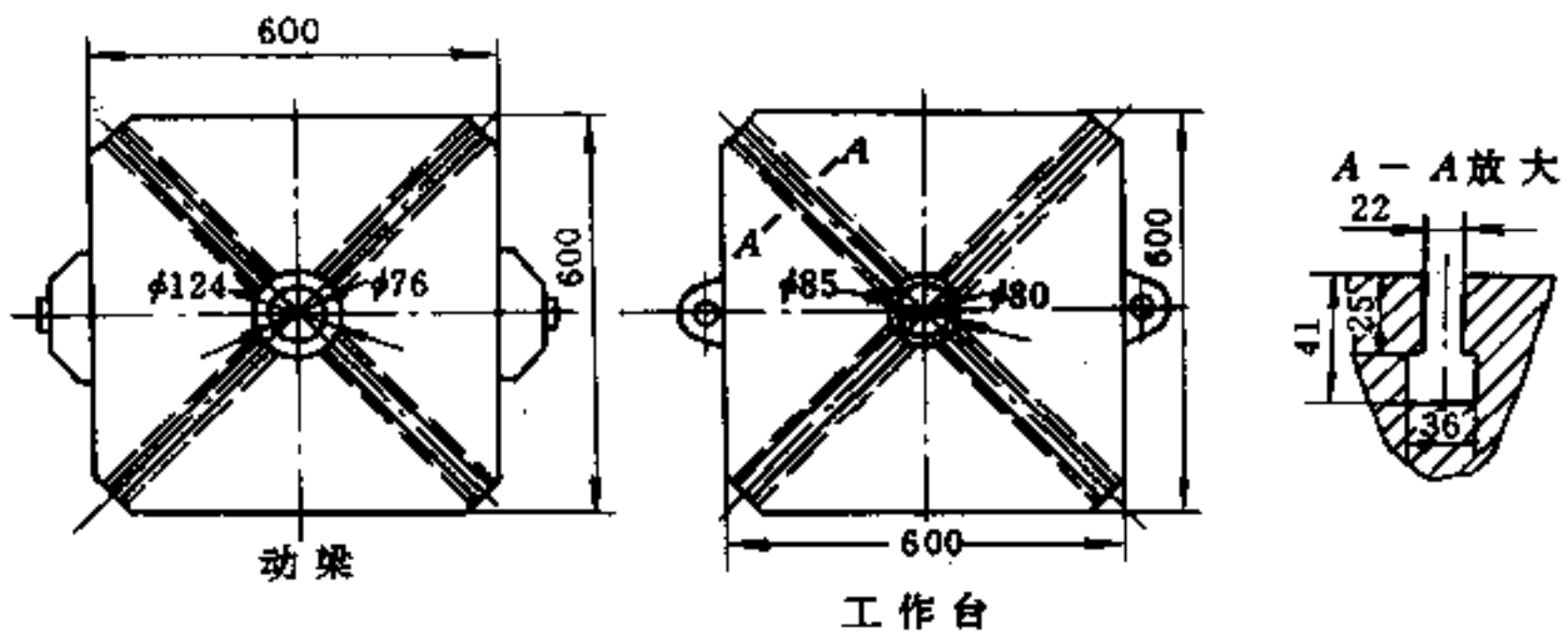


图 18.11-5 YX-100 型液压机工作台

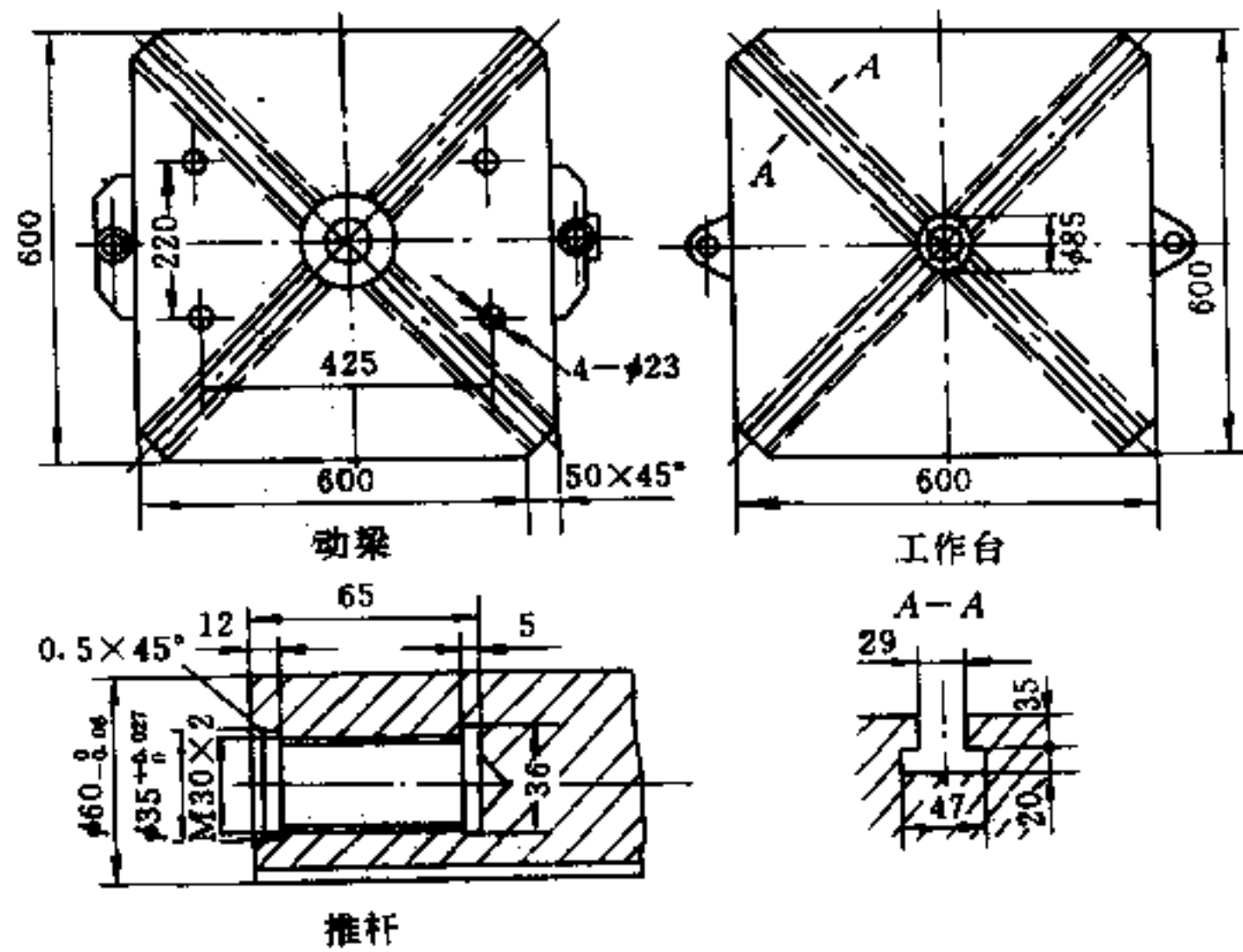


图 18.11-6 Y71-100 型液压机工作台

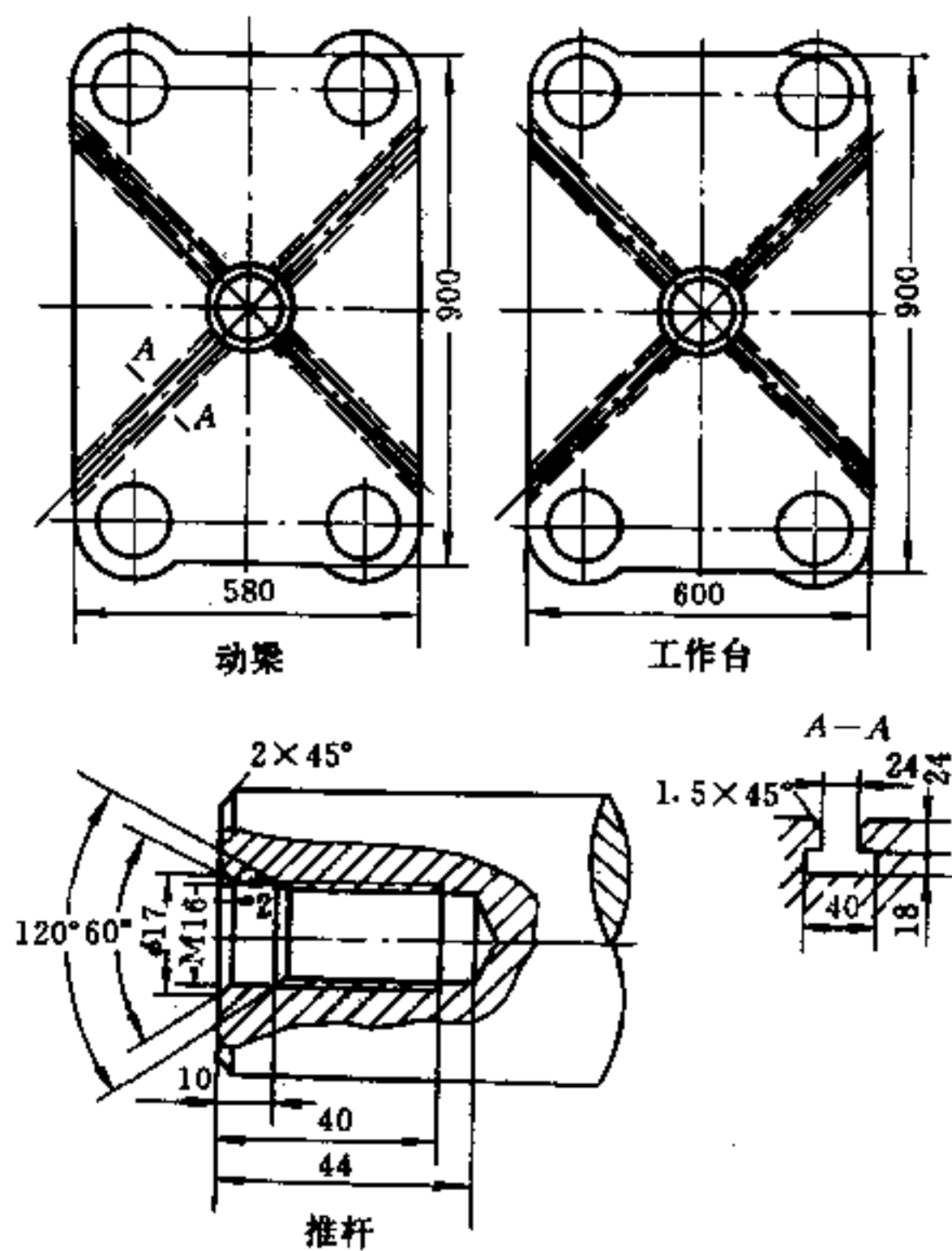


图 18.11-7 Y32-100 型液压机工作台

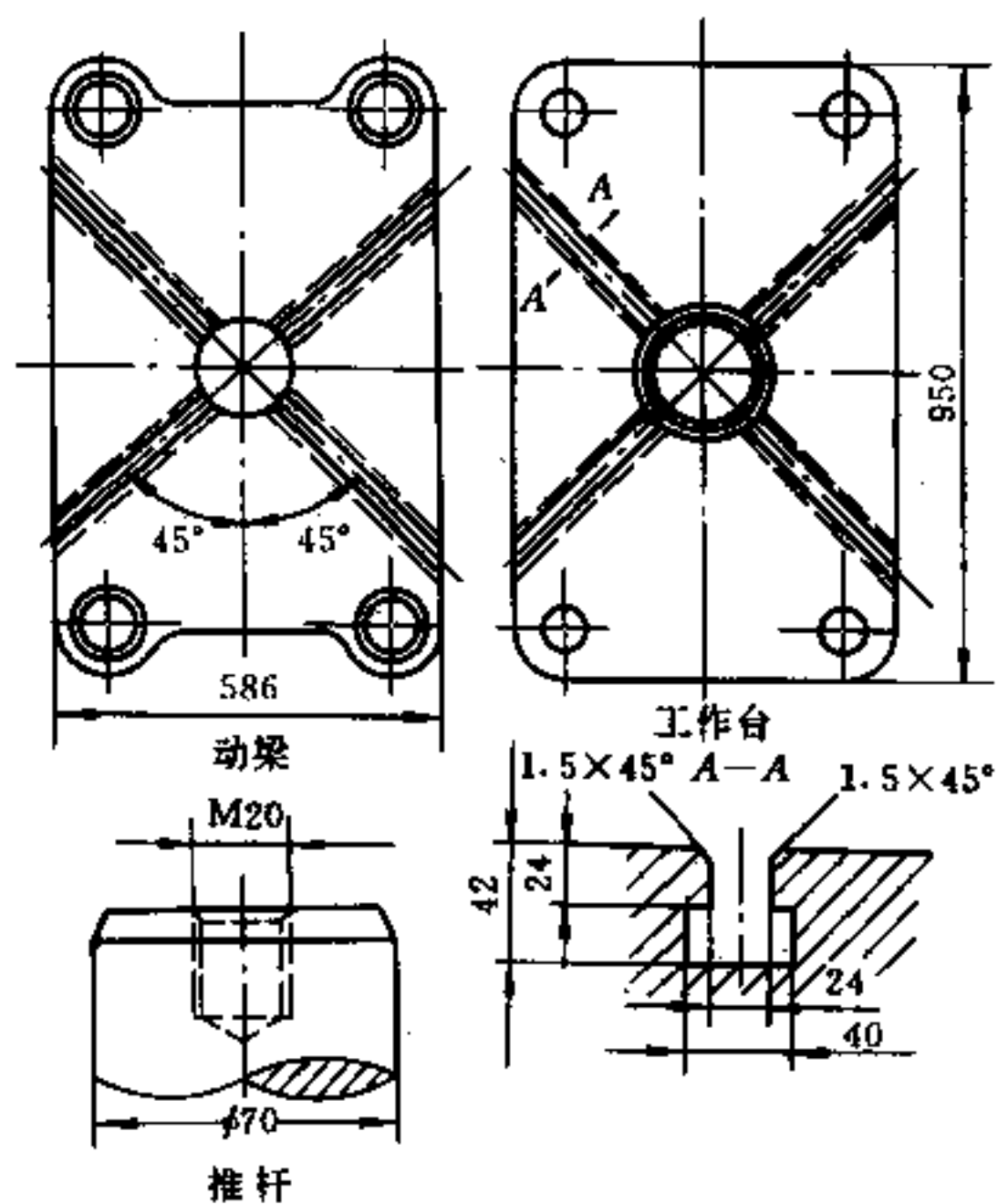


图 18.11-8 YB32-100 型液压机工作台

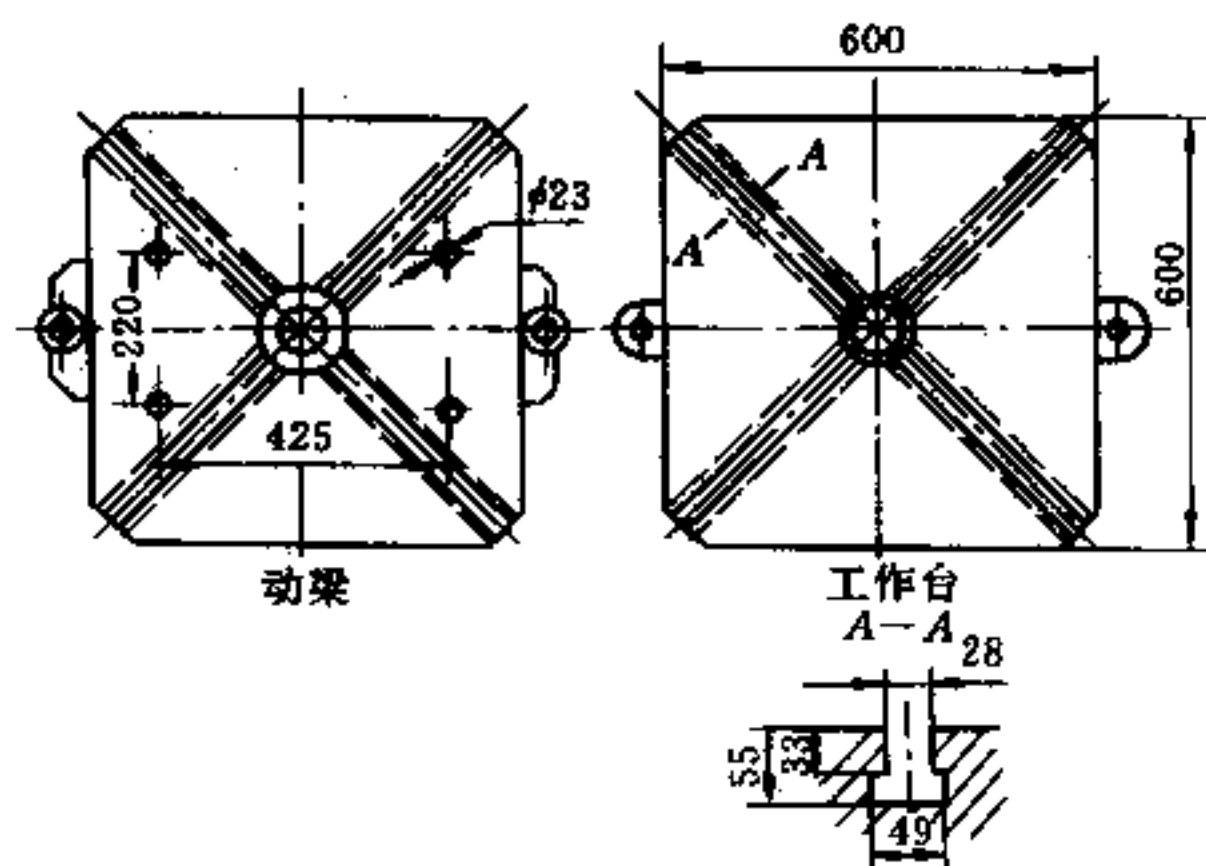


图 18.11-9 ICH-100 型液压机工作台

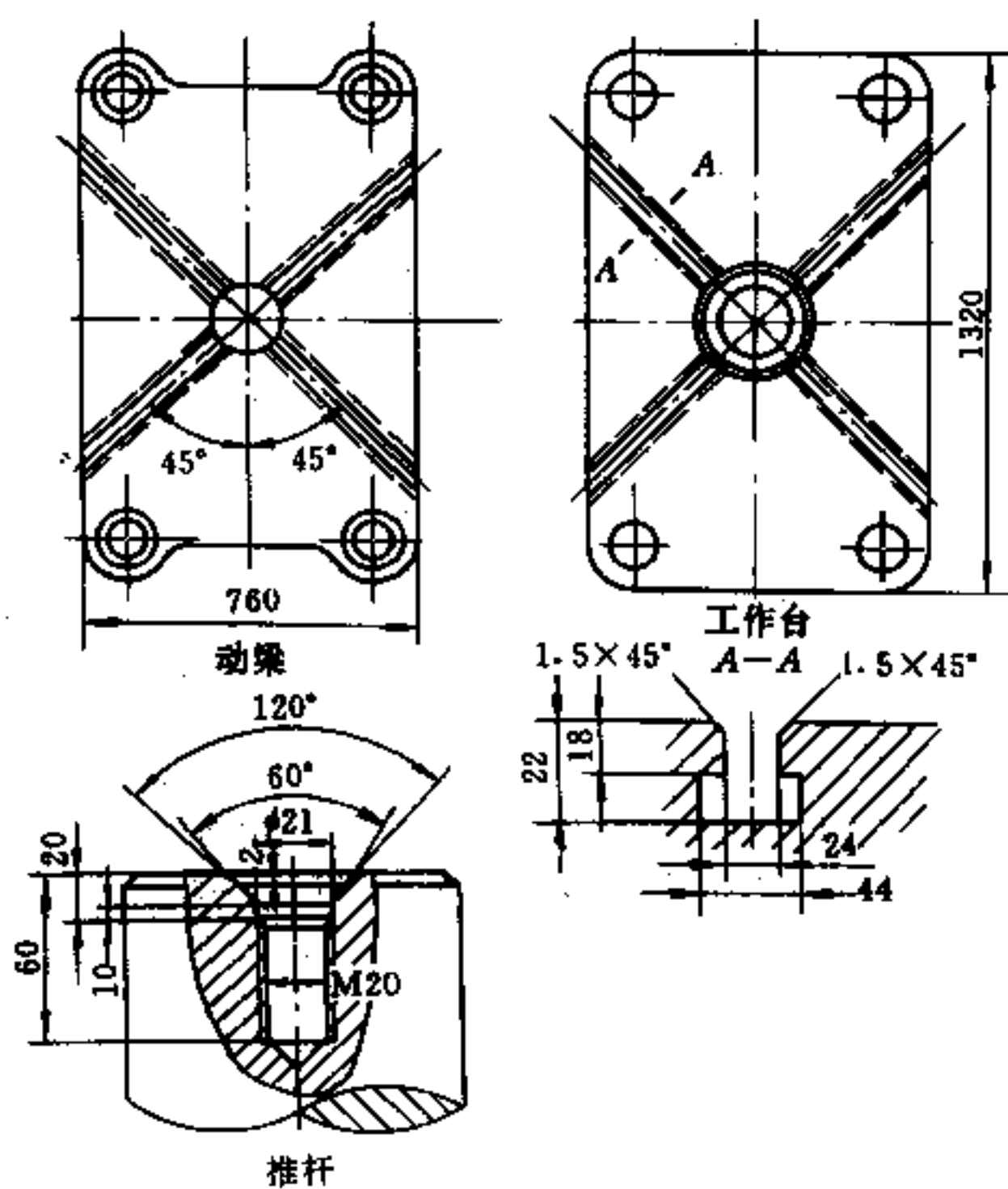


图 18.11-10 Y32-200 (YB32-200) 型液压机工作台

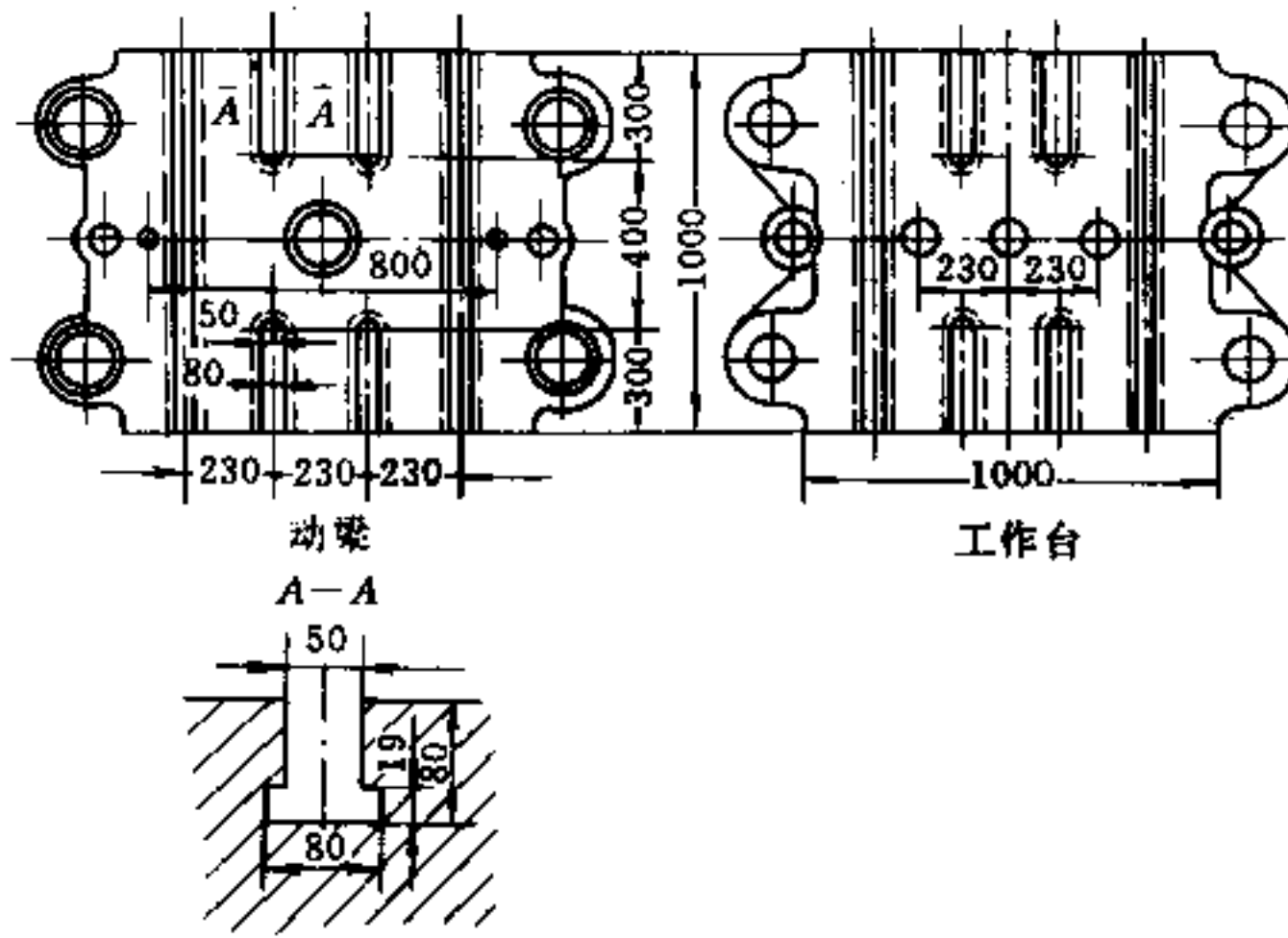


图 18.11-11 YB71-250 型液压机工作台

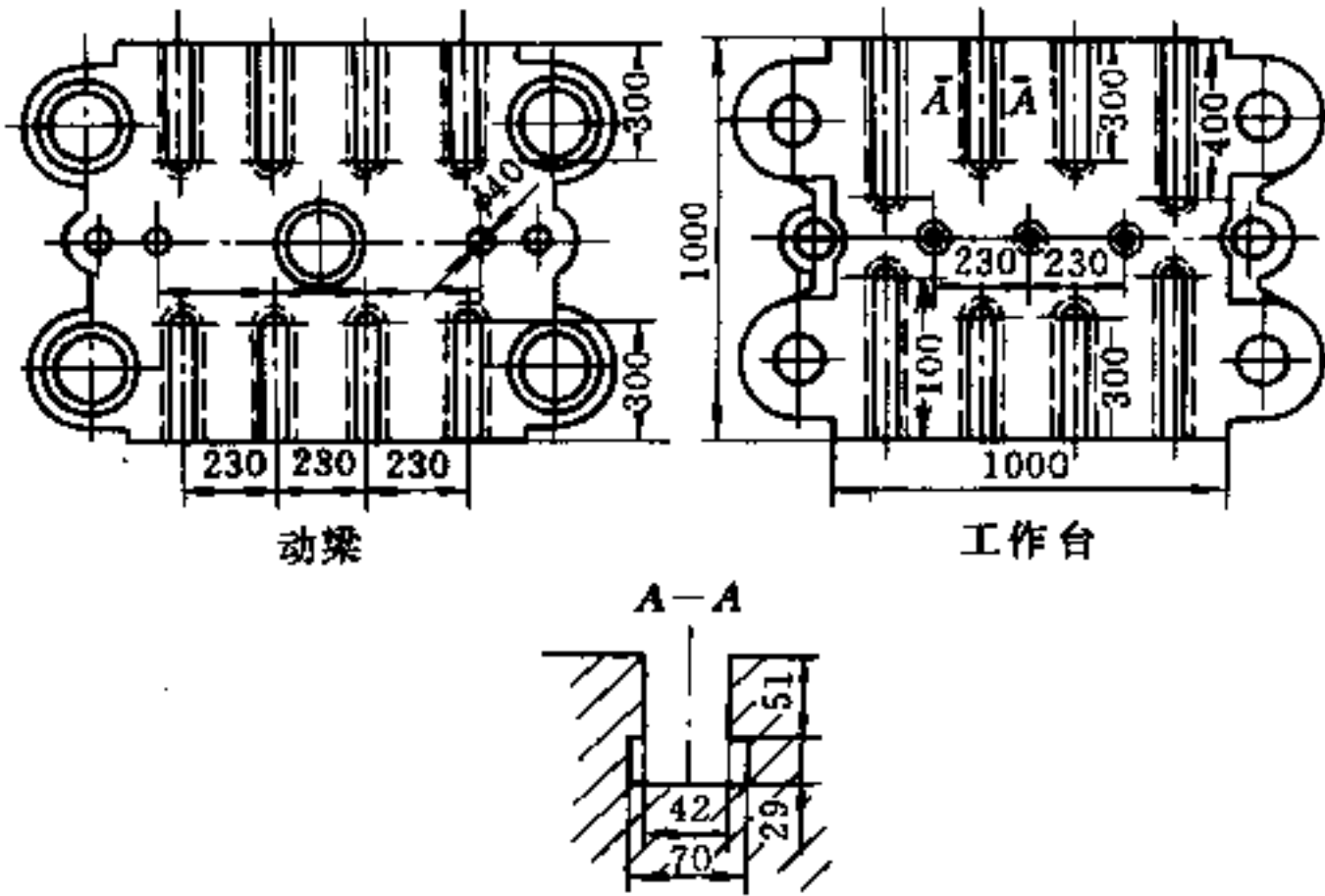


图 18.11-12 ICH-250 型液压机工作台

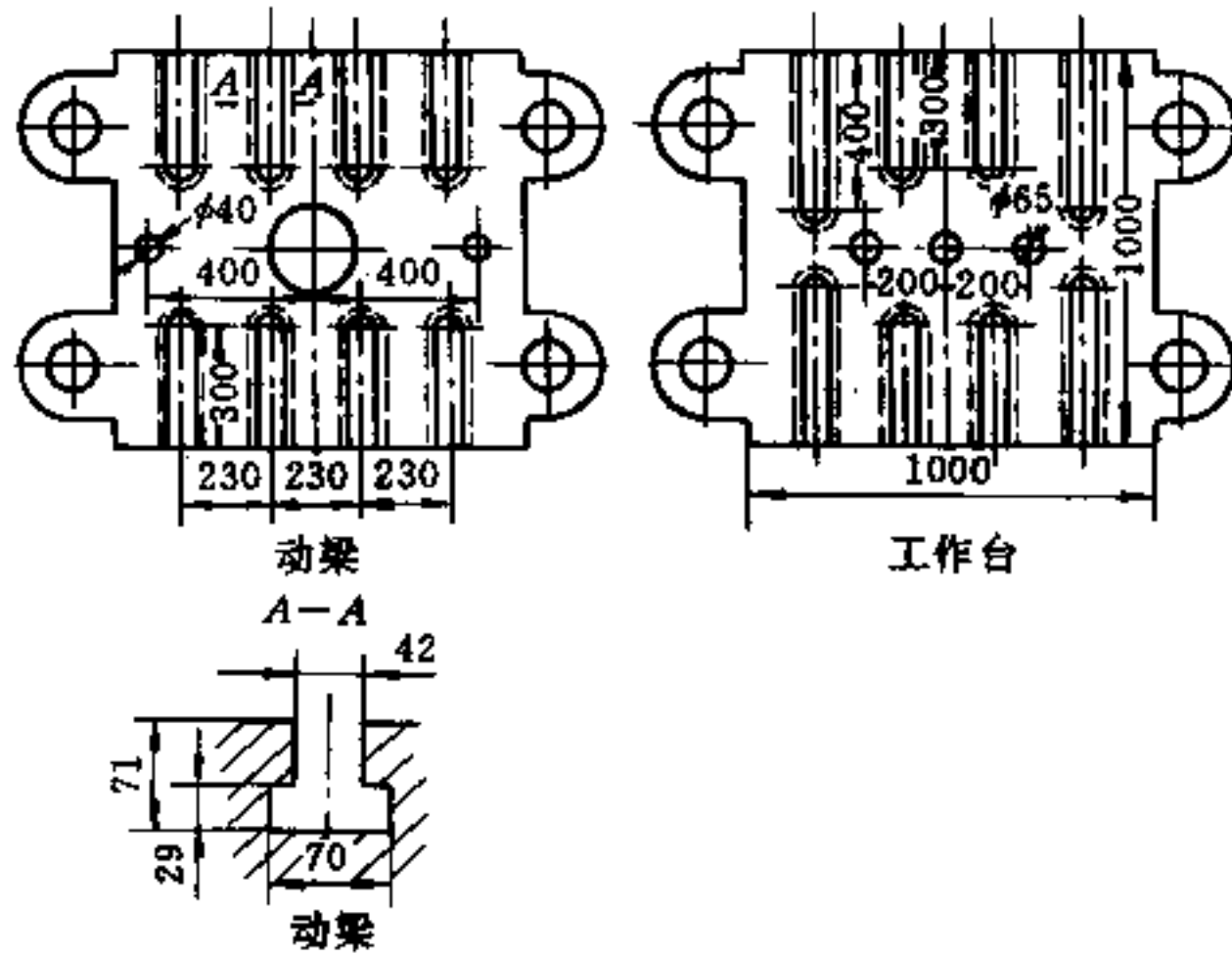


图 18.11-13 SY-250 型液压机工作台

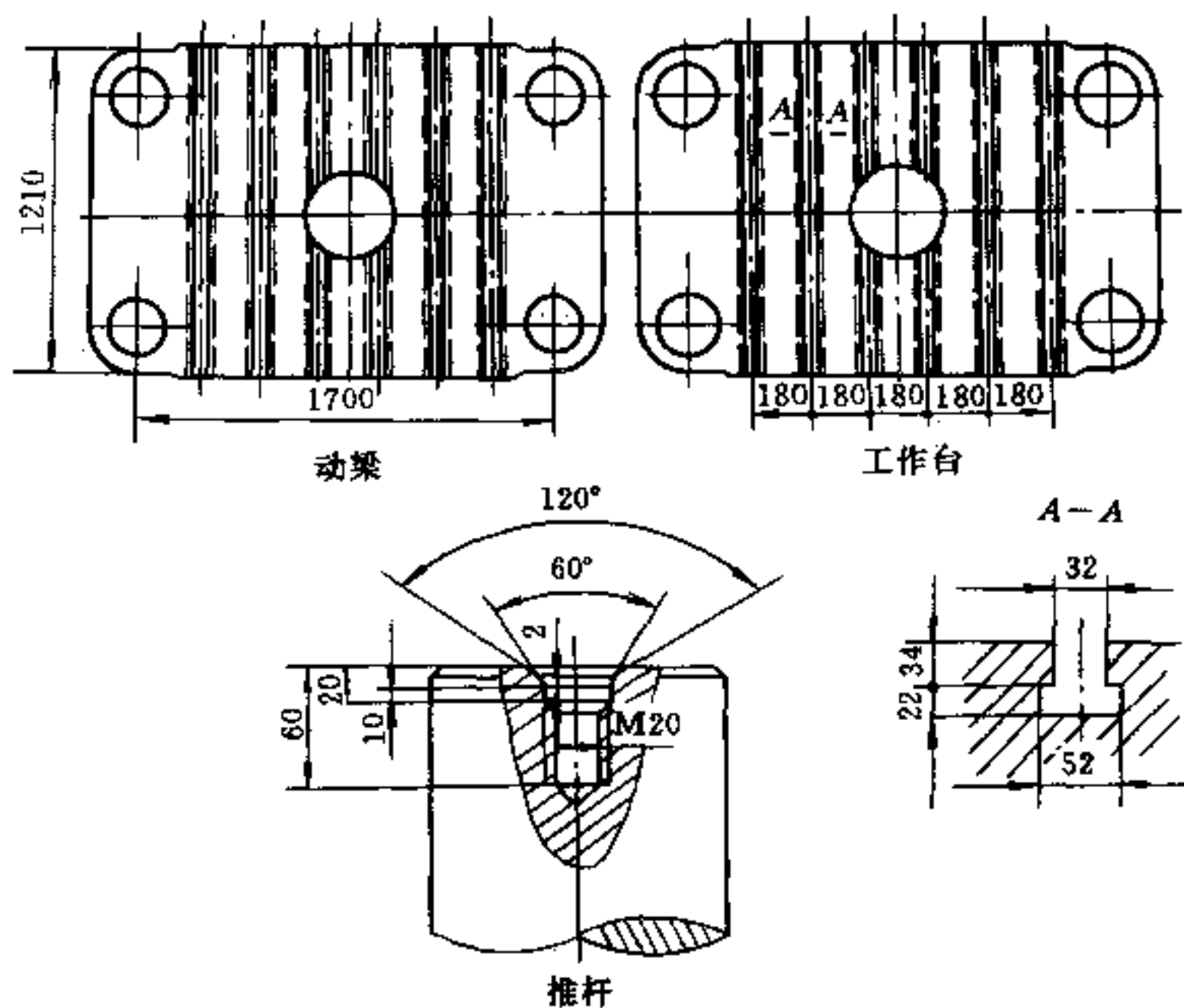


图 18.11-14 YB32-300 (Y32-300) 型液压机工作台

## 18.12 国产注射机性能及规格

常用注射机技术规范及特征见表 18.12-1, 注射机模板模具安装图见图 18.1-2~图 18.2-9。

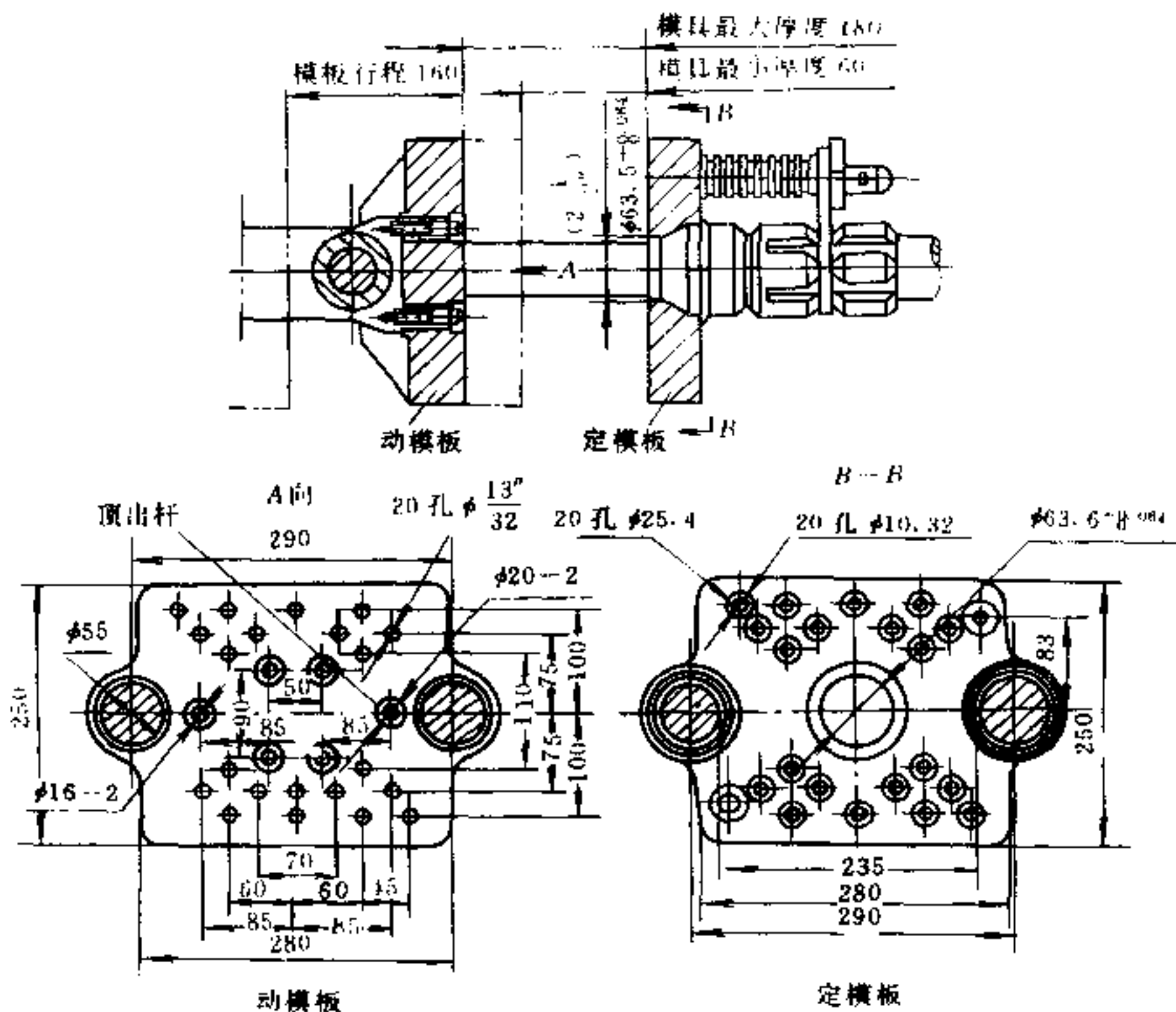


图 18.12-1 XS-ZS-22 (XS-Z-30) 型注射机

表 18.12-1 常用注射机技术规范及特性

型号	SYS-10	SYS-30	SYS-20- 直角	XS-ZS- 22	XS-Z-30	XS-ZY- 60	XS-ZY-125	G54- S200/ 400	SZY-300	XS-ZY-500	XS-ZY- 1000	SZY-2000	XS-ZY- 4000
螺杆(柱 塞)直径/ mm	φ22	φ28	φ22	25, 20 (柱塞)	28 柱塞	38 柱塞	30, 42, 45	55	45, 60	55, 65, 75	70, 80, 90	90, 110, 120	110, 130, 145
最大理论 注射容量 /cm <sup>3</sup>	10g	30g	20g	30, 20	30	60	104, 125, 146	200, 400	180, 320	475, 665, 880	1000, 1300, 1650	1400, 2000, 2500	2800, 4000, 5000
注射压力/ MPa	150	157	120	75, 117	119	122	120(146), 119, 104	109	125, 7000	(196)145, 104, 78	178, 136, 108	135, 90, 75	147, 106, 85
锁模力/ (kN)	150	500	200	250	250	500	(1000) 900	2540	1500	3500	4500	6000	10000
最大注射 面积/cm <sup>2</sup>	45	130	45	90	90	130	(300) 320	645	—	1000	1800	2600	3800
最大模具 厚度 H/ mm	180	200	250	180 (200)	180	200	300	406	不用垫 板 355 用垫板 280	450	第一挡位 置 600 第二挡位 置 600	不用垫板 800 用垫板 500	—
最小模具 厚度 H <sub>1</sub> / mm	100	70	50	60 (80)	60	70	200 (145+10)	165	不用垫 板 205 用垫板 130	300	第一挡位 置 370 第二挡位 置 150	不用垫板 500 用垫板 280	—
模板最大 距离 L <sub>0</sub> / mm	—	—	—	340	340	380	600	260	用垫板 620 不用垫 板 695	950	1300	1550	—
模板行程 L <sub>1</sub> /mm	—	—	—	160	160	180	(375) 300	666	340	300	700	755	—
喷嘴圆弧 半径 R/ mm	120	180	—	12	12	12	12	18	12	18	18	18	—
喷嘴孔径 d/mm	—	—	—	2	2	4	4	4	—	3, 5, 6, 8	7.5	10	—
喷嘴移动 距离/mm	—	—	—	—	—	120	210	310	允出板面 喷嘴伸模 许定装模 25	280	490	480 喷嘴可伸 出定模板 装模面 25	—



(续)

型号	SYS-10	SYS-30	SYS-20- 直角	XS-ZS- 22	XS-Z-30	XS-ZY- 60	XS-ZY-125	G54- S200/ 400	SZY-300	XS-ZY-500	XS-ZY- 1000	SZY-2000	XS-ZY- 4000	推出形式	其他
				四侧推 有机械 没杆推 推出	四侧推 有机械 没杆推 推出	中心推 有机械 没杆推 推出	两侧推 有机械 没杆推 推出	板推模 具固上 杆动与 相械塑 模设开 模杆板 推过板 板机出 动没板 时推定 的通模 推碰推 推件	中心下 设侧杆 推推 及两有 机出	中心液 推推 出距100 mm,两 侧推杆 推出推 4.2kN	中心液 推推 出距125mm, 力两 推推 120kN, 侧推杆 推推出 械推	中心液 推推 出距125mm, 力两 推推 120kN, 侧推杆 推推出 械推	中心液 推推 出距125mm, 力两 推推 120kN, 侧推杆 推推出 械推	中心液 推推 出距125mm, 力两 推推 120kN, 侧推杆 推推出 械推	设有专 用供抽 油路系 统,压开 模中出 出注力 安芯力 装装650kN 力心 160kN 距150mm 射总 1400kN
				可色用 缸径 双射塞 120mm, 注直注 压射总 力73500N, 开模力 26400N, 速率: 50cm/ min(25) 29(20)		力开T, 顶大140mm, 台小50mm, 最380mm	总T,力 杆最高 模顶出 距最 力开T, 顶大140mm, 台小50mm, 最380mm	总280kN 开8T, 最大 190mm	大最 距时,板 面L <sub>2</sub> 开动装 到距为 190mm 力总 1030kN, 最出 离 顶大 距240mm	抱闸式 ,定可 具力一 机两移 安。力 压大 距 锁模机 械,有 两挡置 ,可模 高模 度,允 许开模 力460 180kN, 机两 移安 架拉出 ,便大 模具。 总开 10t, 液出 最出 距 95t, 顶 190mm	机架上 杆拉于 便大 模 方两移 ,安 装具	式抱闸 ,定可 具力一 机两移 安。力 压大 距 锁模机 械,有 两挡置 ,可模 高模 度,允 许开模 力460 180kN, 机两 移安 架拉出 ,便大 模具。 总开 10t, 液出 最出 距 95t, 顶 190mm	模固可 ,最节 高 动分及 两者调 75mm。 装垫进 调具高 板定移 两大 距75mm。 设模 板一节 允度		





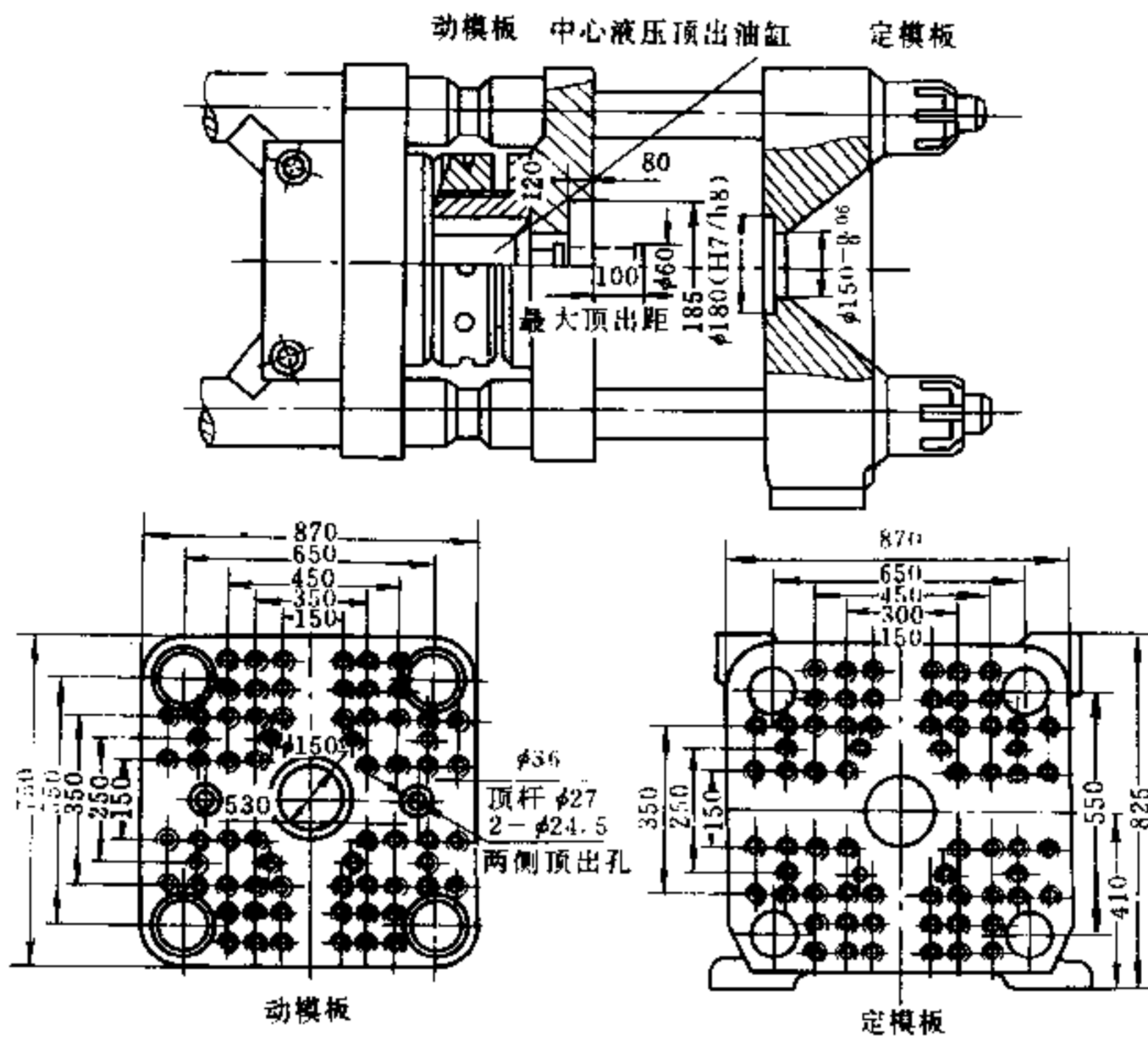


图 18.12-6 XS-ZY-500 型注射机

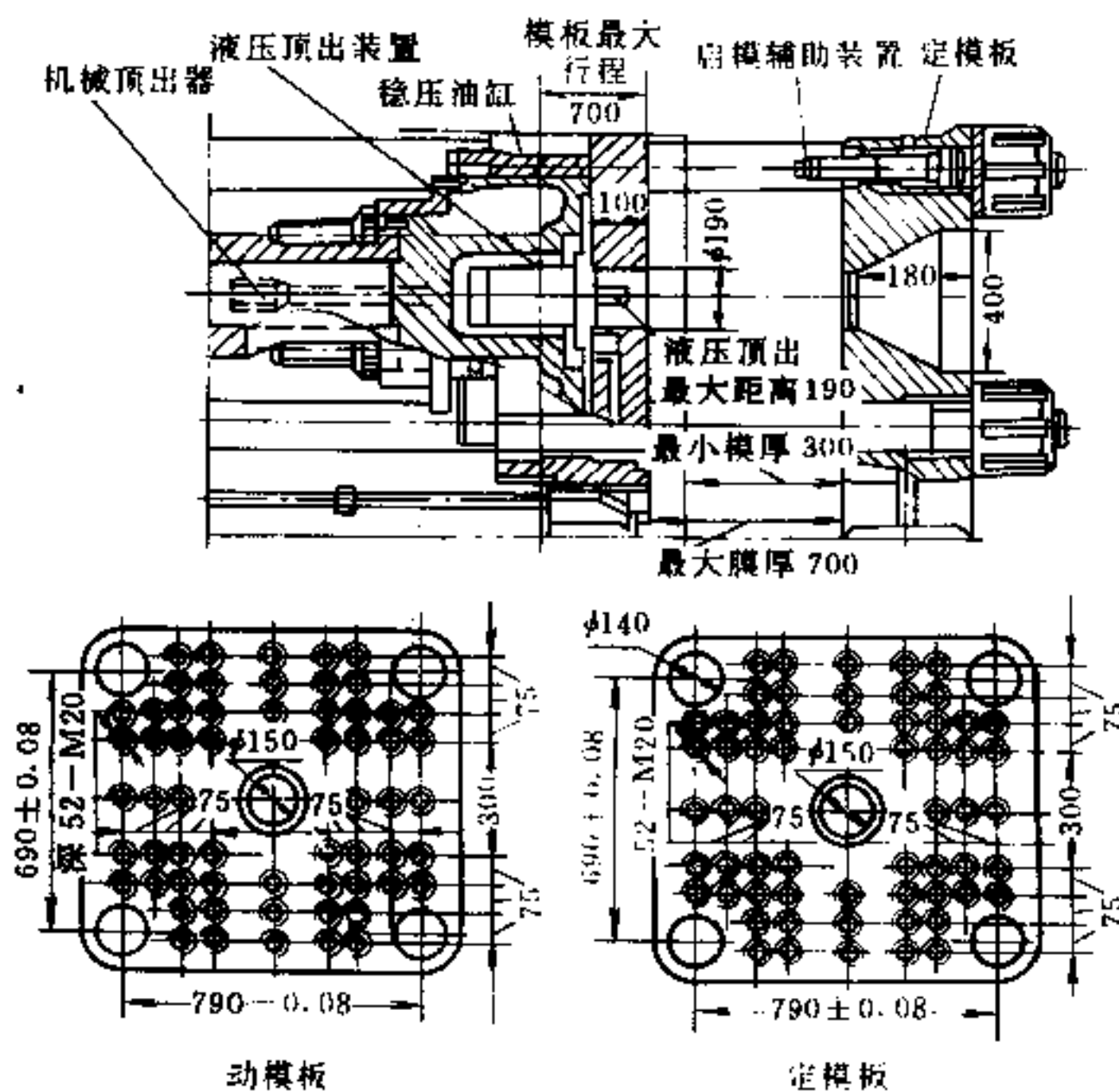


图 18.12-7 XS-ZY-1000 型注射机

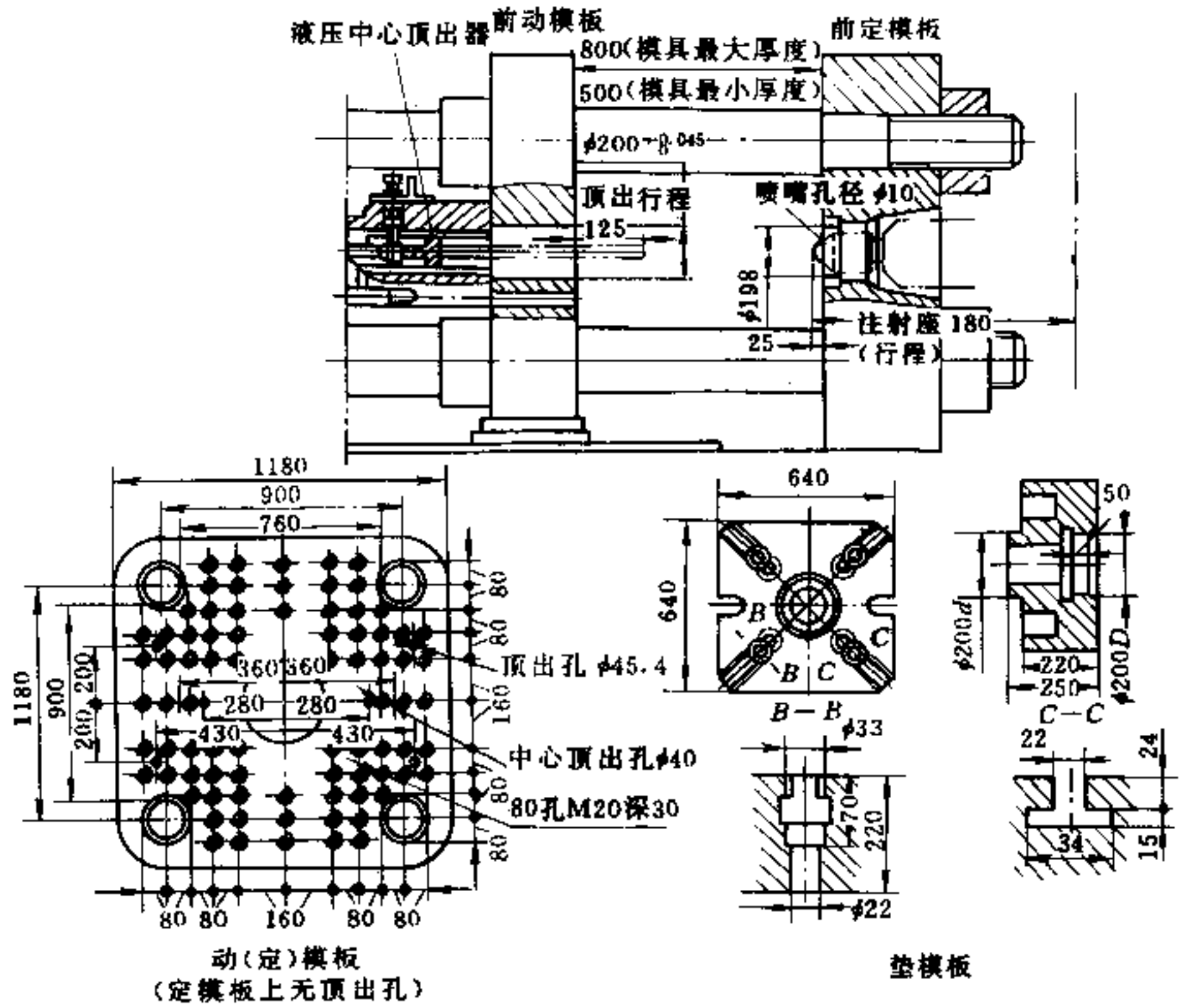


图 18.12-8 SZY-2000 型注射机

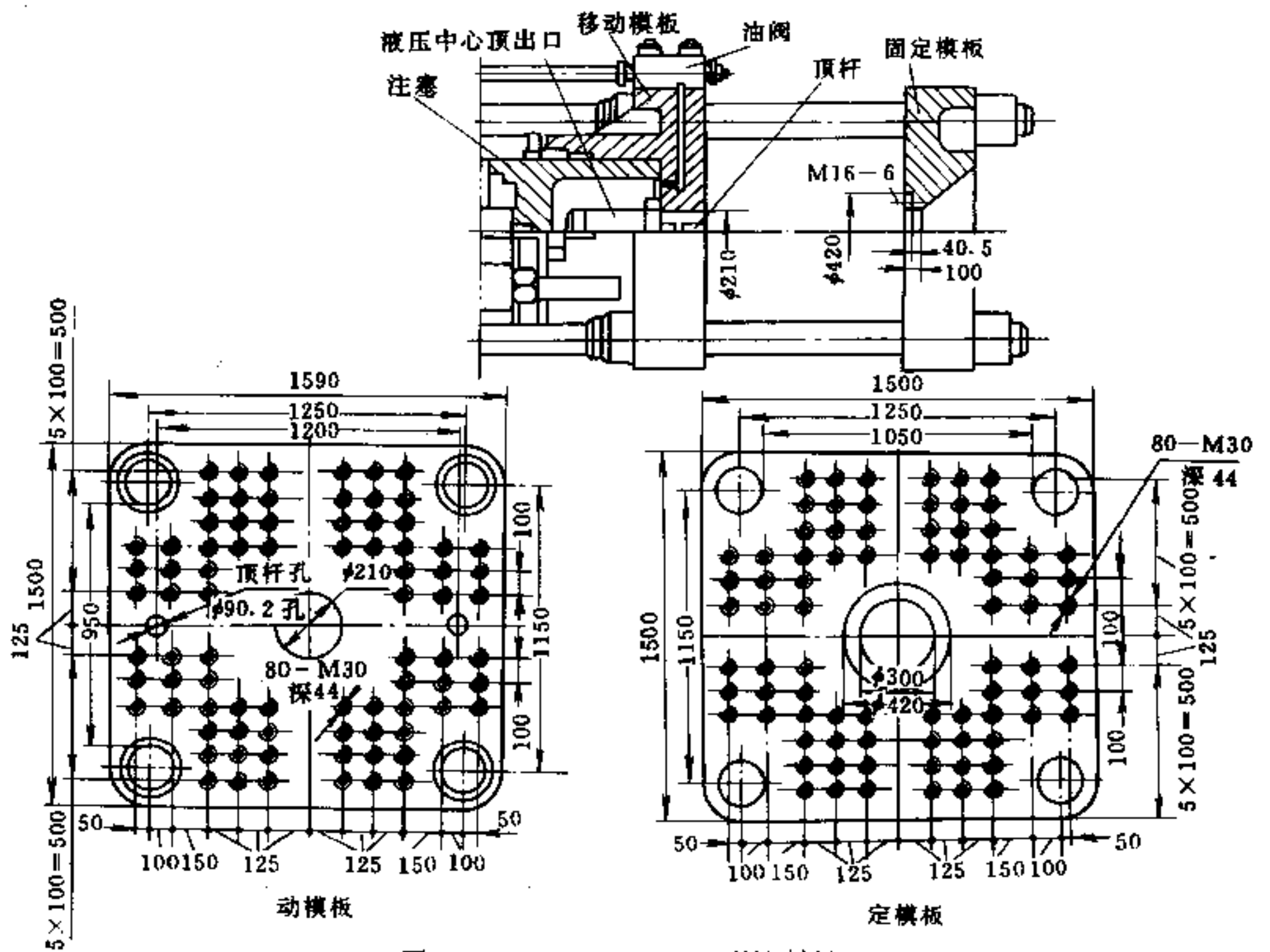


图 18.12-9 XS-ZY-4000 型注射机

## 参考文献

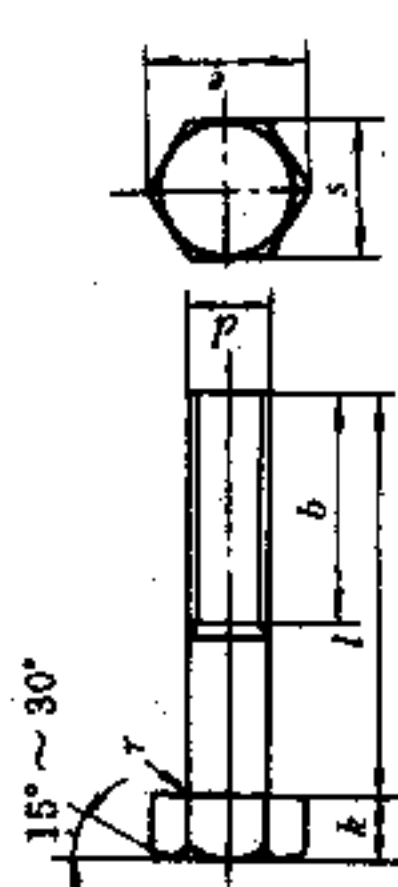
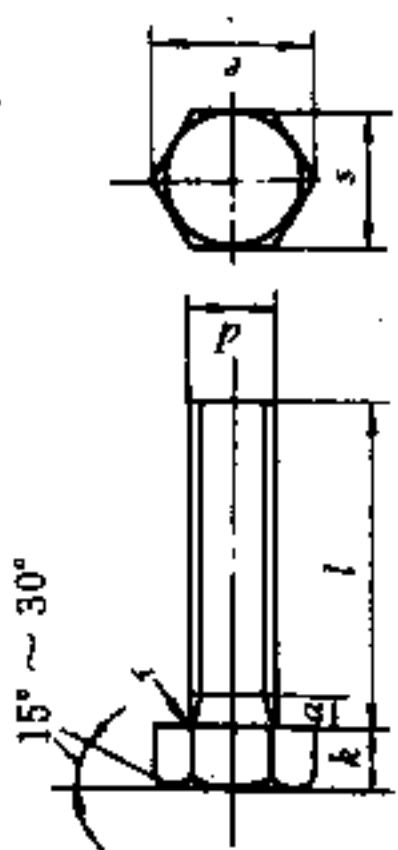
- 1 唐志玉, 徐佩弦主编. 塑料制品设计师指南. 北京: 国防工业出版社, 1993
- 2 成大先主编. 机械设计手册 (第三版第1卷). 北京: 化学工业出版社, 1993
- 3 邹立谦编著. 塑料制品设计 (上册). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 4 唐志玉编著. 大型注塑模设计基础. 成都: 成都科技大学出版社, 1987
- 5 成大先主编. 机械设计手册 (第三版第2卷). 北京: 化学工业出版社, 1993
- 6 冯炳尧等编. 模具设计与制造简明手册. 上海: 上海科技出版社, 1985
- 7 徐 灏主编. 机械设计手册 (5). 北京: 机械工业出版社, 1992
- 8 许发铨主编. 模具标准应用手册. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 9 本书编写组编著. 塑料模设计手册 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1994

表 18.8-3 常用螺栓结构尺寸

表 18.8.3-1 六角头螺栓

(mm)

六角头螺栓-C级(GB5780-86)		六角头螺栓-全螺纹-C级(GB5781-86)																			
标记示例： 螺栓规格 $d = M12$ 、公称长度 $l = 80$ mm、性能等级为 4.8 级、不经表面处理、C 级的六角头螺栓：螺栓 GB5780-86-M12×80																					
螺纹规格 $d$	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36	M42	M48	M56	M64			
$s$	8	10	13	16	18	21	24	27	30	34	36	41	46	55	65	75	85	95			
$k$	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	14	15	17	18.7	22.5	26	30	35	40			
$r$	0.2	0.25	0.4		0.6		0.6		0.8	1	0.8	1	1	1.2	1.2	1.6	2	2			
$e$	8.6	10.9	14.2	17.6	19.9	22.8	26.2	29.6	33	37.3	39.6	45.2	50.9	60.8	72	82.6	93.6	104.9			
$a$	3.2	4	5	6	7	6	8	7.5	10	7.5	12	9	14	16	13.5	15	16.5	18			
$b$ 参考	$l \leq 125$	16	18	22	26	34	38	42	46	50	54	60	66	78							
	$125 < l \leq 200$	—	—	28	32	40	44	48	52	56	60	66	72	84	96	108	124	140			
	$l > 200$	—	—	—	—	53	57	61	65	69	73	79	85	97	109	121	137	153			
$l$	25~50	30~60	35~80	40~100	45~120	60~140	55~160	80~180	65~200	90~220	80~240	100~260	90~300	110~300	160~420	180~480	220~500	260~500			
全螺纹长度 $l$	10~40	12~50	16~65	20~80	25~100	30~140	35~100	40~180	45~100	50~220	55~280	60~100	65~100	70~100	80~420	100~480	110~500	120~500			
100mm 长的重量约/kg	0.013	0.020	0.037	0.063	0.090	0.127	0.172	0.223	0.282	0.359	0.424	0.566	0.721	1.100	1.594	2.174	3.226	4.870			
$l$ 系列	10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, (55), 60, (65), 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 440, 460, 480, 500																				
技术条件	GB5780-86	性能等级：																	表面处理：① 不经处理；② 镀锌钝化		产品等级：C
	GB5781-86	$d \leq 39$ 时为 4.6, 4.8, $d > 39$ 时按协议																			
注：1. M5~36 为商品规格，为销售储备的产品最通用的规格。2. M42~64 为通用规格，较商品规格低一档，有时买不到要现制造。3. 带括号的规格表示尽量不采用的规格。																					







(续)

弹簧丝直径 $d$ /mm	弹簧中径 $D_2$ /mm	节距 $t \approx$ /mm	最大工作负荷 $P_n (\times 10N)$		最大工作负荷下单圈变形 $f_n$ /mm	
			III类	II类	III类	II类
0.7	3.5	1.33	3.157	2.526	0.564	0.451
	4.0	1.55	2.858	2.286	0.762	0.609
	4.5	1.81	2.608	2.086	0.992	0.792
	5.0	2.10	2.397	1.918	1.248	0.998
	6.0	2.78	2.061	1.649	1.854	1.483
	7.0	3.59	1.807	1.446	2.581	2.065
	8.0	4.54	1.608	1.286	3.429	2.743
	9.0	5.62	1.448	1.158	4.396	3.517
0.8	4.0	1.52	4.123	3.298	0.644	0.515
	4.5	1.74	3.778	3.022	0.841	0.672
	5.0	1.99	3.483	2.786	1.063	0.850
	6.0	2.58	3.009	2.407	1.587	1.269
	7.0	3.28	2.646	2.117	2.216	1.773
	8.0	4.10	2.360	1.888	2.950	2.360
	9.0	5.04	2.130	1.704	3.791	3.033
	10.0	6.10	1.940	1.552	4.736	3.789
0.9	4.0	1.51	5.541	4.433	0.541	0.432
	4.5	1.69	5.097	4.078	0.708	0.566
	5.0	1.91	4.714	3.771	0.898	0.718
	6.0	2.41	4.091	3.273	1.347	1.077
	7.0	3.01	3.610	2.888	1.887	1.510
	8.0	3.72	3.227	2.582	2.518	2.015
	9.0	4.530	2.917	2.334	3.241	2.593
	10.0	5.44	2.661	2.129	4.056	3.245
1.0	4.5	1.68	6.621	5.297	0.603	0.483
	5.0	1.88	6.143	4.914	0.768	0.614
	6.0	2.30	5.356	4.285	1.157	0.926
	7.0	2.82	4.741	3.793	1.626	1.301
	8.0	3.44	4.250	3.400	2.176	1.741
	9.0	4.14	3.849	3.079	2.806	2.245
	10.0	4.94	3.516	2.813	3.516	2.813
	12.0	6.80	2.996	2.397	5.177	4.14
	14.0	9.02	2.610	2.088	7.162	5.729
1.2	6.0	2.18	8.414	6.731	0.876	0.701
	7.0	2.59	7.498	5.998	1.240	0.992
	8.0	3.07	6.753	5.402	1.667	1.334
	9.0	3.62	6.139	4.911	2.158	1.727
	10.0	4.24	5.626	4.501	3.713	2.713
	12.0	5.69	4.816	3.853	4.013	3.211
	14.0	7.44	4.208	3.366	5.568	4.455
	16.0	9.46	3.736	2.989	7.380	5.904

(续)

弹簧丝直径 $d$ /mm	弹簧中径 $D_2$ /mm	节距 $t \approx$ /mm	最大工作负荷 $P_n (\times 10N)$		最大工作负荷下单圈变形 $f_n$ /mm	
			III类	II类	III类	II类
4.5	22.00	7.01	86.346	69.077	2.242	1.794
	25.00	7.85	78.565	62.852	2.994	2.395
	28.00	8.81	72.004	57.603	3.855	3.084
	30.00	9.52	68.183	54.546	4.489	3.592
	32.00	10.29	64.736	51.789	5.173	4.138
	35.00	11.54	60.150	48.120	6.289	5.031
	38.00	12.91	56.170	44.936	7.516	6.013
	40.00	13.90	53.780	43.024	8.394	6.715
	45.00	16.60	48.623	38.898	10.805	8.644
	50.00	19.64	44.354	35.983	13.520	10.816
	55.00	23.02	40.768	32.614	16.541	13.233
5	25.00	7.93	104.880	83.904	2.622	2.098
	28.00	8.79	96.411	77.129	3.386	2.709
	30.0	9.42	91.447	73.158	3.951	3.160
	32.0	10.11	86.947	69.558	4.559	3.647
	35.00	11.22	80.945	64.756	5.553	4.442
	38.0	12.44	75.697	60.558	6.646	5.317
	40.0	13.32	72.552	58.042	7.429	5.943
	45.0	15.73	65.708	52.566	9.580	7.664
	50.0	18.45	60.028	48.022	12.006	9.604
	55.0	21.47	55.243	44.194	14.706	11.765
	60.0	24.80	51.159	40.927	17.681	14.144

注:1. 弹簧按负荷性质分成三类:  
 I类 受变负荷作用,次数在  $10^6$  次以上的弹簧;  
 II类 受变负荷作用,次数在  $10^3 \sim 10^5$  次或冲击负荷的弹簧;  
 III类 受变负荷作用,次数在  $10^3$  次以下的弹簧。  
 2. 如为 I 类负荷,可按  $P_{nII} = \frac{P_{nI}}{0.6}$  关系换算。

表 18.7-3 碟形弹簧的尺寸和参数(GB1972-80)

碟簧		碟簧厚度 $\delta$			减薄碟簧厚度 $\delta'$			A型碟簧的极限行程			自由高度			$P_f = 0.75h_0$		
外径 $D$ /mm	内径 $d$ /mm	/mm			/mm			$h_0$ /mm			$H$ /mm			/( $\times 10N$ )		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
8	4.2	0.4	0.3	0.2				0.2	0.25	0.25	0.6	0.55	0.45	21.4	12	4
10	5.2	0.5	0.4	0.25				0.25	0.3	0.3	0.75	0.7	0.55	33	21	6
12.5	6.2	0.7	0.5	0.35				0.3	0.35	0.45	1	0.85	0.8	67	30	15

(续)

碟簧 外径 $D$ /mm	碟簧 内径 $d$ /mm	碟簧厚度 $\delta$ /mm			减薄碟簧厚度 $\delta'$ /mm			A型碟簧的极限行程 $h_0$ /mm			自由高度 $H$ /mm			$P_f = 0.75h_0$ /( $\times 10N$ )		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
14	7.2	0.8	0.5	0.35				0.3	0.4	0.45	1.1	0.9	0.8	81	28	13
16	8.2	0.9	0.6	0.4				0.35	0.45	0.5	1.25	1.05	0.9	103	42	16
18	9.2	1	0.7	0.5				0.4	0.5	0.6	1.4	1.2	1.1	128	58	29
20	10.2	1.1	0.8	0.5				0.45	0.55	0.65	1.55	1.35	1.15	155	76	26
22.5	11.2	1.25	0.8	0.6				0.5	0.65	0.8	1.75	1.45	1.4	196	72	43
25	12.2	1.5	0.9	0.7				0.55	0.7	0.9	2.05	1.6	1.6	298	88	61
28	14.2	1.5	1	0.8				0.65	0.8	1	2.15	1.8	1.8	290	113	82
31.5	16.3	1.75	1.25	0.8				0.7	0.9	1.05	2.45	2.15	1.85	394	194	70
35.5	18.3	2	1.25	0.9				0.8	1	1.15	2.8	2.25	2.05	528	173	85
40	20.4	2.2	1.5	1				0.9	1.15	1.3	3.1	2.65	2.3	621	267	104
45	22.4	2.5	1.75	1.25				1	1.3	1.6	3.5	3.05	2.85	789	373	193
50	25.4	3	2	1.25				1.1	1.4	1.6	4.1	3.4	2.85	1220	486	158
56	28.5	3	2	1.5				1.3	1.6	1.95	4.3	3.6	3.45	1170	454	268
63	32.5	3.5	2.5	1.8	3.34			1.4	1.75	2.35	4.9	4.25	4.15	1570	753	443
71	35.5	4	2.5	2	3.82			1.6	2	2.6	5.6	4.5	4.6	2080	680	520
80	40.6	5	3	2.2	4.8			1.7	2.3	2.9	6.7	5.3	5.1	3400	1070	618
90	45.6	5	3.5	2.5	4.8	3.3		2	2.5	3.2	7	6	5.7	3180	1440	780
100	50.8	6	3.5	2.7	5.74	3.28		2.2	2.8	3.5	8.2	6.3	6.2	4880	1330	875

注:1. 碟簧按  $D/\delta$ 、 $h_0/\delta$  值分成三个系列:

I——系列一,  $D/\delta \approx 18$ ,  $h_0/\delta \approx 0.4$ ; II——系列二,  $D/\delta \approx 28$ ,  $h_0/\delta \approx 0.75$ ; III——系列三,  $D/\delta \approx 40$ ,  $h_0/\delta \approx 1.3$ 。

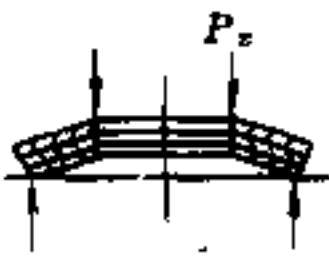
2. 表中同规格的 A、B 型碟簧, 在施加相同变形量  $f = 0.75h_0$  时, 弹簧负荷相等。

3.  $P_f = 0.75h_0$  表示  $f = 0.75h_0$  时碟簧的负荷。

4. 碟簧内外径公差: 1 级精度——内径 H13, 外径 h13; 2 级精度——内径 H14, 外径 h13。

5. 碟簧采用 50CrVA(或 60Si2MnA) 的带、板材或锻造坯料制造, 硬度 HRC42~52, 碟簧全部进行强压处理。

表 18.7-4 碟形弹簧的组合方式和计算公式(GB1972-80)

组合方式及说明		简 图	计算公式(不计摩擦力时)
叠合组合	由 $n$ 个同方向同规格的一组碟簧组成		$P_z = np$ $f_z = f$ $H_z = H + (n-1)\delta$