

# 目 录

第二版序  
第一版序  
第二版编辑说明

## 第 1 篇 制图与公差

### 第 1 章 机械制图

1 制图基本规定 .....	1-3
1.1 图纸幅面和格式 .....	1-3
1.2 比例 .....	1-5
1.3 正投影法 .....	1-5
1.4 图线型式及应用 .....	1-7
1.5 剖面符号 .....	1-10
2 机构运动简图 .....	1-12
2.1 机构运动简图的规定符号 .....	1-12
2.2 机构简图示例 .....	1-18
3 装配图 .....	1-20
3.1 装配图的图形表达及其简化画法 .....	1-20
3.2 装配图的尺寸标注 .....	1-22
3.3 装配图中零部件序号编排 .....	1-23
4 零件图 .....	1-23
4.1 零件结构形状的表达方法 .....	1-23
4.2 零件图的若干简化画法 .....	1-23
4.3 零件图的尺寸标注 .....	1-26
4.4 零件图中技术要求的编写 .....	1-32
4.5 几种常用件的画法 .....	1-32
5 金属结构件及焊接件图 .....	1-38
5.1 金属结构件图样画法 .....	1-38
5.2 金属焊接件图样画法 .....	1-40
6 曲面展开图 .....	1-46
6.1 可展曲面的展开 .....	1-46
6.2 不可展曲面的近似展开 .....	1-51
7 计算机绘图 .....	1-53
7.1 概述 .....	1-53
7.2 图形基本图素生成 .....	1-54
7.3 常用几何计算 .....	1-55

7.4 图形变换 .....	1-57
7.5 图形软件的标准化 .....	1-62
7.6 工程图样绘制 .....	1-63

### 第 2 章 极限与配合

1 极限与配合的基本词汇 .....	1-64
2 极限与配合标准的基本内容及其 应用 .....	1-67
2.1 标准公差 .....	1-67
2.2 基本偏差 .....	1-69
2.3 孔、轴公差带与配合 .....	1-76
2.4 极限与配合的选择 .....	1-81
2.5 配制配合应用简介 .....	1-88
3 检验制 .....	1-89
3.1 一般规则 .....	1-89
3.2 光滑极限量规 .....	1-90
3.3 光滑工件尺寸的检验 .....	1-93
4 圆锥公差与配合 .....	1-96
4.1 锥度与锥角系列 .....	1-96
4.2 圆锥公差制 .....	1-98
4.3 圆锥配合制 .....	1-102

### 第 3 章 形状和位置公差

1 形状和位置公差的基本术语 .....	1-111
2 形状和位置公差的符号及注法 .....	1-112
2.1 形状和位置公差的项目名称及符号 .....	1-112
2.2 形状和位置公差的注法 .....	1-115
3 形状公差 .....	1-119
4 位置公差 .....	1-122
5 非刚性件的公差注法 .....	1-129





## 第 2 篇 零部件结构工艺性

## 第 1 章 概 论

- 1 结构工艺性的概念 ..... 2-3
- 2 结构工艺性对产品结构的基本要求 ..... 2-4
- 3 结构工艺性的评价 ..... 2-4
  - 3.1 评价结构工艺性的范畴和原则 ..... 2-4
  - 3.2 结构工艺性的评价过程和评价方法 ..... 2-4

## 第 2 章 零件结构的铸造工艺性

- 1 常用合金铸件的结构要点及应用 ..... 2-5
- 2 铸件的结构要素 ..... 2-6
  - 2.1 最小允许壁厚 ..... 2-6
  - 2.2 铸件壁的联接与过渡 ..... 2-7
  - 2.3 加强肋 ..... 2-12
  - 2.4 法兰铸造过渡斜度 ..... 2-12
  - 2.5 结构斜度(铸造斜度) ..... 2-12
- 3 铸件结构与铸造工艺 ..... 2-15
- 4 铸件结构与铸件缺陷 ..... 2-19
- 5 熔模铸件结构的设计原则 ..... 2-23
- 6 压铸件结构的设计 ..... 2-25
  - 6.1 压铸件结构的设计原则 ..... 2-25
  - 6.2 压铸件设计的基本参数 ..... 2-25
  - 6.3 镶嵌件 ..... 2-26

## 第 3 章 零件结构的锻造工艺性

- 1 锻造方法对锻件结构的要求 ..... 2-27
- 2 不同材料对锻件结构形状的影响 ..... 2-28
- 3 锻件的设计原则 ..... 2-29
  - 3.1 自由锻件的设计原则 ..... 2-29
  - 3.2 锤和压力机上模锻件的设计原则 ..... 2-29
  - 3.3 胎模锻件的设计原则 ..... 2-31
    - 3.3.1 平锻机上模锻件的设计原则 ..... 2-32
- 4 锤和压力机上模锻件的结构要素 ..... 2-34
  - 4.1 模锻斜度 ..... 2-34
  - 4.2 圆角半径 ..... 2-34
  - 4.3 腹板厚度 ..... 2-35
  - 4.4 肋的高宽比 ..... 2-36
  - 4.5 凹孔与连皮 ..... 2-36

- 5 模锻件结构与锻造缺陷的关系 ..... 2-37

## 第 4 章 零件结构的冲压工艺性

- 1 冲压件材料的选用 ..... 2-38
  - 1.1 选用原则 ..... 2-38
  - 1.2 对选用材料的要求 ..... 2-39
- 2 冲压件的尺寸精度 ..... 2-39
  - 2.1 冲裁件 ..... 2-39
  - 2.2 弯曲件 ..... 2-41
  - 2.3 拉深件 ..... 2-42
  - 2.4 其他成形件 ..... 2-42
- 3 冲压件的结构要素 ..... 2-43
  - 3.1 冲裁件 ..... 2-43
  - 3.2 弯曲件 ..... 2-44
  - 3.3 成形件 ..... 2-45
- 4 冲压件的结构示例 ..... 2-47

## 第 5 章 零件结构的热处理工艺性

- 1 影响零件结构热处理工艺性的因素 ..... 2-49
  - 1.1 零件材料的选择 ..... 2-49
  - 1.2 零件的几何形状和刚度 ..... 2-51
  - 1.3 零件的尺寸 ..... 2-52
  - 1.4 零件的表面状态 ..... 2-52
- 2 热处理对零件结构的要求 ..... 2-52

## 第 6 章 零件结构的切削加工工艺性

- 1 金属切削加工对零件结构的要求 ..... 2-57
- 2 评价零件切削加工工艺性的基本原则 ..... 2-58
- 3 数控机床加工对零件结构的要求 ..... 2-70
  - 3.1 数控车床(车削中心)加工对零件结构的要求 ..... 2-70
  - 3.2 加工中心加工对零件结构的要求 ..... 2-71
  - 3.3 数控铣床加工对零件结构的要求 ..... 2-71
  - 3.4 数控磨削加工对零件结构的要求 ..... 2-72
  - 3.5 数控齿轮机床加工对零件结构的要求 ..... 2-73



## 第7章 常用工程塑料零件的结构工艺性

- |                      |      |
|----------------------|------|
| 1 工程塑料零件的结构要素 .....  | 2-74 |
| 1.1 壁厚 .....         | 2-74 |
| 1.2 脱模斜度 .....       | 2-74 |
| 1.3 支承面 .....        | 2-74 |
| 1.4 加强肋 .....        | 2-74 |
| 1.5 圆角 .....         | 2-75 |
| 1.6 孔 .....          | 2-75 |
| 1.7 螺纹 .....         | 2-75 |
| 1.8 嵌件 .....         | 2-76 |
| 1.9 文字与标志 .....      | 2-76 |
| 2 工程用塑料零件的常见结构 ..... | 2-76 |

## 第8章 粉末冶金零件的结构工艺性

- |                     |      |
|---------------------|------|
| 1 粉末冶金零件的结构要素 ..... | 2-78 |
| 1.1 压制件的形状要求 .....  | 2-78 |
| 1.2 压制件密度 .....     | 2-78 |

- |                     |      |
|---------------------|------|
| 1.3 压制件的尺寸精度 .....  | 2-78 |
| 1.4 压制件的表面粗糙度 ..... | 2-79 |
| 1.5 压制件的壁厚 .....    | 2-80 |

- |                     |      |
|---------------------|------|
| 2 粉末冶金零件的结构特点 ..... | 2-80 |
|---------------------|------|

## 第9章 零部件结构装配工艺性

- |                           |      |
|---------------------------|------|
| 1 对零部件结构装配工艺性的基本要求 .....  | 2-81 |
| 2 评价零部件结构装配工艺性的基本原则 ..... | 2-81 |
| 3 自动装配对零件结构的要求 .....      | 2-92 |
| 3.1 零件结构简单、易于定位 .....     | 2-92 |
| 3.2 应易于定向 .....           | 2-93 |
| 3.3 从一个方向完成装配 .....       | 2-94 |
| 3.4 便于输送 .....            | 2-94 |
| 3.5 避免零件相互缠结、错位 .....     | 2-95 |
| 3.6 简化装配 .....            | 2-96 |

- |            |      |
|------------|------|
| 参考文献 ..... | 2-96 |
|------------|------|

# 第3篇 焊接结构

## 第1章 概 论

- |                       |     |
|-----------------------|-----|
| 1 焊接结构的特点和应用 .....    | 3-3 |
| 2 采用焊接结构时应注意的问题 ..... | 3-4 |
| 3 焊接结构的设计原则 .....     | 3-5 |

## 第2章 焊接接头

- |                                |      |
|--------------------------------|------|
| 1 焊接接头的特点 .....                | 3-9  |
| 2 常用焊接接头的形式及其工作特性 .....        | 3-9  |
| 2.1 电弧焊接头 .....                | 3-9  |
| 2.2 电阻焊接头 .....                | 3-14 |
| 3 焊接接头的静载强度计算 .....            | 3-16 |
| 3.1 许用应力设计法 .....              | 3-16 |
| 3.2 极限状态设计法 .....              | 3-23 |
| 4 焊接接头的疲劳强度 .....              | 3-25 |
| 4.1 焊接接头疲劳强度的影响因素 .....        | 3-25 |
| 4.2 提高焊接接头疲劳强度的措施 .....        | 3-26 |
| 4.3 焊接接头的疲劳强度计算 .....          | 3-27 |
| 5 在焊接结构中应用断裂力学时必须考虑的几个因素 ..... | 3-33 |

## 第3章 杆系的焊接结构

- |                     |      |
|---------------------|------|
| 1 焊接梁 .....         | 3-34 |
| 1.1 梁的外形 .....      | 3-34 |
| 1.2 梁的截面形式 .....    | 3-34 |
| 1.3 梁的肋板设计 .....    | 3-35 |
| 1.4 焊接梁的拼接 .....    | 3-37 |
| 1.5 梁与梁的连接 .....    | 3-38 |
| 2 焊接柱 .....         | 3-38 |
| 2.1 柱的构造和截面形式 ..... | 3-38 |
| 2.2 柱的肋板设置 .....    | 3-39 |
| 2.3 柱头及柱与梁的连接 ..... | 3-40 |
| 2.4 柱脚设计 .....      | 3-40 |
| 3 焊接桁架 .....        | 3-41 |
| 3.1 桁架的形式 .....     | 3-41 |
| 3.2 桁架杆件的截面形式 ..... | 3-42 |
| 3.3 桁架节点设计 .....    | 3-42 |
| 4 焊接框架 .....        | 3-44 |
| 4.1 框架的类型 .....     | 3-44 |
| 4.2 焊接框架节点设计 .....  | 3-45 |



**第4章 机体的焊接结构**

1 切削机床的基础件 .....	3-47
1.1 提高机床基础件刚度的主要途径 .....	3-47
1.2 机床基础件尺寸的稳定性 .....	3-48
1.3 导轨 .....	3-48
1.4 机床基础件实例 .....	3-49
2 锻压设备焊接机身 .....	3-50
2.1 开式机身 .....	3-50
2.2 闭式整体式机身 .....	3-51
2.3 闭式组合式机身 .....	3-52
3 减速器箱体 .....	3-55
3.1 整体式箱体 .....	3-55
3.2 剖分式箱体 .....	3-56
4 电机机座 .....	3-57
4.1 卧式电机机座 .....	3-57
4.2 立式电机机座 .....	3-58
5 柴油机机座 .....	3-59

**第5章 旋转体的焊接结构**

1 轮式旋转体 .....	3-59
1.1 轮缘 .....	3-60
1.2 轮辐 .....	3-60
1.3 轮毂 .....	3-62
1.4 轮缘、轮辐和轮毂的连接 .....	3-62
1.5 轮式旋转体实例 .....	3-63
2 筒式旋转体 .....	3-64
2.1 筒身 .....	3-64
2.2 端盖 .....	3-64
2.3 筒身、端盖和轴颈的连接 .....	3-64
3 转子 .....	3-67
3.1 汽轮机、燃气轮机转子 .....	3-67
3.2 电机转子 .....	3-67
4 水轮机转轮 .....	3-69
4.1 整体式焊接转轮 .....	3-69

4.2 分瓣式焊接转轮 .....	3-71
5 其他旋转体 .....	3-71
5.1 转轴 .....	3-71
5.2 风机叶轮 .....	3-71
5.3 汽车轮心 .....	3-72

**第6章 压力容器的焊接结构**

1 概述 .....	3-72
2 压力容器常用结构形式 .....	3-73
2.1 圆柱形容器 .....	3-73
2.2 球形容器 .....	3-75
3 压力容器常用焊接接头设计 .....	3-75
3.1 设计要点 .....	3-75
3.2 容器壳体的对接接头设计 .....	3-79
3.3 平封头与筒体的焊接接头设计 .....	3-84
3.4 接管、凸缘、法兰与壳体的焊接接头设计 .....	3-84
3.5 管板与圆筒体的焊接接头设计 .....	3-89
3.6 管子与管板连接的接头设计 .....	3-92
4 支座与容器连接的结构设计 .....	3-94
4.1 悬挂式支座 .....	3-94
4.2 支爪式支座 .....	3-95
4.3 裙式支座 .....	3-95
4.4 鞍式支座 .....	3-96
4.5 柱式支承 .....	3-96
4.6 多层容器与支座的连接结构 .....	3-97

**第7章 薄壁焊接结构**

1 薄壁构件的断面形式及有关特征 .....	3-98
2 薄壁结构设计要点及连接 .....	3-98
2.1 薄壁结构设计要点 .....	3-98
2.2 薄壁构件的连接 .....	3-100
3 薄壁结构设计注意事项 .....	3-102
参考文献 .....	3-104

**第4篇 联接与紧固**

常用符号表

**第1章 螺 纹**

1 螺纹的基本术语和主要参数 .....	4-5
2 螺纹的主要类型、特点和应用 .....	4-6

3 螺纹的国家标准与国际标准 .....	4-8
4 普通螺纹 .....	4-8
4.1 基本牙型 .....	4-8
4.2 直径与螺距 .....	4-8
4.3 基本尺寸 .....	4-8





3 胀套联接 .....	4-85	4 铆钉材料和联接的许用应力 .....	4-89
<b>第6章 铆钉联接</b>			
1 铆缝的形式 .....	4-87	5 非铁金属或异性材料铆缝的结构参数 .....	4-90
2 钢结构铆缝的结构参数 .....	4-87	6 铆钉联接的特殊结构 .....	4-90
3 钢结构铆缝的设计 .....	4-88	7 铆接结构设计中应注意的问题 .....	4-90
3·1 构件受拉(压)的铆缝 .....	4-88	8 铆钉 .....	4-91
3·2 构件受力矩的铆缝 .....	4-89	参考文献 .....	4-92

## 第5篇 轴

常用符号表

### 第1章 概 论

1 轴的用途和分类 .....	5-5
2 轴的材料 .....	5-6

### 第2章 直 轴

1 轴的结构设计 .....	5-9
2 轴的强度计算 .....	5-10
2·1 按许用切应力计算 .....	5-11
2·2 按许用弯曲应力计算 .....	5-11
2·3 安全系数校核计算 .....	5-14
2·4 轴的强度计算举例 .....	5-19
3 轴的刚度计算 .....	5-22
3·1 轴的弯曲变形计算 .....	5-22
3·2 轴的扭转变形计算 .....	5-24
3·3 轴的刚度计算举例 .....	5-25
4 轴的临界转速计算 .....	5-27
4·1 不带圆盘的均匀质量轴的临界转速 .....	5-27
4·2 带圆盘的轴的临界转速 .....	5-28
4·3 轴的临界转速计算举例 .....	5-29

### 第3章 曲 轴

1 曲轴的结构设计 .....	5-30
1·1 曲轴的结构分类 .....	5-30
1·2 曲轴各部分的结构及设计 .....	5-30
1·3 各类曲轴的结构设计要点 .....	5-33
2 曲轴的强度计算 .....	5-33
2·1 曲轴的破坏形式 .....	5-33
2·2 曲轴的受力分析 .....	5-34
2·3 曲轴的强度校核 .....	5-37
2·4 曲轴强度计算举例 .....	5-38
2·5 提高曲轴强度的措施 .....	5-41

### 第4章 软 轴

1 软轴的类型和用途 .....	5-42
2 软轴的结构型式和规格 .....	5-42
2·1 钢丝软轴 .....	5-42
2·2 软管 .....	5-42
2·3 软轴接头 .....	5-43
2·4 软管接头 .....	5-44
3 软轴的选择和使用 .....	5-44
参考文献 .....	5-45

## 第6篇 联轴器、离合器、制动器

### 第1章 联 轴 器

1 联轴器的分类和选择 .....	6-3	2·1 套筒联轴器 .....	6-7
1·1 联轴器的选择 .....	6-3	2·2 凸缘联轴器 .....	6-8
1·2 联轴器轴孔和键槽形式及尺寸 .....	6-6	2·3 夹壳联轴器 .....	6-13
1·3 联轴器的型号及轴孔、键槽形式标记 .....	6-6	2·4 紧箍夹壳联轴器 .....	6-14
2 刚性联轴器 .....	6-7	3 无弹性元件挠性联轴器 .....	6-14
		3·1 齿式联轴器 .....	6-15
		3·2 链条联轴器 .....	6-20







3.2 设计计算 .....	6-108	8 制动器的发热验算 .....	6-121
4 内张蹄式制动器 .....	6-111	9 制动器的驱动装置 .....	6-125
4.1 结构形式 .....	6-111	9.1 制动电磁铁 .....	6-125
4.2 设计计算 .....	6-112	9.2 电力液压推动器 .....	6-125
5 带式制动器 .....	6-114	9.3 离心推动器 .....	6-127
5.1 结构形式 .....	6-114	9.4 滚动螺旋推动器 .....	6-127
5.2 设计计算 .....	6-115	9.5 气力驱动装置 .....	6-128
6 盘式制动器 .....	6-116	9.6 人力操纵机构 .....	6-128
6.1 结构形式 .....	6-116	10 摩擦材料 .....	6-129
6.2 设计计算 .....	6-119	10.1 摩擦材料的种类 .....	6-129
7 其他制动器和辅助装置 .....	6-121	10.2 摩擦材料的试验方法 .....	6-130
7.1 磁粉制动器 .....	6-121	10.3 摩擦副计算用数据 .....	6-130
7.2 磁流制动器 .....	6-121	参考文献 .....	6-131
7.3 摩擦块磨损间隙的自动补偿装置 .....	6-122		

## 第7篇 滑动轴承

### 常用符号表

### 第1章 概 论

1 滑动轴承的分类 .....	7-6	4.3 压力供油径向圆轴承的参数选择 .....	7-25
2 滑动轴承的选用 .....	7-7	4.4 供油槽型式及其尺寸 .....	7-27
2.1 滑动轴承的性能比较 .....	7-7	4.5 计算流程 .....	7-28
2.2 径向轴承的极限载荷与转速 .....	7-8	5 不完全油膜径向圆轴承 .....	7-30
2.3 止推轴承的极限载荷与转速 .....	7-8	5.1 轴承性能 .....	7-30
3 轴承设计 .....	7-9	5.2 不完全油膜径向圆轴承的参数选择 .....	7-32
3.1 轴承参数 .....	7-9	5.3 润滑剂 .....	7-32
3.2 轴承设计方法 .....	7-9	5.4 油槽型式 .....	7-33
4 轴承材料 .....	7-9	6 多楔径向轴承 .....	7-33
4.1 轴承材料应具备的工作特性 .....	7-9	6.1 多楔轴承的几何参数 .....	7-33
4.2 分类 .....	7-10	6.2 多楔轴承的参数选择 .....	7-33
		6.3 椭圆轴承 .....	7-35
		6.4 其他固定瓦多楔轴承承载能力的计 算 .....	7-39
		6.5 可倾瓦块多楔径向轴承 .....	7-42
		7 变载荷轴承的计算特点 .....	7-46
		7.1 挤压膜轴承 .....	7-46
		7.2 旋转载荷 .....	7-46
		7.3 一般情况下的变载荷轴承 .....	7-47
		8 止推轴承 .....	7-47
		8.1 止推轴承的参数选择 .....	7-47
		8.2 斜平面固定瓦止推轴承 .....	7-48
		8.3 阶梯面固定瓦止推轴承 .....	7-51
		8.4 可倾瓦块止推轴承 .....	7-51
		9 液体动压润滑轴承的轴瓦材料 .....	7-54

### 第2章 液体润滑动压轴承

1 油楔形成方法 .....	7-10
2 液体动压轴承的分类 .....	7-11
3 液体动压轴承的基本原理 .....	7-13
3.1 性能计算公式 .....	7-13
3.2 轴承的稳定性 .....	7-17
3.3 湍流的影响 .....	7-19
4 压力供油径向圆轴承 .....	7-19
4.1 稳态性能计算 .....	7-20
4.2 稳定性计算 .....	7-24



### 第3章 液体润滑静压轴承

- 1 静压轴承的分类 ..... 7-57
  - 1.1 静压轴承按供油系统的分类 ..... 7-57
  - 1.2 静压轴承按补偿器的分类 ..... 7-59
  - 1.3 静压轴承按轴承结构的分类 ..... 7-59
- 2 静压轴承的基本公式 ..... 7-60
  - 2.1 流量 ..... 7-60
  - 2.2 承载能力 ..... 7-62
  - 2.3 油膜刚度 ..... 7-62
  - 2.4 摩擦力和摩擦系数 ..... 7-63
  - 2.5 轴承功耗和润滑油温升 ..... 7-63
  - 2.6 润滑油粘度 ..... 7-63
- 3 静压轴承的参数选择 ..... 7-63
  - 3.1 宽径比(长宽比) ..... 7-63
  - 3.2 封油面宽度 ..... 7-64
  - 3.3 设计间隙 ..... 7-64
  - 3.4 供油压力 ..... 7-64
  - 3.5 压力比 ..... 7-64
- 4 单向油垫 ..... 7-64
  - 4.1 管式节流、小孔节流单向油垫 ..... 7-64
  - 4.2 定量泵、定量阀供油单向油垫 ..... 7-65
  - 4.3 薄膜反馈节流单向油垫 ..... 7-67
- 5 对向油垫 ..... 7-69
- 6 径向轴承 ..... 7-69
  - 6.1 垫式轴承 ..... 7-69
  - 6.2 腔式轴承 ..... 7-72
  - 6.3 腔式轴承和垫式轴承的比较 ..... 7-74
- 7 液体静压径向轴承的动态特性 ..... 7-75

### 第4章 动静压混合轴承

- 1 腔式径向轴承 ..... 7-78
- 2 无腔轴承 ..... 7-79
- 3 阶梯腔动静压混合轴承 ..... 7-81

### 第5章 自润滑轴承

- 1 自润滑轴承的分类 ..... 7-82
- 2 无润滑轴承 ..... 7-83
  - 2.1 无润滑轴承的材料与结构 ..... 7-83
  - 2.2 无润滑轴承参数的选择 ..... 7-87
  - 2.3 无润滑轴承的设计准则 ..... 7-89
  - 2.4 无润滑轴承的设计程序 ..... 7-90

2.5 单位面积载荷和速度的计算 ..... 7-90

- 3 含油轴承 ..... 7-91
  - 3.1 含油轴承的分类 ..... 7-91
  - 3.2 粉末冶金含油轴承 ..... 7-91
  - 3.3 其他金属含油轴承 ..... 7-94
  - 3.4 塑料含油轴承 ..... 7-94
- 4 固体润滑轴承 ..... 7-95
  - 4.1 覆膜轴承 ..... 7-96
  - 4.2 烧结轴承 ..... 7-96
  - 4.3 复合轴承 ..... 7-96
  - 4.4 镶嵌轴承 ..... 7-97

### 第6章 气体润滑轴承

- 1 气体动压轴承 ..... 7-97
  - 1.1 径向轴承 ..... 7-99
  - 1.2 止推轴承 ..... 7-103
  - 1.3 组合轴承 ..... 7-105
  - 1.4 轴承材料及其加工精度 ..... 7-109
- 2 气体静压轴承 ..... 7-110
  - 2.1 气体静压轴承的工作原理 ..... 7-111
  - 2.2 径向轴承 ..... 7-113
  - 2.3 止推轴承 ..... 7-117
  - 2.4 球面和锥面轴承 ..... 7-119
  - 2.5 气体静压轴承的动态特性 ..... 7-121
  - 2.6 轴承材料、加工精度及供气装置 ..... 7-122
- 3 压膜轴承 ..... 7-123
  - 3.1 平面压膜轴承 ..... 7-124
  - 3.2 柱面压膜径向轴承 ..... 7-125
  - 3.3 球面压膜轴承 ..... 7-127
  - 3.4 锥面压膜轴承 ..... 7-128
  - 3.5 轴承材料及换能器设计 ..... 7-129
- 4 气体混合润滑轴承 ..... 7-130
  - 4.1 概述 ..... 7-130
  - 4.2 孔式供气动静压轴承 ..... 7-131
  - 4.3 缝式供气动静压轴承 ..... 7-132
  - 4.4 多孔质动静压轴承 ..... 7-134
  - 4.5 小孔浅腔动静压轴承 ..... 7-134
  - 4.6 气体混合润滑轴承的应用 ..... 7-135

### 第7章 流体润滑多孔质轴承

- 1 流体润滑多孔质轴承的结构特点与分类 ..... 7-136



2 流体润滑多孔质轴承的基本原理	7-136
2.1 多孔质材料的透气性	7-136
2.2 压力分布方程	7-137
3 气体多孔质静压轴承	7-137
3.1 气体多孔质静压轴承的设计步骤	7-138
3.2 止推轴承的性能	7-138
3.3 径向轴承的性能	7-140
3.4 球面和锥面轴承	7-142
4 气体多孔质动静压轴承	7-143
4.1 气体多孔质动静压轴承的基本方程	7-143
4.2 气体多孔质动静压轴承的特性曲线	7-143
5 轴承材料及加工方法	7-145
5.1 多孔质材料及其主要性能	7-145
5.2 加工方法	7-146

### 第8章 浮环轴承

1 浮环轴承的特点与分类	7-147
2 动压气体浮环轴承	7-147
3 静压气体浮环轴承	7-148
4 动静压混合气体浮环轴承	7-149

### 第9章 箔轴承

1 拉伸型箔轴承	7-151
1.1 单叶动压箔轴承	7-151
1.2 单叶静压箔轴承	7-153
1.3 三叶动压箔轴承	7-156

2 弯曲型箔轴承	7-157
2.1 波箔轴承	7-157
2.2 柔性支承箔轴承	7-165
3 悬臂型箔轴承	7-168
3.1 径向轴承	7-168
3.2 止推轴承	7-169

### 第10章 电磁轴承

1 静电轴承	7-170
1.1 静电轴承的基本原理	7-170
1.2 静电轴承的分类	7-170
1.3 静电轴承的常用材料与结构参数	7-170
1.4 静电轴承的设计与计算	7-170
1.5 应用举例 - 静电轴承陀螺仪	7-170
2 磁力轴承	7-173
2.1 磁力轴承的分类与应用	7-173
2.2 磁力轴承的性能计算	7-176
2.3 磁力轴承的材料	7-178

### 第11章 滑动轴承试验

1 滑动轴承试验的分类	7-178
2 滑动轴承试验设备	7-179
3 试验轴承的配置	7-180
4 试验机的组成	7-180
5 试验轴承	7-182
参考文献	7-182

## 第8篇 滚动轴承

#### 常用符号表

### 第1章 概 论

1 滚动轴承特性	8-5
2 滚动轴承的类型与结构	8-6
3 滚动轴承代号	8-9
3.1 滚动轴承基本代号	8-9
3.2 滚动轴承前置、后置代号	8-9

### 第2章 滚动轴承的使用性能

1 精度	8-11
2 游隙	8-15
3 摩擦力矩	8-20
4 速度性能	8-23

5 调心性能	8-23
6 刚度和预紧	8-24
6.1 刚度	8-24
6.2 预紧	8-24
7 振动和噪声	8-26
8 圆柱滚子轴承的轴向承载能力	8-28
9 推力轴承的最小轴向载荷	8-28
10 润滑	8-29
10.1 脂润滑	8-29
10.2 油润滑	8-29
11 密封与清洁度	8-31
11.1 密封	8-31
11.2 清洁度	8-31



### 第3章 滚动轴承的承载能力与寿命

1 额定静载荷与当量静载荷	8-32
1.1 额定静载荷	8-32
1.2 当量静载荷	8-32
1.3 按静载荷选择轴承	8-32
2 额定寿命	8-32
3 额定动载荷与当量动载荷	8-33
3.1 基本额定动载荷	8-33
3.2 当量动载荷	8-33
4 可靠性	8-36
5 寿命计算方法及其发展	8-36
5.1 寿命计算公式	8-36
5.2 寿命计算公式的修正	8-40
5.3 寿命计算方法的发展	8-40
5.4 磨损寿命估算	8-41

### 第4章 滚动轴承部件设计

1 概述	8-42
2 轴承配置	8-42
3 轴承配合	8-45
4 安装和紧固	8-50
4.1 轴承安装	8-50
4.2 轴承紧固	8-51
5 结构举例	8-52

### 第5章 典型主机用轴承

1 汽车轴承	8-53
1.1 前轮毂轴承	8-53
1.2 变速箱轴承	8-54
1.3 离合器轴承	8-54
2 铁路车辆轴承	8-55
2.1 铁路车辆轴承的结构型式	8-55
2.2 车辆轴承的基本要求	8-55
2.3 车辆轴承的润滑与密封	8-56
3 轧机轴承	8-56
3.1 轧机轴承的结构型式	8-56
3.2 初轧机轴承	8-56
3.3 线材轧机轴承	8-57
3.4 带材热轧机轴承	8-57
3.5 轧机轴承密封	8-57
4 航空发动机轴承	8-58

4.1 航空发动机主轴轴承的特殊技术要求	8-59
4.2 航空发动机主轴轴承的结构类型	8-59
4.3 航空发动机主轴轴承的润滑	8-60
5 机床轴承	8-60
5.1 常用机床主轴轴承及其公差等级	8-60
5.2 机床主轴轴承的配合	8-60
5.3 机床主轴轴承的典型应用	8-61
6 精密仪器轴承	8-62
6.1 仪器轴承结构类型及应用特点	8-62
6.2 陀螺转子轴承	8-63
7 电机轴承	8-64
7.1 电机轴承主要类型及特点	8-64
7.2 三相交流电机轴承	8-64
7.3 电力机车牵引电机轴承	8-65
7.4 矿用风机轴承	8-65
8 机器人轴承	8-65
8.1 机器人轴承的应用特点	8-65
8.2 机器人常用轴承	8-66
8.3 机器人轴承典型应用	8-66
9 转盘轴承	8-67
9.1 转盘轴承的特点	8-67
9.2 转盘轴承的结构型式	8-67
9.3 转盘轴承的选用	8-68
9.4 转盘轴承典型应用	8-68

### 第6章 特殊工作条件下的轴承

1 高速轴承	8-70
2 高温轴承	8-71
3 低温轴承	8-71
4 真空轴承	8-71
5 无磁轴承	8-71
6 耐腐蚀轴承	8-72

### 第7章 滚动轴承的失效与诊断

1 滚动轴承主要失效形式	8-72
2 滚动轴承故障监测方法	8-74
2.1 振动信号监测法	8-74
2.2 其他监测法	8-75
3 滚动轴承的失效分析与诊断	8-76
3.1 失效分析与诊断的思路	8-76
3.2 失效分析技术	8-76



## 第 8 章 滚动轴承基本类型参数表

1 深沟球轴承 .....	8-78	5.1 滚针轴承 .....	8-96
2 调心球轴承 .....	8-84	5.2 滚针和保持架组件 .....	8-98
3 角接触球轴承 .....	8-87	6 圆柱滚子轴承 .....	8-100
4 推力球轴承 .....	8-92	7 调心滚子轴承 .....	8-103
5 滚针轴承 .....	8-96	8 圆锥滚子轴承 .....	8-105
		9 推力调心滚子轴承 .....	8-109
		参考文献 .....	8-111

## 第 9 篇 箱体、导轨

## 第 1 章 箱 体

1 概述 .....	9-3
1.1 箱体的功能及分类 .....	9-3
1.2 箱体设计的主要问题及设计要求 .....	9-3
1.3 箱体的设计方法 .....	9-4
2 箱体的结构设计 .....	9-4
2.1 箱体结构方案分析 .....	9-4
2.2 箱体的毛坯、材料和热处理 .....	9-5
2.3 箱体结构参数选择 .....	9-5
2.4 箱体的联接与固定 .....	9-9
2.5 箱体的结构工艺性 .....	9-10
2.6 提高箱体强度、刚度和减少热变形的措施 .....	9-11
3 箱体的设计计算 .....	9-12
3.1 箱体设计计算的一般原则 .....	9-12
3.2 箱体的强度计算 .....	9-13
3.3 齿轮减速器箱座的刚度计算 .....	9-15
3.4 机床主轴箱的刚度计算 .....	9-16
3.5 箱体截面几何形状及壁厚设计 .....	9-18
3.6 箱体的计算机辅助设计 (CAD) .....	9-19
4 箱体的实验 .....	9-20

## 第 2 章 导 轨

1 概述 .....	9-21	2 滑动导轨设计 .....	9-22
1.1 导轨的功用和导向原理 .....	9-21	2.1 滑动导轨的结构型式及其选择 .....	9-22
1.2 设计导轨的基本要求 .....	9-22	2.2 滑动导轨间隙的调整 .....	9-27
1.3 常用导轨的类型及其技术特性 .....	9-22	2.3 滑动导轨的设计计算 .....	9-28
		2.4 滑动导轨的材料 .....	9-31
		2.5 几种特殊的滑动导轨 .....	9-33
		2.6 静压导轨设计 .....	9-35
		2.7 液体动压导轨 .....	9-38
		2.8 滑动导轨的主要技术要求和典型结构 .....	9-38
		3 滚动导轨设计 .....	9-42
		3.1 滚动导轨的结构型式 .....	9-42
		3.2 滚动导轨的预紧 .....	9-42
		3.3 滚动导轨的设计计算 .....	9-43
		3.4 直线滚动导轨副的工作原理和特点 .....	9-48
		3.5 滚动导轨支承和滚动导套 .....	9-51
		3.6 滚轮 .....	9-51
		3.7 典型结构图 .....	9-52
		4 导轨的润滑与防护装置 .....	9-52
		4.1 导轨的供油方式和润滑油的选择 .....	9-52
		4.2 滑动导轨润滑油槽的型式 .....	9-54
		4.3 设计导轨润滑装置注意事项 .....	9-55
		5 其他导轨设计 .....	9-56
		5.1 滚动-粘塑-镶钢复合式导轨 .....	9-56
		5.2 弹簧导轨 .....	9-56
		5.3 磁浮导轨 .....	9-57
		参考文献 .....	9-57



## 第 10 篇 弹簧、飞轮

## 弹簧常用符号表

## 第 1 章 弹簧概论

1 弹簧的类型及其特性 .....	10-5
2 弹簧设计的基本概念 .....	10-7
2.1 弹簧的特性和刚度 .....	10-7
2.2 弹簧的变形能 .....	10-7
2.3 弹簧的共振 .....	10-8
3 弹簧材料和许用应力 .....	10-8
3.1 弹簧材料的分类、性能和应用 .....	10-8
3.2 弹簧材料的选择 .....	10-15
3.3 弹簧的许用应力 .....	10-17

## 第 2 章 螺旋弹簧

1 圆柱压缩螺旋弹簧的设计 .....	10-17
1.1 圆柱压缩螺旋弹簧的结构设计 .....	10-17
1.2 圆柱压缩螺旋弹簧的设计计算公式 .....	10-20
1.3 圆柱压缩螺旋弹簧的强度校核 .....	10-22
1.4 圆柱压缩螺旋弹簧的稳定性验算 .....	10-23
1.5 圆柱压缩螺旋弹簧的设计计算方法 .....	10-24
1.6 大螺旋角弹簧的设计计算 .....	10-27
1.7 弹簧承受冲击载荷时的计算 .....	10-28
1.8 弹簧承受振动载荷时的计算 .....	10-28
1.9 强压(拉)处理螺旋弹簧的设计 计算 .....	10-30
1.10 径向特性计算 .....	10-30
1.11 组合螺旋弹簧的计算 .....	10-32
1.12 变节距压缩螺旋弹簧的计算 .....	10-33
2 圆柱拉伸螺旋弹簧的设计 .....	10-34
2.1 圆柱拉伸螺旋弹簧的结构设计 .....	10-34
2.2 圆柱拉伸螺旋弹簧的设计计算 .....	10-36
3 圆柱扭转螺旋弹簧的设计 .....	10-37
3.1 圆柱扭转螺旋弹簧的结构设计 .....	10-37
3.2 圆柱扭转螺旋弹簧的设计计算 .....	10-39
4 圆柱螺旋弹簧的许用应力 .....	10-41
5 圆锥螺旋弹簧的设计 .....	10-42
5.1 弹簧的特性 .....	10-42
5.2 弹簧的变形和强度计算 .....	10-43
6 涡卷螺旋弹簧的设计 .....	10-45

## 第 3 章 板 弹 簧

1 板弹簧的类型和用途 .....	10-46
2 板弹簧的结构 .....	10-47
2.1 弹簧钢板的截面形状 .....	10-47
2.2 主板端部结构 .....	10-47
2.3 副板端部结构 .....	10-48
2.4 板弹簧的固定结构 .....	10-48
3 单板弹簧的计算 .....	10-49
4 多板弹簧的计算 .....	10-50
4.1 多板弹簧主要尺寸和参数的计算 .....	10-50
4.2 各板片工作应力和在自由状态下曲率 半径的计算 .....	10-53
5 变刚度和变截面板弹簧的计算 .....	10-57
5.1 变刚度板弹簧的计算 .....	10-57
5.2 变截面板弹簧的计算 .....	10-58
6 板弹簧的材料、强化技术、许用应力 和试验 .....	10-58
6.1 板弹簧的材料与强化技术 .....	10-58
6.2 板弹簧的许用应力 .....	10-59
6.3 板弹簧的试验 .....	10-59

## 第 4 章 其他形状的金属弹簧

1 扭杆弹簧 .....	10-60
1.1 扭杆弹簧的计算载荷 .....	10-60
1.2 扭杆的设计计算 .....	10-62
1.3 扭杆的端部结构和有效工作长度 .....	10-62
1.4 扭杆弹簧的材料和许用应力 .....	10-63
1.5 扭杆弹簧的技术要求 .....	10-64
2 碟形弹簧 .....	10-65
2.1 碟形弹簧的结构、特点和用途 .....	10-65
2.2 碟形弹簧的设计计算 .....	10-66
2.3 碟形弹簧的参数选择和设计要点 .....	10-68
2.4 碟形弹簧的材料、强度校核和技术 要求 .....	10-69
3 环形弹簧 .....	10-70
3.1 环形弹簧的结构、特性和用途 .....	10-70
3.2 环形弹簧的设计计算 .....	10-71
3.3 环形弹簧的材料、许用应力和技术	



要求 .....	10-73
4 片弹簧 .....	10-73
1.1 片弹簧的结构 .....	10-73
1.2 片弹簧的设计计算 .....	10-73
1.3 片弹簧的材料和许用应力 .....	10-77
5 平面涡卷弹簧 .....	10-77
5.1 非接触型平面涡卷弹簧的设计计算 .....	10-78
5.2 接触型平面涡卷弹簧 .....	10-79
5.3 平面涡卷弹簧的材料和许用应力 .....	10-81

### 第 5 章 空气弹簧和橡胶弹簧

1 空气弹簧 .....	10-82
1.1 空气弹簧的结构 .....	10-82
1.2 空气弹簧的刚度计算 .....	10-83
1.3 空气弹簧的减振阻尼 .....	10-86
1.4 空气弹簧的高度控制 .....	10-87
2 橡胶弹簧 .....	10-87
2.1 橡胶弹簧的变形计算 .....	10-88
2.2 橡胶弹簧的静刚度计算 .....	10-88

2.3 橡胶弹簧的动刚度计算 .....	10-91
2.4 橡胶弹簧的疲劳强度 .....	10-91

### 第 6 章 飞 轮

1 飞轮的计算 .....	10-92
1.1 等效力矩和等效转动惯量 .....	10-92
1.2 最大盈亏功的计算 .....	10-92
1.3 飞轮转动惯量的计算 .....	10-93
2 飞轮的结构设计 .....	10-94
2.1 飞轮的基本结构型式 .....	10-94
2.2 飞轮主要尺寸的确定 .....	10-95
2.3 飞轮轮缘线速度的校核 .....	10-95
2.4 飞轮转动惯量的校核 .....	10-95
2.5 飞轮的温度校核 .....	10-95
2.6 飞轮的振摆与静平衡 .....	10-96
2.7 飞轮的过载保护装置 .....	10-96
2.8 飞轮的新材料与新型结构 .....	10-97
参考文献 .....	10-98

## 第 11 篇 密 封

### 常用符号表

#### 第 1 章 概 论

1 密封机理与分类 .....	11-5
2 密封力与卸荷 .....	11-6
3 追随性与卡滞 .....	11-7
4 密封能力 .....	11-7
5 漏泄 .....	11-9
6 摩擦 .....	11-9
7 磨损 .....	11-9
8 润滑 .....	11-9
9 密封系统 .....	11-9
9.1 密封剂与隔离腔 .....	11-9
9.2 润滑 .....	11-10
9.3 冷却与冲洗 .....	11-10
10 经济分析 .....	11-11

#### 第 2 章 静 密 封

1 螺栓法兰联接密封 .....	11-13
------------------	-------

1.1 法兰 .....	11-13
1.2 密封垫片 .....	11-13
1.3 螺栓力计算 .....	11-16
2 管道联接密封 .....	11-16
3 高压容器密封 .....	11-17
3.1 金属平垫密封 .....	11-18
3.2 双锥密封 .....	11-19
3.3 八角垫和椭圆垫密封 .....	11-20
4 金属空心 O 形环密封 .....	11-20
4.1 设计计算要点 .....	11-21
4.2 O 形环的制作和充气方法 .....	11-21
5 中分面密封 .....	11-21
5.1 中分面 .....	11-21
5.2 螺栓力 .....	11-22
6 特殊工况静密封 .....	11-22
6.1 高温静密封 .....	11-22
6.2 低温静密封 .....	11-22
6.3 真空静密封 .....	11-22



**第3章 弹塑性体接触动密封**

1 软填料密封 ..... 11-23

1.1 软填料及其应用 ..... 11-23

1.2 填料箱 ..... 11-29

1.3 软填料密封计算 ..... 11-30

2 柔性石墨密封 ..... 11-31

2.1 密封机理 ..... 11-31

2.2 柔性石墨的性能与制品 ..... 11-31

2.3 柔性石墨密封的使用要求 ..... 11-33

3 成型填料密封 ..... 11-34

3.1 橡胶挤压型密封圈 ..... 11-34

3.2 橡胶唇型密封圈 ..... 11-37

3.3 橡胶组合式密封圈 ..... 11-40

3.4 同轴密封圈 ..... 11-41

3.5 塑料密封圈 ..... 11-41

3.6 皮革密封圈 ..... 11-42

4 油封 ..... 11-43

4.1 油封类型 ..... 11-43

4.2 油封性能与结构参数 ..... 11-45

4.3 标准型油封 ..... 11-47

4.4 油封安装结构 ..... 11-47

4.5 动力型油封 ..... 11-48

**第4章 非弹性体接触动密封**

1 机械密封 ..... 11-49

1.1 机械密封类型 ..... 11-49

1.2 机械密封标准或系列制品 ..... 11-50

1.3 机械密封设计计算 ..... 11-54

1.4 机械密封材料 ..... 11-57

1.5 机械密封应用 ..... 11-58

1.6 非接触型机械密封 ..... 11-62

2 硬填料密封 ..... 11-63

2.1 硬填料密封环结构形式 ..... 11-64

2.2 硬填料密封组 ..... 11-65

2.3 硬填料密封计算 ..... 11-67

3 活塞环 ..... 11-68

3.1 活塞环工作原理 ..... 11-68

3.2 活塞环组的环数与尺寸 ..... 11-69

3.3 活塞环径向力 ..... 11-69

3.4 活塞环应力 ..... 11-70

3.5 活塞环截面形状 ..... 11-70

3.6 活塞环材料与表面处理 ..... 11-71

4 无油润滑活塞环 ..... 11-71

4.1 无油润滑活塞环使用特点 ..... 11-71

4.2 无油润滑活塞环的磨损与寿命 ..... 11-72

5 涨圈密封 ..... 11-72

5.1 涨圈转动的危害 ..... 11-72

5.2 涨圈防转条件 ..... 11-72

5.3 涨圈卸荷 ..... 11-73

**第5章 流阻型非接触动密封**

1 浮动环密封 ..... 11-74

1.1 浮动环结构类型 ..... 11-74

1.2 浮动环设计要点 ..... 11-76

1.3 浮动环技术要求 ..... 11-76

1.4 浮动环密封计算 ..... 11-78

2 无油浮动环密封 ..... 11-79

2.1 无油浮动环典型结构 ..... 11-79

2.2 无油浮动环设计要求 ..... 11-79

2.3 无油浮动环漏泄量计算 ..... 11-80

3 固定环密封 ..... 11-80

3.1 离心压缩机用固定环密封 ..... 11-80

3.2 液压元件用固定环密封 ..... 11-80

3.3 离心泵口环 ..... 11-81

3.4 喷油泵研合密封 ..... 11-81

4 背压套筒密封 ..... 11-81

5 迷宫密封 ..... 11-82

5.1 迷宫密封工作原理 ..... 11-82

5.2 迷宫密封计算公式 ..... 11-83

5.3 迷宫密封结构形式 ..... 11-85

**第6章 动力型非接触动密封**

1 离心密封 ..... 11-88

1.1 离心密封结构 ..... 11-88

1.2 离心密封承压能力 ..... 11-88

1.3 离心密封功率消耗 ..... 11-89

2 螺旋密封 ..... 11-89

2.1 层流工况密封压差与功率消耗 ..... 11-90

2.2 湍流工况密封压差 ..... 11-90

2.3 螺旋几何参数选择 ..... 11-91

2.4 封液选择 ..... 11-91

3 螺旋迷宫密封 ..... 11-91

4 停车密封 ..... 11-92





- 4.1 自解脱式停车密封 ..... 11-92  
4.2 外操纵式停车密封 ..... 11-93

### 第7章 胶粘型密封

- 1 密封胶 ..... 11-94  
1.1 密封胶分类 ..... 11-94  
1.2 密封胶主要品牌 ..... 11-94  
1.3 应用 ..... 11-99  
2 无压堵漏 ..... 11-100  
2.1 特性与选用 ..... 11-100  
2.2 主要牌号 ..... 11-101  
2.3 应用 ..... 11-102  
3 带压堵漏 ..... 11-102  
3.1 带压堵漏原理 ..... 11-102  
3.2 带压堵漏工具 ..... 11-102  
3.3 堵漏方法 ..... 11-102  
3.4 卡具设计 ..... 11-104  
3.5 密封剂 ..... 11-105  
4 磁流体密封 ..... 11-105  
4.1 磁流体 ..... 11-105  
4.2 磁流体密封结构 ..... 11-106  
4.3 磁流体密封性能 ..... 11-106

### 第8章 密封循环保护系统

- 1 基本作用与功能 ..... 11-107  
2 机械密封系统 ..... 11-108  
2.1 润滑、冲洗和冷却 ..... 11-108  
2.2 系统热平衡 ..... 11-109  
2.3 系统流程 ..... 11-109  
2.4 系统器件 ..... 11-112  
3 浮环密封系统 ..... 11-113  
3.1 封油系统流程 ..... 11-113  
3.2 封油系统主要设备 ..... 11-114  
3.3 主要参数确定 ..... 11-114  
3.4 封油系统设备技术要求 ..... 11-115  
4 迷宫密封系统 ..... 11-117  
4.1 开式迷宫密封系统 ..... 11-117  
4.2 闭式迷宫密封系统 ..... 11-117  
4.3 自给式迷宫密封系统 ..... 11-117

- 4.4 化工介质迷宫密封系统 ..... 11-119

### 第9章 防尘、组合与全封闭密封

- 1 防尘密封 ..... 11-119  
1.1 旋转型防尘密封 ..... 11-119  
1.2 往复型防尘密封 ..... 11-124  
1.3 全封闭型防尘密封 ..... 11-125  
2 组合密封 ..... 11-125  
2.1 多级串联 ..... 11-125  
2.2 降压与阻漏结合 ..... 11-126  
2.3 分解处理 ..... 11-126  
2.4 防尘密封与主密封组合 ..... 11-126  
3 全封闭密封 ..... 11-127  
3.1 整机屏蔽 ..... 11-127  
3.2 屏蔽电机 ..... 11-127  
3.3 屏蔽电磁联轴器 ..... 11-128  
3.4 屏蔽电磁铁 ..... 11-128  
3.5 隔膜及波纹管传能 ..... 11-128  
4 橡胶密封条 ..... 11-129  
5 密封焊 ..... 11-130

### 第10章 密封材料


- 1 石棉 ..... 11-131  
2 皮革 ..... 11-132  
3 毛毡 ..... 11-133  
4 人造纤维 ..... 11-133  
5 纸板 ..... 11-133  
6 橡胶 ..... 11-133  
7 塑料与树脂 ..... 11-135  
8 碳素材料 ..... 11-137  
9 工程陶瓷 ..... 11-139  
10 微晶玻璃与硅化石墨 ..... 11-140  
11 硬质合金 ..... 11-141  
12 堆焊硬合金 ..... 11-142  
13 喷焊与喷涂粉末 ..... 11-142  
14 铸铁 ..... 11-143  
15 钢与有色金属 ..... 11-144  
参考文献 ..... 11-145

## 索 引



# CONTENTS

## Part 1 Drawings and Tolerances



**Chapter 1 Mechanical Drawings**

1	Basic Rules .....	1-3
1.1	Size and Layout of Drawing Sheets .....	1-3
1.2	Scales .....	1-5
1.3	Orthogonal Projection Method .....	1-5
1.4	Lines-Types and Applications .....	1-7
1.5	Symbols for Sections .....	1-10
2	Kinematic Diagrams .....	1-12
2.1	Graphical Symbols .....	1-12
2.2	Examples .....	1-18
3	Assembly Drawings .....	1-20
3.1	Graphical Expressions and Simplified Representations .....	1-26
3.2	Dimensioning .....	1-22
3.3	Item References and Its Arrangement .....	1-23
4	Detail Drawings .....	1-23
4.1	Representations for Constructions of Parts .....	1-23
4.2	Simplified Representations .....	1-23
4.3	Dimensioning .....	1-26
4.4	Technical Requirements .....	1-32
4.5	Conventional Representations of Commonly-Used Parts .....	1-32
5	Structure Drawings and Weldment Drawings .....	1-38
5.1	Representations of Structural Metal Work .....	1-38
5.2	Representations of Weldment Drawings .....	1-40
6	Developed Drawings for Curved	

Surfaces .....		1-46
6.1	Development of Developable Surfaces .....	1-46
6.2	Approximate Development of Undevelopable Surfaces .....	1-51
7	Computer Graphics .....	1-53
7.1	Brief Introduction .....	1-53
7.2	Generation of Graphic Elements .....	1-54
7.3	Geometrical Calculations in Common Use .....	1-55
7.4	Graphic Transformations .....	1-57
7.5	Graphic Software Standards .....	1-62
7.6	Engineering Drawings .....	1-63

### Chapter 2 Limits and Fits

1	Terminologies .....	1-64
2	Main Contents of Limits and Fits and Their Applications .....	1-67
2.1	Standard Tolerances .....	1-67
2.2	Fundamental Deviation .....	1-69
2.3	Tolerance Zones and Fits for Holes and Shafts .....	1-76
2.4	Selection of Tolerances and Fits .....	1-81
2.5	Brief Introduction to Matched Fits .....	1-88
3	Inspection of Workpieces .....	1-89
3.1	General Rules .....	1-89
3.2	Plain Limit Gauges .....	1-90
3.3	Inspection of Plain Workpiece Sizes .....	1-93
4	Cone Tolerances and Cone Fits .....	1-96
4.1	Series of Conical Tapers and Taper Angles .....	1-96



- 4.2 Cone Tolerance System ..... 1-98  
 4.3 Cone Fit System ..... 1-102

### Chapter 3 Form and Position Tolerances

- 1 Basic Terms ..... 1-111  
 2 Symbols and Designations ..... 1-112  
 2.1 Nomenclature and Symbols ..... 1-112  
 2.2 Designations ..... 1-115  
 3 Form Tolerances ..... 1-119  
 4 Position Tolerances ..... 1-122  
 5 Tolerance Designations for Non-Rigid Parts ..... 1-129  
 6 Data and Applications ..... 1-130  
 6.1 Data and 3-Plane Datum Systems ..... 1-130  
 6.2 Data Representation ..... 1-131  
 6.3 Selections and Applications of Data ..... 1-132  
 7 Tolerancing Principles and Applications ..... 1-133  
 7.1 Basic Conceptions ..... 1-133  
 7.2 Principle of Independence ..... 1-134  
 7.3 Principle of Envelope ..... 1-134  
 7.4 Maximum Material Principle ..... 1-135  
 7.5 Least Material Principle ..... 1-136  
 7.6 Characteristics and Applications of Principles ..... 1-137  
 8 Relationships among Tolerances of Dimension, Form and Position ..... 1-138  
 8.1 Form Dimension and Form Control ..... 1-138  
 8.2 Location Dimension, Orientation and Position Control ..... 1-138  
 8.3 Relationship between Form and Position Tolerances ..... 1-139  
 9 Tolerances of Centre Distances of Holes ..... 1-139  
 9.1 Symbols ..... 1-139  
 9.2 Control of Hole Centre Distances by Dimension Tolerances ..... 1-140  
 9.3 Control of Hole Centre Distances by

- Position Tolerances ..... 1-142  
 9.4 Conversion between Dimension Deviation Values and Position Tolerance Values ..... 1-144

- 10 Selection of Form and Position Tolerances ..... 1-145  
 10.1 Selection of Tolerance Items ..... 1-145  
 10.2 Selection of Tolerance Values ..... 1-145  
 10.3 Form and Position Tolerances without Designation ..... 1-146

### Chapter 4 Surface Roughness and Surface Waviness

- 1 Basic Conceptions and Terminologies of Surface Roughness ..... 1-146  
 1.1 Surfaces and Profiles ..... 1-146  
 1.2 Evaluation References ..... 1-147  
 1.3 Surface Microgeometrical Characteristics ..... 1-148  
 2 Parameters of Surface Roughness ..... 1-149  
 2.1 Parameters Related to Height Characteristics ..... 1-149  
 2.2 Parameters Related to Spacing Characteristics ..... 1-150  
 2.3 Parameters Related to Form Characteristics ..... 1-150  
 3 Evaluation Parameters and Standard Value-Series ..... 1-151  
 3.1 Evaluation Parameters and Their Values ..... 1-151  
 3.2 Appendant Evaluation Parameters and Their Values ..... 1-151  
 3.3 General Rules for Evaluating Surface Roughness ..... 1-152  
 3.4 Selection of Sampling Lengths and Evaluation Lengths ..... 1-152  
 4 Designation for Surface Roughness ..... 1-152  
 5 Selection of Evaluation Parameters and Their Values ..... 1-155  
 5.1 General Principles ..... 1-155



5.2 Selection of Evaluation Parameter Values .....	1-155	Machineries or Parts .....	1-172
6 Three Dimensional Evaluation of Surface Roughness .....	1-166	2.3 Based on Orientation Characteristics of Links .....	1-173
7 Surface Waviness .....	1-167	2.4 Based on Link Positions in Space .....	1-173
7.1 Characteristics of Surface Waviness .....	1-167	3 Analysis and Calculation of Dimensional Chains .....	1-173
7.2 Waviness of Grinding Surfaces .....	1-167	3.1 Parameters and Significance .....	1-174
7.3 Terminologies of Surface Waviness According to American Standard (ANSI/ASMEB 46.1-1985) .....	1-169	3.2 Calculation Formulas .....	1-175
7.4 Standardization Pursued by ISO in Relation to Waviness .....	1-169	3.3 Methods for Meeting Requirements of Assembly Dimensional Chains .....	1-176
<b>Chapter 5 Dimensional Chains</b>			
1 Brief Introduction .....	1-170	3.4 Calculation Sequence of Assembly-Dimension Chains .....	1-177
1.1 Significance and Characteristics of Dimensional Chains .....	1-170	3.5 Selection of Coefficients $\epsilon$ and $k$ .....	1-178
1.2 Terms and Definitions of Dimensional Chains .....	1-170	4 Calculation of Dimensional Chains .....	1-178
1.3 Designations of Dimensional Chains .....	1-171	4.1 Analysis and Calculation of Basic Dimensions .....	1-178
1.4 Functions of Dimensional Chains .....	1-172	4.2 Tolerance Design Calculation .....	1-178
2 Classification of Dimensional Chains .....	172	4.3 Tolerance Check-Analysis .....	1-181
2.1 Based on Quantitative Characteristics of Links .....	1-172	5 Application of Statistical Dimension Tolerances in Calculation of Dimensional Chains .....	1-183
2.2 Based on Distributions of Links in		5.1 Minimum Requirements for Probability Distributions of Actual Dimensions .....	1-184
		5.2 Calculation of Statistical Tolerances of Closed Links .....	1-184
		5.3 Examples of Applications .....	1-185
		References .....	1-188

## Part 2 Technological Appropriateness of Machine Parts and Assemblies

### Chapter 1 Introduction

1 Conception of Technological Appropriateness .....	2-3
2 Basic Requirements of Technological Appropriateness on Design of Integral Machines .....	2-4
3 Evaluation of Technological Appropriateness .....	2-4

3.1 Evaluation Range and Principles of Technological Appropriateness .....	2-4
3.2 Procedure and Methods of Evaluation of Technological Appropriateness .....	2-4

### Chapter 2 Technological Appropriateness of Castings

1 Constructional Essentials and Applica-
--



tions of Common Alloy Castings .....	2-5
2 Constructional Elements of Castings .....	2-6
2-1 Minimum Wall Thickness .....	2-6
2-2 Connection and Transition of Casting Walls .....	2-7
2-3 Gills .....	2-12
2-4 Transitional Taper of Flanges .....	2-12
2-5 Casting Taper .....	2-12
3 Casting Design and Foundry Technology .....	2-15
4 Casting Design and Casting Defects .....	2-19
5 Design of Lost-Wax Castings .....	2-23
6 Design of Die-Castings .....	2-25
6-1 Design Principles .....	2-25
6-2 Basic Parameters .....	2-25
6-3 Inserts .....	2-26

### Chapter 3 Technological Appropriateness of Forgings

1 Specific Requirements of Various Forging Methods on Forms of Forgings .....	2-27
2 Influence of Materials on Forms of Forgings .....	2-28
3 Design of Forgings .....	2-29
3-1 Design of Open-Die Hammer and Press Forgings .....	2-29
3-2 Design of Closed-Die Forgings .....	2-29
3-3 Design Features of Semi-Closed-Die Forgings .....	2-31
3-4 Design Principles of Upsetting Machine Forgings .....	2-32
4 Constructional Elements of Closed-Die-Forgings .....	2-34
4-1 Die Forging Taper .....	2-34
4-2 Corner Radius .....	2-34
4-3 Thickness of Gilled Plates .....	2-35
4-4 H/B Ratio of Gills .....	2-36
4-5 Indenting .....	2-36

5 Influence of Die-Forging Forms on Forging Defects .....	2-37
---	------

### Chapter 4 Technological Appropriateness of Stampings

1 Selection of Materials for Stampings .....	2-38
1-1 Principles of Material Selection .....	2-38
1-2 Requirements on Selected Materials .....	2-39
2 Dimensional Precision of Stampings .....	2-39
2-1 Blanking .....	2-39
2-2 Bending .....	2-41
2-3 Drawing .....	2-42
2-4 Other Form-Stamping .....	2-42
3 Constructional Elements of Stampings .....	2-43
3-1 Blanking .....	2-43
3-2 Bending .....	2-44
3-3 Form Stampings .....	2-45
4 Designs Examples of Stampings .....	2-47

### Chapter 5 Technological Appropriateness of Machine Parts in Heat Treatment

1 Factors Influencing Technological Appropriateness in Heat Treatment .....	2-49
1-1 Selection of Materials .....	2-49
1-2 Forms and stiffness .....	2-51
1-3 Dimensions .....	2-52
1-4 Surface Condition .....	2-52
2 Requirements on Constructional Features of Machine Part for Technological Appropriateness in Heat Treatment .....	2-52

### Chapter 6 Technological Appropriateness of Machine Parts in Metal Cutting

1 Requirements of Metal Cutting
---------------------------------



Process on Constructional Design of Machine Parts ..... 2-57

2 Basic Principles for Evaluation of Technological Appropriateness in Metal Cutting ..... 2-58

3 Requirements of NC Machining on Constructional Design of Machine Parts ..... 2-70

3.1 Requirements in NC Lathe Cutting ..... 2-70

3.2 Requirements in NC Machining Centre Cutting ..... 2-71

3.3 Requirements in NC Milling ..... 2-71

3.4 Requirements in NC Grinding ..... 2-72

3.5 Requirements in NC Gear-Tooth Cutting ..... 2-73

**Chapter 7 Technological Appropriateness of Plastic Machine Parts**

1 Constructional Elements of Engineering Plastic Parts ..... 2-74

1.1 Wall Thickness ..... 2-74

1.2 Drawing Taper ..... 2-74

1.3 Bearing Surfaces ..... 2-74

1.4 Gills ..... 2-74

1.5 Corner radii ..... 2-75

1.6 Holes ..... 2-75

1.7 Thread ..... 2-75

1.8 Inserts ..... 2-76

1.9 Marking ..... 2-76

2 Common Constructional Features of Engineering Plastic Parts ..... 2-76

**Chapter 8 Technological Appropriateness of Powder Metallurgy Parts**

1 Constructional Elements of Powder Metallurgy Parts ..... 2-78

1.1 Form Requirements ..... 2-78

1.2 Density ..... 2-78

1.3 Dimensional Precision ..... 2-78

1.4 Surface Roughness ..... 2-79

1.5 Wall Thickness ..... 2-80

2 Common Constructional Features of Powder Metallurgy Parts ..... 2-80

**Chapter 9 Technological Appropriateness of Machine Assemblies**

1 Basic Requirements of Technological Appropriateness in Assembling ..... 2-81

2 Basic Principles of Evaluation of Technological Appropriateness in Assembling ..... 2-81

3 Requirements of Technological Appropriateness of Assemblies in Automatic Assembling ..... 2-92

3.1 Constructional Simplicity and Convenient Location ..... 2-92

3.2 Convenient Alignment ..... 2-93

3.3 Assembling from One Side ..... 2-94

3.4 Convenient Conveyance ..... 2-94

3.5 Avoidance of Winding-Up and Mispositioning of Machine Parts in Assembling ..... 2-95

3.6 Simplification of Assembly ..... 2-96

References ..... 2-96

**Part 3 Welded Structures**

**Chapter 1 Introduction**

1 Characteristics of Welded Structures and Their Application ..... 3-3

2 Considerations in Weldment Application ..... 3-4

3 Principles of Good Welded Structures Design ..... 3-5

**Chapter 2 Welded Joints**

1 Characteristics of Welded Joints ..... 3-9

2 Common Types of Welded Joints



and Their Properties .....	3-9
2·1 Arc Welded Joints .....	3-9
2·2 Resistance Welded Joints .....	3-14
3 Strength Calculation of Welded	
Joints under Static Loads .....	3-16
3·1 Allowable-Stress Criteria .....	3-16
3·2 Ultimate State Criteria .....	3-23
4 Fatigue Strengths of Welded	
Joints .....	3-25
4·1 Influence Factors of Fatigue	
Strengths .....	3-25
4·2 Methods of Improvement .....	3-26
4·3 Fatigue Strength Calculation of Welded	
Joints .....	3-27
5 Fracture Mechanics and	
Weldments .....	3-33

### Chapter 3 Simple Welded Elements

1 Welded Beams .....	3-34
1·1 Beam Shapes .....	3-34
1·2 Sectional Forms of Beams .....	3-34
1·3 Design of Stiffeners in Beams .....	3-35
1·4 Splices of Welded Beams .....	3-37
1·5 Beam-to-Beam Joints .....	3-38
2 Welded Columns .....	3-38
2·1 Constructions and Sectional Forms	
of Columns .....	3-38
2·2 Arrangements of Stiffeners on	
Columns .....	3-39
2·3 Column Heads and Column-to-Beam	
Joints .....	3-40
2·4 Design of Column Bases .....	3-40
3 Welded Trusses .....	3-41
3·1 Forms of Trusses .....	3-41
3·2 Sectional Forms of Truss	
Members .....	3-42
3·3 Design of Nodes in Trusses .....	3-42
4 Welded Frames .....	3-44
4·1 Types and Frames .....	3-44
4·2 Design of Nodes in Frames .....	3-45

### Chapter 4 Weldments for Various Machines

1 Main Weldments of Machine	
Tools .....	3-47
1·1 Ways of Increasing Stiffness .....	3-47
1·2 Dimensional Stability .....	3-48
1·3 Slideways .....	3-48
1·4 Examples .....	3-49
2 Weldments for Forging and	
Stamping Equipment .....	3-50
2·1 Open Frames (C-Frames) .....	3-50
2·2 Integral Closed-Frames .....	3-51
2·3 Aggregate Closed-Frames .....	3-52
3 Gear Reducer Housings .....	3-55
3·1 Integral Housings .....	3-55
3·2 Split Housings .....	3-56
4 Motor and Generator Housings .....	3-57
4·1 Horizontal Motor and Generator	
Housings .....	3-57
4·2 Vertical Motor and Generator	
Housings .....	3-58
5 Diesel Engine Housings .....	3-59

### Chapter 5 Rotating Weldments

1 Wheel-Type Rotating	
Weldments .....	3-59
1·1 Rims .....	3-60
1·2 Webs and Spokes .....	3-60
1·3 Hubs .....	3-62
1·4 Rim-to-Web and Web-to-Hub	
Joints .....	3-62
1·5 Examples .....	3-63
2 Barrel-Type Rotating	
Weldments .....	3-64
2·1 Cylindrical Shell .....	3-64
2·2 End Disks .....	3-64
2·3 Cylindrical Shell-to-End Disk and End	
Disk-to-Shanks Joints .....	3-64
3 Rotors .....	3-67
3·1 Steam and Gas Turbine Rotors .....	3-67
3·2 Electric Motor Rotors .....	3-67



4 Hydraulic Turbine Wheels ..... 3-69  
 4.1 Integral Welded Hydraulic Turbine  
 Wheels ..... 3-69  
 4.2 Split Welded Hydraulic Turbine  
 Wheels ..... 3-71  
 5 Other Rotating Weldments ..... 3-71  
 5.1 Shafts ..... 3-71  
 5.2 Rotors for Fans and Blowers ..... 3-71  
 5.3 Automotive Wheel-Centres ..... 3-72

**Chapter 6 Welded Pressure  
 Vessels**

1 Brief Introduction ..... 3-72  
 2 Types of Pressure Vessels ..... 3-73  
 2.1 Cylindrical Vessels ..... 3-73  
 2.2 Globular Vessels ..... 3-75  
 3 Design of Welded Joints for Pressure  
 Vessels ..... 3-75  
 3.1 Main Points of Design ..... 3-75  
 3.2 Design of Butt Welds on Vessel  
 Shells ..... 3-79  
 3.3 Design of Flat-Head-to-Cylinder  
 Welded-Joints ..... 3-84  
 3.4 Design of Welded Joint for Nozzle  
 Protuberances, Paddings and Flanges  
 to Vessel Shells ..... 3-84

3.5 Design of Tubeplate-to-Cylindrical-Shell  
 Welded-Joints ..... 3-89  
 3.6 Design of Tube-to-Tubeplate  
 Welded-Joints ..... 3-92  
 4 Design of Support-to-Vessel  
 Welded-Joints ..... 3-94  
 4.1 Hanging Supports ..... 3-94  
 4.2 Prop Seats ..... 3-95  
 4.3 Skirt Seats ..... 3-95  
 4.4 Saddle Seats ..... 3-96  
 4.5 Pillar Supports ..... 3-96  
 4.6 Design of Support-to-Multilayer-Vessel  
 Welded-Joints ..... 3-97

**Chapter 7 Sheet Metal  
 Weldments**

1 Section Forms and Their  
 Features ..... 3-98  
 2 Design Essentials of Sheet Metal  
 Weldments and Welded Joints ..... 3-98  
 2.1 Design Essentials ..... 3-98  
 2.2 Welded Joints of Sheet Metal  
 Weldments ..... 3-100  
 3 Points of Caution in Design ..... 3-102  
 References ..... 3-104

**Part 4 Joints and Fastening**

Table of Symbols

**Chapter 1 Screw Threads**

1 Terms and Parameters ..... 4-5  
 2 Types, Features and Applications  
 of Screw Threads ..... 4-6  
 3 National and International  
 Standards of Screw Threads ..... 4-8  
 4 Common Screw Threads ..... 4-8  
 4.1 Basic Thread Profiles ..... 4-8  
 4.2 Diameters and Pitches ..... 4-8  
 4.3 Basic Dimensions ..... 4-8

4.4 Tolerances and Fits ..... 4-8  
 4.5 Designations ..... 4-13  
 5 Inch Threads ..... 4-13  
 6 Pipe Threads ..... 4-14  
 7 Trapezoidal Screw Threads ..... 4-18  
 7.1 Thread Profiles and Basic  
 Dimensions ..... 4-18  
 7.2 Diameters and Pitches ..... 4-18  
 7.3 Tolerances and Fits ..... 4-19  
 7.4 Designations ..... 4-20  
 8 3°/30°Buttress Threads ..... 4-20  
 8.1 Thread Profiles and Basic  
 Dimensions ..... 4-20





8.2 Diameters and Pitches ..... 4-20

8.3 Tolerances and Fits ..... 4-21

8.4 Designations ..... 4-22

9 Special Threads ..... 4-22

10 Thread Starts and Tails ..... 4-22

11 Self-Locking and Efficiency of  
Screw-Thread-Pairs ..... 4-22

11.1 Self-Locking of Screw Thread  
Pairs ..... 4-22

11.2 Efficiency of Screw Thread Pairs ..... 4-23

**Chapter 2 Screw Thread  
Fastening and Joints**

1 Basic Types of Screw Thread  
Fastening and Joints ..... 4-23

2 Design of Bolt Group Joints ..... 4-24

3 Strength of Bolted Joints ..... 4-26

3.1 Stress Conditions of Preloaded  
Bolt ..... 4-27

3.2 Strength of Thread ..... 4-27

3.3 Non-Preloaded Joints ..... 4-28

3.4 Preloaded Joints Transferring  
Transversal Loads ..... 4-28

3.5 Preloaded Joints Subjected to Axial  
Loads ..... 4-29

3.6 Preloaded Joints Subjected to Eccentric  
Loads ..... 4-31

3.7 Preloaded Joints Subjected to  
Compound Loads ..... 4-32

3.8 Bolted Joints for Steel Structures  
Using High Strength Bolts ..... 4-32

3.9 High Temperature Joints ..... 4-32

3.10 Low Temperature Joints ..... 4-33

3.11 Reliability of Bolted Joints ..... 4-33

4 Mechanical Properties, Materials  
and Allowable Stresses of  
Threaded Fasteners ..... 4-33

4.1 Mechanical Property Grades of  
Threaded Fasteners ..... 4-33

4.2 Materials ..... 4-35

4.3 Allowable Stresses ..... 4-37

5 Methods to Raise Reliability and

Life of Bolted Joints ..... 4-38

6 Special Constructions of Thread  
Fasteners ..... 4-40

7 Preloading of Threaded Fastener ..... 4-41

7.1 Tightening Torque ..... 4-41

7.2 Magnitude of Preload ..... 4-41

7.3 Control of Preload ..... 4-42

8 Prevention of Loosening ..... 4-42

9 Standard Elements of Threaded  
Fastener Joints and Their  
Selection ..... 4-45

9.1 Selection of Threaded Fasteners ..... 4-45

9.2 Standard Elements of Threaded  
Fastener Joints ..... 4-50

**Chapter 3 Key and Pin Joints**

1 Key Joints ..... 4-56

1.1 Types, Special Features and Applica-  
tions of Keys ..... 4-56

1.2 Selection of Keys and Calculations of  
Joint Strength ..... 4-57

1.3 Dimension Series, Tolerances and Fits,  
and Surface Roughness ..... 4-58

2 Pin Joints ..... 4-62

2.1 Types, Features and Applications of  
Pins ..... 4-62

2.2 Selection of Pins and Calculation of  
Joint Strength ..... 4-64

2.3 Standard Elements of Pin Joints ..... 4-66

**Chapter 4 Spline Joints**

1 Straight-Sided Splines ..... 4-68

1.1 Dimension Series ..... 4-68

1.2 Tolerances and Fits ..... 4-69

1.3 Designations ..... 4-71

2 Involute Splines ..... 4-71

2.1 Terms, Definitions and Symbols ..... 4-72

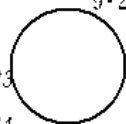
2.2 Dimension Calculations ..... 4-73

2.3 Dimension Series ..... 4-74

2.4 Tolerances and Fits ..... 4-75

2.5 Designations ..... 4-77

3 Joint Check Calculations ..... 4-78



**Chapter 5 Interference Fit Joints**

1 Cylindrical Interference Fit  
 Joints ..... 4-79  
 1.1 Joint Calculations ..... 4-79  
 1.2 Rational Construction of Joints ..... 4-82  
 2 Tapered Interference-Fit Joints ..... 4-83  
 2.1 Hydraulic Assembled and Disassembled  
 Tapered Interference-Fit Joints ..... 4-83  
 2.2 Nut-Tightened Tapered Interference-Fit  
 Joints ..... 4-85  
 3 Expansion and Shrink Ring  
 Joints ..... 4-85

**Chapter 6 Riveted Joints**

1 Types of Riveted Joints ..... 4-87  
 2 Parameters of Riveted Joints in Steel

Structures ..... 4-87  
 3 Design of Riveted Joints in Steel  
 Structure ..... 4-88  
 3.1 Joints in Tension (Compression)  
 Members ..... 4-88  
 3.2 Joints in Members under Bending ..... 4-89  
 4 Rivet Materials and Allowable  
 Stresses ..... 4-89  
 5 Parameters of Riveted Joints of  
 Non-Ferrous Metal or Other  
 Materials ..... 4-90  
 6 Special Riveted Joints ..... 4-90  
 7 Points of Caution in Rivet Joint  
 Design ..... 4-90  
 8 Rivets ..... 4-91  
 References ..... 4-92

**Part 5 Shafts**

Table of Symbols

**Chapter 1 Introduction**

1 Classification of Shafts ..... 5-5  
 2 Shaft Materials ..... 5-6

**Chapter 2 Shafts and Axles**

1 Construction Design of Shafts and  
 Axles ..... 5-9  
 2 Shaft Strength Calculation ..... 5-10  
 2.1 Calculation based on Allowable Shear  
 Stress ..... 5-11  
 2.2 Calculation based on Allowable  
 Bending Stress ..... 5-11  
 2.3 Checking Calculation on Factors of  
 Safety ..... 5-14  
 2.4 Examples of Strength Calculations ..... 5-19  
 3 Shaft Stiffness Calculation ..... 5-22  
 3.1 Bending Deformation Calculation ..... 5-22  
 3.2 Torsional Deformation Calculation ..... 5-24  
 3.3 Examples of Shaft Stiffness

Calculation ..... 5-25  
 4 Critical Speeds of Rotating Shafts ... 5-27  
 4.1 Critical Speeds of Shafts of Uniform  
 Mass ..... 5-27  
 4.2 Critical Speeds of Shafts with  
 Disks ..... 5-28  
 4.3 Examples of Critical Speed  
 Calculations ..... 5-29

**Chapter 3 Crank Shafts**

1 Construction Design of Crank  
 Shafts ..... 5-30  
 1.1 Classifications of Crank Shaft  
 Construction ..... 5-30  
 1.2 Design of Crank Shaft Parts ..... 5-30  
 1.3 Key Points in Design of Crank  
 Shafts ..... 5-33  
 2 Calculation for Strength of Crank  
 Shafts ..... 5-33  
 2.1 Types of Crank Shaft Failures ..... 5-33  
 2.2 Force Analysis of Crank Shafts ..... 5-34  
 2.3 Checking for Strength of Crank



Shafts ..... 5-37

2·4 Example of Strength Calculations ..... 5-38

2·5 Ways for Increasing Crank Shaft Strength ..... 5-41

**Chapter 4 Flexible Shafts**

1 Types and Uses of Flexible Shafts ..... 5-42

2 Constructions and Specifications of Flexible Shafts ..... 5-42

2·1 Steel Wire Flexible Shafts ..... 5-42

2·2 Metal Hoses ..... 5-42

2·3 Flexible Shaft Joints ..... 5-43

2·4 Metal Hose Joints ..... 5-44

3 Selection of Flexible Shafts ..... 5-44

References ..... 5-45

**Part 6 Couplings, Clutches, Brakes**

**Chapter 1 Couplings**

1 Classification and Selection of Couplings ..... 6-3

1·1 Selection of Couplings ..... 6-3

1·2 Types and Dimensions of Bore and Keyway ..... 6-6

1·3 Designations of Coupling Bore and Keyway ..... 6-6

2 Rigid Couplings ..... 6-7

2·1 Sleeve Couplings ..... 6-7

2·2 Flanged Couplings ..... 6-8

2·3 Split Couplings ..... 6-13

2·4 Split Couplings with Tightening Rings ..... 6-14

3 Flexible Couplings without Resilient Element ..... 6-14

3·1 Gear Couplings ..... 6-15

3·2 Chain Couplings ..... 6-20

3·3 Slip Crosshead Couplings ..... 6-23

3·4 Oldham Couplings ..... 6-25

3·5 Universal Couplings ..... 6-26

4 Flexible Couplings with Resilient Element ..... 6-32

4·1 Stiffness of Flexible Couplings with Resilient Element ..... 6-32

4·2 Resilient Elements of Couplings ..... 6-34

4·3 Flat Spring Couplings ..... 6-35

4·4 Serpentine Spring Couplings ..... 6-37

4·5 Diaphragm Couplings ..... 6-37

4·6 Resilient Tube Couplings and Bellow

Type Couplings ..... 6-40

4·7 Couplings with Rubber Matallic Rings ..... 6-41

4·8 Tyre Couplings ..... 6-42

4·9 Pin Couplings with Resilient Sleeves ..... 6-43

4·10 Couplings with Resilient Pads ..... 6-46

4·11 Couplings with Resilient Spider ..... 6-48

4·12 Rubber Pin Couplings ..... 6-49

4·13 Resilient Pin Couplings ..... 6-51

4·14 Gear Couplings with Resilient Pins ..... 6-53

4·15 Flexible Crowned-Tooth Gear Couplings ..... 6-55

4·16 Couplings with Polygonal Rubber Element ..... 6-56

4·17 Magnetic Couplings ..... 6-58

5 Safety Couplings ..... 6-59

6 Testing of Couplings ..... 6-62

6·1 Classification of Coupling Testing ..... 6-62

6·2 Testing Methods of Couplings ..... 6-62

**Chapter 2 Clutches**

1 Function and Classification of Clutches ..... 6-62

2 Joint Elements ..... 6-63

2·1 Mesh Elements ..... 6-63

2·2 Friction Elements ..... 6-66

3 Mechanically Actuated Clutches ..... 6-70

3·1 Jaw Clutches ..... 6-70

3·2 Turning Key Clutches ..... 6-70

此  
是  
公  
司  
制  
作  
请  
尊  
重  
作  
者  
版  
权



3·3	Friction-Disc Clutches .....	6-71	7·5	Calculations of Overrunning Clutches .....	6-90
3·4	Friction-Block Clutches .....	6-71	8	Self-Controlled Synchronous Clutches .....	6-92
3·5	Friction-Cone Clutches .....	6-71	9	Centrifugal Clutches .....	6-93
3·6	Expansion Ring Clutches .....	6-72	9·1	Centrifugal Clutches with Spring Blocks .....	6-93
3·7	Torsional-Spring Clutches .....	6-72	9·2	Centrifugal Clutches without Spring Block .....	6-94
3·8	Joint Mechanisms .....	6-73	9·3	Steel Ball Clutches .....	6-94
3·9	Calculations of Mechanically Actuated Clutches .....	6-75	9·4	Calculations of Centrifugal Clutches .....	6-95
4	Pneumatically Actuated Clutches .....	6-77	10	Safety Clutches .....	6-97
4·1	Piston Type pneumatically Actuated Clutches .....	6-77	10·1	Jas Safety Clutches .....	6-98
4·2	Diaphragm-Type Pneumatically Actuated Clutches .....	6-78	10·2	Steel-Ball-Type Safety Clutches .....	6-98
4·3	Pneumatic-Tire Clutches .....	6-78	10·3	Disc-Type Safety Clutches .....	6-99
4·4	Calculations of Pneumatically Actuated Clutches .....	6-79	10·4	Cone-Type Safety Clutches .....	6-99
5	Hydro-Actuated Clutches .....	6-80	10·5	Calculations of Safety Clutches .....	6-100
5·1	Plunger-Type Hydro-Actuated Clutches .....	6-80	11	Testing of Clutches .....	6-102
5·2	Piston-Type Hydro Actuated Clutches .....	6-80	<b>Chapter 3 Brakes</b>		
5·3	Diaphragm-Type Hydro-Actuated Clutches .....	6-82	1	Function and Classification of Brakes .....	6-102
5·4	Hydroviscose Variable Speed Clutches .....	6-82	2	Determination of Braking Torque .....	6-103
5·5	Calculations of Hydro-Actuated Clutches .....	6-82	2·1	Types of Braking .....	6-103
6	Electromagnetic Clutches .....	6-83	2·2	Calculation of Load Torque .....	6-103
6·1	Jaw-Type Electromagnetic Clutches .....	6-83	3	Outer-Enclosing-Block-Type Brakes .....	6-106
6·2	Frictional-Disc Electromagnetic Clutches .....	6-84	3·1	Constructions .....	6-106
6·3	Torsional-Spring Electromagnetic Clutches .....	6-85	3·2	Design Calculations .....	6-108
6·4	Magnetic Particle Clutches .....	6-86	4	Inner-Expanding-Shoe-Type Brakes .....	6-111
7	Overrunning Clutches .....	6-88	4·1	Constructions .....	6-111
7·1	Roller Type Overrunning Clutches .....	6-88	4·2	Design Calculations .....	6-112
7·2	Sprag Type Overrunning Clutches .....	6-89	5	Band Brakes .....	6-114
7·3	Non-Contact Overrunning Clutches .....	6-90	5·1	Constructions .....	6-114
7·4	Materials and Allowable Stresses of Overrunning Clutches .....	6-90	5·2	Design Calculations .....	6-115
			6	Disc Brakes .....	6-116
			6·1	Constructions .....	6-116
			6·2	Design Calculations .....	6-119



7 Other Brakes and Auxiliary Devices .....	6-121	9.3 Centrifugal Actuators .....	6-127
7.1 Magnetic Particle Brakes .....	6-121	9.4 Ball-Screw Actuators .....	6-127
7.2 Magnetic Eddy Brakes .....	6-121	9.5 Pneumatic Actuators .....	6-128
7.3 Self-Compensating Devices for Wear		9.6 Manual Actuators .....	6-128
Clearance of Frictional Blocks .....	6-122	10 Frictional Materials .....	6-129
8 Thermal Calculation of Brakes .....	6-124	10.1 Kinds of Frictional Materials .....	6-129
9 Actuating Devices of Braking		10.2 Testing Methods of Frictional	
Actuators .....	6-125	Materials .....	6-130
9.1 Braking Magnets .....	6-125	10.3 Data for Calculation of	
9.2 Electro-Hydraulic Actuators .....	6-125	Friction Pair .....	6-130
		References .....	6-131

## Part 7 Plain Bearings

### Table of Symbols

#### Chapter 1 Introduction

1 Classification of Bearings .....	7-6
2 Selection of Bearing Type .....	7-7
2.1 Comparison of Bearing Features .....	7-7
2.2 Load-Carrying Capacity and Speed of	
Journal Bearings .....	7-8
2.3 Load-Carrying Capacity and Speed of	
Thrust Bearings .....	7-8
3 Design of Plain Bearings .....	7-9
3.1 Parameters of Bearings .....	7-9
3.2 Design Methods .....	7-9
4 Bearing Materials .....	7-9
4.1 Requirements .....	7-9
4.2 Classification .....	7-10

#### Chapter 2 Hydrodynamic Plain Bearings

1 Formation of Oil Wedge .....	7-10
2 Classification .....	7-11
3 Basic Principles .....	7-13
3.1 Equations of Hydrodynamic	
Lubrication .....	7-13
3.2 Bearings Instability .....	7-17
3.3 Effect of Turbulence .....	7-19
4 Circular Pressure-Fed Plain Journal	
Bearing .....	7-19

4.1 Calculation of Characteristics .....	7-20
4.2 Calculation of instability	
under Dynamic Condition .....	7-24
4.3 Selection of Bearing Parameters .....	7-25
4.4 Types and Sizes of Oil Grooves .....	7-27
4.5 Calculation Sequence .....	7-28
5 Circular Plain Journal Bearing for Grease	
Drip or Wick Lubrication .....	7-30
5.1 Bearing Characteristics .....	7-30
5.2 Selection of Bearing Parameters .....	7-32
5.3 Lubricants .....	7-32
5.4 Types of Oil Grooves .....	7-33
6 Lobed Plain Journal Bearings .....	7-33
6.1 Geometric Parameters .....	7-33
6.2 Selection of Parameters .....	7-33
6.3 Elliptical Bearings (Two-Lobe	
Bearings) .....	7-35
6.4 Calculation of Load-Carrying Capacity	
for Various Fixed-Pad Lobed Journal	
Bearings .....	7-39
6.5 Tilting-Pad Journal Bearings .....	7-42
7 Calculation for Dynamically Loaded	
Plain Bearings .....	7-46
7.1 Squeeze Film Bearings .....	7-46
7.2 Bearings under Rotating Loads .....	7-46
7.3 Bearings under Dynamic Loads .....	7-47
8 Thrust Bearings .....	7-47
8.1 Selection of Bearing Parameters .....	7-47



8.2 Fixed Tapered Pad Thrust Bearing ..... 7-48

8.3 Fixed Stepped-Pad Thrust Bearing ..... 7-51

8.4 Tilting-Pad Thrust Bearings ..... 7-51

9 Bearing Materials for Hydrodynamic Bearings ..... 7-54

**Chapter 3 Hydrostatic Bearings**

1 Classification ..... 7-57

1.1 Classification According to Oil Supply Systems ..... 7-57

1.2 Classification According to Compensators ..... 7-59

1.3 Classification According to Bearing Constructions ..... 7-59

2 Basic Equations ..... 7-60

2.1 Volume of Flow ..... 7-60

2.2 Bearing Load ..... 7-62

2.3 Film Stiffness ..... 7-62

2.4 Friction Force and Coefficient of Friction ..... 7-63

2.5 Energy Loss and Temperature Rise ..... 7-63

2.6 Viscosity of Lubricant ..... 7-63

3 Selection of Bearing Parameters ..... 7-63

3.1 Width Diameter Ratio (B/D Ratio) ..... 7-63

3.2 Land Width ..... 7-64

3.3 Bearing Clearance ..... 7-64

3.4 Supply Pressure ..... 7-64

3.5 Pressure Ratio ..... 7-64

4 Single Direction Pad ..... 7-64

4.1 Capillary and Orifice Compensation ..... 7-64

4.2 Constant-Flow Compensation ..... 7-65

4.3 Mohsin-Valve Compensation ..... 7-67

5 Double Direction Pad ..... 7-69

6 Journal Bearing ..... 7-69

6.1 Journal Bearing with Axial Slots ..... 7-69

6.2 Journal Bearing without Axial Slots ..... 7-72

6.3 Properties Comparison of Bearings with

and without Axial Slots ..... 7-74

7 Dynamics ..... 7-75

**Chapter 4 Hybrid Bearings**

1 Recessed Journal Bearing ..... 7-78

2 Recessless Journal Bearing ..... 7-79

3 Step-Recessed Hybrid Bearing ..... 7-81

**Chapter 5 Self-Lubricated Bearing**

1 Classification ..... 7-82

2 Unlubricated Bearing ..... 7-83

2.1 Bearing Materials and Bearing Construction ..... 7-83

2.2 Selection of Bearing Parameters ..... 7-87

2.3 Design Criterion ..... 7-89

2.4 Calculation Sequence ..... 7-90

2.5 Calculate of Load Per Unit Area and Velocity ..... 7-90

3 Oil-Impregnated Bearings ..... 7-91

3.1 Classification ..... 7-91

3.2 Powder Metallurgy Bearings ..... 7-91

3.3 Other Porous Metallic Bearings ..... 7-94

3.4 Plastic Bearings ..... 7-94

4 Bearings with Solid Lubricants ..... 7-95

4.1 Solid-Film Coating Bearings ..... 7-96

4.2 Sintered Bearings ..... 7-96

4.3 Composite Bearings ..... 7-96

4.4 Bearing with Solid Lubricant Inlaid ..... 7-97

**Chapter 6 Gas Lubricated Bearings**

1 Aerodynamic Bearings ..... 7-97

1.1 Aerodynamic Journal Bearings ..... 7-99

1.2 Aerodynamic Thrust Bearings ..... 7-103

1.3 Aerodynamic Combined Journal and Thrust Bearings ..... 7-105

1.4 Bearing Materials and Tolerances ..... 7-109

2 Aerostatic Bearings ..... 7-110

2.1 Working Principles ..... 7-111

2.2 Aerostatic Journal Bearings ..... 7-113

2.3 Aerostatic Thrust Bearings ..... 7-117



2·4 Aerostatic Spherical and Conical Bearings ..... 7-119

2·5 Dynamical Characteristics ..... 7-121

2·6 Bearing Materials, Tolerances and Air Supply Systems ..... 7-122

3 Squeeze Films Gas Bearings ..... 7-123

3·1 Plane Squeeze-Film Bearings ..... 7-124

3·2 Cylindrical Squeeze Film Journal Bearings ..... 7-125

3·3 Spherical Squeeze-Film Bearings ..... 7-127

3·4 Conical Squeeze-Film Bearings ..... 7-128

3·5 Materials and Design of Transducer ..... 7-129

4 Hybrid (Dynamic and Static) Gas Bearings ..... 7-130

4·1 Brief Introduction ..... 7-130

4·2 Hybrid Bearings with Orifice Gas Supply ..... 7-131

4·3 Hybrid Bearings with Slot Gas Supply ..... 7-132

4·4 Porous Hybrid Bearings ..... 7-134

4·5 Hybrid Bearings with Annular Orifice and Shallow Recesses Restriction ..... 7-134

4·6 Applications of Hybrid Gas Bearings ..... 7-135

**Chapter 7 Fluid Film Lubricated Porous Bearings**

1 Construction and Classification ..... 7-136

2 Basic Principles ..... 7-136

2·1 Porosity of Materials ..... 7-136

2·2 Pressure Distribution Equations ..... 7-137

3 Aerostatic Porous Bearings ..... 7-137

3·1 Design Sequence ..... 7-138

3·2 Properties of Thrust Bearings ..... 7-138

3·3 Properties of Journal Bearings ..... 7-140

3·4 Spherical and Conical Bearings ..... 7-142

4 Hybrid Porous Bearings ..... 7-143

4·1 Basic Principles ..... 7-143

4·2 Properties ..... 7-143

5 Materials and Manufacturing Methods ..... 7-145

5·1 Porous Materials and Their properties ..... 7-145

5·2 Manufacturing Methods ..... 7-146

**Chapter 8 Floating-Ring Bearings**

1 Characteristics and Classification ..... 7-147

2 Aerodynamic Floating-Ring Bearings ..... 7-147

3 Aerostatic Floating-Ring Bearings ..... 7-148

4 Hybrid Floating-Ring Bearings ..... 7-149

**Chapter 9 Foil Bearings**

1 Tension-Type Foil Bearings ..... 7-151

1·1 Hydrodynamic Simple Foil Bearings ..... 7-151

1·2 Hydrostatic Simple Foil Bearings ..... 7-153

1·3 Hydrodynamic Multilobe Foil Bearings ..... 7-156

2 Bending-Type Foil Bearings ..... 7-157

2·1 Continuous Foil Bearings ..... 7-157

2·2 Resiliently Supported Foil Bearings ..... 7-165

3 Cantilever-type Foil Bearings ..... 7-168

3·1 Cantilever-Type Foil Journal Bearings ..... 7-168

3·2 Cantilever-Type Foil Thrust Bearings ..... 7-169

**Chapter 10 Electrostatic and Magnetic Bearings**

1 Electrostatic Bearings ..... 7-170

1·1 Basic Principles ..... 7-170

1·2 Classification ..... 7-170

1·3 Materials and Construction Parameters ..... 7-170

1·4 Design and Calculation ..... 7-170

1·5 Example of Applications-Gyroscopes with Electrostatic Bearings ..... 7-170

2 Magnetic Bearings ..... 7-173

2·1 Classification and Applications ..... 7-173



2.2 Calculation of Bearing Properties ..... 7-176  
 2.3 Bearing Materials ..... 7-178

**Chapter 11 Testing of Bearings**

1 Classification ..... 7-178

2 Bearing Testing Equipments ..... 7-179  
 3 Disposition of Testing Bearing ..... 7-180  
 4 Testing Machine Systems ..... 7-180  
 5 Testing Bearing ..... 7-182  
 References ..... 7-182

**Part 8 Rolling Bearings (Anti-Friction Bearings)**

Table of Symbols

**Chapter 1 Introduction**

1 Functions and Characteristics ..... 8-5  
 2 Types and Constructions ..... 8-6  
 3 Designations ..... 8-9  
 3.1 Basic Designations ..... 8-9  
 3.2 Designations with Prefixes and Suffixes ..... 8-9

**Chapter 2 Performance of Rolling Bearings**

1 Precision ..... 8-11  
 2 Clearances ..... 8-15  
 3 Friction Moments ..... 8-20  
 4 Speed Performance ..... 8-23  
 5 Aligning Property ..... 8-23  
 6 Stiffness and Pretightening ..... 8-24  
 6.1 Stiffness ..... 8-24  
 6.2 Pretightening ..... 8-24  
 7 Vibration and Noise ..... 8-26  
 8 Axial Load Carrying Capacity of Cylindrical Roller Bearings ..... 8-28  
 9 Minimum Axial Loading of Thrust Bearings ..... 8-28  
 10 Lubrication ..... 8-29  
 10.1 Grease Lubrication ..... 8-29  
 10.2 Oil Lubrication ..... 8-29  
 11 Sealing and Cleanness ..... 8-31  
 11.1 Sealing ..... 8-31  
 11.2 Cleanness ..... 8-31

**Chapter 3 Load Carrying Capacity and Life of Rolling Bearings**

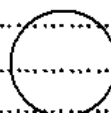
1 Nominal Static Load Rating and Equivalent Static Load ..... 8-32  
 1.1 Nominal Static Load Rating ..... 8-32  
 1.2 Equivalent Static Load ..... 8-32  
 1.3 Selection of Bearings on Basis of Static Load ..... 8-32  
 2 Nominal Life ..... 8-32  
 3 Nominal Dynamic Load Rating and Equivalent Dynamic Load ..... 8-33  
 3.1 Nominal Dynamic Load Rating ..... 8-33  
 3.2 Equivalent Dynamic Load ..... 8-33  
 4 Reliability ..... 8-36  
 5 Life Calculation ..... 8-36  
 5.1 Life Equations ..... 8-36  
 5.2 Revised Life Equations ..... 8-40  
 5.3 Development in Life Calculation ..... 8-40  
 5.4 Estimation of Wear Life ..... 8-41

**Chapter 4 Design of Rolling Bearing Assemblies**

1 Brief Introduction ..... 8-42  
 2 Bearing Arrangement ..... 8-42  
 3 Bearing Fits ..... 8-45  
 4 Mounting and Securing ..... 8-50  
 4.1 Bearing Mounting ..... 8-50  
 4.2 Bearing Securing ..... 8-51  
 5 Examples ..... 8-52

**Chapter 5 Rolling Bearing Applications**

1 Automobile Bearings ..... 8-53





1.1 Front Wheel Hub Bearings .....	8-53	8.3 Typical Applications of Robot Bearings .....	8-66
1.2 Gear Box Bearings .....	8-54	9 Turret Bearings .....	8-67
1.3 Clutch Bearings .....	8-54	9.1 Feature of Turret Bearings .....	8-67
2 Railway Axle Bearings .....	8-55	9.2 Types of Turret Bearings .....	8-67
2.1 Types of Railway Bearing .....	8-55	9.3 Selection of Turret Bearings .....	8-68
2.2 Basic Requirements of Railway Bearings .....	8-55	9.4 Typical Application of Turret Bearings .....	8-68
2.3 Lubrication and Sealing of Railway Bearings .....	8-56		
3 Rolling Mill Bearings .....	8-56	<b>Chapter 6 Rolling Bearings Used in Specific Environments</b>	
3.1 Types of Rolling Mill Bearings .....	8-56	1 High Speed Bearings .....	8-70
3.2 Blooming Mill Bearings .....	8-56	2 High Temperature Bearings .....	8-71
3.3 Rod Mill Bearings .....	8-57	3 Low Temperature Bearings .....	8-71
3.4 Strip Mill Bearings .....	8-57	4 Vacuum Bearings .....	8-71
3.5 Sealing of Rolling Mill Bearings .....	8-57	5 Non-Magnetic Bearings .....	8-71
4 Aero-Engine Bearings .....	8-58	6 Corrosion-Resistant Bearings .....	8-72
4.1 Special Requirements for Aero-Engine Spindle Bearings .....	8-59		
4.2 Types of Aero-Engine Spindle Bearings .....	8-59	<b>Chapter 7 Rolling Bearing Failure and Its Diagnosis</b>	
4.3 Lubrication of Aero-Engine Spindle Bearings .....	8-60	1 Main Patterns of Rolling Bearing Failures .....	8-72
5 Machine Tool Bearings .....	8-60	2 Monitoring Methods for Bearing Faults .....	8-74
5.1 Class of Precision for Spindle Bearings of Machine Tools .....	8-60	2.1 Vibration Signal Monitoring .....	8-74
5.2 Fit of Spindle Bearings .....	8-60	2.2 Other Monitoring .....	8-75
5.3 Typical Applications of Spindle Bearings .....	8-61	3 Failure Analysis and Diagnosis .....	8-76
6 Bearings for Precision Instru- ments .....	8-62	3.1 Ways of Failure Analysis and Diagnosis .....	8-76
6.1 Types and Applications of Instrument Bearings .....	8-62	3.2 Failure Analysis Technology .....	8-76
6.2 Gyroscope Bearings .....	8-63		
7 Bearings for Electrical Machinery ...	8-64	<b>Chapter 8 Parameter Lists of Basic Types of Rolling Bearings</b>	
7.1 Types and Features .....	8-64	1 Deep Groove Ball Bearings .....	8-78
7.2 AC Motor Bearings .....	8-64	2 Self-Aligning Ball Bearings .....	8-84
7.3 Traction Motor Bearings .....	8-65	3 Angular Contact Ball Bearings .....	8-87
7.4 Mine Fan Bearings .....	8-65	4 Thrust Ball Bearings .....	8-92
8 Robot Bearings .....	8-65	5 Needle Roller Bearings .....	8-96
8.1 Application Feature of Robot Bearings .....	8-65	5.1 Needle Roller Bearings .....	8-96
8.2 Robot Bearings in Common Use .....	8-66	5.2 Radial Needles Roller and Assemblies .....	8-98



6 Cylindrical Roller Bearings .....	8-100	9 Self-Aligning Thrust Roller Bearings .....	8-109
7 Self-Aligning Roller Bearings .....	8-103	References .....	8-111
8 Tapered Roller Bearings .....	8-105		

## Part 9 Box-Like Machine Elements and Guideways

### Chapter 1 Box-Like Machine Elements

1 Brief Introduction .....	9-3
1.1 Functions and Types of Box-Like Elements .....	9-3
1.2 Design Requirements .....	9-3
1.3 Method of Constructional Design .....	9-4
2 Design of Box-Like Elements .....	9-4
2.1 Scheme Analysis .....	9-4
2.2 Blank, Material and Heat Treatment .....	9-5
2.3 Parameter Selection .....	9-5
2.4 Connection and Fixation .....	9-9
2.5 Technological Appropriateness .....	9-10
2.6 Measures to Increase Strength and Stiffness and to Decrease Thermal Deformation .....	9-11
3 Design and Calculation of Box-Like Elements .....	9-12
3.1 General Rule of Design and Calculation .....	9-12
3.2 Strength Calculation .....	9-13
3.3 Stiffness Calculation of Gear Reducer Housings .....	9-15
3.4 Stiffness Calculation of Machine Tool Spindle Box .....	9-16
3.5 Design of Section Geometry and Wall Thickness .....	9-18
3.6 CAD for Box-Like Elements .....	9-19
4 Box Experiment .....	9-20

### Chapter 2 Guideways

1 Brief Introduction .....	9-21
1.1 Functions and Principles of Guiding .....	9-21

1.2 Requirements of Guideway Design .....	9-22
1.3 Common Types of Guideways and Technical Characteristic .....	9-22
2 Slideway Design .....	9-22
2.1 Types and Selection of Slideways .....	9-22
2.2 Clearance Adjustment .....	9-27
2.3 Design and Calculation .....	9-28
2.4 Materials .....	9-31
2.5 Special Type Slideways .....	9-33
2.6 Hydrostatic Slideways .....	9-35
2.7 Hydrodynamic Slideways .....	9-38
2.8 Technical Requirements and Typical Construction of Slideways .....	9-38
3 Rolling Guideways .....	9-42
3.1 Types of Rolling Guideways .....	9-42
3.2 Preloading of Rolling Guideways .....	9-42
3.3 Design and Calculation .....	9-43
3.4 Working Principle and Characteristics of Linear Rolling Guideways .....	9-48
3.5 Supports and Rolling Bushings .....	9-51
3.6 Rolling Wheels .....	9-51
3.7 Typical Construction .....	9-52
4 Lubrication and Protection Devices .....	9-52
4.1 Oil Supply and Selection of Lubricating Oil .....	9-52
4.2 Type of Lubricating Groove for Slideways .....	9-54
4.3 Design of Lubrication Devices for Guideways .....	9-55
5 Special Guideways .....	9-56
5.1 Composite Guide Ways of Rolling-Plastic Glued Steel .....	9-56
5.2 Spring Guideways .....	9-56
5.3 Magnetic Floatation Guideways .....	9-57
References .....	9-57



## Part 10 Springs and Flywhells

### Table of Springs Symbols

#### Chapter 1 Springs-Introduction

- 1 Classifications and Characteristics of Springs ..... 10-5
- 2 Basic Concepts of Spring Design ..... 10-7
  - 2.1 Characteristics and Stiffness of Springs ..... 10-7
  - 2.2 Deformation Energy of Springs ..... 10-7
  - 2.3 Spring Resonance ..... 10-8
- 3 Selections of Materials and Allowable Stresses ..... 10-8
  - 3.1 Classifications, Characteristics and Applications of Spring Materials ..... 10-8
  - 3.2 Selection of Spring Materials ..... 10-15
  - 3.3 Allowable Stresses ..... 10-17

#### Chapter 2 Helical Springs

- 1 Design of Cylindrical Helical Compression Springs ..... 10-17
  - 1.1 Constructional Design ..... 10-17
  - 1.2 Calculation Formulas ..... 10-20
  - 1.3 Check for Spring Strength ..... 10-22
  - 1.4 Check for Spring Stability ..... 10-23
  - 1.5 Calculation Methods ..... 10-24
  - 1.6 Calculation for Springs of Large Helix Angles ..... 10-27
  - 1.7 Calculation for Springs Subjected to Impact Loads ..... 10-28
  - 1.8 Calculation for Springs Subjected to Vibrational Loads ..... 10-28
  - 1.9 Calculation for Prestressed Springs ..... 10-30
  - 1.10 Calculation for Radial Characteristics of Springs ..... 10-30
  - 1.11 Calculation for Combined Springs ..... 10-32
  - 1.12 Calculation for Variable-Pitch Helical Compression Springs ..... 10-33

- 2 Design of Cylindrical Helical Tension Springs ..... 10-34
  - 2.1 Constructional Design ..... 10-34
  - 2.2 Design Calculation ..... 10-36
- 3 Design of Cylindrical Helical Torsion Springs ..... 10-37
  - 3.1 Constructional Design ..... 10-37
  - 3.2 Design Calculation ..... 10-39
- 4 Allowable Stresses of Cylindrical Helical Springs ..... 10-41
- 5 Design of Conical Helical Springs ..... 10-42
  - 5.1 Characteristics of Conical Helical Springs ..... 10-42
  - 5.2 Calculations for Deformation and Strength of Conical Helical Springs ..... 10-43
- 6 Design of Volute Springs ..... 10-45

#### Chapter 3 Leaf Springs

- 1 Classifications and Applications of Leaf Springs ..... 10-46
- 2 Leaf Spring Constructions ..... 10-47
  - 2.1 Cross-Sections of Spring Leaves ..... 10-47
  - 2.2 Constructions of Main-Leaf Ends ..... 10-47
  - 2.3 Construction of Auxiliary-Leaf Ends ..... 10-48
  - 2.4 Fixation of Leaf Springs ..... 10-48
- 3 Calculation for Single-Leaf Springs ..... 10-49
- 4 Calculation for Multiple-Leaf Springs ..... 10-50
  - 4.1 Main Dimensions and Parameters ..... 10-50
  - 4.2 Working Stresses and Radii of Curvature of Unloaded Leaves ..... 10-53
- 5 Calculation for Leaf Springs with Variable Stiffness and Variable Cross Sections ..... 10-57



I. 英文目录

5.1 Calculation for Leaf Springs with Variable Stiffness ..... 10-57

5.2 Calculation for Leaf Springs with Variable Cross Sections ..... 10-58

6 Materials, Strengthening Techniques Allowable Stresses and Testing of Leaf Springs ..... 10-58

6.1 Materials and Strengthening Techniques of Leaf Springs ..... 10-58

6.2 Allowable Stresses of Leaf Springs ..... 10-59

6.3 Leaf Spring Testing ..... 10-59

**Chapter 4 Other Types of Metallic Springs**

1 Torsion-Bar Springs ..... 10-60

1.1 Torsion-Bar Spring Loading ..... 10-60

1.2 Design Calculation for Torsion-Bar Springs ..... 10-62

1.3 End Forms and Effective Lengths of Torsion-Bars ..... 10-62

1.4 Materials and Allowabl Stresses of Torsion-Bar Springs ..... 10-63

1.5 Technical Requirements for Torsion-Bar Spring ..... 10-64

2 Belleville Springs (Dish-Type Springs) ..... 10-65

2.1 Constructions, Characteristics and Applications of Belleville Springs ..... 10-65

2.2 Design Calculation ..... 10-66

2.3 Parameter Selection and Design Considerations ..... 10-68

2.4 Materials, Strength Checks and Technical Requirements ..... 10-69

3 Conical Ring Springs ..... 10-70

3.1 Constructions Characteristics and Applications ..... 10-70

3.2 Design Calculation ..... 10-71

3.3 Materials, Allowable Stresses and Technical Requirements ..... 10-73

4 Flat Springs ..... 10-73

4.1 Constructions of Flat Springs ..... 10-73

4.2 Design Calculation of Flat Springs ..... 10-73

4.3 Materials and Allowable Stresses ..... 10-77

5 Spiral Springs ..... 10-77

5.1 Design Calculation of Non Contact Sprial Spirings ..... 10-78

5.2 Design Calculation of Contact Type Spiral Springs ..... 10-79

5.3 Materials and Allowable Stresses ..... 10-81

**Chapter 5 Air Springs and Rubber Springs**

1 Air Springs ..... 10-82

1.1 Construction of Air Springs ..... 10-82

1.2 Calculation of Spring Stiffness ..... 10-83

1.3 Vibration Damping ..... 10-86

1.4 Height Control ..... 10-87

2 Rubber Springs ..... 10-87

2.1 Calculation of Deformation ..... 10-88

2.2 Calculation of Static Stiffness ..... 10-88

2.3 Calculation of Dynamic Stiffness ..... 10-91

2.4 Fatigue Strength of Rubber Springs ..... 10-91

**Chapter 6 Flywheels**

1 Calculation of Flywheels ..... 10-92

1.1 Equivalent Moment and Equivalent Moment of Inertia ..... 10-92

1.2 Calculation of Maximum Work Excesses and Work Deficits ..... 10-92

1.3 Calculation of Moment of Inertia ..... 10-93

2 Constructional Design of Flywheels ..... 10-94

2.1 Basic Types of Flywheel ..... 10-94

2.2 Defermination of Flywheel Dimensions ..... 10-95

2.3 Check for Peripheral Velocity ..... 10-95

2.4 Check for Moment of Inertia ..... 10-95

2.5 Check for Flywheel Strength ..... 10-95

2.6 Vibration Amplitudes and Static Balance of Flywheels ..... 10-96

2.7 Overload Protection of Flywheels ..... 10-96



2·8 New Materials and New Constructions  
of Flywheels ..... 10-97

References ..... 10-98

## Part 11 Seals and Sealing

### Table of Symbols

#### Chapter 1 Introduction

1 Principle and Classification ..... 11-5  
 2 Sealing Force and Load  
   Abatement ..... 11-6  
 3 Tracing Ability and Clinching ..... 11-7  
 4 Sealing Ability ..... 11-7  
 5 Leakage ..... 11-9  
 6 Friction ..... 11-9  
 7 Wear ..... 11-9  
 8 Lubrication ..... 11-9  
 9 Sealing Systems ..... 11-9  
   9·1 Sealant and Isolation Recess ..... 11-9  
   9·2 Lubrication ..... 11-10  
   9·3 Coolong and Flushing ..... 11-10  
 10 Economical Analysis ..... 11-11

#### Chapter 2 Sealing of Interfaces without Relative Motion

1 Seals for Bolted Flange-Joints ..... 11-13  
   1·1 Flanges ..... 11-13  
   1·2 Gaskets ..... 11-13  
   1·3 Calculation of Bolt Load ..... 11-16  
 2 Pipe Joint Seals ..... 11-16  
 3 Seals for High Pressure Vessels ..... 11-17  
   3·1 Flat Metallic Gasket Seals ..... 11-18  
   3·2 Double Conical Seals ..... 11-19  
   3·3 Octagon and Ellipsoidal Gaskets  
   Seals ..... 11-20  
 4 Hollow Metallic O-Ring Seals ..... 11-20  
   4·1 Design Calculation ..... 11-21  
   4·2 Manufacturing and Gas Filling  
   Methods ..... 11-21  
 5 Split Face Seals ..... 11-21  
   5·1 Split Face ..... 11-21

5·2 Bolt Force ..... 11-22  
 6 Static Seals Used in Specific  
   Environments ..... 11-22  
   6·1 High Temperature Seals ..... 11-22  
   6·2 Low Temperature Seals ..... 11-22  
   6·3 Vacuum Seals ..... 11-22

#### Chapter 3 Contact Sealing of Elastoplastic Interfaces in Relative Motion

1 Flexible Packing ..... 11-23  
   1·1 Flexible Packing Application ..... 11-23  
   1·2 Packing Boxes ..... 11-29  
   1·3 Calculation ..... 11-30  
 2 Flexible Graphite ..... 11-31  
   2·1 Principle ..... 11-31  
   2·2 Property and Products ..... 11-31  
   2·3 Application Requirements ..... 11-33  
 3 Moulded Packings ..... 11-34  
   3·1 Rubber Extruded Seal Rings ..... 11-34  
   3·2 Rubber Lip-Seal Rings ..... 11-37  
   3·3 Combined Rubber Seal Rings ..... 11-40  
   3·4 Coaxial Seal Rings ..... 11-41  
   3·5 Plastic Seal Rings ..... 11-41  
   3·6 Leather Seal Rings ..... 11-42  
 4 Lip Seals ..... 11-43  
   4·1 Classification ..... 11-43  
   4·2 Properties and Parameters ..... 11-45  
   4·3 Standard Products ..... 11-47  
   4·4 Assemble Construction ..... 11-47  
   4·5 Hydrodynamic Oil Seals ..... 11-48

#### Chapter 4 Contact Sealing of Hard Interfaces in Relative Motion

1 Mechanical Seal ..... 11-49  
   1·1 Classification ..... 11-49



1.2	Standard Products .....	11-59
1.3	Design and Calculation .....	11-54
1.4	Material Selection .....	11-57
1.5	Applications .....	11-58
1.6	Non-Contact Mechanical Seals .....	11-62
2	Hard Packing .....	11-63
2.1	Constructional Types .....	11-64
2.2	Hard Packing Assemblies .....	11-65
2.3	Calculation .....	11-67
3	Piston Rings .....	11-68
3.1	Working Principle .....	11-68
3.2	Piston Ring Group .....	11-69
3.3	Radial Force .....	11-69
3.4	Piston Ring Stress .....	11-70
3.5	Cross-Section Forms .....	11-70
3.6	Materials and Surface Treatment .....	11-71
4	Oil-Free Piston Rings .....	11-71
4.1	Applications .....	11-71
4.2	Wear and Life .....	11-72
5	Expansion Ring Seals .....	11-72
5.1	Possible Damages Arising from Expansion Ring Rotation .....	11-72
5.2	Anti-Rotation Measures .....	11-72
5.3	Load Abation .....	11-73

**Chapter 5 Flow-Hindering  
Non-Contact Sealing of Interfaces  
in Relative Motion**

1	Floating Ring-Seals .....	11-74
1.1	Classification .....	11-74
1.2	Main Points of Design .....	11-76
1.3	Technical Requirements .....	11-76
1.4	Design Calculation .....	11-78
2	Oil-Free Floating Ring-Seals .....	11-79
2.1	Typical Construction .....	11-79
2.2	Main Points of Design .....	11-79
2.3	Leakage Calculation .....	11-80
3	Fixed Ring-Seals .....	11-80
3.1	Fixed Ring-Seals of Turbine- Compressors .....	11-80
3.2	Fixed Ring-Seals of Hydraulic-Drive Elements .....	11-80

3.3	Fixed Ring-Seals of Centrifugal Pumps .....	11-81
3.4	Lapped Surface Seals of Injection Oil Pumps .....	11-81
4	Ring-Sealing for Back-Pressured Sleeves and Plungers of Super-High Pressure Pumps .....	11-81
5	Labyrinth Seals .....	11-82
5.1	Working Principle .....	11-82
5.2	Calculation .....	11-83
5.3	Constructional Types .....	11-85

**Chapter 6 Non-Contact  
Fluid-Dynamic Sealing of  
Interfaces in Relative Motion**

1	Centrifugal Seals .....	11-88
1.1	Constructional Design .....	11-88
1.2	Sealing Pressure .....	11-88
1.3	Power Loss .....	11-89
2	Helical Seals .....	11-89
2.1	Pressure Differential and Power Loss at Laminar Flow .....	11-90
2.2	Pressure Differential at Turbulent Flow .....	11-90
2.3	Parameter Selection of Helix Geometry .....	11-91
2.4	Sealant Selection .....	11-91
3	Helical-Labyrinth Seals .....	11-91
4	Shut-Down Seals .....	11-92
4.1	Automatic-Releasing Shut-Down Seals .....	11-92
4.2	Externally-Controlled Releasing Shut-Down Seals .....	11-93

**Chapter 7 Sealing with  
Viscous Sealants**

1	Sealing Gelatinoid .....	11-94
1.1	Classification .....	11-94
1.2	Market Products .....	11-94
1.3	Applications .....	11-99
2	Leakage Stoppage under no Pressure .....	11-100



2·1 Properties and Selection of Sealants ..... 11-100

2·2 Market Products ..... 11-101

2·3 Applications ..... 11-102

3 Leakage Stoppage under Pressure ..... 11-102

3·1 Working Principle ..... 11-102

3·2 Tools Required ..... 11-102

3·3 Stopping Method ..... 11-102

3·4 Fixture Design ..... 11-104

3·5 Sealants ..... 11-105

4 Magnetic Fluid Sealing ..... 11-105

4·1 Magnetic Fluid ..... 11-105

4·2 Component Part ..... 11-106

4·3 Properties and Application ..... 11-106

**Chapter 8 Sealing Systems**

1 Fundamental Fuction ..... 11-107

2 Mechanical Seal System ..... 11-108

2·1 Lubrication Flushing and Cooling ..... 11-108

2·2 Heat Balance of System ..... 11-109

2·3 System Components ..... 11-109

2·4 Equipments and Implements ..... 11-112

3 Floating Ring-Seal System ..... 11-113

3·1 Flow Charls ..... 11-113

3·2 Equipments and Implements ..... 11-114

3·3 Paramter Determination ..... 11-114

3·4 Design Requirements ..... 11-115

4 Labyrinth Seal System ..... 11-117

4·1 Open Labyrinth Seal System ..... 11-117

4·2 Close Labyrinth Seal System ..... 11-117

4·3 Self Feed Labyrinth Seal System ..... 11-117

4·4 Chemical Medium Labyrinth Seal System ..... 11-119

**Chapter 9 Dust Seals, Combined Seals and Complete Enclosure Seals**

1 Dust Seals ..... 11-119

1·1 Rotating Dust Seals ..... 11-119

1·2 Reciprocating Dust Seals ..... 11-121

1·3 Complete Enclosed Dust Seals ..... 11-125

2 Combined Seals ..... 11-125

2·1 Multistage in Tandem ..... 11-125

2·2 Pressure Reduction and Leakage Prevention ..... 11-126

2·3 Function Division ..... 11-126

2·4 Dust Seal Combined with Main Seal ..... 11-126

3 Complete Enclosure Seals ..... 11-127

3·1 Integrally Shielded Equipments ..... 11-127

3·2 Shielded Motors ..... 11-127

3·3 Shielded Magnetic Clutches ..... 11-128

3·4 Shielded Electromagnets ..... 11-128

3·5 Diaphragm Drives and Bellow Drives ..... 11-128

4 Rubber Sealing Strip ..... 11-129

5 No-Leak Weld ..... 11-130

**Chapter 10 Sealing Materials**

1 Asbestos ..... 11-131

2 Leather ..... 11-132

3 Felt ..... 11-133

4 Synthetic Fiber ..... 11-133

5 Cardboard ..... 11-133

6 Rubber ..... 11-133

7 Plastics ..... 11-135

8 Carbon and Graphite Products ..... 11-137

9 Ceramics ..... 11-139

10 Microlitic Glass and Silicified Graphite ..... 11-140

11 Sintered Carbide ..... 11-141

12 Hard Alloy Surfacing-Weld ..... 11-142

13 Torch Welded or Sprayed Metallic Powder ..... 11-142

14 Cast Iron ..... 11-143

15 Steel and Non-Ferrous Alloys ..... 11-144

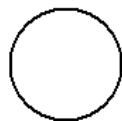
References ..... 11-145



# 第 1 篇

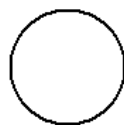
## 制图与公差

---





主编单位 华中理工大学  
编写单位 华中理工大学  
主 编 冯世瑶 李 柱 江天一  
编写人 冯世瑶 刘 新 李 柱 杨曙年  
          江天一 程德云  
主 审 汪 恺



# 第1章 机械制图<sup>[1][2]~[5]</sup>

工程图样是表达和交流技术思想的重要工具，是产品设计和制造过程中最基本的技术文件。图样应完整清晰，准确无误，尺寸和技术要求齐全，能满足设计和工艺上的要求，还应符合国家标准及有关专业标准。

随着计算机技术的发展，用计算机进行的图形显示和自动绘制，已在各个领域得到应用。应用计算机绘

图不仅可以快速而准确地绘制各种工程图样，而且可以借助图形来表示数值计算、数据处理以及动态模拟。目前计算机绘图不仅成为CAD/CAM的基础技术，而且正在不断丰富和促进计算机图形学（Computer Graphics）的发展。

我国现行的国家标准《机械制图》全面参照或等效采用了ISO国际标准。其目录如下：

国家标准《技术制图》、《机械制图》目录

国标号	标准名称	国标号	标准名称
GB/T14692—93	投影法	GB4458.5—84	尺寸公差与配合注法
GB/T14689—93	图纸幅面及格式	GB 4459.1—84	螺纹及螺纹紧固件画法
GB/T14690—93	比例	GB 4459.2—84	齿轮画法
GB/T14691—93	字体	GB 4459.3—84	花键画法
GB/T13361—92	技术制图通用术语	GB 4459.4—84	弹簧画法
GB/T14665—93	机械制图用计算机信息交换制图规则	GB 4459.5—84	中心孔表示法
GB 4457.4—84	图线	GB 4460—84	机构运动简图符号
GB 4457.5—84	剖面符号	GB 4456—84	金属结构件表示法
GB 4458.1—84	图样画法	GB131—93	表面粗糙度符号代号及其注法
GB 4458.2—84	装配图中零、部件序号及其编排方法		
GB 4458.3—84	轴测图		
GB 4458.4—84	尺寸注法		

## 1 制图基本规定

### 1.1 图纸幅面和格式

绘制图样时，应采用表1-1-1所规定的基本幅面，

必要时也允许加长幅面。图纸必须用粗实线画出图框，其格式有不留装订边和留有装订边两种，但同一产品的图样只能采用同一种格式，其格式和尺寸见图1-1-1和表1-1-1。

每张图纸必须画出标题栏，标题栏的格式和尺寸

表 1-1-1 图纸幅面及图框尺寸

基 本 幅 面 (第一选择)					
幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$	841×1189	594×841	420×594	294×420	210×297
$e$	20		10		
$c$	10		5		
$a$	25				
加长幅面 (第二选择)			幅面代号	尺寸 ( $B \times L$ )	
幅面代号	尺寸 ( $B \times L$ )		A4×3	297×630	
A3×3	420×891		A4×4	297×811	
A3×4	420×1189		A4×5	297×1051	



(续)

加长幅面 (第三选择)		幅面代号	尺寸 (B×L)
幅面代号	尺寸 (B×L)	A3×6	420×1783
A0×2	1189×1682	A3×7	420×2080
A0×3	1189×2523	A4×6	297×1261
A1×3	841×1783	A4×7	297×1471
A1×4	841×2378	A4×8	297×1682
A2×3	594×1261	A4×9	297×1892
A2×4	594×1682		
A2×5	594×2102		
A3×5	420×1486		

- 注：1. 应优先采用基本幅面 (第一选择)。  
 2. 幅面的尺寸公差按 GB148 的规定。

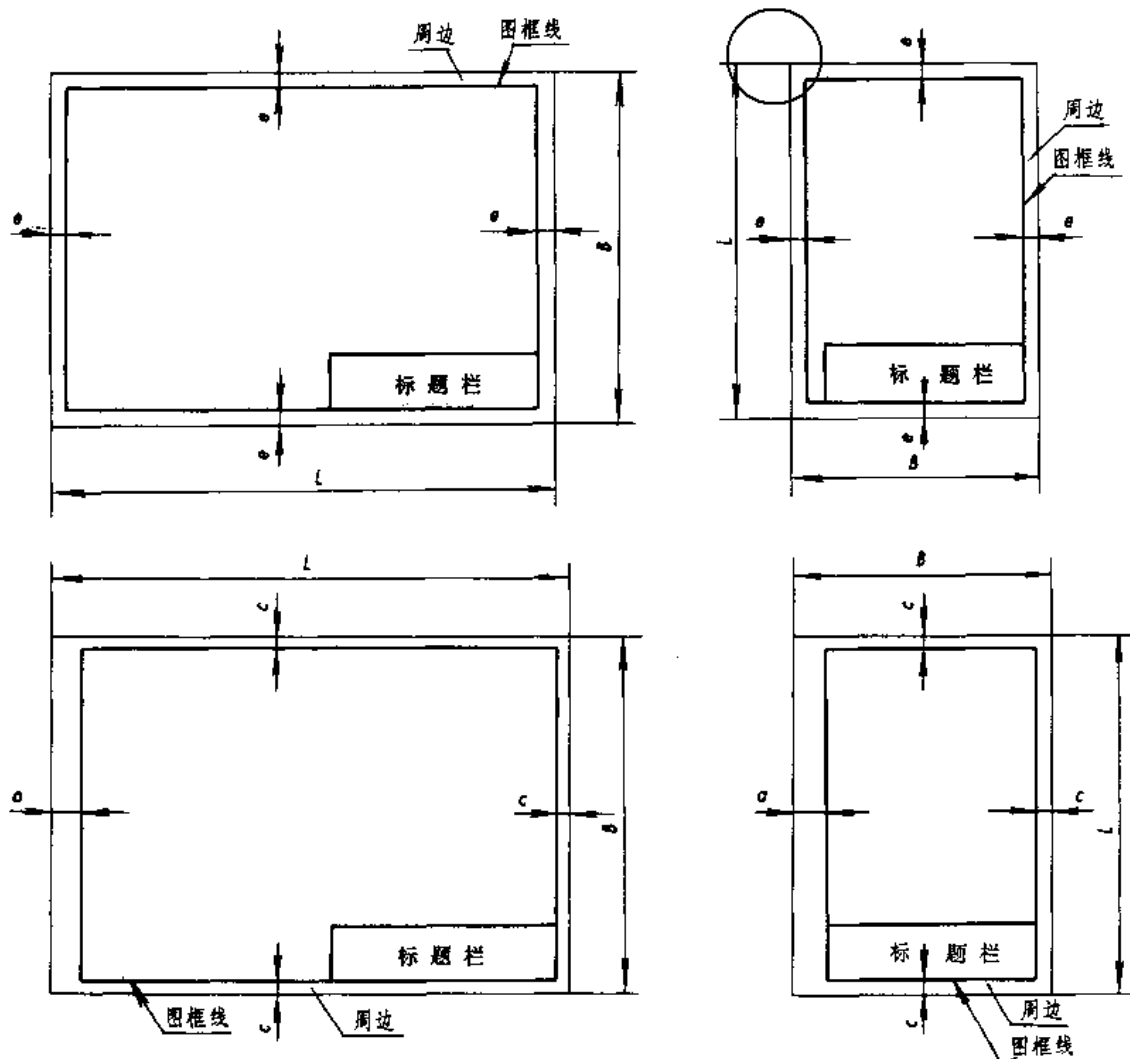


图 1-1-1 图框格式



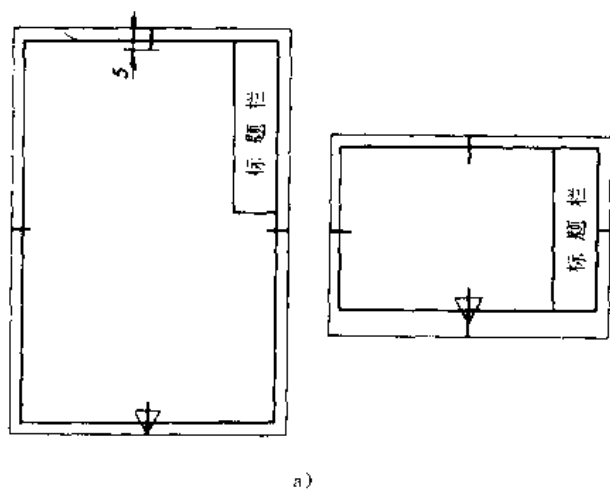


图 1-1-2 预先印刷的图纸标题栏位置和方向符号

a) 标题栏位置 b) 方向符号画法

见 GB10609.1, 标题栏位于图纸的右下角, 应与看图方向一致, 见图 1-1-1。为了利用预先印刷好的图纸,

允许按图 1-1-2a 所示方向使用图纸, 但必须在图纸下边对中符号处画出一个方向符号, 以明确画图 and 看图方向。方向符号是用细实线绘制的等边三角形, 其大小和所处位置见图 1-1-2b。

为使图样复制和缩微摄影定位方便, 各号图纸均应在各边的中点画出对中符号, 见图 1-1-2a。对中符号用粗实线绘制并伸入图框约 5mm。若要用以识别缩微摄影的放大或缩小的倍率, 可在图纸的下边用粗实线画出不注尺寸的米制参考分度, 见图 1-1-3。其总长为 100mm, 等分成 10 格, 高度为 5mm, 对称配置在图纸下边的对中符号两侧。

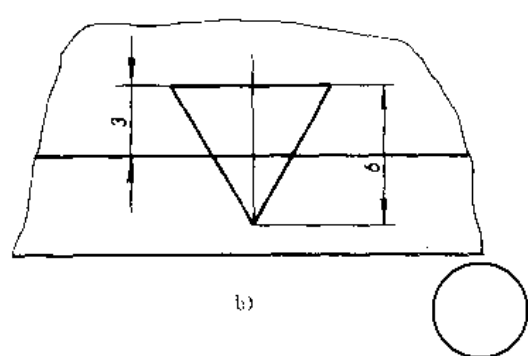


图 1-1-3 米制参考分度

为看图方便, 必要时可用细实线在图纸周边内画出图幅分区。用拉丁字母和阿拉伯数字编号, 见图 1-1-4。分区的字母和数字都必须取偶数, 每一分区长度在 25~75mm 之间选取, 在图样中标注分区代号时, 字母在前、数字在后, 如 B3、C5 等。当与视图名同时标注时, 视图名在前、分区代号在后, 中间空一格。如 A 向 B3、E-E A7、 $\frac{D}{2:1}$  C5 等。

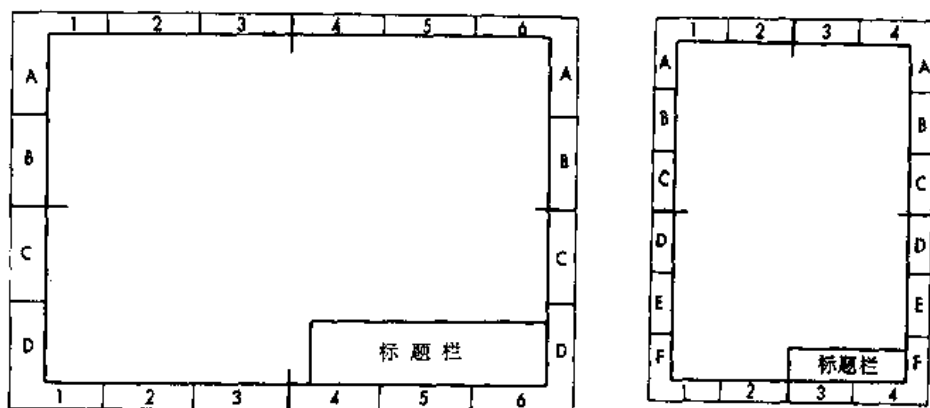


图 1-1-4 图幅分区

### 1.2 比例

需要按比例绘图时, 应由表 1-1-2 规定或允许的系列中选取。

### 1.3 正投影法

绘制工程图样时, 应以正投影法为主, 以轴测投影法及透视投影法为辅。表示一个物体的六个基本投影



方向和基本视图见表1-1-3。

主视图应尽量反映物体的主要特征,其他视图可根据实际情况选用。在完整、清晰地表达物体特征前提下,使视图数量为最少,力求制图简便,应采用第一角

画法布置六个基本视图,必要时(如按合同规定等),才允许使用第三角画法。投影面展开方法及视图布置见表1-1-4。

如不能按表1-1-4配置视图时,可按图1-1-5a所

表1-1-2 比例系列

种类	规定比例			允许比例				
原值比例	1:1							
放大比例	5:1	2:1		4:1			2.5:1	
	$5 \times 10^n : 1$	$2 \times 10^n : 1$	$1 \times 10^n : 1$	$4 \times 10^n : 1$			$2.5 \times 10^n : 1$	
缩小比例	1:2	1:5	1:10	1:1.5	1:2.5	1:3	1:4	1:6
	$1:2 \times 10^n$	$1:5 \times 10^n$	$1:1 \times 10^n$	$1:1.5 \times 10^n$	$1:2.5 \times 10^n$	$1:3 \times 10^n$	$1:4 \times 10^n$	$1:6 \times 10^n$

注:n为正整数。

表1-1-3 多面正投影及视图

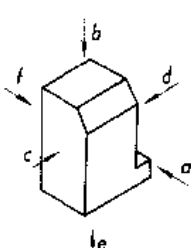
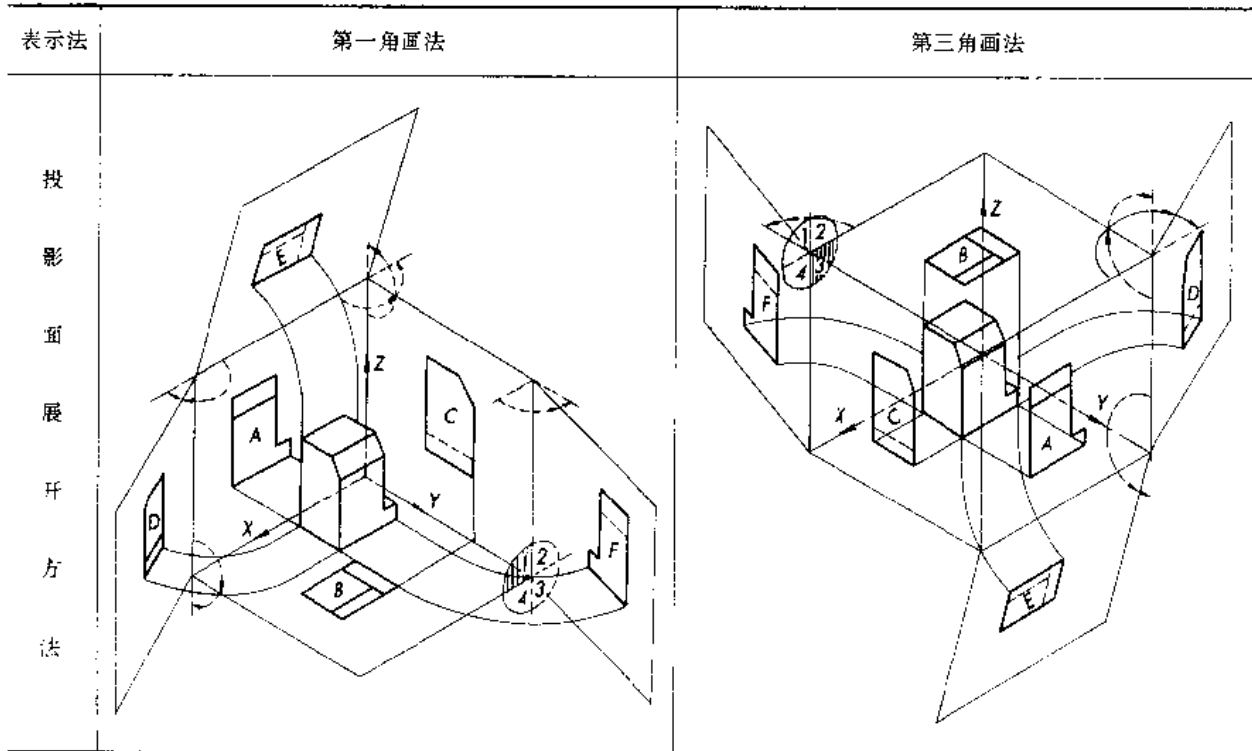
物 体 投 影	投 影 方 向		视 图 名 称
	方向代号	方 向	
	a	自前方投影	主视图或正立面图
	b	自上方投影	俯视图或平面图
	c	自左方投影	左视图或左侧立面图
	d	自右方投影	右视图或右侧立面图
	e	自下方投影	仰视图或底面图
	f	自后方投影	后视图或背立面图

表1-1-4 投影面展开及视图布置



(续)

表示法	第一角画法	第三角画法
视图布置		
特征标记		
侧重采用国家	德国、法国、原苏联、中国等	美国、日本、加拿大、澳大利亚等

示的方式表达，或根据专业需要选择在视图下方标出图名。图 1·1-5b 是 ISO/DIS5456-2 规定的标注方法，

供参考。

用正投影法表示的还有镜像投影和标高投影。主

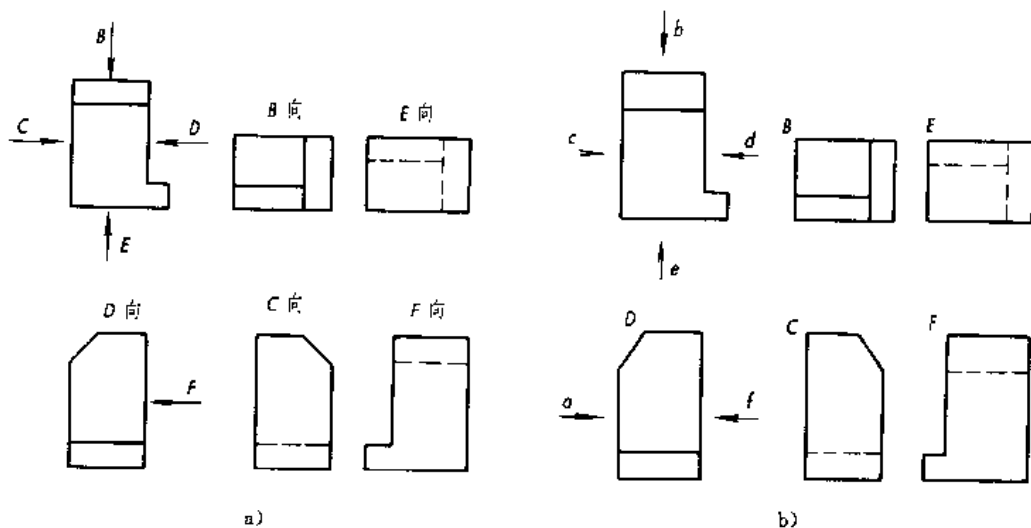


图 1·1-5 允许视图配置方法

a) GB 标注 b) ISO 标注

要用于表示某些工程的构造以及上建、水利等专业。

#### 1·4 图线型式及应用

我国和 ISO 规定的机械制图图线型式及其应用范围见表 1·1-5。

图 1·1-6a~k 是 GB4457.4-84 规定的图线应用举例。

图线分为粗细两种。粗线的宽度  $b$  按图的大小和复杂程度，在 0.5~2mm 之间选择，细线的宽度约为  $b/3$ 。图线宽度的推荐系列为：0.18, 0.25, 0.35, 0.5, 0.7, 1, 1.4, 2mm。



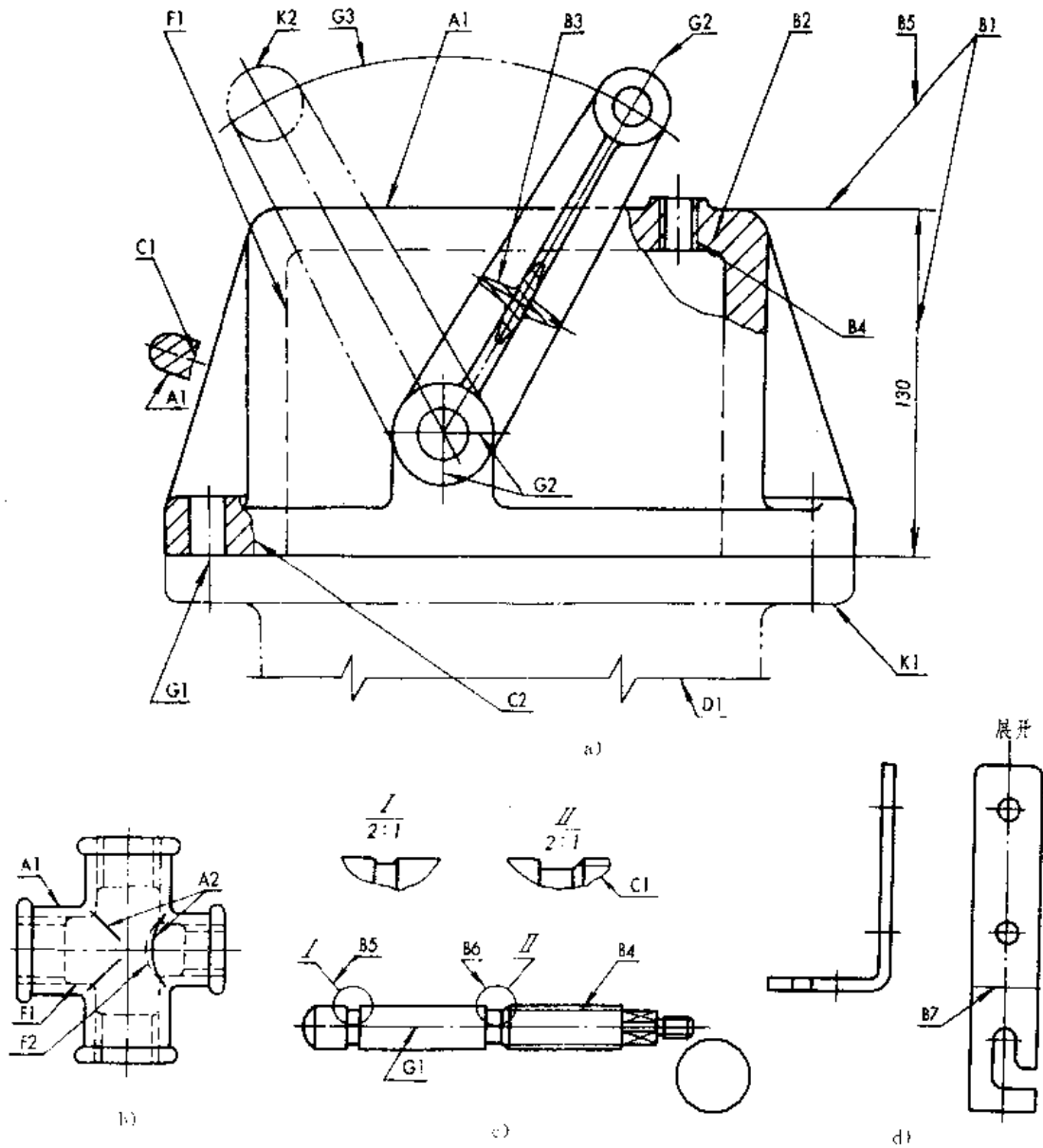
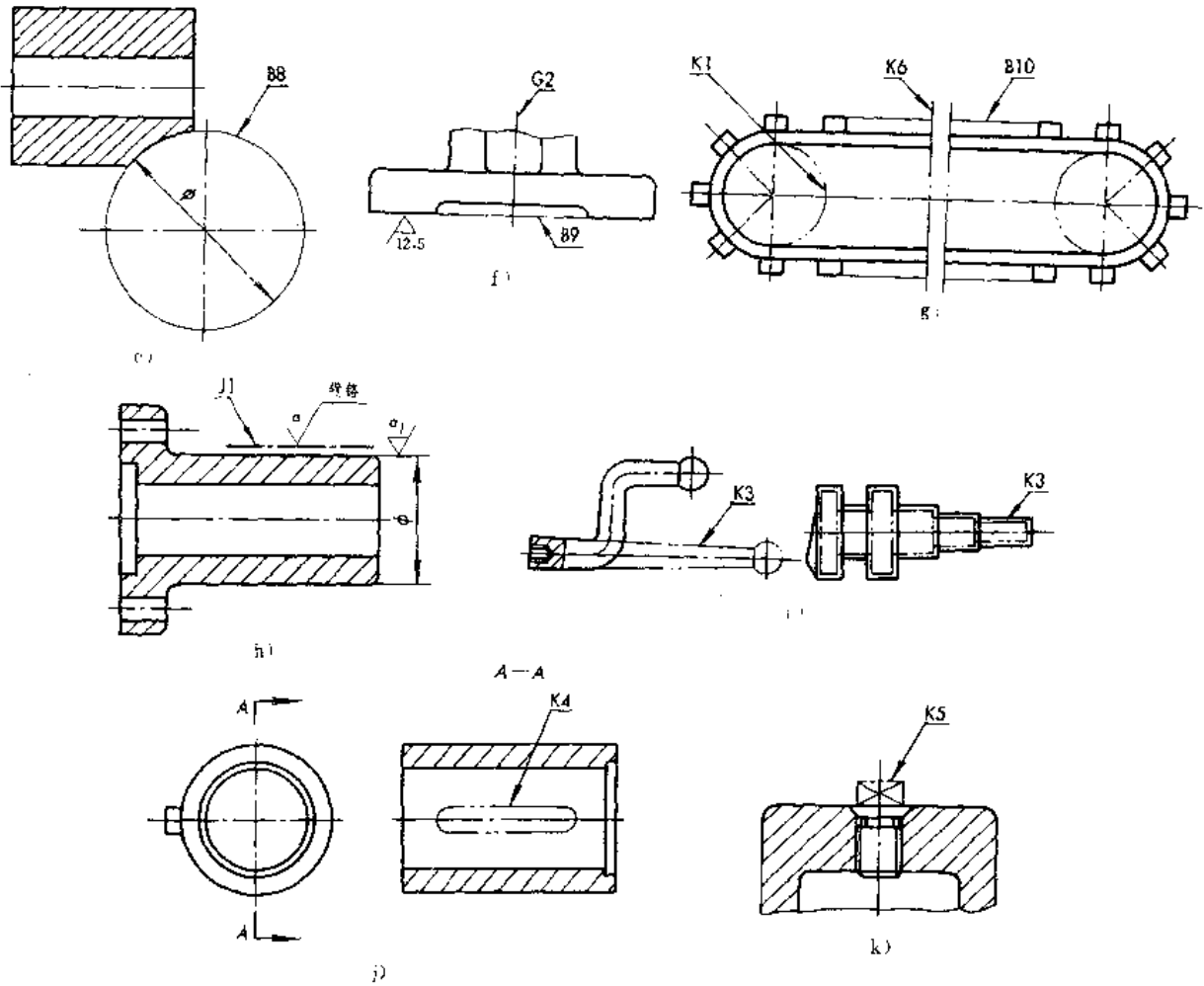


图 1-1-6 图线

表 1-1-5 图线型式及其应用范围

名称	型式及代号	应用范围	
		GB4457.1-84	ISO <sup>1</sup>
粗实线	—— A	A1 可见轮廓线 A2 可见过渡线	A1 可见轮廓线 A2 可见棱线 A3 螺纹牙顶线 A4 螺纹终止线 A5 分界线 (在视图中)
细实线	—— B	B1 尺寸线及尺寸界线 B2 剖面线 B3 重合剖面轮廓线 B4 螺纹牙底线及齿轮的齿根线 B5 引出线	B1 假想交线 B2 尺寸线 B3 尺寸界线 B4 引线 B5 剖面线





应用举例

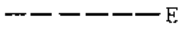
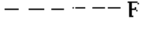
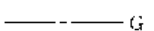

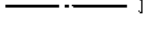

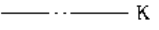
(续)

名称	型式及代号	应用范围	
		GB4157.4-84	ISO D
细实线		B6 分界线及范围线 B7 弯折线 B8 辅助线 B9 不连续的同一直线的连线 B10 成规律分布的相同要素的连线	B6 重合剖面轮廓线 B7 短中心线 B8 螺纹牙底线 B9 尺寸界线终端 B10 表示圆上部分平面对角线 B11 弯折线 B12 放大图范围线 B13 重复要素表示线 B14 表示物体旋转方向 B15 表示焊缝排列 B16 网格线
波浪线		C1 断裂处的边界线 C2 视图和剖视图的分界线	C1 局部视图、断裂视图、剖视图的界线(若界线不用点划线)
双折线		D1 断裂处的边界线	





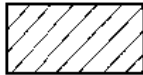
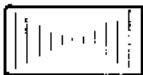
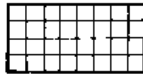

(续)

名称	型式及代号	应用范围	
		GB4457.4—84	ISO①
粗虚线	 E		E1 不可见轮廓线 E2 不可见棱线 E3 表示有特殊要求的表面
虚线	 F	F1 不可见轮廓线 F2 不可见过渡线	F1 不可见轮廓线 F2 不可见棱线 (F 可代替 E 优先选用)
细点划线	 G	G1 轴线 G2 对称中心线 G3 轨迹线 G4 节圆及节线 (齿轮)	G1 中心线 G2 对称线 G3 轨迹线 G4 节线 (齿轮) G5 分布在圆周上孔的定位线
及点拐角处起为粗端实线	 H		H1 剖切平面位置
粗点划线	 J	J1 有特殊要求的线或表面的表示线	J1 有特殊要求的线或表面的标记 J2 剖切平面线 J3 分界线 (在剖面图中) 
双点划线	 K	K1 相邻辅助零件的轮廓线 K2 极限位置的轮廓线 K3 坯料轮廓线或毛坯图中制成品的轮廓线 K4 假想投影轮廓线 K5 试验或工艺用结构 (成品上不存在) 的轮廓线 K6 中断线	K1 相邻零件轮廓线 K2 运动件轨迹及极限位置 K3 重心线、形心线 K4 制造成形前给出的轮廓线 K5 剖切平面切去的前面部分 K6 中断了的轮廓线 K7 在设计毛坯图中最终形状中表示线 K8 为引起特别注意的结构 K9 为工艺需要画出毛坯轮廓线 K10 不允许有特殊要求的表面标记

① 摘自 DIN1989 年提出的修订 ISO128 “图线”条款《ISO/TC 10N448》，仅供参考。

1.5 剖面符号

表 1-1-6 GB4457.5—84 规定的剖面符号

金属材料 (已有规定剖面符号除外)		转子、电枢、变压器 和电抗器等的迭钢片	
线圈绕组元件		非金属材料 (已有规定剖面符号除外)	



(续)

型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片、硬质合金刀片等			混凝土	
玻璃及供观察用的其他透明材料			钢筋混凝土	
木 材	纵剖面		砖	
	横剖面		格 网 (筛网、过滤网等)	
木质胶合板 (不分层数)			液 体	
基础周围的泥土				

注：1. 剖面符号仅表示材料类别，材料名称和代号必须另行注明。

2. 透钢片的剖面线方向，应与束装中的透钢片的方向一致。

3. 液面用细实线绘制。

ISO128—1982 对剖面符号规定：一般采用 45° 倾斜的细实线来表示。若要采用不同剖面符号来表示不同的材料，则这些剖面符号必须在图样上明确说明，或参照相应的标准加以确定。为统一技术制图中的剖面

符号，DIN 于 1989 年向 ISO/TC10 提出了修订 ISO128 和 ISO4069 新的工作条款，主要内容见表 1-1-7（仅供参考）。

有的国家主张省略或简化剖面符号，以文字在材

表 1-1-7 ISO/TC10 技术制图剖面符号（提案内容）

基本符号	固体 (S)	天然材料 (SN)	矿物类	如泥沙、岩石、盐、磨料等
			植物类	如木材、纤维、树脂、沥青等
			其他	如石膏、玻璃、陶瓷、砖瓦等
		金属材料 (SM)	黑色金属	合金钢、非合金钢、铸铁
			有色金属	轻金属、重金属
		塑性材料 (SP)	橡胶、合成橡胶材料	
	硬塑料			
	塑性塑料			
	液体 (L)	水 (L <sub>1</sub> )		
		油 (L <sub>2</sub> )		
油脂 (L <sub>3</sub> )				
燃料 (L <sub>4</sub> )				
气体 (G)	若有需要可从剖面符号引出线注明气体名称			

注：本表未绘出各种材料的剖面符号，若需了解，可参阅有关资料。



料栏内的注明为依据。日本 JISZ8361 1984 规定：在图样中，一般不画出剖面符号，但必要时仍可画出；英国 BS308/2—1972 规定：在不致引起误解时，剖面符号可省略不画，见图 1-1-7。

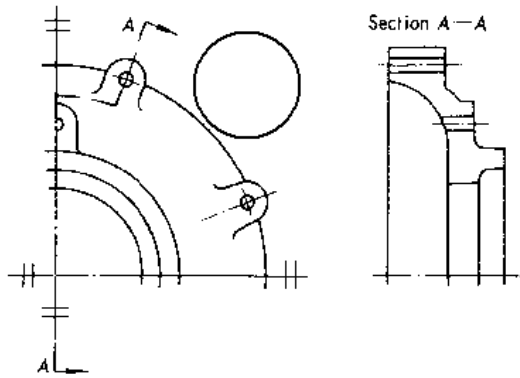


图 1-1-7 省略剖面符号

我国 GB4458.1-84 规定：在不致引起误解时，零件图中的移出剖面，允许省略剖面符号，见图 1-1-8。

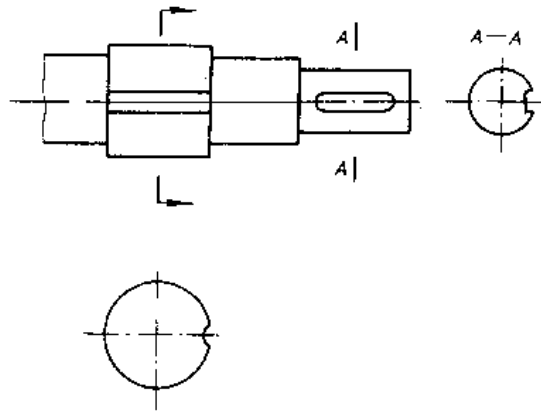


图 1-1-8 移出剖面省略剖面符号

## 2 机构运动简图

机构运动简图是工程技术人员用来表达设计方案和进行技术交流的简化图样。它以简明、形象的线条和符号表现机器或部件所属的机构构件以及它们的运动性质、范围、传动方式和路线。为统一规定机构运动简图的图形符号，GB4460—84 等效采用了 ISO 国际标准。

### 2.1 机构运动简图的规定符号(表 1-1-8~表 1-1-16)

表 1-1-8 构件的运动简图符号

名称	基本符号	名称	基本符号
单向运动	 直线运动 回转运动	在一个极限位置停留的往复运动	 直线运动 回转运动
具有瞬时停顿的单向运动	 直线运动 回转运动	在两个极限位置停留的往复运动	 直线运动 回转运动
具有停留的单向运动	 直线运动 回转运动	在中间位置停留的往复运动	 直线运动 回转运动
具有局部反向的单向运动	 直线运动 回转运动	具有局部反向及停留的单向运动	 直线运动 回转运动
往复运动	 直线运动 回转运动	运动终止	 直线运动 回转运动



表 1-1-9 运动副简图符号



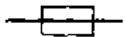


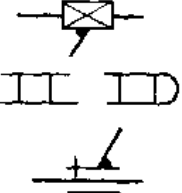






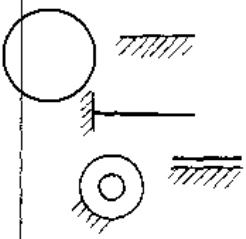

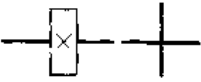

名 称	基 本 符 号	名 称	基 本 符 号
具有一个自由度的运动副	回转副 a. 平面机构 	圆柱副 	可用符号 
	b. 空间机构 		
	棱柱副 (移动副) 	具有三个自由度 可用符号 	球面副 
			平面副 
	螺旋副 	具有四个自由度 具有五个自由度 可用符号 	球与圆柱副 
			球与平面副 

表 1-1-10 构件及其组成部分的联接简图符号

名 称	基 本 符 号	名 称	基 本 符 号
机 架	 应用示例	组 成 部 分 与 轴 ( 杆 ) 的 固 定 联 接 可用符号 	
轴、杆			

此图公司制作 请尊重作者版权



(续)

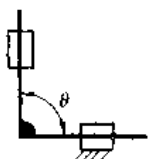
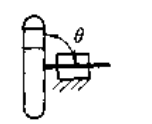

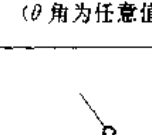

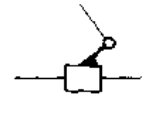
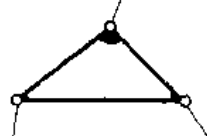
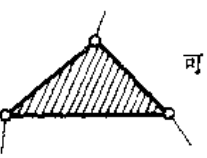
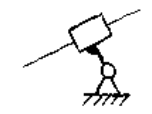



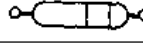
名称	基本符号	名称	基本符号
构件组成部分的永久联接		构件组成部分的可调联接	
	<p>应用示例</p>		<p>可用符号</p>

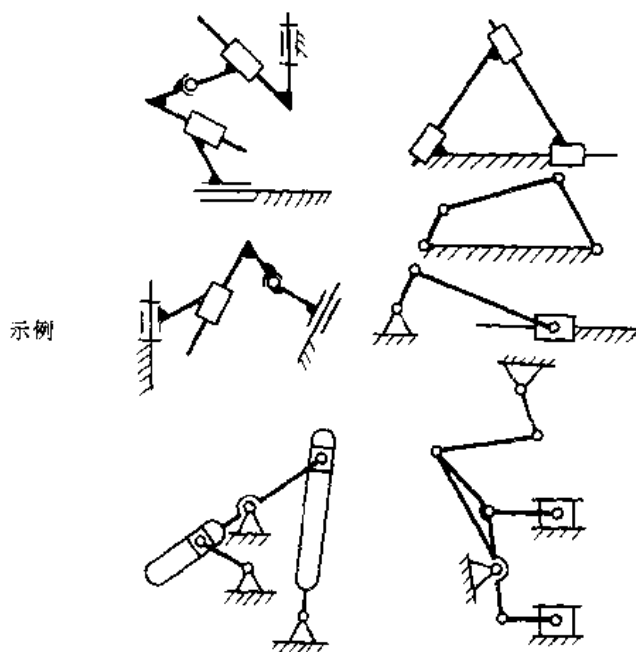
表 1-1-11 多杆构件及其组成部分的简图符号

名称	基本符号	名称	基本符号
单副元素构件	构件是回转副的一部分 1. 平面机构 2. 空间机构 	双副元素构件	连 杆 
	机架是回转副的一部分 1. 平面机构 2. 空间机构 <p>可用符号</p>		1. 平面机构 2. 空间机构 
	构件是棱柱副的一部分 <p>可用符号</p>		曲柄或摇杆 1. 平面机构 2. 空间机构 
	构件是圆柱副的一部分 		偏心轮 
	构件是球面副的一部分 		通用情况 



(续)

名称		基本符号	名称	基本符号
双副元素构件	联接两个棱柱副	  滑 块 可用符号	联接回转副与棱柱副	 导 杆 可用符号
		 (θ角为任意值)		 滑 块
三副元素构件	联接回转副与棱柱副	 通用情况	三副元素构件	  可用符号
		  导 杆		   附注



注：1. 低副构件组成的机构，按习惯，细实线所画的为相邻构件。

2. 多副元素构件的符号与双副元素、三副元素构件类似。



表 1-1-12 摩擦传动与齿轮传动简图符号

名称	基本符号	可用符号	名称	基本符号	可用符号
摩擦传动					
1. 圆柱轮			4. 准双曲面齿轮		
2. 圆锥轮			5. 蜗轮与圆柱蜗杆		
3. 双曲面轮			6. 蜗轮与球面蜗杆		
4. 可调圆锥轮			7. 螺旋齿轮		
5. 可调冕状轮			齿条传动		
齿轮传动 (不指明齿线)			1. 一般表示		
1. 圆柱齿轮			2. 蜗线齿条与蜗杆		
2. 非圆齿轮			3. 齿条与蜗杆		
3. 圆锥齿轮			扇形齿轮传动		

表 1-1-13 凸轮机构简图符号

名称	基本符号	名称	基本符号
盘形凸轮		与杆固接的凸轮	
沟槽盘形凸轮		可调联接的凸轮	
移动凸轮		空间凸轮	
		1. 圆柱凸轮	



(续)




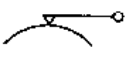
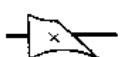




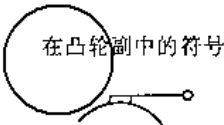

名称	基本符号	名称	基本符号	
空间凸轮 2. 圆锥凸轮		2. 曲面从动杆  3. 滚子从动杆  4. 平底从动杆		
3. 双曲面凸轮			在凸轮副中的符号	
			可用符号	
			可用符号	
凸轮从动杆 1. 尖顶从动杆	  在凸轮副中的符号			

表 1-1-14 槽轮机构和棘轮机构简图符号

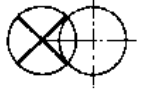

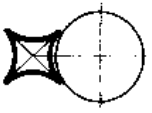
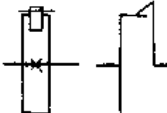
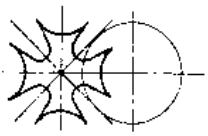
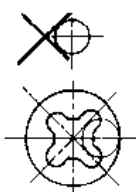
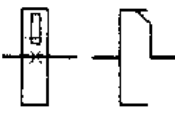

名称	基本符号	名称	基本符号
槽轮机构 1. 一般符号		棘轮机构 1. 外啮合	
2. 外啮合			
3. 内啮合			可用符号
		可用符号	
		3. 棘齿条啮合	





表 1-1-15 联轴器、离合器及制动器简图符号

名称		基本符号	名称	基本符号		
联轴器	一般符号 (不指明类型)		可控离合器	摩擦离合器 双勾式		
	固定联轴器				可用符号	液压离合器
	可移式联轴器			电磁离合器		
	弹性联轴器			自动离合器	一般符号	
可控离合器	单向式	可用符号	离心摩擦离合器			
			双向式			
器	摩擦离合器	可用符号	安全离合器		带有易损元件	
				单向式	无易损元件	
			制动器	一般符号		

注：对于可控离合器、自动离合器及制动器，当需要表明操纵方式时，可在箭头上方使用下列符号：M—机动的；H—液动的；P—气动的；E—电动的（如电磁）。

### 2.2 机构简图示例

图 1-1-9 是圆锥滚子球基面磨床的传动系统机构<sup>①</sup>。该机床采用连续成形磨削原理工作。圆锥滚子（工件）经自动上料机，按大头朝外进入隔离盘的周围槽中，并由下面的磁盘托住受到吸力。由于隔离盘和磁盘的转动方向相反，使工件一面随隔离盘公转（进给运动），一面绕自身轴线作自转（形成球面运动）。

该机床有六条传动路线，其中两条主传动路线是：由电动机 17 通过 V 带 16 驱动砂轮 1 旋转；另一条是

用液压马达 9 通过齿轮副、蜗轮副往下经链轮副驱动磁盘 3 转动。往上经齿轮副、离合器 8、蜗轮副、链轮副 7 驱动隔离盘 4 作与磁盘反向转动。此外，还有四条手动传动路线：（1）转动六方头 6 经蜗杆、斜齿轮、直齿轮带动齿条套筒 5 上、下移动，实现隔离盘上下位置的调整。（2）通过方头传动蜗杆 14，经蜗轮带动偏心轴 15 转动，使拖板底座 12 绕支球面支点 11 摆动，以

① 摘自华东纺织工学院等主编，机床设计图册，上海：上海科技出版社，1979. 214 页。



表 1-1-16 其他机构及其组件简图符号

名称		基本符号	名称	基本符号		
带传动	一般符号 (不指明类型)		挠性轴			
	V带					
	型带		可只画一部分			
	同步带		轴上飞轮			
	平带					
示例: V带传动			分度头			
轴上的宝塔轮			轴承	普通轴承		
链传动	一般符号 (不指明类型)			深沟球轴承		
	链的类型	环形链			滚动轴承	
		滚子链			可用符号	
无声链				单向推力普通轴承		
示例: 无声链传动				双向推力普通轴承		
螺杆传动	整体螺母			普通轴承		
	开合螺母			推力球轴承		
				可用符号	可用符号	
滚珠螺母	滚珠螺母			角接触轴承	单列角接触球轴承	
			双列角接触球轴承			
		可用符号	推力角接触球轴承			
滚珠螺母			通用符号 (不指明类型)			
电动机			电动机一般符号			
装在支架上的电动机			装在支架上的电动机			



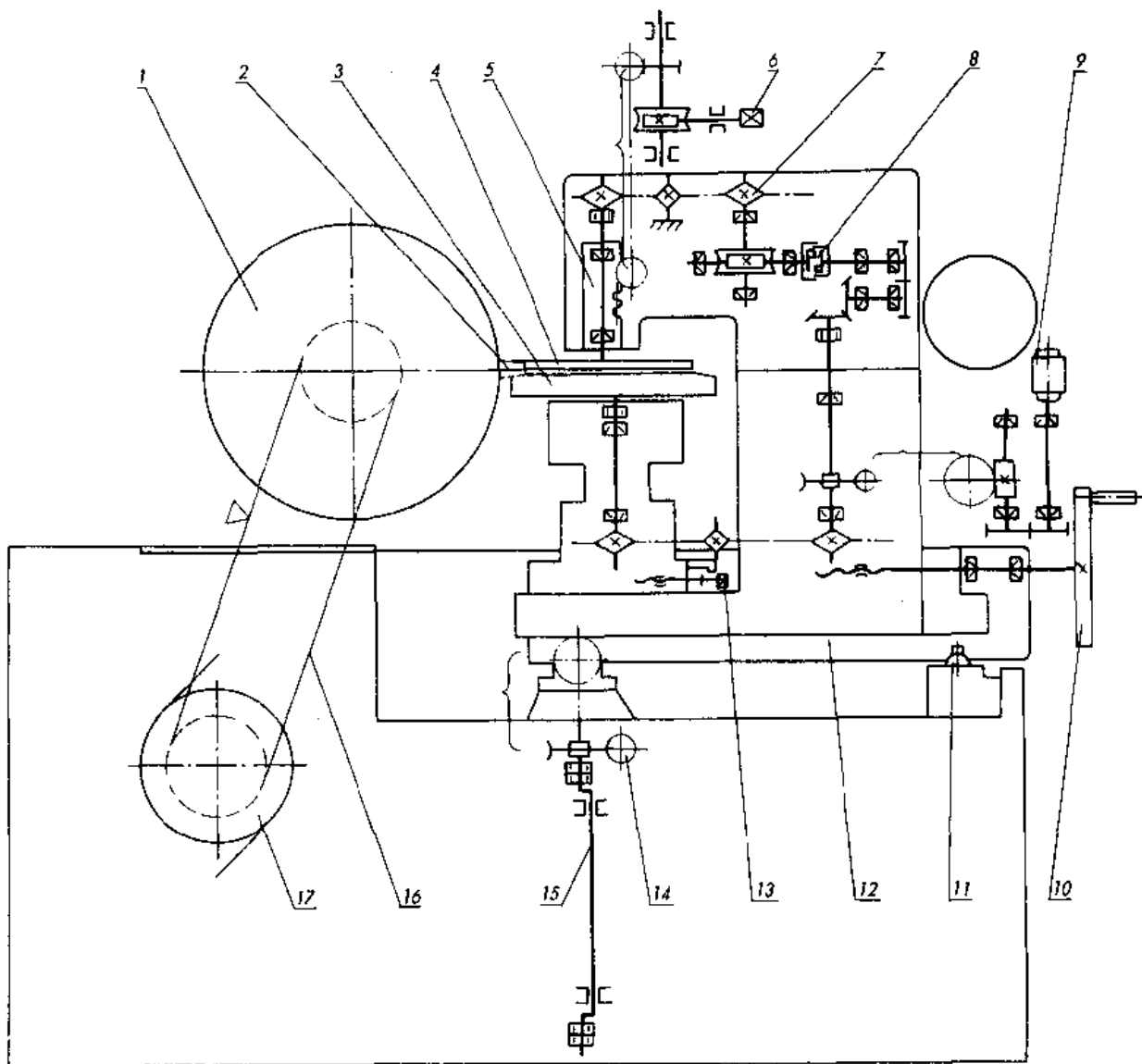


图 1-1-9 球基面磨床传动系统机构

调整磁盘的上下位置,保证工件 2 和砂轮的中心等高。  
 (3) 转动手轮 10, 经丝杆螺母, 可调整隔离盘和砂轮的距离。  
 (4) 转动六方头 13 可调整磁盘相对隔离盘的偏心距的大小。

### 3 装配图

装配图是用来表明机器或部件的整体结构和零件、部件之间的装配联接关系的图样, 在设计零件、制订装配工艺规程以及装配生产过程中起着重要作用。图 1-1-10 为内燃机上机油泵的装配图。

由于设计和生产的不同要求以及生产规模、工艺条件、行业习惯的差异, 装配图在图形表达、尺寸标注等方面也有所区别。

### 3-1 装配图的图形表达及其简化画法

#### 3-1-1 装配图的图形表达

要能清晰、简练地反映部件的结构、工作(运动)状况以及零件之间的装配联接关系。其主视图选择应符合它的工作位置或习惯放置位置, 尽可能反映该部件的结构特点、工作状况及装配联接关系。主视图通常取剖视, 以表达零件主要装配干线(如工作系统、传动系统等)。其他视图的选择应能补充主视图尚未表达或表达不够充分的部分。一般情况下, 部件每一种零件至

⊙ 摘自 GB4458.1-84。



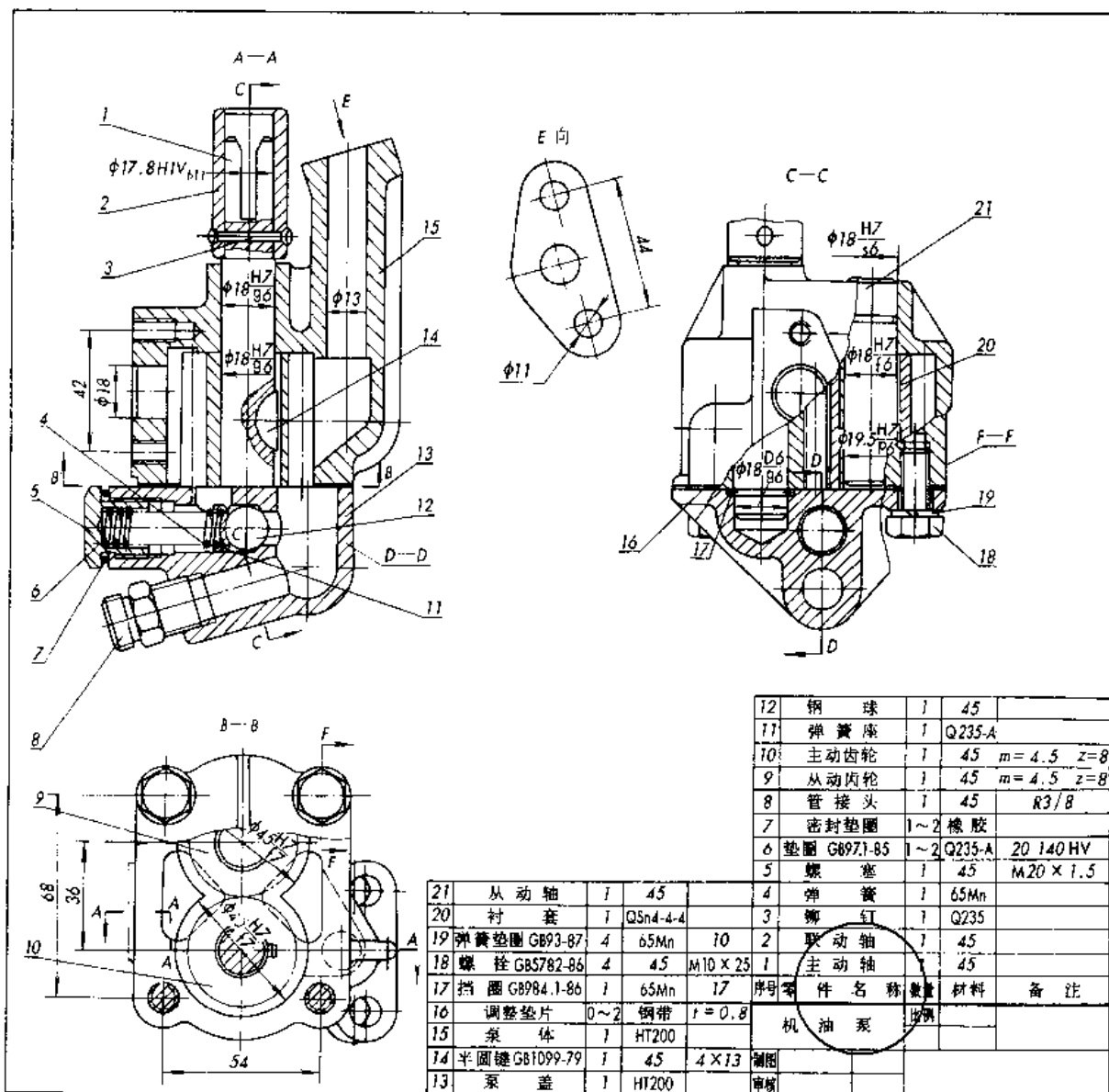


图 1-1-10 机油泵装配图

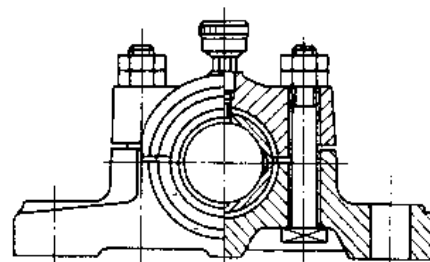
少应在视图出现一次。

### 3-1-2 装配图若干简化画法

(1) 在装配图中，对于紧固件、轴、连杆、球、钩子、键、销等实心零件，若按纵向剖切，且剖切平面通过其对称平面或轴线时，则这些零件均按不剖绘制。如需要特别表明零件的构造，如凹槽、键槽、销孔等则可用局部剖视表示。如图 1-1-10 机油泵中的齿轮轴、半圆键、钢球、螺栓、铆钉等。

(2) 在装配图中，可假想沿某些零件的结合面剖切，如图 1-1-10 中的 B-B，或假想将某些零件拆卸后绘制，需要说明时可标注“拆去××等”，见图 1-1-11。

(3) 当剖切平面通过的某些部件为标准产品或该部件已由其他图形表示清楚时，可按不剖绘制，如图



拆去轴承盖等

图 1-1-11 滑动轴承

1-1-10 机油泵中的管接头和图 1-1-11 滑动轴承中的



油杯。

(4) 在装配图中,零件的工艺结构如小圆角、倒角、退刀槽等可以不画出。对于若干相同的零件组如螺栓联接等,可仅详细地画出一组或几组,其余只需表示其装配位置,见图1-1-12。

(5) 在装配图中可以单独画出某一零件的视图,但必须按规定标注,见图1-1-13。

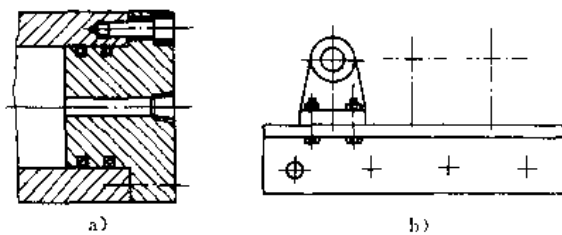


图1-1-12 装配图上简化零件工艺结构和相同零件组

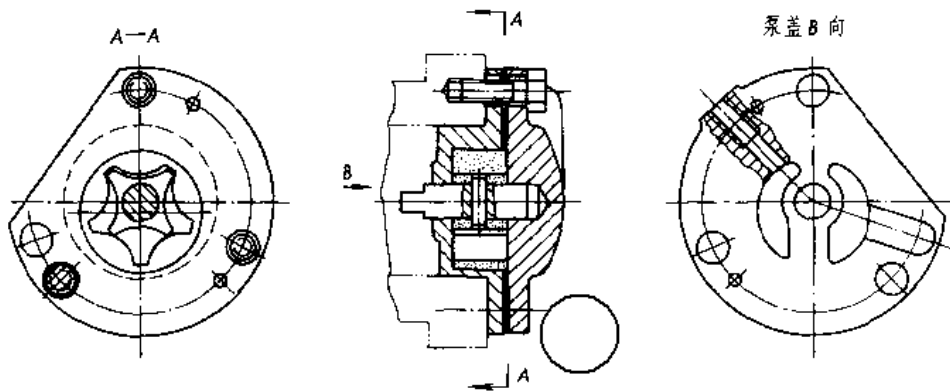


图1-1-13 装配图中单独画出某零件的视图

(6) 在装配图中,可用细实线表示带传动中的带,如图1-1-14a;用点划线表示链传动中的链条,见图1-1-14b。

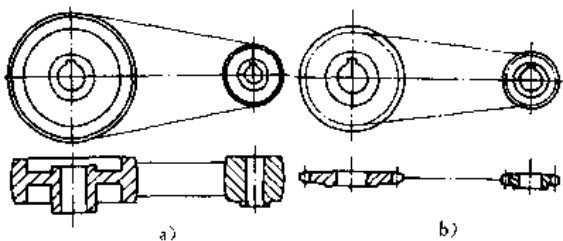


图1-1-14 带传动和链传动的简化画法  
a) 带传动 b) 链传动

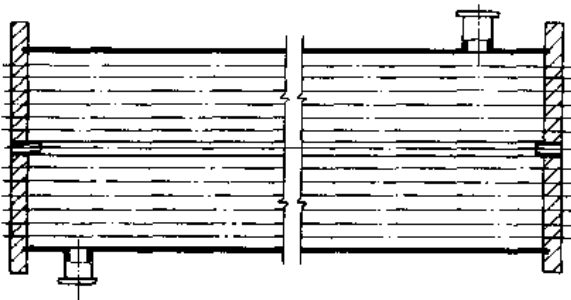


图1-1-15 热交换器密集管子表示方法

(7) 在锅炉、化工设备、散热器等装配图中,可用点划线表示密集的管子,图1-1-15是热交换器密集管子表示方法。

(8) 被网状物、弹簧挡住的部分均按不可见轮廓绘制。

### 3-2 装配图的尺寸标注

装配图中一般标注以下几类尺寸:

- (1) 机器或部件的规格(性能)尺寸。它是设计和用户选购的主要依据。
- (2) 零件之间有配合要求的尺寸,除注出基本尺寸外,还需注出配合代号。
- (3) 总装或组装时所需的安装尺寸。
- (4) 轮廓总体尺寸,即总长、总宽、总高。
- (5) 装配时需要现场加工的尺寸。如定位销配钻等。
- (6) 对机器功能、工作精度有影响的两零件相互位置关系尺寸,一般是装配尺寸链中的终结环,如泵体和泵盖的间隙尺寸。
- (7) 其他重要尺寸。如运动件极限位置尺寸;重

⊙ 摘自王帆、曾昭德主编,中外机械图样简化应用图册,北京:机械工业出版社,1988,58页。



要零件的主要尺寸(供设计零件时引用);设计中要求保证的尺寸;某些行业特有的有作用的尺寸等。

### 3.3 装配图中零部件序号编排

装配图中所有的零部件都必须编写序号,并应与明细栏(表)中序号一致。相同的零部件用一个序号,一般只标注一次。

指引线应由所指部分可见轮廓内引出,并在其末端画一圆点(不宜画圆点时可用箭头代替)。指引线之间不能相交,当通过剖面线区域时不应与剖面线平行。必要时指引线可以画成折线,但只可曲折一次。对一组紧固件以及装配关系清楚的零件组,可以采用公共指引线。序号注在指引线的水平线上或圆内,序号的字高比该装配图上尺寸数字大一号或两号,若在指引线附近注写序号,其字高必须比尺寸数字大两号。指引线及其水平线或圆圈都用细实线绘制。

装配图中序号应按顺时针或逆时针的水平或垂直方向整齐排列,见图1-1-10。也可按装配图明细栏(表)中的序号排列,但顺序要尽量符合顺时针或逆时针方向。

## 4 零件图

零件图是生产上的基本技术文件,是制造、验收零件的依据。它应当提供零件成品所需的全部技术资料,包括内外结构形状、尺寸大小及其极限偏差值,表面宏观和微观的几何形状的要求、零件的材料及其表面处理以及其他技术要求。在画零件图时还应考虑工艺上的可行性和经济性。

### 4.1 零件结构形状的表达方法

画零件图首先要考虑看图方便,根据完整、清晰的原则,结合零件形体的特征选择视图、剖视、剖面及其他表达方法。投影关系要正确,比例要恰当,并力求视图精练,制图简便。图1-1-16是机油泵泵体的表达方案之一。

泵体的主视图与机油泵工作位置是一致的,它通过阶梯剖视表示了内部结构形状(另一轴承孔在左视图上表示),其余三个视图各显示了泵体的一个方向形状,C向反映了出油孔法兰的形状。零件图上每个视图比较完整清晰,各有表达重点,投影联系紧密,布置也比较紧凑。表达时应注意:

(1) 主视图的选择应符合该零件在部件中的工作

位置或主要加工位置,并尽可能反映零件的结构形状特征。

(2) 其他视图的选用要有明确的表达重点。要优先选用俯视图和左视图。

(3) 配置视图时,应尽量符合投影关系。对于反映零件内部主要结构形状的剖视图,宜配置在基本视图上。

(4) 选择图形比例时,应以能将绝大部分结构形状表示清楚为原则;个别细小要素(如退刀槽、油沟等)可采用局部放大图表示。

(5) 选择和布置视图时,要考虑合理地利用图纸幅面。

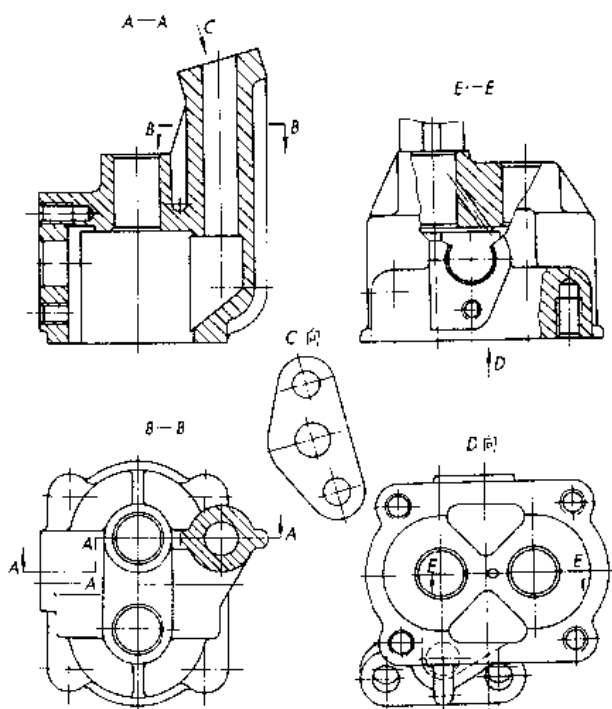


图1-1-16 机油泵泵体表达方案

### 4.2 零件图的若干简化画法

为提高设计绘图效率,适应计算机辅助设计绘图(CADD)发展需要,国内外对图样简化的研究十分重视。国家标准《机械制图》已陆续吸收了一些比较成熟的简化画法,见表1-1-17。

① 摘自GB4458.2-84。



表 1-1-17 零件图中若干简化画法

项 目	图 例	说 明
<p>按一定规律分布的同径孔或相同结构要素的简化画法</p>		<p>直径相同且成规律分布的孔(圆孔、螺孔、沉孔),可以仅画出一个或几个,其余只需用点划线表示其中心位置,在零件图中注明孔的总数(图a)。其他相同结构要素(齿、槽等)也可只画出几个完整的结构,其余用细实线连接,图上注明结构的总数(图b)</p>
<p>网状物、编织物、滚花的简化画法</p>		<p>网状物、编织物或机件上的滚花部分,可在轮廓线附近用细实线示意画出,并在零件图上或技术要求中注明这些结构的具体要求</p>
<p>肋、轮辐、薄壁的规定画法</p>		<p>对于机件的肋、轮辐及薄壁等,如按纵向剖切,这些结构都不画剖面符号,而用粗实线将它与其邻接部分分开。当零件回转体上均匀分布的肋、轮辐、孔等结构不处于剖切平面上时,可将这些结构转到剖切平面上画出</p>
<p>过渡线相贯线的简化画法</p>		<p>在不致引起误解时,图形中的过渡线、相贯线允许简化,例如用圆弧或直线代替非圆曲线</p>



(续)

项 目	图 例	说 明
对称机件的简化画法		<p>在不致引起误解时，对称机件的视图可只画一半或四分之一，并在对称中心线的两端画出两条与其垂直的平行细实线</p>
较长机件的简化画法		<p>较长的机件（轴、杆、型材、连杆等）沿长度方向的形状一致或按一定规律变化时，可断开后缩短绘制</p>
斜面上的圆弧简化画法		<p>与投影面倾斜角度小于或等于 <math>30^\circ</math> 的圆或圆弧，其投影可用圆弧代替</p>
小圆角、小倒角的简化画法		<p>在不致引起误解时，零件图中的小圆角、锐边的小倒圆或 <math>45^\circ</math> 小倒角允许省略不画，但必须注明尺寸或在技术要求中加以说明</p>
机件上小结构、小斜度的简化画法		<p>机件上较小的结构或斜度不大的结构，如在一个图形中已表达清楚时，其他图形可以简化或省略，斜度结构可按小端画出</p>
局部视图简化画法		<p>零件上对称结构的局部视图，可按图中所示画法</p>
均布的孔和一系列剖面的简化画法		<p>圆柱形法兰和类似零件上均匀分布的孔可按图中所示方法表示。用一系列剖面表示机件上较复杂的曲面时，可只画出剖面轮廓，并配置在同一个位置上</p>

注：摘自 GB4458.1-84。





## 4.3 零件图的尺寸标注

零件图中的尺寸标注要注意选择恰当的尺寸基准,合理地反映设计、工艺要求;尺寸数量齐全、书写清楚,并配置在最清晰的视图中;还必须符合GB4458.4—84的规定。

## 4.3.1 基准及尺寸分类

1. 基准 确定零件上几何元素位置的一组点、线、面。

根据使用不同,基准可分为

a. 设计(结构)基准 确定零件在机器或机构中正确位置使用的基准。如图1-1-17活塞的顶部,它的装配情况见图1-1-18。

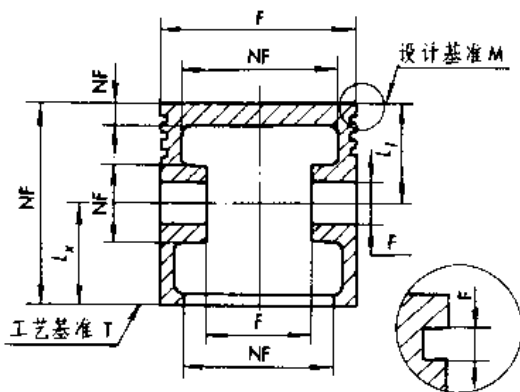


图1-1-17 基准及尺寸分类

F—功能尺寸 NF—非功能尺寸

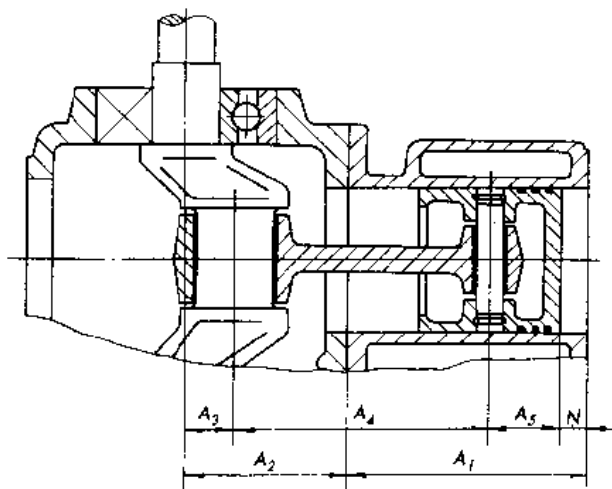


图1-1-18 曲轴、连杆、活塞装配及尺寸链

b. 工艺基准 为保证零件制造精度,零件在加工时使用的基准。如图1-1-17所示的活塞底面。

由于零件都有长、宽、高三个方向的尺寸,因此这三个方向都有尺寸基准,主要基准和辅助基准之间应有尺寸联系,见图1-1-17中的 $L_x$ 。图1-1-24指出了主轴箱三个方向的主要基准。

2. 尺寸分类 按照零件图上尺寸的作用,尺寸可分为两类:

a. 功能尺寸(F) 保证零件在机器或机构中具有正确位置和装配精度的尺寸,这类尺寸直接影响产品的性能,一般是装配尺寸链中的终结环。例如零件的规格尺寸、配合尺寸、联接尺寸、安装尺寸等。功能尺寸一般注有公差带代号或极限偏差。

b. 非功能尺寸(NF) 一般用来保证零件的力学性能(如强度、刚度等),满足工艺上(如退刀槽、凸台、凹坑、沟槽等)、质量上、装饰上以及使用、装拆方便要求的尺寸。这类尺寸一般不注公差。

根据零件几何形体特征,尺寸又可分为定形尺寸和定位尺寸。区分定形、定位尺寸有利于标注尺寸时保证尺寸的完整性。

## 4.3.2 基准的选择

通常由设计基准引出的尺寸,能够保证零件在机器中正确位置,达到较好的装配精度,从而能满足机器的性能要求。由工艺基准引出的尺寸,能使零件与制造工艺联系起来,方便加工和测量。因此,最优的方案是把两种基准统一起来,做到同时满足二者的要求。若二者不能兼顾,则功能尺寸由设计基准引出;非功能尺寸可考虑加工、测量方便,由工艺基准引出。

选择基准时,要注意以下几个问题:

(1) 要通过分析零件在机器中的作用及其装配定位关系,查明并列装尺寸链来确定零件的功能尺寸和设计基准。

图1-1-17所示的活塞,其高度方向的设计基准是通过图1-1-18的曲轴、连杆、活塞机构分析确定的。 $N$ 是控制压缩比要求的终结环,它的大小是受组成环 $A_1$ 、 $A_2$ 及 $A_3$ 、 $A_4$ 、 $A_5$ 影响的(这里略去了连杆孔与活塞销、曲轴间隙和偏心的影响)。活塞上的 $A_1$ 就是其中的一个功能尺寸,销孔的设计基准就是顶面 $M$ 。

同样,工艺基准要通过零件的工艺过程分析来确定。

(2) 当铸件或锻件在同一方向有若干加工面时,



毛、光面之间最好只有一个尺寸联系,见图 1-1-19。只有在结构或检测上确有必要时,才可注多个联系尺寸。

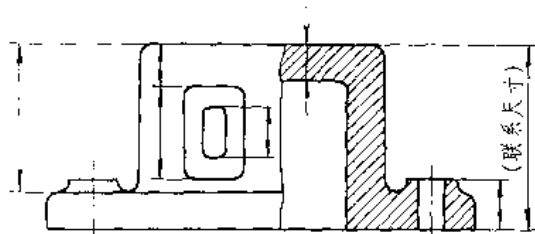


图 1-1-19 毛面、光面尺寸联系

(3) 对称件的基准一般应选择在对称平面或对称中心线上,其尺寸不由对称线引出,应标注成对称尺寸,见图 1-1-20。若有特殊要求,则需注出对称度的公差值,见图 1-1-21。

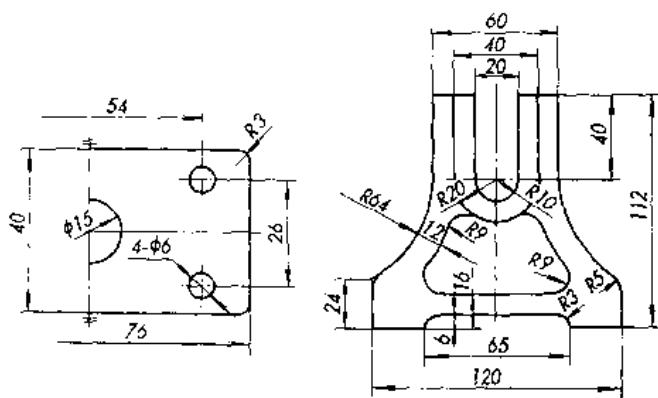


图 1-1-20 对称图形尺寸注法

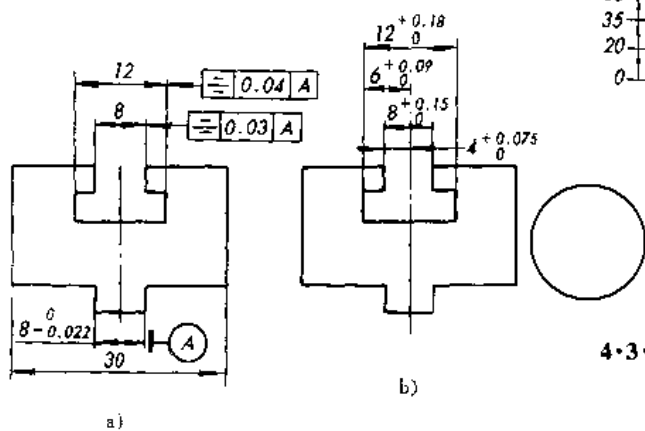


图 1-1-21 有对称度要求的尺寸注法

a) 正确 b) 不正确

(4) 孔组位置尺寸采用位置度标注时,由于孔间距用理论正确尺寸联系,不存在误差积累问题,因此各孔间的尺寸基准是不指明的,见图 1-1-22。

(5) 由同一基准出发的尺寸,可按图 1-1-23 所示的形式标注。

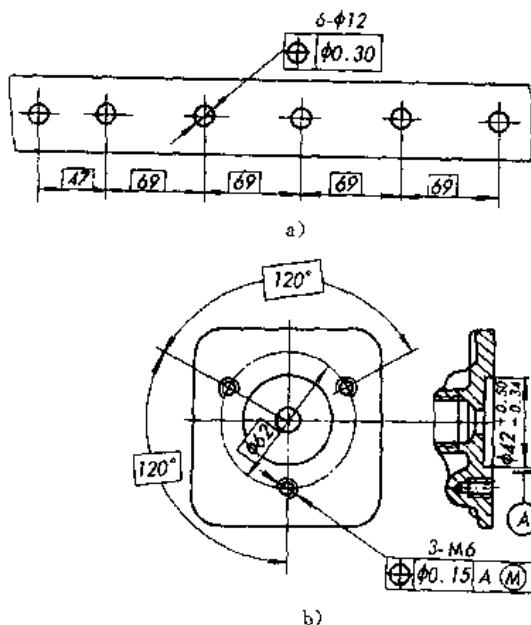


图 1-1-22 不指明基准

a) 线性尺寸 b) 角度尺寸

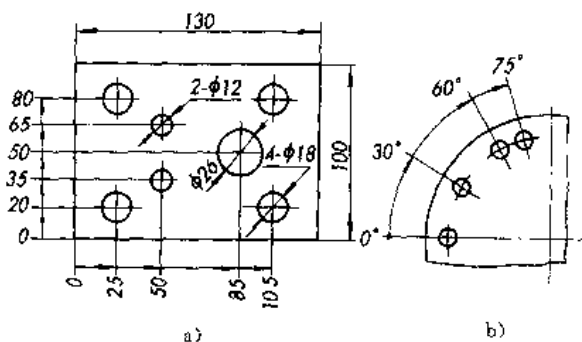


图 1-1-23 同一基准的简化标注

a) 线性尺寸 b) 角度尺寸

### 4.3.3 标注尺寸应注意的事项

(1) 零件图上的功能尺寸一般要直接注出,不应用其他尺寸间接表示。非功能尺寸可以按加工、测量方便标注。图 1-1-24 中主轴箱中心高尺寸  $115 \pm 0.1$  和两端面尺寸  $120 \pm 0.2$  若不直接注出,就会增加加工误



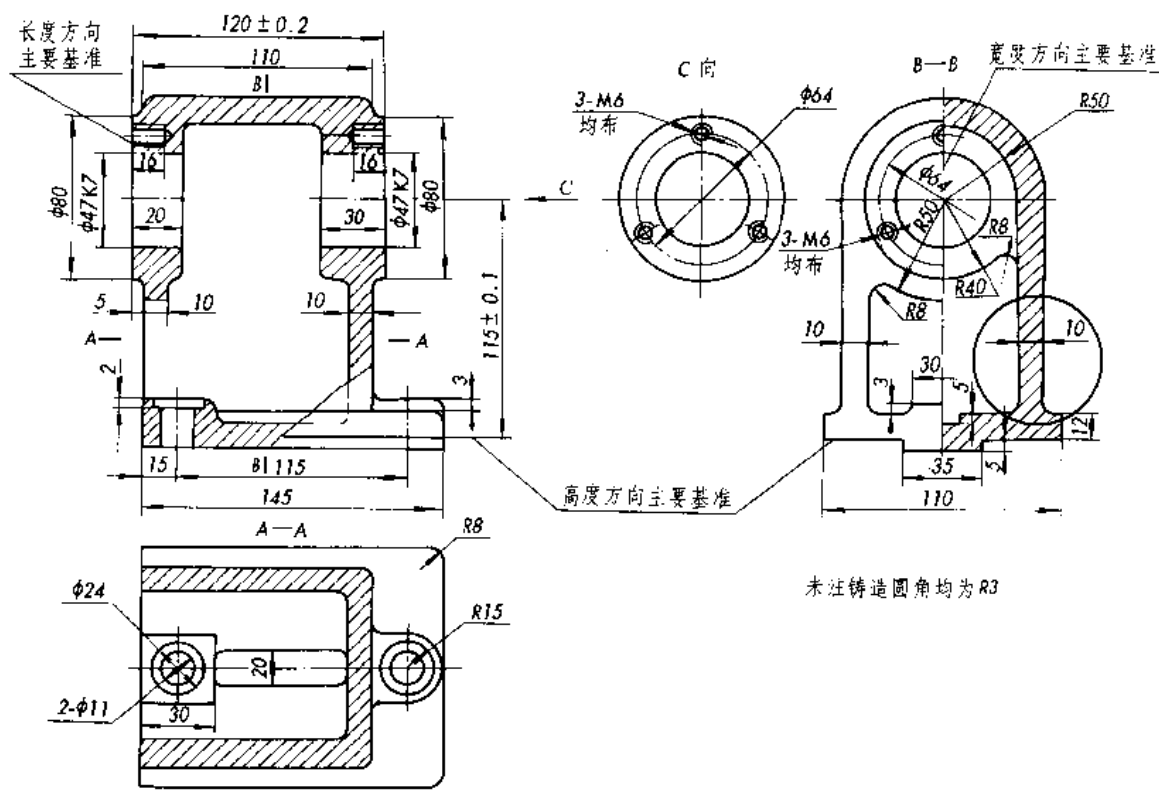


图 1-1-24 主轴箱零件图尺寸标注

差的积累，不容易保证设计提出的要求。

差，并注明分界范围或不同的结构，见图 1-1-27。

(2) 同一部件中各零件有联系的尺寸要注意协调一致，避免发生差错。这种联系有轴向、径向、位置三种形式。图 1-1-25 是主轴箱的端盖零件图，图上尺寸 φ47H7、φ64、3 φ7 都是与主轴箱有联系的。

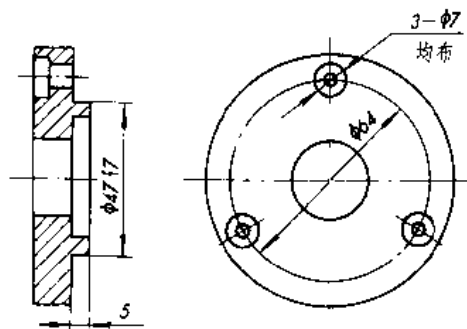


图 1-1-25 端盖的联系尺寸

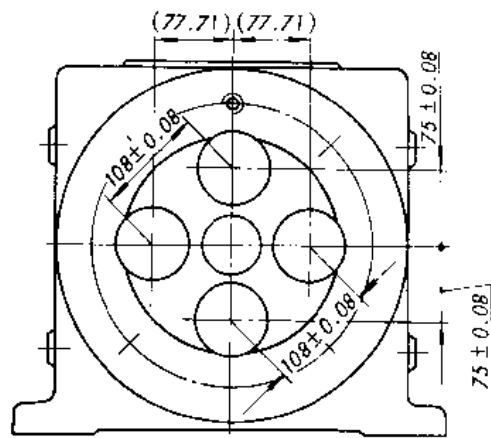


图 1-1-26 参考尺寸注法

(3) 零件图中的尺寸不允许注成封闭形式，一般选择允许有最大误差的一环为开口环，即不注尺寸。若为了加工方便、避免现场计算，必要时可对开口环加注参考尺寸，见图 1-1-26。参考尺寸不注公差，并且必须加上括号。

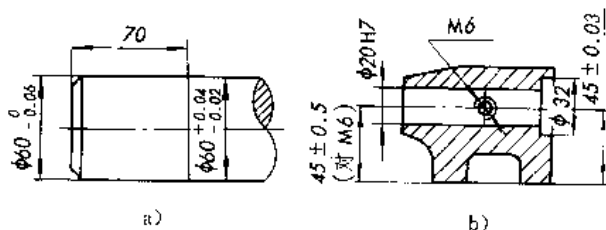


图 1-1-27 同一结构不同偏差要求注法

(4) 若零件上某些结构有共同轴线或基准面，但公差等级和极限偏差要求不同时，应分别标注尺寸公



(5) 零件图中的尺寸配置应清晰醒目、便于查找。为此在标注尺寸时应注意：

1) 零件图中同一结构的尺寸要相对集中，注在表示该结构最清晰的图形上。

2) 对于零件中细小的结构，应将尺寸注在局部放大图上，见图 1-1-28。

3) 为方便加工，零件不同制造方法所采用的尺寸应尽量分开注写；对同一工艺工序尺寸应尽量集中注写，见图 1-1-29。

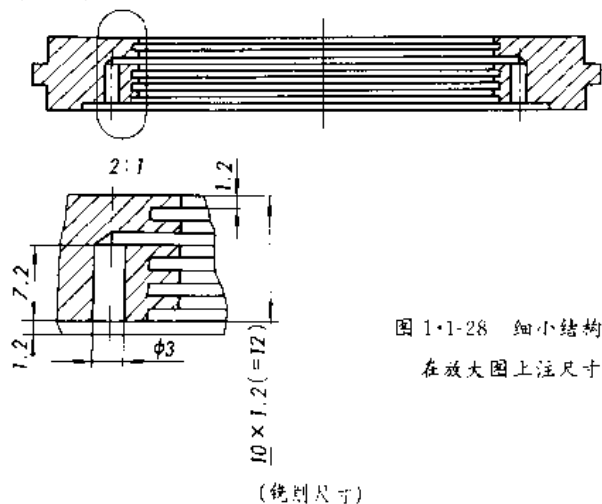


图 1-1-28 细小结构在放大图上注尺寸

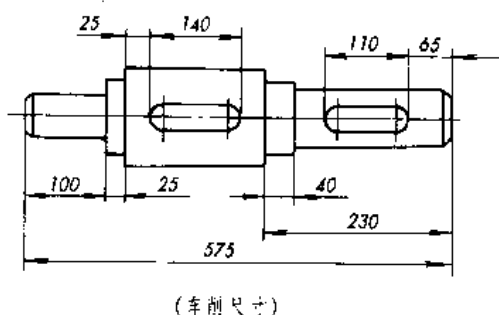


图 1-1-29 不同工序分别注写尺寸

4) 在剖视图中，零件的内部和外部结构尺寸最好分开标注，见图 1-1-30。

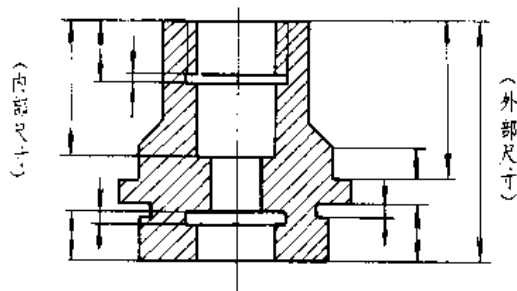
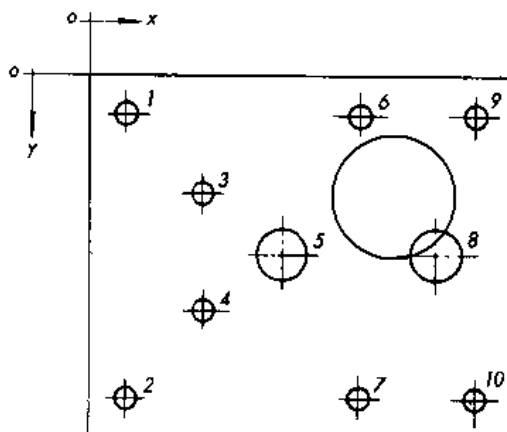


图 1-1-30 内、外结构尺寸分开注写

5) 当零件上孔的数量较多时，若无特殊要求，为

使图面清晰可用坐标的形式列表标注，见图 1-1-31。



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	20	20	60	60	100	140	140	180	200	200
Y	20	160	60	120	90	20	160	90	20	160
φ	15.5	13.5	11	13.5	26	15.5	13.5	26	15.5	13.5

图 1-1-31 用坐标形式列表标注尺寸

6) 当零件图上出现多个平行尺寸线时，其排列方法可参照图 1-1-32，尺寸数字要适当错开填写。

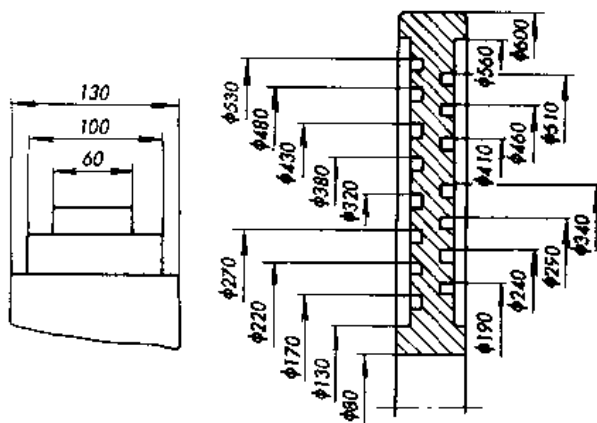


图 1-1-32 尺寸线排列和数字填写

7) 零件上有多处形位公差要求时，可以和尺寸标注分开注写或单独列表注写，见图 1-1-33。

(6) 对于凸轮的曲面(或曲线)和处在曲面上的某些结构，其尺寸可标注在展开图上，见图 1-1-34。

(7) 各种孔(光孔、螺孔、沉孔)可采用旁注的方法标注，见表 1-1-18。

#### 4.3.4 标注尺寸的方法和步骤 (表 1-1-19)



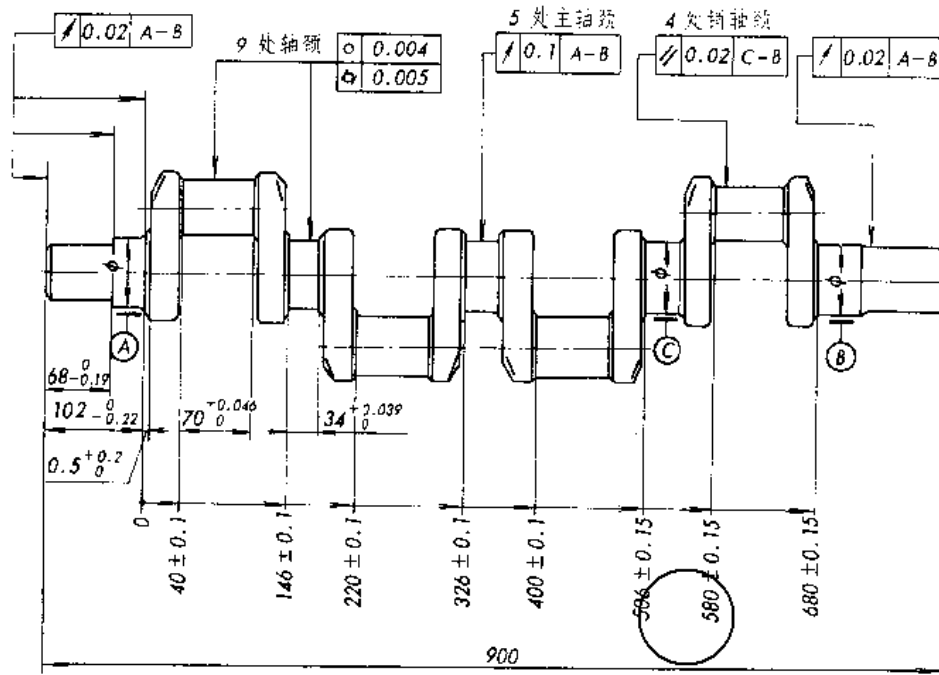


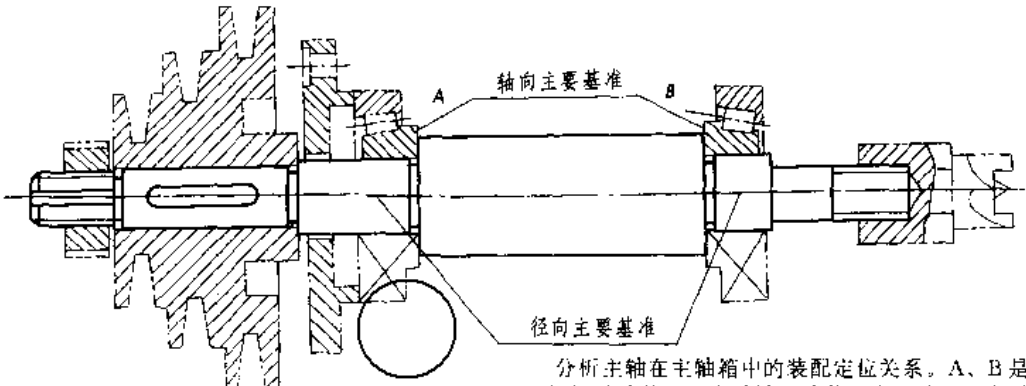
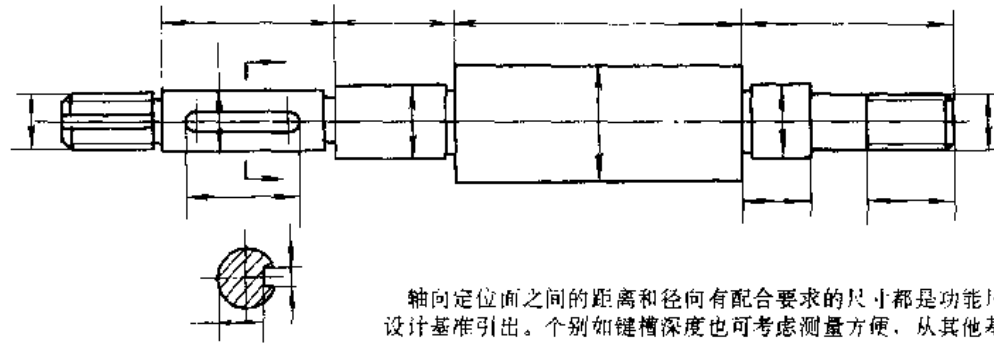
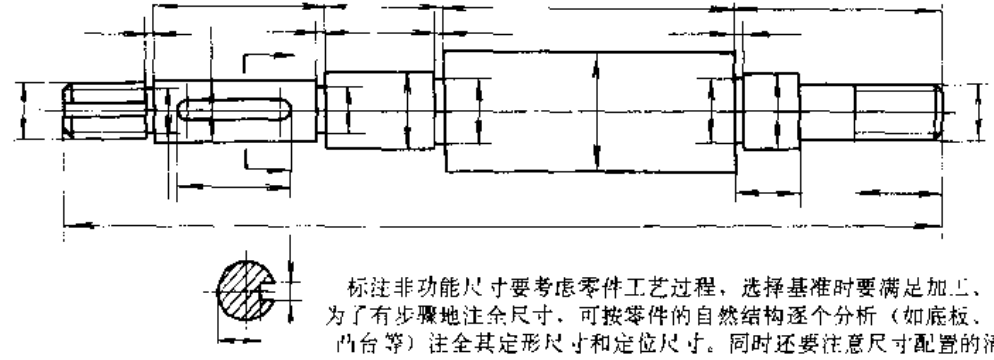
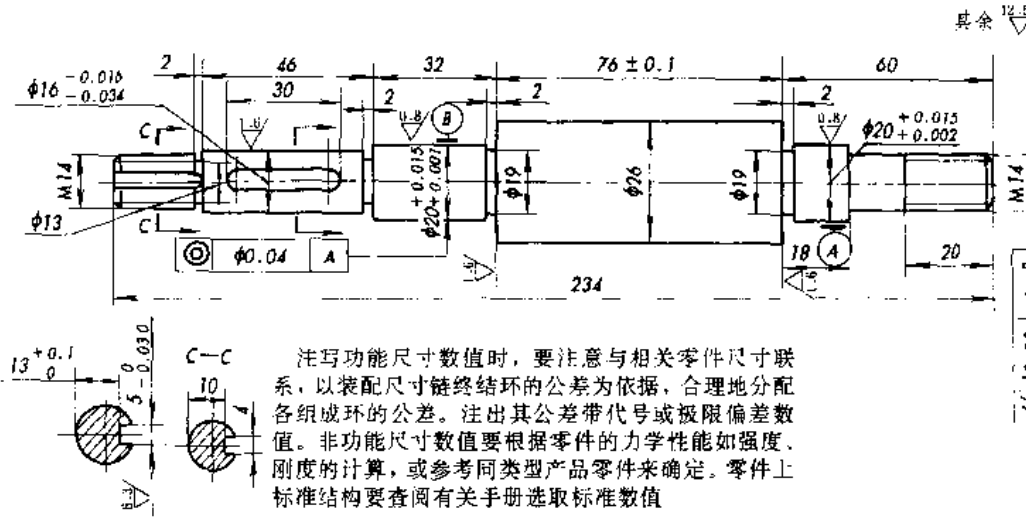
图 1-1-33 形位公差和尺寸公差分开注写

表 1-1-18 孔的尺寸旁注法

类型	旁注法		类型	旁注法	
光			螺		
孔			沉		
螺			沉		
孔			沉		
螺			沉		
孔			沉		
螺			沉		
孔			沉		



表 1-1-19 标注尺寸的方法和步骤

步骤	图例及说明
分析零件、选择设计基准	 <p>轴向主要基准 A B</p> <p>径向主要基准</p> <p>分析主轴在主轴箱中的装配定位关系。A、B是轴向定位的设计基准；主轴轴承孔装配中心线是径向设计基准</p>
从设计基准引出功能尺寸	 <p>轴向定位面之间的距离和径向有配合要求的尺寸都是功能尺寸，应从设计基准引出。个别如键槽深度也可考虑测量方便，从其他基准引出</p>
选择适当基准注出其他尺寸	 <p>标注非功能尺寸要考虑零件工艺过程，选择基准时要满足加工、测量要求，为了有步骤地注余尺寸，可按零件的自然结构逐个分析（如底板、腔体、肋、凸台等）注全其定形尺寸和定位尺寸。同时还要注意尺寸配置的清晰性</p>
注写尺寸数值	 <p>其余 <math>\sqrt{12.5}</math></p> <p><math>\phi 16_{-0.016}^{-0.034}</math></p> <p><math>\phi 13</math></p> <p><math>M14</math></p> <p><math>\phi 0.04</math> A</p> <p><math>\phi 20_{+0.015}^{+0.007}</math> B</p> <p><math>\phi 19</math></p> <p><math>\phi 26</math></p> <p><math>\phi 19</math></p> <p><math>\phi 20_{+0.015}^{+0.002}</math></p> <p><math>M14</math></p> <p><math>\phi 0.02</math> A-B</p> <p>234</p> <p>13 <math>^{+0.1}_0</math></p> <p>5 <math>^{0}_{-0.030}</math></p> <p>C-C</p> <p>10</p> <p>注写功能尺寸数值时，要注意与相关零件尺寸联系，以装配尺寸链终结环的公差为依据，合理地分配各组成环的公差。注出其公差带代号或极限偏差数值。非功能尺寸数值要根据零件的力学性能如强度、刚度的计算，或参考同类型产品零件来确定。零件上标准结构要查阅有关手册选取标准数值</p>



(续)

步骤	图例及说明
检查与校核	1. 首先校核功能尺寸标注是否合理;与相关零件的配合、联接尺寸是否一致;公差选择是否合适;运动件的极限位置尺寸是否符合要求;配作尺寸注法对不对 2. 检查非功能尺寸标注是否方便加工与测量,有没有进一步改进的地方 3. 按零件结构要素逐个检查尺寸(也可按加工顺序检查),看尺寸是否齐全,有无遗漏、重复 4. 检查尺寸的配置和书写是否清晰醒目,标注方法是否符合国家标准规定

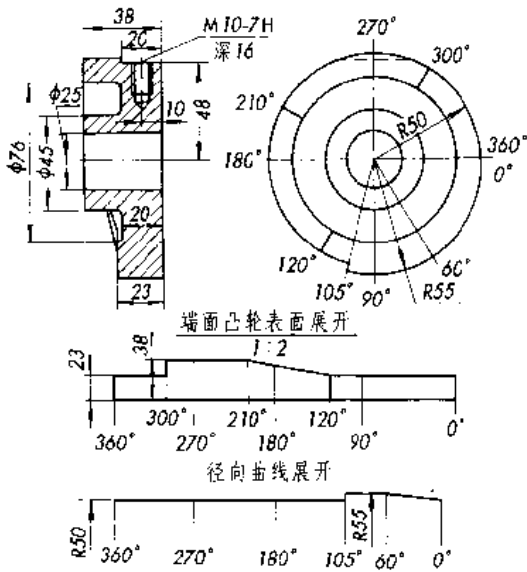


图 1-1-34 凸轮曲面尺寸注法

#### 4.4 零件图中技术要求的编写

零件图中技术要求除有规定的代(符)号项目,如尺寸公差、形位公差、表面粗糙度、焊缝符号等,其余用文字按主次或工艺顺序填写在图样空白处。一般包括以下内容:

- (1) 对冶金缺陷的特殊限制和修补要求。
- (2) 对铸、锻、焊毛坯的无损检验要求(如探伤方法、部位和数量等)以及力学性能的要求。
- (3) 对材料的化学成分要求以及允许代用的材料。
- (4) 对焊接的特殊要求(如焊条牌号、焊接结构的热处理部位、防止变形的措施等)。
- (5) 最终热处理的方法、部位以及应达到的指标范围。
- (6) 表面涂镀、镀层种类、厚度和部位;表面修饰、覆盖、喷漆等要求。
- (7) 还不能用现行标准规定的代(符)号表示清楚的形状位置公差内容,如导轨扭曲度等。
- (8) 对零件有特殊的机械加工要求。如用切削法校正零件质量、动(静)平衡、两边同时切削等。
- (9) 零件的检测、试验、包装、装饰、护理等要求。
- (10) 零件其他不能在图形符号上表示清楚的技术要求。

#### 4.5 几种常用件的画法

##### 4.5.1 螺纹及螺纹联接件 (表 1-1-20)

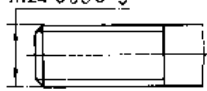
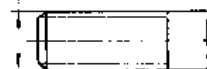
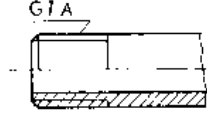
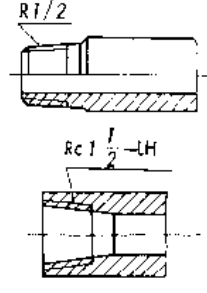
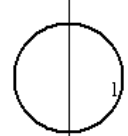
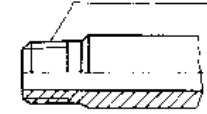
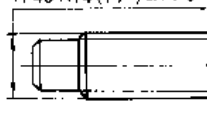
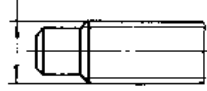
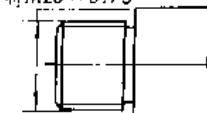
表 1-1-20 螺纹及螺纹联接件

(mm)

	外 螺 纹	内 螺 纹	螺 纹 旋 合
螺 纹 画 法			



(续)

螺纹类型	代号标注顺序								旋合长度代号	代号标注示例
	螺 纹 代 号						公差带代号			
	牙型代号	公称直径	导程	线数	螺距	旋向	中径	顶径		
普通螺纹 (粗牙)	M	24		1	3	右	5g	6g	S (短)	M24-5g6g-S 
		24		1	2	左	6h	6h	N (中)	M24x2LH-6h 
管螺纹 (非螺纹密封)	G	1 in	2.309	1	每英寸 11牙	右	A (或B)			G1A 
管螺纹 (用螺纹密封)	R Rc Rp	1/2 in 1 1/2	1.814	1	每英寸 14牙	右 左				R1/2 Rc 1 1/2-LH Rp Rp 表示圆柱内螺纹 
管螺纹 (60°圆锥管螺纹)	NPT	3/8 in			每英寸 19牙	左				NPT3/8-LH 
梯形螺纹	Tr	40	14	2	7	左	7e	7e		Tr40x14(P7)LH-7e 
锯齿形螺纹	B	40	5	1	5	右	6c	6c		S40x5-6e 
特殊螺纹	牙型符合标准，直径或螺距不符合标准的螺纹，应在牙型代号前加注“特”字，必要时也可注出极限尺寸									特M25x0.75 





(续)

螺纹类型	代号标注顺序									代号标注示例
	螺纹代号						公差带代号		旋合长度代号	
	牙型代号	公称直径	导程	线数	螺距	旋向	中径	顶径		
非标准螺纹	牙型不符合标准的为非标准螺纹, 绘制非标准螺纹时, 应画出螺纹的牙型, 并注出所需的尺寸及有关要求									
螺纹紧固件装配图简化画法	螺栓联接			螺柱联接			螺钉联接			

4.5.2 齿轮、蜗轮、蜗杆啮合画法 (表 1.1-21)

表 1.1-21 齿轮、蜗轮、蜗杆啮合画法

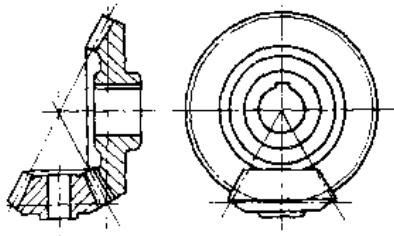
圆柱齿轮外啮合画法	圆柱齿轮内啮合
	<p>齿轮齿条啮合</p>

此图公司制作 请尊重作者版权

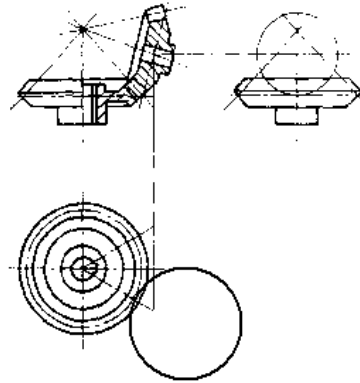


(续)

圆锥齿轮啮合画法

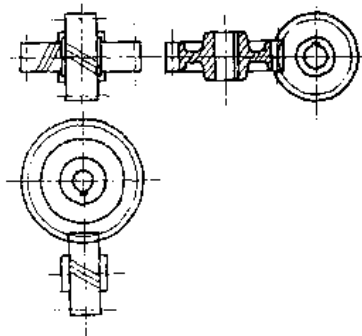


轴线成直角啮合

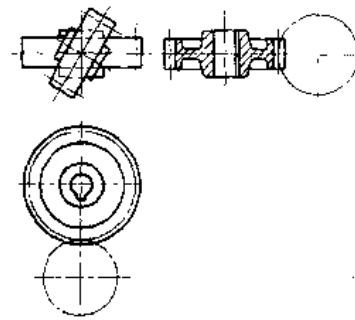


轴线成非直角啮合

交错轴齿轮副啮合画法

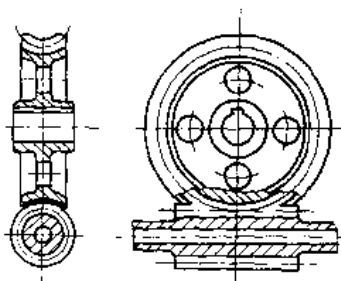


轴线成直角啮合

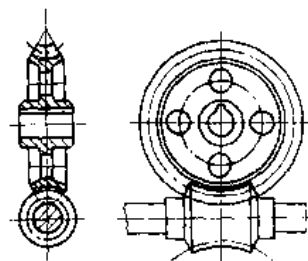


轴线成非直角啮合

蜗轮蜗杆啮合画法



圆柱蜗杆啮合



弧面蜗杆啮合



4.5.3 花键及其联接画法 (表 1.1.22)

表 1.1.22 花键及其联接画法

	矩形花键	渐开线花键
外花键		
内花键		
花键联接画法		

4.5.4 弹簧画法 (表 1.1.23)

表 1.1.23 弹簧画法

画法类型	视图	剖视图	示意图
圆柱螺旋压缩弹簧			
圆柱螺旋拉伸弹簧			
圆柱螺旋扭转弹簧			
圆锥涡卷弹簧			



(续)

画法 类型	视图	剖视图	示意图
碟形弹簧			
平面涡卷弹簧			

- 注：1. 螺旋弹簧均可画成右旋，但左旋弹簧不论画成左旋或右旋，一律要注出旋向“左”。
2. 螺旋压缩弹簧，如要求两端并紧且磨平时，不论支承圈的圈数多少和末端贴紧情况如何，均可按上表形式绘制。
3. 有效圈数在四圈以上的螺旋弹簧中间部分可以省略并允许缩短图形的长度。
4. 在装配图中被弹簧挡住的结构一般不画出。型材直径或厚度在图形上等于或小于2mm，允许用示意图绘制，若被剖切则可涂黑表示。

4.5.5 滚动轴承简化和示意画法 (表 1.1-24)

表 1.1-24 滚动轴承简化和示意画法

类型	简化画法	示意画法	类型	简化画法	示意画法
深沟球轴承			调心滚子轴承		
调心球轴承			滚针轴承		
圆柱滚子轴承			角接触球轴承		



(续)

类型	简化画法	示意画法	类型	简化画法	示意画法
圆锥滚子轴承			推力球轴承		

### 5 金属结构件及焊接件图

#### 5.1 金属结构件图样画法

由型钢、钢材构成的桥梁、构架、桩基、起重运输设备、贮液罐、压力容器、升降机、电梯、传送带以及其他金属构件，应按 GB4656—84 规定的金属结构件表示法绘制其图样。图 1-1-35 是条钢、型钢及板钢金属结构图。

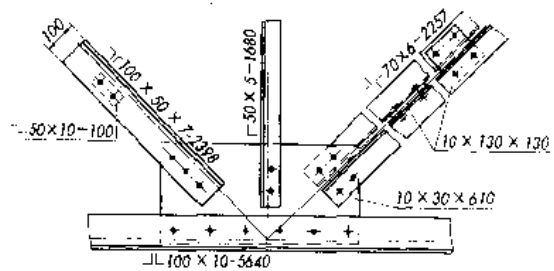


图 1-1-35 条钢、型钢及板钢结构图

表 1-1-25 列出了条钢、型钢及板钢的规定符号及尺寸标记。

表 1-1-25 条钢、型钢、板钢规定符号和尺寸标记

名称	符号	尺寸标记	尺寸含义	名称	符号	尺寸标记	尺寸含义
板钢		$t \times h \times L$		实心扁钢		$b \times h \cdot L$	
				空心扁钢		$b \times h \times t \cdot L$	
圆钢		$\phi d \cdot L$		实心六角钢		$\phi s \cdot L$	
管钢		$\phi d \times t \cdot L$		空心六角钢		$\phi s \times t \cdot L$	
实心方钢		$b \cdot L$		三角钢		$\wedge b \cdot L$	
空心方钢		$b \times t \cdot L$		半圆钢		$\cap b \times h \cdot L$	



(续)

名称	符号	尺寸标记	尺寸含义	名称	符号	尺寸标记	尺寸含义
角钢 (等边)		若无其他相应标准时,应详细地标明型钢的规格尺寸,并在规格尺寸前加注符号标记 例: L80×60×7—500		丁字钢		若无其他相应标准时,应详细地标明型钢的规格尺寸,并在规格尺寸前加注符号标记 例: L80×60×7—500	
角钢 (不等边)				Z字钢			
工字钢				钢 轨			
槽钢				球头扁钢			

注:字母 L 为切割长度。

表 1-1-26 螺栓或铆钉联接的规定符号

螺栓或铆钉	螺栓或铆钉装配在孔内的符号		铆钉装在两侧沉孔内的符号	带有指定位置的螺栓符号
	无沉孔	仅一侧有沉孔		
在车间装配				
在工地装配				
在工地钻孔及装配				

金属结构件采用螺栓、铆钉联接时,其视图用表 1-1-26 中的规定符号表示,符号内除水平轴线为细实线外,其余为粗实线。

金属结构件图除用规定符号和尺寸标记的构件外,还要按国家标准规定标注螺栓和铆钉的规格以及它们之间的定位尺寸。标注节点尺寸时,应以构件重心线汇交点为基准,最好注出各基准点之间的实际距离。

金属结构件可用简图表示,用粗实线表示相交杆件的重心线。此时,重心线基准点间的距离值,直接标注在所画杆件之上,见图 1-1-36。

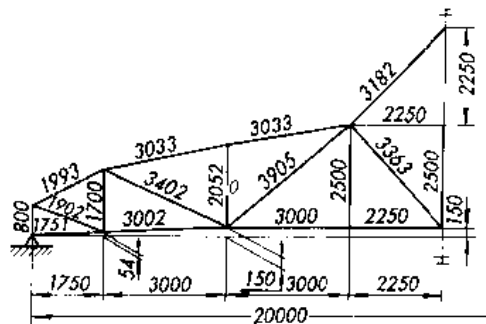


图 1-1-36 金属结构简图



5.2 金属焊接件图样画法

**1. 焊接件图样的基本要求和内容** 焊接件图样应能清晰地表示出各构件的相互位置、焊接要求、焊缝符号及尺寸等。若不附有构件详图时,还应表示出各构件的结构形状、规格大小及数量。

焊接件图应具有以下内容:

- (1) 表达焊接件结构形状的一组视图(包括剖视和剖面)。
- (2) 焊接件尺寸,如各构件的规格大小尺寸,构件的装配位置尺寸以及焊接后的加工尺寸。
- (3) 各构件联接处的接头型式、焊缝符号及焊缝尺寸。
- (4) 构件装配、焊接以及焊后处理、加工的技术要求。
- (5) 说明构件型号、规格、材料、质量的明细表及构件的相应编号。
- (6) 主标题栏。

**2. 焊接件图的表达形式和特点**

a. 整体形式 见图1-1-37,其特点是:在一张图上不仅表达了各构件的装配和焊接要求,而且还表达了每一构件的形状和大小。除了较复杂的、有特殊要求的构件(如须制作木模的铸件)之外,不再另画构件详图。

图。这种图样的形式表达集中、出图快,适合于较简单的金属焊接结构表达形式,一般适用于修配或小批量的生产。

b. 分件形式 图1-1-38为十字接头,其特点是:焊接件图重点表达构件的装配联接关系,是用于指导构件装配、施焊以及焊后处理。另外附有构件详图,各种构件的形状、规格大小分别表示在详图上。这种图样形式完整、清晰,方便交流,看图单纯,适用于大批量生产、工种分工较细的情况。

除以上两种表达方法外,各行业还有一些特殊表达形式。对结构复杂的桁架焊接件,由于焊缝型式及其尺寸大多相同,没有必要在图上重复标注,可采用列表方法将相同规格的各构件同一种焊缝型式及尺寸集中表示,简化了图上的标注。

**3. 焊缝符号表示方法** 为了简化图样上的焊缝,GB324-88规定了焊缝符号的表示方法。焊缝符号一般由基本符号与指引线组成。必要时还可以加上辅助符号、补充符号和焊缝尺寸符号。

- a. 基本符号(表1-1-27)
- b. 辅助符号及其应用(表1-1-28)
- c. 补充符号及其应用(表1-1-29)
- d. 指引线及符号在基准线上的位置(表1-1-30)

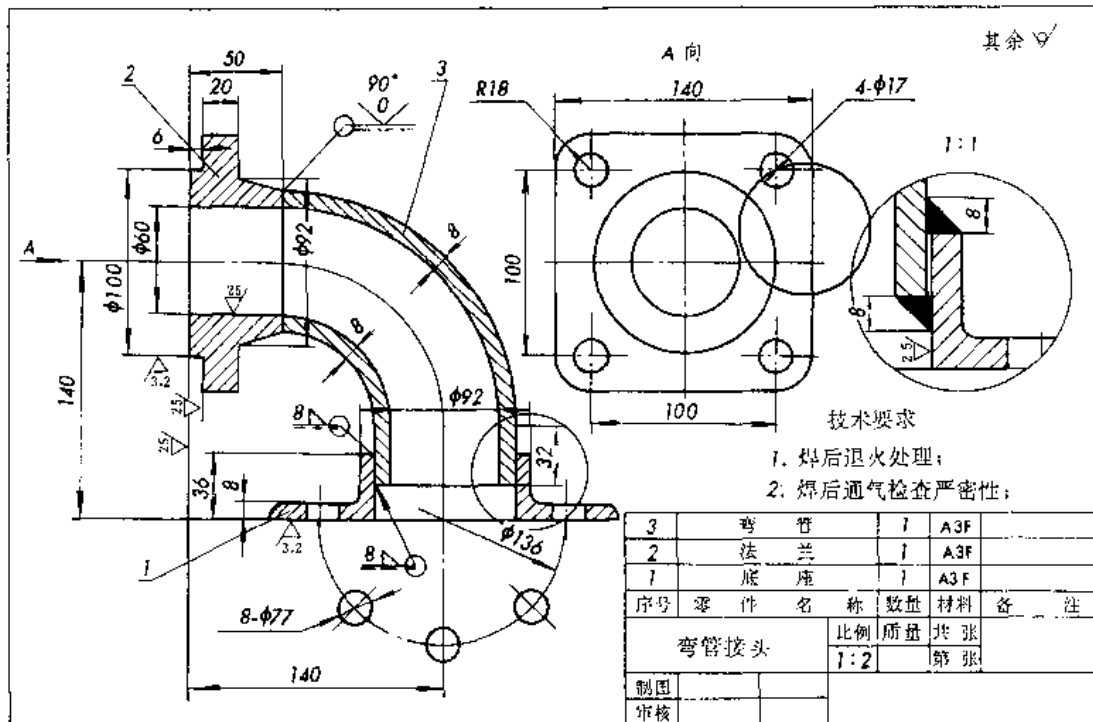
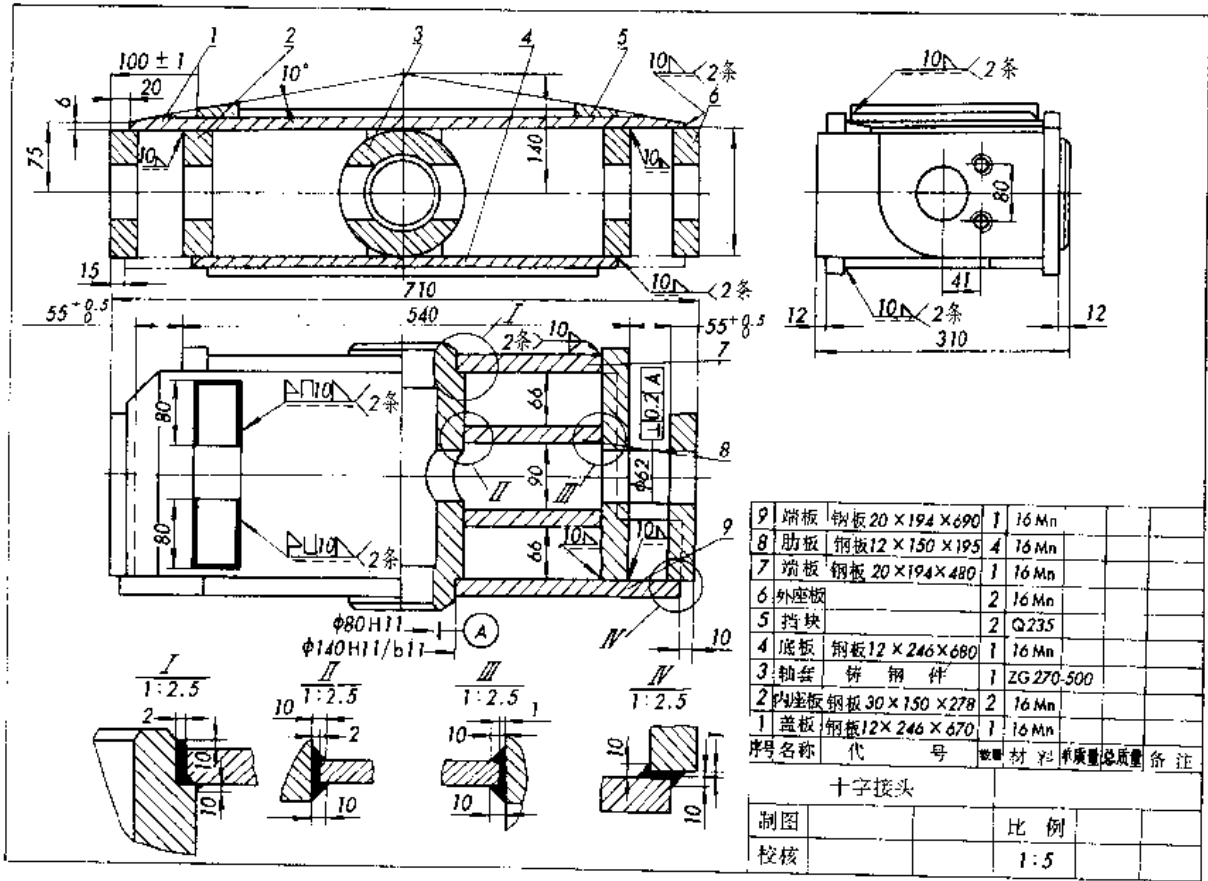


图1-1-37 弯管接头





9	端板	钢板 20 × 194 × 690	1	16 Mn			
8	肋板	钢板 12 × 150 × 195	4	16 Mn			
7	端板	钢板 20 × 194 × 480	1	16 Mn			
6	外座板		2	16 Mn			
5	挡块		2	Q235			
4	底板	钢板 12 × 246 × 680	1	16 Mn			
3	轴套	铸 钢 件	1	ZG 270-500			
2	内座板	钢板 30 × 150 × 278	2	16 Mn			
1	盖板	钢板 12 × 246 × 670	1	16 Mn			
序号名称 代 号 材 料 单 重 总 重 备 注							

十字接头			
制图		比例	
校核		1:5	

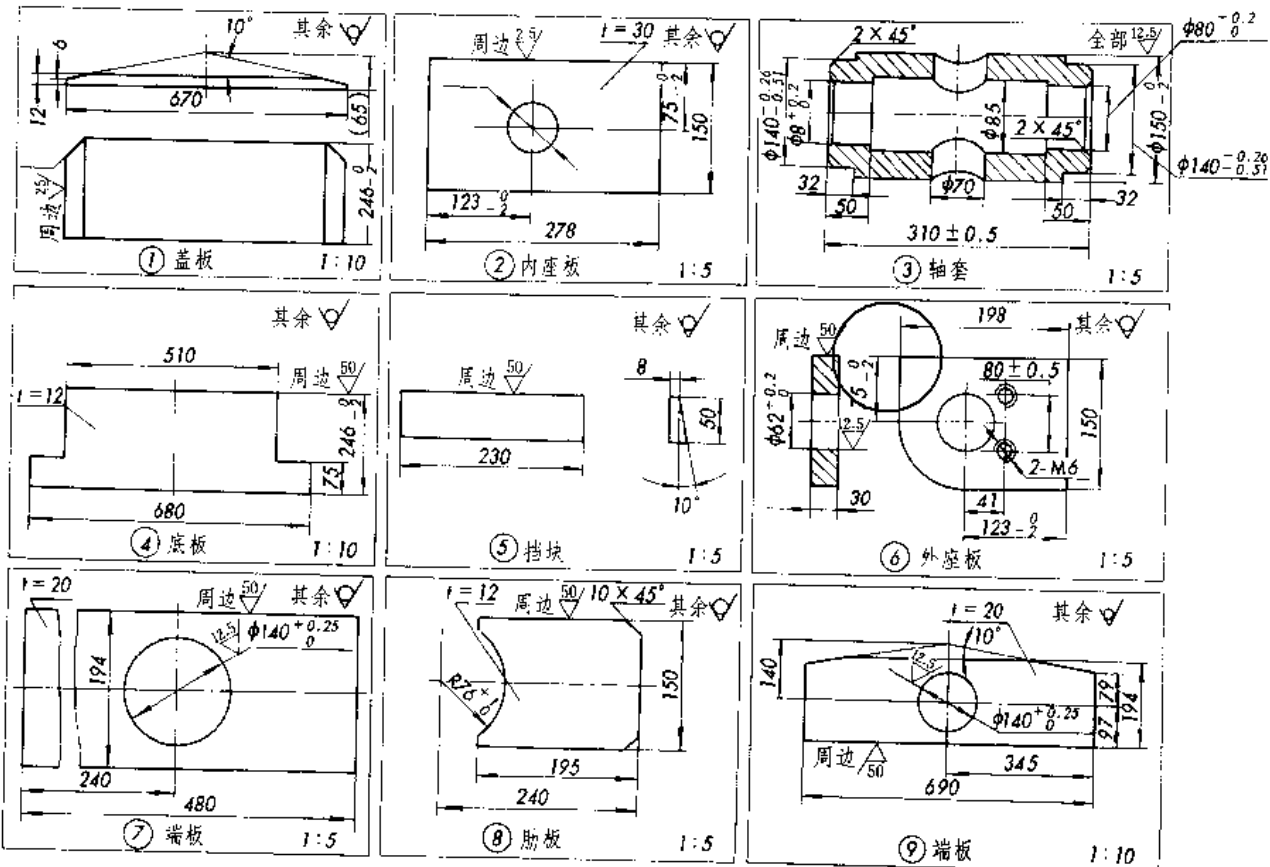


图 1-1-38 十字接头及其构件详图





表 1-1-27 焊缝基本符号

名称	示意图	符号	名称	示意图	符号
卷边焊缝 (卷边完全熔化)		八	封底焊缝		∩
I形焊缝			角焊缝		△
V形焊缝		∨	塞焊缝或槽焊缝		⌊
单边V形焊缝		∨			
带钝边V形焊缝		Y	点焊缝		○
带钝边单边V形焊缝		Y			
带钝边U形焊缝		U	缝焊缝		⊕
带钝边J形焊缝		U			

表 1-1-28 辅助符号及其应用

名称	符号	说明	示意图及说明	标注符号	
平面符号	—	焊缝表面平齐 (一般通过加工)		平面V形对接焊缝	∇
				平面封底V形焊缝	∩
凹面符号	∩	焊缝表面凹陷		∩△	
凸面符号	∪	焊缝表面凸起		∪	

注：不需要确切说明焊缝的表面形状时，可以不用。



表 1-1-29 补充符号及其应用

名称	符号	说明	示意图	标注示例及说明
带垫板符号 <sup>①</sup>		焊缝底部有垫板		表示 V 形焊缝的背面底部有垫板
三面焊缝符号 <sup>①</sup>		三面带有焊缝		工件三面带有焊缝。焊接方法为手工电弧焊
尾部符号		可以参照 GB5185 标注焊接工艺方法等内容		
周圈焊缝符号		环绕工件周围焊缝		表示在现场沿工件周围施焊
现场符号		在现场或工地上进行焊接		

① ISO2553 标准中未作规定。

表 1-1-30 指引线及符号在基准线上的位置

名称	图 例	说 明	名称	图 例	说 明
指引线		指引线一般由带箭头的箭头线和两条基准线组成。基准线的虚线可以画在基准线的下侧或上侧,基准线一般应与图样底边平行	基本符号相对基准线的位置	a)	若焊缝在接头的箭头侧,则基本符号标注在基准线的实线侧 若焊缝在接头的非箭头侧,则基本符号标注在基准线的虚线侧 对称焊缝及双面焊缝可以不加基准线虚线
箭头线		箭头线应指向焊缝的位置,一般没有特殊要求,但在标注 V、Y、J 形焊缝时,箭头应指向带坡口一侧的工件,必要时允许箭头线弯折一次		b)	
				c)	
				d)	

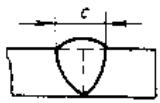
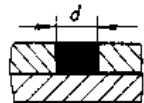
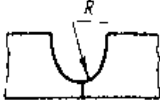
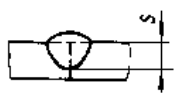

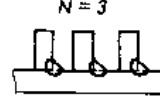
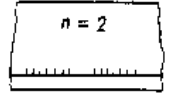
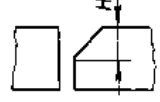
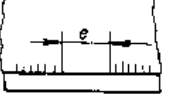
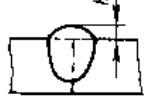
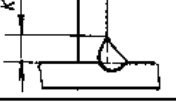
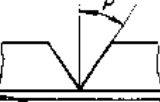
e. 焊缝尺寸符号及其标注 必要时,焊缝基本符号可附带有尺寸符号及数据,尺寸符号见表 1-1-31。

表 1-1-31 焊缝尺寸符号

符号	名 称	示 意 图	符号	名 称	示 意 图
$\delta$	工件厚度		$b$	根部间隙	
$\alpha$	坡口角度		$p$	钝 边	



(续)

符号	名称	示意图	符号	名称	示意图
$c$	焊缝宽度		$d$	熔核直径	
$R$	根部半径		$S$	焊缝有效厚度	
$l$	焊缝长度		$N$	相同焊缝数量符号	
$n$	焊缝段数		$H$	坡口深度	
$e$	焊缝间距		$h$	余高	
$K$	焊角尺寸		$\beta$	坡口面角度	

注：对焊缝尺寸符号，ISO2553 标准未作详细规定。

焊缝尺寸符号及数据的标注原则见图 1-1-39，基本符号的左侧标注焊缝横截面尺寸，右侧标注长度方向尺寸；上侧或下侧则标注坡口或坡口面的角度、根部间隙等尺寸（ISO2553 标准未作具体规定）。相同焊缝数量符号  $N$  标在尾部（ISO2552 标准未作明确区分，相同焊缝的数量和段数均用  $n$  表示）。当要标注的尺寸数据较多而又不宜分辨时，可在数据前面加相应的尺寸符号。

焊缝尺寸标注示例见表 1-1-32。

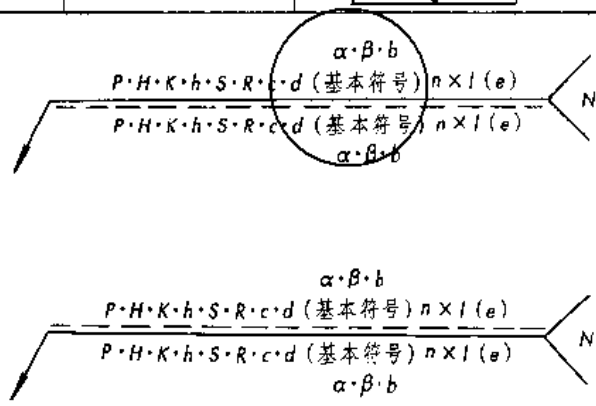
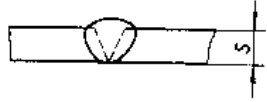
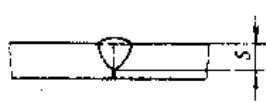
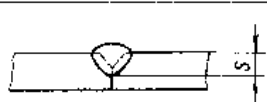


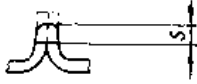
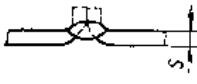
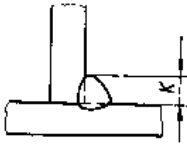
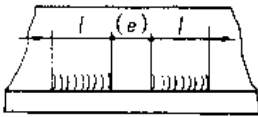
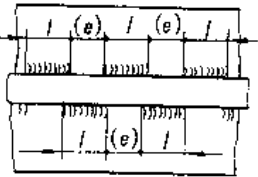
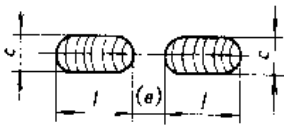
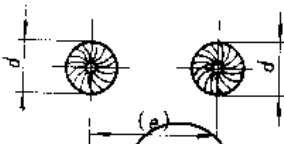
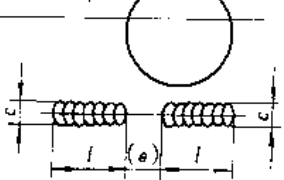
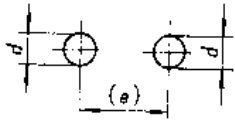
图 1-1-39 焊缝尺寸符号及数据标注原则

表 1-1-32 焊缝尺寸的标注示例

名称	示意图	焊缝尺寸符号	标注示例
对接焊缝		$S$ —焊缝有效厚度	$S \nabla$
			$S   $
			$S \Upsilon$



(续)

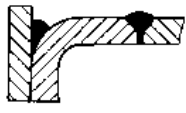
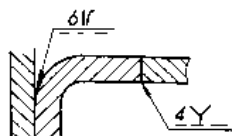

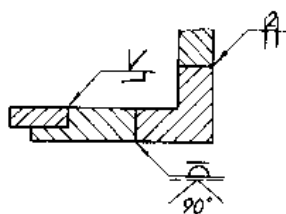
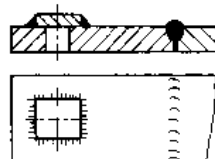
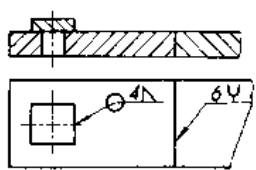
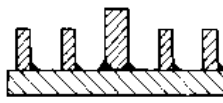
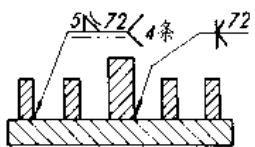
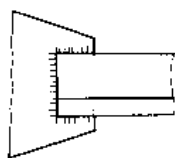
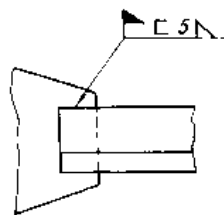
名称	示意图	焊缝尺寸符号	标注示例
卷边焊缝		S—焊缝有效厚度	$S \parallel$
			$S \wedge$
连续角焊缝		K—焊角尺寸①	$K \triangle$
断续角焊缝		l—焊缝长度 (不计弧坑) e—焊缝间距 n—焊缝段数	$K \triangle n \times l (e)$
交错断续角焊缝		K—焊角尺寸①	$\begin{matrix} K \triangle n \times l (e) \\ K \triangle n \times l (e) \end{matrix}$
塞焊缝或槽焊缝		l—焊缝长度 (不计弧坑) e—焊缝间距 n—焊缝段数 c—槽宽	$c \sqcap n \times l (e)$
		e—焊缝间距 n—焊缝段数 d—孔的直径	$d \sqcap n \times (e)$
缝焊缝		l—焊缝长度 (不计弧坑) e—焊缝间距 n—焊缝段数 c—焊缝宽度	$c \ominus n \times l (e)$
点焊缝		n—焊缝段数 e—间距 d—焊点直径	$d \bigcirc n \times (e)$

① ISO2553 标准规定角焊缝有两种标注方法。a (即 K) 和 z,  $z = a \sqrt{2}$ 。



f. 焊缝符号应用 焊缝符号应用包括基本符号、特殊符号的组合等<sup>[3]</sup>。表 1-1-33 仅举若干例子说明焊缝基本符号的组合、基本符号与辅助符号、补充符号、特殊符号的应用。

表 1-1-33 焊缝符号应用举例

图 示 法	标 注 法	说 明
		单面卷边焊缝, 有效厚度 $S=6\text{mm}$ 。带钝边 V 形焊缝, 有效厚度 $S=4\text{mm}$
		特殊情况下使用的锁边焊缝 平面封底 V 形焊缝, 坡口角度 $\alpha=90^\circ$ 双面 I 形焊缝, 间隙 $b=2\text{mm}$
		周圈角焊缝, 焊角尺寸 $K=4\text{mm}$ 带钝边 U 形焊缝, 有效厚度 $S=6\text{mm}$
		4 条完全相同的凹面角焊缝焊角尺寸 $K=5\text{mm}$ , 焊缝长 $l=72\text{mm}$ 双面单边 V 形焊缝, 焊缝长 $l=72\text{mm}$
		三面带有角焊缝, 焊角尺寸 $K=5\text{mm}$ , 在现场施焊

## 6 曲面展开图

工程上常用的各种曲面, 分为可展曲面和不可展曲面。

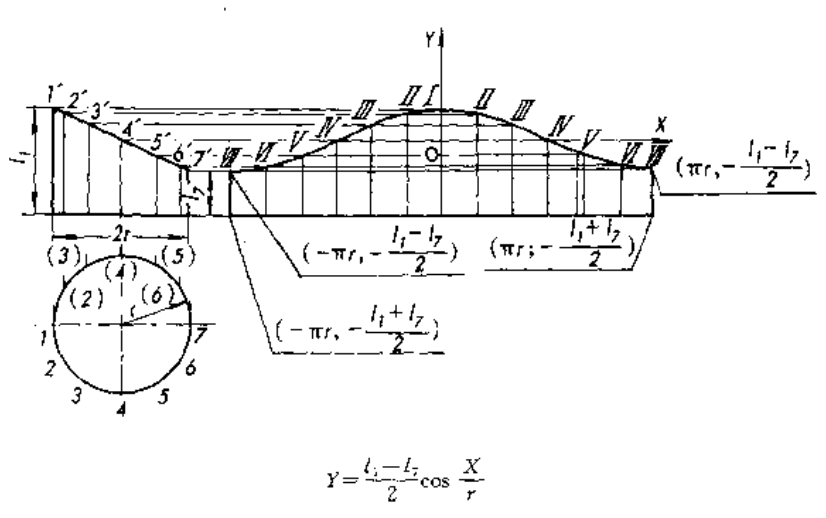
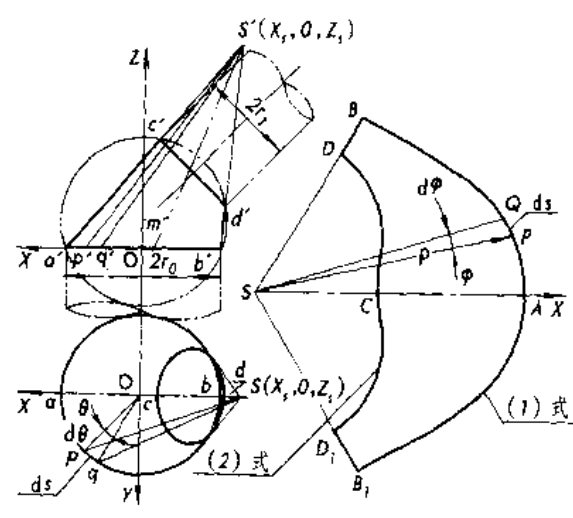
### 6.1 可展曲面的展开

由直母线形成的单曲面(相邻直素线平行或相交)

属于可展曲面, 如柱面、锥面、切线面。其传统的画法是: 将相邻的两条直素线之间的曲面片看作是小平面, 然后把一系列小平面依次毗连地画在同一平面上, 并将各素线的端点用曲线光滑连接起来即成。若要用计算机控制切割下料, 可用计算方法求得边缘曲线的数学模型, 便可作出精确的展开图。表 1-1-34 是若干可展曲面的展开方法和边缘曲线方程。



表 1-1-34 可展曲面的展开

名称	展开图画法及边缘曲线方程	说明
斜截圆柱面	 $Y = \frac{l_1 - l_2}{2} \cos \frac{X}{r}$ $(-\pi r \leq X \leq \pi r)$	<p>1. 将圆柱正截交线展开成横线, 长为 <math>2\pi r</math></p> <p>2. <math>n</math> 等分横线段, 过各分点作竖线段, 分别等于相应素线的实长</p> <p>3. 过各竖线端点作光滑曲线即成(余弦曲线)</p>
斜圆锥面(可展异径换向管接头)	 <p>双点划线表示轴线斜交的两圆管轮廓, 以轴线交点 <math>M</math> 为球心作球交于两圆管 <math>AB</math> 及 <math>CD</math> 两个圆。 <math>ABCD</math> 即是可展的异径换向管接头的斜圆锥面</p> <p>展开图画法是:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>分底圆周为 <math>n</math> 等分, 过各等分点作锥面的直素线</li> <li>每两条相邻素线和底圆周构成一个三角形, 将各三角形求其实形并依次毗连地画在同一平面上</li> <li>把各端点光滑连成曲线并减去各素线上端被截去的部分, 找出上端点也连成曲线</li> </ol> <p>(1) 式</p> $\begin{cases} \rho = \sqrt{Z_1^2 + r_0^2 + x_1^2 - 2r_0x_1\cos\theta} \\ \varphi = \varphi_{B_1} + r_0 \int_{-\pi}^{\theta} \frac{\sqrt{Z_1^2 + (r_0 - x_1\cos\theta)^2}}{Z_1^2 + r_0^2 + x_1^2 - 2r_0x_1\cos\theta} d\theta \quad (-\pi \leq \theta \leq \pi) \end{cases}$ <p>(2) 式</p> $\begin{cases} \rho = \frac{r_1}{r_0} \sqrt{Z_1^2 + r_0^2 + x_1^2 + 2r_0x_1\cos\theta} \quad (\pi \geq \theta \geq -\pi) \\ \varphi = \varphi_0 + r_0 \int_{-\pi}^{\theta} \frac{\sqrt{Z_1^2 + (r_0 + x_1\cos\theta)^2}}{Z_1^2 + r_0^2 + x_1^2 + 2r_0x_1\cos\theta} d\theta \quad (d\theta \text{ 为负值}) \end{cases}$ <p><math>\rho_B = \sqrt{Z_1^2 + (r_0 + x_1)^2}</math>    <math>\varphi_B = r_0 \int_0^{\pi} \frac{\sqrt{Z_1^2 + (r_0 - x_1\cos\theta)^2}}{Z_1^2 + r_0^2 + x_1^2 - 2r_0x_1\cos\theta} d\theta</math></p> <p><math>\rho_{B_1} = \rho_B</math>    <math>\varphi_{B_1} = -\varphi_B</math></p> <p><math>\rho_D = \frac{r_1}{r_0} \sqrt{Z_1^2 + (r_0 - x_1)^2}</math>    <math>\varphi_D = \varphi_B</math></p> <p><math>\rho_{D_1} = \rho_D</math>    <math>\varphi_{D_1} = -\varphi_B</math></p>	<p>双点划线表示轴线斜交的两圆管轮廓, 以轴线交点 <math>M</math> 为球心作球交于两圆管 <math>AB</math> 及 <math>CD</math> 两个圆。 <math>ABCD</math> 即是可展的异径换向管接头的斜圆锥面</p> <p>展开图画法是:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>分底圆周为 <math>n</math> 等分, 过各等分点作锥面的直素线</li> <li>每两条相邻素线和底圆周构成一个三角形, 将各三角形求其实形并依次毗连地画在同一平面上</li> <li>把各端点光滑连成曲线并减去各素线上端被截去的部分, 找出上端点也连成曲线</li> </ol>

机械工业出版社



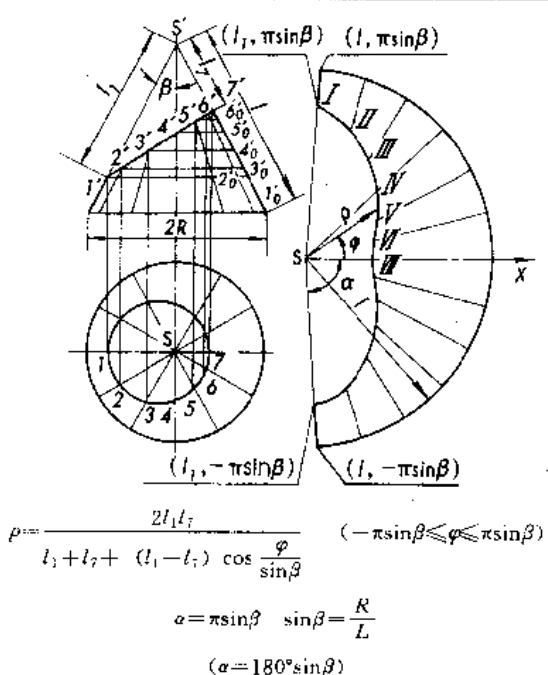
(续)

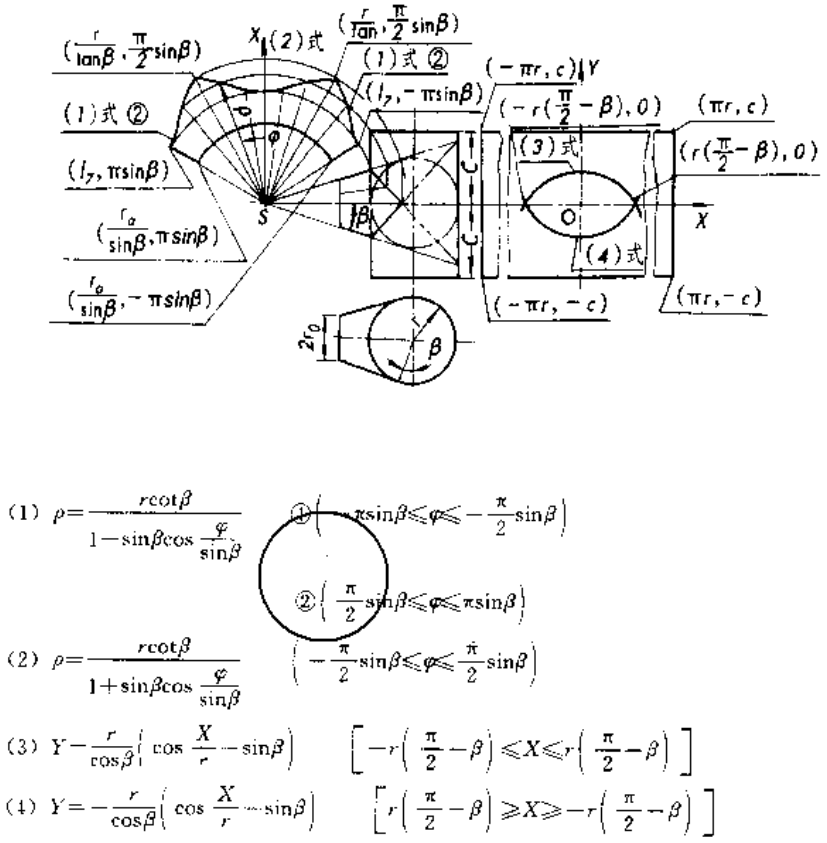
名称	展开图画法及边缘曲线方程	说 明
不等径轴线交叉的两圆柱面	<p>(1) <math>Y = \sqrt{R^2 - \left(r \cos \frac{X}{r} + K\right)^2} \quad (-\pi r \leq X \leq \pi r)</math></p> <p>(2) <math>Y = -\sqrt{r^2 - \left(R \sin \frac{X}{R} - K\right)^2} \quad \left(R \arcsin \frac{K-r}{R} \leq X \leq \frac{\pi R}{2}\right)</math></p> <p>(3) <math>Y = -\sqrt{r^2 - \left(K \sin \frac{X}{R} - K\right)^2} \quad \left(\frac{\pi R}{2} \geq X \geq R \arcsin \frac{K-r}{R}\right)</math></p>	<p>将小圆柱底圆展成横线段, 长为 <math>2\pi r</math>。圆柱面上各素线实长可以从正面投影中量取。连成的曲线左右对称。大圆柱展开的横线长为 <math>2\pi R</math>, 它与小圆柱相贯部分的各素线实长可以从水平投影中量取, 连成封闭曲线上下对称</p>
斜圆柱面	<p>(1) <math>\begin{cases} X = X_D + r \int_{\theta}^{\pi} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \sin^2 \theta} d\theta &amp; (\pi \geq \theta \geq -\pi) \\ Y = l - r \cos \alpha \cos \theta &amp; (d\theta \text{ 为负值}) \end{cases}</math></p> <p>(2) <math>\begin{cases} X = X_B + r \int_{-\pi}^{\theta} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \sin^2 \theta} d\theta \\ Y = r \cos \alpha \cos \theta &amp; (-\pi \leq \theta \leq \pi) \end{cases}</math></p> <p><math>X_B = \pi r \left[ 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{\cos^2 \alpha}{1} - \left(\frac{1 \times 3}{2 \times 4}\right)^2 \frac{\cos^4 \alpha}{3} - \left(\frac{1 \times 3 \times 5}{2 \times 4 \times 6}\right)^2 \frac{\cos^6 \alpha}{5} - \dots \right]</math></p> <p><math>Y_B = r \cos \alpha \quad X_{B_1} = -X_B \quad X_D = X_B \quad X_{D_1} = -X_B</math></p> <p><math>Y_{B_1} = -Y_B \quad Y_D = l + r \cos \alpha \quad Y_{D_1} = Y_D</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 将斜圆柱面正截交线(椭圆)分为 <math>n</math> 等分, 过各等分点作柱面直素线</li> <li>2. 将正截交线(椭圆)展开成斜线段(与正截面迹线重合), 其长度为 <math>2\pi r \times \left[ 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{\cos^2 \alpha}{1} - \left(\frac{1 \times 3}{2 \times 4}\right)^2 \frac{\cos^4 \alpha}{3} - \left(\frac{1 \times 3 \times 5}{2 \times 4 \times 6}\right)^2 \frac{\cos^6 \alpha}{5} - \dots \right]</math></li> <li>3. 过各等分点作斜线垂线, 在垂线两端求得素线实长端点</li> <li>4. 分别将两边端点连成光滑曲线</li> </ol>

机械工业出版社



(续)

名称	展开图画法及边缘曲线方程	说明
斜截圆锥面	 $\rho = \frac{2l l_1}{l_1 + l_2 + (l_1 - l_2) \cos \frac{\varphi}{\sin \beta}} \quad (-\pi \sin \beta \leq \varphi \leq \pi \sin \beta)$ $a = \pi \sin \beta \quad \sin \beta = \frac{R}{L}$ $(\alpha = 180^\circ \sin \beta)$	<p>完整的圆锥面，展开图是以 <math>l</math> 为半径的扇形，其圆心角为 <math>2\alpha = 2(180^\circ R/l)</math>。截去锥顶后各素线的实长可以从正面投影中用旋转法求得，然后过各素线的端点连成光滑的曲线</p>

轴线上交具有公切球的圆锥面和圆柱面	 $(1) \rho = \frac{rcot\beta}{1 - \sin\beta \cos \frac{\varphi}{\sin\beta}} \quad \left( \pi \sin \beta \leq \varphi \leq -\frac{\pi}{2} \sin \beta \right)$ $(2) \rho = \frac{rcot\beta}{1 + \sin\beta \cos \frac{\varphi}{\sin\beta}} \quad \left( -\frac{\pi}{2} \sin \beta \leq \varphi \leq \pi \sin \beta \right)$ $(3) Y = \frac{r}{\cos\beta} \left( \cos \frac{X}{r} - \sin\beta \right) \quad \left[ -r \left( \frac{\pi}{2} - \beta \right) \leq X \leq r \left( \frac{\pi}{2} - \beta \right) \right]$ $(4) Y = -\frac{r}{\cos\beta} \left( \cos \frac{X}{r} - \sin\beta \right) \quad \left[ r \left( \frac{\pi}{2} - \beta \right) \geq X \geq -r \left( \frac{\pi}{2} - \beta \right) \right]$	<p>其展开图可分别仿照斜截圆锥面和斜截圆柱面的画法</p>
-------------------	---	--------------------------------

机械工业出版社





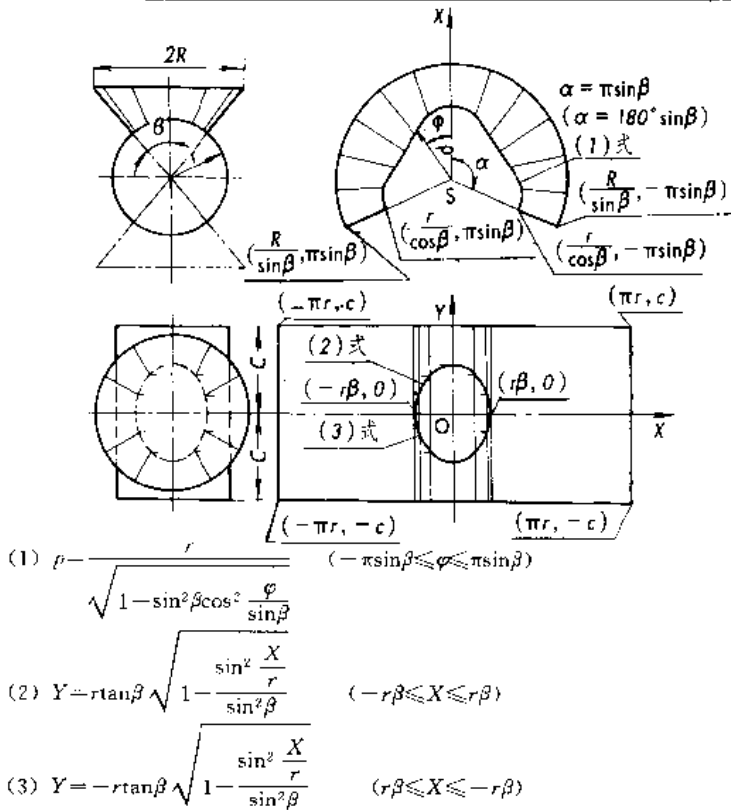
(续)

名称

展开图画法及边缘曲线方程

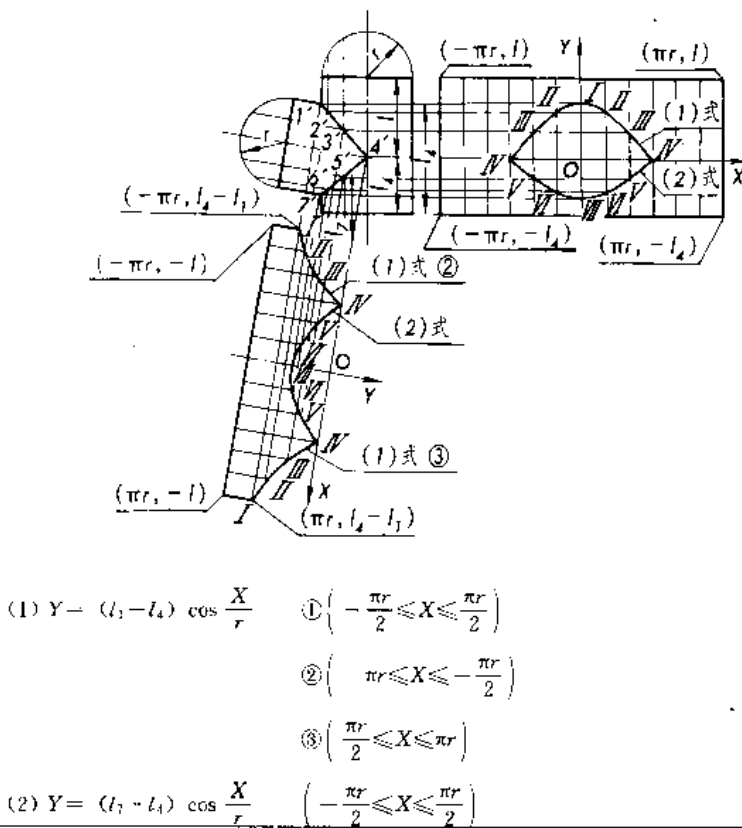
说 明

相贯线投影成二次曲线的圆锥面和圆柱面



画圆锥面的展开图,可参照斜截圆锥面的展开图画法。画圆柱面展开图,可根据水平投影量取相交部分素线的实长。两素线之间的距离等于圆柱正面投影中相应的弧长

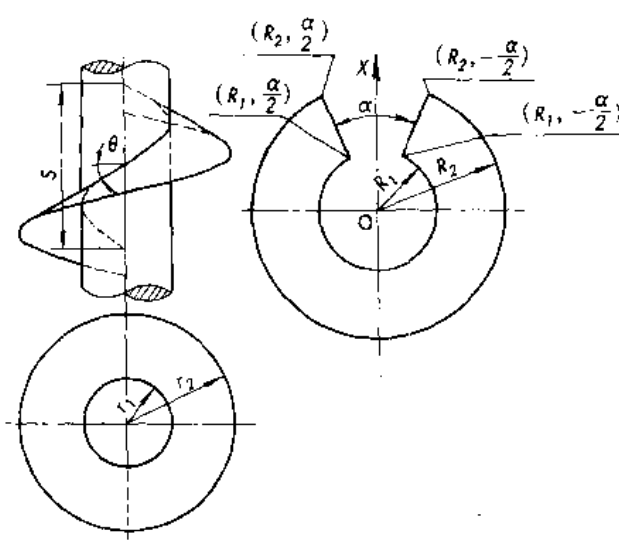
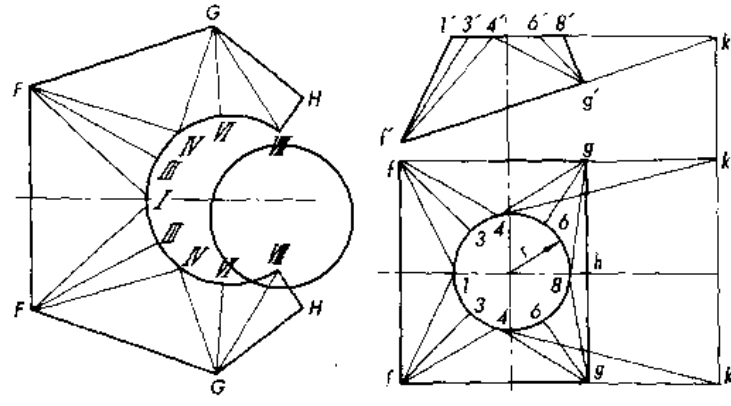
等径相交两圆柱面



先求作两圆柱的相贯线,此处相贯线的投影1'4'和4'7'是相交二直线。其展开图的画法与斜截圆柱相同。展开后的边缘曲线也是余弦曲线



(续)

名称	展开图画法及边缘曲线方程	说明
渐开线螺旋面	 $\cos\theta = \frac{2\pi r_1}{\sqrt{(2\pi r_1)^2 + s^2}} \quad R_1 = \frac{r_1}{\cos^2\theta} = r_1 + \frac{s^2}{4\pi^2 r_1}$ $R_2 = \sqrt{\frac{r_2^2 - r_1^2}{\cos^2\theta} + R_1^2}$ $\alpha = 2\pi(1 - \cos\theta) \quad \alpha^\circ = (1 - \cos\theta)360^\circ$	<p>渐开线螺旋面是以其内缘螺旋线为脊线的切线曲面。用垂直于轴的截平面截它时，截交线为渐开线。其展开图是半径为 <math>R_1</math> 及 <math>R_2</math> 的同心圆围成的环形面。其缺口圆心角为 <math>\alpha</math>。<math>\theta</math> 为内缘螺旋线升角，<math>r_1</math>、<math>r_2</math> 为内外螺旋线半径，<math>s</math> 为导程</p>
变形接头		<p>先延长 <math>FG</math> 与顶圆平面交于 <math>K</math>，过 <math>K</math> 点作顶圆切线，求出切点 <math>N</math>，然后将变形接头划分为平面和锥面（见图上所作四个三角形和四个斜锥面），再将这些平面和局部锥面依次毗连展开在同一平面上</p>

6.2 不可展曲面的近似展开

由直母线形成的扭曲面（相邻直素线是异面直线）和所有的曲线面都是不可展曲面。不可展曲面的近似

展开方法是将曲面划分成足够数量的小曲面片，然后按柱面或锥面的展开图代替它，依次毗连地将它拼画在同一平面上，就得到其近似展开图，表 1-1-35 是不可展曲面的展开方法。

此图公司制作 请尊重作者版权



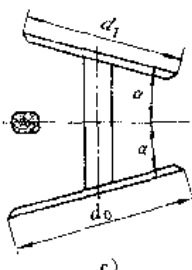
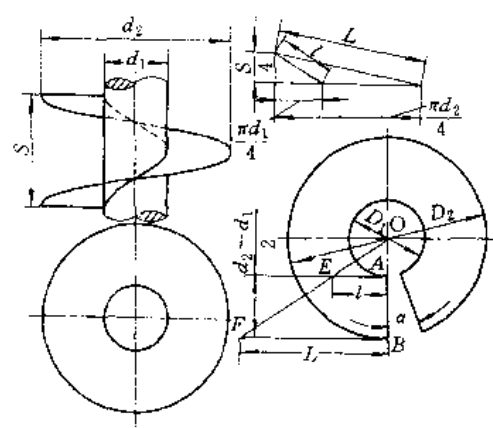
表 1-1-35 不可展曲面的近似展开

名称	展开图近似画法	说明
等径弯管接头		<p>这是 1/4 环面的近似展开图, 用外切的两个整节和两个半节圆柱管焊接而成。若采用 <math>n</math> 段圆管, 则半节所对的角度是</p> $\alpha = \frac{90^\circ}{2(n-1)}$
不可展的异径换向管接头		<p>这是一种不可展的异径换向管接头, 其进出口两个圆不在同一球面上, 其展开方法是将进出口两圆的等分点对应地连接起来, 组成了若干个空间四边形, 再用对角线将它分为两个三角形, 然后求出各三角形的实形, 依次毗连地画在同一平面上, 各顶点用曲线光滑连接, 便完成了近似展开图</p>
异径弯管接头		<p>图 a 中双点划线表示异径弯管接头, 是曲线面。其进出口直径为 <math>d_0</math> 和 <math>d_n</math>, 进出口之间的夹角为 <math>\alpha_n</math>, 其内侧圆弧半径为 <math>r</math>, 外侧为等角螺线, 其极坐标方程 (<math>\rho</math> 为极径, <math>\varphi</math> 为极角, 极轴 <math>OX</math> 与 <math>\rho_n</math> 重合) 为</p> $\ln \rho = \frac{\varphi}{\alpha_n} (\ln \rho_n - \ln \rho_0) + \ln \rho_0$ <p>制作时, 可作成图示的虾形管代替它①。这种虾形管相当于从一个椭圆锥面上割下 <math>n</math> 节 (图 b <math>n=6</math>) 焊接成图 a 的形状。即将每节都设计成可展的异径换向管接头</p> <p>如已知 <math>\alpha_n, d_0</math> 和 <math>d_n</math>, 确定 <math>n</math> 后可求出 <math>a = \frac{\alpha_n}{2n}</math> 及 <math>u = 2rsin\alpha</math> 要画出图 a 关键在于用试算法根据下式求出 <math>\beta</math>:</p> $d_0 = \left( \frac{\cot\alpha + \tan n\beta}{\cot\alpha - \tan\beta} \right)^n d_n + n \frac{4rs \cdot n\beta}{\cot\alpha - \tan\beta}$ <p>各节进出口直径 <math>d_i</math> 按下式计算</p>

此星公司制作 请尊重作者版权



(续)

名称	展开图近似画法	说明
异径弯管接头		$d_i = \frac{d_{i-1} \left( \frac{\cos \alpha}{\sin \beta} - \frac{\sin \alpha}{\cos \beta} \right) - 4r \sin \alpha}{\frac{\cos \alpha}{\sin \beta} - \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}}$ $(i=1, 2, 3, \dots, n)$ <p><math>\beta</math> 确定后也可用图解法(如图 b)自下而上地求出 <math>d_1, d_2, \dots, d_{n-1}</math></p> <p>有了上述各数据,即可画出各节的展开图,不必具体画出图 a。各节都是异径换向管接头,故也可求出各节展开图曲线边缘方程和端点坐标,用数控机床下料。或者用如图 c 所示的特制模具(每节作一个)滚印各节的展开图。各节展开图可拼成一整块</p>
正螺旋面		<p>近似展开图是一带缺口的环形,环形的内外弧长分别等于内外螺旋线的长度。设正螺旋面内径为 <math>d_1</math>, 外径为 <math>d_2</math>, 导程为 <math>S</math>, 则</p> $D_1 = (d_2 - d_1) \times \frac{\sqrt{(\pi d_1)^2 + S^2}}{\sqrt{(\pi d_2)^2 + S^2} - \sqrt{(\pi d_1)^2 + S^2}}$ $D_1 = D_2 + (d_2 - d_1)$ $\alpha = [\pi D_1 - \sqrt{(\pi d_1)^2 + S^2}] 360^\circ / \pi D_1$ <p>作图步骤是:作竖线段 <math>AB = \frac{d_2 - d_1}{2}</math>, 分别过 <math>A, B</math> 作横线 <math>AE</math> 和 <math>BF</math>, 分别等于内外螺旋线的长度(图中是各长度的 <math>1/4</math>), 连 <math>FE</math> 交 <math>BA</math> 的延长线于 <math>O</math>, 以 <math>O</math> 为圆心, <math>OA, OB</math> 为半径便可画出此环形图</p>

① 环形管的外轮廓转折点并不恰好在等角螺旋线上, 只是相当接近。

## 7 计算机绘图 [3][4]

### 7.1 概述

计算机绘图是计算机辅助设计和计算机辅助制造的重要组成部分。

计算机绘图是应用计算机及其图形输入、输出设备, 实现图形显示、编辑、修改及辅助绘图、设计的一门新兴学科。它建立在工程图学、应用数学和计算机科学有机结合的基础上。

计算机绘图已广泛应用在工业、商业、军事、教育、艺术等各个领域。

计算机绘图可分为: 被动输出式绘图和交互式设计绘图两类。

被动输出式绘图是用户使用事先规定好的数据, 编制产生某一固定图形的应用程序, 一旦程序运行, 就不再接受操作员的干预直到图形绘完为止。

交互式设计绘图必须有完善的数据结构支持, 通过交互设备输入信息和坐标作图, 修改图形, 变换图形, 最后输出符合要求的图样。



### 7.2 图形基本图素生成

任何一个图形都是由许多图形元素组合而成的，在众多的图形元素（如直线、圆、圆弧、字符等）中，直线和圆是最基本的。

#### 7.2.1 直线图素生成

直线总是用它的两个端点的坐标给出的。下面介绍一种不需要进行乘除运算且完全是整数运算的算法——Bresenham 算法。

Bresenham 算法不直接计算  $x$  和  $y$  的数学坐标，而是在确定直线最大变化方向上（如  $x$ ）步进一个单位的同时，用另一方向上（如  $y$ ）直线的准确位置与实际位置之间的距离（称作误差项）来判断是否也需要步进一个单位。见图 1-1-40，误差项  $e$  值为正，表明直线的准确位置位于当前点之上，因此  $y$  坐标加上 1；若  $e$  值为负则  $y$  坐标不变。 $e$  值的计算也是用迭代的方法。 $e$  的初值取为

$$e_0 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) - 0.5$$

以后

$$\begin{cases} e_{i+1} = e_i + (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) & e_i < 0 \\ e_{i+1} = (e_i - 1) + (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) & e_i \geq 0 \end{cases}$$

这里测试的仅是误差项  $e$  的符号，因此将所有有关  $e$  的运算式的两边同时乘以  $2(x_2 - x_1)$ ，并不影响其符号的正负。而这时所有运算，都变为整数运算了。

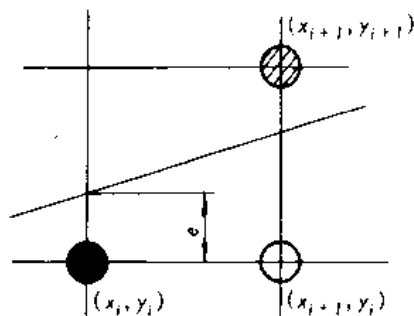


图 1-1-40 Bresenham 算法示意图

上面讨论的是  $x_2 > x_1$ ，且  $x_2 - x_1 \geq |y_2 - y_1|$  的情况，推广到一般情况，从点  $(x_1, y_1)$  至点  $(x_2, y_2)$  的直线的 Bresenham 画线算法的 N-S 结构化流程图见图 1-1-41。

#### 7.2.2 圆

圆的生成算法有多种，不同场合可以选用不同的

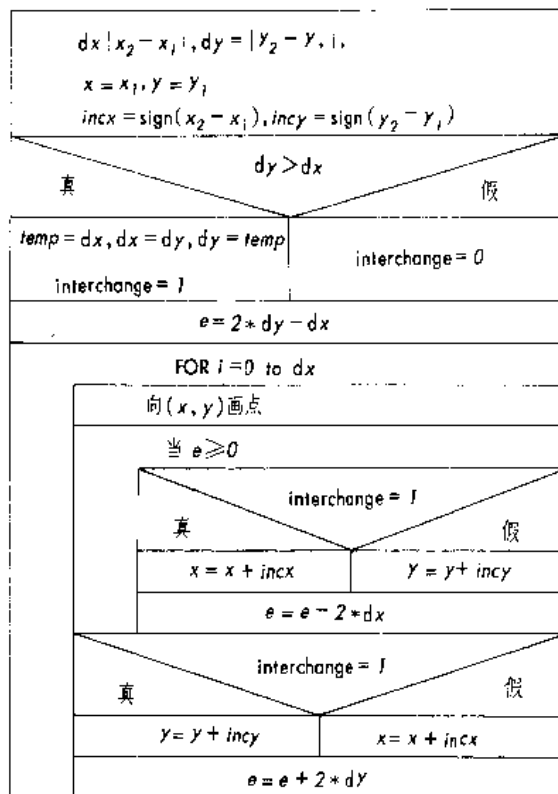


图 1-1-41 Bresenham 画线算法的 N-S 结构化流程图  
算法。无论使用哪一种算法，考虑圆的对称性，都会有助于画圆速度的提高。设圆心在坐标原点，半径为  $R$ 。则圆上一点  $(x, y)$  与其他七点均有特定的对称关系。这种性质称为圆的八路对称性，见图 1-1-42。

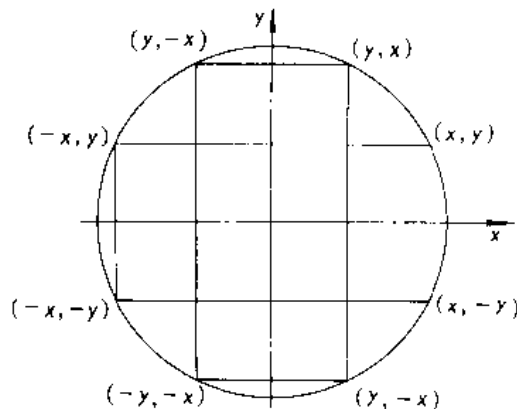


图 1-1-42 圆的八路对称性

同直线生成算法一样，也可以采用全部是整数运算且无乘除算法的 Bresenham 画圆算法。以  $0^\circ \sim 45^\circ$  之间画逆时针方向圆弧为例，见图 1-1-43。假设已经找到了最接近数学圆的一点  $P_i(x_i, y_i)$ ，下一个可能的点是  $Q_i(x_i, y_{i+1})$  或  $S_i(x_{i-1}, y_{i-1})$ 。为了判别  $Q_i$  和  $S_i$  中哪一个点最接近圆周，需要找一个判别变量。由于圆心



在原点,且半径为  $R$ ,令

$$f(x,y) = x^2 + y^2 - R^2$$

则点  $(x,y)$  在圆外时  $f(x,y) > 0$ , 在圆内时  $f(x,y) < 0$ , 在圆上时  $f(x,y) = 0$ .

令

$$e_i = f(Q_i) + f(S_i)$$

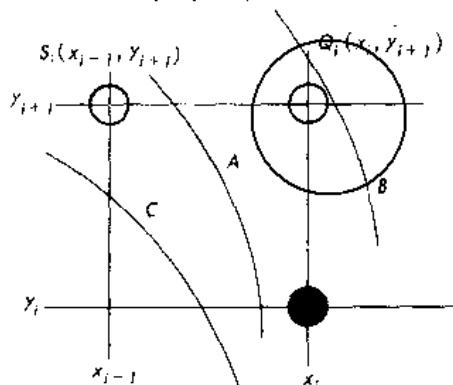


图 1-1-13 Bresenham 画圆算法原理

$e_i$  的符号可以作为判别从  $Q_i$  和  $S_i$  中选择最接近于圆周的像素的依据。图 1-1-13 中示出了 A、B、C 三个不同的圆。对圆 A 来说,  $Q_i$  点在圆周外侧,  $f(Q_i) > 0$ ,  $S_i$  点在圆周内侧,  $f(S_i) < 0$ , 若  $e_i$  为正, 说明  $S_i$  点更接近圆周, 应选  $S_i$  作新的  $P_{i+1}$  点; 若  $e_i$  为负, 则应选  $Q_i$  作为  $P_{i+1}$  点。这就是 Bresenham 画圆的判别准则。该准则对于图 1-1-13 中圆 B 也正确, 因这时  $Q_i$  和  $S_i$  都在圆周内侧,  $f(Q_i) < 0$ ,  $f(S_i) < 0$ , 所以  $e_i$  为负, 故应选  $Q_i$  作为  $P_{i+1}$  点。对于圆 C 的情况, 则和圆 B 相反, 应取  $S_i$  作为  $P_{i+1}$  点。

为了推导递推关系, 应该在选  $Q_i, S_i$  为  $P_{i+1}$  点之后找出  $e_{i+1}$  的计算公式。若  $e_i \geq 0$ , 选  $S_i, x_{i+1} = x_i - 1, y_{i+1} = y_i + 1$

$$\begin{aligned} \text{则 } f(Q_{i+1}) &= x_{i+1}^2 + (y_{i+1} - 1)^2 - R^2 \\ &= x_i^2 + (y_i + 1)^2 - R^2 - 2x_i + 2y_i + 4 \\ &= f(Q_i) - 2x_i + 2y_i + 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(S_{i+1}) &= (x_{i+1} - 1)^2 + (y_{i+1} + 1)^2 - R^2 \\ &= (x_i - 1)^2 + (y_i + 1)^2 - R^2 - 2x_i + 2y_i + 6 \\ &= f(S_i) - 2x_i + 2y_i + 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_i &= f(Q_{i+1}) + f(S_{i+1}) \\ &= e_i + 4(y_i - x_i) + 10 \end{aligned}$$

若  $e_i < 0$ , 选  $Q_i, x_{i+1} = x_i, y_{i+1} = y_i + 1$ , 类似地可以得到

$$e_{i+1} = e_i + 4y_i + 6$$

在从  $0^\circ$  角开始画第一个  $1/8$  圆弧的情况下,  $P_0 = (R, 0), f(P_0) = 0$

$$f(Q_0) = R^2 + (0+1)^2 - R^2 = 1$$

$$f(S_0) = (R-1)^2 + (0+1)^2 - R^2 = -2R + 2$$

则  $e$  的初值

$$e_0 = f(Q_0) + f(S_0) = 3 - 2R$$

圆心在原点, 半径为  $R$  的第一象限的第一个八分圆的 Bresenham 画圆算法的 N-S 结构化流程见图 1-1-14。

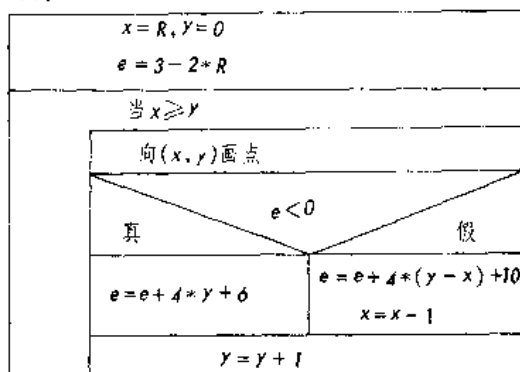


图 1-1-14 Bresenham 画圆算法的 N-S 结构化流程

### 7.3 常用几何计算

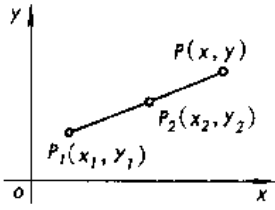
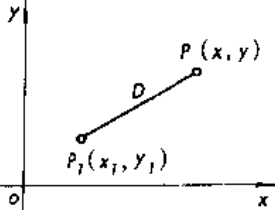
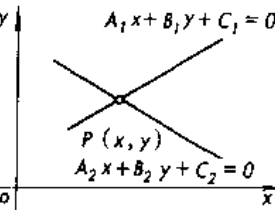
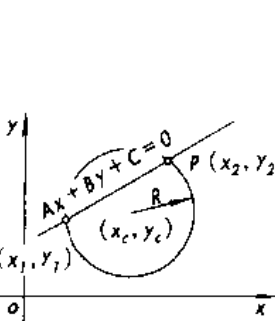
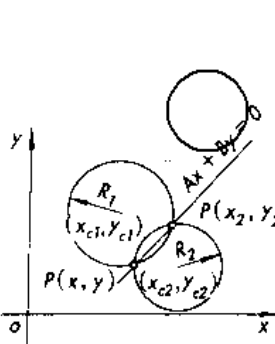
计算机绘图不同于传统的手工绘图方式, 一切图形的输入信息都必须采用数据的形式。也就是说, 要画直线必须给出直线的起点和终点坐标, 画圆弧必须给出圆弧的起点、圆心和终点坐标以及圆弧的走向。一幅较复杂的图纸上直线和直线、直线和圆弧、圆弧与圆弧之间的连接关系是很多的, 而绘图时所需要的数据有些必须通过几何计算才能得到。表 1-1-36 列出了常用的几何计算公式。

表 1-1-36 常用几何计算

功 能	图 例	计 算 公 式
以直线 $Ax + By + C = 0$ 为对称轴, 求与 $P_1(x_1, y_1)$ 对称的点 $P(x, y)$		$D = 2(Ax_1 + By_1 + C) / (A^2 + B^2)$ $x = x_1 - AD$ $y = y_1 - BD$



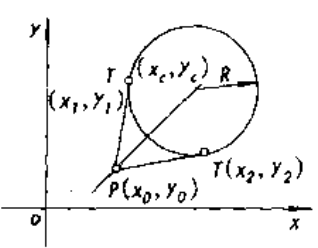
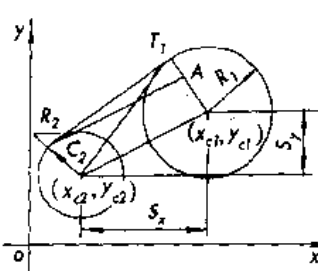
(续)

功 能	图 例	计 算 公 式
<p>以定比 <math>D(D \neq -1)</math> 将两点 <math>P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2)</math> 内分 (<math>D &gt; 0</math>) 或外分 (<math>D &lt; 0</math>), 求分点 <math>P(x, y)</math></p>		$x = \frac{x_1 + Dx_2}{1 + D}$ $y = \frac{y_1 + Dy_2}{1 + D}$
<p>已知直线 <math>Ax + By + C = 0</math> 求与直线上已知点 <math>P_1(x_1, y_1)</math> 距离为 <math>D</math> 的点 <math>P(x, y)</math></p>		$E = A^2 + B^2$ $x = x_1 + D \sqrt{B^2/E}$ <p>若 <math>AB &gt; 0</math>, 则 <math>D = -D</math></p> $y = y_1 + D \sqrt{A^2/E}$
<p>已知直线 <math>A_1x + B_1y + C_1 = 0</math> 和直线 <math>A_2x + B_2y + C_2 = 0</math>, 求两直线的交点 <math>P(x, y)</math></p>		$D = A_1B_2 - A_2B_1$ <p>(若 <math>D = 0</math>, 两直线无交点)</p> $x = -(C_1B_2 - C_2B_1)/D$ $y = (C_1A_2 - C_2A_1)/D$
<p>已知直线 <math>Ax + By + C = 0</math> 和圆 <math>(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R^2</math>, 求直线和圆的交点 <math>P</math></p>		$D = A^2 + B^2$ $E = BC + ABx_c - A^2y_c$ $F = C^2 + 2ACx_c + A^2x_c^2 + A^2y_c^2 - A^2R^2$ $S = E^2 - FD (S = 0 \text{ 无交点})$ $\left. \begin{aligned} y_1 &= (-E + \sqrt{S})/D, y_2 = (-E - \sqrt{S})/D \\ x_1 &= -(By_1 + C)/A, x_2 = -(By_2 + C)/A \end{aligned} \right\} (S > 0)$ $\left. \begin{aligned} y_1 &= y_2 = -E/D \\ x_1 &= x_2 = -B/Ay_1 - C/A \end{aligned} \right\} (S = 0)$
<p>已知圆 <math>(x - x_{c1})^2 + (y - y_{c1})^2 = R_1^2</math> 和圆 <math>(x - x_{c2})^2 + (y - y_{c2})^2 = R_2^2</math>, 求两圆的交点</p>		$A = 2(x_{c2} - x_{c1})$ $B = 2(y_{c2} - y_{c1})$ $C = x_{c1}^2 - x_{c2}^2 + y_{c1}^2 - y_{c2}^2 + R_1^2 - R_2^2$ $D = A^2 + B^2$ $E = BC + ABx_{c1} - A^2y_{c1}$ $F = C^2 + 2ACx_{c1} + A^2x_{c1}^2 + A^2y_{c1}^2 - A^2R_1^2$ $S = E^2 - FD$ $\left. \begin{aligned} y_1 &= (-E + \sqrt{S})/D, y_2 = (-E - \sqrt{S})/D \\ x_1 &= -(By_1 + C)/A, x_2 = -(By_2 + C)/A \end{aligned} \right\} (S > 0)$ $\left. \begin{aligned} y_1 &= y_2 = -E/D \\ x_1 &= x_2 = -B/Ay_1 - C/A \end{aligned} \right\} (S = 0)$

此星公司制作 请尊重作者版权



(续)

功 能	图 例	计 算 公 式
<p>已知圆 <math>(x-x_c)^2+(y-y_c)^2=R^2</math> 和点 <math>P(x_0, y_0)</math>, 求过点 <math>P</math> 和圆相切的直线的切点</p>		$A=x_0-x_c, B=y_0-y_c$ $C=y_0^2+x_0^2-R^2-x_c x_0-y_c y_0$ $D=A^2+B^2$ $E=BC+ABx_c-A^2y_c$ $F=C^2+2ACx_c+A^2x_c^2+A^2y_c^2-A^2R^2$ $S=E^2-FD$ $y_1=(-E+\sqrt{S})/D, x_1=-(By_1+C)/A$ $y_2=(-E-\sqrt{S})/D, x_2=-(By_2+C)/A$ <p style="text-align: right;">( A ≠0, S&gt;0)</p> $y_1=y_2=-E/D$ $x_1=x_2=-(By_1+C)/A$ <p style="text-align: right;">( A ≠0, S=0)</p> $y_1=y_2=-C/B$ $x_1=x_c+\sqrt{R^2+(C/B+y_c)^2}$ $x_2=x_c-\sqrt{R^2-(C/B+y_c)^2}$ <p style="text-align: right;">( A =0, <math>\sqrt{R^2-(C/B+1/C)^2} \geq 0</math>)</p>
<p>已知圆 <math>(x-x_{c1})^2+(y-y_{c1})^2-R_1^2=0</math> 和圆 <math>(x-x_{c2})^2+(y-y_{c2})^2-R_2^2=0</math>, 求两圆公切线和圆的切点(外公切线 <math>K=-1</math>, 内公切线 <math>K=1</math>)</p>		$S_x=x_{c1}-x_{c2}, S_y=y_{c1}-y_{c2}$ $=S_x^2+S_y^2-(R_1+KR_2)^2+R_1^2$ $A=-S_x/S_y$ $B=x_{c1}^2-x_{c2}^2+y_{c1}^2-y_{c2}^2-R_1^2+T^2$ $E=A^2+1$ $F=x_{c2}-AB+Ay_{c2}$ $G=x_{c2}^2+(B-y_{c2})^2-T^2$ $x_{t1}=(F+\sqrt{F^2-EG})/E, y_{t1}=Ax_{t1}+B$ $x_{t2}=(F-\sqrt{F^2-EG})/E, y_{t2}=Ax_{t2}+B$

注: 参见潘柏楷等编著。计算机自动绘图系统。北京: 中国铁道出版社, 1982。

### 7.4 图形变换

#### 7.4.1 坐标系

为了定量地描述物体的几何形状, 必须使用坐标系。在计算机绘图过程中主要使用笛卡儿坐标系。

**1. 世界坐标系和窗口** 为了使客观事物的形状或相互关系数量化, 要在客观事物所在的空间定义一个坐标系。这个坐标系称为世界坐标系。世界坐标的范围很大, 但用户需要显示的范围往往只是有限而确定的矩形区域, 称之为窗口。作图时应先选定所需的窗口范围  $(x_{wl}, x_{wr}, y_{wl}, y_{wr})$ , 见图 1.1-45a。

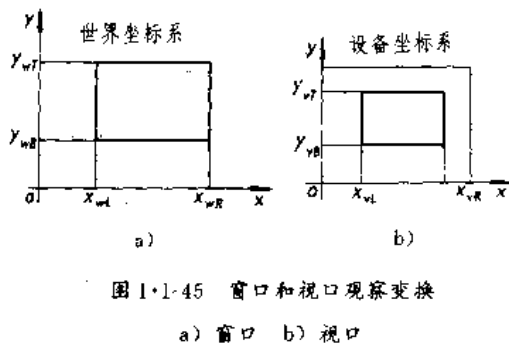


图 1.1-45 窗口和视口观察变换

a) 窗口 b) 视口

**2. 设备坐标系和视口** 在设备这一级, 往往使用与设备物理参数有关的设备坐标系。例如, 图形显示器使用屏幕坐标系, 绘图仪使用绘图坐标系。这时, 坐标

此是公制制作请尊重作者版权





单位即为设备的分辨率,坐标值都是整数,且有固定的取值范围。当将世界坐标系内的对象映射到设备坐标系进行显示时,往往只希望显示在设备坐标空间的局部矩形区内,而不一定占用整个屏幕,这样的局部矩形区域称之为视口。定义视口和定义窗口的方法相类似,就是规定视口的左、右、上、下边界值  $x_{vl}$ 、 $x_{vr}$ 、 $y_{vt}$ 、 $y_{vb}$ 。见图 1-1-45b。

**3. 规范化设备坐标系** 为了使图形支撑软件摆脱对具体物理设备的依赖性,也为了便于在不同应用和不同系统之间交换图形信息,人为规定在世界坐标系和设备坐标系之间采用一种虚拟的中间坐标系,它的范围是一个单位正方形,即  $x$  和  $y$  方向的取值范围都位于区间  $[0, 1]$ ,称之为规范化设备坐标系。

**7.4.2 齐次坐标**

如果把平面上的点  $P = [xy]$  放到空间去表示为  $[XYH]$ , 使得

$$x = X/H, y = Y/H$$

则称  $[XYH]$  是点  $P$  的齐次坐标。显然,点  $P$  的齐次坐标表示不是唯一的。如果规定齐次坐标的第三个分量  $H$  必须是 1, 则称为规范齐次坐标。可见  $P = [xy]$  的规范齐次坐标是  $[xy1]$ , 它的表示是唯一的。三维空间的点  $P = [xyz]$  在齐次坐标系中可表示为  $[H, H, H, H]$ , 其中  $H \neq 0$ 。若  $H = 1$ , 则为规范齐次坐标。

**7.4.3 图形变换**

图形变换从应用的角度来看可分为两种:几何变换和观察变换。

几何变换是指在坐标系不变的情况下,由于对象的几何位置或比例改变而引起的变换。例如在计算机绘图过程中,往往要对图形作旋转、平移、缩小或放大等变换,就都属于几何变换。

观察变换是将对象从原来的坐标系变换到便于观察的另一坐标系。几何变换和观察变换仅仅是问题提出的角度不同,它们的数学基础和实际效果是一致的。

**1. 二维变换** 二维空间的一个点  $P$ , 其坐标为  $(x, y)$ , 进行二维变换后的坐标为  $(x', y')$ , 可以写成下列一般形式:

$$x' = ax + cy + tx$$

$$y' = bx + dy + ty$$

采用规范齐次坐标,用矩阵表示为

$$[x' y' 1] = [x y 1] \begin{bmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix} = [x y 1] T$$

$T$  称为变换矩阵。基本的二维图形变换的变换矩阵和图例见表 1-1-37。

表 1-1-37 基本二维变换

变换名称	图 例	变换矩阵	计算公式
平移变换		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x' = x + t_x$ $y' = y + t_y$
比例变换		$\begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x' = ax$ $y' = dy$
错切变换		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ c & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x' = x + cy$ $y' = y$



(续)

变换名称	图 例	变换矩阵	计算公式
错切变换		$\begin{bmatrix} 1 & b & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= y + bx \end{aligned}$
		$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= -x \\ y' &= y \end{aligned}$
		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= -y \end{aligned}$
反射变换		$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= y \\ y' &= x \end{aligned}$
		$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= -y \\ y' &= -x \end{aligned}$
		$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= -x \\ y' &= -y \end{aligned}$



(续)

变换名称	图例	变换矩阵	计算公式
旋转变换		$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= x\cos\theta - y\sin\theta \\ y' &= x\sin\theta + y\cos\theta \end{aligned}$

2. 二维基本变换的级联 有的图形需要连续进行多次基本变换, 由多个基本变换组成的复杂变换叫做基本变换的级联。

例如, 绕  $xoy$  平面上任意点  $P(t_x, t_y)$  的旋转变换可以通过下述变换步骤实现, 见图 1-1-46。

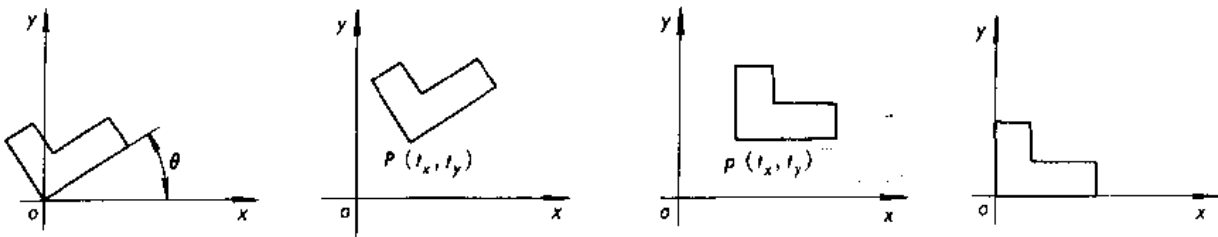


图 1-1-46 平面图形绕任意点的旋转变换

(1) 首先把旋转中心  $P(t_x, t_y)$  平移到原点, 变换矩阵为

$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -t_x & -t_y & 1 \end{bmatrix}$$

(2) 使图形绕坐标原点旋转, 变换矩阵为

$$T_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(3) 平移回原旋转中心点  $P(t_x, t_y)$ , 变换矩阵为

$$T_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$$

绕任意点  $P$  的旋转变换为

$$T = T_1 T_2 T_3$$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -t_x & -t_y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ t_x - t_x\cos\theta + t_y\sin\theta & t_y - t_y\sin\theta - t_x\cos\theta & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

由于矩阵的乘法运算不符合交换律, 所以级联变换的顺序是不能颠倒的。也就是说, 用基本变换的级联对图形进行变换时, 若级联的顺序不同, 则产生的变换

结果也不同。

### 3. 二维观察变换

由于窗口和视口是在不同的坐标系中定义的, 所以在把窗口内的图形信息输出到视口之前, 必须进行坐标变换。其基本原则是保持图形各部分在  $x$  和  $y$  坐标轴方向上的比例各自恒定, 见图 1-1-45, 观察变换实际上是由下列三个基本变换复合而成:

(1) 把窗口平移  $(-x_{wL}, -y_{wB})$ , 使窗口左下角与世界坐标系原点重合;

(2) 进行比例变换,  $x$  和  $y$  方向上的变比系数分别为

$$S_x = \frac{x_{vR} - x_{vL}}{x_{wR} - x_{wL}}$$

$$S_y = \frac{y_{vT} - y_{vB}}{y_{wT} - y_{wB}}$$

经过该比例变换后, 世界坐标系转换成设备坐标系。

(3) 再做一次平移变换  $(x_{vL}, y_{vB})$ , 转换成指定的视口。

观察变换的变换矩阵是

$$T = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ x_{vL} - x_{wL} & y_{vB} - y_{wB} & S_y - 1 \end{bmatrix}$$

可见, 固定视口通过窗口大小的变化改变显示的比例实现缩放; 固定视口通过改变窗口的位置, 可实现对画面的漫游。



4. 三维变换 与二维情况类似, 三维空间的点  $[xyz]$  用规范齐次坐标表示为  $[xyz1]$ 。因此三维空间点的变换为

$$[x'y'z'1] = [xyz1] T$$

式中  $T$  为三维图形的变换矩阵。这个变换矩阵是  $4 \times 4$  方阵, 即

$$T = \begin{bmatrix} a & b & c & p \\ d & e & f & q \\ h & i & j & r \\ l & m & n & s \end{bmatrix}$$

把矩阵  $T$  分成 4 个子矩阵, 即

$$\begin{bmatrix} 3 \times 3 & 3 \times 1 \\ 1 \times 3 & 1 \times 1 \end{bmatrix}$$

其中,  $3 \times 3$  子矩阵产生比例、反射、旋转和错切变换;

$1 \times 3$  子矩阵产生平移变换;

$3 \times 1$  子矩阵产生透视变换;

$1 \times 1$  子矩阵产生整体比例变换。

右手坐标系下各种基本变换的变换矩阵见表 1-1-38。

表 1-1-38 三维变换和变换矩阵

变 换 内 容	变 换 矩 阵
平移变换, 沿 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向移动量为 $l$ 、 $m$ 、 $n$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l & m & n & 1 \end{bmatrix}$
局部比例变换	$\begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
整体比例变换	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S \end{bmatrix}$
绕 $x$ 轴旋转	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
绕 $y$ 轴旋转	$\begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
绕 $z$ 轴旋转	$\begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
三维正投影变换 (图 1-1-47)	<p style="text-align: center;">正面投影</p> $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$



(续)

变 换 内 容	变 换 矩 阵
三维正投影变换 (图 1-1-47)	
侧面投影 (与正面投影间距为 $l$ )	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -l & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
水平投影 (与正面投影间距为 $n$ )	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -n & 1 \end{bmatrix}$
正等轴测投影变换	$\begin{bmatrix} 0.707 & 0 & -0.408 & 0 \\ -0.707 & 0 & -0.408 & 0 \\ 0 & 0 & 0.816 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
正轴测投影变换	$\begin{bmatrix} 0.935 & 0 & -0.118 & 0 \\ -0.354 & 0 & -0.312 & 0 \\ 0 & 0 & 0.943 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
斜二轴测投影变换	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.354 & 0 & -0.354 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

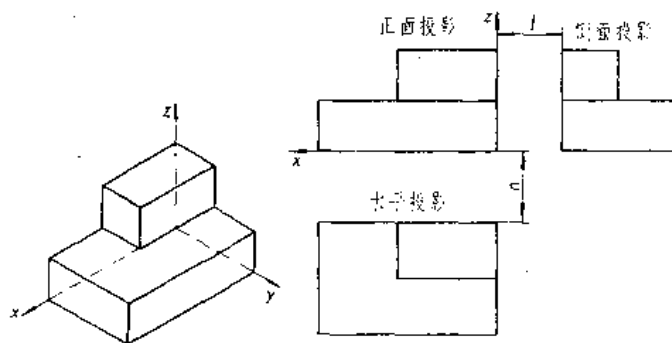


图 1-1-47 空间立体及其三面投影

### 7.5 图形软件的标准化

图形软件的开发与图形设备密切相关。随着技术的发展,图形设备的性能越来越好,成本越来越低。但是,由于其种类繁多、性能参数又有很大差异,因此图形软件的开发难度大、成本高,在不同系统之间移植也十分困难。为了使图形软件能在不同系统之间相互移植,必须建立图形软件标准。这个标准必须做到:

- (1) 与设备无关,即与系统内所配置的图形设备的种类、数量、性能、参数等无关;
- (2) 与应用无关,即能满足各种不同应用软件开

发的需要,具有通用性;

- (3) 与程序设计语言无关;
- (4) 具有完整的图形处理功能。

国际标准化组织 (ISO) 已通过多个图形软件标准,它们对图形描述定义和接口格式均进行了规定。根据各个标准规定的不同功能,图形软件标准的接口可以分为三类:数据接口、应用接口和图形设备接口。

国家技术监督局已发布实施《机械制图用计算机信息交换常用长仿宋体、代(符)号基本集 GB/T13362.1-92》等一批与计算机绘图有关的国家标准。



7·5·1 GKS 标准 (参见机械设计基础卷第8篇第2章1节)

7·5·2 PHIGS 标准 (参见机械设计基础卷第8篇第2章2节)

7·5·3 CGI 标准和 CGM 标准 (参见机械设计基础卷第8篇第2章3节)

7·5·4 IGES 标准 (参见机械设计基础卷第8篇第3章1节)

## 7·6 工程图样绘制

机械工程图样主要包括零件图和装配图两大类。一般来说,机械工程图样的图形复杂、规律性差,造船、汽车、飞机等工业部门的工程图样曲线、曲面的形状较多,这些曲线、曲面通常可以用数学方式加以描述,或由离散点拟合。其他大部分机械工程图样是由直线和圆弧组合而成,其结构形状一般不用数学方法描述,但仍有如下几点规律性和共性:

(1) 形体的可分性。基本立体(柱、锥、球、环)是构成各种零件的最基本的形体。这些立体的视图也是构成零件视图的最基本的图形。另外有些图形如轴端、键槽等也是零件图样上常见的图形,称为零件结构图形。一般总可以将一个零件的图形分解为许多基本图形和零件结构图形。

(2) 图形通用性。机械工程图样中有很多结构图形,如退刀槽、螺纹孔、中心孔等结构常常遇到,具有通用性。

(3) 零件、部件的标准化、系列化。螺纹联接件、键、销、滚动轴承等都已经标准化、系列化了;齿轮、带轮等常用件的部分结构也已规格化和标准化;甚至一些典型的通用部件如电动机、油杯,……等都可以实现标准化,系列化。

由于机械工程图样具有上述这些特点,可以将工程图样分级组合而成,由直线、圆、……等基本图素构成基本图形和零件结构图形,统称为子图形,由子图形构成零件图形,由零件图形构成装配图。

一张完整的机械工程图样包括:描述物体形状的图形;物体的尺寸、技术要求等等。这两部分都应有相应的数据结构。一个图样通常可以表示为分层的形式,即整个图形可以分为较小的几个子图形所组成,而每

个子图形又由更小的子图形组成,直至子图形由最基本的图形元素所组成。其数据结构见图1·1-48。

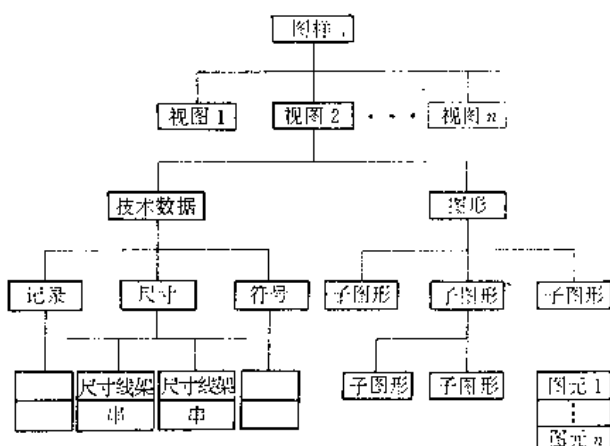


图1·1-48 机械工程图样的数据结构

用计算机绘制机械工程图样主要有两种方法:

一是利用高级语言中的基本绘图语句和扩充的子程序库生成图样;其次是采用通用绘图软件作为支撑工具生成图样。采用高级语言生成图形的方法,由于所有模块都用相同的语言(或调用少量汇编语言子程序)编写,因此程序的联接比较方便。但是,图形处理程序全部用高级语言直接编写,工作量大也难于达到较高水平。现有的CAD系统都采用专门的绘图软件包绘制图样。目前已有许多成熟的绘图软件包,如美国Autodesk公司的AutoCAD,清华大学与北方CAD公司开发的交互绘图系统GIS等。这些绘图软件,具有比较齐全的作图功能、简洁的用户接口,同时与其他CAD系统也可实现信息传递。有些还能直接产生有限元分析,数控加工等应用数据文档和代码。使用这类软件绘制机械工程图样,可以大大提高效率,并使绘图工作在较高起点上进行。

采用通用的绘图软件来绘制工程图样,必须改变人工设计绘图的工作方式,充分利用所使用的图形软件提供的各种功能,提高工作效率。一般作法是:

(1) 构造样板图形,将初始公共参数和默认状态统一设定。这样不仅可以避免设定的重复操作,也有利于绘制的所有图样保持一致。样板图一般包括:使用的线型及其规格定义;图层的命名,及层中使用的线型和颜色;字符与汉字的大小和字体;尺寸单位;……等等。

(2) 将图样按基本图形、零件结构图形先分解为若干子图形,从用户图形库中调用或按子图形生成后再拼装。

(3) 按图样构成的层次结构,将图形、尺寸、技术



要求等分层绘制。通过图层的显示控制,可进行图样的生成和修改,同时也有利于在不同图样中按指定要求复制(如在装配图中就不需要显示零件的尺寸、技术要求等)。

(4) 充分利用所使用的图形软件的编辑修改功能,如用复制功能处理重复结构,统一处理圆角、倒角等。

为了进一步提高绘图效率,在使用通用绘图软件时有必要进行用户化二次开发,其主要工作是:

(1) 建立用户基本图形、零件结构图形和通用零件的图形库以及专用的符号库。其中的内容事先绘制好,供绘图时调用,并不断扩充完善与调整。

(2) 构造用户化宏命令。采用宏命令可以减少输入和应答的次数,因而可以提高运行速度。构造宏命令不仅限于将软件已提供的功能命令进行合并组合,用户还可以使用软件所支持的高级语言编写所需要的功

能子程序,并把这些子程序的调用定义为宏命令。

(3) 构造用户化菜单。一般通用软件包所提供的标准菜单,是按照菜单命令的功能分类编排的,它照顾了各种不同使用情况的要求,但对某一具体应用来说却不是最好的选择。因此有必要从所绘制图样需要的角度重新组织安排菜单。用户化菜单可以和宏命令结合使用,即用户化菜单中的命令是用户化宏命令。

(4) 参数化模型绘图。对于一些标准化、系列化的零件、部件,不同的产品主要差异在于各部分尺寸参数不同,对于这类零、部件,在计算机内建立参数化模型。则每次进行变参数设计时,只需向参数化模型输入参数,便可生成相应的图样。如冷冲模的模架已经标准化了,建立参数化模型后,只需输入模架标准号、凹模周界、封闭高度等少数几个参数,就可以在装配图中完成上、下底板、导柱、导套的绘制。参数化模型绘图是用户化二次开发中非常重要的工作。

## 第2章 极限与配合<sup>[6]</sup>

### 1 极限与配合的基本词汇

**孔** 主要指圆柱形内表面,也包括其他内表面(由二平行平面或切面形成的包容面),见图1·2-1。

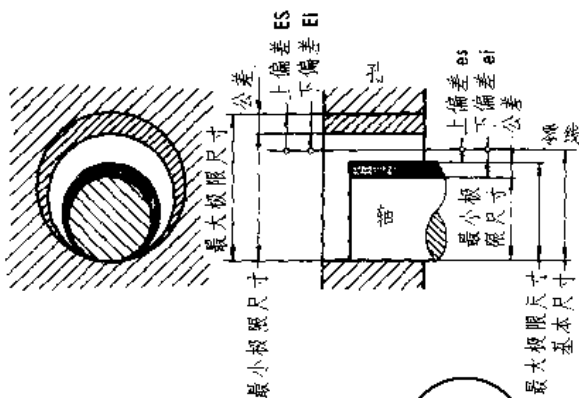


图 1·2-1 极限与配合的示意图

**轴** 主要指圆柱形外表面,也包括其他外表面(由二平行平面或切面形成的被包容面)。

**尺寸** 用特定单位表示长度的数值。在技术图样中和一定范围内,若已注明共同单位(如在一般机械图样中,以mm为通用单位)时,可只写数字,不写单位。

**基本尺寸** 设计给定的尺寸,用它和上下偏差可

算出极限尺寸。基本尺寸一般应按标准尺寸选取。

**实际尺寸** 通过测量所得的尺寸。由于存在测量误差,实际尺寸并非被测尺寸的真值。

**极限尺寸** 允许尺寸变化的两个界限值,它以基本尺寸为基数来确定。两个界限值中较大的一个称为最大极限尺寸;较小的一个称为最小极限尺寸。

**最大实体状态和最大实体极限(MML)** 孔或轴具有允许的材料量为最多时的状态,称为最大实体状态。在此状态下的极限尺寸,称为最大实体极限(最大实体尺寸),它是孔的最小极限尺寸和轴的最大极限尺寸的统称。

**最小实体状态和最小实体极限(LML)** 孔或轴具有允许的材料量为最少时的状态,称为最小实体状态。在此状态下的极限尺寸,称为最小实体极限(最小实体尺寸),它是孔的最大极限尺寸和轴的最小极限尺寸的统称。

**尺寸偏差(简称偏差)** 某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。最大极限尺寸减其基本尺寸所得代数差称为上偏差;最小极限尺寸减其基本尺寸所得代数差称为下偏差;上偏差与下偏差统称极限偏差。实际尺寸减其基本尺寸所得代数差称为实际偏差。偏差可为正、负或零值。国际上对孔、轴极限偏差的规定代号如下:



ES—孔的上偏差；EI—孔的下偏差；

es—轴的上偏差；ei—轴的下偏差。它们分别是法文 *ecart superieur* (上偏差) 与 *ecart interieur* (下偏差) 的缩写。

**尺寸公差** (简称公差) 允许尺寸的变动量。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值；也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。

**零线** 在极限与配合图解 (简称公差带图, 见图 1-2-2) 中, 确定偏差的一条基准直线, 即零偏差线。通常零线表示基本尺寸。

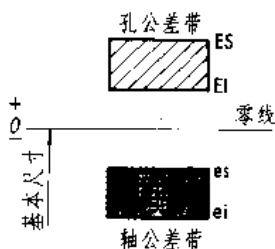


图 1-2-2 公差带图

**尺寸公差带** (简称公差带) 在公差带图中, 由代表上、下偏差的两条直线所限定的一个区域。

**标准公差** 标准中规定的, 用以确定公差带大小的任一公差。

**公差因子** 计算标准公差的基本单位, 它是基本尺寸的函数。

**公差等级** 确定尺寸精确程度的等级。属于同一公差等级的公差, 对所有基本尺寸, 虽数值不同, 但被认为具有同等的精确程度。

**基本偏差** 标准中规定的, 用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差, 一般为靠近零线的那个偏差。

**配合** 基本尺寸相同的, 互相结合的孔和轴公差带之间的关系 (图 1-2-3)。

**间隙或过盈** 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差。此差值为正时是间隙; 为负时是过盈 (图 1-2-4)。

**间隙配合** 具有间隙 (包括最小间隙等于零) 的配合。此时孔的公差带在轴的公差带之上 (图 1-2-5)。

**过盈配合** 具有过盈 (包括最小过盈等于零) 的配合。此时孔的公差带在轴的公差带之下 (图 1-2-6)。

**过渡配合** 可能具有间隙或过盈的配合。此时孔的公差带与轴的公差带相互交叠 (图 1-2-7)。

**最小间隙** 对间隙配合, 孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差 (图 1-2-5)。

间隙配合 过渡配合 过盈配合



图 1-2-3 配合分类

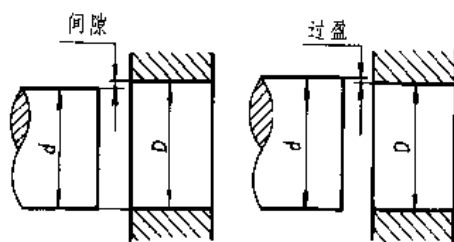


图 1-2-4 间隙或过盈

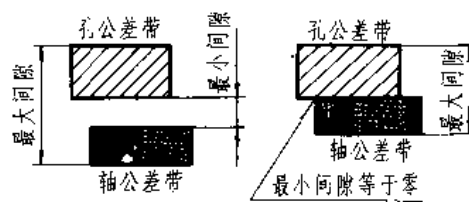


图 1-2-5 间隙配合

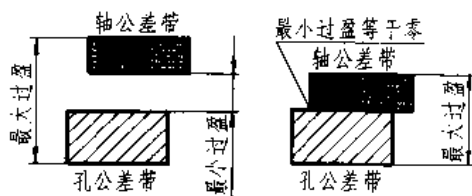


图 1-2-6 过盈配合

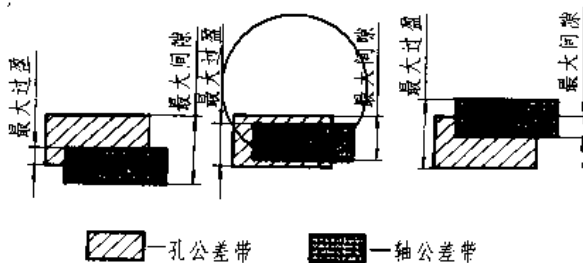


图 1-2-7 过渡配合

**最大间隙** 对间隙配合或过渡配合, 孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差 (图 1-2-5 和图 1-2-7)。





**最小过盈** 对过盈配合, 孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差 (图 1·2-6)。

**最大过盈** 对过盈配合或过渡配合, 孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差 (图 1·2-6 和图 1·2-7)。

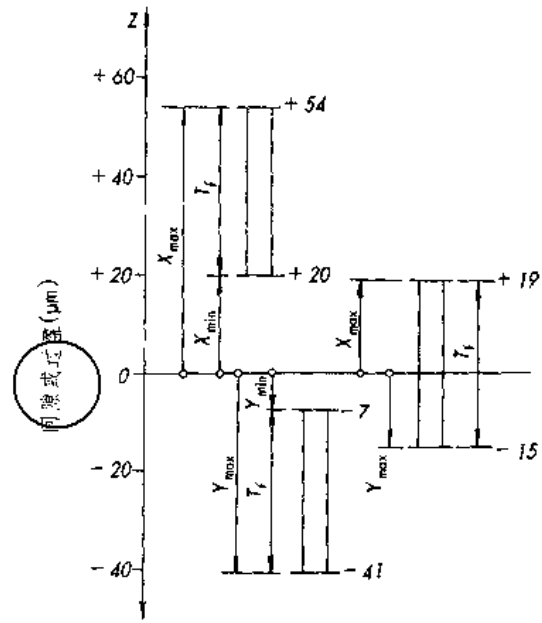
**配合公差** 允许间隙或过盈的变动量。配合公差对间隙配合, 等于最大间隙与最小间隙之代数差的绝对值; 对过盈配合, 等于最小过盈与最大过盈之代数差的绝对值; 对过渡配合, 等于最大间隙与最大过盈之代数差的绝对值。配合公差又等于相互配合的孔公差与轴公差之和。

实用中, 经常用到配合公差带的概念, 即在配合公差图解 (简称配合公差带图) 中, 由代表配合极限间隙或过盈的两条直线所限定的一个区域。对间隙配合, 配合公差带为最大间隙与最小间隙之间的区域; 对过盈配合, 配合公差带为最小过盈与最大过盈之间的区域; 对过渡配合, 配合公差带为最大间隙与最大过盈之间的区域。配合公差带同时给出了配合公差的数值和相对于“间隙或过盈”等于零的直线的位置 (图 1·2-8)。

**基孔制** 基本偏差为一定的孔的公差带, 与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度。基孔制的孔为基准孔。GB/T1800-96 规定的基准孔, 其下偏差为零 (图 1·2-9)。

**基轴制** 基本偏差为一定的轴的公差带, 与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度。基轴制的轴为基准轴。GB/T1800-96 规定的基准轴, 其上偏差为零 (见图 1·2-9)。

上偏差为零 (见图 1·2-9)。



- $Z_f$ —间隙或过盈
- $X_{max}$ —最大间隙
- $X_{min}$ —最小间隙
- $Y_{max}$ —最大过盈
- $Y_{min}$ —最小过盈
- $T_f$ —配合公差

图 1·2-8 配合公差带图解

**孔或轴的作用尺寸** 在配合面的全长上, 与实际孔内接的最大理想轴的尺寸, 称为孔的作用尺寸; 与实际轴外接的最小理想孔的尺寸, 称为轴的作用尺寸 (图 1·2-10)。

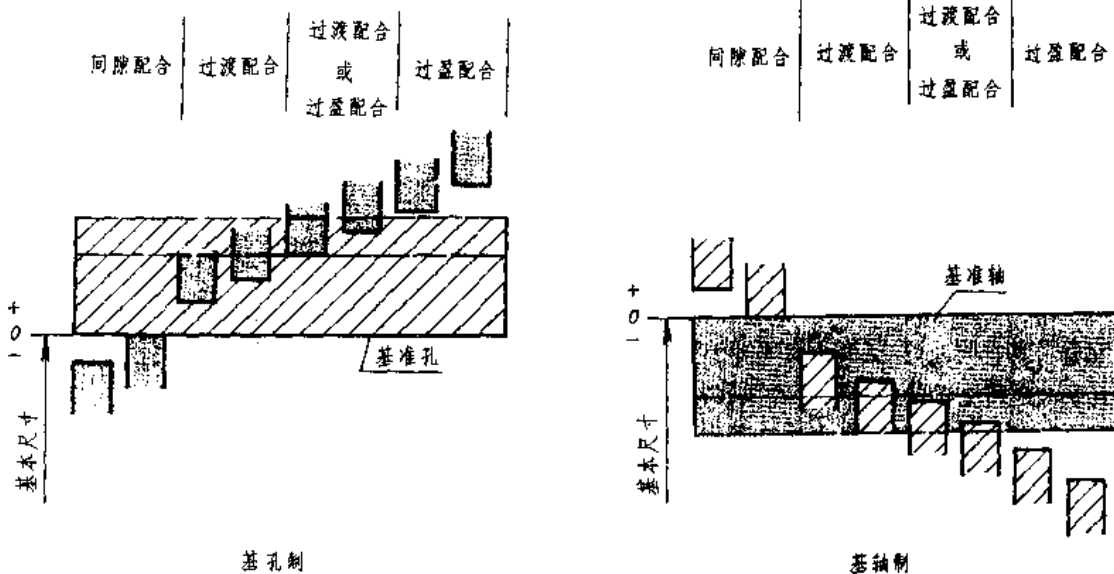


图 1·2-9 基孔制和基轴制



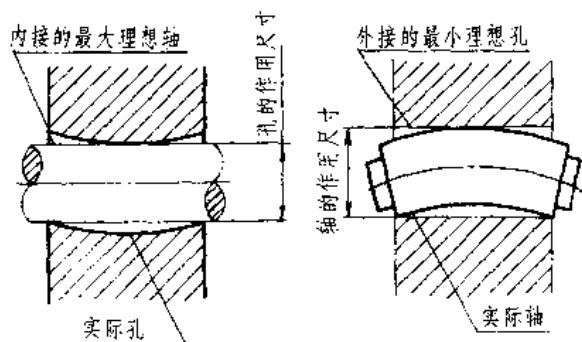


图 1-2-10 孔或轴的作用尺寸

**极限尺寸判断原则**（即泰勒原则） 孔或轴的作用尺寸不允许超过最大实体尺寸，即对于孔，其作用尺寸应不小于最小极限尺寸；对于轴，则应不大于最大极限尺寸。

任何位置上的实际尺寸不允许超过最小实体尺寸，即对于孔，其实际尺寸应不大于最大极限尺寸；对于轴，则应不小于最小极限尺寸。

按上述极限尺寸判断原则，形状误差可能的极端

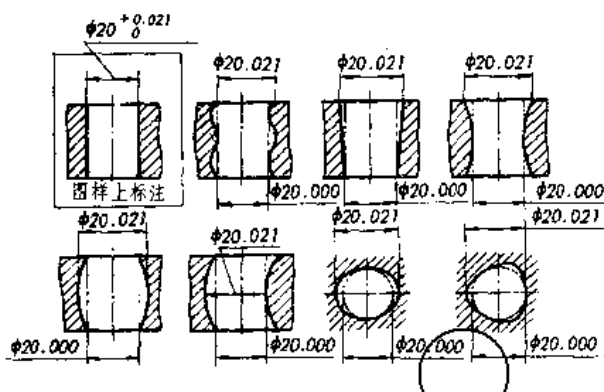


图 1-2-11 孔的极限尺寸允许的极端形状误差

情况见图 1-2-11 与图 1-2-12。

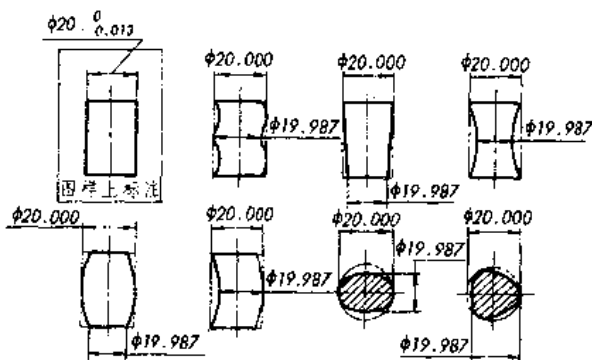


图 1-2-12 轴的极限尺寸允许的极端形状误差

## 2 极限与配合标准的基本内容及其应用

### 2.1 标准公差

GB/T1800 将标准公差分为 20 级，用 IT（国际公差 ISO Tolerance 的缩写，表示标准公差）与阿拉伯数字（表示公差等级代号）表示为：IT01, IT0, IT1, ……，IT18。从 IT01 到 IT18，等级依次降低，公差值依次增大。其中 IT17 与 IT18 是在 ISO286 的基础上延伸补充的。标准公差数值列入表 1-2-1，其计算公式列入表 1-2-2。

注意到，从 IT6 起，标准公差每增加五级，公差值增加至 10 倍。由于这种公差分布的规律性强，便于向高、低等级方向延伸，必要时，还可以插入中间等级（例如，取 IT6.5 级时，应按  $IT6.5 = IT6 \times q_{10} = 10 \times 1.25 = 12.5$ ，其中  $q_{10}$  为优先数系 R10 的公比）。

表 1-2-1 标准公差数值

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
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

⊙ 由于形状误差的存在，同一孔或轴上各处的实际尺寸可能不完全相同，即实际尺寸的“不定性”，它将影响孔、轴配合的实际状态。为了明确这个问题，W. 泰勒于 1965 年提出了“极限尺寸判断原则”，即“泰勒原则”，其要点是：按此原则形状误差应限制在尺寸公差带内。



(续)

基本尺寸 (mm)		公差等级																			
大于	至	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
		(μm)											(mm)								
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至IT18。

表 1-2-2 标准公差值的计算

基本尺寸	公差等级	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4								
≤500mm	公差值	0.3+0.008D		0.5+0.012D		0.8+0.020D		$(IT1) \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{1/4}$	$(IT1) \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{1/2}$	$(IT1) \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{3/4}$					
	公差等级	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
	公差值	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i	2500i
	公差因子 i	$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D$ D按尺寸分段首尾二尺寸的几何平均值计算。对≤3mm分段，按1与3mm的几何平均值 $\sqrt{1 \times 3}$ 计。D为mm，i与IT为μm													
>500mm 至 10000mm	公差等级	IT01	IT0	IT1	IT2		IT3		IT4		IT5				
	公差值	1I	$\sqrt{2} I$	2I	$(IT1) \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{1/4}$		$(IT1) \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{1/2}$		$(IT1) \left( \frac{IT5}{IT1} \right)^{3/4}$		7I				
	公差等级	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	
	公差值	10I	16I	25I	40I	64I	100I	160I	250I	400I	640I	1000I	1600I	2500I	
公差因子 I	$I = 0.004D + 2.1$ D按尺寸分段首尾二尺寸的几何平均值计算。D为mm，I与IT为μm														

机械工业出版社



2.2 基本偏差

小写的代表轴,各28个,见表1.2-3及图1.2-13。

轴的基本偏差数值见表1.2-4,孔的基本偏差数值见表1.2-5。

2.2.1 基本偏差的代号及数值

基本偏差的代号用拉丁字母表示,大写的代表孔,

2.2.2 轴的基本偏差的计算

表 1.2-3 基本偏差代号

孔或轴	基本偏差	说明
孔	下偏差	A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H
	上偏差或下偏差	$js = \pm \frac{IT}{2}$
	上偏差	J, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC
轴	上偏差	a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h
	上偏差或下偏差	$js = \pm \frac{IT}{2}$
	下偏差	j, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc

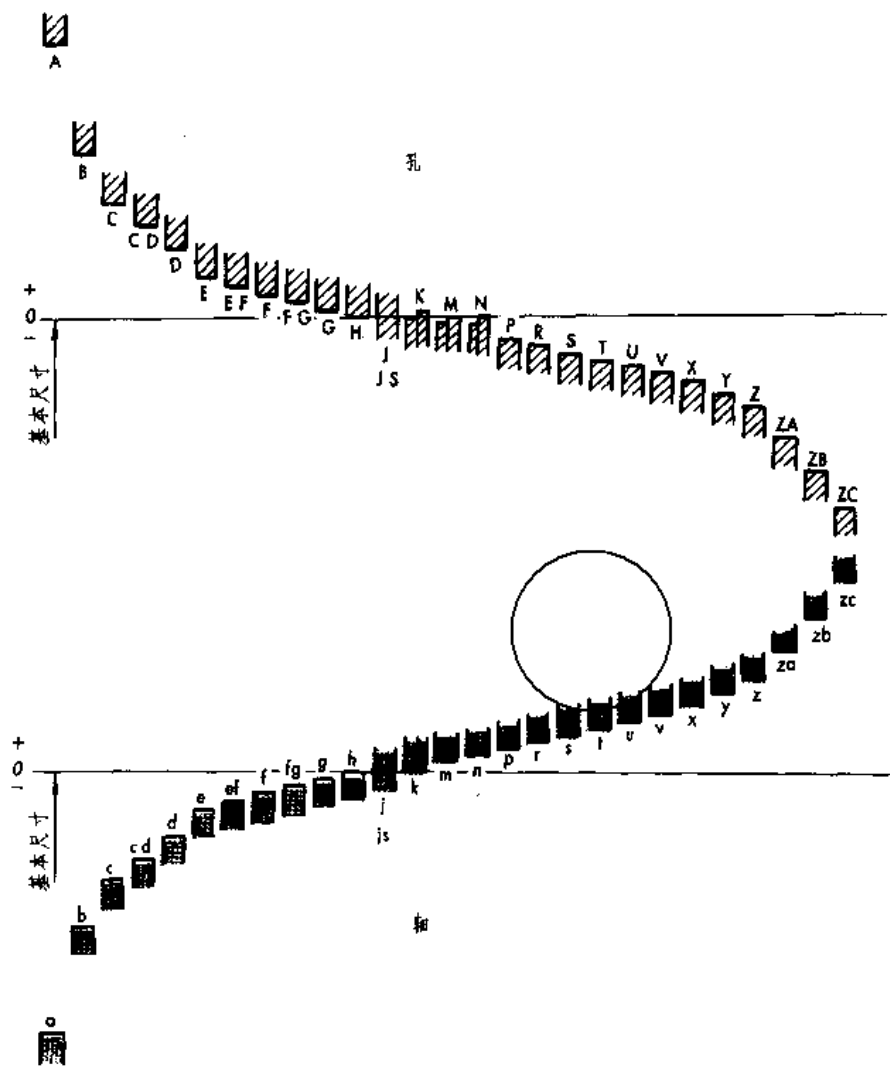


图 1.2-13 基本偏差系列



表 1-2-4 轴的基本

基本偏差		上 偏 差 (es)											js	j		
基本尺寸 (mm)		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h		公 差		
大于	至	所 有 等 级											5, 6 7 8			
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	偏差 = $\pm \frac{IT}{2}$	-2	-4	-6
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	—
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	—
10	14	-290	-150	-95	—	-50	-32	—	-16	—	-6	0		-3	-6	—
14	18													-3	-6	—
18	24	-300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7	0		-4	-8	—
24	30													-4	-8	—
30	40	-310	-170	-120	—	-80	-50	—	-25	—	-9	0		-5	-10	—
40	50													-5	-10	—
50	65	-340	-190	-140	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0		-7	-12	—
65	80													-7	-12	—
80	100	-380	-220	-170	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0		-9	-15	—
100	120													-9	-15	—
120	140	-460	-260	-200	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0		-11	-18	—
140	160													-11	-18	—
160	180	-580	-310	-230	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0		-13	-21	—
180	200													-13	-21	—
200	225	-740	-380	-260	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0		-13	-21	—
225	250													-13	-21	—
250	280	-920	-480	-300	—	-190	-110	—	-56	—	-17	0		-16	-26	—
280	315												-16	-26	—	
315	355	-1200	-600	-360	—	-210	-125	—	-62	—	-18	0	-18	-28	—	
355	400												-18	-28	—	
400	450	-1500	-760	-440	—	-230	-135	—	-68	—	-20	0	-20	-32	—	
450	500												-20	-32	—	
公差等级													6	至		
500	560												偏差 = $\pm \frac{IT}{2}$			
560	630															
630	710															
710	800															
800	900															
900	1000															
1000	1120															
1120	1250															
1250	1400															
1400	1600															
1600	1800															
1800	2000															
2000	2240															
2240	2500															
2500	2800															
2800	3150															

注: 1. 基本尺寸小于 1mm 时, 各级的 a 和 b 均不采用。

2. js 的数值: 对 IT7 至 IT11, 若 IT 的数值 ( $\mu\text{m}$ ) 为奇数, 则取  $js = \pm \frac{IT-1}{2}$ 。

此是公制制作请尊重原作者版权

制表并印

1



此星公司制作 请尊重原作者版权

偏差数值

( $\mu\text{m}$ )

		下 偏 差 (ei)																	
		k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc			
等 级																			
4 至 7	$\leq 3$ $> 7$	所 有 等 级																	
0	0	+2	+4	+6	+10	+14	—	+18	—	+20	—	+26	+32	+40	+60				
+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	—	+23	—	+28	—	+35	+42	+50	+80				
+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	—	+28	—	+34	—	+42	+52	+67	+97				
+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	—	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130				
									+39	+45	—	+60	+77	+108	+150				
+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188				
									+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218		
+2	0	+9	+17	+26	+34	-43	—	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274			
									+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325		
+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405				
									+43	-59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
+3	0	+13	+23	+37	+51	-71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585				
									+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
3	0	+15	+27	+43	+63	-92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800				
									+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
									+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	-350	+425	+520	+670	+880	+1150				
									+80	+130	+180	+258	+310	-385	+470	+575	+740	+960	+1250
									+84	+140	+196	+284	+340	-425	+520	+640	+820	+1050	+1350
+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	-475	+580	+710	+920	+1200	+1550				
									+98	+170	+240	+350	+425	-525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	-590	+730	+900	+1150	+1500	+1900				
									+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400				
									+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600
18																			
0	+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600												
								+155	+310	+450	+660								
0	+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740												
								+185	+380	+560	+840								
0	+34	+56	+100	+210	+430	+620	+940												
								+220	+470	+680	+1050								
0	+40	+66	+120	+250	+520	+780	+1150												
								+260	+580	+840	+1300								
0	+48	+78	+140	+300	+640	+960	+1450												
								+330	+720	+1050	+1600								
0	-58	+92	+170	+370	+820	+1200	+1850												
								+400	+920	+1350	+2000								
0	-68	+110	+195	+440	+1000	+1500	+2300												
								+460	+1100	+1650	+2500								
0	+76	+135	+240	+550	+1250	+1900	+2900												
								+580	+1400	+2100	+3200								



表 1-2-5 孔的基本

基本偏差	下 偏 差 (EI)										Js	上 偏								
	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G		H	J	K	M	N				
基本尺寸 (mm)	公 差																			
大于 至	所 有 等 级										6	7	8	≤8	>8	≤8	>8	≤8	>8	
-- 3	+270	+140	+66	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4
3 6	+270	+140	+70	+45	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0	+5	+6	+10	-1+Δ	-	-4+Δ	-4	-8+Δ	0
6 10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0	+5	+8	+12	-1+Δ	-	-5+Δ	-6	-10+Δ	0
10 14	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6	0	+6	+10	+15	-1+Δ	-	-7+Δ	-7	-12+Δ	0
14 18																				
18 24	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7	0	+8	+12	+20	-2+Δ	-	-8+Δ	-8	-15+Δ	0
24 30																				
30 40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0	+10	+14	+24	-2+Δ	-	-9+Δ	-9	-17+Δ	0
40 50																				
50 65	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0	+13	+18	+28	-2+Δ	-	-11+Δ	-11	-20+Δ	0
65 80																				
80 100	+380	+220	+170	-	+120	+72	-	+36	-	+12	0	+16	+22	+34	-3+Δ	-	-13+Δ	-13	-23+Δ	0
100 120																				
120 140	+460	+260	+200	-	+45	+85	-	+43	-	+14	0	+18	+26	+41	-3+Δ	-	-15+Δ	-15	-27+Δ	0
140 160																				
160 180	+580	+310	+230	-	+170	+100	-	+50	-	+15	0	+22	+30	+47	-4+Δ	-	-17+Δ	-17	-31+Δ	0
180 200																				
200 225	+820	+420	+280	-	+190	110	-	+56	-	+17	0	+25	+36	+50	-4+Δ	-	-20+Δ	-20	-34+Δ	0
225 250																				
250 280	+1050	+540	+330	-	+210	+125	-	+62	-	+18	0	+29	+39	+60	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	-37+Δ	0
280 315																				
315 355	+1350	+680	+400	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0	+33	+43	+66	-5+Δ	-	-23+Δ	-23	-40+Δ	0
355 400																				
400 450	+1650	+840	+480	-	+260	+145	-	+76	-	+22	0	+22	+30	+47	-4+Δ	-	-17+Δ	-17	-31+Δ	0
450 500																				
公差等级	6 至																			
500 560					+260	+145		+76		+22	0				0		-26		-44	
560 630																				
630 710					+290	+160		+80		+24	0				0		-30		-50	
710 800																				
800 900					+320	+170		+86		+26	0				0		-34		-56	
900 1000																				
1000 1120					+350	+195		+98		+28	0				0		-40		-66	
1120 1250																				
1250 1400					+390	+220		+110		+30	0				0		-48		-78	
1400 1600																				
1600 1800					+430	+240		+120		+32	0				0		-58		-92	
1800 2000																				
2000 2240					+480	+260		+130		+34	0				0		-58		-110	
2240 2500																				
2500 2800					+520	+290		+145		+38	0				0		-76		-135	
2800 3150																				

注:1. 基本尺寸小于1mm时,各级的A和B及大于8级的N均不采用。  
 2. Js的数值,对IT7至IT11,若IT的数值(μm)为奇数,则取Js=± $\frac{IT-1}{2}$ 。  
 3. 特殊情况,当基本尺寸大于250至315mm时,M6的ES等于-9(不等于-11)。  
 4. 对小于或等于IT8的K、M、N和小于或等于IT7的P至ZC,所需Δ值从表内右侧栏选取。例如:大于6至10mm的P6。

此星公司制作 请尊重原作者版权



偏差数值

( $\mu\text{m}$ )

差 (ES)													$\Delta$					
P至ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC						
等级																		
$\leq 7$	$> 7$												3	4	5	6	7	8
在大于7级的相应数值上增加一个 $\Delta$ 值	-6	-10	-14	-	-18	-	-20	-	-26	-32	-40	-60	0					
	-12	-15	-19	-	-23	-	-28	-	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6
	-15	-19	-23	-	-28	-	-34	-	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7
	-18	-23	-28	-	-33	-	-40	-	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
						-39	-45	-	-60	-77	-108	-150						
	-22	-28	-35	-	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1.5	2	3	4	8	12
				-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218						
	-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1.5	3	4	5	9	14
				-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325						
	-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16
				-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274						
	-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19
				-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400						
	-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23
				-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535						
	-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26
				-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740						
	-56	-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350	4	4	7	9	20	29
				-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920						
	-62	-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700	4	5	7	11	21	32
-108				-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500						
-68	-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32	
			-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450							-1850
	-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	5	5	7	13	23	34	
18																		
-78	-150	-280	-400	-600														
	-155	-310	-450	-660														
-88	-175	-340	-500	-740														
	-185	-380	-560	-840														
-100	-210	-430	-620	-940														
	-220	-470	-680	-1050														
-120	-250	-520	-780	-1150														
	-260	-580	-840	-1300														
-140	-300	-640	-960	-1450														
	-330	-720	-1050	-1600														
-170	-370	-820	-1200	-1850														
	-400	-920	-1350	-2000														
-195	-440	-1000	-1500	-2300														
	-460	-1100	-1650	-2500														
-240	-550	-1250	-1900	-2900														
	-580	-1400	-2100	-3200														

$\Delta=3$ , 所以  $ES=-15+3=-12\mu\text{m}$ 。





轴的基本偏差的计算公式见表 1-2-6。

表 1-2-6 轴的基本偏差计算公式

基本偏差	计算公式	应用范围	基本偏差	计算公式	应用范围		
上	$a = -(265 + 1.3D)$	$1 \leq D \leq 120$	下	j	经验数据	$D \leq 500, IT5 \text{ 至 } IT8$	
	$b = -3.5D$	$120 < D \leq 500$		k	$= 0$	$D \leq 500, \leq IT3 \text{ 及 } \geq IT8$ $500 < D \leq 3150$	
	$c = -(140 + 0.85D)$	$1 \leq D \leq 160$		m	$= +0.6 \sqrt[3]{D}$	$D \leq 500, IT4 \text{ 至 } IT7$	
	$d = -1.8D$	$160 < D \leq 500$		n	$= +(IT7 - IT6)$	$D \leq 500$	
偏	$e = -52D^{0.2}$	$D \leq 40$	偏	o	$= -0.024D + 12.6$	$500 < D < 3150$	
	$f = -(95 + 0.8D)$	$40 < D \leq 500$			p	$= +5D^{0.34}$	$D \leq 500$
	cd	$= -\sqrt{c \cdot d}$		$D \leq 10$	r	$= +0.04D + 21$	$500 < D \leq 3150$
	d	$= -16D^{0.43}$		$D \leq 10000$		s	$IT7 - (0 \sim 5)$
差	e	$= -11D^{0.41}$	差	s	$= +0.072D + 37.8$	$500 < D \leq 10000$	
	ef	$= -\sqrt{e \cdot f}$			$D \leq 10$	t	$= +\sqrt{p \cdot s}$
	f	$= -5.5D^{0.41}$		$D \leq 10000$	v	$= +IT8 + (1 \sim 4)$	$D \leq 50$
	fg	$= -\sqrt{f \cdot g}$		$D \leq 10$		u	$= +IT7 + 0.4D$
es	g	$= -2.5D^{0.34}$	$D \leq 3150$	x	$= +IT7 - 0.63D$	$24 < D \leq 10000$	
	h	$= 0$	$D \leq 10000$		y	$= +IT7 + D$	$D \leq 10000$
	js	es = +IT/2 或 ei = -IT/2	$D \leq 10000$	ei	v	$= +IT7 + 1.25D$	$14 < D \leq 500$
z					$= -IT7 + 1.6D$	$D \leq 500$	
za					$= +IT7 + 2D$	$18 < D \leq 500$	
				zb	$= -IT7 + 2.5D$	$D \leq 500$	
				zc	$= +IT8 + 3.15D$		
					$= +IT9 + 4D$		
					$= +IT10 + 5D$		

注：公式中  $D$  按尺寸分段首尾二尺寸的几何平均值计，为 mm，计算所得偏差为  $\mu\text{m}$ ， $D > 500\text{mm}$  时，公差等级为 IT6 至 IT18。

$a \sim h$  用于间隙配合，当与基准孔配合时，这些轴的基本偏差的绝对值正好等于最小间隙的绝对值。基本偏差  $a, b, c$  用于大间隙或热动配合，考虑发热的影响，其绝对值采用与直径成正比的关系（对  $c$ ，直径  $\leq 40\text{mm}$  时除外）。基本偏差  $d, e, f$  主要用于旋转运动，为了保证良好的液体摩擦，从理论上讲，最小间隙应与直径的平方根有关，但考虑到表面粗糙度的影响，将间隙量适当减少。 $g$  主要用于滑动或半液体摩擦及要求定心的配合，间隙量要小，故直径的指数减小。 $cd, ef, fg$  的绝对值，分别按  $c$  与  $d, e$  与  $f, f$  与  $g$  的绝对值的几何平均值确定。

$j \sim n$  主要用于过渡配合。对于  $j$ ，仅保留  $j5 \sim j8$ ，而推荐供一般用途的公差带仅  $j5, j6$  与  $j7$  三个，其极限偏差由经验数据确定。 $j5$  与  $j6$  主要用于滚动轴承。对

于  $k$ ，规定  $k4 \sim k7$  的基本偏差  $ei = +0.6 \sqrt[3]{D}$ ，其值甚小，仅  $1 \sim 5\mu\text{m}$ ，对其余等级，均取  $ei = 0$ 。对于  $m$ ，按  $m6$  的上偏差与  $H7$  的上偏差相当来确定，所以基本偏差  $ei = +(IT7 - IT6) \approx +2.8 \sqrt[3]{D}$ 。 $m5$  与  $m6$  用于滚动轴承。对于  $n$ ，按与  $H6$  配合为过盈配合，而与  $H7$  配合为过渡配合来考虑，故  $n$  的数值应大于  $IT6$  而小于  $IT7$ ，取  $ei = +5D^{0.34}$ 。总之，对于这些用于过渡配合的轴的基本偏差，基本上是由经验与统计方法确定，而采用的计算式则是与直径的立方根成比例的关系式。

$p \sim zc$  按过盈配合来规定，并从最小过盈考虑，且大多以  $H7$  为基础。 $p$  比  $IT7$  大几个微米，故  $p$  轴与  $H7$  孔配合时，有几个微米的最小过盈，这是最早使用的过盈配合之一， $r$  按  $p$  与  $s$  的几何平均值确定。对于  $s$ ，当  $D \leq 50\text{mm}$  时，要求与  $H8$  配合时有几个微米的最小过



盈,故  $ei = +IT8 + (1 \sim 4)$ 。从 s(当  $D > 50\text{mm}$  时)起,包括 t, u, v, x, y, z 等,当与 H7 配合时,最小过盈依次为  $0.4D, 0.63D, D, 1.25D, 1.6D, 2D, 2.5D$ 。而 za, zb, zc 分别与 H8, H9, H10 配合时,最小过盈依次为  $3.15D, 4D, 5D$ 。最小过盈的系列符合优先数系 R10, 规律性较好,便于选用。

2.2.3 孔的基本偏差的计算

孔的基本偏差是从轴的基本偏差换算得来的。换

算的前提是:在孔、轴为同一公差等级或孔比轴低一级的配合条件下,当基轴制的孔的基本偏差代号与基孔制的轴的基本偏差代号相当(例如孔的 F 对应轴的 f)时,使基轴制形成的配合(例如 F6/h5)与基孔制形成的配合(例如 H6/f5)相同。

除孔的基本偏差 J 与轴的基本偏差 j 均为经验数据,无直接换算关系,Js 与 js 为对称偏差外,其他孔的基本偏差的换算分别按以下的两种规则(图 1.2-14)。

1. 通用规则 同一字母表示的孔、轴基本偏差

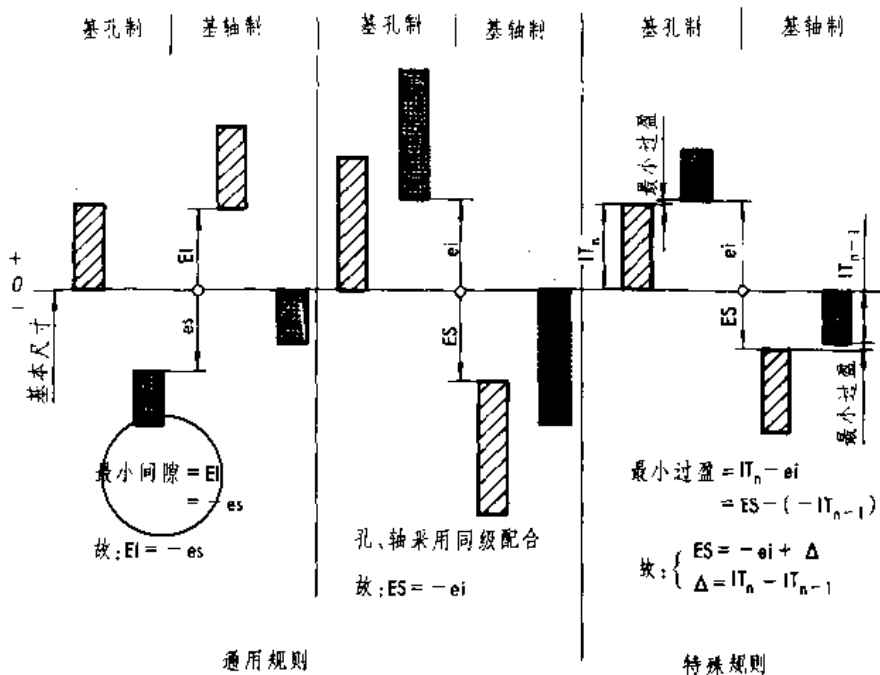


图 1.2-14 孔的基本偏差的计算规则

(例如 A 和 a)的绝对值相等,而符号相反,即

$$EI = -es \text{ 或 } ES = -ei$$

通用规则适用于以下情况:

a. A 到 H 孔的基本偏差 A 到 H 为下偏差 EI, 轴的基本偏差 a 到 h 为上偏差 es, 当分别按基轴制或基孔制形成配合时,其最小间隙的绝对值等于 |EI| 或 |es|。故不论孔、轴公差等级是否相同,均按通用规则  $EI = -es$ 。

b. 孔、轴公差等级相同时的 K 到 ZC 孔的基本偏差 K 到 ZC 或轴的基本偏差 k 到 zc 用于过渡配合或过盈配合时,最大过盈与基本偏差的关系如下:

对基孔制: |最大过盈| = |ei| + (轴公差);

对基轴制: |最大过盈| = |ES| + (孔公差)。

当孔、轴公差等级相同时,应按通用规则  $ES = -ei$ 。

对基本尺寸  $\leq 500\text{mm}$  以及标准公差值  $\geq IT9$  的 K, M, N 和标准公差值  $\geq IT8$  的 P 到 ZC, 一般孔、轴采

用同级配合,故按通用规则。但标准公差值  $\geq IT9$ , 基本尺寸  $> 3\text{mm}$  的 N 例外,其基本偏差  $ES = 0$ 。

c. 对基本尺寸  $> 500\text{mm}$  或  $< 3\text{mm}$  时 标准规定孔、轴公差等级按同级考虑配合,故在此尺寸范围内的所有孔的基本偏差均按通用规则换算。

2. 特殊规则 孔、轴基本偏差 ES 与 ei 的符号相反,而绝对值相差一个  $\Delta$  值,  $\Delta$  为孔的公差等级比轴的公差等级低一级时,两者标准公差的差值(图 1.2-14),即

$$ES = -ei + \Delta$$

$$\Delta = IT_n - IT_{n-1}$$

式中  $IT_n$  —— 孔的标准公差;

$IT_{n-1}$  —— 比孔高一级的轴的标准公差。

特殊规则适用于基本尺寸至  $500\text{mm}$ , 标准公差小于或等于  $IT8$  的 J, K, M, N 和小于或等于  $IT7$  的 P 至 ZC。由于此时推荐采用孔的公差等级比轴低一级的配



合,为满足孔的基本偏差的换算前提,最大过盈量应不变,即

$$|ES| + IT_s = |ei| + IT_{s-1}$$

故ES与ei的绝对值相差一个Δ。

### 2.3 孔、轴公差带与配合

应用国标中所有可能的公差带显然是不经济的,同时也应避免那种与实际使用要求显然不符合的公差

带,因此对公差带的选用应根据生产实际的需要及发展加以限制。

#### 2.3.1 常用尺寸段孔、轴的公差带及配合

在GB/T1800中,对基本尺寸≤500mm的常用尺寸段,分别规定了优先、常用和一般用途公差带,见图1.2-15和图1.2-16(圆圈中的公差带为优先的,方框中的公差带为常用的)。仅当上述公差带不能满足要

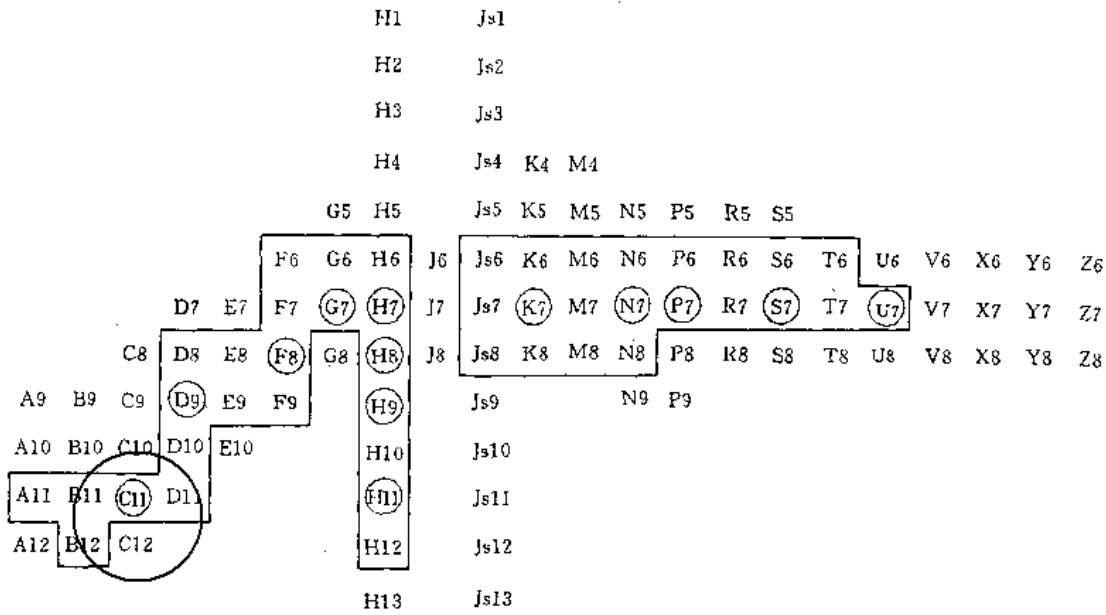


图1.2-15 尺寸至500mm优先、常用和一般用途的孔公差带

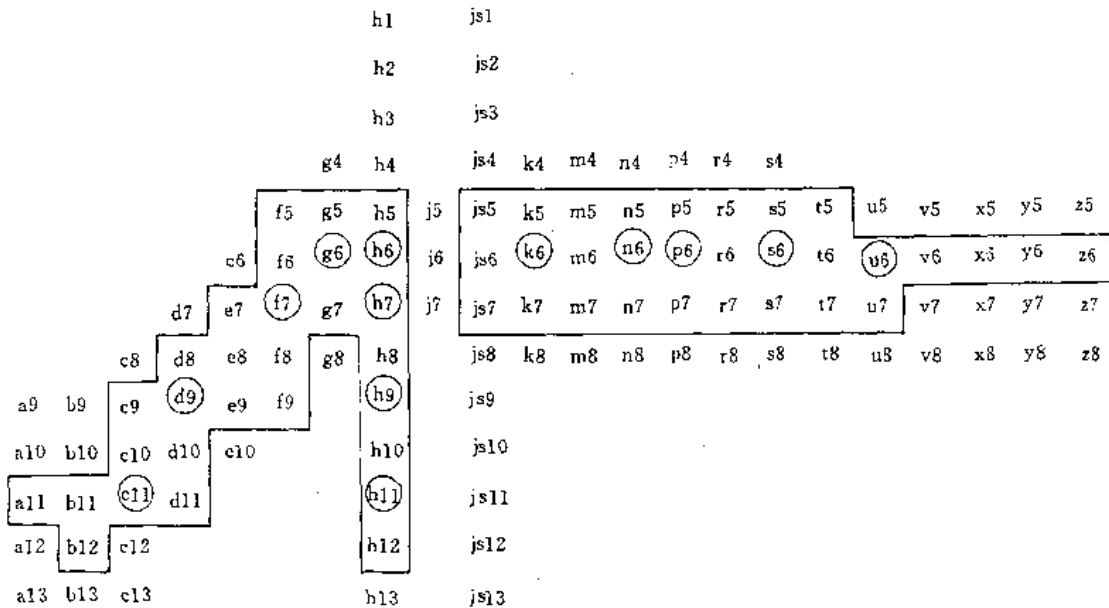


图1.2-16 尺寸至500mm优先、常用和一般用途的轴公差带



求时,才允许选用标准中其他可能的公差带,甚至按给定的公式用插入或延伸的方法计算新的标准公差与基本偏差,以组成所需公差带。

在上述规定的孔、轴公差带的基础上,还规定了孔、轴公差带的组合。对基孔制和基轴制分别规定了优先及常用配合,见表1-2-7和表1-2-8。

表 1-2-7 基孔制优先、常用配合

基准孔	轴																				
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	间隙配合								过渡配合				过盈配合								
H6						$\frac{H6}{f5}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{js5}$	$\frac{H6}{k5}$	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$	$\frac{H6}{t5}$					
H7						$\frac{H7}{f6}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{js6}$	$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{m6}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{u6}$	$\frac{H7}{v6}$	$\frac{H7}{x6}$	$\frac{H7}{y6}$	$\frac{H7}{z6}$
H8					$\frac{H8}{e7}$	$\frac{H8}{f7}$	$\frac{H8}{g7}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{js7}$	$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	$\frac{H8}{p7}$	$\frac{H8}{r7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{t7}$	$\frac{H8}{u7}$				
				$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$		$\frac{H8}{h8}$													
H9			$\frac{H9}{c9}$	$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$		$\frac{H9}{h9}$													
H10			$\frac{H10}{c10}$	$\frac{H10}{d10}$				$\frac{H10}{h10}$													
H11	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$				$\frac{H11}{h11}$													
H12		$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$													

注: 1.  $\frac{H6}{n5}$ 、 $\frac{H7}{p6}$ 在基本尺寸小于或等于3mm和 $\frac{H8}{r7}$ 在小于或等于100mm时,为过渡配合。

2. 标注 $\blacktriangledown$ 的配合为优先配合。

表 1-2-8 基轴制优先、常用配合

基准轴	孔																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	Js	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合								过渡配合				过盈配合								
h5						$\frac{F6}{h5}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{js6}{h5}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{M6}{h5}$	$\frac{N6}{h5}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{R6}{h5}$	$\frac{S6}{h5}$	$\frac{T6}{h5}$					
h6						$\frac{F7}{h6}$	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{js7}{h6}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{M7}{h6}$	$\frac{N7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{R7}{h6}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{T7}{h6}$	$\frac{U7}{h6}$				
h7					$\frac{E8}{h7}$	$\frac{F8}{h7}$		$\frac{H8}{h7}$	$\frac{js8}{h7}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{M8}{h7}$	$\frac{N8}{h7}$									
h8				$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$		$\frac{H8}{h8}$													
h9				$\frac{D9}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$		$\frac{H9}{h9}$													
h10				$\frac{D10}{h10}$				$\frac{H10}{h10}$													
h11	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$				$\frac{H11}{h11}$													
h12		$\frac{B12}{h12}$						$\frac{H12}{h12}$													

注: 标注 $\blacktriangledown$ 的配合为优先配合。



2.3.2 大尺寸孔、轴的公差带与配合

GB/T1800 规定了基本尺寸大于 500~3150mm 范围内的常用孔、轴公差带,见图 1.2-17 和图 1.2-18。

标准规定在此尺寸范围内一般采用基孔制同级配合。此外,在标准附录中还列出了基本尺寸大于 3150~10000mm 范围内的标准公差与基本偏差数值(表 1.2-9 和表 1.2-10),供参考使用。

			G6	H5	Js6	K6	M6	N6
		F7	G7	H7	Js7	K7	M7	N7
D8	f8	F8		H8	Js8			
D9	E9	F9		H9	Js9			
D10				H10	Js10			
D11				H11	Js11			
				H12	Js12			

图 1.2-17 尺寸>500~3150mm 常用的孔公差带

			g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6
		f7	g7	h7	js7	k7	m7	n7	p7	r7	s7	t7	u7
d8	e8	f8		h8	js8								
d9	e9	f9		h9	js9								
d10				b10	js10								
d11				h11	js11								
				h12	js12								

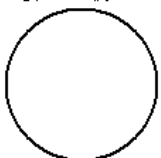


图 1.2-18 尺寸>500~3150mm 常用的轴公差带

表 1.2-9 尺寸>3150~10000mm 的标准公差 (μm)

基本尺寸 (mm)		公差等级									
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
大于	至	(μm)									
3150	4000	16	23	33	45	60	84	115	165	260	410
4000	5000	20	28	40	55	74	100	140	200	320	500
5000	6300	25	35	49	67	92	125	170	250	400	620
6300	8000	31	43	62	84	115	155	215	310	490	760
8000	10000	38	53	76	105	140	195	270	380	600	940

基本尺寸 (mm)		公差等级										
		IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	
大于	至	(μm)					(mm)					
3150	4000	680	1050	1650	2.60	4.10	6.6	10.5	16.5	26.0	41.0	
4000	5000	800	1300	2000	3.20	5.00	8.0	13.0	20.0	32.0	50.0	
5000	6300	980	1550	2500	4.00	6.20	9.8	15.5	25.0	40.0	62.0	
6300	8000	1200	1950	3100	4.90	7.60	12.0	19.5	31.0	49.0	76.0	
8000	10000	1500	2400	3800	6.00	9.40	15.0	24.0	38.0	60.0	94.0	



表 1-2-10 尺寸&gt;3150~10000mm 孔、轴的基本偏差 (μm)

轴的基本偏差		上 偏 差 (es)						下 偏 差 (ei)							
		d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	τ	u
公差等级		6						18							
基本尺寸(mm)		符 号													
大于	至	-	--	-	-				+	+	+	+	+	+	+
3150	3550	580	320	160		0	偏差 $\pm \frac{IT}{2}$				290	680	1600	2400	3600
3550	4000											720	1750	2600	4000
4000	4500	640	350	175		0					360	840	2000	3000	4600
4500	5000											900	2200	3300	5000
5000	5600	720	380	190		0					440	1050	2500	3700	5600
5600	6300											1130	2800	4100	6400
6300	7100	800	420	210		0					540	1330	3200	4700	7200
7100	8000											1430	3500	5200	8000
8000	9000	880	460	230		0					680	1650	4000	6000	9000
9000	10000											1750	4400	6600	10000
大于	至	+	+	+	-			-	-	-	-	-	-	-	-
基本尺寸(mm)		符 号													
公差等级		6						18							
孔的基本偏差		D	E	F	G	H	Js	K	M	N	P	R	S	T	U
		下偏差(EI)						上偏差(ES)							

应指出,对于大尺寸零件,在其使用要求、加工、测量、装配、维修及生产方式上,都有一些与中、小尺寸零件不同的特点。而对大尺寸难以组织大规模的试验与统计分析,因此目前对大尺寸的公差与配合的规律性认识仍不充分,有关大尺寸的公差与配合标准有待生产实践进一步验证后加以完善。

### 2.3.3 小尺寸孔、轴的公差带与配合

GB/T1800 规定了基本尺寸 $\leq 18\text{mm}$ 的孔、轴公差带,见图 1-2-19 和图 1-2-20。这些公差带主要用于仪器仪表和钟表工业。它包括图 1-2-15 和图 1-2-16 所列尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 一般用途孔、轴公差带,并增加了只用于小尺寸的由基本偏差 CD、EF、FG、cd、ef、fg 和用于大过盈配合的由基本偏差 ZA、ZB、ZC、za、zb、zc 与相应公差等级组成的公差带。另外,标准规定的这些公差带的公差等级比较高,范围也比较宽。

应指出,“小尺寸”是一种简化的习惯用语,并无统一明确的规定。这里提的小尺寸是相对概念,主要着眼于公差与配合上所反映的特点。此外,由于对小尺寸配

合的应用还掌握不够,标准中未推荐配合。小尺寸公差与配合规律及选用等,都是需要进一步研究的问题。

### 2.3.4 线性尺寸的未注公差

图样上表达的所有要素都有一定的公差要求。但是对功能上无特殊要求的要素可给出一般公差,即在车间一般加工条件下可保证的公差,采用一般公差的尺寸。该尺寸后不注出极限偏差,而是在图样上、技术文件或标准中作出总的说明。

GB/T1804 92 将线性尺寸的一般公差规定了四个公差等级,相应线性尺寸的极限偏差值见表 1-2-11;倒圆半径和倒角高度尺寸的极限偏差数值见表 1-2-12。该标准适用于金属切削加工和一般的冲压加工尺寸,非金属材料和其他工艺方法加工的尺寸可参照采用。当功能允许的公差等于或大于一般公差时,均采用一般公差,主要用于较低精度的非配合尺寸。只有当要素功能允许的公差比一般公差大,但比一般公差更为经济时,其相应的极限偏差要注出。不同类型工艺加工的两个表面间线性尺寸的一般公差,取标准规定的





表 1-2-11 线性尺寸的极限偏差

(mm)

公差等级	尺 寸 分 段							
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30~120	>120~400	>400~1000	>1000~2000	>2000~4000
f (精密级)	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	
m (中等级)	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
c (粗糙级)	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
v (最粗级)		±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

两个一般公差数值的大者。

一般公差在图样上、技术文件或标准中可表示为：GB1804-m。此例表示选用中等级一般公差。

表 1-2-12 倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差

(mm)

公差等级	尺 寸 分 段			
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30
f (精密级)				
m (中等级)	±0.2	±0.5	±1	±2
c (粗糙级)				
v (最粗级)	±0.4	+1	+2	±4

注：倒圆半径与倒角高度的含义参见 GB6403.4《零件倒圆与倒角》。

## 2.4 极限与配合的选择

公差与配合的选用原则可概括为：保证产品性能优良、制造经济可行，即产品的使用价值与制造成本的综合经济效果最好。

### 2.4.1 基准制的选择

基准制是规定配合系列的前提。选择基准制应从结构、工艺及经济性等方面综合考虑。

(1) 一般情况下，优先采用基孔制。作这样的约定或者说规定，便于从宏观上减少设计与制造的无序化。

(2) 从工艺上考虑，对一般中等尺寸高精度的孔，当用定值刀量具加工检验时，为了减少备用的定值刀量具的品种规格，宜采用基孔制；对于尺寸较大的孔及低精度的孔，一般不采用定值刀量具加工检验，从工艺上讲基孔制或基轴制都一样，但为了统一起见和考虑习惯，一般也宜采用基孔制；由于小尺寸孔用定值刀量具制造方便，比较便宜，故基轴制应用较多，大体上基孔制与基轴制各占一半；若采用冷拉标准轴，由于轴的尺寸、形状很准确、表面光洁，外圆表面不再加工即可

使用，故此时宜采用基轴制。

(3) 在与标准件配合时，由于标准件通常由专门工厂大量生产，其尺寸已标准化，故基准制的选择应依标准件而定。

(4) 涉及多件配合时要依具体情况而定。如同一基本尺寸轴（孔）的表面，有多孔（轴）与之配合，而要求不同配合性质，则有三种情况：采用基轴（孔）制，轴（孔）为光轴（孔）；采用基孔（轴）制，轴（孔）为阶梯状；若一孔（轴）为标准件，必须采用基孔（轴）制，但又不允许做成阶梯轴（孔），则其余部位采用非基准孔公差带与非基准轴公差带组成配合。

### 2.4.2 公差等级的选择

选择公差等级的实质，就是要具体解决机械零件使用要求与制造工艺及成本之间的矛盾。在选择公差等级时，可联系工艺、配合、有关零、部件或机构的特点，并参考实例来考虑。

(1) 联系工艺：若按使用要求确定配合公差  $T_f$  后，则孔公差  $T_H$  与轴公差  $T_S$  必须满足  $T_f = T_H + T_S$ ，至于  $T_H$  与  $T_S$  的分配则可按工艺等价原则来考虑。

对  $\leq 500\text{mm}$  的基本尺寸，当公差等级等于或高于 IT8 时，推荐孔比轴低一级；当公差等级为 IT8 时，也可采用同级孔、轴配合；当公差等级等于或低于 IT9 时，一般采用同级孔、轴配合。

对  $> 500\text{mm}$  的基本尺寸，一般采用同级孔、轴配合。

对  $\leq 3\text{mm}$  的基本尺寸，由于工艺的多样性，可取  $T_H = T_S$ ，或  $T_H > T_S$ ，或  $T_H < T_S$ ，这三种情况在实际生产中都有应用，甚至  $T_H < T_S$  的情况反而较多，有孔比轴高 1 级或 2 级乃至 3 级的，例如钟表工业中就有这种情况。

(2) 联系配合：有配合要求的孔、轴公差等级的选择将影响间隙或过盈的变动。对于过渡配合或过盈配合，一般不允许其间隙或过盈的变动太大，因此应选较





高的公差等级（例如  $T_H \leq IT8$ ,  $T_S \leq IT7$ ）。而对间隙配合，可以有间隙变动较大的情况，故此时公差等级较低（例如  $T_H = T_S \leq IT12$ ）。一般间隙小，公差等级较高；间隙大，公差等级较低；但象 H10/g10 或 H6/a5 这样的选择显然是不合理的。

(3) 联系有关零、部件或机构：例如，齿轮孔与轴配合的公差等级与齿轮精度等级有关（如齿轮精度为

5 级，则齿轮孔与轴均按 IT5）；滚动轴承与轴颈或外壳孔配合的公差等级与滚动轴承的精度有关（如滚动轴承精度为 C 级，则与其配合的轴按 IT4、孔按 IT5）。故选择公差等级应参考有关的标准或资料。

(4) 联系实例，通过分析和对比来选择公差等级。表 1-2-13、表 1-2-14、表 1-2-15 可供选择公差等级时参考。

表 1-2-13 公差等级的应用

应用	IT 等级																					
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
量块	—————																					
量规			—————																			
配合尺寸							—————															
特别精密零件的配合				—————																		
非配合尺寸（大制造公差）																						
原材料公差																						

表 1-2-14 各种加工方法的加工精度

加工方法	IT 等级																				
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
研 磨	—————																				
珩						—————															
圆 磨							—————														
平 磨							—————														
金 刚 石 车							—————														
金 刚 石 镗							—————														
拉 削							—————														
铰 孔								—————													
车									—————												
镗									—————												



(续)

加工方法	IT 等级																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
铰																		
刨 插																		
钻 孔																		
滚 压、挤 压																		
冲 压																		
压 铸																		
粉末冶金成型																		
粉末冶金烧结																		
砂型铸造、气割																		
锻 造																		

表 1·2-15 加工精度与加工成本

尺寸	加工方法	IT 等级															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
外 径	卧式车床车削						△	△	△	○	○	○	●	●	●		
	转塔车床车削							△	△	○	○	○	●	●	●		
内 径	自动车削							△	△	○	○	○	●	●			
	钻			△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
精 度	铰							△	△	○	○	○	○	○	○	○	○
	镗							△	△	○	○	○	○	○	○	○	○
长 度	精 磨				△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	内 圆 磨				△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
度	研 磨		△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	卧式车床车削							△	△	△	○	○	○	○	○	○	○
	转塔车床车削							△	△	△	○	○	○	○	○	○	○
	自动车削							△	△	△	○	○	○	○	○	○	○

注：●、○、△表示成本比例为 1:2.5:5。



2.4.3 配合的选择

选择配合主要是为了合理给出基本尺寸相同且相互结合的零件——孔与轴在工作时的相互关系，以保证机器能正常工作。这种关系由该孔、轴公差带之间的关系所决定，包括间隙、过盈、及过渡配合三种关系和配合的间隙或过盈的大小及其变动。

1. 各类配合的特性和应用

a. 间隙配合的特性 具有间隙。若工作时相配合的零件间有相对运动，则必须用间隙配合；若零件间无相对运动，而有键、销或螺钉等外加紧固件使之固紧，也可用间隙配合。

b. 过盈配合的特性 具有过盈。若要求配合的零件间不产生相对运动，可用过盈配合。过盈量不大时，主要用键联接等传递扭矩；过盈大时，主要靠孔轴结合力传递扭矩，前者考虑应用中需拆卸，后者在应用中一般不拆卸。

c. 过渡配合的特性 可能具有间隙，也可能具有过盈，但所得到的间隙或过盈量一般比较小。它主要用于定位精确并要求拆卸的相对静止的联接。

各类配合的配合性质与基本偏差有关。表1-2-16给出基孔制轴的基本偏差选用说明，可供参考。

配合性质还与公差等级（图1-2-21）及基本尺寸

（图1-2-22）有关。

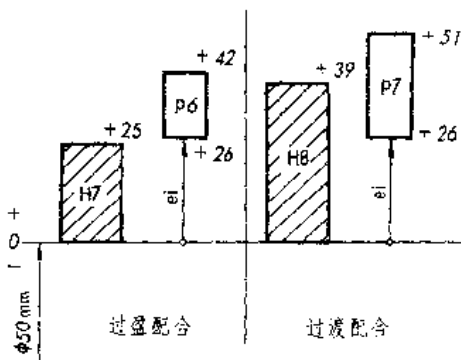


图 1-2-21 公差等级对配合的影响

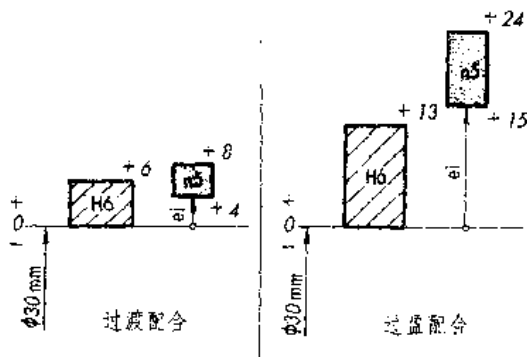


图 1-2-22 基本尺寸对配合的影响

表 1-2-16 基孔制轴的基本偏差选用说明

配合	基本偏差	配合特性及应用
间隙配合	a, b	可得到特别大的间隙，应用很少
	c	可得到很大间隙，一般适用于缓慢、松弛的间隙配合，用于工作条件较差（如农业机械），受方变形，或为了便于装配，而必须有较大间隙时，推荐配合为 H11/c11。其较高等级的配合，如 H18/e7 适用于轴在高温工作的紧密间隙配合，例如内燃机排气阀和导管
	d	一般用 IT7~11 级，适用于松的转动配合，如密封盖、滑轮、空转带轮与轴的配合。也适用于大直径滑动轴承配合，如透平机、球磨机、轧滚成型和重型弯曲机及其他重型机械中的一些滑动支承
	e	多用于 IT7~9 级，通常适用要求有明显间隙，易于转动的支承配合，如大跨距支承、多支点支承等配合。高等级的 e 轴适用于大的、高速、重载支承，如涡轮发电机、大的电动机的支承等。也适用于内燃机主要轴承、凸轮轴支承、摇臂支承等配合
	f	多用于 IT6~8 级的一般转动配合，当温度差别不大，对配合基本上没影响时，被广泛用于普通润滑油（或润滑脂）润滑的支承，如齿轮箱、小电动机、泵等的转轴与滑动支承的配合
	g	多用于 IT5~7 级，配合间隙很小，制造成本不高，除很轻载荷的精密装置外，不推荐用于转动配合。最适合不同转的精密滑动配合，也用于插销等定位配合，如精密连杆轴承、活塞及滑阀、连杆销等
h	多用于 IT4~11 级，广泛用于无相对转动的零件，作为一般的定位配合。若没有温度、变形影响，也用于精密滑动配合	



(续)

配合	基本偏差	配合特性及应用
过渡配合	js	为完全对称偏差 ( $\pm IT/2$ ), 平均起来, 为稍有间隙的配合, 多用于 IT4~7 级, 要求间隙比 h 轴配合时小, 并允许略有过盈的定位配合, 如联轴器、齿圈与钢制轮毂, 一般可用手或木槌装配
	k	平均起来没有间隙的配合, 适用于 IT4~7 级, 推荐用于要求稍有过盈的定位配合, 例如为了消除振动用的定位配合。一般用木槌装配
	m	平均起来具有不大过盈的过渡配合, 适用 IT4~7 级。一般可用木槌装配, 但在最大过盈时, 要求相当的压入力
	n	平均过盈比用 m 轴时稍大, 很少得到间隙, 适用 IT4~7 级, 用锤或压力机装配。通常推荐用于紧密的组件配合。H6/n5 为过盈配合
过盈配合	p	与 H6 或 H7 孔配合时是过盈配合, 而与 H8 孔配合时为过渡配合。对非铁类零件, 为较轻的压入配合, 当需要时易于拆卸。对钢、铸铁或铜 钢组件装配是标准压入配合。对弹性材料, 如轻合金等, 往往要求很小的过盈, 可采用 p 轴配合
	r	对铁类零件, 为中等打入配合; 对非铁类零件, 为轻的打入配合, 当需要时, 可以拆卸。与 H8 孔配合, 直径在 100mm 以上时为过盈配合, 直径小时为过渡配合
	s	用于钢和铁制零件的永久性和半永久性装配, 过盈量充分, 可产生相当大的结合力。当用弹性材料, 如轻合金时, 配合性质与铁类零件的 p 轴相当。例如套环压在轴上、阀座等配合。尺寸较大时, 为了避免损伤配合表面, 需用热胀或冷缩法装配
	t, u, v, x, y, z	过盈量依次增大, 除 u 外, 一般不推荐

**2. 配合的间隙或过盈的确定方法** 选择间隙配合时, 应确定最小间隙  $X_{\min}$  和最大间隙  $X_{\max}$ , 或最佳间隙; 选择过盈配合时, 应确定最小过盈  $Y_{\min}$  和最大过盈  $Y_{\max}$ ; 选择过渡配合时, 应确定  $X_{\max}$  和  $Y_{\max}$  及间隙或过盈分布的数字特征。配合的间隙或过盈的确定方法有计算法、试验法和类比法三种。

a. 计算法 就是按一定的理论公式通过计算确定所需间隙或过盈。

对用于定位(或定心)的间隙配合, 可根据允许的偏心或轴线歪斜计算允许的最大间隙; 根据可装配性的要求确定最小间隙。

对有相对运动间隙配合, 即滑动支承(旋转或直线运动)的计算, 其理论基础是流体动力学, 计算方法与公式很多。仅就旋转运动副而言, 可按液体摩擦可靠性、轴承承载能力、摩擦系数、定心精度、最大持久性条件、热平衡与温度规范、抗振条件、通过间隙的润滑液或气体消耗量最小等等, 计算保证轴承使用性能指标的最佳间隙, 然后考虑一些有关因素进行必要的修正。也可计算极限间隙如摆动载荷轴承的极限间隙、液体静压轴承的间隙、气体润滑轴承的间隙、干摩擦、半

液体摩擦轴承的间隙等。

对过盈配合, 最小过盈应保证结合强度, 按传递转矩或承受的轴向力计算, 并考虑表面粗糙度等进行必要修正。

对过渡配合, 除了计算最大间隙和最大过盈外, 还要计算间隙或过盈概率分布的数字特征。由孔、轴实际尺寸的概率分布, 可估算配合获得间隙或过盈的概率、间隙过盈的分布范围, 平均间隙或过盈等。

由于计算法在计算中把条件理想化和简单化, 因此结果往往不符合实际, 也比较麻烦, 但其理论根据比较充分, 有指导意义。随着计算机技术的发展, 将会得到越来越多的应用。

我国已颁布 GB5371-83《公差与配合 过盈配合的计算和选用》, 过盈配合计算法选用已达到实用推广的水平。其他配合计算法选用也在研究中。

b. 试验法 是通过专门的试验或统计分析来确定所需的间隙或过盈的一种方法。

根据专门的试验得到的结果来选取配合, 针对性强, 最为可靠。但它的代价较高、周期长, 故一般只用于重要的、关键性配合的选取上。



c. 类比法(或先例法) 是以经过生产验证的, 类似的机械、机构或零部件为样板来选取公差与配合, 也就是根据经验来选取公差与配合, 并按具体情况对所选取配合的间隙或过盈作必要的修正。

类比不是简单地照搬照抄。必须确切掌握实例的应用场合、条件及实际效果; 应明确所设计对象的性能、作用与要求, 了解自己的工艺水平; 通过分析对比而得出合适的方案, 或者沿用或者进行必要的修正。表 1·2-17 给出不同情况下对间隙量或过盈量进行修正

的方案, 供参考。

### 3. 选择配合时应考虑的因素

(1) 对 $\leq 500\text{mm}$ 的常用尺寸段, 应优先选用优先配合, 其次考虑选用常用配合, 再则考虑选标准推荐的一般用途孔、轴公差带组成所需配合; 若仍不能满足需要, 还可从标准提供的其他孔、轴公差带中选取适当者组成所需配合。其他尺寸段中配合的选取也按同样的思想, 以减少配合选择的无序化。表 1·2-18 给出了优先配合的选用说明, 可供参考。

表 1·2-17 按具体情况考虑间隙量或过盈量的修正

具体情况	过盈量	间隙量	具体情况	过盈量	间隙量
材料许用应力小	减	—	装配时可能歪斜	减	增
经常拆卸	减	-	旋转速度较高	增	增
有冲击载荷	增	减	有轴向运动	—	增
工作时, 孔的温度高于轴的温度①	增	减	润滑油粘度大		增
工作时, 轴的温度高于孔的温度②	减	增	表面粗糙	增	减
配合长度较大	减	增	装配精度高	减	减
形位误差大	减	增			

① 材料相同时。

表 1·2-18 优先配合选用说明

优先配合		说 明
基孔制	基轴制	
$\frac{H11}{c11}$	$\frac{C11}{h11}$	间隙量非常大。用于很松的、转动很慢的间隙配合; 要求大公差与大间隙量的外露组件; 要求装配方便的很松的配合, 相当于 D6/d6
$\frac{H9}{d9}$	$\frac{D9}{h9}$	间隙量很大的自由转动配合, 用于精度非主要要求时, 适用于有大的温度变动、高转速或大的轴颈压力时, 相当于 D4/de4
$\frac{H8}{f7}$	$\frac{F8}{b7}$	间隙量不大的转动配合, 用于中等转速与中等轴颈压力的精确转动; 也用于装配较易的中等定位配合, 相当 D3/dc
$\frac{H7}{g6}$	$\frac{G7}{b6}$	间隙很小的滑动配合, 用于不希望自由旋转, 但可自由移动和转动并精密定位时; 也可用于要求明确的定位配合, 相当于 D/db
$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{b6}$	均为间隙定位配合, 零件可自由装拆, 而工作时一般相对静止不动 在最大实体条件下的间隙量为零 在最小实体条件下的间隙量由公差等级决定, H7/h6 相当 D/d; H8/h7 相当 D3/d3; H9/h9 相当 D4/d4; H11/h11 相当 D6/d6
$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{b7}$	
$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H9}{b9}$	
$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H11}{b11}$	
$\frac{H7}{k6}$	$\frac{K7}{h6}$	过渡配合, 用于精密定位, 相当 D/go
$\frac{H7}{n6}$	$\frac{N7}{h6}$	过渡配合, 允许有较大过盈的更精密定位, 相当 D/ga



(续)

优先配合		说 明
基孔制	基轴制	
$\frac{H7}{p6}$	$\frac{P7}{h6}$	过盈定位配合,即小过盈量配合。用于定位精度特别重要时,能以最好的定位精度达到部件的刚性及对中性要求,而对内孔承受压力无特殊要求,不依靠配合的紧固性传递摩擦载荷,相当 $D/ga \sim D/jf$
$\frac{H7}{s6}$	$\frac{S7}{h6}$	中等压入配合,适用于一般钢件;或用于薄壁件的冷缩配合;用于铸铁件可得到最紧的配合,相当于 $D/je$
$\frac{H7}{u6}$	$\frac{U7}{h6}$	压入配合,适用于可以承受高压力的零件,或不宜承受大压力的冷缩配合

(2) 在选择公差与配合时,要注意温度条件。标准中规定的均为标准温度(20℃)时的数值。当工作温度不是20℃,特别是孔、轴温差较大或其线胀系数相差较大时,应考虑热变形的影响。这对高温或低温下工作的机械尤其重要。除非另有说明,一般应按工作时的配合要求,换算为20℃时的配合标注在图样上。检验时,也是以20℃时的测量结果为准。

(3) 在有些情况下,要考虑装配变形对配合的影响。如将薄壁套筒镶入机座孔后,套筒内孔会收缩,从而改变套筒内孔的配合性质。

一般装配图上规定的配合应是装配以后的要求。因此,对有装配变形的套筒类零件,在绘制零件图时,应对公差带进行必要的修正;或是用工艺措施保证,如将套筒压入机座孔后再精加工套筒内孔。

若在装配图上规定装配前的配合,则应考虑装配变形的影响,并选择适当配合标准,以保证装配后达到设计要求。

(4) 应考虑尺寸分布特性对配合的影响。见图1-2-23过渡配合  $\phi 50H7/js6$  的公差带图。当孔、轴尺寸为正态分布时,获得过盈的概率仅千分之几,平均间隙  $X_{av} = +12.5\mu m$ 。若尺寸分布偏向最大实体尺寸(图中虚线所示分布),则出现过盈的概率显著增加,以致比  $H7/k6$  配合的正常情况还要紧。

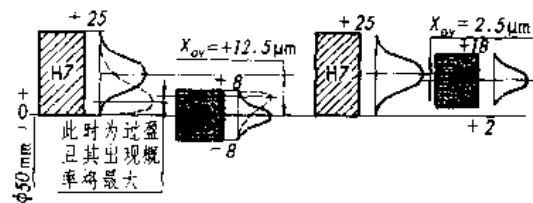


图1-2-23 尺寸分布特性对配合的影响

尺寸分布特性对各类配合的配合性质都有影响,

过渡配合和小间隙配合对此更为敏感。

尺寸分布特性与生产方式有关。一般成批大量生产中多用“调整法”加工,尺寸分布可能近似正态分布;而单件小批生产多用“试切法”加工,尺寸分布中心多偏向最大实体尺寸。因此,对同一种配合,用“调整法”或“试切法”加工的实际配合性质往往不同,后者往往比前者紧。

(5) 在选择公差与配合时,应考虑留有精度储备,以长期保持机器良好的工作性能,延长使用寿命,提高使用价值。特别是对于那些影响机器使用性能特别大且在工作过程中容易变化的参数,尤应充分考虑建立精度储备。

建立配合的精度储备可用精度储备系数  $K_T$  表示

$$K_T = T_{fF} / T_K$$

式中  $T_{fF}$ ——功用配合公差,即由使用要求确定的,在使用期限内某配合允许的间隙或过盈的变动量;

$T_K$ ——制造公差,对具体某配合而言  $T_K = T_H + T_s$ ,即为规定的配合公差  $T_f$ 。

显然  $K_T$  应大于1,这样由使用要求确定的功用配合公差  $T_{fF}$  中,一部分可用于补偿孔、轴加工、测量、装配等各种制造中的误差;一部分可用于补偿使用过程中的磨损、变形等各种“使用误差”。

对间隙配合而言,若实际间隙接近功用最大间隙,则使用寿命很短。因而应考虑留有磨损储备,即在选择公差与配合时,使所选配合的  $X_{max}$  适当小于  $X_{maxF}$  (功用最大间隙),则磨损储备。

$$\Delta f = X_{maxF} - X_{max}$$

考虑实际装配后获得  $X_{max}$  的概率通常很小,而获得平均间隙  $X_{av}$  的概率往往很大,可用下式来定寿命系数:

$$\tau = \frac{X_{maxF} - X_{av}}{T_{fF}}$$

机械工业出版社



此式表示所选配合使用的相对寿命或磨损储备。寿命系数  $r$  值在  $0 \sim 1$  之间。显然  $r$  增加, 寿命增加。

对过盈配合而言, 要考虑的储备有二: 一为工作时的结合强度储备  $S_w$ ; 一为装配时零件的强度储备  $S_p$ , 分别表示如下

$$S_w = |Y_{\text{min}}| - |Y_{\text{min}F}|$$

$$S_p = |Y_{\text{max}F}| - |Y_{\text{max}}|$$

式中  $Y_{\text{min}F}$ 、 $Y_{\text{max}F}$  —— 使用要求确定的功用最小过盈和功用最大过盈;

$Y_{\text{min}}$ 、 $Y_{\text{max}}$  —— 所选配合的最小、最大过盈。

在选择过盈配合时, 使  $|Y_{\text{min}}|$  适当大于  $|Y_{\text{min}F}|$ , 作为结合强度储备, 以保证工作时孔、轴牢固结合, 在有突然超载荷时不致松动, 在孔、轴拆卸重装后仍可使用; 使所选配合的  $|Y_{\text{max}}|$  适当小于  $|Y_{\text{min}F}|$ , 作为零件的强度储备, 以保证装配中因歪斜等误差不致使零件材料损坏。

### 2.5 配制配合应用简介

配制配合是以一个零件的实际尺寸为基数, 来配制另一个零件以满足配合使用要求的一种工艺措施。它规定于原第一机械工业部指导性技术文件 JB/Z144-79。

配制配合一般用于尺寸较大, 公差等级较高, 单件小批生产的配合零件。大尺寸零件在其使用要求、加工、测量、装配、维修以及生产方式上, 都有一些与中、小尺寸零件不同的特点。如, 通常是单件小批生产; 往往采用配作或修配的制造方法, 不一定要求、甚至不可能达到互换性; 在实际使用中往往只要求保证配合的特性, 而不强调保持严格的基本尺寸; 不采用定值刀具加工, 也很少采用固定量规检验; 在零件总的制造误差中, 形位误差和测量误差占的比重增大, 特别是温度引起的误差很突出, 等等。因此, 对大尺寸配合件采用配制配合应被认为是一种正常的生产方式, 从根本上来讲也是符合互换性生产原则的, 对其应用举例说明如下:

**1. 选取配合** 根据产品的使用要求, 按互换性生产选取配合, 配制配合的极限间隙或过盈应与此配合相同。

例如: 基本尺寸为  $\phi 3000\text{mm}$  的孔与轴, 要求配合的最大间隙为  $+0.450\text{mm}$ , 最小间隙为  $+0.140\text{mm}$ ; 按互换性生产可选取的配合为  $\phi 3000\text{H}6/f6$  或  $\phi 3000\text{F}6/h6$ , 其最大间隙为  $+0.145\text{mm}$ , 最小间隙为  $+0.415\text{mm}$ , 配制配合应保证达到的配合要求见图

1-2-24。

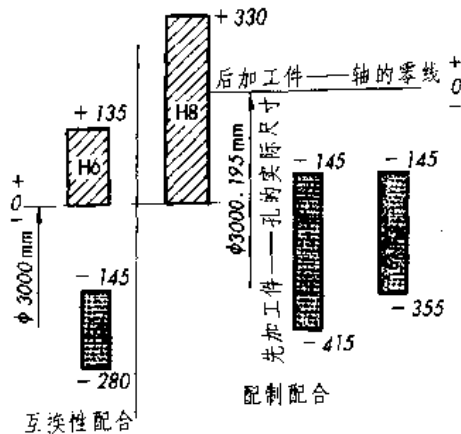


图 1-2-24 配制配合

若先加工孔, 则在装配图上标注为

$$\phi 3000 \frac{\text{H}6}{f6} \text{MF};$$

若先加工轴, 则在装配图上标注为

$$\phi 3000 \frac{\text{F}6}{h6} \text{MF}.$$

在此, 系借用基准孔或基准轴的代号表示先加工件, MF (matched fit) 表示配制配合。

**2. 确定先加工件** 一般选择较难加工, 但比较容易得到较高测量精度的那个零件作为先加工件 (多数情况是孔), 给它一个比较容易达到的公差, 例如 H8, 在零件图上标注为  $\phi 3000\text{H}8\text{MF}$ ; 若按“未注公差尺寸的极限偏差”加工, 则标注为  $\phi 3000\text{MF}$ 。

**3. 配制件** 配制件 (多数情况是轴) 的公差按配合公差选取。本例按装配图标注要求的极限间隙, 则配制件的极限偏差为  $-0.145\text{mm}$  与  $-0.415\text{mm}$ , 在零件图上标注为  $\phi 3000 \begin{matrix} -0.145 \\ -0.415 \end{matrix} \text{MF}$ 。若希望选标准公差带,

可选 f7, 标注为  $\phi 3000f7\text{MF}$  或  $\phi 3000 \begin{matrix} -0.145 \\ -0.355 \end{matrix} \text{MF}$ , 此时最小间隙为  $+0.145\text{mm}$ , 最大间隙为  $+0.355\text{mm}$ , 能更好地满足配合要求。

配制件的极限偏差是以先加工件的实际尺寸为基数来确定的。因此, 应尽可能准确地测得先加工件的实际尺寸。本例中, 如测得先加工件——孔的实际尺寸为  $\phi 3000.195\text{mm}$ , 则配制件——轴的极限尺寸 (若按 f7) 应为

$$d_{\text{max}} = 3000.195 - 0.145 = 3000.050\text{mm}$$

$$d_{\text{min}} = 3000.195 - 0.355 = 2999.840\text{mm}$$

由于配制件的极限偏差是以先加工件的实际尺寸为零线, 故配制件上偏差的绝对值等于最小间隙或最大过盈的绝对值; 配制件的下偏差的绝对值等于最大



间隙或最小过盈的绝对值。因此,只看配制件的极限偏差即可了解配合性质。

**4. 注意事项** 采用配制配合,仅限于扩大孔、轴的尺寸公差,并不意味着其他方面的技术要求(如形位公差、表面粗糙度等)也随之降低。其他方面的技术要求应按使用要求与工艺条件考虑。

在配制配合中,仅仅要求保证孔、轴尺寸差的测量精度,这对测量是有利的。因此,最好将测量孔、轴的量具直接互校。此外,应特别注意温度及形位误差对测量结果的影响。

采用配制配合,在保证配合要求的前提下可以扩大零件的制造公差,但没有互换性。

配制配合标准是针对“配作”生产方式进行标准化的结果,主要表现为配合公差、标注方法以及技术要求等的标准化。这个标准的推行对提高“配作”生产的水平并减少其无序化发展是有益的。

### 3 检验制

工件尺寸是否符合规定的技术要求,可用量规检验,也可用指示式的量具、量仪进行测量。由于量规的制造误差与测量误差会占用工件规定的公差带,因此必须规定检验制,它是贯彻公差与配合标准的技术保证。

工件规定的公差加上允许测量误差的影响后,可能得到的实际制造公差的最大值称为保证公差,而最小值称为生产公差(图 1·2-25)。

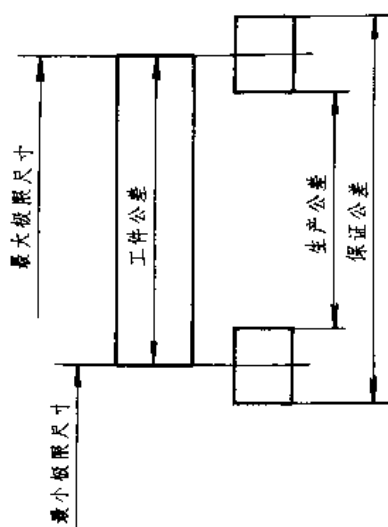


图 1·2-25 测量误差的影响

从使用要求看,为了保证互换性和产品质量,应减小保证公差;从制造经济性看宜加大生产公差。为了解

决这个矛盾,应合理规定测量误差,规定测量与检验条件、原则及方法等。

### 3.1 一般规则

#### 3.1.1 基准温度

标准规定基准温度是 20℃。其含意是:

(1) 标准中和图样上规定的公差与配合数值均指 20℃时的;

(2) 测量结果以工件、量具在检验时的温度都是 20℃时为准。

检验时,工件、量具和检验温度不是 20℃,原则上应对测量结果进行修正或用减小制造公差来补偿,热变形引起的测量误差  $\Delta L$  为

$$\Delta L = [a_1(t_1 - 20) - a_2(t_2 - 20)]L$$

式中  $a_1$ ——工件材料的线胀系数;

$a_2$ ——量具材料的线胀系数;

$t_1$ ——工件的温度(℃);

$t_2$ ——量具的温度(℃);

$L$ ——工件的尺寸。

由此式可以看出,最好使量具的材料与工件材料相同,或使  $a_2 \approx a_1$ 。这样,只要  $t_2 \approx t_1$ ,即使偏离基准温度,也影响不大。若量具与工件的线胀系数相差较大,则必须严格在 20℃条件下进行测量或者对测量结果进行必要的修正。钢制零件由不同温度差引起的尺寸变化见表 1·2-19。近似计算时,对钢与铸件零件可取:零件直径每 100mm,温度变化 1℃时,膨胀或收缩  $1\mu\text{m}$ 。

表 1·2-19 钢制零件由温差引起的尺寸变化

温差 (℃)	尺寸 (mm)							
	5	10	20	50	100	200	500	1000
	尺寸变化 ( $\mu\text{m}$ )							
0.1	0.006	0.01	0.02	0.06	0.1	0.2	0.6	1.2
0.5	0.03	0.05	0.1	0.3	0.6	1.2	2.8	5.8
1	0.06	0.1	0.2	0.6	1.2	2.3	5.8	11.5
2	0.12	0.23	0.3	1.2	2.3	4.6	11.5	23.0
5	0.28	0.6	1.2	2.9	5.8	11.5	28.8	57.5

比较表 1·2-19 和表 1·2-1 可知,对 50mm 钢制工件,温差 1℃,尺寸变化 0.0006mm,等于 IT01 的数值(0.0006mm);温差 5℃,尺寸变化 0.0029mm,超过 IT2 的数值(0.0025mm)。尺寸为 500mm 时,温差 1℃,尺寸变化 0.0058mm,相当于 IT0 的数值(0.006mm);温差 5℃,尺寸变化 0.0288mm,超过 IT5





的数值(0.027mm)。尺寸为1000mm时,温差5℃,尺寸变化0.0575mm,超过IT6的数值(0.056mm)。由此可见温度对高精度工件,特别是尺寸较大时,是不可忽视的重要因素。

### 3.1.2 测量力

测量力是指测量时,被测表面承受的测量压力。由于各种材料的工件受力后都将产生变形,因此标准规定测量操作过程应按测量力为零来理解。如果测量力不为零,原则上应考虑由此引起的测量误差,测量结果应作相应的修正。若进行比较测量时,只要工件与基准的材料和粗糙度要素相同,且用相同的比较方法和相同的测量力,则不需再作修正。

### 3.1.3 极限尺寸判断原则(泰勒原则)

根据极限尺寸判断原则,用极限量规检验工件时,“通规”控制作用尺寸,应为全形量规(具有与孔或轴相应的完整表面,且长度等于配合长度),其尺寸等于工件的最大实体极限(MML)。“止规”控制局部实际尺寸,应为非全形量规(测量面应是点状的),其两测量面之间的尺寸等于工件的最小实体极限(LML)。

严格按泰勒原则设计的量规,可同时控制尺寸和形状误差,保证符合极限与配合标准对极限尺寸含义的规定。但由于量规制造和使用的一些具体原因,实际生产中所用的量规常不完全符合泰勒原则。标准规定可在保证被检工件的形状误差不会影响配合性质的条件下,使用偏离泰勒原则的量规。

当用指示式量具或量仪测量时,尺寸偏差与形状误差分别测定。如果是在直径上相对两点测量,要判断工件是否符合LML要求,只要在工件足够多的位置上进行测量即可;要判断工件是否符合MML要求,则必须考虑形状误差的影响,理论上应求出作用尺寸,而实用方法是减小尺寸公差带来补偿。

### 3.1.4 验收原则和验收方法的基础

我国和ISO检验制的有关标准中均规定验收原则为:所用验收方法应只接收位于规定的尺寸极限之内的工件。

由于计量器具和计量系统都存在内在误差,故任何测量都不能测出真值。另外,多数计量器具通常只用于测量尺寸,不测量工件上可能存在的形状误差。因此,对要求符合包容原则的尺寸,工件的完善检验还应测量形状误差(如圆度和直线度),并把这些形状误差

的测量结果与尺寸的测量结果综合起来,以判断工件表面各部位是否未超出最大实体边界。

考虑到在车间实际情况下,工件的形状误差通常取决于加工设备和工艺装备的精度;工件合格与否,一般只按一次测量来判断;对于温度、压陷效应等,以及计量器具和标准器的系统误差均不进行修正;因此,任何检验都存在误判。

检验时的误判率(误收率与误废率),取决于工艺过程能力指数 $C_p$ ,工件实际尺寸在公差带内的分布形式,测量不确定度 $u$ 及验收极限(检验工件尺寸时判断合格与否的尺寸界限)等几方面的因素。因此,为保证验收质量,在验收方法中应合理规定出验收极限、计量器具不确定度允许值和计量器具的选用原则。

### 3.1.5 超越极限

考虑量规制造公差与磨损公差对工件公差带的影响,量规公差带相对工件公差带的布置在国际上有两种方案。其中一种方案规定,对IT6至IT8的工件,允许“通规”磨损到超出工件的MML,其允许超出量即磨损裕度 $y$ 与 $y'$ (对孔)及 $y_1$ 或 $y_2$ (对轴)。我国原用量规标准及欧洲一些国家采用此方案。

## 3.2 光滑极限量规

### 3.2.1 概述

光滑工件尺寸的检测可用光滑极限量规(简称量规),它是一种没有刻度的专用定值检验工具,仅判断工件尺寸合格与否。

量规外形与被检验对象相反。检验孔的量规为塞规,可认为是按一定尺寸精确制成的轴;检验轴的量规为环规或卡规,可认为是按一定尺寸精确制成的孔。其制造应符合泰勒原则。

量规一般都是成对使用,分为通规与止规。检验时,如果通规能通过工件,且止规不能通过,即认为工件是合格的。量规使用方便,能够保证工件互换性。

按不同的用途,量规可分为:工作量规,即工件制造过程中,操作者用于检验工件的量规;验收量规,即验收部门或用户代表在验收产品时使用的量规;校对量规,即在制造和使用过程中,用于检验量规的量规。通常,校对量规只用于检验轴的量规,对于检验孔的量规,可方便地用仪器测量。

### 3.2.2 量规公差

使用量规时,是根据它的实际尺寸去检验工件尺



寸的。因此,量规尺寸是否准确将直接影响判断工件合格与否的正确性。

在制造量规时,必然存在制造误差;即使能按工件规定的极限尺寸制成绝对准确的量规,在检验时由于磨损、温度、测量力等因素的影响,仍不能完全避免误差、误收的现象;同时,对量规精度要求愈高则制造量规的成本亦愈高。

为了统一地协调量规的制造要求和使用要求之间的矛盾,GB1957-81 对量规公差作了规定。该标准适用于检验 GB/T1800《极限与配合》规定的孔与轴基本尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 、公差等级 IT6 至 IT16 级的光滑极限量规。

**1. 工作量规** GB1957-81 规定的量规公差带见图 1-2-26。其特点为,工作量规的通规与止规的公差带全部位于工件公差带内;且止规公差带紧靠工件的 LML;而通规公差带则偏离工件的 MML,偏离量 Z 为通规公差带中心至工件 MML 的距离。显然,这样内缩配置量规公差带可以减小误收,且随量规磨损的增大,误废的可能性逐渐减小;至量规磨损到工件的最大实体尺寸时,理论上将不会出现误收或误废。

GB1957-81 规定的量规公差 T 和 Z 值见表 1-2-20。同时规定量规的形状和位置误差应在尺寸公差带内,其公差为量规尺寸公差的 50%;若量规尺寸公差 $\leq 0.002\text{mm}$  时,其形位公差规定为 0.001mm。

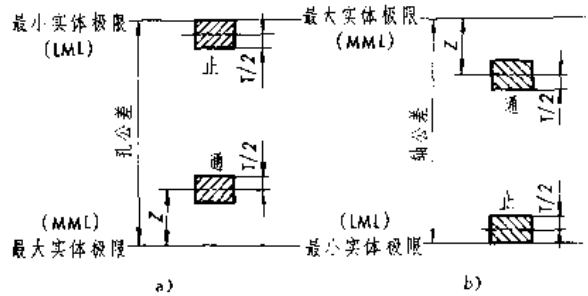


图 1-2-26 量规公差带图

a) 孔用量规公差带图 b) 轴用量规公差带图

T—量规尺寸公差 Z—通规尺寸公差带的中心到工件最大实体尺寸之间距离

**2. 验收量规** GB1957-81 中没有单独规定验收量规的公差带,只是提出:检验部门应使用已磨损较多的通规;用户代表应使用接近工件 MML 的通规,及接

表 1-2-20 量规公差 T 和 Z 值 ( $\mu\text{m}$ )

工件基本尺寸 D(mm)		IT6			IT7			IT8			IT9			IT10			IT11		
大于	至	IT6	T	Z	IT7	T	Z	IT8	T	Z	IT9	T	Z	IT10	T	Z	IT11	T	Z
—	3	6	1	1	10	1.2	1.6	14	1.6	2	25	2	3	40	2.4	4	50	3	6
3	6	8	1.2	1.4	12	1.4	2	18	2	2.6	30	2.4	4	48	3	5	75	4	3
6	10	9	1.4	1.6	15	1.8	2.4	22	2.4	3.2	36	2.8	5	58	3.6	6	90	5	9
10	18	11	1.6	2	18	2	2.8	27	2.8	4	43	3.4	6	70	4	8	110	6	11
18	30	13	2	2.4	21	2.4	3.4	33	3.4	5	52	4	7	84	5	9	130	7	13
30	50	16	2.4	2.8	25	3	4	39	4	6	62	5	8	100	6	11	160	8	16
50	80	19	2.8	3.4	30	3.6	4.6	46	4.6	7	74	6	9	120	7	13	190	9	19
80	120	22	3.2	3.8	35	4.2	5.4	54	5.4	8	87	7	10	140	8	15	220	10	22
120	180	25	3.8	4.4	40	4.8	6	63	6	9	100	8	12	160	9	18	250	12	25
180	250	29	4.4	5	46	5.4	7	72	7	10	115	9	14	185	10	20	260	14	29
250	315	32	4.8	5.6	52	6	8	81	8	11	130	10	16	210	12	22	320	16	32
315	400	36	5.4	6.2	57	7	9	89	9	12	140	11	18	230	14	25	360	18	36
400	500	40	6	7	63	8	10	97	10	14	155	12	20	250	16	28	400	20	40
工件基本尺寸 D(mm)		IT12			IT13			IT14			IT15			IT16					
大于	至	IT12	T	Z	IT13	T	Z	IT14	T	Z	IT15	T	Z	IT16	T	Z			
—	3	100	4	9	140	6	14	250	9	20	400	14	30	600	20	40			
3	6	120	5	11	180	7	16	300	11	25	480	16	35	750	25	50			
6	10	150	6	13	220	8	20	360	13	30	580	20	40	900	30	60			
10	18	180	7	15	270	10	24	430	15	35	700	24	50	1100	35	75			
18	30	210	8	18	330	12	28	520	18	40	840	28	60	1300	40	90			
30	50	250	10	22	390	14	34	620	22	50	1000	34	75	1600	50	110			



(续)

工件基本尺寸 D(mm)		IT12			IT13			IT14			IT15			IT16		
大于	至	IT12	T	Z	IT13	T	Z	IT14	T	Z	IT15	T	Z	IT16	T	Z
50	80	300	12	26	460	16	40	740	26	60	1200	40	90	1900	60	130
80	120	350	14	30	540	20	46	870	30	70	1400	46	100	2200	70	150
120	180	400	16	35	630	22	52	1000	35	80	1600	52	120	2500	80	180
180	250	460	18	40	720	26	60	1150	40	90	1850	60	130	2900	90	200
250	315	520	20	45	810	28	66	1300	45	100	2100	66	150	3200	100	220
315	400	570	22	50	890	32	74	1400	50	110	2300	74	170	3600	110	250
400	500	630	24	55	970	36	80	1550	55	120	2500	80	190	4000	120	280

近工件 LMI 的止规。

3. 校对量规 GB1957-81 附录二规定的校对量规公差带见图 1-2-27。

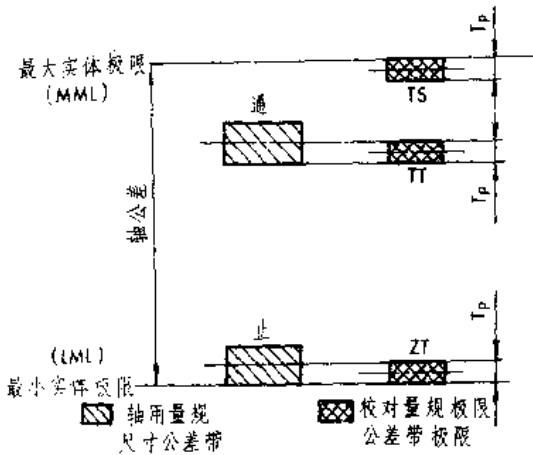


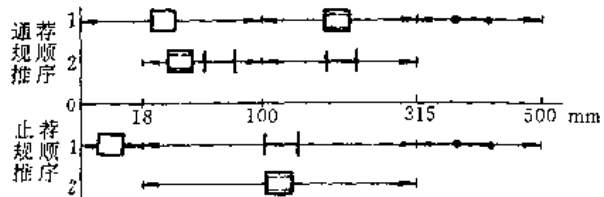
图 1-2-27 校对量规公差带图

校对量规有三种,分别用 TT、ZT 及 TS 表示。TT 与 ZT 用于制造轴用工作量规时,分别校对通规与止规。TS 用于校对使用中的轴用通规是否磨损。由于校对量规精度高、制造困难,实际生产中已逐步用量块和测量仪器代替校对量规。

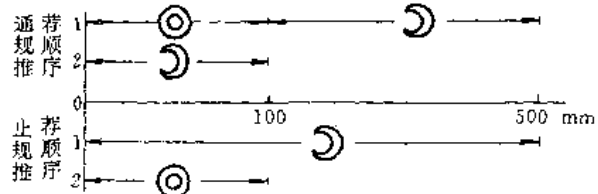
3-2-3 其他技术规定和要求

1. 量规型式的选择 GB1957-81 对量规的结构型式和尺寸范围未作统一规定,但在其附录一中作了推荐,见图 1-2-28,可供参考。

2. 量规制造的有关技术要求 GB1957-81 规定,量规测量面不应有锈迹、毛刺、黑斑、划痕等明显影响外观和使用质量的缺陷,其他表面不应有锈蚀和裂纹;量规测量部分应用合金工具钢、碳素工具钢、渗碳钢及其他耐磨材料制造,测量面的硬度应为 58~65HRC;量规应经过稳定性处理;测量面表面粗糙度按表 1-2-21 确定。



孔用量规型式和应用尺寸范围



轴用量规型式和应用尺寸范围

- —— 全形塞规
- ◻ —— 不全形塞规
- |— —— 片形塞规
- —— 球端杆规
- ◎ —— 环规
- ⊖ —— 卡规

图 1-2-28 推荐的量规型式和应用尺寸范围

表 1-2-21 量规工作表面粗糙度推荐值

工作 量 规	零件基本尺寸(mm)		
	至 120	大于 120 至 315	大于 315 至 500
IT6 级孔用量规	R <sub>a</sub> 不大于(μm)		
IT6~IT9 级轴用量规	0.040	0.080	0.160
IT7~IT9 级孔用量规	0.080	0.016	0.32
IT10~IT12 级孔、轴用量规	0.160	0.032	0.63
IT13~IT16 级孔、轴用量规	0.32	0.63	0.63

◎ GB1957-81 规定了量规测量表面的表面光洁度值,(表 1-2-21 为相应的表面粗糙度推荐值)该标准的附录二中规定,校对量规测量面的光洁度比被校对量规测量面的光洁度提高一级。



### 3.3 光滑工件尺寸的检验

国家标准《光滑工件尺寸的检验》<sup>①</sup>规定了光滑工件尺寸检验的验收原则、验收极限、计量器具不确定度允许值及选用原则。它适用于普通计量器具如游标卡尺、千分尺及车间使用的比较仪等,对图样上注出的公差等级IT6至IT18、基本尺寸至500mm的光滑工件尺寸的检验以及一般(未注)公差尺寸的检

验。

#### 3.3.1 验收极限的确定及验收极限方式的选择

验收极限可以按照下列两种方式之一确定。

方式一:验收极限是从规定的最大实体极限和最小实体极限分别向工件公差带内移动一个安全裕度A来确定的,其配置见图1-2-20。安全裕度A值按工件公差T的1/10确定,其数值见表1-2-22。这种方式

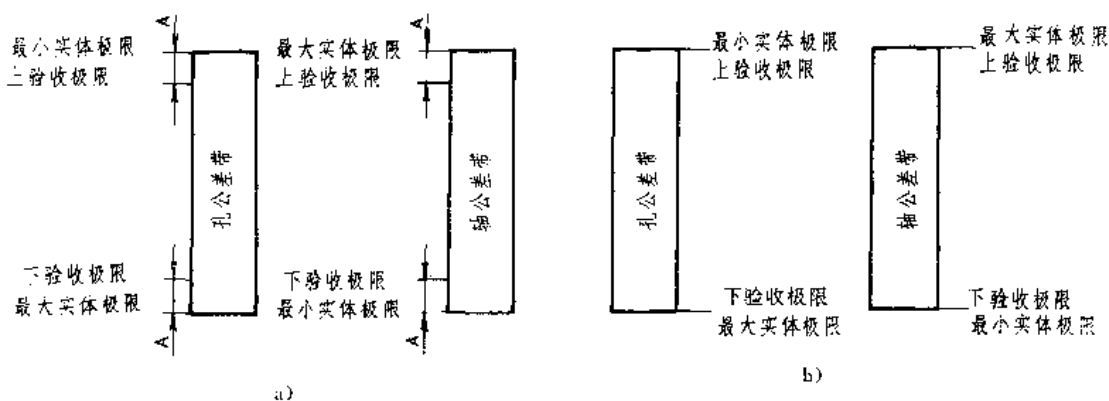


图 1-2-20 验收极限的配置方式

a)方式一 b)方式二

中孔尺寸的验收极限:

上验收极限=(最小实体极限)-(安全裕度)

下验收极限=(最大实体极限)+(安全裕度)

轴尺寸的验收极限

上验收极限=(最大实体极限)-(安全裕度)

下验收极限=(最小实体极限)+(安全裕度)

方式二:验收极限等于规定的最大实体极限和最小实体极限,即  $A=0$

对上述两种验收极限方式的选择要综合考虑尺寸功能要求及其重要程度、尺寸公差等级、测量不确定度和工艺能力等因素。具体规定如下:

(1)对遵循包容要求的尺寸、公差等级高的尺寸,其验收极限按方式一确定;

(2)当工艺能力指数  $C_p \geq 1$  时,其验收极限可以按方式二确定。但对遵循包容要求的尺寸,其最大实体极限一边的验收极限应按方式一确定;

(3)对偏态分布的尺寸,其验收极限也可以仅对尺寸偏向的一边按方式一确定;

(4)对非配合和一般公差的尺寸,其验收极限按方式二确定。

#### 3.3.2 计量器具的选择

对计量器具,应按照计量器具不确定度允许值  $u_1$  来选用。

计量器具不确定度允许值  $u_1$  分档给出(见表1-2-22)。I、II、III档是按测量能力,即测量不确定度  $u$  占工件公差  $T$  的比值大小,由高至低给出,  $u/T$  值依次为1/10、1/6、1/4。公差等级越低,达到较高的测量能力越容易,因此对IT12至IT18仅规定I、II两档数值。计量器具不确定度允许值  $u_1$  约为测量不确定度  $u$  的0.9倍。计量器具不确定度还包括调整标准器的不确定度。

按表1-2-22选用计量器具不确定度允许值  $u_1$  时,一般情况下按I、II、III的分档顺序优先选定,并考虑在保证尺寸功能的前提下,使验收具有合理的误判概率。对遵循包容要求的尺寸,为保证验收质量,应尽可能选定I档。

表1-2-23为千分尺和游标卡尺的不确定度数值,表1-2-24为比较仪的不确定度数值。

① GB/T3177-96《光滑工件尺寸的检验》。



表 1-2-22 安全裕度 A 与计量器具不确定度允许值  $u_1$

公差等级 基本尺寸 (mm)	IT6		IT7		IT8		IT9		IT10		IT11	
	T	$u_1$		T	$u_1$		T	$u_1$		T	$u_1$	
		I	II		I	II		I	II		I	II
3	6	0.6	0.54	0.9	1.4	1.3	2.1	3.2	2.5	2.3	3.8	5.6
6	8	0.8	0.72	1.2	1.8	1.6	2.7	4.1	3.0	2.7	4.5	6.8
10	9	0.9	0.81	1.4	2.0	2.2	3.3	5.0	3.6	3.3	5.4	8.1
18	11	1.1	1.0	1.7	2.5	2.7	4.1	6.1	4.3	3.9	6.5	9.7
30	13	1.3	1.2	2.0	2.9	3.3	5.0	7.4	5.2	4.7	7.8	12
50	16	1.6	1.4	2.4	3.6	3.9	5.9	8.8	6.2	5.6	9.3	14
80	19	1.9	1.7	2.9	4.3	4.6	7.1	10.7	7.4	6.7	11	17
120	22	2.2	2.0	3.3	5.0	5.4	8.1	12	8.7	7.8	13	20
180	25	2.5	2.3	3.8	5.6	6.3	9.5	14	10.0	9.0	15	23
250	29	2.9	2.6	4.4	6.5	7.2	11	16	11.5	10	17	26
315	32	3.2	2.9	4.8	7.2	8.1	12	18	13.0	12	19	29
400	35	3.5	3.2	5.4	8.1	8.9	13	20	14.0	13	21	32
500	40	4.0	3.6	6.0	9.0	9.7	15	22	15.5	14	23	35
IT12												
3	100	10	9.0	15	140	13	21	250	25	23	38	56
6	120	12	11	18	180	16	27	300	30	27	42	65
10	150	15	14	23	220	20	33	360	36	32	47	72
18	180	18	16	27	270	24	41	430	43	39	52	81
30	210	21	19	32	330	30	50	520	52	47	58	90
50	250	25	23	38	390	35	59	620	62	55	68	100
80	300	30	27	45	460	43	69	740	74	67	81	110
120	350	35	32	53	540	50	81	870	87	78	100	130
180	400	40	36	60	630	57	95	1000	100	90	110	150
250	460	46	41	69	720	65	110	1150	115	100	120	180
315	520	52	47	78	810	73	126	1300	130	110	130	210
400	570	57	51	88	890	80	140	1400	140	120	140	250
500	630	63	57	95	970	87	150	1500	150	130	150	300
IT13												
3	100	10	9.0	15	140	13	21	250	25	23	38	56
6	120	12	11	18	180	16	27	300	30	27	42	65
10	150	15	14	23	220	20	33	360	36	32	47	72
18	180	18	16	27	270	24	41	430	43	39	52	81
30	210	21	19	32	330	30	50	520	52	47	58	90
50	250	25	23	38	390	35	59	620	62	55	68	100
80	300	30	27	45	460	43	69	740	74	67	81	110
120	350	35	32	53	540	50	81	870	87	78	100	130
180	400	40	36	60	630	57	95	1000	100	90	110	150
250	460	46	41	69	720	65	110	1150	115	100	120	180
315	520	52	47	78	810	73	126	1300	130	110	130	210
400	570	57	51	88	890	80	140	1400	140	120	140	250
500	630	63	57	95	970	87	150	1500	150	130	150	300
IT14												
3	100	10	9.0	15	140	13	21	250	25	23	38	56
6	120	12	11	18	180	16	27	300	30	27	42	65
10	150	15	14	23	220	20	33	360	36	32	47	72
18	180	18	16	27	270	24	41	430	43	39	52	81
30	210	21	19	32	330	30	50	520	52	47	58	90
50	250	25	23	38	390	35	59	620	62	55	68	100
80	300	30	27	45	460	43	69	740	74	67	81	110
120	350	35	32	53	540	50	81	870	87	78	100	130
180	400	40	36	60	630	57	95	1000	100	90	110	150
250	460	46	41	69	720	65	110	1150	115	100	120	180
315	520	52	47	78	810	73	126	1300	130	110	130	210
400	570	57	51	88	890	80	140	1400	140	120	140	250
500	630	63	57	95	970	87	150	1500	150	130	150	300
IT15												
3	100	10	9.0	15	140	13	21	250	25	23	38	56
6	120	12	11	18	180	16	27	300	30	27	42	65
10	150	15	14	23	220	20	33	360	36	32	47	72
18	180	18	16	27	270	24	41	430	43	39	52	81
30	210	21	19	32	330	30	50	520	52	47	58	90
50	250	25	23	38	390	35	59	620	62	55	68	100
80	300	30	27	45	460	43	69	740	74	67	81	110
120	350	35	32	53	540	50	81	870	87	78	100	130
180	400	40	36	60	630	57	95	1000	100	90	110	150
250	460	46	41	69	720	65	110	1150	115	100	120	180
315	520	52	47	78	810	73	126	1300	130	110	130	210
400	570	57	51	88	890	80	140	1400	140	120	140	250
500	630	63	57	95	970	87	150	1500	150	130	150	300
IT16												
3	100	10	9.0	15	140	13	21	250	25	23	38	56
6	120	12	11	18	180	16	27	300	30	27	42	65
10	150	15	14	23	220	20	33	360	36	32	47	72
18	180	18	16	27	270	24	41	430	43	39	52	81
30	210	21	19	32	330	30	50	520	52	47	58	90
50	250	25	23	38	390	35	59	620	62	55	68	100
80	300	30	27	45	460	43	69	740	74	67	81	110
120	350	35	32	53	540	50	81	870	87	78	100	130
180	400	40	36	60	630	57	95	1000	100	90	110	150
250	460	46	41	69	720	65	110	1150	115	100	120	180
315	520	52	47	78	810	73	126	1300	130	110	130	210
400	570	57	51	88	890	80	140	1400	140	120	140	250
500	630	63	57	95	970	87	150	1500	150	130	150	300
IT17												
3	100	10	9.0	15	140	13	21	250	25	23	38	56
6	120	12	11	18	180	16	27	300	30	27	42	65
10	150	15	14	23	220	20	33	360	36	32	47	72
18	180	18	16	27	270	24	41	430	43	39	52	81
30	210	21	19	32	330	30	50	520	52	47	58	90
50	250	25	23	38	390	35	59	620	62	55	68	100
80	300	30	27	45	460	43	69	740	74	67	81	110
120	350	35	32	53	540	50	81	870	87	78	100	130
180	400	40	36	60	630	57	95	1000	100	90	110	150
250	460	46	41	69	720	65	110	1150	115	100	120	180
315	520	52	47	78	810	73	126	1300	130	110	130	210
400	570	57	51	88	890	80	140	1400	140	120	140	250
500	630	63	57	95	970	87	150	1500	150	130	150	300
IT18												
3	100	10	9.0	15	140	13	21	250	25	23	38	56
6	120	12	11	18	180	16	27	300	30	27	42	65
10	150	15	14	23	220	20	33	360	36	32	47	72
18	180	18	16	27	270	24	41	430	43	39	52	81
30	210	21	19	32	330	30	50	520	52	47	58	90
50	250	25	23	38	390	35	59	620	62	55	68	100
80	300	30	27	45	460	43	69	740	74	67	81	110
120	350	35	32	53	540	50	81	870	87	78	100	130
180	400	40	36	60	630	57	95	1000	100	90	110	150
250	460	46	41	69	720	65	110	1150	115	100	120	180
315	520	52	47	78	810	73	126	1300	130	110	130	210
400	570	57	51	88	890	80	140	1400	140	120	140	250
500	630	63	57	95	970	87	150	1500	150	130	150	300

表 1·2-23 千分尺和游标卡尺的不确定度 (mm)

尺寸范围		计 量 器 具 类 型			
		分度值 0.01 外径千分尺	分度值 0.01 内径千分尺	分度值 0.02 游标卡尺	分度值 0.05 游标卡尺
大于	至	不 确 定 度			
0	50	0.004	0.008	0.020	0.050
50	100	0.005			
100	150	0.006			
150	200	0.007	0.013		
200	250	0.008			
250	300	0.009			
300	350	0.010	0.020	0.150	
350	400	0.011			
400	450	0.012			
450	500	0.013			
500	600	0.030			
600	700				
700	1000				

表 1·2-24 比较仪的不确定度 (mm)

尺寸范围		所 使 用 的 计 量 器 具			
		分度值为 0.0005 (相当于放大倍数 2000 倍) 的比较仪	分度值为 0.001 (相当于放大倍数 1000 倍) 的比较仪	分度值为 0.002 (相当于放大倍数 400 倍) 的比较仪	分度值为 0.005 (相当于放大倍数 250 倍) 的比较仪
大于	至	不 确 定 度			
	25	0.0006	0.0010	0.0017	0.0030
25	40	0.0007			
40	65	0.0008	0.0011	0.0018	
65	90	0.0008			
90	115	0.0009	0.0012	0.0019	
115	165	0.0010	0.0013		
165	215	0.0012	0.0014	0.0020	0.0035
215	265	0.0014	0.0016	0.0021	
265	315	0.0016	0.0017	0.0022	

3·3·3 仲裁

从原则上讲,对同样的检测对象,不管是用极限量

规还是用通用量具检验,建立在统计分析基础上的误检率应大致相等。但实际上并非完全协调等效。因此,国家标准《光滑工件尺寸的检验》中规定,对测量结果



的争议,可以采用更精确的计量器具或按事先双方商定的方法解决。

#### 4 圆锥公差与配合

##### 4.1 锥度与锥角系列

###### 4.1.1 圆锥基本参数的术语及定义

**圆锥表面** 与轴线成一定角度,且一端相交于轴线的-条直线段(母线),围绕着该轴线旋转形成的表面。

**圆锥** 由圆锥表面与一定尺寸所限定的几何体。所谓一定尺寸指圆锥角、圆锥直径、圆锥长度、锥度等要素。外部表面或内部表面为圆锥表面的几何体分别称为外圆锥或内圆锥。

**圆锥角**  $\alpha$  在通过轴线的截面内,两条素线间的夹角,见图 1-2-30。

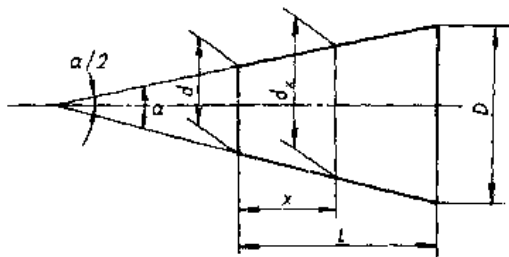


图 1-2-30 圆锥直径、长度、锥角

**圆锥直径** 圆锥在垂直轴线截面上的直径。如最大圆锥直径  $D$ ,最小圆锥直径  $d$ ,给定截面圆锥直径  $d_x$ 。

等,见图 1-2-30。

**圆锥长度**  $L$  最大圆锥直径截面与最小圆锥直径截面之间的轴向距离,见图 1-2-30。

**锥度**  $C$  两个垂直圆锥轴线截面的圆锥直径差与该两截面的轴向距离比。如最大圆锥直径  $D$  与最小圆锥直径  $d$  之差与圆锥长度  $L$  之比,即

$$C = \frac{D-d}{L}$$

锥度  $C$  与锥角  $\alpha$  的关系为

$$C = 2 \tan \frac{\alpha}{2} = 1 : \frac{1}{2} \cot \frac{\alpha}{2}$$

锥度一般用比例或分式形式表示,如 1:50 或 1/50。

由以上定义可知,用下面两种形式之一就可确定一个圆锥:由一个圆锥直径 ( $D$ 、 $d$  和  $d_x$  中取一),圆锥长度,圆锥角  $\alpha$  或锥度  $C$  确定圆锥;或由两个圆锥直径 ( $D$ 、 $d$  和  $d_x$  中取二)和圆锥长度(所取圆锥直径所在截面间的轴向距离)确定圆锥。

###### 4.1.2 锥度与锥角系列

锥度与锥角系列国家标准 GB157-89,包括一般用途圆锥和特殊用途的锥度与锥角系列,见表 1-2-25、表 1-2-26。

表 1-2-25 中一般用途圆锥的锥度与锥角基本值分二个系列。第 1 系列为优先选用系列,当不能满足需要时,选用第 2 系列。

表 1-2-27 列出一些一般用途圆锥的锥度与锥角系列的应用例,供设计时选用参考。

表 1-2-25 一般用途圆锥的锥度与锥角

基 本 值	推 算 值
系列 1	圆 锥 角 $\alpha$
120°	—
90°	—
75°	—
60°	—
45°	—
30°	—
1:3	18°55'28.7"
1:4	14°15'0.1"
1:5	11°25'16.3"
1:6	9°31'38.2"
—	18.924644°
—	14.250033°
—	11.421186°
—	9.527283°
—	1:0.288675
—	1:0.500000
—	1:0.651613
—	1:0.866025
—	1:1.207107
—	1:1.866025



(续)

基本值		推算值		
系列1	系列2	圆锥角 $\alpha$	锥度 C	
1:10	1:7	8°10'16.4"	8.171234°	—
	1:8	7°9'9.6"	7.152659°	—
		5°43'29.3"	5.724810°	—
	1:12	4°46'18.8"	4.771888°	—
1:20	1:15	3°49'5.9"	3.818305°	—
		2°51'51.1"	2.864192°	—
1:30		1°54'34.9"	1.909682°	—
1:50	1:40	1°25'56.8"	1.432222°	—
		1°8'45.2"	1.145877°	—
1:100		0°34'22.6"	0.572953°	—
1:200		0°17'11.3"	0.286478°	—
1:500		0°6'52.5"	0.114591°	—

表 1-2-26 特殊用途圆锥的锥度与锥角

基本值	推算值			说明
	圆锥角 $\alpha$	锥度 C		
18°30'	—	—	1:3.070115	} 纺织工业
11°54'	—	—	1:4.797451	
8°40'	—	—	1:6.598442	
7°40'	—	—	1:7.462208	
7:24	16°35'39.4"	16.594290°	1:3.428571	机床主轴, 工具配合
1:9	6°21'34.8"	6.359660°	—	电池接头
1:16.666	3°26'12.2"	3.436716°	—	医疗设备
1:12.262	4°40'11.6"	4.669884°	—	贾各锥度 No. 2
1:12.972	4°24'53.1"	4.414746°	—	No. 1
1:15.748	3°38'13.4"	3.637060°	—	No. 33
1:18.779	3°3'1.0"	3.050200°	—	No. 3
1:19.264	2°58'24.8"	2.973556°	—	No. 6
1:20.288	2°49'24.7"	2.823537°	—	No. 0
1:19.002	3°0'52.4"	3.014543°	—	莫氏锥度 No. 5
1:19.180	2°59'11.7"	2.986582°	—	No. 6
1:19.212	2°58'53.8"	2.981618°	—	No. 0
1:19.254	2°58'30.6"	2.975179°	—	No. 4
1:19.922	2°52'31.5"	2.875406°	—	No. 3
1:20.020	2°51'41.0"	2.861377°	—	No. 2
1:20.047	2°51'26.7"	2.857417°	—	No. 1

此星公司制作 请尊重作者版权





表 1-2-27 一般用途圆锥的锥度与锥角系列应用举例

锥 度 $C$	锥 角 $\alpha$	标 记	应 用 举 例
1:0.288 675	120°	120°	螺纹孔的内倒角, 节气阀, 汽车、拖拉机阀门、填料盒内填料的锥度
1:0.500 000	90°	90°	沉头螺钉, 沉头及半沉头铆钉头, 轴及螺纹的倒角, 重型顶尖、重型中心孔, 阀的阀销锥体
1:0.651 631	75°	75°	10~13mm 沉头及半沉头铆钉头
1:0.866 025	60°	60°	顶尖, 中心孔, 弹簧夹头, 沉头钻
1:1.207 107	45°	45°	沉头及半沉头铆钉
1:1.866 025	30°	30°	摩擦离合器, 弹簧夹头
1:3	18°55'28.7"	1:3	受轴向力的易拆开的结合面, 摩擦离合器
1:5	11°25'16.3"	1:5	受轴向力的结合面, 锥形摩擦离合器, 磨床主轴
1:7	8°10'16.4"	1:7	重型机床顶尖, 旋塞
1:8	7°9'9.6"	1:8	联轴器和轴的结合面
1:10	5°43'29.3"	1:10	受轴向力、横向力和转矩的结合面, 电机及机器的锥形轴伸, 主轴承调节套筒
1:12	4°46'18.8"	1:12	滚动轴承的衬套
1:15	3°49'5.9"	1:15	受轴向力零件的结合面, 主轴齿轮的结合面
1:20	2°51'51.1"	1:20	机床主轴, 刀具刀杆的尾部, 锥形铰刀
1:30	1°54'34.9"	1:30	锥形铰刀, 套式铰刀及扩孔钻的刀杆尾部, 主轴颈
1:50	1°8'45.2"	1:50	圆锥销, 锥形铰刀, 量规尾部
1:100	0°34'22.6"	1:100	受陡震及静变载荷的不需拆开的联接零件
1:200	0°17'11.3"	1:200	受陡震及冲击变载荷的不需拆开的联接件, 圆锥螺栓

表 1-2-26 中特殊用途的圆锥, 通常只用于表中最后一栏所指的适用范围。其中, 纺织工业指纺织机械附件的捻纱用锥形管、络纺用锥形管和染色用锥形管; 医疗设备指医用注射器和注射针头的联接部分; 六种贾各锥度用于机床、工具锥孔和钻夹; 七种莫氏锥度用于机床、工具刀柄自锁圆锥部分。

此外, 七种莫氏圆锥的尺寸和公差在国标 GB1443-85《工具柄自锁圆锥的尺寸和公差》中作了规定, 该标准还规定了 4, 6, 80, 100, 120, 160, 200 号七种米制圆锥的尺寸和公差。GB1443-85 是等效采用国际标准 ISO296-1974《工具柄自锁圆锥》制定的。

#### 4.2 圆锥公差制

圆锥公差制由 GB11334-89《圆锥公差》规定。该标准规定了圆锥公差的项目、给定方法和公差数值。适

用于锥度  $C$  从 1:3 至 1:500, 圆锥长度  $L$  从 6 至 630mm 的光滑圆锥, 标准中的圆锥角公差也适用于被体的角度与斜度。

GB11334-89 等效采用国际标准 ISO1947-1973《圆锥公差制 锥度  $C$  从 1:3 至 1:500、长度  $L$  从 6 至 630mm 的圆锥工件》。

#### 4.2.1 圆锥公差项目及圆锥公差数值

1. 圆锥直径公差  $T_D$ 。圆锥直径公差即圆锥点径的允许变动量, 它等于圆锥任何位置上两极限圆锥直径之差的绝对值, 见图 1-2-31。

圆锥直径公差  $T_D$  的数值, GB11334-89 中规定以基本圆锥直径作为基本尺寸, 按光滑圆柱体国标 GB/T1800 规定的标准公差选取, 选取的公差数值适用于圆锥长度全长。基本圆锥直径由设计给定, 可以是



最大圆锥直径  $D$ 、最小圆锥直径  $d$  或给定截面圆锥直径  $d_s$ 。一般以最大圆锥直径  $D$  作为基本尺寸选取公差数值。

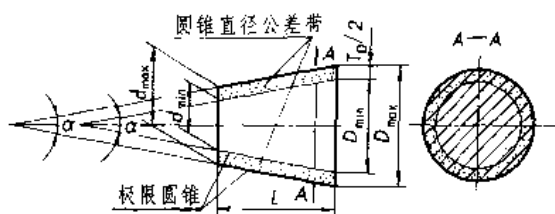


图 1-2-31 圆锥直径公差带

对于有配合要求的圆锥，内、外圆锥的配合形式、配合的基准制和公差带按国家标准 GB12360-90《圆锥配合》中的有关规定选择。

对于无配合要求的圆锥，内、外圆锥直径建议选用基本偏差  $J_s$ 、 $j_s$ ，按功能要求确定其公差等级。

2. 圆锥角公差  $AT$  ( $AT_s$  或  $AT_D$ ) 圆锥角公差  $AT$  (angle tolerance) 即圆锥角的允许变动量，它等于

圆锥的两极限圆锥角之差的绝对值，见图 1-2-32。

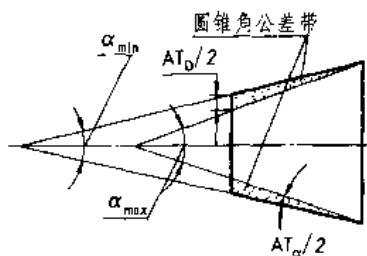


图 1-2-32 圆锥角公差带

GB11334-90 规定圆锥角公差分 12 个公差等级，由高到低分别用  $AT1$ 、 $AT2$ 、...、 $AT12$  表示，各等级与圆柱体标准公差相应各等级具有大体相当的加工难度，如  $AT6$  与  $IT6$  的加工难度大体相当。同时，标准允许根据需要按公比 1.6 向公差等级系列两端延伸到更高或更低等级的圆锥角公差。更高的等级用  $AT0$ 、 $AT01$ 、... 表示，更低等级用  $AT13$ 、 $AT14$ 、... 表示。圆锥角公差数值见表 1-2-28。

表 1-2-28 圆锥角公差数值

基本圆锥长度 $L$ (mm)		圆锥角公差等级								
		AT1		AT2		AT3				
		$AT_s$ ( $\mu\text{rad}$ )	$AT_D$ ( $\mu\text{m}$ )	$AT_s$ ( $\mu\text{rad}$ )	$AT_D$ ( $\mu\text{m}$ )	$AT_s$ ( $\mu\text{rad}$ )	$AT_D$ ( $\mu\text{m}$ )			
大于	至									
自 6	10	50	10"	>0.3~0.5	80	16"	>0.5~0.8	125	26"	>0.8~1.3
	10	40	8"	>0.4~0.6	63	13"	>0.6~1.0	100	21"	>1.0~1.6
	16	31.5	6"	>0.5~0.8	50	10"	>0.8~1.3	80	16"	>1.3~2.0
	25	25	5"	>0.6~1.0	40	8"	>1.0~1.6	63	13"	>1.6~2.5
	40	20	4"	>0.8~1.3	31.5	6"	>1.3~2.0	50	10"	>2.0~3.2
	63	16	3"	>1.0~1.6	25	5"	>1.6~2.5	40	8"	>2.5~4.0
	100	12.5	2.5"	>1.3~2.0	20	4"	>2.0~3.2	31.5	6"	>3.2~5.0
	160	10	2"	>1.6~2.5	16	3"	>2.5~4.0	25	5"	>4.0~6.3
	250	8	1.5"	>2.0~3.2	12.5	2.5"	>3.2~5.0	20	4"	>5.0~8.0
	400	6.3	1"	>2.5~4.0	10	2"	>4.0~6.3	16	3"	>6.3~10.0

基本圆锥长度 $L$ (mm)		圆锥角公差等级								
		AT4		AT5		AT6				
		$AT_s$ ( $\mu\text{rad}$ )	$AT_D$ ( $\mu\text{m}$ )	$AT_s$ ( $\mu\text{rad}$ )	$AT_D$ ( $\mu\text{m}$ )	$AT_s$ ( $\mu\text{rad}$ )	$AT_D$ ( $\mu\text{m}$ )			
大于	至									
自 6	10	200	41"	>1.3~2.0	315	1'05"	>2.0~3.2	500	1'43"	>3.2~5.0
	10	160	33"	>1.6~2.5	250	52"	>2.5~4.0	400	1'22"	>4.0~6.3
	16	125	26"	>2.0~3.2	200	41"	>3.2~5.0	315	1'05"	>5.0~8.0
	25	100	21"	>2.5~4.0	160	33"	>4.0~6.3	250	52"	>6.3~10.0
	40	80	16"	>3.2~5.0	125	26"	>5.0~8.0	200	41"	>8.0~12.5
	63	63	13"	>4.0~6.3	100	21"	>6.3~10.0	160	33"	>10.0~16.0
	100	50	10"	>5.0~8.0	80	16"	>8.0~12.5	125	26"	>12.5~20.0
	160	40	8"	>6.3~10.0	63	13"	>10.0~16.0	100	21"	>16.0~25.0
	250	31.5	6"	>8.0~12.5	50	10"	>12.5~20.0	80	16"	>20.0~32.0
	400	25	5"	>10.0~16.0	40	8"	>16.0~25.0	63	13"	>25.0~40.0



(续)

基本圆锥长度		圆锥角公差等级								
L (mm)		AT7			AT8			AT9		
大于	至	AT <sub>a</sub> (μrad)	AT <sub>D</sub> (μm)	AT <sub>a</sub> (μrad)	AT <sub>D</sub> (μm)	AT <sub>a</sub> (μrad)	AT <sub>D</sub> (μm)	AT <sub>a</sub> (μrad)	AT <sub>D</sub> (μm)	
自 6	10	800	2'45"	>5.0~8.0	1250	4'18"	>8.0~12.5	2000	6'52"	>12.5~20
10	16	630	2'10"	>6.3~10.0	1000	3'26"	>10.0~16.0	1600	5'30"	>16~25
16	25	500	1'43"	>8.0~12.5	800	2'45"	>12.5~20.0	1250	4'18"	>20~32
25	40	400	1'22"	>10.0~16.0	630	2'10"	>16.0~20.5	1000	3'26"	>25~40
40	63	315	1'05"	>12.5~20.0	500	1'43"	>20.0~32.0	800	2'45"	>32~50
63	100	250	52"	>16.0~25.0	400	1'22"	>25.0~40.0	630	2'10"	>40~63
100	160	200	41"	>20.0~32.0	315	1'05"	>32.0~50.0	500	1'43"	>50~80
160	250	160	33"	>25.0~40.0	250	52"	>40.0~63.0	400	1'22"	>63~100
250	400	125	26"	>32.0~50.0	200	41"	>50.0~80.0	315	1'05"	>80~125
400	630	100	21"	>40.0~63.0	160	33"	>63.0~100.0	250	52"	>100~160

基本圆锥长度		圆锥角公差等级								
L (mm)		AT10			AT11			AT12		
大于	至	AT <sub>a</sub> (μrad)	AT <sub>D</sub> (μm)	AT <sub>a</sub> (μrad)	AT <sub>D</sub> (μm)	AT <sub>a</sub> (μrad)	AT <sub>D</sub> (μm)	AT <sub>a</sub> (μrad)	AT <sub>D</sub> (μm)	
自 6	10	3150	10'49"	>20~32	5000	17'10"	>32~50	8000	27'28"	>50~80
10	16	2500	8'35"	>25~40	4000	13'44"	>40~63	6300	21'38"	>63~100
16	25	2000	6'52"	>32~50	3150	10'49"	>50~80	5000	17'10"	>80~125
25	40	1600	5'30"	>40~63	2500	8'35"	>63~100	4000	13'44"	>100~160
40	63	1250	4'18"	>50~80	2000	6'52"	>80~125	3150	10'49"	>125~200
63	100	1000	3'26"	>63~100	1600	5'30"	>100~160	2500	8'35"	>160~250
100	160	800	2'45"	>80~125	1250	4'18"	>125~200	2000	6'52"	>200~320
160	250	630	2'10"	>100~160	1000	3'26"	>160~250	1600	5'30"	>250~400
250	400	500	1'43"	>125~200	800	2'45"	>200~320	1250	4'18"	>320~500
400	630	400	1'22"	>160~250	630	2'10"	>250~400	1000	3'26"	>400~630

注: 1μrad 等于半径为 1m, 弧长为 1μm 所对应的圆心角。5μrad ≈ 1" (秒); 300μrad ≈ 1' (分)。

圆锥角公差 AT 可用角度值 AT<sub>a</sub> 或线值 AT<sub>D</sub> 两种形式表示。AT<sub>a</sub> 和 AT<sub>D</sub> 的关系

$$AT_D = AT_a \times L \times 10^{-3}$$

式中 AT<sub>a</sub> —— 角度值 (μrad);

AT<sub>D</sub> —— 线值 (μm);

L —— 基本圆锥长度 (mm)。

表 1·2-28 中, 同一圆锥长度 L 分段内, AT<sub>a</sub> 值是定值, 而 AT<sub>D</sub> 值依 L 分段的首尾值给出相应的 AT<sub>D</sub> 值范围。对于处于 L 尺寸段中间的 AT<sub>D</sub> 值应按 AT<sub>a</sub> 和 AT<sub>D</sub> 的关系式计算, 计算结果的尾数按 GB4112~4116—83《单位换算表》的规定进行修约, 其有效位数应与表 1·2-28 所列该 L 尺寸段中相应公差等级的最大 AT<sub>D</sub> 值位数相同, 如下例:

若 L 为 80mm, AT<sub>a</sub> 取 AT9, 由表 1·2-28 知, AT<sub>a</sub> 为 630μrad 或 2'10", 则

$$AT_D = AT_a \times L \times 10^{-3} = 630 \times 80 \times 10^{-3} = 50.4 \mu m$$

按与 L 尺寸段 AT<sub>D</sub> 最大值位数修约, 取 AT<sub>D</sub> = 50μm。

对于圆锥角的极限偏差, 在选取圆锥角公差后, 依功能要求, 标准允许圆锥角极限偏差按单向取值或双向取值 (图 1·2-33), 双向取值可以是对称的, 也可以是不对称的。

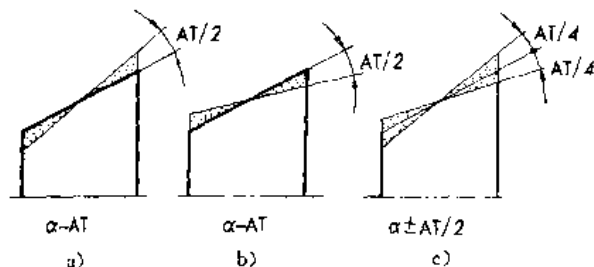


图 1·2-33 圆锥角极限偏差的分布

在一般情况下, 对锥角公差可不必单独提出要求, 而用圆锥直径公差加以限制。对有配合要求的内、外圆锥, 其圆锥角极限偏差的给定方向及其组合, 影响圆锥初始接触的部位。在 GB12360—90《圆锥配合》附录



中列出了其影响初始接触部位的各种情况，见表 1·2-31。当对锥角精度要求较高时，则应单独给出锥角公差 AT。当对初始接触部位无特殊要求，而只要求保证配合圆锥角之间的差别为最小时，内、外圆锥的极限偏差方向应相同。

3. 圆锥的形状公差  $T_F$  GB11334—89 规定圆锥的形状公差包括素线直线度公差和截面圆度公差两种。

素线直线度公差是在圆锥的任一轴向截面内允许实际素线形状的最大变动量。素线直线度公差带是在圆锥公差带中两条平行线间的区域。该两平行线间的距离等于素线直线度公差。

截面圆度公差是在垂直圆锥轴线的任一截面上允许截面实际形状的最大变动量。圆锥截面圆度公差带是在圆锥公差带图中，两个同心圆之间的区域。这两个同心圆之间的距离等于截面圆度公差。

圆锥形状公差  $T_F$  的数值按 GB1184—80《形状和位置公差 未注公差的规定》选取。

圆锥形状公差一般不单独给出，而由圆锥直径公差带限制。为满足功能需要，对圆锥形状公差有更高要求时，可给出圆锥形状公差，但它应小于圆锥直径公差的一半，一般用于比较重要的锥体配合，以保证结合的紧密性和可靠性，以及配合间隙的均匀性。

4. 给定截面圆锥直径公差  $T_{Ds}$  给定截面圆锥直径公差即在垂直圆锥轴线的给定截面内，圆锥直径的允许变动量（图 1·2-34），且仅适用于该给定截面。它等于给定的截面上两极限圆锥直径之差的绝对值。

给定截面圆锥直径公差  $T_{Ds}$  的数值，由 GB11334—89 规定以给定截面圆锥直径  $d_s$  为基本尺寸，按 GB/T1800 规定的标准公差选取，且选取的公差

仅适用于该给定截面，不适用于圆锥全长。

$T_{Ds}$  是考虑圆锥零件使用性能或制造上的需要而加以规定的，它应与圆锥角公差同时选用。

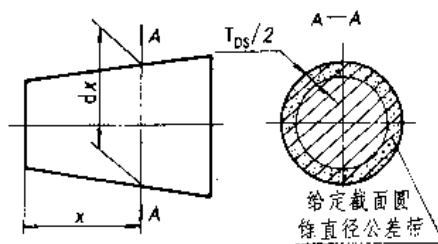


图 1·2-34 给定截面圆锥直径公差带

4·2·2 圆锥公差的给定方法

根据我国实际应用，并参考 ISO 标准和日本、德国、原苏联等国家标准，GB11334—89 规定了圆锥公差的两种给定方法。

1. 圆锥公差的第一种给定方法 这种方法（方法 1）规定：给出圆锥的理论正确圆锥角  $\alpha$ （或锥度 C）和圆锥直径公差  $T_D$ 。由  $T_D$  确定两个极限圆锥。此时，圆锥角误差和圆锥的形状误差均应在极限圆锥所限定的区域内。当对圆锥角公差 AT、圆锥的形状公差  $T_F$  有更高要求时，可再给出圆锥角公差和圆锥的形状公差。此时，AT 和  $T_F$  仅占  $T_D$  的一部分。

由于圆锥角误差大小直接影响圆锥配合表面的接触质量和对中性能。因此按方法 1 给定圆锥直径公差  $T_D$  后，应了解其所能限制的最大圆锥角误差能否满足功能要求。为此，GB11334—89 附录 A 给出了圆锥长度  $L$  为 100mm 时， $T_D$  所能限制的最大圆锥角误差  $\Delta\alpha_{max}$ ，见表 1·2-29，亦可参考表 1·2-29 选取符合限制  $\Delta\alpha_{max}$  的  $T_D$ 。

表 1·2-29 圆锥直径公差所能限制的最大圆锥角误差

圆锥直径公差等级	圆锥直径 (mm)						
	<3	>3~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80
$\Delta\alpha_{max}$ ( $\mu rad$ )							
IT01	3	4	4	5	6	6	8
IT0	5	6	6	8	10	10	12
IT1	8	10	10	12	15	15	20
IT2	12	15	15	20	25	25	30
IT3	20	25	25	30	40	40	50
IT4	30	40	40	50	60	70	80
IT5	40	50	60	80	90	110	130



(续)

圆锥直径公差等级	圆锥直径 (mm)						
	<3	>3~6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80
	$\Delta\alpha_{max}$ ( $\mu\text{rad}$ )						
IT6	60	80	90	110	130	160	190
IT7	100	120	150	180	210	250	300
IT8	140	180	220	270	330	390	460
IT9	250	300	360	430	520	620	740
IT10	400	480	580	700	840	1000	1200
IT11	500	750	900	1000	1300	1600	1900
IT12	1000	1200	1500	1800	2100	2500	3000
IT13	1400	1800	2200	2700	3300	3900	4600
IT14	2500	3000	3600	4300	5200	6200	7400
IT15	4000	4800	5800	7000	8400	10000	12000
IT16	6000	7500	9000	11000	13000	16000	19000
IT17	10000	12000	15000	18000	21000	25000	30000
IT18	14000	18000	22000	27000	33000	39000	46000

方法 I 通常适用于有配合要求的内、外圆锥,它也是在圆锥联接实际应用中较普遍采用的一种给定圆锥公差的方法。

**2. 圆锥公差的第二种给定方法** 这种方法(方法 II)规定:给出给定截面圆锥直径公差  $T_{DS}$  和圆锥角公差  $AT$ 。此时给定截面圆锥直径和圆锥角应分别满足这两项公差的要求。 $T_{DS}$  和  $AT$  的关系见图 1-2-35。

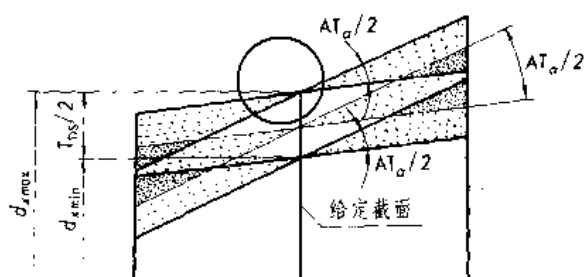


图 1-2-35  $T_{DS}$  与  $AT$  的关系

方法 II 是假定圆锥素线为理想直线的情况下给出的。当对圆锥形状公差有更高要求时,可再给出圆锥的形状公差  $T_F$ 。

方法 II 给出的  $T_{DS}$  与  $AT$  两者独立,当圆锥工件在给定截面圆锥直径公差带内为某一实际尺寸时,其圆锥角公差带为图 1-2-35 中两条细实线限定的对顶三角形区域;而图中靠上和靠下的两个对顶三角形区

域分别为工件在该截面上具有最大极限尺寸  $d_{max}$  和最小极限尺寸  $d_{min}$  时的圆锥角公差带。

标准中定义的实际圆锥角为:在实际圆锥的任一轴向截面内,包容圆锥素线且距离为最小的两对平行线之间的夹角(图 1-2-36)。据此定义,圆锥素线的方向由此平行直线的方向代表,排除了圆锥素线形状误差对圆锥角的影响。

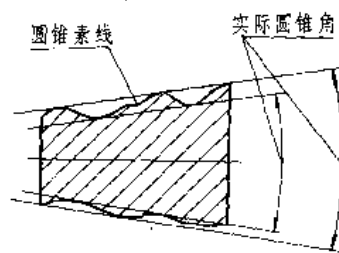


图 1-2-36 实际圆锥角

方法 II 仅适用于对圆锥工件的某给定截面直径有较高要求的情况。例如,在阀类零件中,两个相互结合的圆锥在规定的截面上要求接触良好,以保证有较好的密封性。

#### 4.3 圆锥配合制

GB12360-90《圆锥配合》等效采用国际标准 ISO5166-1982《圆锥配合》,与 GB11334-89《圆锥



公差》规定的适用范围一致并配套使用。

### 4.3.1 圆锥结合的应用及圆锥配合的形成方式

圆锥结合的应用可分为三类：

第一类为活动结合。这类结合是内、外圆锥沿其直径方向的间隙大于零，而且能在装配和使用过程中加以调整。主要用于圆锥滑动轴承机构中。

第二类为紧密结合。这类结合是内、外圆锥沿其直径方向的间隙为零或有小过盈。主要用在定心或密封的场合。

第三类为过盈结合。这类结合是内、外圆锥沿其直径方向有过盈，其特点除了过盈量可通过内、外圆锥轴向位移来调节外，而且只要有很小的过盈量就能传递很大的扭矩。这类结合广泛应用于工具的锥体部分及圆锥形摩擦离合器，也越来越多地应用在重型机械、船舶、机车等行业的传动装置中，用来替代键或花键联接传递较大的转矩。

圆锥配合的形成方式可分为两类：

第一类配合型式为结构型圆锥配合。它是由设计时确定的圆锥结合结构本身或结构尺寸来限定内、外圆锥相对轴向位置而获得所需配合。图1·2-37给出由内、外圆锥结构确定装配后内、外圆锥相对轴向位置的两例。图1·2-37a为轴肩与外圆锥大端端面接触得到的间隙配合；图1·2-37b为由锥体小端面接触得到的过盈配合。图1·2-38给出由内、外圆锥基准平面尺寸（称作基面距）确定装配后位置的两例。图1·2-38a为基面距在圆锥的小端的过盈配合；图1·2-38b为基面距在大端的过盈配合。基准平面定在大端还是小端，视测量方便和结构而定。

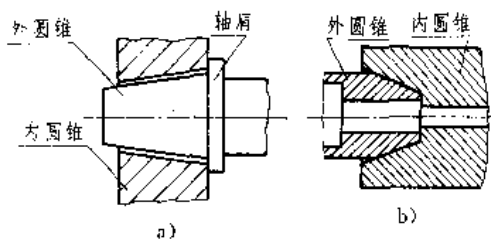


图1·2·37 结构确定内、外圆锥装配后的位置

第二类配合型式为位移型圆锥配合。它是由设计时确定轴向位移或产生位移的轴向力的大小来限定内、外圆锥相对轴向位置，从而获得所需配合，但装配后的终止位置不能准确给出。位移型圆锥配合中，可由内、外圆锥装配开始接触的位置（实际初始位置  $P_i$ ）起，沿轴向作定量的相对位移（轴向位移  $E_i$ ），从而得

到间隙配合或过盈配合。图1·2-39为这种方式得到的间隙配合。位移型圆锥配合也可由内、外圆锥实际初始位置  $P_i$  开始，施加规定的轴向装配力，从而产生相对轴向位移而得到过盈配合，见图1·2-40，其装配力作用在内圆锥端面上。

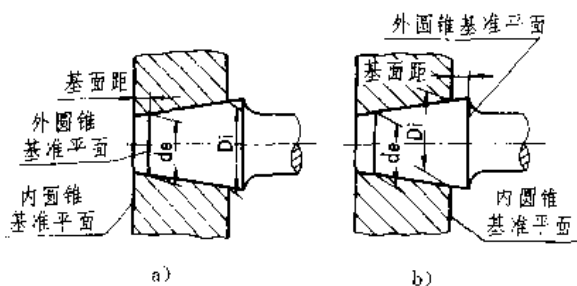


图1·2·38 基面距确定内、外圆锥装配后的位置

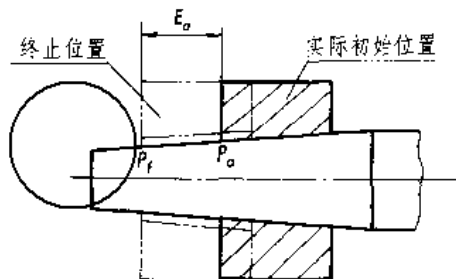


图1·2·39 轴向位移形成的间隙配合

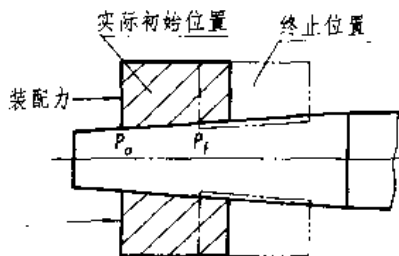


图1·2·40 装配力形成的过盈配合

### 4.3.2 圆锥配合的特点、定义及圆锥直径配合公差

1. 圆锥配合的特点及定义 圆锥配合的几何参数较多，参与配合的不仅有直径尺寸，还有角度尺寸；其配合性质和精度不仅取决于内、外圆锥的圆锥公差带的大小和位置，还取决于内、外圆锥的相对轴向位置；而且确定内、外圆锥的相对轴向位置是圆锥配合的主要特点和关键所在。

对结构型圆锥配合，设计所定的结构或给定的基面距，决定了内、外圆锥的相对轴向位置是固定的。因而配合性质取决于内、外圆锥直径公差带之间的关系，



二者配合间隙或过盈量的变动大小与给定的内、外圆锥直径公差的大小成正比。因而,结构型圆锥配合在这点上与圆柱配合是一样的。

对位移型圆锥配合,其内、外圆锥的相对轴向位置是通过给定装配时的轴向位移量或轴向装配力来达到的,而给定的位移量或装配力的起始点是实际初始位置 $P_0$ 。此时,内、外圆锥直径公差带的大小及其相互关系虽决定实际初始位置 $P_0$ 及其变动范围,并影响装

配后的终止位置,但配合性质却是由给定轴向位移或装配力的大小和方向所决定,且仅有间隙配合和过盈配合。装配时,在实际初始位置上间隙或过盈为零。随着装配的轴向移动,内、外圆锥向轴向靠紧的方向移动则装配后形成过盈配合;向轴向松开的方向移动则形成间隙配合。

结构型圆锥配合与位移型圆锥配合的特征见表1-2-30。

表 1-2-30 结构型与位移型圆锥配合的特征

特 征	结 构 型 圆 锥 配 合	位 移 型 圆 锥 配 合
装配的终止位置	固 定	不 定
配合性质的确定	圆锥直径公差带	轴向位移方向
配合精度	圆锥直径公差 ( $T_{D1}$ 、 $T_{D2}$ )	轴向位移公差 ( $T_E$ )
圆锥直径公差带	影响配合性质、接触质量	影响初始位置、接触质量
圆锥直径配合公差	$T_{D1} + T_{D2}$	$T_E \times C$

根据圆锥配合的形成方式和特点,GB12360-90给出圆锥配合的定义为:基本圆锥相同的内、外圆锥直径之间,由于结合不同所形成的相互关系。对于结构型圆锥配合,由内、外圆锥直径公差带决定;对于位移型圆锥配合,由内、外圆锥相对轴向位移( $E_0$ )决定。

2. 圆锥直径配合公差  $T_{Dp}$  圆锥配合是指内、外圆锥直径形成的相互关系,圆锥尺寸公差数值也是按直径给定,所指的间隙或过盈是指垂直于圆锥轴线方向,即径向的,而与圆锥角的大小无关。与此相应,GB12360-90给出了圆锥直径配合公差  $T_{Dp}$ ,其定义为:圆锥配合在配合的直径上允许的间隙或过盈的变动量。

结构型圆锥配合的直径配合公差  $T_{Dp}$  为

$$\text{间隙配合 } T_{Dp} = S_{\max} - S_{\min}$$

$$\text{过盈配合 } T_{Dp} = \delta_{\max} - \delta_{\min}$$

$$\text{过渡配合 } T_{Dp} = S_{\max} + \delta_{\max}$$

$$\text{对这三类配合 } T_{Dp} \approx T_{D1} + T_{D2}$$

式中  $S_{\max}$ 、 $S_{\min}$  —— 最大间隙量和最小间隙量;

$\delta_{\max}$ 、 $\delta_{\min}$  —— 最大过盈量和最小过盈量;

$T_{D1}$  —— 内圆锥直径公差;

$T_{D2}$  —— 外圆锥直径公差。

位移型圆锥配合没有过渡配合的情况,配合是由装配时的轴向位移实现的,因而其直径配合公差  $T_{Dp}$  为

$$\text{间隙配合 } T_{Dp} = S_{\max} - S_{\min}$$

$$\text{过盈配合 } T_{Dp} = \delta_{\max} - \delta_{\min}$$

$$\text{对这两类配合 } T_{Dp} = C \times T_E$$

式中  $C$  —— 内、外圆锥的锥度;

$T_E$  —— 位移型圆锥配合的轴向位移公差。

### 4.3.3 结构型圆锥配合

1. 圆锥公差带的规定 结构型圆锥配合的内、外圆锥公差带按GB11334-89《圆锥公差》的第一种公差给定方法确定。相互配合的内、外圆锥应在相同的基本圆锥直径上给出圆锥直径公差带代号。

圆锥直径公差代号和数值均采用GB/T1800规定的标准公差系列和基本偏差系列。标准公差确定圆锥直径公差带的大小,基本偏差确定圆锥直径公差带对基本圆锥直径的位置,因而也确定了两个极限圆锥。

内、外圆锥直径公差带按GB/T1800规定的尺寸至500mm孔、轴公差带与配合选取,如其中给出的一般公差带仍不能满足要求,可按GB/T1800规定的其他基本偏差及标准公差组成所需公差带。

2. 基准制与配合的选取 GB12360-90规定采用基准制,并且推荐优先采用基孔制。

根据圆锥配合的特性,圆锥配合不用于大间隙的场合,因此,对间隙配合外圆锥的基本偏差一般在d至h中选择。

标准规定圆锥配合的种类按GB/T1800选取,如其中给出的常用配合仍不能满足要求,可按GB/T1800规定其他公差带组成所需配合。

结构型圆锥配合中,内、外圆锥直径公差带的大小直接影响配合精度,因此推荐内、外圆锥直径公差带不低



于IT9。如对接触精度有更高要求,可进一步按圆锥角公差AT系列给出圆锥角极限偏差和圆锥形状公差 $T_F$ 。

#### 4.3.4 位移型圆锥配合

1. 术语及定义 初始位置 $P$  在不施加力的情况下,相互结合的内、外圆锥表面接触时的轴向位置。具体的初始位置由实际圆锥直径决定。设计时如对基面距有要求,则应进行极限初始位置计算。

极限初始位置 初始位置允许的界限。当内、外圆锥分别为最小、最大极限圆锥时,它们表面刚接触时的位置为极限初始位置 $P_1$ ;当内、外圆锥分别为最大、最小极限圆锥时,它们表面刚接触时的位置为极限初始位置 $P_2$ ,见图1-2-41,极限初始位置可用初始位置的基面距来表示,当内、外圆锥的基面距在大端,则位于 $P_1$ 时基面距最大, $P_2$ 时最小;当基面距在小端,则位于 $P_1$ 时基面距最小, $P_2$ 时基面距最大。

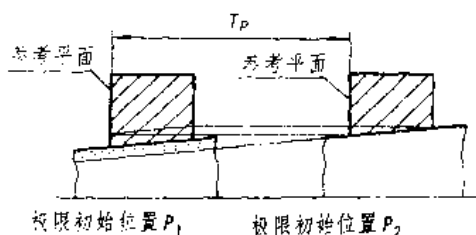


图 1-2-41 圆锥结合初始位置

初始位置公差 $T_P$  初始位置允许的变动量。它等于 $P_1$ 和 $P_2$ 之间的距离。初始位置与相结合的内、外圆锥直径公差带有关,见图1-2-41,即

$$T_P = \frac{1}{C} (T_D + T_{D_e})$$

实际初始位置 $P_a$  相结合的内、外实际圆锥的初始位置。它应位于极限初始位置 $P_1$ 和 $P_2$ 之间。每对相结合的内、外圆锥都有自己的实际初始位置,这取决于内、外圆锥的实际圆锥直径和实际圆锥角。

终止位置 $P_t$  相互结合的内、外圆锥,为使其终止状态得到要求的间隙或过盈所规定的相互轴向位置。与初始位置相同,终止位置也可由基面距来表示。终止位置上应得到设计要求的间隙或过盈。

装配力 $F_t$  相互结合的内、外圆锥,为在终止状态得到要求的过盈所施加的轴向力。

轴向位移 $E$  相互结合的内、外圆锥,从实际初始位置到终止位置移动的距离。轴向位移的方向决定

是间隙配合还是过盈配合;位移的大小决定间隙或过盈量的大小。

最小轴向位移 $E_{\min}$ 和最大轴向位移 $E_{\max}$  在相互结合的内、外圆锥终止位置上,得到最小间隙或最小过盈的轴向位移为最小轴向位移;得到最大间隙或最大过盈的轴向位移为最大轴向位移。实际上它们是设计者根据功能要求的间隙或过盈给出的允许轴向位移的两个极限值。

轴向位移公差 $T_E$  轴向位移允许的变动量。它等于最大轴向位移与最小轴向位移之差的绝对值

$$T_E = E_{\max} - E_{\min}$$

2. 圆锥直径公差带和配合的确定 位移型配合的圆锥直径公差带与配合性质无关,为计算和加工方便,应选取基本偏差为零或对称分布的圆锥直径公差带,即:对内圆锥的基本偏差应取H、Js或N(低于IT8时,基本偏差为零);对外圆锥的基本偏差应取h、js或k(低于IT7时,基本偏差为零)。标准推荐选用H、h或Js、js的组合。对于公差等级,可按终止位置的基面距要求和对接接触精度的要求选取。对基面距无要求时选择较低公差等级;有基面距要求时,应通过计算来选取或校核圆锥直径公差带。对这类配合,公差等级一般在IT8至IT12之间选取,对较高接触精度可用给出圆锥角公差带满足。

位移型圆锥配合的配合性质是通过装配中的轴向位移来达到。装配后的极限间隙或过盈可按GB/T1800给出的圆柱体配合的极限间隙或过盈选取,对重要的联结,可直接采用计算值。由功能要求的极限间隙或过盈可计算轴向位移的极限值。

对间隙配合

$$E_{\min} = \frac{1}{C} \times S_{\min}$$

$$E_{\max} = \frac{1}{C} \times S_{\max}$$

$$T_E = E_{\max} - E_{\min} = \frac{1}{C} \times (S_{\max} - S_{\min})$$

对于过盈配合

$$E_{\min} = \frac{1}{C} \times \delta_{\min}$$

$$E_{\max} = \frac{1}{C} \times \delta_{\max}$$

$$T_E = E_{\max} - E_{\min} = \frac{1}{C} \times (\delta_{\max} - \delta_{\min})$$

【例1-2-1】 互相配合的内、外圆锥,其基本直径为100mm,锥度C为1:50,要求装配后达到H8/s7的配合,计算所需的轴向位移和轴向位移公差。





解 由GB/T1800的极限过盈表,查得对 $\phi 100H8/u7$ ,最大过盈量 $\delta_{max}=159\mu m$ ,最小过盈量 $\delta_{min}=70\mu m$ ,则

$$E_{amin} = \frac{1}{C} \times \delta_{min} = 50 \times 70 = 3500\mu m = 3.5mm$$

$$E_{amax} = \frac{1}{C} \times \delta_{max} = 50 \times 159 = 7950\mu m = 7.95mm$$

$$T_E = E_{amax} - E_{amin} = 7.95 - 3.5 = 4.45mm$$

由装配力产生轴向位移达到的过盈配合,可由所需传递的力矩计算所需的极限装配力,这种情况下不需再计算极限过盈量。

#### 4.3.5 圆锥角偏离基本圆锥角时对圆锥配合的影响

圆锥角误差影响圆锥配合的接触精度,当直径公

差带所限制的圆锥角误差不能满足设计要求或对圆锥配合的接触精度有较高要求时,应进一步控制圆锥角误差。控制圆锥角误差可以通过给定较小的圆锥直径公差或在圆锥直径公差带内给出更高要求的圆锥角公差来达到,选取何种方法,应根据功能要求和经济性综合考虑。

**1. 内、外圆锥角极限偏差及其组合的给定** 在给定圆锥角公差的同时,要决定圆锥角公差带的配置,以满足不同功能要求下对圆锥角误差加以限制。表1.2-31列出内、外圆锥角不同极限偏差方向组合时,可能的圆锥角最大差值和初始接触部位的情况,供设计时作为限制实际圆锥角偏差的参考。

表 1.2-31 内、外圆锥角不同极限偏差的组合

基本圆锥角	圆锥角偏差		简 图	初始接触部位	圆锥角的最大差值
	内圆锥	外圆锥			
$\alpha$	$+AT_i$	$-AT_e$		最小圆锥直径	$AT_i + AT_e$
	$-AT_i$	$+AT_e$		最大圆锥直径	$AT_i + AT_e$
	$+AT_i$	$+AT_e$		视实际圆锥角而定,可能在最大圆锥直径( $\alpha_e > \alpha_i$ 时),也可能在最小圆锥直径( $\alpha_i > \alpha_e$ 时)	$AT_i$ 和 $AT_e$ 中较大者
	$-AT_i$	$-AT_e$			$AT_i$ 和 $AT_e$ 中较大者
	$\pm \frac{AT_i}{2}$	$\pm \frac{AT_e}{2}$			$\frac{AT_i + AT_e}{2}$
	$\pm \frac{AT_i}{2}$	$+AT_e$		可能在最大圆锥直径( $\alpha_i > \alpha_e$ 时),也可能在最小圆锥直径( $\alpha_i > \alpha_e$ 时),最大圆锥直径接触的可能比较大	$\frac{AT_i}{2} + AT_e$
	$-AT_i$	$\pm \frac{AT_e}{2}$			$AT_i + \frac{AT_e}{2}$



(续)

基本圆锥角	圆锥角偏差		简 图	初始接触部位	圆锥角的最大差值
	内圆锥	外圆锥			
$\alpha$	$\pm \frac{AT_i}{2}$	$-AT_e$		可能在最大圆锥直径 ( $\alpha_e > \alpha_i$ 时), 也可能在最小圆锥直径 ( $\alpha_i > \alpha_e$ 时), 最小圆锥直径接触的可能性比较大	$\frac{AT_i}{2} + AT_e$
	$+AT_i$	$\pm \frac{AT_e}{2}$			$AT_i + \frac{AT_e}{2}$

由表 1-2-31 可知, 当要求初始接触部位在最大圆锥直径上时, 应规定圆锥角为单向极限偏差, 且外圆锥取  $-AT_e$ , 内圆锥取  $-AT_i$ 。当要求初始接触部位在最小圆锥直径上时, 应规定圆锥角为单向极限偏差, 且外圆锥取  $-AT_e$ , 内圆锥取  $-AT_i$ 。当对初始接触部位无特殊要求, 而主要考虑接触精度时, 给定的内、外圆锥角的极限偏差方向应相同, 可以是对称的, 即外圆锥取  $\pm AT_e/2$ , 内圆锥取  $\pm AT_i/2$ ; 也可以是单向的, 即外圆锥取  $-AT_e$ , 内圆锥取  $-AT_i$ , 或  $-AT_e$  与  $-AT_i$ 。

2. 圆锥直径公差带所能限制的最大圆锥角误差: 当给定圆锥角直径公差  $T_D$  后, 若要补充给定圆锥角公差  $AT$ , 则应满足下列条件:

a. 给出圆锥角单向极限偏差  $+AT$  或  $-AT$  时

$$AT_D < \Delta\alpha_{\max} = T_D$$

$$AT_e < \Delta\alpha_{\max} \cdot \frac{T_D}{L} \times 10^3$$

式中  $\Delta\alpha_{\max}$  以长度单位表示的最大圆锥角误差 ( $\mu\text{m}$ );

$\Delta\alpha_{\max}$  以角度单位表示的最大圆锥角误差 ( $\mu\text{rad}$ )。

b. 给出圆锥角双向极限偏差  $\pm \frac{AT}{2}$  时

$$AT_D/2 < \Delta\alpha_{\max} = T_D$$

$$AT_e/2 < \Delta\alpha_{\max} \cdot \frac{T_D}{L} \times 10^3$$

给出的圆锥角公差除满足上式外, 还应符合标准规定的  $AT$  数值系列。圆锥直径公差  $T_D$  所能限制的最大圆锥角误差  $\Delta\alpha_{\max}$  值见表 1-2-29。

#### 4.3.6 圆锥轴向极限偏差及轴向公差

圆锥配合的主要特点是相结合的内、外圆锥之间的关系 (存在间隙还是过盈) 由其轴向位置决定, 并可

通过轴向位移来调整。在分析和选用圆锥配合时, 需要搞清圆锥轴向尺寸对径向尺寸的影响。为此, GB 12360-90《圆锥配合》在附录中给出了圆锥轴向极限偏差的概念及其计算方法。

#### 1. 圆锥轴向极限偏差及其与圆锥直径极限偏差的关系

圆锥轴向极限偏差是指圆锥的某一极限圆锥与其基本圆锥轴向位置的偏差。最小极限圆锥与基本圆锥在轴线方向的偏离为轴向上偏差, 内、外圆锥轴向上偏差代号分别为  $ES_z$  和  $es_z$ ; 最大极限圆锥与基本圆锥在轴线方向的偏离为轴向下偏差, 内、外圆锥轴向下偏差代号分别为  $EI_z$  和  $ei_z$ ; 靠近给出圆锥直径公差带截面 (零线截面) 的极限偏差为轴向基本偏差, 代号  $E$  (内圆锥)、 $e$  (外圆锥); 轴向上、下偏差之差的绝对值为轴向公差, 代号为  $T_z$ 。

图 1-2-42 分别给出内、外圆锥轴向极限偏差的示意图。图中, 设计给出的圆锥直径公差截面分别为最大

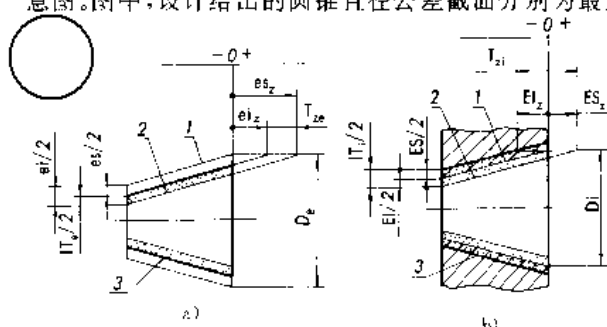


图 1-2-42 圆锥轴向极限偏差

a) 外圆锥 b) 内圆锥

1—基本圆锥 2—最小极限圆锥

3—最大极限圆锥

在 ISO 标准中, 这部分内容是作为“单个圆锥轴向位移的计算”给出的。在数值和计算公式上国标与 ISO 标准一致。



圆锥直径截面,即零线截面。它是计算轴向偏差的起始截面,图中标出了轴向偏差的正、负方向。

圆锥轴向极限偏差是根据圆锥直径极限偏差换算得到的。表1-2-32给出轴向极限偏差与直径极限偏差的换算公式。

表 1-2-32 圆锥轴向偏差与圆锥直径偏差的换算

轴向极限偏差	外圆锥	内圆锥
轴向上偏差	$es_s = -\frac{1}{C}ei$	$ES_s = -\frac{1}{C}EI$
轴向下偏差	$ei_s = -\frac{1}{C}es$	$EI_s = -\frac{1}{C}ES$
轴向基本偏差	$e_s = -\frac{1}{C}e$ 直径基本偏差	$E_s = \frac{1}{C}E$ 直径基本偏差
轴向公差	$T_{s_s} = \frac{1}{C}T_e$	$T_{s_i} = \frac{1}{C}T_E$

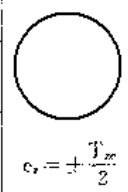
建立圆锥轴向极限偏差的概念并给出计算公式,可以用来确定圆锥配合的极限初始位置 and 配合后基面距的极限值。另外,可作为用圆锥量规检验圆锥直径的设计依据,即根据被检圆锥相对于圆锥量规的轴向位置来检查圆锥直径(GB11852《圆锥量规公差和技术条件》)。

2. 圆锥轴向极限偏差计算用表 GB12360-90 附录B中,按GB/T1800规定的基本偏差和标准公差计算,给出了锥度C=1:10时的外圆锥的轴向基本偏差(表1-2-33)和轴向公差T<sub>s</sub>(表1-2-34)的数值,及锥度C不等于1:10时的换算系数表(表1-2-35和表1-2-36)。当锥度不等于1:10时,由表1-2-33、表1-2-34中所给出的数值乘以表1-2-35、表1-2-36中相应换算系数。

由上述表中的数值,可以计算基孔制的轴向极限偏差。计算公式见表1-2-37。

表 1-2-33 锥度 C=1:10 时,外圆锥的轴向基本偏差(e<sub>s</sub>)数值 (mm)

基本偏差	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j		
基本尺寸	公差等级														
大于	至	所有等级										5,6	7	8	
-	3	+2.7	+1.4	+0.6	+0.34	+0.20	+0.14	+0.1	+0.06	+0.04	+0.02	0	+0.02	+0.04	+0.06
3	6	+2.7	+1.4	+0.7	+0.46	+0.30	+0.2	+0.14	+0.1	+0.06	+0.04	0	+0.02	+0.04	-
6	10	+2.8	+1.5	+0.8	+0.56	+0.40	+0.25	+0.18	+0.13	+0.08	+0.05	0	+0.02	+0.05	-
10	14	+2.9	+1.5	+0.95	-	+0.50	+0.32	-	+0.16	-	+0.06	0	+0.03	+0.06	-
14	18	+3	+1.6	+1.1	-	+0.65	+0.4	-	+0.20	-	+0.07	0	+0.04	+0.08	-
18	24	+3	+1.6	+1.1	-	+0.65	+0.4	-	+0.20	-	+0.07	0	+0.04	+0.08	-
24	30	+3.1	+1.7	+1.2	-	+0.80	+0.5	-	+0.25	-	+0.09	0	+0.05	+0.1	-
30	40	+3.2	+1.8	+1.3	-	+1	+0.06	-	+0.3	-	+0.1	0	+0.07	+0.12	-
40	50	+3.4	+1.9	+1.4	-	+1	+0.06	-	+0.3	-	+0.1	0	+0.07	+0.12	-
50	65	+3.6	+2	+1.5	-	+1.2	+0.72	-	+0.36	-	+0.12	0	+0.09	+0.15	-
65	80	+3.8	+2.2	+1.7	-	+1.2	+0.72	-	+0.36	-	+0.12	0	+0.09	+0.15	-
80	100	+4.1	+2.4	+1.8	-	+1.45	+0.85	-	+0.43	-	+0.14	0	+0.11	+0.18	-
100	120	+4.6	+2.6	+2	-	+1.45	+0.85	-	+0.43	-	+0.14	0	+0.11	+0.18	-
120	140	+5.2	+2.8	+2.1	-	+1.7	+1	-	+0.50	-	+0.15	0	+0.13	+0.21	-
140	160	+5.8	+3.1	+2.3	-	+1.7	+1	-	+0.50	-	+0.15	0	+0.13	+0.21	-
160	180	+6.6	+3.4	+2.4	-	+1.9	+1.1	-	+0.56	-	+0.17	0	+0.16	+0.26	-
180	200	+7.4	+3.8	+2.6	-	+1.9	+1.1	-	+0.56	-	+0.17	0	+0.16	+0.26	-
200	225	+8.2	+4.2	+2.8	-	+2.1	+1.25	-	+0.62	-	+0.18	0	+0.18	+0.28	-
225	250	+9.2	+4.8	+3	-	+2.1	+1.25	-	+0.62	-	+0.18	0	+0.18	+0.28	-
250	280	+10.5	+5.4	+3.3	-	+2.3	+1.35	-	+0.68	-	+0.2	0	+0.20	+0.32	-
280	315	+12	+6	+3.6	-	+2.3	+1.35	-	+0.68	-	+0.2	0	+0.20	+0.32	-
315	355	+13.5	+6.8	+4	-	+2.3	+1.35	-	+0.68	-	+0.2	0	+0.20	+0.32	-
355	400	+15	+7.6	+4.4	-	+2.3	+1.35	-	+0.68	-	+0.2	0	+0.20	+0.32	-
400	450	+16.5	+8.4	+4.8	-	+2.3	+1.35	-	+0.68	-	+0.2	0	+0.20	+0.32	-
450	500	+16.5	+8.4	+4.8	-	+2.3	+1.35	-	+0.68	-	+0.2	0	+0.20	+0.32	-



(续)

基本偏差		k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc		
基本尺寸		公差等级																
大于	至	≤3 >7	4至7	所 有 等 级														
—	3	0	0	-0.02	-0.04	-0.06	-0.1	-0.14	—	-0.18	—	-0.24	—	-0.26	-0.32	-0.4	-0.6	
3	6	0	0	-0.03	-0.04	-0.08	-0.12	-0.15	-0.19	—	-0.23	—	-0.28	—	-0.35	-0.42	-0.5	-0.8
6	10	0	0	-0.04	-0.06	-0.1	-0.15	-0.19	-0.23	—	-0.28	—	-0.34	—	-0.42	-0.52	-0.67	-0.97
10	14	0	0	-0.05	-0.07	-0.12	-0.18	-0.23	-0.28	—	-0.33	—	-0.4	—	-0.5	-0.64	-0.9	-1.3
14	18	0	0	-0.06	-0.08	-0.12	-0.18	-0.23	-0.28	—	-0.33	-0.39	-0.45	—	-0.6	-0.77	-1.08	-1.5
18	24	0	0	-0.07	-0.09	-0.15	-0.22	-0.28	-0.35	—	-0.41	-0.47	-0.54	-0.63	-0.73	-0.98	-1.36	-1.88
24	30	0	0	-0.08	-0.1	-0.15	-0.22	-0.28	-0.35	-0.41	-0.48	-0.55	-0.64	-0.75	-0.88	-1.18	-1.6	-2.18
30	40	0	0	-0.09	-0.11	-0.17	-0.25	-0.34	-0.43	-0.48	-0.6	-0.68	-0.8	-0.94	-1.12	-1.48	-2	-2.74
40	50	0	0	-0.1	-0.12	-0.17	-0.25	-0.34	-0.43	-0.54	-0.7	-0.81	-0.97	-1.14	-1.36	-1.80	-2.42	-3.25
50	65	0	0	-0.11	-0.13	-0.2	-0.32	-0.41	-0.53	-0.66	-0.87	-1.02	-1.22	-1.44	-1.72	-2.25	-3	-4.05
65	80	0	0	-0.12	-0.14	-0.2	-0.32	-0.43	-0.59	-0.75	-1.02	-1.2	-1.46	-1.74	-2.1	-2.74	-3.6	-4.8
80	100	0	0	-0.13	-0.15	-0.23	-0.37	-0.51	-0.71	-0.91	-1.24	-1.46	-1.78	-2.14	-2.58	-3.35	-4.45	-5.85
100	120	0	0	-0.14	-0.16	-0.23	-0.37	-0.54	-0.73	-1.04	-1.44	-1.72	-2.10	-2.54	-3.1	-4	-5.25	-6.9
120	140	0	0	-0.15	-0.17	-0.23	-0.37	-0.63	-0.92	-1.22	-1.7	-2.02	-2.48	-3	-3.65	-4.7	-6.2	-8
140	160	0	0	-0.16	-0.18	-0.27	-0.43	-0.65	-1	-1.34	-1.9	-2.28	-2.8	-3.4	-4.15	-5.35	-7	-9
160	180	0	0	-0.17	-0.19	-0.27	-0.43	-0.68	-1.08	-1.46	-2.1	-2.52	-3.1	-3.8	-4.65	-6	-7.8	-10
180	200	0	0	-0.18	-0.2	-0.27	-0.43	-0.77	-1.22	-1.66	-2.36	-2.84	-3.5	-4.25	-5.2	-6.7	-8.8	-11.5
200	225	0	0	-0.19	-0.21	-0.31	-0.5	-0.80	-1.3	-1.8	-2.58	-3.1	-3.85	-4.7	-5.75	-7.4	-9.8	-12.5
225	250	0	0	-0.2	-0.22	-0.31	-0.5	-0.84	-1.4	-1.98	-2.84	-3.4	-4.25	-5.2	-6.4	-8.2	-10.5	-13.5
250	280	0	0	-0.21	-0.23	-0.34	-0.55	-0.94	-1.58	-2.18	-3.15	-3.85	-4.75	-5.8	-7.1	-9.2	-12	-15.5
280	315	0	0	-0.22	-0.24	-0.34	-0.55	-0.98	-1.7	-2.4	-3.5	-4.25	-5.25	-6.5	-7.9	-10	-13	-17
315	355	0	0	-0.23	-0.25	-0.37	-0.62	-1.08	-1.9	-2.68	-3.9	-4.75	-5.9	-7.3	-9	-11.5	-15	-19
355	400	0	0	-0.24	-0.26	-0.37	-0.62	-1.14	-2.08	-2.94	-4.35	-5.3	-6.6	-8.2	-10	-13	-16.5	-21
400	450	0	0	-0.25	-0.27	-0.4	-0.68	-1.26	-2.32	-3.3	-4.9	-5.95	-7.4	-9.2	-11	-14.5	-18.5	-24
450	500	0	0	-0.26	-0.28	-0.4	-0.68	-1.32	-2.52	-3.6	-5.4	-6.6	-8.2	-10	-12.5	-16	-21	-26

表 1-2-34 锥度 C=1:10 时, 轴向公差(T<sub>z</sub>)数值 (mm)

基本尺寸		公差等级										
大于	至	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	
—	3	0.02	0.03	0.04	0.06	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1	
3	6	0.025	0.04	0.05	0.08	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	
6	10	0.025	0.04	0.06	0.09	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	
10	18	0.03	0.05	0.08	0.11	0.18	0.27	0.43	0.70	1.1	1.8	
18	30	0.04	0.06	0.09	0.13	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	
30	50	0.04	0.07	0.11	0.16	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	
50	80	0.05	0.08	0.13	0.19	0.30	0.46	0.74	1.2	1.9	3	
80	120	0.06	0.10	0.15	0.22	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	
120	180	0.08	0.12	0.18	0.25	0.40	0.63	1	1.6	2.5	4	
180	250	0.10	0.14	0.20	0.29	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	
250	315	0.12	0.16	0.23	0.32	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	
315	400	0.13	0.18	0.25	0.36	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	
400	500	0.15	0.20	0.27	0.40	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	



表 1·2-35 一般用途圆锥的换算系数

基本值		换算系数	基本值		换算系数
系列1	系列2		系列1	系列2	
1:3		0.3		1:15	1.5
	1:4	0.4	1:20		2
1:5		0.5	1:30		3
	1:6	0.6		1:40	4
	1:7	0.7	1:50		5
	1:8	0.8	1:100		10
1:10		1	1:200		20
	1:12	1.2	1:300		50

表 1·2-36 特殊用途圆锥的换算系数

基本值	换算系数	基本值	换算系数
18°30'	0.3	1:18.779	1.8
11°54'	0.48	1:19.002	1.9
8°40'	0.66	1:19.180	1.92
7°40'	0.75	1:19.212	1.92
7:24	0.34	1:19.254	1.92
1:9	0.9	1:19.264	1.92
1:12.262	1.2	1:19.922	1.99
1:12.972	1.3	1:20.020	2
1:15.748	1.57	1:20.047	2
1:16.666	1.67	1:20.288	2

表 1·2-37 基孔制轴向极限偏差计算公式

内圆锥	基本偏差代号	轴向上偏差	轴向下偏差
	H	$ES_z = 0$	$EI_z = -T_d$
外圆锥	a 至 g	$es_z = e_s + T_{zc}$	$ei_z = e_z$
	h	$es_z = +T_{zc}$	$ei_z = 0$
	js	$es_z = +\frac{T_{zc}}{2}$	$ei_z = -\frac{T_{zc}}{2}$
	j 至 zc	$es_z = e_z$	$ei_z = e_z - T_{zc}$

4·3·7 基准平面间极限初始位置和极限终止位置的计算

GB12360-90 在附录 C 中给出了由相互配合的圆锥基准平面之间的距离,即基面距确定的极限初始位置和极限终止位置的计算方法。

表 1·2-38 列出了内、外圆锥基准平面之间的距离确定极限初始位置  $Z_{pmin}$  和  $Z_{pmax}$  的计算公式。

表 1·2-38 基准平面间极限初始位置的计算公式

已知参数	基准平面的位置	计算公式	
		$Z_{pmin}$	$Z_{pmax}$
圆锥直径极限偏差	在锥体大直径端(图 1·2-43)	$Z_p + \frac{1}{C}(ei - ES)$	$Z_p + \frac{1}{C}(es - EI)$
	在锥体小直径端(图 1·2-44)	$Z_p + \frac{1}{C}(EI - es)$	$Z_p + \frac{1}{C}(ES - ei)$
圆锥轴向极限偏差	在锥体大直径端(图 1·2-43)	$Z_p + EI_z - es_z$	$Z_p + ES_z - ei_z$
	在锥体小直径端(图 1·2-44)	$Z_p + ei_z - ES_z$	$Z_p + es_z - EI_z$

注:表中  $Z_p = Z_c - Z_i$ ; 在外圆锥距基准平面为  $Z_c$  处的  $d_{xc}$  和内圆锥距基准平面为  $Z_i$  处的  $d_{xi}$  是相等的。

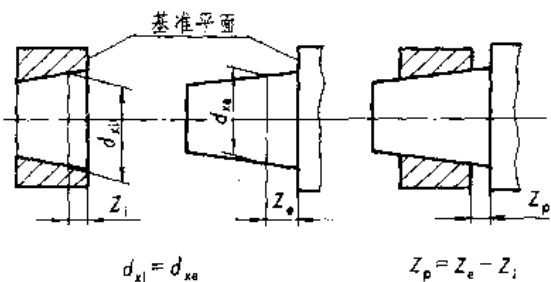


图 1·2-43 基准平面在锥体大直径端

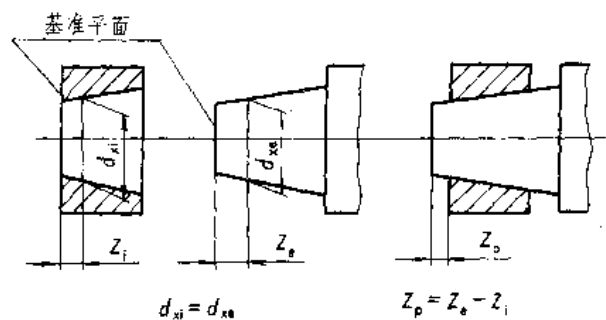


图 1·2-44 基准平面在锥体小直径端



对位移型圆锥配合,只要对基面距有要求,都要进行基准平面间极限初始位置和极限终止位置的计算。若采用标准推荐的 H/h 和 Js/js 组成的配合公差带,则可按轴向公差进行简化计算,计算公式列于表 1·2-39。

表 1·2-40 列出了位移型圆锥配合的基准平面间

极限终止位置  $Z_{p\min}$ 、 $Z_{p\max}$  的计算公式。 $Z_{p\min}$  和  $Z_{p\max}$  为装配后基准平面之间允许达到的极限终止位置,对位移型圆锥配合,它们是在基准平面之间极限初始位置的基础上再进行轴向位移达到的;对结构型圆锥配合,基准平面之间的终止距离已由结构或结构尺寸限定,所以不需进行计算。

表 1·2-39 基准平面间极限初始位置的简化计算公式

配合圆锥直径公差带位置的组合	基准平面的位置	计 算 公 式	
		$Z_{p\min}$	$Z_{p\max}$
$\frac{H}{h}$	在锥体大直径端(图 1·2-43)	$Z_p - (T_{ze} + T_{zi})$	$Z_p$
	在锥体小直径端(图 1·2-44)	$Z_p$	$Z_p + (T_{ze} + T_{zi})$
$\frac{Js}{js}$	在锥体大直径端(图 1·2-43)	$Z_p - \frac{1}{2}(T_{ze} + T_{zi})$	$Z_p + \frac{1}{2}(T_{ze} + T_{zi})$
	在锥体小直径端(图 1·2-44)	$Z_p - \frac{1}{2}(T_{ze} + T_{zi})$	$Z_p + \frac{1}{2}(T_{ze} + T_{zi})$

表 1·2-40 基准平面间极限终止位置的计算

已知参数	基准平面的位置	计 算 公 式	
		$Z_{p\min}$	$Z_{p\max}$
间隙配合轴向位移 $E_s$	在锥体大直径端(图 1·2-43)	$Z_{p\min} + E_{s\min}$	$Z_{p\max} + E_{s\max}$
	在锥体小直径端(图 1·2-44)	$Z_{p\min} - E_{s\max}$	$Z_{p\max} - E_{s\min}$
过盈配合轴向位移 $E_p$	在锥体大直径端(图 1·2-43)	$Z_{p\min} - E_{p\max}$	$Z_{p\max} - E_{p\min}$
	在锥体小直径端(图 1·2-44)	$Z_{p\min} + E_{p\min}$	$Z_{p\max} + E_{p\max}$

注:表中  $Z_{p\min}$ 、 $Z_{p\max}$  的值用表 1·2-38 的公式计算。

## 第3章 形状和位置公差<sup>[5]~[7]</sup>

形状和位置公差,简称形位公差,或称几何公差,用于控制零件要素的形状、方向和位置等几何精度,以保证机器、仪器的工作精度、寿命、装配互换性和制造经济性等要求。

### 1 形状和位置公差的基本术语<sup>①</sup>

**要素** 构成零件几何特征的点、线、面。它是考虑对零件规定形位公差的具体对象。

**单一要素** 仅对其本身给出形状公差要求的要

素。如一平面、一圆柱、二平行平面等。

**关联要素** 对其他要素有功能关系的要素。它是给出位置公差、跳动公差的要素,而其他有功能关系的要素即基准要素。

**理想要素** 几何学意义上的要素。

**实际要素** 零件上实际存在的要素,它由测量得出的要素来代替。

① 摘自 GB1183-80。





表 1-3-1 各国形位公差项目及符号

类别	项目名称	中国 GB1182—1980	国际 ISO1101—1983	美国 ANSI Y14.5M—1982	英国 BS308.2 加拿大 CASB78.2 德国 DIN7184	法国 NFE04 日本 JIS B0021 澳大利亚 AS1100.13
单一要素	形状公差					
	直线度					
	平面度				与 ISO 符号相同	与 ISO 符号相同
	圆度					
	圆柱度					
单一或关联要素	轮廓公差					
	线轮廓度				与 ISO 符号相同	与 ISO 符号相同
	面轮廓度					
关联要素的位置公差	定向公差					
	平行度					
	垂直度					
	倾斜度					
	位置公差					
	同轴度					
	对称度			①	与 ISO 符号相同	与 ISO 符号相同
	位置度					
跳动公差	圆跳动			②		
	全跳动			②		与 ISO 符号相同

① ANSI 于 1982 年取消了对称度项目及符号，相应的要求用位置度表达。

② 允许涂黑。





表 1-3-2 其他有关符号

名称	中国 GB1182 —1980	国际 ISO1101 —1983	美国 ANSI Y14.5M —1982	英国 BS 308.2	加拿大 CAS B78.2	德国 DIN 7184	法国 NFE04 —1983	日本 JIS B0021 —1984	澳大利亚 AS1100.10 —1974
基准要素符号									
基准要素代号									
基准目标									
理论正确尺寸									
包容要求									
最大实体状态									
最小实体状态									
可逆要求									
与要素大小无关									
延伸公差带									用粗点划线表示
自由状态			用文字说明		用文字说明				
不准凹下	(+)								
不准凸起	(-)	用文字说明							
只许按符号小端方向逐渐减少		在框格附近用文字说明						在框格附近用文字说明	
指示轮廓的全周	在框格下用文字说明								

① 我国正在制订此项标准。

② 标准正在修订，符号已纳入修订草案。

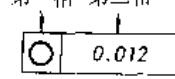
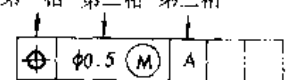
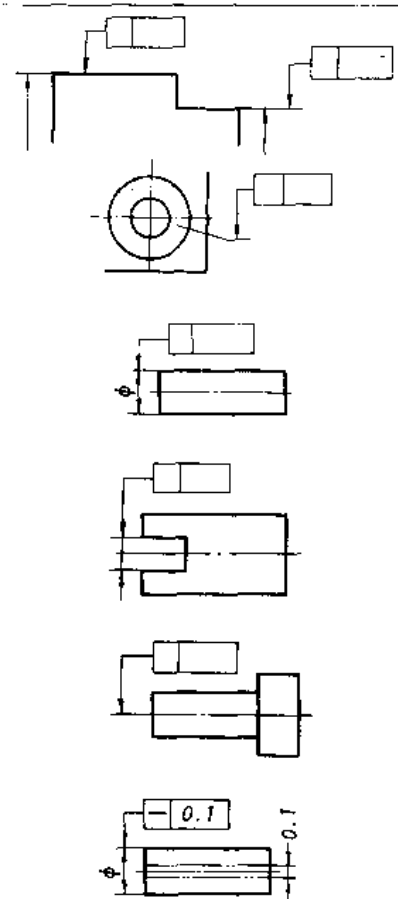
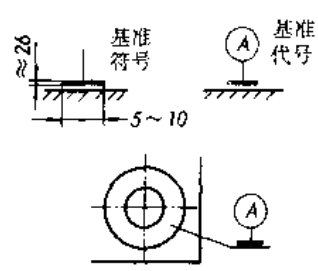


2.2 形状和位置公差的注法

2.2.1 框格法

采用框格法标注形位公差的要则见表 1-3-3。

表 1-3-3 框格法注法要则

项目	注 法 要 则	图 例
公差框格	<p>1. 公差框格分为二格或多格，按从左至右或从下至上顺序为：                      第一格 填写公差项目符号                      第二格 填写公差值及有关符号                      第三格及以后 填写基准代号和有关符号</p> <p>2. 框格用细实线画，相对于图样标题栏，可纵向或横向放置</p>	<p>第一格 第二格</p>  <p>第一格 第二格 第三格</p> 
公差框格与被测要素的联系	<p>1. 自公差框格的某一端引出带箭头的指引线，并按下述原则与被测要素发生联系：</p> <p>a. 形位公差是指要素表面时，箭头应指在要素可见轮廓线、尺寸界线或其延长线上，并与尺寸线错开；或用带圆点的指引线直接指在该要素表面上</p> <p>b. 形位公差是指某一要素的轴线或中心平面时，带箭头的指引线应与该要素的尺寸线相述</p> <p>c. 形位公差是指几个要素的公共轴线或中心平面时，指示箭头可以直接指在表示公共轴线或中心平面的点划线上</p> <p>2. 箭头应指向公差带的宽度方向或直径</p>	
公差框格与基准要素的联系	<p>1. 基准要素应以基准符号或基准代号标明。基准符号或代号画在基准要素可见轮廓线、尺寸界线或其延长线的近旁；或用带圆点的指引线指在该表面上</p> <p>2. 公差框格与基准的联系：</p>	

机械工业出版社 请尊重作者版权


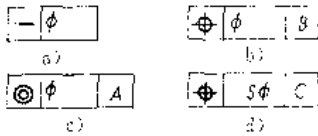
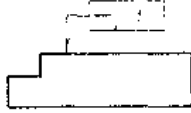

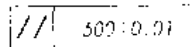
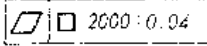
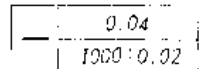
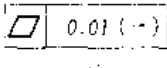
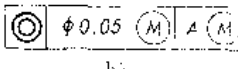
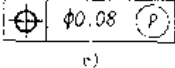
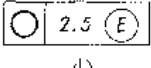


(续)

项目	注 法 要 则	图 例
公差框格与基准要素的联系	<p>a. 采用基准代号时, 在基准代号的圆框内与公差框格的基准格中填写相同的大写拉丁字母</p> <p>b. 采用基准符号时, 用细实线直接将基准符号与公差框格的另一端相联</p> <p>3. 基准符号或代号的放置原则与带箭头的指引线的指向原则相同, 即</p> <p>基准要素为表面时, 基准符号或代号靠近该表面的轮廓线或其延长线</p> <p>当基准要素为轴线或中心平面时, 基准符号或代号的连线应与该要素的尺寸线对齐</p> <p>4. 由两个要素构成的组合基准, 如公共轴线、公共中心平面, 基准字母写在公差框格第三格内, 字母间加一短划</p> <p>5. 若基准按三基面体系组成, 应根据功能要求的优先顺序, 将基准字母分别写在几个基准格内</p> <p>6. 当基准为一组要素(成组基准要素), 或单一基准要素因地位不够时, 基准代号可标在公差框格之下</p> <p>7. 基准目标是在基准要素上指定的点、线、面, 其标注方法为:</p> <p>a. 点目标, 用符号“×”表示</p> <p>b. 线目标, 用双点划线表示, 并在棱边上加符号“×”</p>	
	<p>c. 面目标, 用双点划线画出该面的图形, 并画上与水平线成 45°的细实线</p>	



(续)

项目	注 法 要 则	图 例
公差要素的联系	<p>8. 任选基准的标注为两端都用箭头指引线, 要求以任何表面作基准都应满足公差要求</p>	
公差值	<p>1. 图样上给出的公差值单位为 mm</p> <p>2. 公差带若为圆、圆柱, 应在公差值前加符号 <math>\phi</math>; 若公差带为球, 则应加 <math>S\phi</math></p> <p>3. 若无其他说明时, 公差值适用于箭头所指整个要素</p> <p>4. 公差仅表示要素的某一指定部分时, 用细实线画出其范围, 并注明有关尺寸</p> <p>5. 表示整个要素的任一给定长度 (或范围) 的公差值时, 应将给定的长度 (或范围) 值写在公差值之前, 中间用符号 “:” 隔开</p> <p>6. 同时表示要素的任一给定长度 (或范围) 与全长 (或整个范围) 的公差时, 用分式表示: 全长公差值写在横线上方, 局部公差值写在下方</p>	     <p>解释: 每 2000×2000 正方形面积中, 平面度误差不得大于 0.04。</p>  <p>解释: 每一 1000 长度的直线度误差不得大于 0.02; 全长上总的直线度误差不得大于 0.04</p>
其他	<p>1. 凡属对形位公差有特殊要求而又无规定符号者 (表 1-3-2), 该符号一律画在公差值或基准字母之后</p>	 <p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>c)</p>  <p>d)</p>



(续)

项目	注 法 要 则	图 例
	<p>2. 若无规定符号而要附加说明时:</p> <p>a. 管槽对象和数量的说明写在公差框格上方</p>	
其	<p>b. 测量要求或方法, 或其他解释性说明写在框格下方</p> <p>3. 当要素的某一尺寸已在其他地方出现过一次, 而该要素公差框格又需与该要素的尺寸线相连时, 则用不注出数值的空白尺寸线注出; 对于基准要素亦采用同样方法</p>	
他	<p>4. 以中心孔为基准, 若中心孔采用代号标注时, 基准代号画在引线近旁</p> <p>5. 若基准仅为基准要素的一部分时, 应用细实线画出其范围, 然后在其上画出基准代号</p> <p>6. 被测要素为螺纹中径轴线时不加说明, 若为其他直径轴线时, 要在框格下说明 (用汉字或用 MD 表示大径, LD 表示小径)</p>	

① ISO、ANSI、BS、AS、CAS 等标准的规定与此相反, 公差值为分子, 给定长度或范围为分母, 如 0.05/100。

此星公司制作 请尊重作者版权

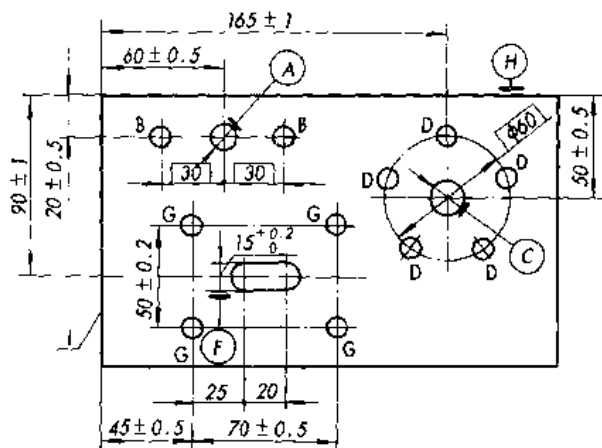


2.2.2 表格法

在图样中也可用表格方式说明形位公差的要求。表格的格式见图 1.3-5。

2.2.3 用文字在技术要求中说明

当无法采用代号标注，或用代号标注十分复杂只能采用文字标注时，允许用文字说明。



组别	要素			形位公差		
	文字	尺寸	数量	符号	公差值	基准
1	A	$\phi 10^{+0.1}$	1	$\oplus$	$\phi 0.5(M)$	A(M)
	B	$\phi 8^{+0.5}$	2	$\oplus$	$\phi 0.5(M)$	A(M)
2	C	$\phi 12^{+0.2}$	1	$\oplus$	$\phi 0.5(M)$	C(M)
	D	$\phi 7^{-0.6}$	5	$\oplus$	$\phi 0.5(M)$	C(M)
3	F	—	1	$\equiv$	$\phi 0.2(M)$	F(M)
	G	$\phi 8^{-0.5}$	4	$\equiv$	$\phi 0.2(M)$	F(M)
4	H	—	—	$\perp$	0.05	H
	I	—	—	$\perp$	0.05	H

图 1.3-5 表格法

3 形状公差

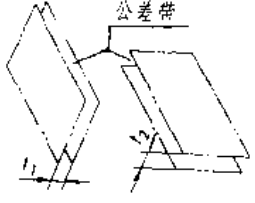
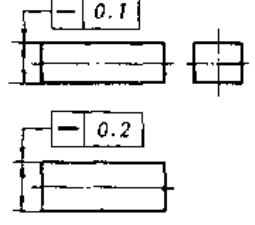
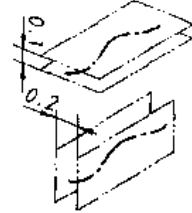
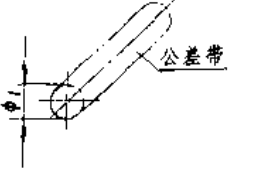
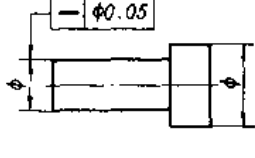

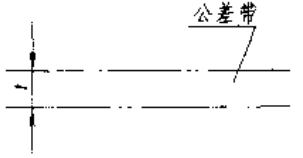
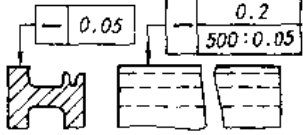
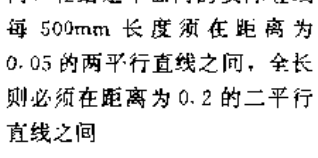
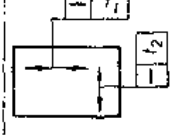
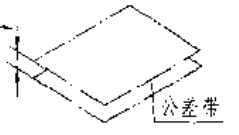

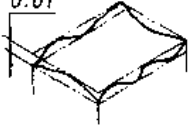
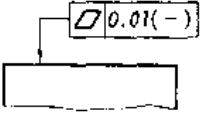

GB1183—80 规定了六项形状公差，其标注及解释见表 1.3-4。

表 1.3-4 形状公差

项目	公差带	图例	公差图解及解释	备注
直线度	距离为公差值 $t$ 的二平行直线间的区域		在任意轴平面内，圆柱面素线必须在距离为 0.012 的二平行直线之间	
	1. 给定一个方向；距离为公差值 $t$ 的二平行平面间的区域		三棱柱的棱线，必须在距离为 0.006 的两平行平面之间	只控制图示方向的直线度



(续)

项目	公差带	图 例	公差图解及解释	备 注
直 线 度	<p>2. 给定两个方向：距离为公差值 <math>t_1</math> 及 <math>t_2</math> 的两对互相垂直的平行平面</p> 		<p>四棱柱的轴线必须分别在图示方向的两对间距各为 0.1 与 0.2 的两平行平面之内；该两对平面互相垂直。</p> 	<p>给定的两个方向必须互相垂直</p>
	<p>直径为公差值 <math>t</math> 的圆柱</p> 		<p>销钉杆部的轴线必须在 <math>\phi 0.05</math> 的圆柱内</p> 	
平 面 度	<p>距离为公差值 <math>t</math> 的两平行直线</p> 		<p>导轨横向（短向）上任一实际直线必须在距离为 0.05 的两平行直线之间；导轨纵向（长向）在给定平面内的实际直线每 500mm 长度须在距离为 0.05 的两平行直线之间，全长则必须在距离为 0.2 的两平行直线之间</p> 	<p>ISO1101 规定：当给定方向的公差需要直接标在要素表面上时，可采用如图的方法</p> 
	<p>距离为公差值 <math>t</math> 的两平行平面间的区域</p> 		<p>实际表面上各点必须在距离为 0.01 的两平行平面之间</p> 	
			<p>实际表面上各点必须在距离为 0.01 的两平行平面之间、表面中间不准凸起</p> 	



(续)

项目	公差带	图例	公差图解及解释	备注
圆 度	以公差值 $t$ 为半径差的两同心圆间的区域		<p>垂直于轴线的任一剖面，其实际轮廓必须在半径差为 0.01 的两同心圆之间</p>	<p>若要规定测量方式(如两点法、三点法等)，可加说明，如</p> <p>3-1 为测量方法代号，即采用三点法测圆度，见 GB1958—80</p>
	以公差值 $t$ 为直径，圆心在理想轮廓线上的一系列圆的两条包络线间的区域		<p>通过球心的任一剖面，其实际轮廓须在半径差为 0.01 的两同心圆之间</p>	
圆柱度	以公差值 $t$ 为半径差的两同轴圆柱面间的区域		<p>外圆柱面必须在半径差为 0.01 的两同轴圆柱面之间</p>	
线 轮 廓 度	以公差值 $t$ 为直径，圆心在理想轮廓线上的一系列圆的两条包络线间的区域		<p>在平行主视图的任一剖面内，被测轮廓线必须在一系列 <math>\phi 0.04</math> 圆的两包络线之间；这些圆的圆心须在理想轮廓线上</p>	<p>线轮廓度用于平面非圆曲线</p>
	以公差值 $t$ 为直径，圆心在理想轮廓线上的一系列圆的两条包络线间的区域		<p>实际轮廓必须在一系列 <math>\phi 0.2</math> 圆的两包络线之间；这些圆的圆心必须在以 A (两孔连线) 为基准，由正确尺寸给定的理想轮廓线上</p>	





(续)

项目	公差带	图 例	公差图解及解释	备 注
面轮廓度	以公差值 $t$ 为直径、球心在理想轮廓面上的一系列球的两包络面间的区域		实际曲面必须在直径为 $\phi 0.02$ 、球心在理想轮廓面上的一组球的两包络面之间	面轮廓度用于任意曲面

#### 4 位置公差

GB1183-80 规定了八项位置公差，其解释见表 1-3-5。

表 1-3-5 位置公差

项目	公差带	图 例	公差图解及解释	备 注
平 行 度	<p>平行于基准、距离为公差值 <math>t</math> 的二平行平面间的区域</p>		被测表面必须在距离为 0.01 的二平行平面之间，此二平面平行于基准面 A	
			孔的轴线必须在距离为 0.05 的二平行平面之间，此二平面平行于基准面 B	
			被测表面必须在图示箭头方向上、距离为 0.05 的二平行平面之间，此二平面平行于基准轴线 C	

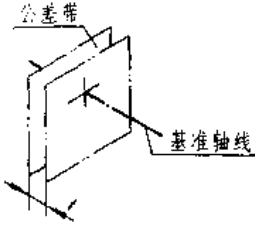
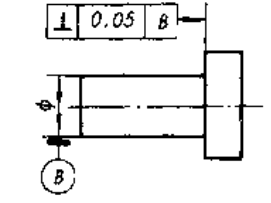
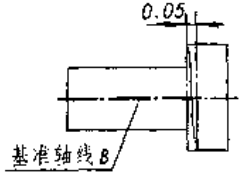
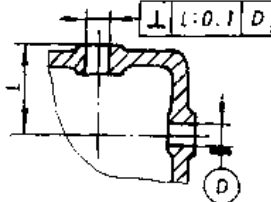
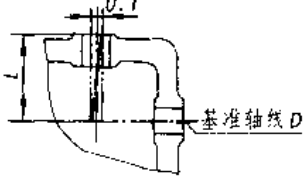
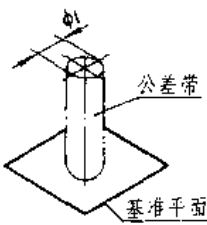
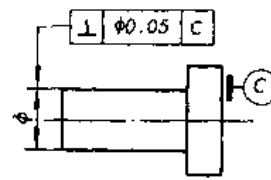
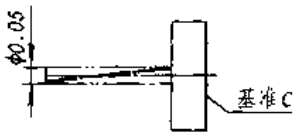
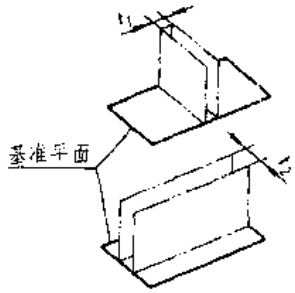
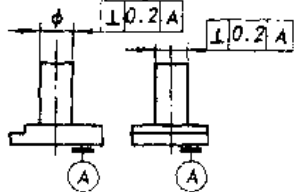
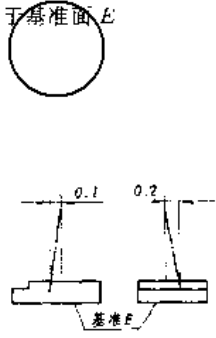


(续)

项目	公差带	图 例	公差图解及解释	备 注
平	平行于基准轴线、以公差值 $t$ 为直径的圆柱		<p>被测轴线必须在 <math>\phi 0.1</math> 的圆柱内,此圆柱的轴线平行基准轴线 <math>D</math></p>	
行 度	距离为公差值 $t_1$ 与 $t_2$ 且互相垂直的两对二平行平面间的区域: 该两对平面与基准轴平行		<p>被测轴线必须分别在距离各为 0.1 与 0.2 的两对二平行平面之间; 该两对平面平行于基准轴线 <math>E</math> 且互相垂直</p>	图示 0.2 方向的平行度为过去轴线歪斜度
垂 直 度	垂直于基准、距离为公差值 $t$ 的二平行平面间的区域		<p>被测表面必须在距离为 0.1 的二平行平面之间,此二平面垂直于基准面</p>	
垂 直 度			<p>被测轴线必须在距离为 0.05 的二平行平面之间; 此二平面垂直于基准 <math>A</math></p>	



(续)

项目	公差带	图例	公差图解及解释	备注
垂			<p>被测表面必须在距离为 0.05 的二平行平面之间, 此二平面垂直于基准轴 B</p> 	
			<p>被测轴线在给定的长度 L 范围内, 须位于 0.1 的二平行平面之间, 此二平面垂直于基准轴 D</p> 	
直	<p>垂直于基准、以公差值 <math>t</math> 为直径的圆柱</p> 		<p>被测轴线必须在 <math>\phi 0.05</math> 的圆柱内, 此圆柱的轴线垂直于基准面 C</p> 	
度	<p>距离为公差值 <math>t_1</math> 与 <math>t_2</math>, 且互相垂直的两对二平行平面间的区域; 该两对平面垂直于基准</p> 		<p>被测轴线必须分别在距离为 0.1 与 0.2 的两对二平行平面之间; 该两对平面互相垂直, 且垂直于基准面 E</p> 	



(续)

项目	公差带	图例	公差图解及解释	备注
斜	与基准轴线成 $\alpha$ 角、距离为公差值 $t$ 的二平行平面间的区域		斜孔的轴线必须在距离为0.08、且与基准轴线A倾斜 $60^\circ$ 的二平行平面之间	
			被测表面必须位于距离为0.1、且与基准轴线A成 $75^\circ$ 的二平行平面之间	
度	与基准平面成 $\alpha$ 角、距离为公差值 $t$ 的二平行平面间的区域		斜孔的轴线必须位于距离为0.08、且与基准平面A成 $60^\circ$ 并以B为第二基准的二平行平面之间	
			被测表面必须位于距离为0.08、且与基准平面A成 $40^\circ$ 的二平行平面之间	

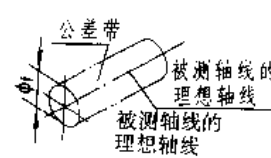
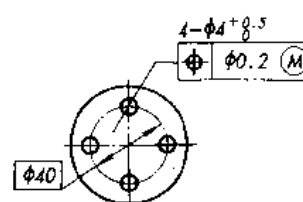
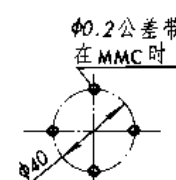

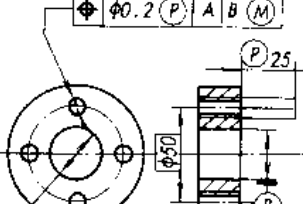
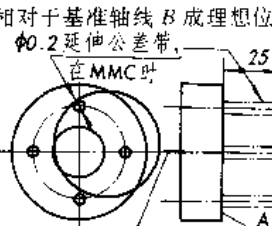
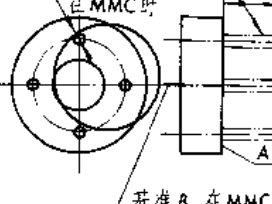
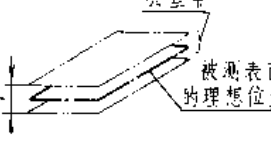
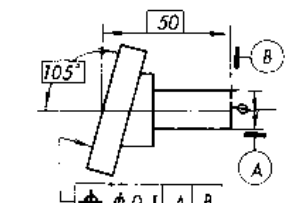
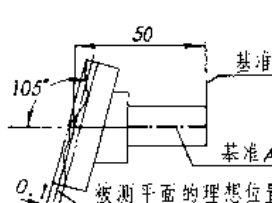



(续)

项目	公差带	图例	公差图解及解释	备注
同轴度	以基准轴线为轴线、公差值 $t$ 为直径的圆柱		<p>被测轴线必须在 <math>\phi 0.01</math> 的圆柱内, 此圆柱与基准轴 A 同轴</p>	ISO1101 规定同轴度与同心度都采用此同一符号。同心度公差带若为圆时, 其圆心应与基准点重合
	以基准要素的中心平面为基准、公差值 $t$ 为直径的圆柱		<p>被测轴线必须在 <math>\phi 0.04</math> 的圆柱内, 此圆柱与公共基准轴线 A-B 同轴</p>	
对称度	以基准要素的中心平面为中心, 距离为公差值 $t$ 的二平行平面间的区域		<p>键槽的中心平面必须在距离为 <math>0.04</math> 的二平行平面之间, 此二平面以基准中心平面 A 为中心对称配置</p>	对称度用于其中心平面的要素
	以基准要素的中心平面为基准、公差值 $t$ 为距离的二平行平面间的区域		<p>槽的中心平面必须在距离为 <math>0.3</math> 的二平行平面之间, 此二平面的中心平面与基准中心平面 B 中心平面重合</p>	
位置度	中心在理想位置、公差值 $t$ 为直径的球或圆的区域		<p>实际点须在 <math>\phi 0.5</math> 的圆周内, 圆周的圆心位于正确尺寸 <math>50</math> 及 <math>100</math> 所确定的理想位置</p>	
	中心直线在理想位置距离为公差值 $t$ 的二平行直线间的区域		<p>各条直线须各位于距离为 <math>0.05</math> 的二平行直线之间, 此二直线对称于由正确尺寸确定的理想直线</p>	



(续)

项目	公差带	图例	公差图解及解释	备注
位	<p>轴线在理想位置、公差值 <math>t</math> 为直径的圆柱</p> 		<p>4个φ4的孔在最大实体状态(MMC)时,其轴线须各在4个φ0.2的圆柱公差带内,这四个公差带的轴线由正确尺寸φ10及90°(图中省略标注)定位</p> 	<p>宜采用综合量规检验</p>
			<p>4个φ6的孔在MMC时,其轴线须各在1个圆柱内,4-φ6的理想图框对于基准A、B、C而确定</p> 	<p>当4个M6的螺孔及基准B均在MMC时,螺孔的轴线须位于直径为0.2、长度为25的圆柱公差带内。但此4个公差带应垂直且突出于基准A之外,并相对于基准轴线B成理想位置</p> 
度	<p>以理想位置为中心、距离为公差值 <math>t</math> 的二平行平面间的区域</p> 		<p>被测表面必须在距离为0.1的二平行平面之间,此二平面的中心平面的理想位置相对于基准A及B而确定</p> 	

此星公司制作 请尊重原作者版权



(续)

项目	公差带	图例	公差图解及解释	备注
圆跳动	<p>径向圆跳动</p> <p>在任一垂直于基准轴线的测量平面内,半径差为公差值<math>t</math>的二同心圆间的区域,该中心在基准轴线上</p>		<p>被测圆柱面绕基准轴线A-B旋转一圈(无轴向移动),在任一测量平面内,测量仪器测得的跳动量均不得超过0.04</p>	<p>1. 跳动反映形状和位置的综合误差</p> <p>当无需严格区别形状和位置误差时,宜采用此法</p> <p>2. 当可忽略被测圆柱轴线的位置误差时,可用径向圆跳动限制圆度要求</p> <p>3. 当可忽略圆柱表面的形状误差时,可用径向圆跳动限制同轴度误差</p>
	<p>端面圆跳动</p> <p>在任一半径位置的测量圆柱表面(该轴与基准轴线重合)上,由距离为公差值<math>t</math>的两圆周所确定的圆柱表面上的区域</p>		<p>被测端面绕基准轴线C旋转一圈而无轴向移动时,测量仪器在直径<math>\phi 80</math>处测得的跳动量不得超过0.2</p> <p>图上若不标注<math>\phi 80</math>,则为任一测量位置的轴向圆跳动量均不得超过0.2</p>	
	<p>斜向圆跳动</p> <p>在任一与基准轴线同轴的测量圆锥表面上,沿母线方向距离为公差值<math>t</math>的二圆锥确定的圆锥表面上的区域</p>		<p>在圆锥面的法线方向上,该表面绕基准轴线D旋转一周无轴向移动时,测量仪器在任一位置所测得的跳动量均不得超过0.1</p>	
<p>径向全跳动</p> <p>半径差为公差值<math>t</math>,且与基准轴线同轴的两圆柱面间的区域</p>		<p>被测表面绕基准轴线A-B作多周连续旋转,且当测量仪器沿平行于基准轴的直线方向与该表面作相对移动时,圆柱表面上任意点的全跳动量不得超过0.1</p>	<p>径向全跳动可综合限制圆柱面的圆度、直线度以及基准的同轴度的误差</p>	



(续)

项目	公差带	图例	公差图解及解释	备注
全跳动	轴向(端面)全跳动 垂直于基准轴线、距离为公差值 $t$ 的三平行平面间的区域		当端面绕基准轴 $D$ 作多周连续旋转,且测量仪器沿垂直于基准轴而与该部分有相对径向运动时,端面上任一点的全跳动量不得超过0.1	端面全跳动与端面对轴线的垂直度的控制作用相同。由于全跳动的检验方便,故常用此项目代替平面对轴线的垂直度

### 5 非刚性件的公差注法

非刚性件是指脱离加工状态后,会有很大变形的零件,如薄壁金属零件、橡皮零件等。为了保证这类零件的使用要求,图样上要给出其在自由状态下和限制条件下的形位公差。

自由状态,即零件仅受重力作用下的状态。

限制条件,即模拟实际装配及检测时所给定的约束力或夹持力

表1-3-6是ISO10579及ANSI Y14.5M有关非刚性件公差注法的图例及解释。

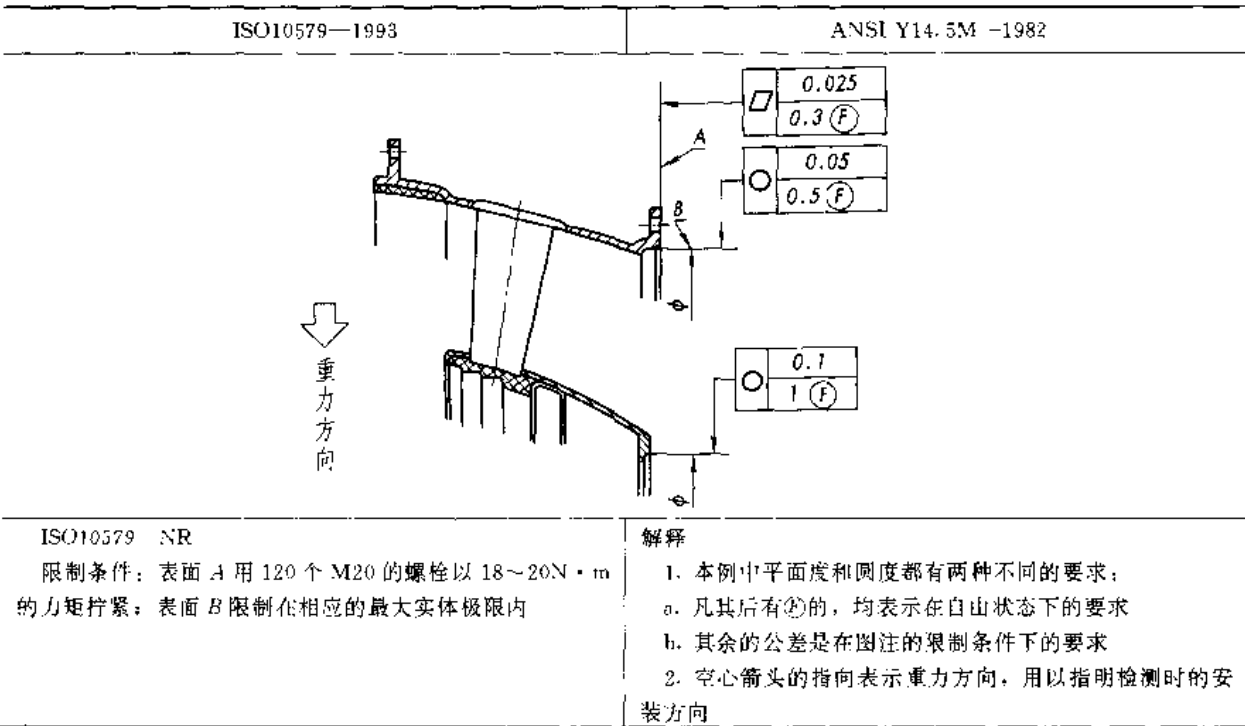
表 1-3-6 非刚性件公差注法

ISO10579-1993	ANSI Y14.5M-1982
<p>ISO-10579-NR 限制条件:基准表面A用64个M6的螺栓以9~15N·m的力矩拧紧,基准B要限制在相应的最大实体极限内</p> <p>图样上的注法 解 释</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 符号<math>F</math>表示在“自由状态”下的要求;因此,圆度公差2.5<math>F</math>应在自由状态下检测</li> <li>2. 跳动公差2是表示基准要素A和B要在图中给定的约束条件下,以之为基准来测量被测表面的最大圆跳动量</li> </ol>	<p>注1:此公差的适用条件是,基准要素A用64个M6×1的螺栓以9~15N·m的力矩拧紧在安装面上,且将基准要素B限制在规定的尺寸极限内</p> <p>图样上的注法 解 释</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本例的解释与ISO10579的相同,但注法略有不同,即:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 不采用符号而在框格下用文字“自由状态”说明</li> <li>b. 相关的圆柱直径以“平均直径”的方式给出,放在尺寸后加注“平均”二字</li> </ol> </li> <li>2. 非刚性件以平均直径为基础给出圆度,是保证该要素的实际直径能满足装配要求</li> </ol>





(续)



## 6 基准及其应用

### 6.1.2 基准要素的类型

#### 6.1 基准与三基面体系

作为单一基准使用的基准要素有三种，见图 1-3-6。

##### 6.1.1 基准与基准要素 (参见本章 1 节)

#### 6.1.3 三基面体系

要素的定位、定向常需要多个基准，因而引入三基

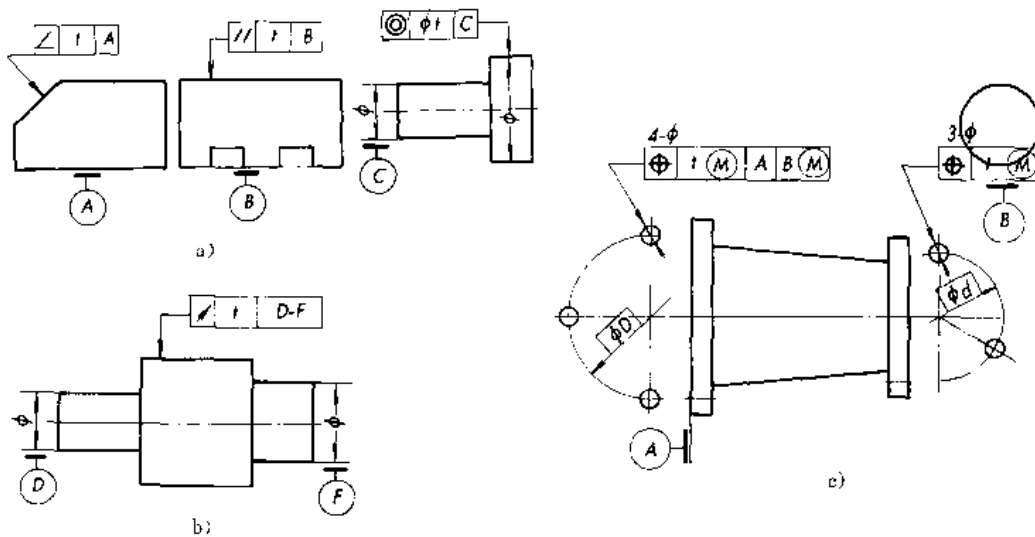


图 1-3-6 基准要素的类型

a) 单一基准要素：如一平面（包括连续同一平面）、一圆柱 b) 组合基准要素：如公共轴线、公共中心平面 c) 成组基准要素：以一孔组作基准

① 摘自 GB1183—80；ISO5459—1981；ANSI Y14.5M—1982。



面体系。该体系由互相垂直的三个理想平面构成。这些基准平面是定位、测量的起点。任意二基准平面的交线X、Y、Z称为基准轴，轴的方向为测量方向。三轴的交点称基准点，见图1-3-7。

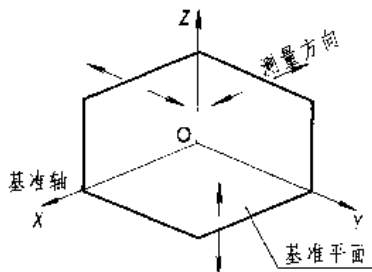


图 1-3-7 三基面体系

单一基准要素的基准平面，即三基面体系中的一基准平面。单一基准要素的轴线，即三基面体系中的一基准轴（它代表两个基准平面）。成组基准即三基面体系中的两个基准平面。

### 6.2 基准的体现

基准要素本身存在形位误差，要体现理想的基准，可采用模拟法、直接法、分析法和目标法。

#### 6.2.1 模拟法

即用具有足够精确形状的实物表面来体现基准平面、基准轴线、基准点。具有足够精确的实物表面即模拟基准要素，如机床、量具等的工作台表面、心轴、V形块等。这些要素的理想要素即基准，见图1-3-8~图

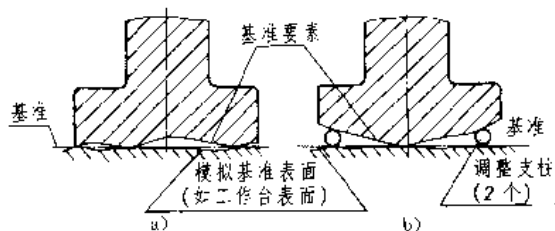


图 1-3-8 模拟基准平面

a) 稳定接触（通常能符合最小条件） b) 不稳定接触（应按最小条件调平）

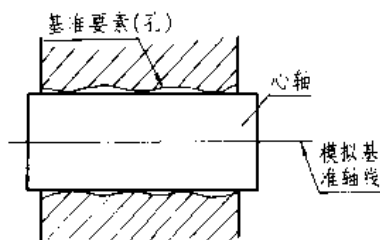


图 1-3-9 模拟基准轴线

1-3-10。

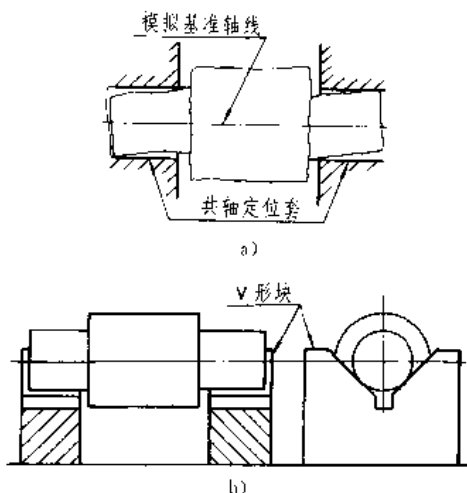


图 1-3-10 模拟基准-公共轴线

#### 6.2.2 目标法

在基准要素表面上，选择确定的点、线、面作基准，即是目标法。目标法的标注见表1-3-3基准栏第7条。基准目标用下列方法体现：

点目标：用球端支承体现，见图1-3-11。

线目标：用刃口状或圆销直素线体现。

面目标：用与图样上规定的形状和大小平面支承体现。

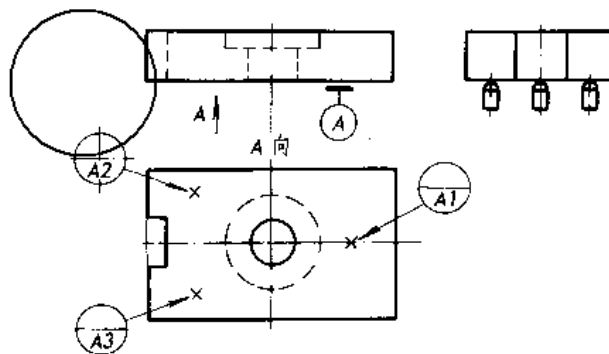


图 1-3-11 基准目标的体现

#### 6.2.3 三基面的体现及基准顺序的影响

基准要素有形位误差，体现三基面时要注意基准要素的先后顺序。按顺序体现基准时：

第一基准要素与第一基面按最小条件接触；

第二基准要素与第二基面至少两点接触；

第三基准要素与第一基面至少一点接触。

基准要素的顺序反映被测要素与各基准要素几何



关系的重要程度。图1-3-12为基准先后顺序不同的影响，图中A、B为模拟基准。

基准优先顺序的标注，见表1-3-3基准栏第5条。

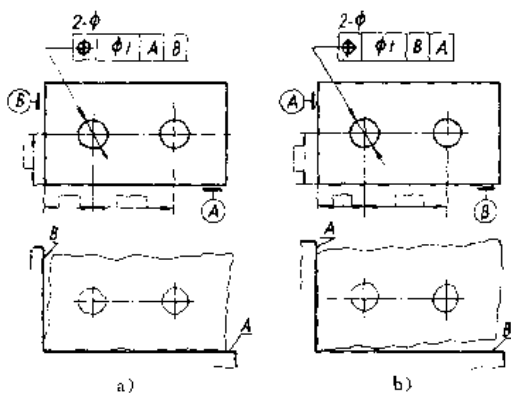


图1-3-12 基准顺序不同的影响

a) 以A为第一基准要素，优先保证二孔中心连线与A面平行 b) 以B为第一基准要素，优先保证二孔中心连线与B面垂直

### 6.3 基准的选择及应用

#### 6.3.1 基准的选择原则

零件上任一要素都可选作基准。选择原则是：根据设计和使用要求，考虑结构特征，并兼顾设计基准与工艺基准、检验基准三统一的原则。通常可从以下几方面考虑：

(1) 根据设计时要素的功能及要素间几何关系来选择。例如，对旋转轴，通常即以与轴承相配的轴颈为基准。

(2) 根据装配关系，应选择零件相互配合、相互接触的表面作为各自的基准，以保证零件的正确装配。

(3) 从加工、测量角度考虑，应选择夹具、量具中定位的相应要素作基准，并尽量使测量基准与设计基准统一。

(4) 对于粗糙的或未经加工的表面，以及不规则形状表面，可采用基准目标。

(5) 基准要素应有足够的大小和刚度。

(6) 必要时，应对基准要素规定较严格的形位公差。

#### 6.3.2 基准要素的数量及其顺序的选择

在位置公差(包括带基准的轮廓度公差)中，从几

何特征来说，通常只需一个基准。但有时因使用要求或结构关系需要采用三基准体系中的几个基准。当采用多基准时，则应注意基准顺序的选择。举例见图1-3-13~图1-3-16。

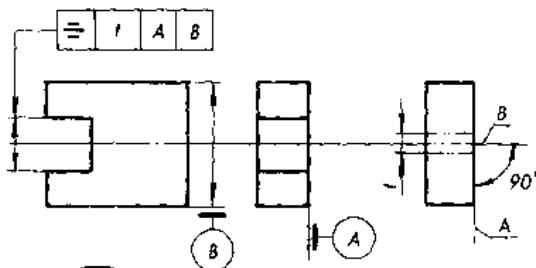


图1-3-13 对称度采用基准体系中的二基准

采用二基准是优先保证槽对底面的垂直，其次才为槽的对中位置(图1-3-13)。

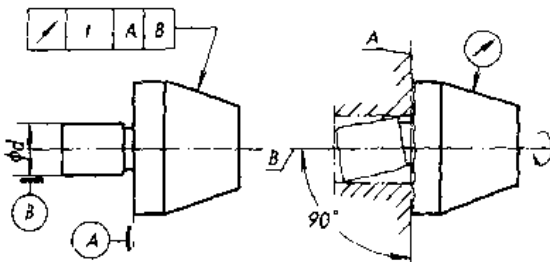


图1-3-14 圆跳动采用基准体系中的二基准

因轴B较短，定位不稳；且为了与工作状态相符，故以A为第一基准，B为第二基准(图1-3-14)。

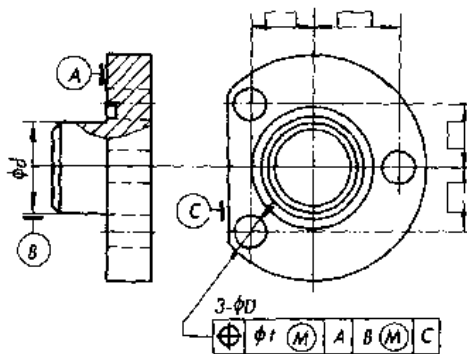


图1-3-15 位置度采用三基准

基准A与B已构成三基准，基准C只起定向作用，是辅助基准。因3孔组与C面有位置关系要求，故C用为第三基准(图1-3-15)。

箱体侧面为斜面，所以采用基准目标。B1、B2为线目标，C1为点目标，它们与基准A构成三基准。(基准表面A，根据情况也可采用基准目标)见图



1·3-16。

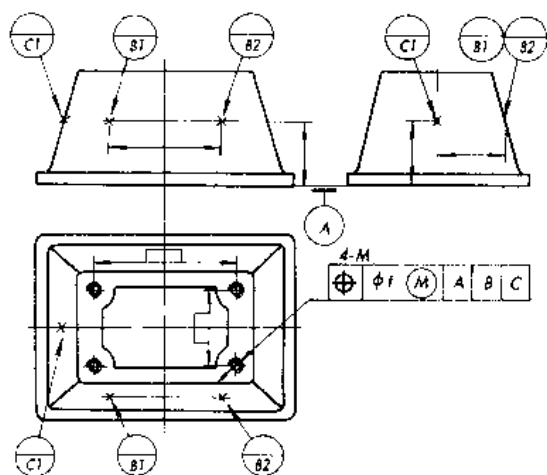


图 1·3-16 位置度—采用基准目标

## 7 公差原则及其应用

### 7.1 基本概念

#### 7.1.1 术语

1. **独立原则** 图样上给定的形位公差与尺寸公差分别满足各自要求的公差原则。

2. **相关原则** 图样上给定的形位公差与尺寸公差相互有关的公差原则。有包容原则、最大实体原则和最小实体原则。

3. **局部实际尺寸 (A)** (简称实际尺寸) 在实际要素的任一正截面上, 两对应测量点间的距离。见图 1·3-17~图 1·3-19 中的  $A_1, A_2, \dots, A_n$ 。

#### 4. 作用尺寸 (B)

a. 单一要素的作用尺寸 (简称作用尺寸) (参见本篇第 2 章 1 节)

b. 关联要素的作用尺寸 (简称关联作用尺寸) 在配合全长上, 与实际孔内接 (或与实际轴外接) 的最大 (或最小) 理想轴 (或孔) 的尺寸, 而该理想轴 (或孔) 必须与基准保持图样上规定的几何关系。见图 1·3-17。

作用尺寸随实际要素的状态、大小而改变。

5. **最大实体状态 (MMC) 与最大实体尺寸 (MMS)** (参见本篇第 2 章 1 节)

6. **最小实体状态 (LMC) 与最小实体尺寸 (LMS)** (参见本篇第 2 章 1 节)

7. **实效状态 (VC) 与实效尺寸 (VS)** 要素的 MMS (或 LMS) 和最大形位误差的综合极限状态; 该

状态时的尺寸, 即实效尺寸。

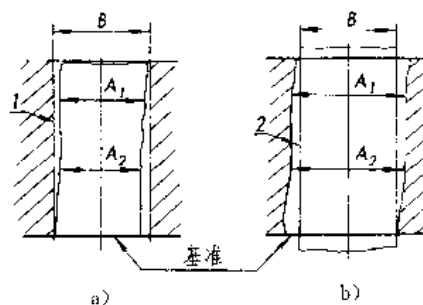


图 1·3-17 局部实际尺寸 (A) 与关联作用尺寸 (B)

- a) 轴: 与基准垂直的外接最小理想孔
- b) 孔: 与基准垂直的内接最大理想轴

#### 7.1.2 理想边界

理想边界是一具有一定大小和理想形状的包容面。它用来控制被测要素实际尺寸和形位误差的极限边界, 即控制要素作用尺寸的边界。理想边界也相当于一个与该要素配对的理想要素, 见图 1·3-18。

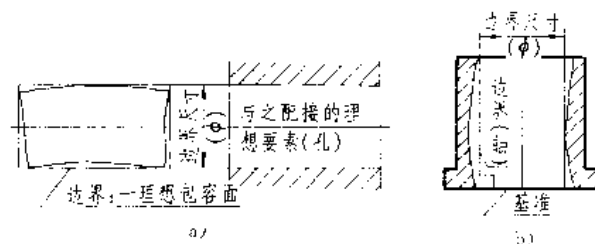


图 1·3-18 理想边界

- a) 单一要素 (轴)
- b) 关联要素 (孔)

1. **最大实体边界 (MMB)** 边界尺寸等于 MMS 的理想边界。参见图 1·3-22、图 1·3-23。

2. **最小实体边界 (LMB)** 边界尺寸等于 LMS 的理想边界。

3. **最大实体实效边界 (MMVB)** 即最大实体的实效状态, 其边界尺寸等于最大实体的实效尺寸, 见图 1·3-24。

4. **最大实体实效尺寸 (MMVS)** 要素的 MMS 与最大允许形位误差综合极限状态之尺寸, 见图 1·3-24。

5. **最小实体实效边界 (LMVB)** 即最小实体的实效状态, 其边界尺寸等于最小实体的实效尺寸, 见图

① 摘自 GB4249-84。



1·3-30。

6. 最小实体实效尺寸(LMVS) 要素的LMS与最大允许形位误差综合极限状态之尺寸, 见图1·3-30。

7·2 独立原则

7·2·1 尺寸公差的功能

采用独立原则时, 形位公差与尺寸公差相互无关。此时, 尺寸公差的功能是:

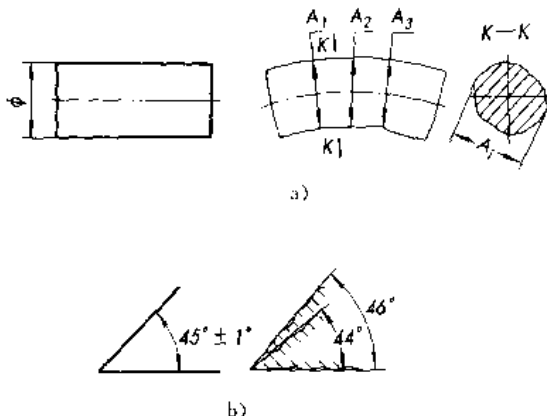


图1-3-19 尺寸公差的功能  
a) 线性尺寸 b) 角度尺寸

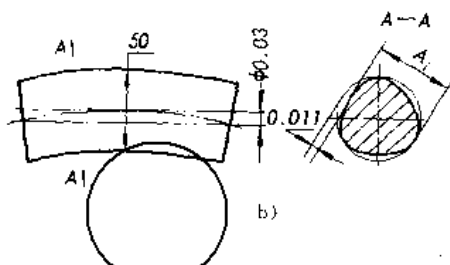
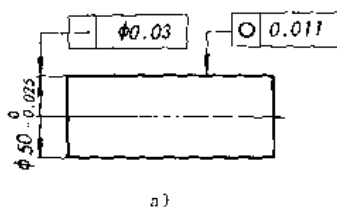


图1-3-20 独立原则举例之一  
a) 注法 b) 图解

- 1— $\phi 50_{-0.025}^0$  控制局部实际尺寸, 即  $A_1$  应在  $49.975 \dots 50$  之间
- 2—不管  $A_1$  为何值, 轴线直线度误差不得超过  $0.03$ ; 轴的圆度误差不得超过  $0.011$

1. 线性尺寸公差 仅控制要素的局部实际尺寸的变动量, 不控制要素本身的形状误差, 见图1·3-19a。

2. 角度公差 仅控制要素间角向的变动量, 不控制要素的形状误差, 见图1·3-19b。

7·2·2 图样上的表示及解释

采用独立原则时, 图样上标出的尺寸公差和形位公差无任何相关符号。图1·3-20和图1·3-21为独立原则的标注及解释之例。

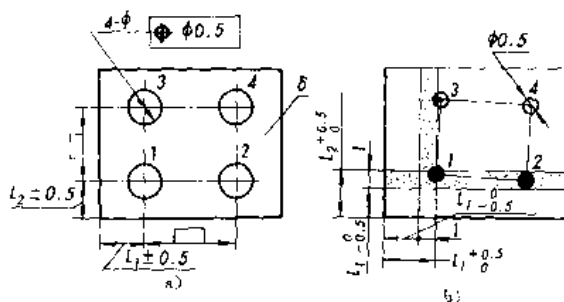


图1-3-21 独立原则举例之二  
a) 注法 b) 图解

- 1—尺寸公差仅控制孔的实际位置尺寸, 因此, 1、2、3三孔只有同时满足尺寸公差和位置度公差才合格
- 2—4个孔本身之间的位置关系由位置度公差  $\phi 0.5$  控制

7·3 包容原则 (EP)

1. 包容原则定义 要求被测要素的实际轮廓不超出MMC边界的公差原则。

它的特点是: 不给出形位公差, 或给出“0MM”公差; 要素的形位公差随实际尺寸的大小而改变。当要素处于MMC时, 应有理想的形状或位置, 当要素偏离MMC时, 才允许有一相应偏离量的形位公差。当要素处处为LMS时, 允许的形位公差等于尺寸公差。

2. 图样上的标注及其解释 采用包容原则时, 对单一要素用符号“Ⓜ”注在尺寸偏差之后, 见图1·3-22。对关联要素, 用符号“0MM”填写在公差框格内, 见图1·3-23。由于要素越偏向LMC, 形位公差越大, 有时便因不能满足使用要求而需作进一步限制, 其标注及解释见图1·3-23中括号里的附加标注及表格中的  $t_i$  值。



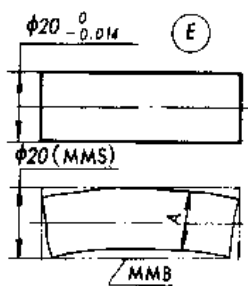


图 1-3-22 单一要素采用包容原则

实际尺寸 $A$	形位公差 $t$
20 (MMS)	0
19.995	0.005
19.990	0.010
⋮	⋮
19.986 (LMS)	0.014

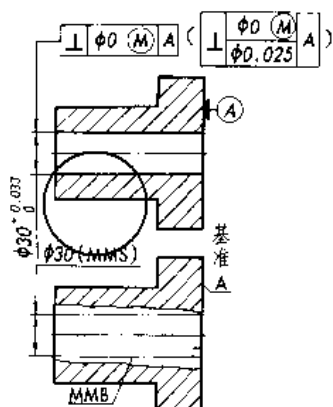


图 1-3-23 关联要素采用包容原则

$A$	$t$	$t_1$
30 (MMS)	0	0
30.010	0.010	0.010
30.020	0.020	0.020
30.025	0.025	0.025
⋮	⋮	⋮
30.033 (LMS)	0.033	0.025

#### 7.4 最大实体原则 (MMP)

**1. 最大实体原则定义** 要求被测要素的实际轮廓不超出 MMVB, 且其局部实际尺寸不超过 MMS 和 LMS 的公差原则。

它的特点是: 只允许尺寸公差补偿给形位公差。图样上规定的形位公差是要素处于 MMC 时给定的; 当要素偏离 MMC 时, 即有一相应偏离量的附加形位公差, 当要素处处为 LMS 时, 附加的形位公差等于尺寸公差。

##### 2. 最大实体实效边界尺寸 MMVS

$$\text{对于轴 } MMVS = MMS + t(M) \quad (1.3-1)$$

$$\text{对于孔 } MMVS = MMS - t(M) \quad (1.3-2)$$

MMVS 是综合量规的设计尺寸。

**3. 图样上的标注及其解释** 采用最大实体原则时, 图样上用符号 “ $\text{\textcircled{M}}$ ” 置于形位公差或 (和) 基准字母之后, 见图 1-3-24 和图 1-3-25。

**4. 最大实体原则补偿的分析** 图 1-3-26a 的轴孔配合, 能否在设有过盈的情况下自由装配, 取决于它们的实际尺寸和形位误差的综合效果。装配最不利的情况发生在要素处于 MMC 而其形位误差又达最大允许值时 (即处于实效状态), 本例此时间隙为 0, 见图

1-3-26b。当要素偏离 MMC 时, 会产生间隙给形位公差一附加公差 (补偿值), 所以形位误差虽超出给定的公差值仍能自由装配 (即尺寸公差补偿给形位公差), 见图 1-3-26c。反之, 当要素的形位误差小于给定的公差值时, 要素的实际尺寸超出了 MMS 也能自由装配 (即形位公差补偿给尺寸公差), 见图 1-3-26d。

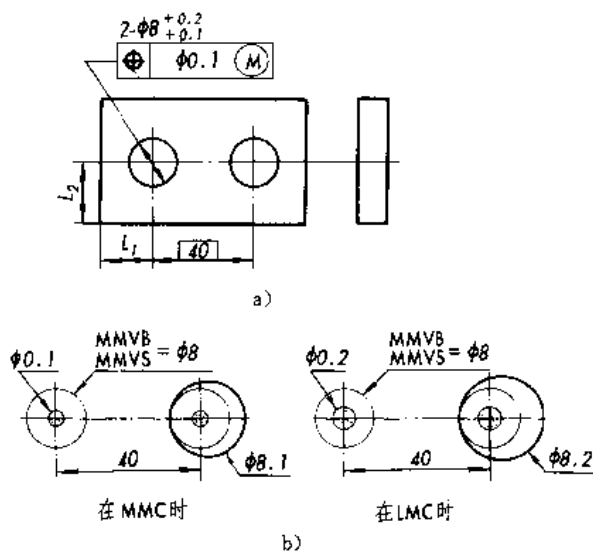


图 1-3-24 被测要素采用最大实体原则

a) 注法 b) 图解



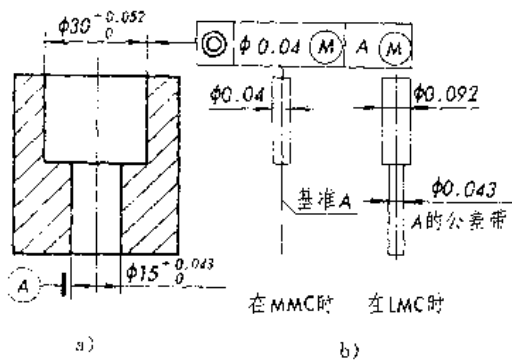


图 1-3-25 被测和基准要素采用最大实体原则

a) 注法 b) 图解

$$\text{二轴最大偏距} = \frac{0.092 + \dots + 0.043}{2} = 0.0675$$

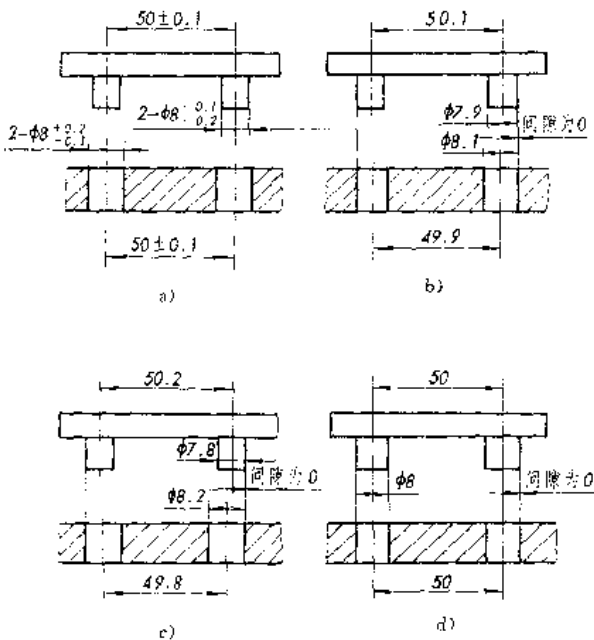


图 1-3-26 最大实体原则的补偿分析

a) 要装配的零件 b) 装配最不利情况 c) 在 LMS 时, 中心距超差能装配 d) 中心距正确, 尺寸超差也能装配

图 1-3-26a、b、c 的要求用位置度公差来表达, 则见图 1-3-27。

**5. 零几何公差** 图 1-3-26d 说明尺寸超差而可装配, 但零件会因尺寸超差而不合格, 为使这类零件合格, 可将原给定的尺寸公差和形位公差都给予尺寸公差, 形位公差则规定在 MMC 时为 0。这样, 尺寸公差扩大 (= 原有尺寸公差 + 形位公差), 而以 MMB (等于原有的 MMVB) 来控制该要素, 即可满足上述尺寸超差而可用的要求。此即位置公差中  $0 \oplus$  的意义,

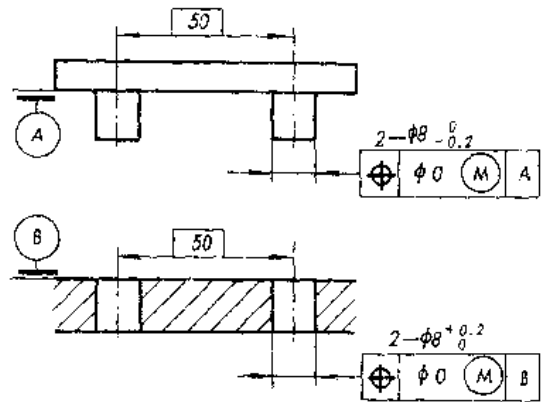


图 1-3-27 用位置度及 MMP 表达

图 1-3-28 即是图 1-3-27 用  $0 \oplus$  改标之例, 其具体方法是:

- (1) 将位置度公差  $\phi 0.1 \oplus$  改为  $\phi 0 \oplus$ ;
- (2) 将图 1-3-27 的  $MMVS = \phi 8$  作为新标注的 MMS;
- (3) 将位置度公差 0.1 与尺寸公差 0.1 相加, 得新的尺寸公差 0.2;
- (4) 由于销和孔不得超出原有 LMS, 所以尺寸和偏差定为: 销  $\phi 8 \pm 0.2$ ; 孔  $\phi 8 \pm 0.2$ 。

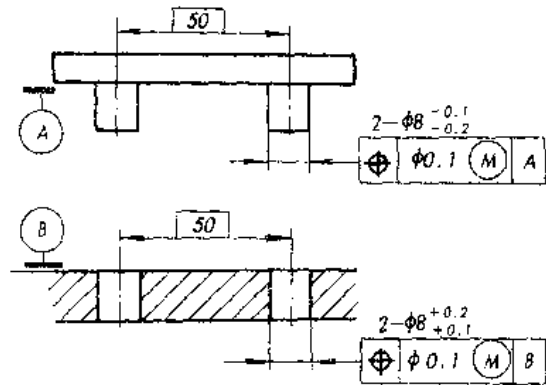


图 1-3-28  $0 \oplus$  位置度公差

**6. 可逆要求** 图 1-3-26b、c、d 三种情况说明, 尺寸公差和形位公差可以相互补偿。允许这种相互补偿的, 即相关公差中的“可逆要求”。要直接反映可逆要求, 可在  $\oplus$  后加符号  $\oplus$ , 即  $\oplus \oplus$ 。此时遵守 MMVB。若采用  $0 \oplus$  改标, 则遵守 MMB。

### 7.5 最小实体原则 (LMP)

**1. 最小实体原则定义** 要求被测要素的实际轮廓不超出 LMVB, 且局部实际尺寸不超出 LMS 与 MMS 的公差原则。



最小实体原则的特点是：只允许尺寸公差补偿给形位公差。形位公差是在LMC时给定的，故当要素自LMC向MMC偏离时，也会有附加形位公差，当要素处处为MMS时，附加的形位公差等于尺寸公差。

2. 最小实体实效边界尺寸 LMVS

$$\text{对于轴 } LMVS = LMS - \phi \quad (1.3-3)$$

$$\text{对于孔 } LMVS = LMS + \phi \quad (1.3-4)$$


3. 图样上的标注及其解释 采用最小实体原则时，用符号置于形位公差或(和)基准字母之后，见图1-3-29。




图1-3-29是为保证壁厚而采用最小实体原则之例。

由式(1.3-3)及(1.3-4)：

$$\text{轴的 LMVS} = \phi 28.5 - \phi 1 = \phi 27.5;$$

$$\text{孔的 LMVS} = \phi 21.5 + \phi 1 = \phi 22.5;$$

$$\begin{aligned} \text{最小壁厚} &= (\text{轴的 LMVS} - \text{孔的 LMVS}) / 2 \\ &= (27.5 - 22.5) / 2 = 2.5. \end{aligned}$$

4. 互补要求 最小实体原则也是只允许尺寸补偿给形状。若可逆要求需用于最小实体原则，则应在后加符号，被测要素仍遵守LMVB。若用改标，则应将公差值*t*转给尺寸公差，并按保持原MMS不变来分配上下偏差。

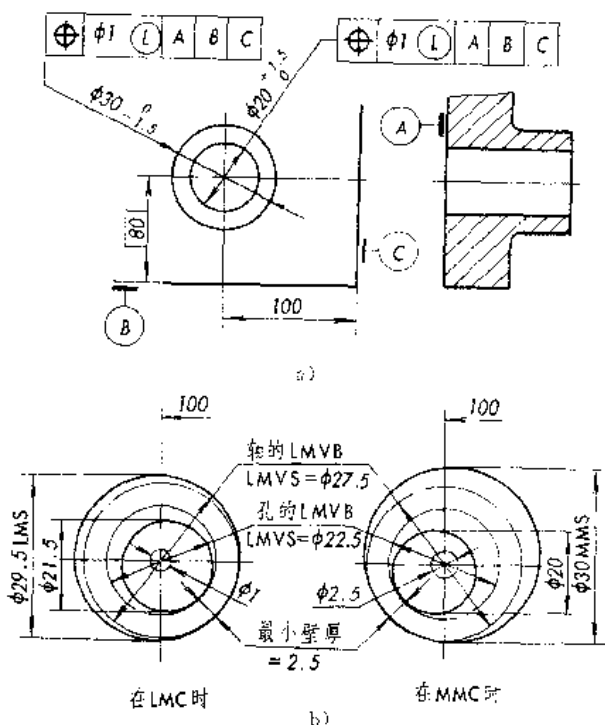





图1-3-29 最小实体原则的应用及解释  
a) 标注 b) 图解

7.6 公差原则的特点及应用 (表1.3-7)









表1.3-7 公差原则的特点及应用

公差原则	适用对象		符号	应用场合	理想边界	一般测量方法	
	要素	项目				形位误差	尺寸误差
独立原则	各种要素	各种公差项目		应用广泛，是基本的公差原则。对一切要素，不管几何精度和尺寸精度的高低，只要它们需分别各自满足的均可采用。例如齿轮箱孔中心的平行度和轴孔的尺寸公差，因功能关系需分别满足	无边界	通用量仪	两点测量法及其他方法
包容原则	单一要素	圆柱面、两平行平面等中心要素		主要满足配合性质。如与滚动轴承相配的轴颈等	MMB	通用极限量规控制 MMB	通端控制 MMS 止端控制 LMS
	关联要素			主要满足装配互换性。由于扩大了零件的合格率，其经济性较采用最大实体原则为高	MMB	综合量规或专用检验装置 测量部分的基本尺寸 - MMS	MMS 由综合量规控制；用两点法测量 LMS





(续)

公差原则	适用对象		符号	应用场合	理想边界	一般测量方法	
	要素	项目				形位误差	尺寸误差
最大实体原则				主要用于满足装配互换性。例如控制螺栓孔、螺钉孔、销钉等中心距的位置度公差等	MMVB MMVS-MMS±t <sub>M</sub> (轴为+, 孔为-)	综合量规或专用检验装置控制MMVB测量部分的基本尺寸=MMVS	综合量规控制MMVS, 用两点法测量LMS
最小实体原则	圆柱面、二平行平面			保证最小壁厚提高对中度	LMVB LMVS=LMS±t <sub>L</sub> (轴为-, 孔为+)	1. 通用量仪 2. 综合量规或专用检具 测量部分基本尺寸=LMVS	1. 两点法测量 2. LMVS由综合量规控制, 两点法测量MMS
互补要求	中心要素	同最大实体原则	 	同最大实体原则, 但允许MMS超差, 扩大了零件的合格率	MMVB	同最大实体原则 测量部分的基本尺寸=MMVS	综合量规控制MMVS; 两点法测量LMS
		同最小实体原则	 	同最小实体原则, 但允许LMS超差, 扩大了零件的合格率	LMVB	同最小实体原则 测量部分的基本尺寸=LMVS	同最小实体原则

### 8 尺寸公差、形状公差、位置公差的关系

尺寸公差通常不控制要素的形状误差。若明确尺寸基准<sup>①</sup>, 并使尺寸有确定的公差带, 则可控制要素的形状、方向、位置。

#### 8.1 定形尺寸与形状的控制

定形尺寸用来确定要素的形状及大小。非圆的曲线(曲面)轮廓便常用尺寸公差控制, 见图1-3-30的

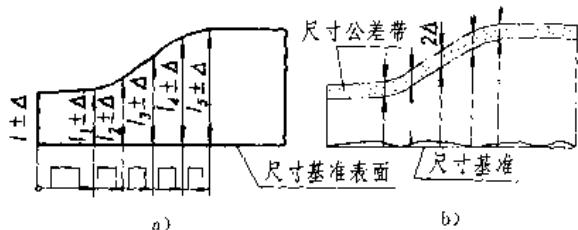


图1-3-30 用尺寸控制凸轮轮廓

a) 注法 b) 图解

凸轮轮廓。

注意: 用轮廓度控制曲线(曲面), 其公差带为等距曲线(曲面), 用尺寸控制则非等距曲线(曲面)。

#### 8.2 定位尺寸与方向、位置的控制

定位尺寸用来确定要素间的位置和方向(垂直和倾斜方向多用角度尺寸)。

##### 8.2.1 互相平行的要素

互相平行的要素, 可用定位尺寸控制其距离, 同时也控制其平行误差; 若尺寸公差过大不满足平行要求,

① 目前许多国家未规定尺寸基准符号, 但采用尺寸兼控形位而未标明基准仍普遍使用。对其理解主要依靠知识和传统经验。但CSAB78.2和GB13319的附录B, 则规定可用形位公差的基准符号用于必须注明尺寸基准之处。

图1-3-31 括号里的尺寸和基准即引自GB13319。



应另给出平行度公差, 见图 1·3-31。

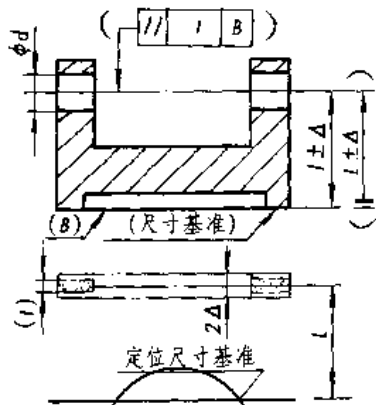


图 1·3-31 尺寸控制平行要素

### 8·2·2 互相垂直或倾斜的要素

这类要素间的关系, 常用角度尺寸控制, 其公差带为扇形, 见图 1·3-32。若用位置公差 (垂直度、倾斜度) 控制角度, 其公差带视情况而有不同形状。这两种控制方式不能同时在一要素上采用。

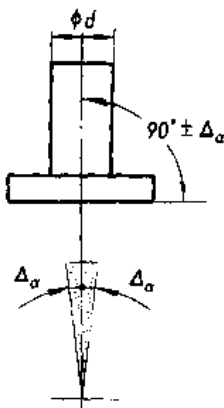


图 1·3-32 角度尺寸控制垂直要素

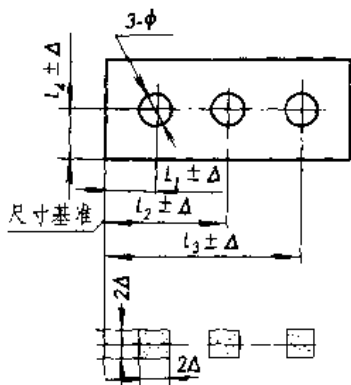


图 1·3-33 定位尺寸控制孔间距

### 8·2·3 孔的中心距

用定位尺寸控制孔的中心距之例, 见图 1·3-33 的塔式 (同一基准式) 注法。

### 8·2·4 同轴线和共中心平面的要素

这类要素之间不注定位尺寸 (或正确尺寸为 0 的定位尺寸), 所以要用位置公差控制它们的位置。其公差值应根据功能要求确定。

若同轴要素、共中心平面要素与其他要素有定位尺寸联系, 则所给的位置公差值应小于定位尺寸公差。

### 8·3 形状公差与位置公差的关系

要素的位置公差一般会自然控制该要素的形状误差。若无其他说明, 给定的位置公差控制该要素的位置或方向和形状的变化范围。若位置公差所控制的形状误差不能满足功能要求, 应给出形状公差, 其值须小于位置公差, 见图 1·3-34。

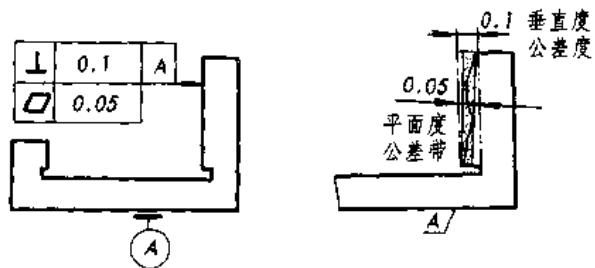


图 1·3-34 位置公差控制形状公差

## 9 孔的中心距公差

### 9·1 符号及说明

#### (1) 符号

$x_{\min}$ : 最小间隙

$D$ : 孔的 MMS (孔的最小极限尺寸)

$d$ : 轴的 MMS (轴的最大极限尺寸)

$\delta$ : 尺寸公差

$\Delta$ : 尺寸偏差

$l$ : 形位公差

(2) 按本节各公式计算出的定位公差, 当要素均处于理想 MMS, 而轴、孔中心线又处于定位公差的极限值时, 装配最小间隙为 0。若要求最小间隙不为 0, 可适当缩小计算出的公差值。

(3) 对于螺钉联接 (紧联接), 当螺孔或光孔 (紧配合孔) 与端面不垂直偏大时, 装配可能产生干涉, 见



图1-3-35a。要避免干涉，可采取下列方法之一：

- 1) 扩大间隙孔。
- 2) 缩小计算出的位置度公差。
- 3) 增加垂直度要求(其公差值应小于位置度公差值)。

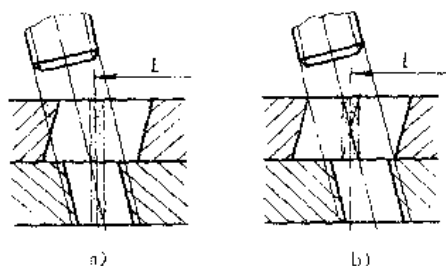


图1-3-35 紧联接可能产生干涉  
a) 干涉现象 b) 消除干涉

4) 采用延伸公差带：即将螺孔或光孔(紧配合孔)的公差带突出到要素之外,以与间隙孔的公差带重

叠,见图1-3-35b。延伸公差带的标注方法及其解释,见图1-3-36。

以上诸法,可根据不同情况选用。

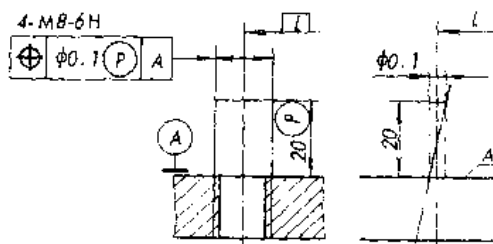


图1-3-36 延伸公差带注法及图解

## 9.2 用尺寸公差控制孔的中心距误差

### 9.2.1 直线排列的孔组

直线排列的孔组,其尺寸公差与偏差的计算见表1-3-8。

表1-3-8 直线排列孔组的尺寸公差及偏差

		简 图		计 算 公 式	
				螺栓联接 (松联接)	螺钉联接 (紧联接)
联接特性	螺栓 (松)			代表轴在两零件的孔中均有活动间隙的联接	代表轴仅在一零件的孔中有活动间隙的联接
	螺钉 (紧)	$x_{min} = D - d$	$x_{min} = \frac{1}{2}(D - d)$		
单 排	2孔			$\delta = 2x_{min}$ $\Delta = \pm x_{min}$	$\delta = x_{min}$ $\Delta = \pm 0.5x_{min}$
	n孔	链式标注 		$\delta = \frac{2x_{min}}{(n-1)}$ $\Delta = \pm \frac{x_{min}}{(n-1)}$	$\delta = \frac{x_{min}}{(n-1)}$ $\Delta = \pm \frac{x_{min}}{2(n-1)}$
	3孔	基准 			
排	塔式(同一基准)标注 多孔 			$\delta = x_{min}$ $\Delta = \pm 0.5x_{min}$	$\delta = 0.5x_{min}$ $\Delta = \pm 0.25x_{min}$



(续)

	简图	计算公式	
		螺栓联接 (松联接)	螺钉联接 (紧联接)
2~4孔 按矩形 排列		$\delta = 1.4x_{\min}$ $\Delta = \pm 0.7x_{\min}$	$\delta = 0.7x_{\min}$ $\Delta = \pm 0.35x_{\min}$
多 单向 基准		$\delta = 0.9x_{\min}$ $\Delta = \pm 0.45x_{\min}$	$\delta = 0.45x_{\min}$ $\Delta = \pm 0.225x_{\min}$
排 双向 基准		$\delta = 0.7x_{\min}$ $\Delta = \pm 0.35x_{\min}$	$\delta = 0.35x_{\min}$ $\Delta = \pm 0.175x_{\min}$

9-2-2 圆周排列的孔组

圆周排列的孔组,其尺寸偏差计算公式见表1-3-9。

表1-3-9 圆周排列孔组的尺寸偏差

	简图	螺栓联接	螺钉联接
标注 角度及 径向 偏差		$\Delta_{\alpha} = \frac{2 \sqrt{4x_{\min}^2 - \Delta D^2}}{(n-1)D} \times 3440(^{\circ})$ $\Delta_D = 2\Delta_R$	$\Delta_{\alpha} = \frac{2 \sqrt{0.25x_{\min}^2 - \Delta D^2}}{(n-1)D} \times 3440(^{\circ})$ $\Delta_D = 2\Delta_R$



(续)

	简图	螺栓联接	螺钉联接
标注角度及径向偏差		$\Delta_a = \frac{\sqrt{x_{min}^2 - \Delta_D^2}}{D} \times 3440(')$	$\Delta_a = \frac{\sqrt{0.25x_{min}^2 - \Delta_D^2}}{D} \times 3440(')$
标注弦长及径向偏差		$\Delta = x_{min} \sin \frac{\alpha}{2}$ $\Delta_D = x_{min}$ 3孔 $\Delta = \pm 0.87x_{min}$ 4孔 $\Delta = \pm 0.76x_{min}$ 5孔 $\Delta = \pm 0.59x_{min}$ 6孔 $\Delta = \pm 0.56x_{min}$ 8孔 $\Delta = \pm 0.38x_{min}$	$\Delta = 0.5x_{min} \sin \frac{\alpha}{2}$ $\Delta_D = \frac{1}{2}x_{min}$ 3孔 $\Delta = \pm 0.43x_{min}$ 4孔 $\Delta = \pm 0.35x_{min}$ 5孔 $\Delta = \pm 0.30x_{min}$ 6孔 $\Delta = \pm 0.25x_{min}$ 8孔 $\Delta = \pm 0.19x_{min}$

$t = 8.5 - 8 = 0.5$

9.3 用位置度公差控制孔的中心距误差

成批、大量生产的孔组,适合用位置度控制孔的中心距误差。此时,孔组内各孔之间的定位尺寸用正确尺寸给定,故各孔中心的位置度公差带之间的相互位置不变。因此,计算位置度公差时,仅与轴和孔的最小间隙及联接特性有关。

9.3.1 螺栓联接

螺栓联接的一般计算公式(公差值为直径)

$$t_1 + t_2 = x_{min1} + x_{min2} = (D_1 + D_2) - (d_1 + d_2) \quad (1.3-5)$$

当  $t_1 = t_2, x_{min1} = x_{min2}$  时,则

$$t = x_{min} = D - d \quad (1.3-6)$$

9.3.2 螺钉联接

螺钉联接的一般计算公式(公差值为直径)

$$t_1 + t_2 = x_{min} = D - d \quad (1.3-7)$$

当  $t_1 = t_2$  时,则

$$t = \frac{1}{2}x_{min} = \frac{1}{2}(D - d) \quad (1.3-8)$$

按以上公式计算出的公差值,要化成符合 GB1184-80 附表 5 中的标准值。

9.3.3 举例

【例 1.3-1】 图 1.3-37 为两块  $6-\phi 8.5^{+0.1}_0$  的孔板(图 1.3-37),用 M8 的螺栓联接,若要求此二板孔组的位置度公差相同,则按式(1.3-6)有

即孔组的位置度公差各板为  $\phi 0.5$ (图 1.3-37b),

若上下两板孔组要求不同的位置度公差,则  $t_1 + t_2 = 2(D - d) = 2t = 1.0$ ,

若取  $t_1 = \phi 0.4$ ,则  $t_2 = \phi 0.6$ (图 1.3-37c)。

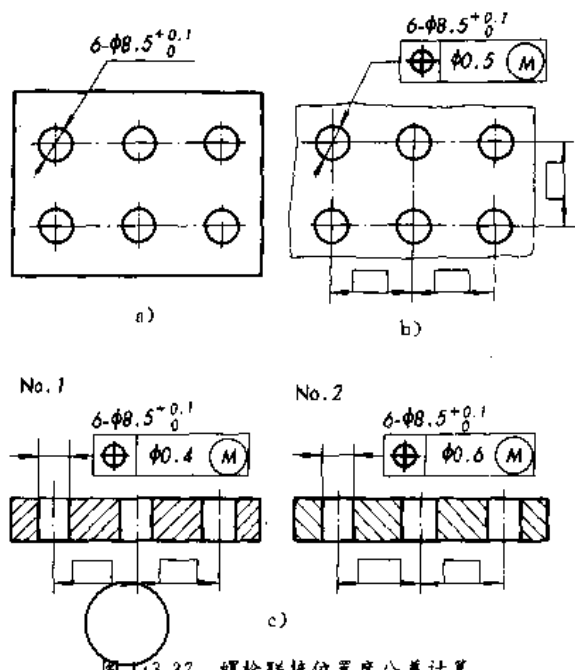


图 1.3-37 螺栓联接位置度公差计算

【例 1.3.2】 如图 1.3-38,计算光孔板与螺孔板各孔组的位置度公差;因属螺钉联接,并设螺杆的 MMS= $\phi 6$ ,故按式(1.3-8)有

$$t = \frac{1}{2}(6.5 - 6) = 0.25$$

即光孔组与螺孔组的位置度公差各为  $\phi 0.25$ 。



若要求二孔组的位置度公差不同,亦可按  $t_1+t_2=2t$  进行分配。

**【例 1-3-3】** 对例 1-3-2,若考虑各孔组与端面倾斜会影响装配,可采用延伸公差带,此时,所计算的公差值不变,仅将螺孔组的位置度公差带突出于板外,其长度等于光孔板的厚度(设为 25mm),则其标注见图 1-3-39a,图 1-3-39b 为用综合量规检验延伸公差带的示意图。

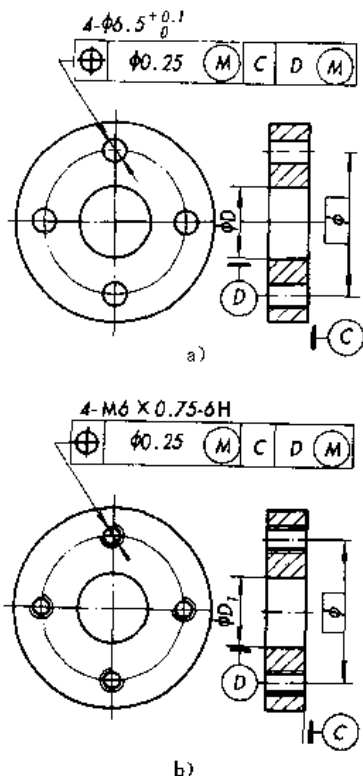


图 1-3-38 螺钉联接位置度公差计算

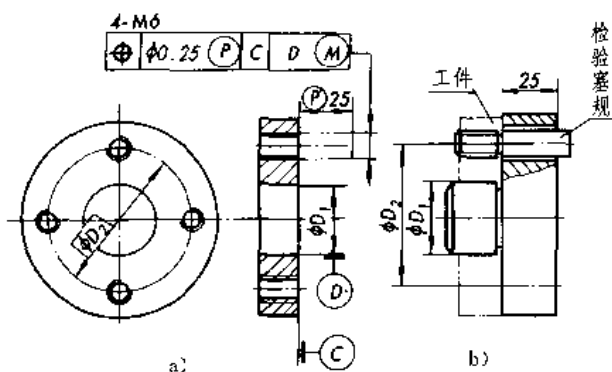


图 1-3-39 采用延伸公差带及其检验

**【例 1-3-4】** 复合位置度用法之例,图 1-3-40 为二方孔板采用 4 个 M10 的螺栓联接,4 孔之间的位置度公差由式(1-3-6)计算得  $\phi 0.5$ 。

若上下两板二侧面无需对齐,则位置度公差采用侧面作基准。若上下两板二侧面要求对齐,则按表 1-3-5 位置度规

定标注。

若上下两板二侧面的对齐允许有  $\delta$  的变动量,则可采用尺寸公差 ( $L \pm \delta/2$ ) 定位(图 1-3-21),也可采用位置度控制。采用位置度控制即复合位置度法,见图 1-3-40。

复合位置度公差框格分上下两层,上层为孔组定位公差  $t$ ,它控制孔组在零件上的位置;下层为孔组内各要素相互间的公差  $t_1$ ,控制孔间位置,且需  $t > t_1$ 。

孔的实际轴线应同时处于该两公差带内。

复合位置度有下列注法:

(1) 图 1-3-40a,下框格仅有基准 A。此仅要求  $4-\phi 0.5$  的轴线与  $4-\phi 1$  的轴线垂直于 A,因而互相平行。所以,  $4-\phi 0.5$  公差带图框可以相对于  $4-\phi 1$  公差带图框平移或倾斜,见图 1-3-40b。

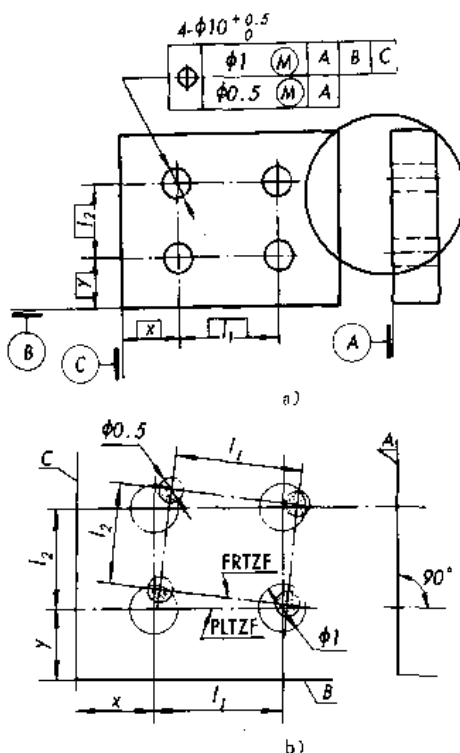


图 1-3-40 复合位置度注法一

a)注法 b)图解

PLTZF—孔组定位公差带图框

FRTZF—要素相关公差带图框

(2) 图 1-3-41a,下框格有二基准 A、B,且顺序与上框格的相同。A 基准的作用如上图。B 基准控制要素相关公差带图框(FRTZF)对孔组定位公差带图框(PLTZF)的方向。因此,  $4-\phi 0.5$  公差带图框只能相对于  $4-\phi 1$  公差带图框作平移,见图 1-3-41b。

**【例 1-3-5】** 两个单独的位置度注法。图 1-3-42a 是二单独位置度注法,上面的公差框格仍是孔组定位公差,下面的也即要素相关公差。由于下框格只有基准 A、B,所以要素相关公差带图框仅能相对于孔组定位公差带图框作左右移动。实



际轴线须同时位于二公差带内,见图1-3-42b.

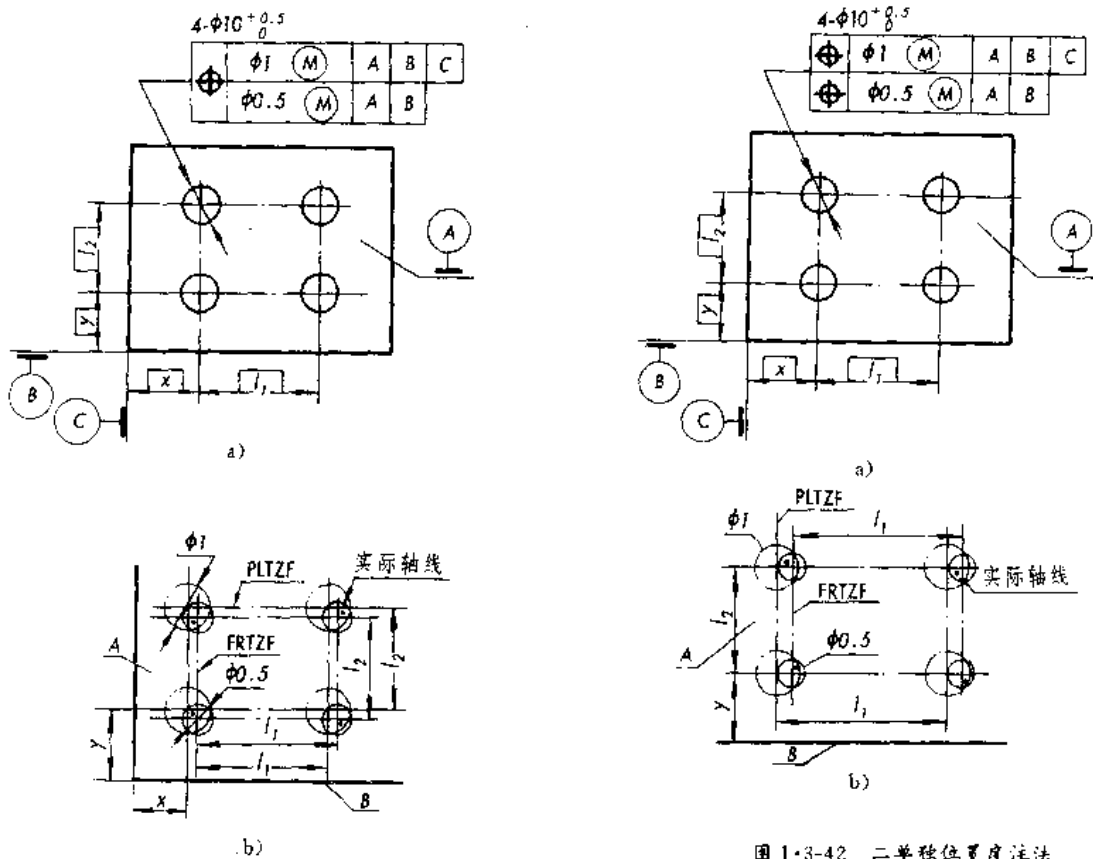


图1-3-42 二单独位置度注法

a)注法 b)图解

图1-3-41 复合位置度注法二

a)注法 b)图解

【例1-3-6】 图1-3-43所示为阶梯轴孔的装配,可用同轴度或位置度控制轴线的偏移,它们均可按螺栓联接公式计算。若此二零件有不同的同轴度公差要求,则按式(1-3-5)有

$$t_1 + t_2 = (25 + 12) - (24.98 + 11.95) = 0.07$$

若取  $t_1 = \phi 0.04$ , 则  $t_2 = \phi 0.03$ 。

### 9.4 尺寸偏差与位置度公差的换算

尺寸公差和位置度公差可以互相换算,其换算关系式见表1-3-10。

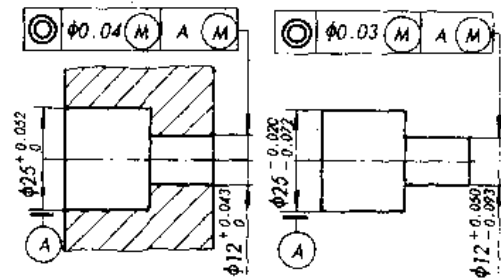


图1-3-43 同轴度公差计算

表1-3-10 尺寸偏差与位置度公差的换算

公差带			
由尺寸偏差±Δ换算为位置度公差	$t = 1.4 \times 2\Delta$	$t = 2 \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$	$t = 2 \sqrt{\left(\frac{\Delta_\alpha \times R}{3440}\right)^2 + \Delta_\alpha^2}$ ( $\Delta_\alpha$ 的单位为分)



(续)

由位置度公差换算为尺寸偏差±Δ	$\Delta = 0.7 \left( \frac{t}{2} \right)$	$\Delta_s = \sqrt{\left( \frac{t}{2} \right)^2 - \Delta_s^2}$ $\Delta_s = \sqrt{\left( \frac{t}{2} \right)^2 - \Delta_s^2}$	$\Delta_s = \frac{\sqrt{(t/2)^2 - \Delta_s^2}}{R} \times 3440(\%)$ $\Delta_R = \sqrt{\left( \frac{t}{2} \right)^2 - \left( \frac{\Delta_s \times R}{3440} \right)^2}$
-----------------	---	--	--

注:尺寸公差带的大小(由Δ或Δ<sub>s</sub>、Δ<sub>s</sub>或Δ<sub>s</sub>、Δ<sub>R</sub>决定)根据不同的联接特性、孔的排列形式和基准关系确定。

### 10 形状和位置公差的选择原则

用要求和检测的方便。项目选择参考见表1-3-11。

#### 10.1 形状和位置公差项目的选择

#### 10.2 形状和位置公差值选择的参考原则

形位公差项目的选择,主要根据要素的几何特征和要素间的几何关系,但也要考虑结构特点、零件的使

(1) 形位公差值应在满足零件功能要求前提下,选取最经济的公差值。

(2) 形状公差、位置公差与尺寸公差要协调。当尺

表 1-3-11 形位公差项目选择参考

要素	控制误差的选用项目
<b>单要素</b> 直线、轴线、平面 圆柱表面 (圆锥面和球面) 主要控制表面要素,如素线直线度、圆度等 非圆曲线 非圆曲面	直线度 公差带形状按要求确定 平面度、直线度(用于狭长平面如导轨等表面) 可用以下方法: 1. 圆柱度 能综合控制圆柱表面的圆要素、直素线的形状误差,但检测困难。若采用通常手段时,可分别检测其圆度、素线直线度等 2. 圆度、直线度或(和)素线平行度诸项分别控制 3. 圆度、其他以未注公差限制,此时横截面为主要要求 4. 径向全跳动或径向圆跳动(此时包含了该要素的位置误差) 线轮廓度 面轮廓度
<b>关联要素</b> 共轴二圆柱 共中心平面要素 以回转外圆柱面为基准的关联要素	可用以下方法: 1. 同轴度 多用于重点控制二轴线的偏移,且常用独立原则,如二轴承孔的同轴要求等,检测较费事 2. 位置度 无需区分轴线偏移和其形位误差时采用,且宜应用最大实体原则。能采用综合量规检验 3. 跳动 特点与位置度同,但不能采用最大实体原则 对称度、位置度 特点与同轴度的相同 跳动 跳动公差检测方便,且与工作状态较吻合。因此,在一定条件下可用圆跳动代替圆度或同轴度;用径向全跳动代替圆柱度;用轴向全跳动代替垂直度等

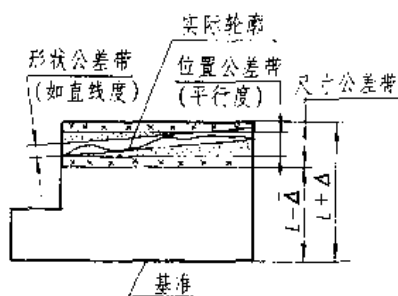


图 1-3-44 形位公差与尺寸公差的协调

寸公差能控制形位公差时,协调的原则是:形状公差<位置公差<尺寸公差,见图1-3-44。

(3) 按尺寸公差的百分比选取形位公差。对于有配合要求的要素,应采用包容原则。此时可按尺寸公差一定的百分比考虑。根据功能要求及工艺条件,在常用尺寸段及尺寸公差为IT5~IT8范围内,形状公差通常可取尺寸公差的25%~63%。有特殊要求时,可取更小百分比。形状公差占尺寸公差百分比过小,会对工艺装备的精度要求过高,若占的百分比过大,会给保证尺寸本身的精度带来困难。

机械工业出版社





(4) 对照表面粗糙度的要求选取。对单一平面,形状公差应与粗糙度协调。根据工艺条件,通常粗糙度的  $R_a$  值可占形状公差(直线度、平面度)的 25%~20%。因此,对中等尺寸段和中等精度零件的这类形状公差,也可参考此关系选取。但对高光洁的表面或低形状精度的表面,则可取 50%~80%,对平面甚至可取 100%。

(5) 考虑刚性、结构等特点。如对细长轴(刚性较差)或远距离孔,其形位公差可适当加大。

(6) 满足总装精度要求。从产品的动态功能或静态功能要求出发,根据总装精度指标的公差值,以关键零件为中心,分配有关零件的形位公差值。各有关零件形位公差的综合效果应满足产品总装后的精度要求。各零件上某些形位公差往往也是尺寸链组成环的公差,而产品总装精度指标的公差则为终结环公差,它们之间的关系可按“极值法”或“概率法”计算。

(7) 应考虑精度储备。对重要零件根据其使用要求确定公差后,还要考虑使用过程中,由于磨损、变形等引起的精度降低。为此,要考虑精度储备,即在加工、检测时,按更小的公差来验收。精度储备可用精度储备系数  $k$  表示

$$k = \frac{t_F}{t_M} \quad (1.3-9)$$

式中  $t_F$ ——功能公差,由使用要求确定;

$t_M$ ——制造公差。

显然,  $k$  应大于 1。通常可取  $k=2, 1.5, \dots$  等。

### 10.3 未注形状和位置公差

(1) 要素的形位精度若能由一般机床加工所保证,则不需在图样上注出其形位要求,而由未注形位公差来控制。若有更高或更低的形位公差要求,才需在图样上注出。

(2) 图样上的要素或要素之间,若未标出形位公差,其形状、位置要求由一定等级的未注公差(见 GB/T1184)控制,或由有关的尺寸公差控制。应注意以下几点:

1) 圆柱表面:若采用独立原则,则由圆度、素线直线度的未注公差控制。

2) 二平行要素:若采用独立原则,则由平面度或直线度的未注公差以及尺寸公差控制。

3) 二垂直或倾斜要素:由角度的未注公差(定向未注公差或尺寸未注公差)控制其角向;由平面度或直线度未注公差控制其形状。

4) 未注形位公差的要素一般不作通过性检查。图样上若注明未注公差等级,是作为首检、抽检、仲裁的依据。

## 第4章 表面粗糙度及表面波纹度<sup>[6][8]</sup>

### 1 表面粗糙度的基本概念、术语及定义

表面粗糙度是指加工表面上的微观几何形状特性。切削过程中,刀具和加工表面间的摩擦、切屑分裂时工件表面金属的塑性变形、加工系统的高频振动以及刀痕等因素的影响,使加工表面存在微小峰谷的几何形状误差。这些峰谷的几何特征,反映加工表面的粗糙程度。

表面粗糙度对零件的使用性能有很大的影响,如摩擦磨损、疲劳强度、接触刚度、抗振性、抗腐蚀性、密封性、配合性质、测量精度、工作噪声、镀涂层质量以及外观等。

由于表面粗糙度直接影响机器及仪器的使用性能和寿命,因此对表面粗糙度应作统一的规定,并对零件表面粗糙度提出相应的要求。

#### 1.1 表面及轮廓的有关术语及定义

**实际表面** 物体与周围介质分隔的表面,见图 1-4-1。实际表面是加工过程中形成的一种三维空间曲面。

**几何表面** 理想表面,其形状由图样或其他技术文件规定,见图 1-4-1。

**基准面** 用以评定表面粗糙度参数的给定的面。作为基准面的给定面,应具有几何表面的形状,其方位和实际表面在空间总的走向一致,可由数学方法确定,如最小二乘法。

**实际轮廓** 平面与实际表面相交所得的轮廓线,见图 1-4-1。通常所用的平面是法向截面,表面粗糙度参数即在实际轮廓上评定。

**几何轮廓** 平面与几何表面相交所得的轮廓线,



见图1·4-1。它的形状随几何表面及平面与几何表面相交的方位而定,是条理想轮廓线。表面粗糙度也可以说是实际轮廓微观上对几何轮廓偏离的程度。

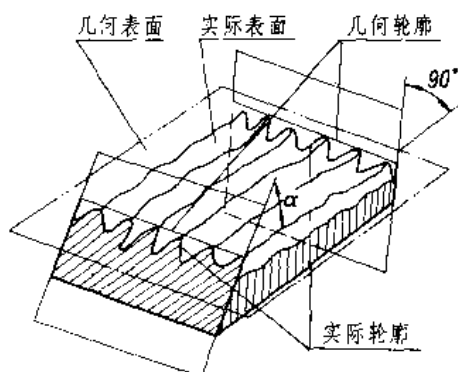


图1·4-1 表面与轮廓

### 1.2 评定基准的有关术语及定义

**基准线** 用以评定表面粗糙度参数的给定的线,见图1·4-2。基准线可用数学方法或其他方法得到。由于所用的方法不同,基准线不一定在基准面上。

**取样长度( $l$ )** 用于判别具有表面粗糙度特征的一段基准线长度,见图1·4-2。规定和选择这段长度是为了限制和减弱表面波紋度对表面粗糙度测量结果的影响。取样长度应在轮廓总的走向上量取。

**评定长度( $L_r$ )** 评定轮廓所必须的一般长度,它可包括一个或几个取样长度,见图1·4-2。

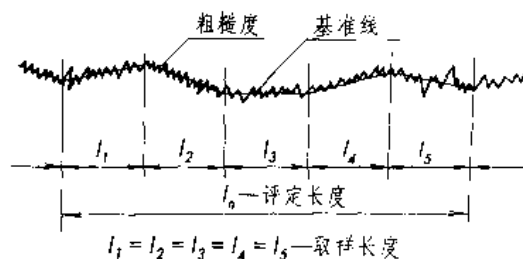


图1·4-2 取样长度与评定长度

**轮廓偏距( $y$ )** 在测量方向上轮廓线上的点与基准线之间的距离,见图1·4-3。所谓测量方向是与轮廓总的走向垂直的方向。图1·4-3中轮廓图形对高度方向和横向的放大倍数相差很多,对实际轮廓来说,基准线和评定长度内轮廓总的走向之间的夹角 $\alpha$ 是很小的,所以垂直于基准线与垂直于轮廓总的走向所测得的轮廓偏距之差可忽略不计。故对于实际表面而言,可认为轮廓偏距是垂直于基准线的。另外,轮廓偏距有正、负号,在基准线与轮廓线所包围的部分是材料的实体部分时,轮廓偏距为正,否则为负。

**轮廓的最小二乘中线(简称中线)( $m$ )** 具有几何轮廓形状并划分轮廓的基准线,其在取样长度内使轮廓线上各点的轮廓偏距的平方和为最小,见图1·4-4。

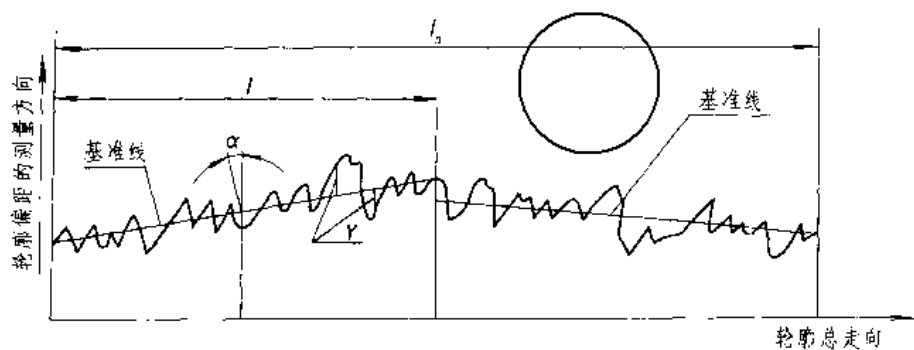


图1·4-3 轮廓偏距

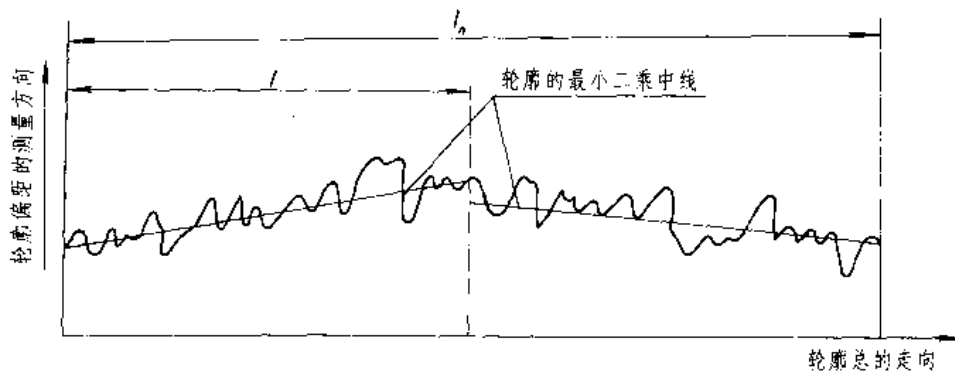


图1·4-4 轮廓的最小二乘中线



用最小二乘法求得的中线是唯一的。

轮廓的算术平均中线 具有几何轮廓形状在取样

长度内与轮廓走向一致的基准线。在取样长度内由该线划分轮廓使上下两边的面积相等,见图1-4-5。

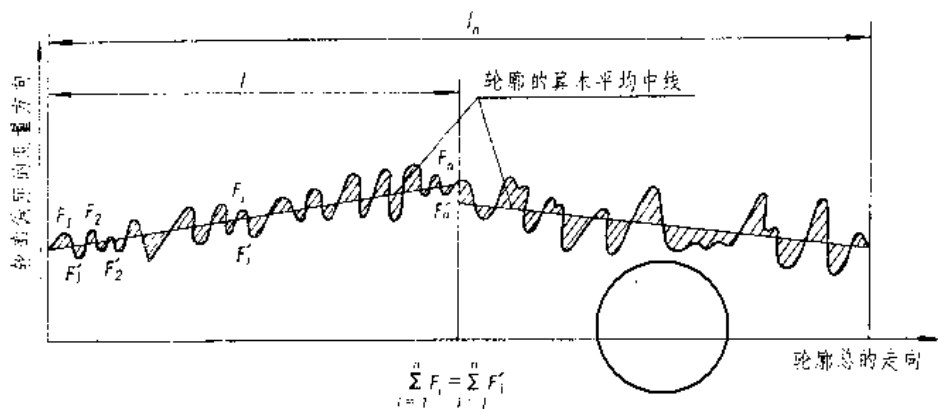


图 1-4-5 轮廓的算术平均中线

规定算术平均中线是为了用图解法近似地确定最小二乘中线。当轮廓具有明显的周期性,其走向已定时,则“等面积”中线是唯一的。当轮廓不规则时,其走向在某一范围内就不确定,则可在该范围内绘出一簇“等面积”中线,而其中只有一条与最小二乘中线重合。

**中线制** 以中线为基准线评定轮廓的计算制。中线制亦称M制。我国、世界上大多数国家及ISO标准均采用中线制。

1.3 表面微观几何特征的有关术语及定义

**轮廓单峰、轮廓单谷** 两相邻轮廓最低点之间的轮廓部分称为轮廓单峰;两相邻轮廓最高点之间的轮廓部分称为轮廓单谷,见图1-4-6。

**轮廓峰、轮廓谷** 在取样长度内轮廓与中线相交,连接两相邻交点向外(从材料到周围介质)的轮廓部分为轮廓峰(包括取样长度始端或终端轮廓的向外部分);而连接两相邻交点向内(从周围介质到材料)的轮廓部分为轮廓谷(包括取样长度始端或终端的向内部分),见图1-4-6。

当需要在几个连续取样长度内确定轮廓峰(或谷)的数目时,在每一个取样长度的始端或终端处的那个形状不完整的轮廓峰(或谷)只在每个取样长度的始端计入一次。

**轮廓微观不平度** 轮廓峰与相邻轮廓谷的组合。

**表面加工纹理** 表面微观结构的主要方向,一般由所采用的加工方法或其他因素形成。加工纹理俗称加工痕迹。

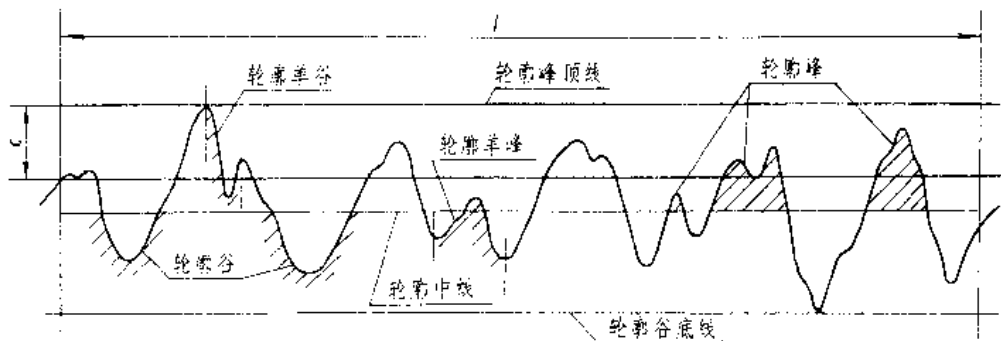


图 1-4-6 轮廓的峰和谷

② 表面粗糙度评定基准制除中线制外,还有包络线制,亦称E制。有关内容见参考文献[6]。



**轮廓峰顶线** 在取样长度内平行于基准线并通过轮廓最高点的线,见图1·4-6。

**轮廓谷底线** 在取样长度内平行于基准线并通过轮廓最低点的线,见图1·4-6。

**轮廓水平截距(c)** 轮廓峰顶线和平行于它并与轮廓相交的截线之间的距离,见图1·4-6。它可用微米或轮廓最大高度  $R_z$  的百分数表示。

**表面粗糙度** 指加工表面上具有的较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特性。一般由所采用的加工方法和(或)其他因素形成。

## 2 表面粗糙度参数

ISO 标准及国标 GB 3505-83 对表面微观几何特

性的描述共规定了27个表面粗糙度参数,下面仅就一些常用的参数分别给予介绍。

### 2.1 高度特性有关参数

**轮廓峰高( $y_p$ )** 中线至轮廓峰最高点之间的距离,见图1·4-7。

**轮廓谷深( $y_v$ )** 中线至轮廓谷最低点之间的距离,见图1·4-7。

**轮廓最大高度( $R_z$ )** 在取样长度内轮廓峰顶线和轮廓谷底线之间的距离,见图1·4-8。

**微观不平度十点高度( $R_y$ )** 在取样长度内5个最大的轮廓峰高的平均值与5个最大的轮廓谷深的平均值之和,见图1·4-8。

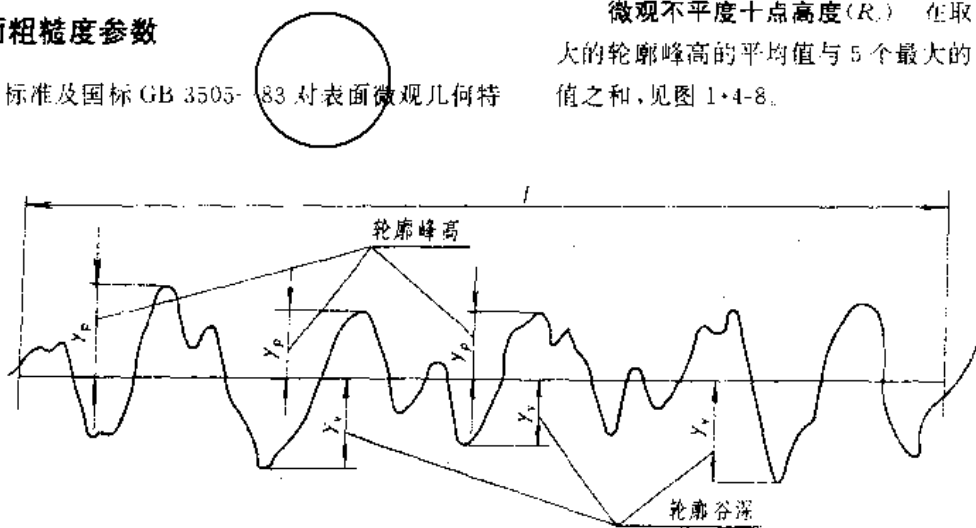


图1·4-7 轮廓峰高与轮廓谷深

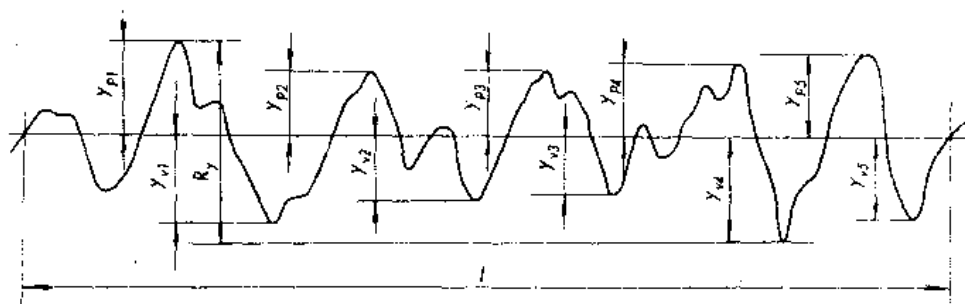


图1·4-8 轮廓最大高度和微观不平度十点高度

$$R_y = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pi} + \sum_{j=1}^5 y_{vj}}{5}$$

$$R_z = \frac{1}{l} \int_a^b |y(x)| dx$$

或近似为

$$R_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

式中  $y_{pi}$  ——第  $i$  个最大的轮廓峰高;  
 $y_{vj}$  ——第  $j$  个最大的轮廓谷深。

**轮廓算术平均偏差( $R_a$ )** 在取样长度  $l$  内轮廓偏距绝对值的算术平均值,见图1·4-9。

**轮廓均方根偏差( $R_q$ )** 在取样长度内轮廓偏距的均方根值。



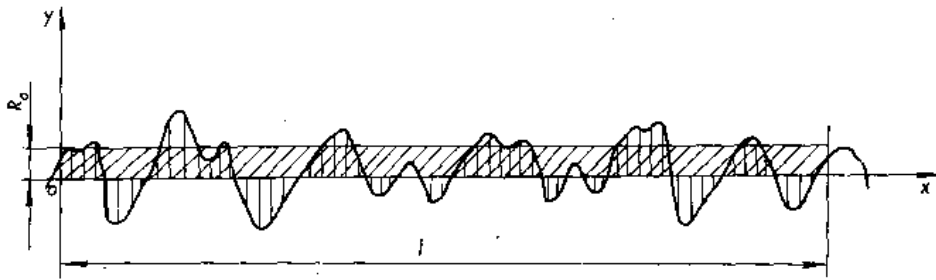


图 1-4-9 轮廓算术平均偏差

$$R_v = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}$$

$n$ —取样长度内轮廓的单峰间距的个数。

### 2.2 间距特性有关参数

**轮廓微观不平度的平均间距 ( $S_m$ )** 在取样长度内轮廓微观不平度的间距的平均值。

$$S_m = \frac{S_{m1} + S_{m2} + \dots + S_{mn}}{n}$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}$$

式中  $S_{m1}, S_{m2}, \dots, S_{mn}$ —轮廓微观不平度的间距, 指含有一个轮廓峰和相邻轮廓谷的一段中线长度, 见图 1-4-10;

$n$ —取样长度内轮廓微观不平度间距的个数。

**轮廓单峰平均间距 ( $S$ )** 在取样长度内轮廓的单峰间距的平均值。

$$S = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{n}$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

式中  $S_1, S_2, \dots, S_n$ —轮廓的单峰间距, 指两相邻单峰的最高点之间的距离投影在中线上的长度, 见图 1-4-10;

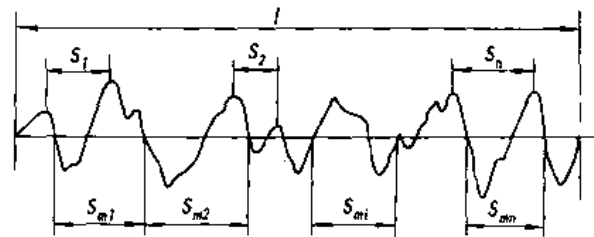


图 1-4-10 平均间距

### 2.3 形状特性有关参数

**轮廓支承长度 ( $\eta_p$ )** 在取样长度内, 一平行于中线的线与轮廓相截所得到的各段截线长度之和, 见图 1-4-11a。

**轮廓支承长度率 ( $t_p$ )** 轮廓支承长度  $\eta_p$  与取样长度  $l$  之比。

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}$$

$t_p$  值是对应于不同水平截距  $c$  而给出的。

**轮廓支承长度率曲线** 用图表示轮廓支承长度率值与轮廓水平截距之间相互关系见图 1-4-11b。支承长度率曲线的某一点上, 支承长度率是幅度分布累积到该点的和。

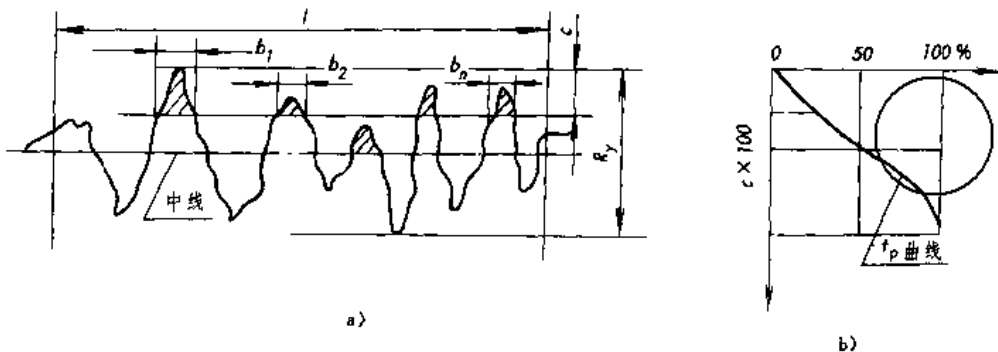


图 1-4-11 支承长度及支承长度率曲线

a) 支承轮廓 b) 支承长度曲线



### 3 表面粗糙度评定参数及数值系列标准<sup>①</sup>

#### 3.1 评定参数及其数值

GB 1031《表面粗糙度参数及其数值》参照采用国际标准 ISO 468-1982, 其中规定采用中线制评定表面粗糙度, 并从下列三项中选取表面粗糙度参数: 轮廓算术平均偏差  $R_a$ 、微观不平度十点高度  $R_z$  和轮廓最大高度  $R_y$ 。

该标准规定了  $R_a$  及  $R_z$ 、 $R_y$  的数值系列, 见表 1-4-1 及表 1-4-2; 根据表面功能和生产的经济合理性, 当此两表中的系列值不能满足要求时, 可选取该标准附录给出的补充系列值见表 1-4-3。

表 1-4-1 轮廓算术平均偏差  $R_a$  的数值

(μm)				
0.012	0.1	0.8	6.3	50
0.025	0.2	1.6	12.5	100
0.05	0.4	3.2	25	—

表 1-4-2 微观不平度十点高度  $R_z$ 、轮廓最大高度  $R_y$  的数值 (μm)

0.025	0.2	1.6	12.5	100	800
0.05	0.4	3.2	25	200	1600
0.1	0.8	6.3	50	400	—

表 1-4-4 轮廓微观不平度的平均间距  $S_m$ 、轮廓的单峰平均间距  $S$  的数值 (mm)

0.006	0.0125	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5
-------	--------	-------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

表 1-4-5 轮廓支承长度率  $t_p$  的数值

$t_p$ (%)	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

表 1-4-6 评定表面粗糙度参数  $S_m$ 、 $S$  的补充系列值 (mm)

0.002	0.008	0.032	0.125	0.50	2.0	8.0
0.003	0.010	0.040	0.160	0.63	2.5	10.0
0.004	0.016	0.063	0.25	1.00	4.0	—
0.005	0.020	0.080	0.32	1.25	5.0	—

表 1-4-3 评定表面粗糙度参数  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_y$  的补充系列值 (μm)

$R_a$	$R_a, R_z, R_y$					$R_z, R_y$	
	0.032	0.160	1.00	5.0	32	125	630
0.008	0.040	0.25	1.25	8.0	40	160	1000
0.010	0.063	0.32	2.0	10.0	63	250	1250
0.016	0.080	0.50	2.5	16.0	80	320	—
0.020	0.125	0.63	4.0	20		500	—

#### 3.2 附加评定参数及其数值

GB1031 中规定, 根据表面功能的需要, 除表面粗糙度高度参数 ( $R_a, R_z, R_y$ ) 外可选下列附加评定参数: 轮廓微观不平度的平均间距  $S_m$ 、轮廓的单峰平均间距  $S$  和轮廓支承长度率  $t_p$ 。

该标准规定了  $S_m$ 、 $S$  及  $t_p$  的数值系列, 见表 1-4-4 及表 1-4-5; 根据表面功能和生产的经济合理性, 当选用表 1-4-4 中系列值不能满足要求时, 可选取该标准附录给出的补充系列值, 见表 1-4-6。

选用轮廓支承长度率参数  $t_p$  时必须同时给出轮廓水平截距  $c$  值。它可用微米或  $R_y$  的百分数表示。百分数系列为: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90。

轮廓的单峰(谷)  $S$  的最小间距规定为取样长度  $l$  的 1%。轮廓峰(谷、单峰、单谷)的最小高度规定为轮廓最大高度  $R_y$  的 10%。对  $R_a, R_z$  和  $R_y$  参数亦适用。

① GB 1031—83《表面粗糙度参数及其数值》目前正在修订。这里所述为修订中送审稿的部分内容, 使用时应以正式颁布的标准为准。



### 3.3 规定表面粗糙度要求的一般规则

(1) 在規定表面粗糙度要求时,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;必要时可規定附加要求,如表面加工纹理、加工方法或其顺序以及不同区域的粗糙度等。

(2) 为保证制品表面质量,可按功能需要規定表面粗糙度参数值。否则,可不規定其参数值,也不需检查。

(3) 表面粗糙度各参数值应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( $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_v$ )最大值的方向一致时,则可不規定测量截面的方向,否则应在图样上标出。

(4) 对表面粗糙度的要求不适用于表面缺陷。在评定过程中不应把表面缺陷(如沟槽、气孔、划痕等)包含进去。必要时应单独規定表面缺陷的要求。

### 3.4 取样长度和评定长度的数值及选用

GB 631 中規定了选用参数  $R_a$ 、 $R_z$  和  $R_v$  时,取样长度  $l$  与评定长度  $l_n$  的选用值见表 1.4-7 和表 1.4-8。

表 1.4-7  $R_a$  的取样长度  $l$  与评定长度  $l_n$  的选用值

$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$l$ (mm)	$l_n$ ( $l_n=5l$ ) (mm)
$\geq 0.008 \sim 0.02$	0.08	0.4
$> 0.02 \sim 0.1$	0.25	1.25
$> 0.1 \sim 2.0$	0.8	4.0
$> 2.0 \sim 10.0$	2.5	12.5
$> 10.0 \sim 80.0$	8.0	40.0

表 1.4-8  $R_z$ 、 $R_v$  的取样长度  $l$  与评定长度  $l_n$  的选用值

$R_z$ 、 $R_v$ ( $\mu\text{m}$ )	$l$ (mm)	$l_n$ ( $l_n=5l$ ) (mm)
$\geq 0.025 \sim 0.10$	0.08	0.4
$> 0.10 \sim 0.50$	0.25	1.25
$> 0.50 \sim 10.0$	0.8	4.0
$> 10.0 \sim 50.0$	2.5	12.5
$> 50 \sim 320$	8.0	40.0

由试验分析得出的理想取样长度  $l$  的条件为

$$5S_R \leq l \leq \frac{1}{3}S_w$$

式中  $S_R$ ——被测表面粗糙度的微观不平度间距;

$S_w$ ——被测表面所呈现的波纹度间距,即波距。

当被测表面有明显的波纹度时,应着重考虑为消除波纹度对粗糙度测量结果的影响,取样长度应不大于波纹度间距的三分之一;如被测表面轮廓图形上没有明显可见的波纹度,则应主要满足取样长度的下限要求,即至少应大于 5 倍的微观不平度间距。对取样长度的选用 GB1031 規定,在测量  $R_a$ 、 $R_z$  和  $R_v$  时推荐按表 1.4-7、表 1.4-8 选用对应的取样长度值,此时取样长度值的标注,在图样或技术文件中可省略;有特殊要求时应给出相应的取样长度值,并在图样上或技术文件中注出;对于微观不平度间距较大的端铣、滚铣及其他大进给走刀量的加工表面,应按标准中規定的取样长度系列选取较大的取样长度值。

对评定长度值的选用,GB1031 規定,评定长度应根据不同的加工方法和相应的取样长度来确定。一般情况下,当测量  $R_a$ 、 $R_z$  和  $R_v$  时推荐按表 1.4-7、表 1.4-8 选取相应的评定长度值。如被测表面均匀性较好,测量时可选用小于  $5l$  的评定长度值,均匀性较差的表面可选用大于  $5l$  的评定长度值。

## 4 表面粗糙度的标注<sup>①</sup>

### 1. 表面粗糙度的符号及其含义(表 1.4-9)

表 1.4-9 表面粗糙度的符号及其含义

符 号	意 义 及 说 明
	基本符号,表示表面粗糙度可用任何方法获得。当不加注粗糙度参数值或有关说明(例如:表面处理、局部热处理状况等)时,仅适用于简化代号标注
	基本符号加一短划,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、气割、电火花加工等
	基本符号加一小圆,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)

① 摘自 GB/T131-93。

140

机械工业出版社

1



2. 表面粗糙度要求在符号中的注写 关于表面粗糙度各项要求在粗糙度符号中的注写位置及规定见图1·4-12,图中字母所居位置分别为各项要求的注写位置;字母代表位置代号,其中:

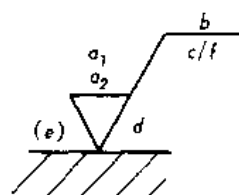


图1·4-12 表面粗糙度要求的注写位置

(1) 位置  $a_1$ 、 $a_2$  处;注写表面粗糙度高度参数的数值;见表1·4-10所示标注例及标注代号的意义。

表1·4-10 表面粗糙度高度参数的标注

代号	意义	代号	意义
$\sqrt{3.2}$	用任何方法获得的表面, $R_a$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$	$\sqrt{3.2\text{max}}$	用任何方法获得的表面, $R_a$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$
$\sqrt[3.2]{\triangle}$	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$	$\sqrt[3.2\text{max}]{\triangle}$	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$
$\sqrt[3.2]{\nabla}$	用不去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$	$\sqrt[3.2\text{max}]{\nabla}$	用不去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$
$\sqrt[3.2]{1.6}$	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$ 、下限值为 $1.6\mu\text{m}$	$\sqrt[3.2\text{max}/1.6\text{min}]{\triangle}$	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$ 、最小值为 $1.6\mu\text{m}$
$R_x\sqrt{3.2}$	用任何方法获得的表面, $R_x$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$	$R_x\sqrt{3.2\text{max}}$	用任何方法获得的表面, $R_x$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$
$R_x\sqrt[3.2]{\nabla}$	用不去除材料方法获得的表面, $R_x$ 的上限值为 $200\mu\text{m}$	$R_x\sqrt[3.2\text{max}]{\nabla}$	用不去除材料方法获得的表面, $R_x$ 的最大值为 $200\mu\text{m}$
$R_x\sqrt[3.2]{1.6}$	用去除材料方法获得的表面, $R_x$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$ 、下限值为 $1.6\mu\text{m}$	$R_x\sqrt[3.2\text{max}/1.6\text{min}]{\triangle}$	用去除材料方法获得的表面, $R_x$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$ 、最小值为 $1.6\mu\text{m}$
$R_x\sqrt[3.2]{12.5}$	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的上限值为 $3.2\mu\text{m}$ , $R_x$ 的上限值为 $12.5\mu\text{m}$	$R_x\sqrt[3.2\text{max}/12.5\text{max}]{\triangle}$	用去除材料方法获得的表面, $R_a$ 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$ , $R_x$ 的最大值为 $12.5\mu\text{m}$

应注意,  $R_a$  的数值前不注参数符号,而  $R_x$ 、 $R_y$  的数值前需注出相应的参数符号(单位为  $\mu\text{m}$ )。

根据 GB10610-89《触针式仪器测量表面粗糙度的规则和方法》,当给定表面粗糙度参数上限或下限的要求时,应在表面粗糙度参数最大值或最小值处检验。对于给定上限的参数,如果该参数的所有实测值中超过图样上或技术文件规定值的个数少于总数的16%,则该表面是合格的;对于给定下限的场合,如果所有相应参数的实测值中超过规定值的个数少于总数的16%,该表面也是合格的,当给定表面粗糙度参数最大

值的要求时,在检验过程中,整个被检表面该参数的所有实测值均不应超过图样上或技术文件中的规定值。

(2) 位置  $b$  处;若需要时,注写加工要求、镀覆、涂覆、表面处理或其他说明等。

(3) 位置  $c$  处;注写取样长度值(单位为  $\text{mm}$ )或波纹度(单位为  $\mu\text{m}$ );若按标准规定值选用取样长度,图样上可省略标注。

(4) 位置  $d$  处;注写加工纹理方向符号;加工纹理方向符号及其意义见表1·4-11。若需控制表面加工纹理方向时,则予以标注。





表 1·4-11 加工纹理方向符号

符 号	说 明	示 意 图
=	纹理平行于标注代号的视图的投影面	
⊥	纹理垂直于标注代号的视图的投影面	
X	纹理呈两相交的方向	
M	纹理呈多方向	
C	纹理呈近似同心圆	
R	纹理呈近似放射形	
P	纹理无方向或呈凸起的颗粒状	

注：若表中所列符号不能清楚地表明所要求的纹理方向，应在图样上用文字说明。

(5) 位置  $f$  处：若需要时，注写附加评定参数  $S_m$ 、 $S$  及  $t_p$  的参数符号及参数值 ( $S_m$ 、 $S$  的单位为  $\mu\text{m}$ )。

(6) 位置  $(e)$  处：加工余量 (单位为  $\text{mm}$ )。

3. 表面粗糙度标注示例 图 1·4-13 所示表面粗糙度标注的要求为：刨削方法加工获得的表面； $R_a$  参数最大值为  $6.3\mu\text{m}$ ；取样长度为  $8\text{mm}$ ；在水平截距  $c$  在轮廓最大高度  $R_a$  的 60% 位置上， $t_p$  的下限值为 70%；加工纹理方向平行于标注代号所在视图的

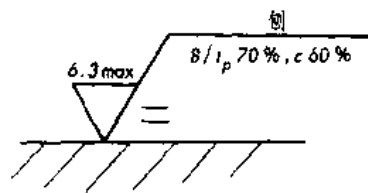


图 1·4-13 表面粗糙度标注示例



## 5 表面粗糙度评定参数及其数值的选用

### 5.1 一般原则

#### 1. 评定参数的选用原则

(1) 根据零件使用要求的侧重面及特征,选择最能反映这些要求的评定参数。

(2) 一般都从  $R_a$ 、 $R_z$  和  $R_y$  中选取一、二项, ( $R_a$  与  $R_z$  不同时选用)。GB1031 推荐,在  $R_a$  为  $0.025 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 、 $R_z$  为  $0.1 \sim 25 \mu\text{m}$  时,优先选用  $R_a$  参数。

(3) 对很小的表面段,一般不足一个取样长度或只有 2~3 个粗糙度轮廓峰谷,或规定很低的表面粗糙度时,可选用  $R_z$  参数。对可能由于应力集中而导致疲劳破坏的敏感表面,可在选取  $R_a$  或  $R_z$  参数的同时加选  $R_y$  参数,以控制微观轮廓的最大高度。

(4) 有些情况下,高度参数不足以反映零件表面功能要求,需控制表面微观不平度的间距。如对汽车薄钢板为油漆美观和附着性及法兰端面密封性能等,要求选用附加评定参数  $S_m$  或  $S$ 。

当对表面耐磨性有特别要求时,可加选附加评定参数  $t_p$ ,亦同时给出相应的轮廓水平截距  $c$  值。

(5) 根据仪器设备条件,选用能够测量的评定参数。

#### 2. 规定评定参数允许值的一般原则

(1) 在同一零件上,工作表面的粗糙度应比非工作表面要求严( $t_p$  值应大,其余评定参数值应小)。

(2) 对于摩擦表面,速度愈高、单位面积压力愈大,则表面粗糙度要求愈严,尤其是对滚动摩擦表面应

更严。

(3) 受交变载荷的表面,特别是在最易产生应力集中的部位,如内圆角、沟槽处,表面粗糙度要求应严。

(4) 要求配合性质稳定可靠的结合面、密封面、受重载的过盈配合表面,表面粗糙度要求应严。

(5) 在确定零件配合表面的粗糙度值时,应与其尺寸公差及形状公差相协调。一般而言,尺寸及形状公差要求小时,粗糙度要求严。

(6) 同一公差等级的零件,小尺寸比大尺寸、轴比孔的粗糙度要求严。

(7) 在满足功能要求的前提下,应尽可能放宽对粗糙度值的要求。

### 5.2 选用表面粗糙度评定参数值

目前国际上对给定表面粗糙度要求有两种方法<sup>[6]</sup>,一种是根据每一个表面所应具有的主要表面轮廓和粗糙度值,设法规定和控制每个表面的粗糙度要求;其基本要求是要获得全部功能利益,并确保严密控制那些需花费高精度加工费用的部件。另一种是只对零部件的关键部分进行控制,其余部分留给能达到粗糙度要求的较精或精加工方法来保证。两种方法各有其优点,且在正常情况下都是可行的。

粗糙度评定参数允许值的具体选用,通常是根据某些统计资料采用类比法确定。

#### 5.2.1 选择粗糙度评定参数值的有关参考图表

1. 表面粗糙度的表面特征、经济加工方法及应用举例(表 1-4-12)

表 1-4-12 表面粗糙度的表面特征、经济加工方法及应用举例

表面微观特性	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	加工方法	应用举例
粗糙表面 微见刀痕	$\leq 20$	$\leq 80$	粗车、粗刨、粗铣、钻、毛锉、锯断	半成品粗加工过的表面,非配合的加工表面,如轴端面、倒角、钻孔、齿轮及带轮侧面、键槽底面、垫圈接触面等
半光表面 微见加工痕迹	$\leq 10$	$\leq 40$	车、刨、铣、镗、钻、粗绞	轴上不安装轴承、齿轮处的非配合表面,紧固件的自由装配表面,轴和孔的退刀槽等
光表面 微见加工痕迹	$\leq 5$	$\leq 20$	车、刨、铣、镗、磨、拉、粗刮、滚压	半精加工表面,箱体、支架、盖面、套筒等和其他零件结合而无配合要求的表面,需要发蓝的表面等
镜面 看不清加工痕迹	$\leq 2.5$	$\leq 10$	车、刨、铣、镗、磨、拉、刮、珩、铣齿	接近于精加工表面,箱体上安装轴承的穿孔表面,齿轮的工作面



(续)

表面微观特性		$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	加工方法	应用举例
光 表 面	可辨加工痕迹方向	$\leq 1.25$	$\leq 6.3$	车, 镗, 磨, 拉, 刮, 精绞, 磨内, 滚压	圆柱销、圆锥销, 与滚动轴承配合的表面, 普通车床 导轨面, 内、外花键定心表面等
	微辨加工痕迹方向	$\leq 0.63$	$\leq 3.2$	精绞, 精镗, 磨, 刮, 滚压	要求配合性质稳定的配合表面, 工作时受交变应力 的重要零件, 较高精度车床的导轨面
	不可辨加工痕迹方向	$\leq 0.32$	$\leq 1.6$	精磨, 珩磨, 研磨, 超精加工	精密机床主轴锥孔、顶尖圆锥面, 发动机曲轴、凸轮 轴工作表面, 高精度齿轮齿面
极 光 表 面	暗光泽面	$\leq 0.16$	$\leq 0.8$	精磨, 研磨, 普通 抛光	精密机床主轴颈表面, 一般量规工作表面, 气缸套 内表面, 活塞销表面等
	亮光泽面	$\leq 0.08$	$\leq 0.4$	超精磨, 精抛光, 镜面磨削	精密机床主轴颈表面, 滚动轴承的滚珠, 高压油泵 中柱塞和柱塞套配合的表面
	镜状光泽面	$\leq 0.04$	$\leq 0.2$		
	镜 面	$\leq 0.01$	$\leq 0.05$	镜面磨削, 超精研	高精度量仪、量块的工作表面, 光学仪器中的金属 镜面

2. 表面粗糙度应用举例(表 1-4-13)

表 1-4-13 表面粗糙度应用举例

粗糙度 $R_a$ 值( $\mu\text{m}$ )	应 用 举 例
12.5	多用于粗加工的非配合表面, 如轴端面, 倒角, 钻孔, 齿轮及带轮的侧面, 键槽非工作表面, 垫圈的接触面, 不重要的安装支承面, 螺钉、铆钉孔表面, 圆盘靶片、锄铲零件的刃口等
6.3	半精加工表面。用于不重要零件的非配合表面, 如支柱、轴、支架、外壳、衬套、盖等的端面; 紧固件的自由表面, 如螺栓、螺钉、双头螺栓和螺母的表面; 不要求定心及配合特性的表面, 如螺栓孔、螺钉孔和铆钉孔等表面, 飞轮、带轮、离合器、联轴器、凸轮、偏心轮的侧面, 平键及键槽上下面, 楔键侧面, 花键非定心表面, 齿轮顶圆表面; 所有轴和孔的退刀槽; 不重要的铰接配合表面; 犁的提升板把; 小轴和提升离心机爪的销轴; 犁铧、犁侧板、深耕铲等零件的摩擦工作面, 插秧爪面等
3.2	半精加工表面。用于外壳、箱体、盖面、套筒、支架和其他零件连接而不形成配合的表面; 扳手和手轮的外圆表面; 要求有定心及配合特性的固定支承表面, 定心的轴肩, 键和键槽的工作表面; 不重要的紧固螺纹的表面, 非传动用的梯形螺纹、锯齿形螺纹表面; 燕尾槽的表面; 需要发蓝的表面; 需要滚花的预加工表面; 低速下工作的滑动轴承和轴的摩擦表面; 张紧链轮、导向滚轮、壳孔与轴的配合表面; 止推滑动轴承及中间垫片的工作表面, 滑块及导向面(速度 $20 \sim 50\text{m/min}$ ); 收割机械切割器的摩擦片、动刀片、压刀片的摩擦面, 切草刀的内表面, 脱粒机格板工作表面等
1.6	要求有定心及配合特性的固定支承、衬套、轴承和定位销的压入孔表面; 不要求定心及配合特性的活动支承面, 活动关节及花键结合面; 8级齿轮的齿面, 齿条齿面; 传动螺纹工作面, 低速转动的轴颈、楔形键及键槽上下面, 轴承盖凸肩表面(对中心用)、端盖内侧滑块及导向面、V带带轮槽表面, 电镀前金属表面等
0.80	要求保证定心及配合特性的表面; 锥销与圆柱销的表面; 与G级和E级精度滚动轴承相配合的孔和轴颈表面; 中速转动的轴颈, 过盈配合的孔H7, 间隙配合的孔H8、H9, 花键轴上的定心表面; 滑动导轨面 不要求保证定心及配合特性的活动支承面; 高精度的活动球状接头表面、支承垫圈、套齿叉形件、磨削的轮齿、榨油机螺旋榨辊面等



(续)

粗糙度 $R_a$ 值( $\mu\text{m}$ )	应 用 举 例
0.40	要求能长期保持所规定的配合特性的孔 H7、H6, 7 级精度的齿轮工作面, 蜗杆齿面(7~8 级), 与 D 级滚动轴承配合的孔和轴颈表面; 要求保证定心及配合特性的表面; 滑动轴承轴瓦的工作表面。分度盘表面; 导杆及推杆表面。工作时受反复应力的重要零件, 在不破坏配合特性下工作, 要求保证其耐久性和疲劳强度所要求的表面: 受力螺栓的圆柱表面, 曲轴和凸轮轴的工作表面。发动机气门头圆锥面, 与橡胶油封相配的轴表面等
0.20	工作时承受反复应力的重要零件表面, 保证零件的疲劳强度、防腐性和耐久性, 并在工作时不破坏配合特性的表面; 轴颈表面, 活塞表面, 要求气密的表面和支承面, 精密机床主轴锥孔, 顶尖圆锥表面。精确配合的孔 H6、H5, 3、4、5 级精度齿轮的工作表面。与 C 级精度滚动轴承配合的孔和轴颈表面; 喷油器针阀体的密封配合面, 液压油缸和柱塞的表面。喷雾器活塞缸套内表面。齿轮泵轴颈等
0.10	工作时承受较大反复应力的重要零件表面, 保证零件的疲劳强度、防锈性及在活动接头工作中耐久性的一些表面; 精密机床主轴箱与套筒配合的孔; 活塞销的表面; 液压传动用孔的表面, 阀的工作面, 气缸内表面, 保证精确定心的锥体表面; 仪器中承受摩擦的表面, 如导轨, 槽面等
0.05	特别精密的滚动轴承套圈滚道、滚珠及滚柱表面, 摩擦离合器的摩擦表面, 工作量规的测量表面, 精密刻度盘表面; 精密机床主轴套筒外圆面等
0.025	特别精密的滚动轴承套圈滚道、滚珠及滚柱表面, 量仪中中等精度间隙配合零件的工作表面, 柴油发动机高压油泵中柱塞和柱塞套的配合表面; 保证高度气密的接合表面等
0.012	仪器的测量表面。量仪中高精度间隙配合零件的工作表面。尺寸超过 100mm 的量块工作表面等
0.008	量块的工作表面; 高精度测量仪器的测量面, 光学测量仪器中金属镜面; 高精度仪器摩擦机构的支撑面等

3. 表面粗糙度值与公差等级、基本尺寸的对应关系(表 1-4-14)

表 1-4-14 表面粗糙度值与公差等级、基本尺寸的对应关系

公差等级 IT	基本尺寸(mm)	$R_a$ 值( $\mu\text{m}$ )	$R_z, R_y$ ( $\mu\text{m}$ )
2	$\leq 10$	0.025~0.040	0.16~0.20
	$> 10 \sim 50$	0.050~0.080	0.25~0.40
	$> 50 \sim 180$	0.10~0.16	0.50~0.80
	$> 180 \sim 500$	0.20~0.32	1.0~1.6
3	$\leq 18$	0.050~0.080	0.25~0.40
	$> 18 \sim 50$	0.10~0.16	0.50~0.80
	$> 50 \sim 250$	0.20~0.32	1.0~1.6
	$> 250 \sim 500$	0.40~0.63	2.0~3.2
4	$\leq 6$	0.050~0.080	0.25~0.40
	$> 6 \sim 50$	0.10~0.16	0.50~0.80
	$> 50 \sim 250$	0.20~0.32	1.0~1.6
	$> 250 \sim 500$	0.40~0.63	2.0~3.2
5	$\leq 6$	0.10~0.16	0.50~0.80
	$> 6 \sim 50$	0.20~0.32	1.0~1.6
	$> 50 \sim 250$	0.40~0.63	2.0~3.2
	$> 250 \sim 500$	0.80~1.25	4.0~6.3



(续)

公差等级 IT	基本尺寸(mm)	$R_a$ 值( $\mu\text{m}$ )	$R_z, R_v$ ( $\mu\text{m}$ )
6	$\leq 10$	0.20~0.32	1.0~1.6
	$> 10 \sim 80$	0.40~0.63	2.0~3.2
	$> 80 \sim 250$	0.80~1.25	4.0~6.3
	$> 250 \sim 500$	1.6~2.5	8.0~10
7	$\leq 6$	0.40~0.53	2.0~3.2
	$> 3 \sim 50$	0.80~1.25	4.0~6.3
	$> 50 \sim 500$	1.6~2.5	8.0~10
8	$\leq 6$	0.40~0.63	2.0~3.2
	$> 6 \sim 120$	0.80~1.25	4.0~6.3
	$> 120 \sim 500$	1.6~2.5	8.0~10
9	$\leq 10$	0.80~1.25	4.0~6.3
	$> 10 \sim 120$	1.6~2.5	8.0~10
	$> 120 \sim 500$	3.2~5.0	12.5~20
10	$\leq 10$	1.6~2.5	8.0~10
	$> 10 \sim 120$	3.2~5.0	12.5~20
	$> 120 \sim 500$	6.3~10	25~40

4. 普通加工方法和材料可能达到的表面粗糙度(表 1-4-15)

表 1-4-15 普通加工方法和材料可能达到的表面粗糙度

加工方法	表面粗糙度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )													
	0.012	0.025	0.05	0.100	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	100
砂型铸造														
壳型铸造														
金属型铸造														
离心铸造														
精密铸造														
熔模铸造														
压力铸造														
热轧														
模锻														
冷轧														
挤压														
冷拉														
铰														
刮削														
刨削	粗													
	半精													
	精													



(续)

加工方法		表面粗糙度 $R_z$ ( $\mu\text{m}$ )													
		0.012	0.025	0.05	0.100	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	100
插	削														
钻	孔														
扩孔	粗														
扩孔	精														
金 钢 镗	孔														
镗 孔	粗														
	半 精														
	精														
绞 孔	粗														
	半 精														
	精														
拉 削	半 精														
	精														
	粗														
滚 洗	半 精														
	精														
	粗														
端面铣	半 精														
	精														
	粗														
车 外 圆	半 精														
	精														
金 钢 车															
车 端 面	粗														
	半 精														
	精														
磨 外 圆	粗														
	半 精														
	精														
磨 平 圆	粗														
	半 精														
	精														
行 磨	平 面														
	圆 柱														
研 磨	粗														

此星公司制作 请尊重作者版权



(续)

加工方法		表面粗糙度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )													
		0.012	0.025	0.05	0.100	0.20	0.40	0.80	1.60	3.20	6.30	12.5	25	50	100
研 磨	半 精														
	精														
抛 光	一 般														
	精														
滚 压 抛 光															
超精加工	平 面														
	柱 面														
化 学 磨															
电 解 磨															
电 火 花 加 工															
切 割	气 割														
	锯														
	车														
	铣														
	磨														
螺 纹 加 工	丝锥攻牙														
	梳 洗														
	滚														
	车														
	搓 丝														
	滚 压														
	磨														
	研 磨														
齿 轮 及 花 键 加 工	刨														
	滚														
	插														
	磨														
	剃														

5. 典型表面的  $t_z$  值要求(表 1-4-16)

表 1-4-16 典型表面的  $t_z$  值要求

要 求 的 表 面	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$t_z$ ⑤ (%)	$l$ (mm)
和滑动轴承配合的支承轴颈①	0.32	30	0.8
和青铜轴瓦配合的支承轴颈	0.40	15	0.8
和巴比特合金轴瓦配合的支承轴颈	0.25	20	0.25



(续)

要 求 的 表 面	$R_a(\mu\text{m})$	$t_p$ ⑤ (%)	$l(\text{mm})$
和铸铁轴瓦配合的支承轴颈	0.32	40	0.8
和石墨片轴瓦 AHC-1 配合的支承轴颈	0.32	40	0.8
和滚动轴承配合的支承轴颈	0.80		0.8
钢球和滚柱轴承的工作面	0.80	15	0.25
保证选择器或排挡转移情况的表面	0.25	15	0.25
和齿轮孔配合的轴颈	1.6		0.8
按疲劳强度工作的轴		60	0.8
喷镀过的滑动摩擦面	0.08	10	0.25
准备喷镀的表面②			0.8
电化学镀层前的表面	0.2~0.8		
齿轮配合孔	0.5~2.0		0.8
齿轮齿面	0.63~1.25		0.8
蜗杆牙侧面	0.32		0.25
铸铁箱体上主要孔	1.0~2.0		0.8
钢箱体上主要孔	0.63~1.6		0.8
箱体和盖的结合面③			2.5
机床滑动导轨	普通的	0.63	0.8
	高精度的	0.10	15
	重型的	1.6	0.25
滚动导轨	0.16		0.25
缸体工作面	0.40	40	0.8
活塞环工作面	0.25		0.25
曲轴轴颈	0.32	30	0.8
曲轴连杆轴颈	0.25	20	0.25
活塞侧缘	0.80		0.8
活塞上活塞销孔	0.50		0.8
活塞销	0.25	15	0.25
分配轴轴颈和凸轮部分	0.32	30	0.8
油针偶件	0.08	15	0.25
摇杆小轴孔和轴颈	0.63		0.8
腐蚀性的表面④	0.063	10	0.25

- ①  $R_y = 1\mu\text{m}$ 。
- ②  $R_z = 125\mu\text{m}, S_m = 0.5\text{mm}$ 。
- ③  $R_z = 10\mu\text{m}$ 。
- ④  $S_m = 0.032\text{mm}$ 。
- ⑤  $c$  为 20% 时的  $t_p$  值。





6. 常用加工方法及材料的表面粗糙度与生产时间的典型关系(图 1·4-14)

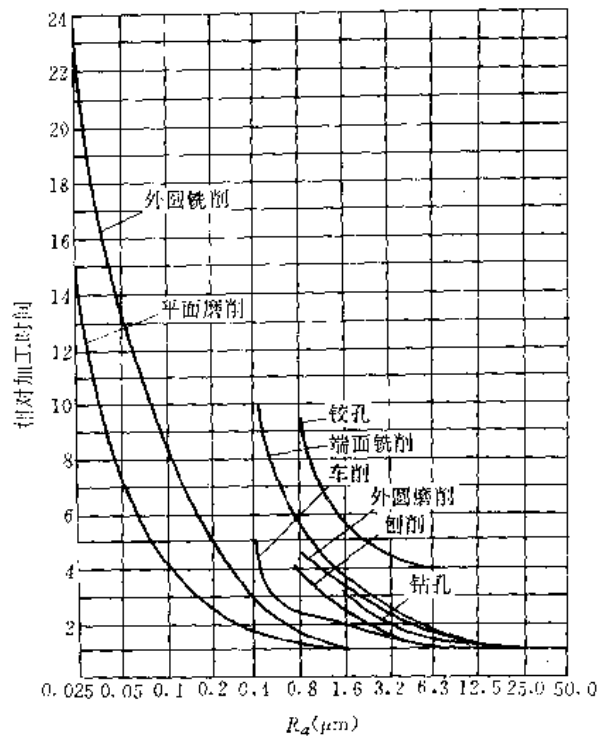


图 1·4-14 常用加工方法及材料的表面粗糙度与生产时间的典型关系

7. 典型零件的表面粗糙度选择(表 1·4-17)

表 1·4-17 典型零件的表面粗糙度选择

表面特性	部 位	表 面 粗 糙 度					
选择装配的配合零件表面	表 面	分 组 公 差 ( $\mu\text{m}$ )					
		<2	2	3	5	8	12.5
	粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )						
	轴	>0.02~0.04	>0.04~0.08	>0.04~0.08	>0.08~0.16	>0.16~0.32	>0.16~0.32
孔	>0.04~0.08	>0.08~0.16	>0.16~0.32	>0.32~0.63	>0.32~0.63	>0.32~0.63	>0.63~1.25
同心度较高的配合表面	表 面	分 组 公 差 ( $\mu\text{m}$ )					
		2.5	4	6	10	16	25
	粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )						
	轴	>0.02~0.04	>0.04~0.08	>0.08~0.16	>0.16~0.32	>0.32~0.63	>0.63~1.25
孔	>0.04~0.08	>0.08~0.16	>0.16~0.32	>0.32~0.63	>0.63~1.25	>1.25~2.5	
滑动轴承的配合表面	表 面	IT 等 级		液 体 摩 擦		气 体 摩 擦	
		7~9	11~12				
	粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )						
	轴	>0.16~5		>0.63~2.5		>0.08~0.63	>0.02~0.16
孔	>0.32~2.5		>0.63~2.5		>0.16~1.25	>0.04~0.32	



(续)

表面特性	部 位	表 面 粗 糙 度									
导 轨	部 位	平 面 度 ( $\mu\text{m}/100\text{mm}$ )									
		$\leq 6$	$\leq 10$	$\leq 30$	$\leq 50$	$> 50$					
	表面	速度 (m/s)	粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )								
	滑 动	$\leq 0.5$	$> 0.16 \sim 0.32$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 2.5 \sim 5$				
		$> 0.5$	$> 0.08 \sim 0.16$	$> 0.16 \sim 0.32$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 1.25 \sim 2.5$				
	滚 动	$\leq 0.5$	$> 0.08 \sim 0.16$	$> 0.16 \sim 0.32$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 1.25 \sim 2.5$				
$> 0.5$		$> 0.04 \sim 0.08$	$> 0.08 \sim 0.16$	$> 0.16 \sim 0.32$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.63 \sim 1.25$					
圆锥结合	表 面	定心结合	密封结合	固定结合	支承面	工具圆锥面	其 他				
		粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )									
	外表面	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.38 \sim 0.16$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 1.25 \sim 5$				
	内表面	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 0.16 \sim 0.32$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 1.25 \sim 5$				
齿轮(直齿、斜齿、人字齿)	部 位	齿 轮 精 度 等 级									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )										
	齿 面	$> 0.08$	$> 0.16$	$> 0.16$	$> 0.32$	$> 0.32$	$> 1.25$	$> 2.5$	$> 5$	$> 5$	
		$\sim 0.32$	$\sim 0.63$	$\sim 0.63$	$\sim 0.63$	$\sim 1.25$	$\sim 2.5$	$\sim 5$	$\sim 10$	$\sim 10$	
	孔	$> 0.16$	$> 0.16$	$> 0.16$	$> 0.63$	$> 0.63$	$> 0.63$	$> 2.5$	$> 2.5$	$> 2.5$	
		$\sim 0.63$	$\sim 0.63$	$\sim 0.63$	$\sim 2.5$	$\sim 2.5$	$\sim 2.5$	$\sim 10$	$\sim 10$	$\sim 10$	
外 圆	$> 0.63$	$> 0.63$	$> 0.63$	$> 1.25$	$> 1.25$	$> 1.25$	$> 2.5$	$> 2.5$	$> 2.5$		
	$\sim 2.5$	$\sim 2.5$	$\sim 2.5$	$\sim 5$	$\sim 5$	$\sim 5$	$\sim 20$	$\sim 20$	$\sim 20$		
端 面	$> 0.08$	$> 0.08$	$> 0.32$	$> 0.32$	$> 0.63$	$> 0.63$	$> 2.5$	$> 2.5$	$> 2.5$		
	$\sim 0.32$	$\sim 0.32$	$\sim 1.25$	$\sim 1.25$	$\sim 5$	$\sim 5$	$\sim 20$	$\sim 20$	$\sim 20$		
圆弧齿 轮	部 位	圆 弧 内 轮 精 度 等 级									
		3	4	5	6	7	8	9			
	粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )										
	齿 面	$> 0.16 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 1.25$	$> 0.63 \sim 2.5$	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 2.5 \sim 5$			
		$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.63 \sim 2.5$	$> 1.25 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 5 \sim 10$			
	外圆锥	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 1.25 \sim 5$	$> 1.25 \sim 5$	$> 2.5 \sim 20$	$> 2.5 \sim 20$	$> 5 \sim 20$			
$> 0.16 \sim 0.63$		$> 0.32 \sim 1.25$	$> 0.63 \sim 2.5$	$> 0.63 \sim 2.5$	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 5 \sim 10$				
端 面	$> 0.16 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 1.25$	$> 0.63 \sim 2.5$	$> 0.63 \sim 2.5$	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 5 \sim 10$				
蜗轮、蜗 杆	部 位	蜗 轮 蜗 杆 精 度 等 级									
		5	6	7	8	9					
	粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )										
	蜗 杆	齿 面	$> 0.16 \sim 0.32$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 1.25 \sim 2.5$				
		齿 顶	$> 0.16 \sim 0.32$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 1.25 \sim 2.5$				
	蜗 轮	齿 根	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$				
		齿 面	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 2.5 \sim 5$				
蜗 轮	齿 根	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 2.5 \sim 5$					

此星公司制作 请尊重作者版权



(续)

表面特性		表面粗糙度				
齿条	部 位	齿 条 精 度 等 级				
		8	9	10		
		粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )				
	齿 面	$>1.25\sim5$	$>2.5\sim10$	$>5\sim10$		
	齿 顶 面	$>2.5\sim5$	$>5\sim10$	$>10\sim20$		
	基 准 面	$>1.25\sim2.5$	$>2.5\sim5$	$>2.5\sim5$		
螺纹	类 别	螺 纹 精 度 等 级				
		1	2	3		
		粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )				
	粗牙普通螺纹	$>0.32\sim1.25$	$>0.63\sim1.25$	$>1.25\sim5$		
	细牙普通螺纹	$>0.16\sim0.63$	$>0.63\sim1.25$	$>1.25\sim5$		
丝杆螺 纹	部 位	丝 杆 螺 纹 精 度 等 级				
		5	6	7	8	9
		粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )				
	大 径	$>0.32\sim0.63$	$>0.32\sim0.63$	$>0.32\sim0.63$	$>0.63\sim1.25$	$>1.25\sim2.5$
	牙型侧面	$>0.16\sim0.32$	$>0.32\sim0.63$	$>0.63\sim1.25$	$>1.25\sim2.5$	$>1.25\sim2.5$
键联接	联接型式	键	轴 槽		套 槽	
		粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )				
	工 作 表 面	沿套槽作 轴向移动	$>0.16\sim0.63$	$>1.25\sim2.5$	$>0.32\sim1.25$	
		沿轴槽作 轴向移动	$>0.16\sim0.63$	$>0.32\sim1.25$	$>1.25\sim2.5$	
		键在轴、 套槽上不 动	$>1.25\sim2.5$	$>1.25\sim2.5$	$>1.25\sim5$	
	非 工 作 表 面	沿套槽作 轴向移动	$>5\sim10$	$>5\sim10$	$>10\sim20$	
		沿轴槽作 轴向移动	$>5\sim10$	$>10\sim20$	$>5\sim10$	
键在轴、 套槽上不 动		$>5\sim10$	$>5\sim10$	$>10\sim20$		



(续)

表面特性	部 位		表 面 粗 糙 度		
			外 径	内 径	键 侧
矩形花键	定心方式		粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )		
			外 径	内 径	键 侧
	外径 $D$	内花键	$>1.25 \sim 2.5$	$>5 \sim 10$	$>2.5 \sim 5$
		外花键	$>0.63 \sim 1.25$	$>5 \sim 10$	$>0.63 \sim 5$
	内径 $d$	内花键	$>5 \sim 10$	$>0.63 \sim 1.25$	$>2.5 \sim 5$
		外花键	$>2.5 \sim 5$	$>0.63 \sim 1.25$	$>0.63 \sim 1.25$
	键和槽宽 $b$	内花键	$>5 \sim 10$	$>5 \sim 10$	$>2.5 \sim 5$
外花键		$2.5 \sim 5$	$>5 \sim 10$	$>0.63 \sim 5$	
液压元件	驱动泵曲柄、活塞环外表面与侧面		$>0.63 \sim 2.5$		
	连杆轴颈		$>0.32 \sim 0.63$		
	中心轴颈, 连杆轴瓦		$>0.32 \sim 0.63$		
	活塞外圆柱面		$>0.63 \sim 1.25$		
	活塞侧表面		$>0.63 \sim 1.25$		
	活塞泵的连杆孔		$>0.32 \sim 1.25$		
	活塞泵的缸筒		$>0.32 \sim 1.25$		
	滑阀衬套		$>0.32 \sim 1.25$		
	柱塞、柱形活塞、齿轮泵		$>0.32 \sim 1.25$		
	滑阀、高压泵柱塞、气门、气门座		$>0.08 \sim 0.32$		
可见的自由表面	精密刻度盘		$>0.02 \sim 0.08$		
	一般精密刻度盘		$>0.32 \sim 1.25$		
	分度盘		$>0.32 \sim 0.63$		
	高速转动零件凸出部分表面(主轴凸缘)		$>0.63 \sim 5$		
	操作件的表面(手轮等)		$>0.16 \sim 1.25$		
	不与零件表面接触的联轴器、套筒等		$>2.5 \sim 10$		
	中小零件表面		$>1.25 \sim 10$		
	大型零件表面		$>2.5 \sim 20$		

此星公司制作 请尊重作者版权



5.2.2 表面粗糙度与表面光洁度<sup>①</sup>过渡方案对照

表 1.4-18 给出了现行国家标准 GB1031《表面粗糙度 参数及其数值》与旧标准 GB1031-68《表面光洁度》的参数值过渡方案对照。由于 GB1031-68 中每一光洁度等级分别规定了  $R_a$  和  $R_z$  两个参数的数值范围,且没明确指定选用那一个参数,所以表 1.4-18 只作为新旧标准过渡应用的参考。

表 1.4-18 表面粗糙度与光洁度新旧  
国标过渡方案对照

按 GB1031-68 的等级代号	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )			$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
	方案 1	方案 2	方案 3	
$\nabla 1$	50	100	80	320
$\nabla 2$	25	50	40	160
$\nabla 3$	12.5	25	20	80
$\nabla 4$	6.3	12.5	10	40
$\nabla 5$	3.2	6.3	5	20
$\nabla 6$	1.6	3.2	2.5	10
$\nabla 7$	0.8	1.6	1.25	6.3
$\nabla 8$	0.4	0.8	0.63	3.2
$\nabla 9$	0.2	0.4	0.32	1.6
$\nabla 10$	0.1	0.2	0.16	0.8
$\nabla 11$	0.05	0.1	0.08	0.4
$\nabla 12$	0.025	0.05	0.04	0.2
$\nabla 13$	0.012	0.025	0.02	0.1
$\nabla 14$	0.006	0.012	0.01	0.05

注: 1. 方案 1 的  $R_a$  值,符合优先数系,这些数值接近原标准各级的平均值,此方案只推荐用于最重要的表面,保证产品质量指标的提商,但粗糙度数值有些过严,对按参数  $R_a$  的各种测量方法的结果会有影响。如用比较样块按照 GB1031-68 的规定去测量,实际上精度水平却不改变。

2. 方案 2 的  $R_a$  值符合优先数系,但大于各级上限 25%。如果稍降低要求并不影响产品质量时,此方案可应用于较不重要的表面。

3. 方案 3 的  $R_a$  值,和原标准中各级的上限一致,但不是优先值。此方案仅推荐用于提高制造精度受到限制,而按产品的装配或工作条件增加  $R_a$  值不允许的情况。

4.  $R_z$  值和原标准中各级的上限一致。

## 6 表面粗糙度的三维评定

目前,评定表面粗糙度的参数仅限于一、二维评定参数,它们只能局部地反映表面微观几何特征。然而,表面粗糙度对零件使用功能的影响,实际上是实际轮廓表面的三维微观几何特征所造成的,因而应提出相

应的表面粗糙度三维评定参数,对表面微观几何轮廓形貌作出更精确的描述,以促进零件表面质量的提高。

由于检测手段的限制,长期以来表面粗糙度的三维评定未能实现,也没有相应的标准可循。但近些年来,国内、外已成功研制出表面粗糙度的三维测量系统,同时也相应提出了一些表面粗糙度的三维评定参数,向表面粗糙度三维评定的实用化迈出了重要的一步。表面粗糙度三维评定的部分参数如下:<sup>②</sup>

1. 表面算术平均偏差  $R_{sa}$  表面算术平均偏差指在规定的面积  $S$  内,表面上各点与基准面之间距离绝对值的算术平均值,即

$$R_{sa} = \frac{1}{S} \iint_S |z| ds$$

式中  $S$  - 积分区域面积,可取  $l \times l$  ( $l$  为取样长度);

$z$  - 评定表面相对基准表面的偏差。

此处取最小二乘拟合表面为基准面,并设被测表面位于空间直角坐标系中,表面粗糙度幅值与  $z$  轴同向。

2. 表面均方根偏差  $R_{sq}$  表面均方根偏差是指在规定的面积  $S$  内,表面上各点与基准面之间距离的均方根值,即

$$R_{sq} = \left( \frac{1}{S} \iint_S z^2 ds \right)^{1/2}$$

3. 表面最大峰高  $R_{sp}$  表面最大峰高是指在规定面积  $S$  内,从表面峰顶至基准面的距离,即

$$R_{sp} = \max(|z|)$$

4. 表面最大谷深  $R_{sn}$  表面最大谷深是指在规定面积  $S$  内,从表面谷底至基准面的距离,即

$$R_{sn} = \min(|z|)$$

5. 表面最大高度  $R_{sy}$

$$R_{sy} = R_{sp} + R_{sn}$$

6. 表面支承率  $T_{sp}(c)$  表面支承率是指在深度  $c$  处,一平行于基准面的平面与评定表面相截,所得截面积  $S'$  与规定面积  $S$  之比,即

$$T_{sp}(c) = S'/S$$

① 现行国标中称表面粗糙度,旧标准 GB1031-68 中称表面光洁度。

② 这里给出的参数均可由中国科学院北京科学仪器研制中心制造的 3D-SRAT-1 型表面粗糙度自动测量分析仪测量。



## 7 表面波紋度

### 7.1 表面波紋度的特征

表面波紋度(亦简称表面波度)是介于宏观几何形状误差和表面粗糙度之间的表面几何形状误差。它主要是由加工过程中机床—工件—刀具系统的强迫振动等因素引起的表面不平度。

表面波紋度的几何特征见图1·4-15。

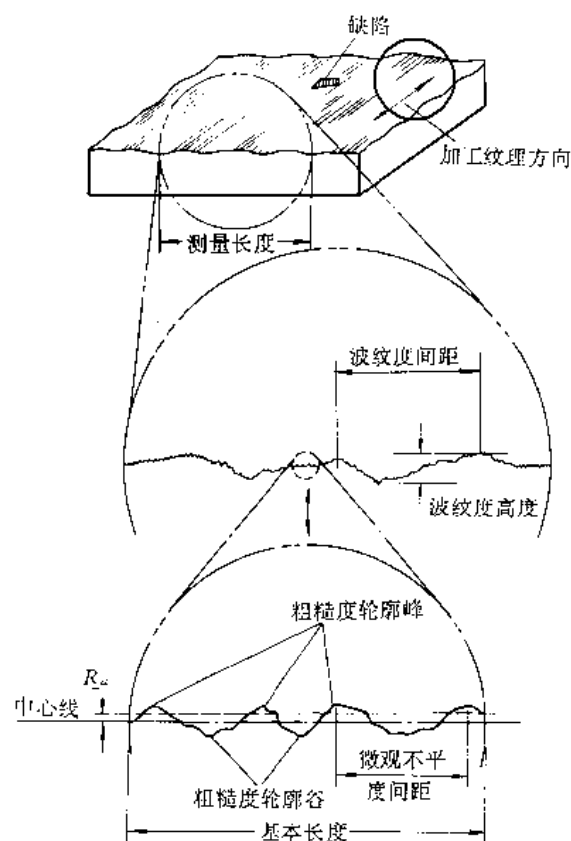


图1·4-15 表面波紋度

反映表面波紋度的轮廓成分通常呈较强的周期性变化,其波距和波高是描述波紋度的基本几何要素。这也是表面波紋度和表面粗糙度及形状误差区分的基础。

对于表面波紋度,目前国际上没有统一的定量描述及评定标准;我国亦仅有机械工业部发布的指导性技术文件 JB/Z 168—89《磨削表面波紋度》。

### 7.2 磨削表面波紋度<sup>①</sup>

#### 7.2.1 磨削表面波紋度的基本概念

1. 磨削表面波紋度 磨削表面波紋度指磨削加

工过程中主要由于机床—工件—砂轮系统的振动而在零件表面上形成的具有一定周期性的高低起伏。

2. 波紋度曲线 零件表面的几何形状总误差由粗糙度、波紋度和形状误差三部分组成。在测量截面轮廓曲线时,采取一定的滤波方式,以限制和减弱加工表面的粗糙度和形状误差成分,从而所获得的测量曲线称为波紋度曲线。

3. 波幅值  $W$  波幅值  $W$  是评定波紋度的基本参数。对直线波紋度,波紋度曲线上某一波的波幅值  $W$  是指波峰至两相邻波谷连线间的坐标距离(图1·4-16);对圆周波紋度,波紋度曲线上某一波的波幅值  $W$  是指相邻峰谷的半径之差(图1·4-17)。

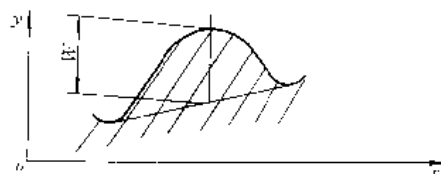


图1·4-16 直线波紋度波幅值

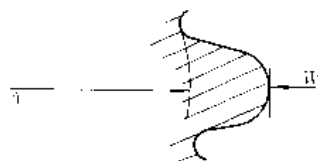


图1·4-17 圆周波紋度波幅值

#### 7.2.2 评定磨削表面波紋度的有关规定

1. 波紋度曲线的获得 为了获得波紋度曲线或确定其测量结果,允许采用下列任何类型的滤波方式或其组合:

a. 滚圆式滤波及其数值规定 用一在垂直于加工纹理方向的平面内具有较大曲率半径的测头,沿波紋度测量方向的截面轮廓曲线移动,其中心轨迹在很大程度上减弱了表面粗糙度的影响(图1·4-18)。这一曲率半径称为滚圆曲率半径  $R$ 。

滚圆曲率半径  $R$  的系列值为0.25、0.8、2.5、8.0、25mm。 $R$  的标准数值为8.0mm。

斧形测头在加工纹理方向的平面内的曲率半径  $r$  (图1·4-18)的系列值为0.25、0.8mm。 $r$  的标准数值0.8mm。

① 摘自 JB/Z 168—89。



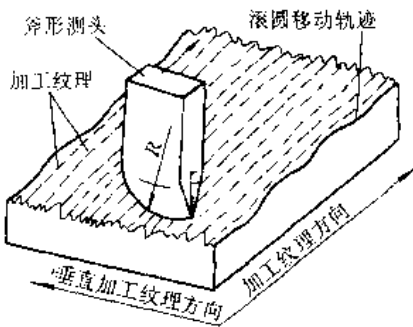


图 1-4-18 滚圆式滤波

当不能按标准  $R$  和  $r$  值来测量波纹度时(如粗距较大的端磨表面、曲率半径较小的轴承滚道面等),则可按系列值选用其他  $R$  和  $r$  值,并在有关技术文件中注明。

b. 电气截止式滤波及其数值规定 利用电气滤波线路的幅频特性,采用低通滤波器限制粗糙度成分,或采用高通滤波器限制形状误差成分。

(1) 对于直线波纹度,可采用低通滤波器。在幅频特性图上,其相应于 70.7% 幅值处的波长  $\lambda_p$  (mm) 称为高通截止值,图 1-4-19。

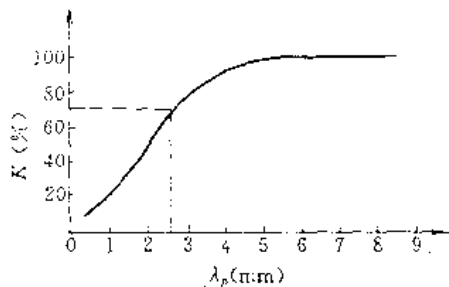


图 1-4-19 低通滤波器幅频特性

$K$ —允许通过的波幅量截止波长值为 2.5mm

$\lambda_p$  的系列值为 0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8.0mm。对一般的磨削表面,  $\lambda_p$  值按被测表面粗糙度选用,见表 1-4-19。

表 1-4-19 高通截止值  $\lambda_p$  的选用

粗糙度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$\leq 0.02$	$> 0.02 \sim 0.32$	$> 0.32 \sim 2.5$
$\lambda_p$ (mm)	0.25	0.8	2.5

注:当不能按本表所规定的  $\lambda_p$  值来测量波纹度时(如粗距较大的端磨表面等),则可按系列值选用其他  $\lambda_p$  值,并在有关技术文件中注明。

(2) 对于圆周波纹度,可采用高通滤波器。在幅频特性图上,其相应于 70.7% 幅值处的频率  $f_p$  (波/

周)称为低通截止值,见图 1-4-20。

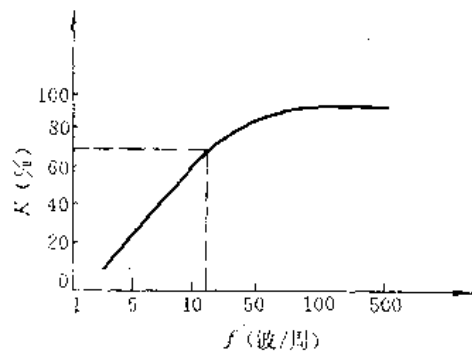


图 1-4-20 高通滤波器的幅频特性

$K$ —允许通过的波幅量截止频率值为 15 波/周

$f_p$  的系列值为 5, 15, 45 波/周。 $f_p$  的标准数值为 15 波/周。

当不能按标准  $f_p$  值测量波纹度时(如很小或很大直径的圆柱面、微型或大型轴承滚道面等),则可按系列值选用其他  $f_p$  值或分别控制不同  $f_p$  值时的  $W_z$  值,并在有关技术文件中注明。

c. 几何滤波 在限制了粗糙度的截面轮廓曲线上,在一个波距范围内读取波幅值,以限制和减弱形状误差成分。

2. 测量长度  $l_p$  及其数值规定 评定磨削表面波纹度所需的一段测量长度为测量长度  $l_p$ 。

$l_p$  的标准数值为 100mm,当仪器的测量长度或工件被测表面全长不足 100mm 时,则取仪器测量长度或被测表面全长作为测量长度。

3. 平均波幅值  $W_z$  及其数值规定 平均波幅值  $W_z$  是评定波纹度的表征参数。

(1) 对直线波纹度,  $W_z$  是指测量长度  $l_p$  内波纹度曲线上五个最大波幅的算术平均值,见图 1-4-21,即

$$W_z = \frac{1}{5} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)$$

当测量长度内的波数少于五个时,则取测量长度内全部波的平均波幅作为  $W_z$ 。

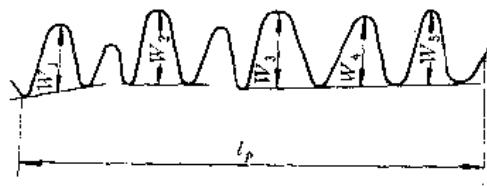


图 1-4-21 直线波纹度平均波幅值  $W_z$

$$W_z = \frac{1}{5} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)$$



(2) 对圆周波紋度,  $W_z$  是指在同一横面波紋度曲线上五个最大波幅的算术平均值, 见图 1-4-22, 即

$$W_z = \frac{1}{5} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)$$

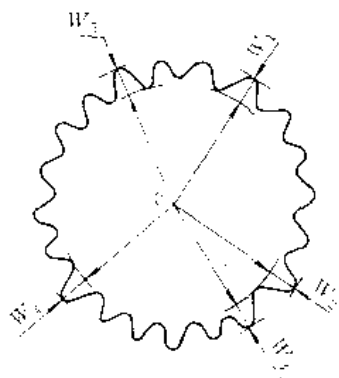


图 1-4-22 圆周波紋度平均波幅值  $W_z$

$$W_z = \frac{1}{5} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)$$

(3) 波紋度平均波幅值  $W_z$  的允许值按公比 1.6 排列, 数值系列规定如下:

0.04, 0.063, 0.10, 0.16, 0.25, 0.40, 0.63, 1.0, 1.6, 2.5, 4.0, 6.3, 10, 16 $\mu\text{m}$ 。

规定波紋度要求为某一数值时, 是指该表面平均波幅值不能大于该值, 可以偏小; 波紋度的数值是指在垂直于基准面的各截面上获得。当未规定测量方向时, 则波紋度数值为垂直于基准面并沿着加工纹理方向的截面上获得(在一般情况下, 由振动产生的波紋度, 其最大波幅值是发生在加工纹理方向上)。

**4. 波紋度在图样上的标注** 在国家标准未规定波紋度标注前, 可在图样的技术要求中直接注明平均波幅值  $W_z$  的允许数值。

### 7-3 美国波紋度的基本概念

ANSI/ASME B46.1-1985《表面结构(表面粗糙度、波紋度和纹理)》中涉及部分关于波紋度的内容, 这里摘录有关基本概念, 供参考。

**表面结构** 表面结构是指对理想表面反复出现的或随机的偏离, 其形成该表面的三维形貌。表面结构包括粗糙度、波紋度、纹理和缺陷。图 1-4-15 为具有单一方向纹理的表面, 其中没有进一步涉及平行于纹理的粗糙度和波紋度。

**波紋度** 波紋度是指表面结构中含有较大间距的成分。除非另作说明, 波紋度应包括间距在粗糙度取样

长度及波紋度取样长度之间的所有微观不平度。

**波紋度取样长度** 波紋度取样长度是指确定波紋度高度的取样长度。

**波紋度间距** 波紋度间距指在波紋度取样长度内被测轮廓的相邻峰间距的平均值。

**波紋度高度  $W$**  波紋度高度指在通过滤波、平滑或其他方法消除了粗糙度及表面缺陷影响的表面轮廓上, 轮廓峰对谷的高度(取样长度内, 轮廓位于中心线之上的最大偏移量加上其位于中心线之下的最大偏移量)。在波紋度取样长度限内, 应取垂直于理想轮廓的方向测量。

### 7-4 ISO 关于波紋度标准化的工作

ISO/TC57/SC4“表面几何参数”分技术委员会已开始起草表面波紋度方面的国际标准, 已提出 ISO/CD10479《表面波紋度 术语和定义》、ISO/TC57/SC4/N185《表面波紋度 参数、参数值和给定要求的通则》、ISO/TC57/SC4/N186《表面粗糙度和波紋度的波型法》等三个草案文件。

ISO/CD 10479《表面波紋度 术语和定义》草案的第二稿中给出了实际表面、实际表面轮廓、分离实际表面轮廓成分的求值系统(滤波器)、标准波紋度求值系统、表面波紋度、表面波紋度轮廓、波紋度轮廓评定长度、波紋度轮廓基准线、波紋度截止波长、波紋度轮廓峰、波紋度轮廓谷、波紋度轮廓峰顶线、波紋度轮廓谷底线、波紋度轮廓偏距  $h_w(x)$  等 14 个术语定义; 同时给出了波紋度轮廓峰高  $h_{wp}$ 、波紋度轮廓谷深  $h_{ws}$ 、波紋度轮廓不平度高度、波紋度轮廓不平度平均高度  $W_t$ 、波紋度轮廓最大峰高  $W_p$ 、波紋度轮廓最大谷深  $W_s$ 、波紋度轮廓最大高度  $W_z$ 、波紋度轮廓算术平均偏差  $W_a$ 、波紋度轮廓均方根偏差  $W_r$ 、波紋度轮廓不平度间距  $S_{wm}$ 、波紋度轮廓不平度的平均间距  $S_{wm}$  等 11 个参数的定义。

ISO/TC57/SC4/N185《表面波紋度 参数、参数值和给定要求的通则》草案第二稿规定, 在需要给出评定表面波紋度参数时, 一般采用  $W_z$ ; 如需要, 也可采用  $W_t$ 、 $W_p$ 、 $W_s$ 、 $W_a$ 、 $W_r$ 、 $S_{wm}$  等参数;  $W_z$  的参数系列值为 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.3, 12.5, 25, 50, 100, 200 $\mu\text{m}$ ; 对  $W_t$ 、 $W_p$ 、 $W_s$ 、 $W_a$  和  $S_{wm}$  等 5 个参数, 可从 ISO3-1973《优先数—优先数系》中选取优先数系列值。

ISO/TC57/SC4/N186《表面粗糙度和波紋度的波型法》草案中参数的术语定义部分给出了轮廓总方向、





轮廓单波型、轮廓典型波型、粗糙度典型波型、粗糙度典型波型的平均间距、粗糙度典型波型的平均谷深、轮廓不平度最大谷深、轮廓上包络线、波纹度典型波型、波纹度典型波型的平均间距、波纹度典型波型的平均谷深、波纹度最大谷深、波纹度总谷深等13个术语定义。波型法理想求值系统部分规定了轮廓典型波型的

通常界限,谷深的判别,通过轮廓单波型组合轮廓典型波型的鉴别,参数的计算过程等。波型法参数的测量条件部分规定了描绘实际轮廓的要求,轮廓采样间距,界限A和B,行程长度,评定长度,采样间距,触针尖半径的推荐值和轮廓量化步距等。

## 第5章 尺寸链 [2][6][9][10]

### 1 尺寸链的基本概念

#### 1.1 尺寸链的意义与特征

在零件加工或机器装配的过程中,常常碰到精度有着内在联系的一组尺寸,将这一组尺寸依次排列,构成封闭形式,其中某一尺寸的公差与极限偏差由其他尺寸的公差与极限偏差确定,这样的一组尺寸称为尺寸链。

研究尺寸链的目的在于:经济合理地规定各零件的尺寸公差与极限偏差,寻求达到产品规定公差要求的设计方法与工艺方法。

#### 1.2 尺寸链的基本术语及定义

尺寸链的基本术语及定义参见 GB 5847—86。

**尺寸链** 在机器装配或零件加工过程中,由相互连接的尺寸形成封闭的尺寸组,见图1-5-1和图1-5-2b、c。

**环** 列入尺寸链中的每一个尺寸,见图1-5-1中

的 $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ 及 $A_5$ ,图1-5-2中的 $a_0$ 、 $a_1$ 及 $a_2$ 。

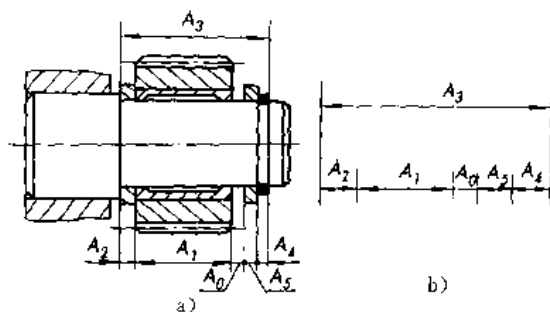


图 1-5-1 装配过程中形成的尺寸链

**封闭环** 尺寸链中在装配过程或加工过程中最后形成的一环,图1-5-1a中的 $A_0$ ,图1-5-2中的 $a_0$ 。

**组成环** 尺寸链中对封闭环有影响的全部环。这些环中任一环的变动必然引起封闭环的变动,如图1-5-1中的 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 及 $A_5$ ,图1-5-2中的 $a_1$ 及 $a_2$ 。

**增环** 尺寸链中的组成环,由于该环的变动引起封闭环同向变动。同向变动指该环增大时封闭环也增

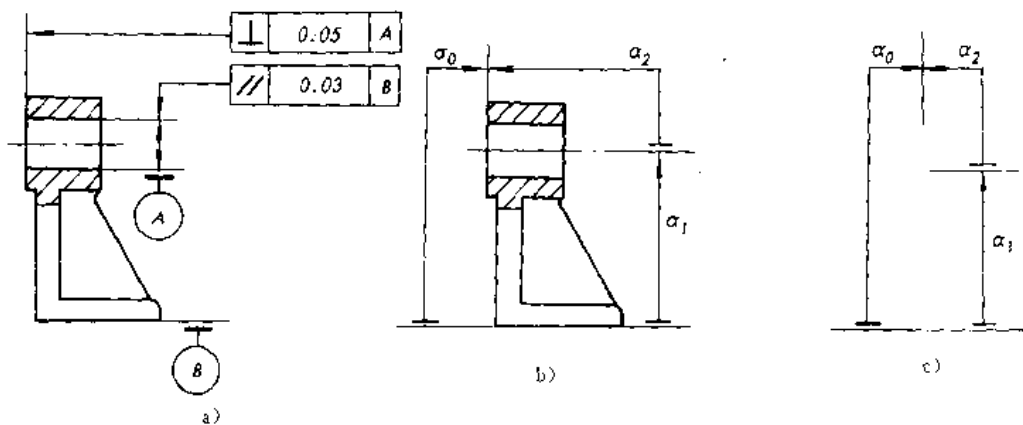


图 1-5-2 零件加工过程中形成的尺寸链



大，该环减小时封闭环也减小，如图 1·5-1 中的  $A_3$ 。

**减环** 尺寸链中的组成环，由于该环的变动引起封闭环反向变动。反向变动指该环增大时封闭环减小，该环减小时封闭环增大，如图 1·5-1 中的  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_4$  及  $A_5$ ，图 1·5-2 中的  $a_1$  及  $a_2$ 。

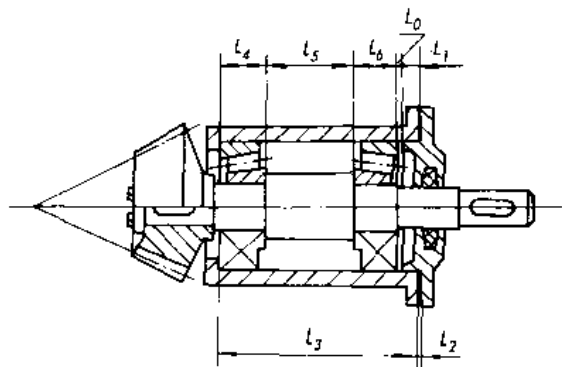


图 1·5-3 补偿环

**补偿环** 尺寸链中预先选定的某一组成环，可以通过改变其大小或位置，使封闭环达到要求，如图 1·5-3 中的  $L_2$ 。

**传递系数** 表示各组成环对封闭环影响大小的系数。

尺寸链中封闭环是组成环的函数，即

$$L_0 = f(L_1, L_2, \dots, L_m)$$

设第  $i$  个组成环的传递系数为  $\xi_i$ ，则有

$$\xi_i = \frac{\partial f}{\partial L_i}$$

对于增环， $\xi_i$  为正值；对于减环， $\xi_i$  为负值。

### 1·3 尺寸链的表示

#### 1·3·1 环的特征符号

我国规定的环的特征符号及其图例见表 1·5-1。

表 1·5-1 环的特征符号及其图例

环 的 特 征		符 号	图 例
长度环	距 离		
	偏 移		
	偏 心		
	矢 径		
角度环	平 行		



(续)

环的特征		符号	图例	
角度环	垂直			
	倾斜			
	角度			

注: 角度环中区分基准要素与被测要素时, 符号中短粗线位于基准要素, 箭头指向被测要素; 当互为基准时, 用双箭头符号表示。

### 1.3.2 尺寸链图

表示封闭环和全部组成环连接关系的图, 称尺寸链图。直接在装配图上表示封闭环和全部组成环连接关系的尺寸链图见图 1-5-1a, 仅由尺寸线与尺寸界线组成的尺寸链图, 亦称尺寸链简图, 见图 1-5-1b。

尺寸链图中符号, 见表 1-5-1。

1. **长度环** 用大写拉丁字母  $A, B, C, \dots$  等表示。
2. **角度环** 用小写希腊字母  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  等表示。
3. **封闭环** 加下角标“0”表示。
4. **组成环** 加下角标阿拉伯数字表示; 数字表示各组成环的序号。

### 1.4 尺寸链的作用<sup>[6]</sup>

1. **合理规定公差与极限偏差** 按封闭环的公差与极限偏差要求, 通过装配尺寸链的分析计算, 合理分配各组成环的公差, 并确定其上偏差和下偏差。

2. **分析结构设计的合理性** 在机械设计中, 通过对各种方案的装配尺寸链的分析比较, 确定较合理的结构。

3. **校核图样** 根据装配尺寸链, 分析、检查、校核零件图上尺寸、公差与极限偏差是否正确合理。

4. **标注尺寸** 装配图上, 应按装配尺寸链分析, 标注封闭环公差及各组成环的基本尺寸。零件图上, 应按零件尺寸链分析, 标注各组成环的公差与极限偏差。

5. **尺寸换算** 零件加工或测量过程中, 当工艺基准或测量基准与设计基准不重合时, 可通过零件尺寸链的分析, 进行基准换算, 使制订的工艺符合设计要求。

6. **机器修理中的尺寸计算** 查明待修理机器部件的尺寸链, 确定要修理的组成环及其要求, 使终结环恢复预定的几何精度要求。

## 2 尺寸链的分类<sup>[6]</sup>

尺寸链可按环的量值特征, 环在机构或零件上的分布、环的方向特征及环的空间位置进行分类。

### 2.1 按环的量值特征

按环的量值特征分为长度尺寸链及角度尺寸链。

1. **长度尺寸链** 全部环为长度尺寸的尺寸链, 见图 1-5-1。

2. **角度尺寸链** 全部环为角度尺寸的尺寸链, 见图 1-5-2。

### 2.2 按环在机构或零件上的分布

按环是分布在机构上或分布在同一零件上, 分为装配尺寸链, 零件尺寸链及工艺尺寸链。

1. **装配尺寸链** 全部组成环为不同零件设计尺寸所形成的尺寸链, 见图 1-5-4。

2. **零件尺寸链** 全部组成环为同一零件设计尺



寸所形成的尺寸链, 见图1·5-5。

3. 工艺尺寸链 全部组成环为同一零件工艺尺寸所形成的尺寸链, 见图1·5-6。

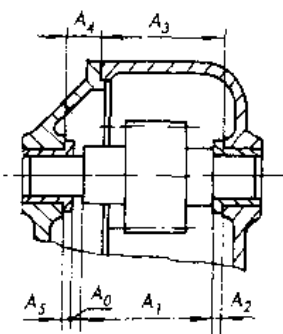


图1·5-4 装配尺寸链

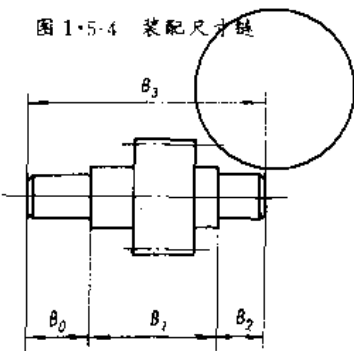


图1·5-5 零件尺寸链

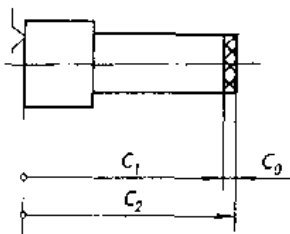


图1·5-6 工艺尺寸链

### 2·3 按环的方向特征

按环的方向特征, 分为标量尺寸链和矢量尺寸链。

1. 标量尺寸链 全部组成环为标量尺寸所形成的尺寸链, 见图1·5-1, 图1·5-3~图1·5-6。

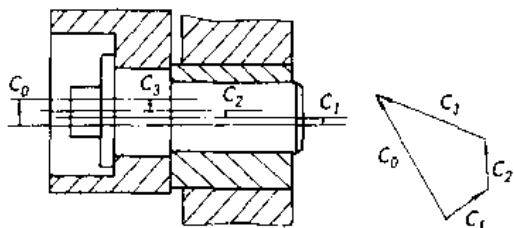


图1·5-7 矢量尺寸链

2. 矢量尺寸链 全部组成环为矢量尺寸所形成的尺寸链, 见图1·5-2, 图1·5-7。

### 2·4 按环在空间的位置

按环在空间的位置, 分为直线尺寸链、平面尺寸链及空间尺寸链。

1. 直线尺寸链 全部组成环平行于封闭环的尺寸链, 见图1·5-1, 图1·5-3~图1·5-6。

2. 平面尺寸链 全部组成环位于一个或几个平行平面内, 但某些组成环不平行于封闭环的尺寸链, 见图1·5-8。

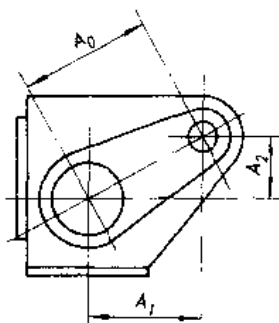


图1·5-8 平面尺寸链

3. 空间尺寸链 组成环位于几个不平行平面内的尺寸链。

车床溜板的移动对主轴的平行度构成一个空间尺寸链, 对于空间尺寸链, 一般只要求在某些特定平面上求解, 见图1·5-9。

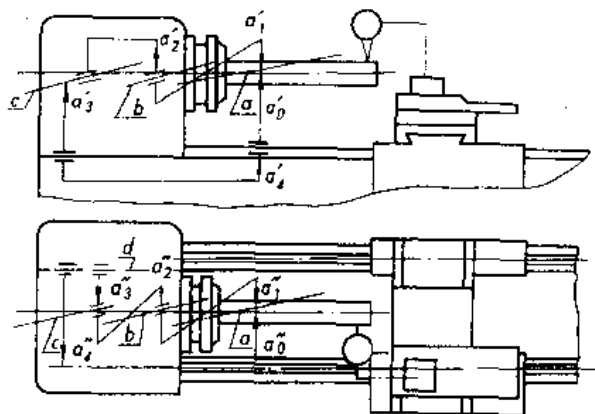


图1·5-9 垂直面尺寸链  $a'$  与水平面尺寸链  $a''$

## 3 尺寸链的分析计算

尺寸链的计算, 主要计算封闭环与组成环的基本

○ 摘自 GB5847--86。



尺寸、公差及极限偏差之间的关系。

为使计算简化,对标量尺寸链与矢量尺寸链均采用统一的计算公式。

3.1 计算参数及含义

1. 平均偏差  $\bar{X}$  实际偏差的平均值。一般情况下,视尺寸链中所有的组成环为独立的随机变量。依据概率论,封闭环的平均偏差  $\bar{X}_0$  与各组成环的平均偏差  $\bar{X}_i$  的关系为

$$\bar{X}_0 = \xi_1 \bar{X}_1 + \xi_2 \bar{X}_2 + \dots + \xi_m \bar{X}_m \quad (1.5-1)$$

式中  $\xi_i$  ——组成环的传递系数;

$m$  ——组成环个数。

2. 中间偏差  $\Delta$  上偏差与下偏差的平均值。若所有组成环的概率分布都为对称于公差带中点的分布,则

$$\bar{X}_0 = \sum_{i=1}^m \xi_i \Delta_i = \Delta_0 \quad (1.5-2)$$

式中  $\Delta_i$  ——组成环的中间偏差;

$\Delta_0$  ——封闭环的中间偏差。

3. 相对分布系数  $k$  表征尺寸分布分散性的系数;正态分布时  $k=1$ ,非正态分布时  $k>1$ 。

4. 相对不对称系数  $e$  表征分布曲线不对称程度

的系数;在公差带内对称分布时,  $e=0$ 。

设  $T$  表示公差,则

$$e = \frac{\bar{X} - \Delta}{T/2} \quad (1.5-3)$$

5. 平均公差  $T_{av}$  全部组成环取相同公差值时的组成环公差。

尺寸链中各组成环的平均公差与封闭环极值公差  $T_{0L}$  的关系为

$$T_{av} = \frac{T_{0L}}{m} \quad (1.5-4)$$

式中  $m$  ——组成环个数。

6. 极值公差  $T_L$  基于封闭环公差为全部组成环公差之和的关系式计算的封闭环或组成环公差。

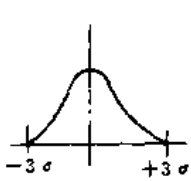
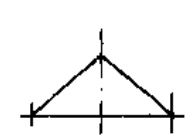
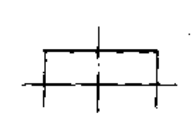
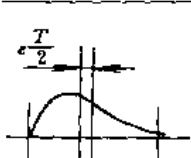
7. 统计公差  $T_S$  基于各组成环和封闭环统计特性计算的封闭环或组成环公差。

8. 平方公差  $T_Q$  基于封闭环公差的平方为全部组成环公差平方和的关系式计算的封闭环或组成环公差。

9. 当量公差  $T_E$  基于各组成环具有相同统计特性计算的封闭环或组成环公差。

系数  $e$  与  $k$  的取值见表 1.5-2;有关尺寸、偏差、公差及计算系数等参数的符号见表 1.5-3;各参数间的关系见图 1.5-10。

表 1.5-2 系数  $e$  与  $k$  的取值

分布特征	分布曲线	$e$	$k$	说明
正态分布		0	1	大批大量生产条件下,稳定工艺过程中,工件尺寸趋近正态分布时选用
三角分布		0	1.22	两个分布范围相等的均匀分布组合,形成三角分布
均匀分布		0	1.73	当尺寸随时间近似线性变动时,形成均匀分布
瑞利分布		-0.28	1.14	偏心或径向跳动趋近瑞利分布



(续)

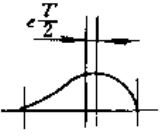
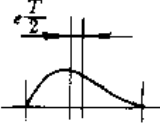
分布特征		分布曲线	$e$	$k$	说 明
偏态分布	外尺寸		0.26	1.17	平行、垂直误差趋近某些偏态分布；单件小批生产条件下，工件尺寸也可能形成偏态分布，偏向最大实体尺寸一边
	内尺寸		-0.26	1.17	

表 1-5-3 有关参数的符号

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
符号	$L$	$L_{max}$	$L_{min}$	$ES$	$EI$	$X$	$T$	$\Delta$	$\bar{X}$	$\phi(X)$	$m$	$\xi$	$k$	$e$	$T_{av}$	$T_L$	$T_S$	$T_Q$	$T_F$
含义	基本尺寸	最大极限尺寸	最小极限尺寸	上偏差	下偏差	实际偏差	公差	中间偏差	平均偏差	概率密度函数	组成环环数	传递系数	相对分布系数	相对不对称系数	平均公差	极值公差	统计公差	平方公差	当量公差

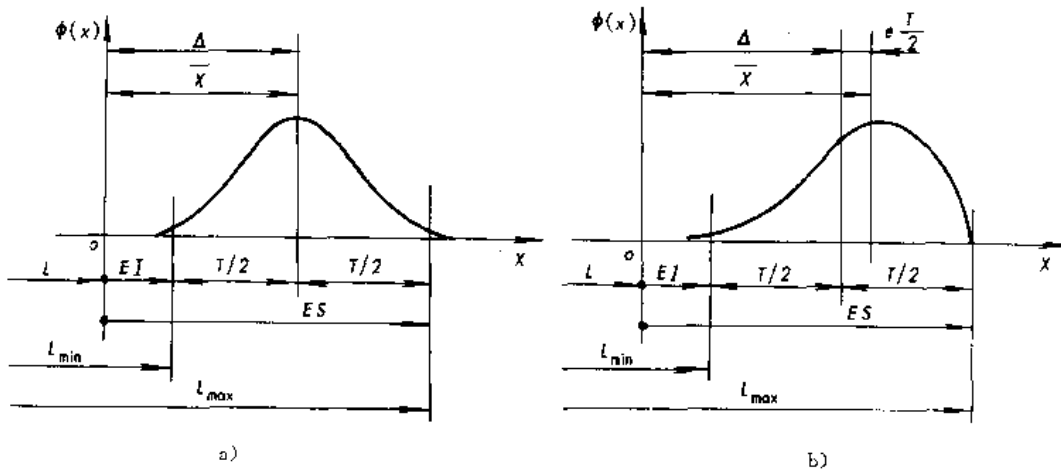


图 1-5-10 各参数间的关系

3.2 计算公式 (表 1-5-4)

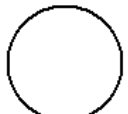
表 1-5-4 基本计算公式

序号	计算内容	计算公式	说 明
1	封闭环基本尺寸	$L_0 = \sum_{i=1}^m \xi_i L_i$	下角标“0”表示封闭环，“i”表示组成环及其序号。下同
2	封闭环中间偏差	$\Delta_0 = \sum_{i=1}^m \xi_i \left( \Delta_i + e_i \frac{T_i}{2} \right)$	当 $e_i = 0$ 时, $\Delta_0 = \sum_{i=1}^m \xi_i \Delta_i$

此星公司制作 请尊重作者版权



(续)

序号	计算内容	计算公式	说明
3	极值公差	$T_{cl} = \sum_{i=1}^m  \xi_i  T_i$	在给定各组成环公差的情况下, 按此计算的封闭环公差 $T_{cl}$ , 其公差值最大
	统计公差	$T_{cs} = \frac{1}{k_0} \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 k_i^2 T_i^2}$	当 $k_0 = k_i = 1$ 时, 得平方公差 $T_{sq} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 T_i^2}$ , 在给定各组成环公差的情况下, 按此计算的封闭环平方公差 $T_{sq}$ , 其公差值最小 使 $k_0 = 1, k_i = k$ 时, 得当量公差 $T_{ck} = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 T_i^2}$ , 它是统计公差 $T_{cs}$ 的近似值 其中 $T_{cl} > T_{cs} > T_{sq}$
4	封闭环极限偏差	$ES_0 = \Delta_0 = \frac{1}{2} T_0$ $EI_0 = -\Delta_0 = -\frac{1}{2} T_0$	
5	封闭环极限尺寸	$L_{max} = L_0 + ES_0$ $L_{min} = L_0 + EI_0$	
6	极值公差	$T_{av,t} = \frac{T_0}{\sum_{i=1}^m  \xi_i }$	对于直线尺寸链 $ \xi_i  = 1$ , 则 $T_{av,t} = \frac{T_0}{m}$ . 在给定封闭环公差的情况下, 按此计算的组成环平均公差 $T_{av,t}$ , 其公差值最小
	统计公差	 $T_{av,s} = \frac{k_0 T_0}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 k_i^2}}$	当 $k_0 = k_i = 1$ 时, 得组成环平均平方公差 $T_{av,q} = \frac{T_0}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2}}$ ; 直线尺寸链 $ \xi_i  = 1$ , 则 $T_{av,q} = \frac{T_0}{\sqrt{m}}$ . 在给定封闭环公差的情况下, 按此计算的组成环平均平方公差 $T_{av,q}$ , 其公差值最大 使 $k_0 = 1, k_i = k$ 时, 得组成环平均当量公差 $T_{av,k} = \frac{T_0}{k \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2}}$ ; 直线尺寸链 $ \xi_i  = 1$ , 则 $T_{av,k} = \frac{T_0}{k \sqrt{m}}$ , 它是统计公差 $T_{av,s}$ 的近似值 其中 $T_{av,t} < T_{av,s} < T_{av,q}$
7	组成环极限偏差	$ES_i = \Delta_i + \frac{1}{2} T_i$ $EI_i = \Delta_i - \frac{1}{2} T_i$	
8	组成环极限尺寸	$L_{max} = L_i + ES_i$ $L_{min} = L_i + EI_i$	

3.3 达到装配尺寸链要求的方法

达到装配尺寸链公差要求的方法有: 互换法、分组法、修配法与调整法。

1. 互换法 按互换程度的不同, 分为完全互换法

与大数互换法:

a. 完全互换法 在全部产品中, 装配时各组成环不需挑选或改变其大小或位置, 装入后即能达到封闭环的公差要求。本法采用极值公差公式计算。

b. 大数互换法 在绝大多数产品中, 装配时各组



成环不需挑选或改变其大小或位置，装入后即能达到封闭环的公差要求。本法采用统计公差公式计算。

大数互换法以一定置信水平为依据。通常，封闭环趋近正态分布，取置信水平  $P = 99.73\%$ ，这时相对分布系数  $k_0 = 1$ ，在某些生产条件下，要求适当放大组成环公差时，可取较低的  $P$  值。 $P$  与  $k_0$  相应数值如下表：

置信水平 $P$ (%)	99.73	99.5	99	98	95	90
相对分布系数 $k_0$	1	1.06	1.16	1.29	1.52	1.82

采用大数互换法时，应有适当的工艺措施，排除个别产品超出公差范围或极限偏差。

按大数互换法计算得到的各组成环公差较大，故可降低机器的制造成本。

2. 分组法 将各组成环按其实际尺寸大小分为若干组，各对应组进行装配，同组零件具有互换性。本法通常采用极值公差公式计算。

3. 修配法 装配时去除补偿件的部分材料以改变其实际尺寸，使封闭环达到其公差与极限偏差要求。本法通常采用极值公差公式计算。

4. 调整法 装配时用调整的方法改变补偿件的实际大小或位置，使封闭环达到其公差与极限偏差要求。一般以螺栓、斜面、挡环、垫片或孔轴联接中的间隙作为补偿环。本法通常采用极值公差公式计算。

### 3.4 装配尺寸链的计算顺序

装配尺寸链的计算顺序见图 1-5-11。

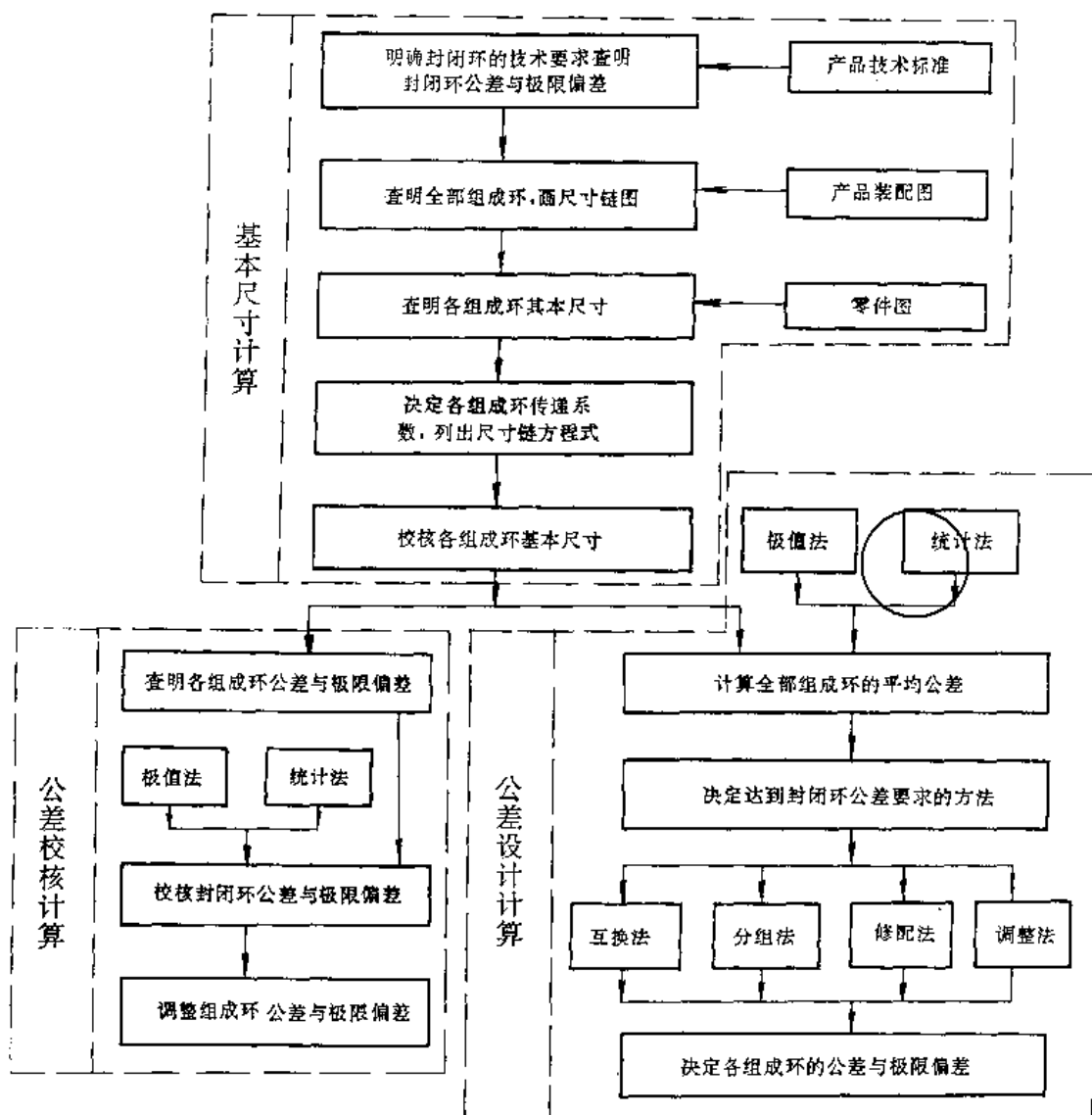


图 1-5-11 装配尺寸链计算顺序框图





### 3.5 系数 $e$ 与 $k$ 的取值

用相对不对称系数  $e$ , 表征分布的不对称程度。用相对分布系数  $k$ , 表征分布的变动范围。

**1. 组成环的分布及其系数** 组成环有不同的分布形式, 常见的几种分布曲线及其相对不对称系数  $e$  与相对分布系数  $k$  的数值见表 1.5-2。

当计算时无任何参考的统计数据时, 尺寸与位置误差一般可当作均匀分布, 亦可当作三角分布。

**2. 封闭环的分布及其系数** 封闭环的分布与组成环个数及其分布特征有关。

(1) 各组成环在其公差带内按正态分布或各组成环具有不同分布, 但组成环个数  $m > 5$ , 且各组成环分布范围相差较小时, 取  $e_c = 0$ ,  $k_c = 1$ 。

(2) 当组成环个数  $m < 5$ , 各组成环为非正态分布: 计算时若无参考的统计数据, 可取  $e_0 = 0$ ,  $k_0 = 1.1 \sim 1.3$ 。

## 4 尺寸链计算

齿轮部件见图 1.5-12, 轴是固定的, 齿轮在轴上回转。试分析其尺寸链, 说明计算顺序和不同计算结果。

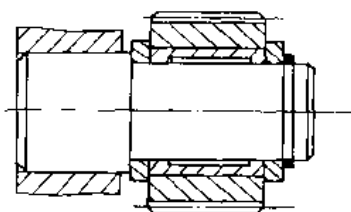


图 1.5-12 齿轮部件

### 4.1 基本尺寸的分析与计算

(1) 确定封闭环及其技术要求

1) 齿轮左端面与挡环之间的间隙是尺寸链的封闭环, 用  $L_0$  表示。

2) 若间隙的极限值为  $0.10 \sim 0.35\text{mm}$ , 则  $L_0 = 0.225\text{mm}$ 。

(2) 查明全部组成环, 画尺寸链图。

1) 决定与终结环有关的尺寸。与间隙大小有关的尺寸是:  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ 、 $L_5$ 。

2) 画出尺寸链图。有两种形式的尺寸链图: 将各组成环用相应符号标注在示意装配图的有关零件上, 见图 1.5-13a, 或将各组成环与封闭环互相连接的关系

单独画出, 见图 1.5-13b。

(3) 查明各组成环基本尺寸。查明各组成环的基本尺寸并标注在尺寸链图上, 见图 1.5-13b。

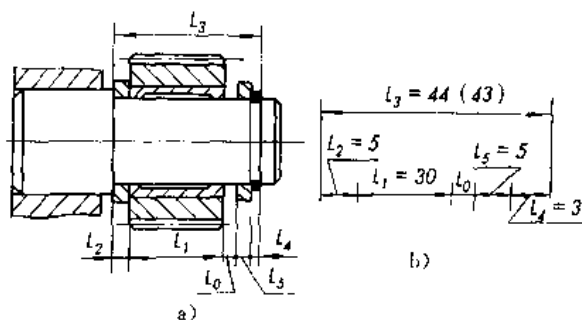


图 1.5-13 齿轮部件的尺寸链图

(4) 决定增环、减环及其相应传递系数, 列出尺寸链方程式

1) 分析可定  $L_3$  是增环, 其传递系数  $\xi_3 = +1$ ;  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_4$ 、 $L_5$  都是减环, 其传递系数皆为  $-1$ 。

2) 尺寸链方程式:  $L_0 = L_3 - (L_1 + L_2 + L_4 + L_5)$ 。

(5) 校核组成环基本尺寸。将各组成环基本尺寸代入尺寸链方程式

$$L_0 = 44 - (30 + 5 + 3 + 5) = 1\text{mm}$$

规定要求  $L_0 = 0$ , 这里将  $L_2$  减小  $1\text{mm}$ , 即  $L_2 = 43\text{mm}$ 。各组成环基本尺寸定为

$$L_1 = 30, L_2 = 5, L_3 = 43, L_4 = 3, L_5 = 5\text{mm}。$$

### 4.2 公差设计计算

通常由设计人员在产品设计过程中, 决定零件、零件间的尺寸或位置公差时进行公差设计计算。

**【例 1.5-1】** 此例即为图 1.5-12 的齿轮部件。由基本尺寸的分析计算可确定:

封闭环极限偏差

$$ES_0 = +0.35\text{mm}, EI_0 = +0.10\text{mm}$$

封闭环中间偏差

$$\Delta_0 = \frac{1}{2} (+0.35 + 0.10) = +0.225\text{mm}$$

封闭环公差

$$T_0 = |(+0.35) - (+0.10)| = 0.25\text{mm}$$

各组成环基本尺寸

$$L_1 = 30\text{mm}, L_2 = 5\text{mm}, L_3 = 43\text{mm}, L_4 = 3\text{mm}, L_5 = 5\text{mm}$$

各组成环传递系数

$$\xi_1 = \xi_2 = \xi_4 = \xi_5 = -1; \xi_3 = +1$$

组成环  $L_4$  是标准件,  $L_4 = 3_{-0.05}^0\text{mm}$ 。

○ 摘自 GB5847-86。



为比较不同方法得出的计算结果,下面分别按完全互换法、大数互换法、修配法与调整法决定各组成环的公差与极限偏差。解 计算过程见表1·5-5~表1·5-9。

表 1·5-5 完全互换法计算 (mm)

计算步骤	计算项目	分析与计算公式	计算结果
1	$T_{av,L}$	$T_{av,L} = T_0/m$	0.05
2	$a_i$	由 $T_{av,L}$ 数值及各组成环基本尺寸,估计各组成环公差等级为 IT9。当公差等级高于 IT8 时,用平均公差确定各组成环公差的方法不适宜	IT9
3	$T_i$ $i=1, 2, 3, 5$	按各组成环基本尺寸大小与零件工艺性好坏,以平均公差数值为基础决定各组成环公差 ( $L_i$ 为标准件尺寸, $T_i=0.05$ )	$T_1=T_3=0.06$ $T_2=T_5=0.04$
4	$ES_i$ $EI_i$ $i=1, 2, 4, 5$	留组成环 $L_3$ 作调整尺寸,其余各环属外尺寸时按 h, 内尺寸时按 H 决定其极限偏差	$L_1=30_{-0.06}^0$ $L_2=5_{-0.04}^0$ $L_4=3_{-0.05}^0$ $L_5=5_{-0.04}^0$
5	$\Delta_i$ $i=1, 2, 4, 5$	$\Delta_{i,av} = \frac{ES_i + EI_i}{2}$	$\Delta_1 = -0.03$ $\Delta_2 = -0.02$ $\Delta_4 = -0.025$ $\Delta_5 = -0.02$
6	$\Delta_3$	$\Delta_3 = \Delta_0 + (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_4 + \Delta_5)$	$\Delta_3 = -0.13$
7	$ES_3$ $EI_3$	$ES_3 = \Delta_3 + \frac{1}{2}T_3$ $EI_3 = \Delta_3 - \frac{1}{2}T_3$	-0.16 -0.10
8	$L_3$		$43_{-0.10}^{+0.16}$

表 1·5-6 大数互换法计算 (mm)

计算步骤	计算项目	分析与计算公式	计算结果
1	$T_{av,K}$	$T_{av,K} = \frac{T_0}{k \sqrt{m}} = \frac{0.25}{1.22 \sqrt{5}}$	0.092
2	$a_i$ $i=1, 2, 4, 5$	由 $a_i$ 估计各组成环公差等级 $a_i = \frac{T_{av,K}}{i_i}$ $i_i = 0.45 \sqrt[3]{L_{i,av} + 0.001L_{i,max}}$ $L_{i,av} = L_i$ 所在尺寸分段的几何平均值	IT10
3	$T_i$	按 $L_i$ 与零件工艺性好坏决定各组成环公差: $T_1=T_2$ $T_4=T_5$ 已知 $T_3$	0.11 0.08 0.05
4	校核 $T_{0K}$	$T_{0K} = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_i^2 T_i^2}$ $k=1.22$ 因 $T_{0K} < T_0$ 故满足要求	0.242



(续)

计算步骤	计算项目	分析与计算公式	计算结果
5	$ES_i$ $EI_i$ $i=1, 2, 4, 5$	留组成环 $L_5$ 作调整尺寸, 其余各组成环外尺寸按 h、内尺寸按 H 决定其极限偏差	$L_1 = 30_{-0.11}^0$ $L_2 = 5_{-0.08}^0$ $L_3 = 3_{-0.05}^0$ $L_4 = 5_{-0.04}^0$
6	$\Delta_i$ $i=1, 2, 4, 5$	$\Delta_i = \frac{ES_i + EI_i}{2}$	$\Delta_1 = -0.055$ $\Delta_2 = -0.04$ $\Delta_3 = -0.025$ $\Delta_4 = -0.04$
7	$\Delta_3$	$\Delta_3 = \Delta_0 + (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_4 + \Delta_5)$	$\Delta_3 = +0.065$
8	$ES_3$ $EI_3$	$ES_3 = \Delta_3 + \frac{1}{2}T_3$ $EI_3 = \Delta_3 - \frac{1}{2}T_3$	+0.12 +0.01
9	$L_3$		$43_{-0.04}^{+0.12}$

表 1.5.7 修配法计算

(mm)

计算步骤	计算项目	分析与计算公式	计算结果
1	$T_i$	设以 $L_5$ 作补偿环, 装配时改变补偿环尺寸使封闭环达到规定要求, 因此各组成环可以给予较宽松的公差 (约 IT11) 已知 $T_4 = 0.05$	$T_1 = T_3 = 0.20$ $T_2 = T_5 = 0.10$
2	$T_{\Sigma}$	$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m  \xi_i  T_i$	0.65
3	$F$	补偿环 $L_5$ 的补偿量 $F$ $F = T_{\Sigma} - T_0 = 0.65 - 0.25$	0.40
4	$ES_i$ $EI_i$ $i=1, 2, 3, 4$	除补偿环外, 各组成环的极限偏差: 外尺寸按 h、内尺寸按 H 决定 已知 $L_4 = 3_{-0.05}^0$	$L_1 = 30_{-0.20}^0$ $L_2 = 5_{-0.10}^0$ $L_3 = 43_{-0.20}^{+0.20}$
5	$\Delta_i$ $i=1, 2, 3, 4$	$\Delta_i = \frac{ES_i + EI_i}{2}$	$\Delta_1 = -0.10$ $\Delta_2 = -0.05$ $\Delta_3 = +0.10$ $\Delta_4 = -0.025$
6	$\Delta_5$	$\Delta_5 = \Delta_0 - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3) - \Delta_4$	+0.05
7	$ES_5$ $EI_5$	$ES_5 = \Delta_5 + \frac{1}{2}T_5$ $EI_5 = \Delta_5 - \frac{1}{2}T_5$	+0.10 0
8	$L_5$		$5_{-0.10}^{+0.10}$
9	校验 $ES_0, EI_0$	$ES_0 = \Delta_0 + \frac{1}{2}T_0$ $EI_0 = \Delta_0 - \frac{1}{2}T_0$	+0.55 -0.10
10	调整 $F$	封闭环要求极限偏差为 +0.35 及 +0.10, 因此补偿量 $F$ 需改变	$F$ 改变 $\pm 0.20$



(续)

计算步骤	计算项目	分析与计算公式	计算结果
11	$L_5$	$L_5$ 在修配时只能切除金属使宽度变小而不能加大, 应把 0.20 预加上 $L_5 = (5 + 0.20) \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix}$	$5.20 \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix}$

表 1-5-8 调整法计算

(mm)

计算步骤	计算项目	分析与计算公式	计算结果
1	确定补偿环	设以 $L_5$ 为补偿环, 对 $L_5$ 规定若干组不同尺寸, 装配时选用不同尺寸的补偿环使封闭环达到规定要求	
2	$L_i, i=1\sim5$ $F$	与修配法计算步骤 1~8 完全相同, 得到各组成环尺寸及补偿环的补偿量 $F$	$L_1: 30 \begin{matrix} 0 \\ -0.20 \end{matrix}$ $L_2: 5 \begin{matrix} 0 \\ -0.10 \end{matrix}$ $L_3: 43 \begin{matrix} +0.20 \\ 0 \end{matrix}$ $L_4: 3 \begin{matrix} 0 \\ -0.05 \end{matrix}$ $L_5: 5 \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix}$ $F: 0.40$
3	$S$	取封闭环公差与补偿环公差之差作为补偿环各组之间的尺寸差 $S$ $S = T_0 - T_5 = 0.25 - 0.10$	0.15
4	$Z$	补偿环组数 $Z = \frac{F}{S} + 1 = 3.66$	4
5	$L_5$	决定补偿环各组尺寸; 当补偿环尺寸的组数 $Z$ 为奇数时, $L_5 = 5 \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix}$ 为中间的一组尺寸; $Z$ 为偶数时, 应该以 $L_5 = 5 \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix}$ 为对称中心, 安排各组尺寸。因此 $L_5 = (5 - 0.225) \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix}, (5 - 0.075) \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix},$ $(5 + 0.075) \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix}, (5 + 0.225) \begin{matrix} +0.10 \\ 0 \end{matrix}$	$L_5 = 5 \begin{matrix} -0.125 \\ 0.225 \end{matrix}$ $5 \begin{matrix} +0.025 \\ -0.075 \end{matrix}$ $5 \begin{matrix} +0.175 \\ +0.075 \end{matrix}$ $5 \begin{matrix} +0.325 \\ +0.225 \end{matrix}$

表 1-5-9 计算结果对比

计算方法	组成环公差等级	产品合格率	装配时的辅助工作	装配后的辅助工作
完全互换	IT9	100%		
大数互换	IT10	99.73%		应 100% 检验, 对超出预定要求的产品进行返修
修配法	IT11	100%	对补偿环进行修配	
调整法	IT11	100%	对补偿环进行选择	

结论:

- (1) 完全互换法宜用于组成环环数不多, 要求完全互换, 而封闭环公差较大的尺寸链。
- (2) 大数互换法宜用于环数较多, 封闭环公差较小, 少数封闭环超出规定要求无危险或可以补救的尺寸链。
- (3) 修配法由于增加了修配量, 故适用于小批单件生产中环数较多, 封闭环公差较小的尺寸链。
- (4) 调整法宜用于环数较多, 封闭环公差较小或使用中

封闭环尺寸变化较大的尺寸链。

#### 4.3 公差校核计算

公差校核计算的目的在于:

- (1) 检验对各组成环所规定的基本尺寸、公差及极限偏差是否正确;
- (2) 确定达到封闭环公差要求的方法;
- (3) 确定在不改变各组成环公差的条件下, 采用



何种方法可以提高封闭环的装配精度。

下面用实例说明公差校核计算的不同方法。

**【例 1-5-2】** 参见图 1-5-13。已知：组成环尺寸  $L_1 = 30 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.15 \end{smallmatrix}$ ， $L_2 = 5 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$ ， $L_3 = 43 \begin{smallmatrix} +0.20 \\ 0.10 \end{smallmatrix}$ ， $L_4 = 3 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$ ， $L_5 = 5 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$ ，中间偏差  $\Delta_1 = -0.05$ ， $\Delta_2 = -0.025$ ， $\Delta_3 = +0.15$ ， $\Delta_4 = -0.025$ ， $\Delta_5 = +0.025$ ，公差  $T_1 = 0.10$ ， $T_2 = 0.05$ ， $T_3 = 0.10$ ， $T_4 = 0.05$ ， $T_5 = 0.05$ ，传递系数  $\xi_1 = \xi_2 = \xi_4 = \xi_5 = -1$ ， $\xi_3 = +1$ ，要

求封闭环极限偏差  $ES_0 = +0.35$ ， $EI_0 = -0.10$ ，中间偏差  $\Delta_0 = \frac{1}{2}(ES_0 + EI_0) = +0.225$ ，公差  $T_0 = (ES_0 - EI_0) = 0.25$ 。

为分析比较不同方法计算的结果，下面分别按封闭环的极值公差、平方公差、统计公差与当量公差校核封闭环能否达到规定要求。

计算过程见表 1-5-10~表 1-5-13。

表 1-5-10 封闭环极值公差的校核计算

(mm)

计算步骤	校核项目	计算公式	计算结果	结 论
1	$T_{\Sigma L}$	$T_{\Sigma L} = \sum_{i=1}^m  \xi_i  T_i$	0.35	$T_{\Sigma L}$ 大于规定要求
2	$\Delta_0$	$\Delta_0 = \sum_{i=1}^m \xi_i \Delta_i$	+0.275	大于规定要求
3	$ES_0$	$ES_0 = \Delta_0 + \frac{1}{2} T_{\Sigma L}$	+0.45	超出规定要求
4	$EI_0$	$EI_0 = \Delta_0 - \frac{1}{2} T_{\Sigma L}$	+0.10	满足规定要求
处理方法	适当缩小各组成环公差，参看表 1-5-5 完全互换法计算，各组成环应改为： $L_1 = 30 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.15 \end{smallmatrix}$ ， $L_2 = 5 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$ ， $L_3 = 43 \begin{smallmatrix} +0.15 \\ 0.10 \end{smallmatrix}$ ， $L_4 = 3 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$ ， $L_5 = 5 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$			

表 1-5-11 封闭环平方公差的校核计算

(mm)

计算步骤	校核项目	计算公式	计算结果	结 论
1	$T_{\Sigma Q}$	$T_{\Sigma Q} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 T_i^2}$	0.17	满足规定要求
2	$\Delta_0$	$\Delta_0 = \sum \xi_i \Delta_i$	-0.275	大于规定要求
3	$ES_0$	$ES_0 = \Delta_0 + \frac{1}{2} T_{\Sigma Q}$	+0.36	稍微超出要求
4	$EI_0$	$EI_0 = \Delta_0 - \frac{1}{2} T_{\Sigma Q}$	+0.19	满足规定要求
处理方法	将组成环 $L_3$ 的中间偏差减小 0.05，即将 $L_3 = 43 \begin{smallmatrix} +0.20 \\ 0.10 \end{smallmatrix}$ 改为 $L_3 = 43 \begin{smallmatrix} +0.15 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$ ，此时封闭环极限偏差 $ES_0 = +0.31$ ， $EI_0 = -0.14$			

表 1-5-12 封闭环统计公差的校核计算

(mm)

计算步骤	校核项目	计算公式	计算结果	结 论
1	$T_{\Sigma S}$	$T_{\Sigma S} = \frac{1}{k_0} \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 k_i^2 T_i^2}$ $k_1 = k_2 = k_5 = 1.17$ ， $k_3 = 1.22$ ， $k_4 = k_0 = 1$	0.19	满足规定要求



(续)

计算步骤	校核项目	计算公式	计算结果	结论
2	$\Delta_0$	$\Delta_0 = \sum_{i=1}^m \xi_i \left( \Delta_i + e_i \frac{T_i}{2} \right)$ $e_1 - e_2 - e_3 = 0.26$ $e_3 = e_4 = 0$	+0.249	比规定的大 0.024
3	$ES_0$	$ES_0 = \Delta_0 + \frac{T_{0S}}{2}$	+0.344	满足规定要求
4	$EI_0$	$EI_0 = \Delta_0 - \frac{T_{0S}}{2}$	+0.154	满足规定要求
处理方法	由于中间偏差比规定的大 0.024, 故将 $L_3 = 43_{+0.20}^{+0.18}$ 改为 $L_3 = 43_{-0.06}^{-0.18}$			

表 1-5-13 封闭环当量公差在校核计算 (mm)

计算步骤	校核项目	计算公式	计算结果	结论
1	$T_{0E}$	$T_{0E} = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \xi_i^2 T_i^2}$ $k = 1.22$	0.21	满足规定要求
2	$\Delta_0$	$\Delta_0 = \sum_{i=1}^m \xi_i \Delta_i$	+0.275	比规定大 0.05
3	$ES_0$	$ES_0 = \Delta_0 + \frac{1}{2} T_{0E}$	+0.38	超出规定要求
4	$EI_0$	$EI_0 = \Delta_0 - \frac{1}{2} T_{0E}$	+0.17	满足规定要求
处理方法	将 $L_3 = 43_{+0.10}^{-0.20}$ 改为 $L_3 = 43_{+0.05}^{+0.15}$ , 此时封闭环极限偏差 $ES_0 = +0.33$ , $EI_0 = +0.12$ , 完全符合规定要求			

对比以上的计算结果, 可以看出:

(1) 当给定各组成环公差计算封闭环公差时, 极值公差  $T_{0L}$  最大, 平方公差  $T_{0Q}$  最小, 统计公差  $T_{0S}$  居中; 当量公差  $T_{0E}$  比统计公差稍大。

(2) 平方公差是最理想工艺条件下的统计公差; 当量公差是计算较简便并且比较切合实际条件的统计公差。

实际应用时, 应根据需要选取一种最合适的计算方法。

### 5 统计尺寸公差在尺寸链计算中的应用<sup>[6][15]10</sup>

用完全互换法进行尺寸链的设计计算或校核计算时, 无需考虑各环实际尺寸的概率分布特性。

理论上大数互换法计算尺寸链是最合理的方法。用大数互换法计算尺寸链, 应在组成环的实际概

率分布已知, 或在已作出规定的前提下进行, 才能使封闭环公差按一定置信水平满足设计要求。

有三种规定实际尺寸概率分布特性的方案:

(1) 规定实际尺寸的中间区上限  $L_{cmax}$ , 下限  $L_{cmin}$  及中间区频率  $P_{cmin}$ ; 或规定实际尺寸的上边区上限  $L_{max}$ , 下限  $L_{cmax}$  及上边区频率  $P_{Umax}$  和下边区上限  $L_{cmin}$ , 下限  $L_{min}$  及下边区频率  $P_{Lmax}$ ;

(2) 规定实际尺寸算术平均区间  $B_{\bar{x}}$ ;

(3) 规定实际尺寸中位数区间  $B_{\tilde{x}}$ 。

在某些情况下, 当采用方案 (2) 或 (3) 时, 还应规定实际尺寸的标准差上限  $\sigma_{max}$ 。

方案 (1) 适宜于一般情况。

这三种方案的共同点是把公差带划分为三个区间, 见图 1-5-14。

若组成环符合表 1-5-14 所列条件, 则达到统计封闭环公差的最小值——平方封闭环公差  $T_{0Q}$ 。



生产中实际采用的统计封闭环公差为  $T_{OS}$ , 且  $T_{OS} < T_{OS} < T_{LS}$

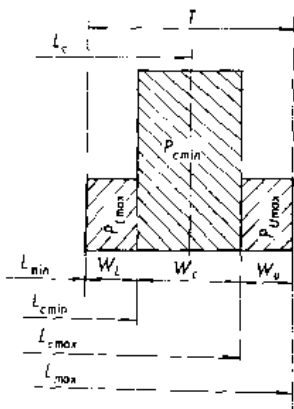


图 1-5-14 公差带的划分

表 1-5-14 统计封闭环公差达到最小值的条件

项目	各组成环特点
1	各环实际尺寸按正态分布
2	各环实际尺寸的均值与其中间尺寸符合
3	各环的公差与标准差之比相等
4	各环实际尺寸的产生无相互联系, 即为彼此独立的随机变量

为保证统计封闭环公差  $T_{OS}$ , 应对组成环规定统计公差, 即应对组成环实际尺寸的概率分布特性提出最低要求, 它取决于工艺条件并由统计检验控制。

### 5.1 对实际尺寸概率分布的最低要求

从产品的功能要求或从工艺过程及误差特性考虑, 对组成环实际尺寸规定的几种常见分布特性参数见表 1-5-2。

用方案 (1) 规定组成环成近似正态分布, 近似均匀分布, 非对称 (左倾斜) 分布的最低要求见表 1-5-15。

表 1-5-15 对实际尺寸概率分布的最低要求

分布	$T : W_c$	$P_{cmin}$	$P_{Umax}$	$P_{Lmax}$
近似正态分布	3 : 1	50%	25%	25%
近似均匀分布	2 : 1	50%	25%	25%
非对称分布 (左倾斜)	3 : 1	75%	25%	
	或 2 : 1	75%	25%	

当形状和位置误差作为尺寸链中的一环时, 可视其基本尺寸为零, 中间尺寸为其公差值的一半。对于对称分布, 频率及公差带的划分可接近似正态分布或近似均匀分布的最低要求作出规定。对于非对称分布的形状和位置误差, 可按非对称分布的实际尺寸概率分布的最低要求作出规定。

### 5.2 统计封闭环公差的计算

统计封闭环公差的计算与尺寸链中组成环的个数及各组成环实际尺寸的分布特性有关。

1. 有 2~4 个组成环的尺寸链的统计封闭环公差计算 当组成环规定为  $T_{Si} : W_c = 3 : 1$ ,  $P_{cmin} = 50\%$ , 可将组成环公差乘以表 1-5-16 中的系数  $f$  加以扩大, 采用的系数适用于所有组成环。

表 1-5-16 系数  $f$

组成环数	系 列		
	I	II	III
2	1.2	1	1
3	1.4	1.2	1
4	1.6	1.4	1.2
应用说明	组成环公差大约相等	尺寸链中某一组成环的公差大约为另一最大组成环公差的一半或更小	尺寸链中两个组成环的公差为另一最大组成环公差的一半或更小

2. 尺寸链中有 5 个或 5 个以上组成环的统计封闭环公差的计算 有 5 个或 5 个以上组成环的尺寸链, 其统计封闭环公差可由下式计算:

$$T_{OS} = \sqrt{V_1^2 T_{S1}^2 + V_2^2 T_{S2}^2 + \dots + V_n^2 T_{Sn}^2} \quad (1-5-5)$$

其中  $V_1, V_2, \dots, V_n$

$$= \begin{cases} 1.2, & \text{当 } T_{Si} : W_c = 3 : 1, P_{cmin} = 50\% \\ 1.5, & \text{当 } T_{Si} : W_c = 2 : 1, P_{cmin} = 50\% \end{cases}$$

如果所有组成环都按  $T_{Si} : W_c = 3 : 1$  或  $T_{Si} : W_c = 2 : 1$ , 则

$$T_{OS} = V \cdot \sqrt{T_{S1}^2 + T_{S2}^2 + \dots + T_{Sn}^2} \quad (1-5-6)$$

如果所有组成环的公差都相等, 则

$$T_{OS} = V T_{Si} \sqrt{m} \quad (1-5-7)$$



3. 统计尺寸公差标注说明 用大数互换法解尺寸链应对各组成环实际尺寸概率分布作出规定,并在设计图上进行标注。

a. 对称分布 规定实际尺寸为对称分布时,按下例标注:

$$L_i \pm T_{Si}/2 \pm W_i/2P\%$$

以上标注中,  $L_i$  为中间尺寸,  $P\% = 50\%$ ,  $T_{Si}/2$ 、 $W_i/2$  取至小数点后3位;当  $T_{Si} : W_i = 3 : 1$ ,  $T_{Si}$  应被3除尽;当  $T_{Si} : W_i = 2 : 1$  时,  $T_{Si}$  应被2除尽。

b. 非对称分布 规定实际尺寸为非对称分布时,按下例标注:

当左倾斜分布时

$$L_i \pm \frac{T_{Si}}{2} \pm W_i/2 P75\%$$

当右倾斜分布时

$$L_i \pm \frac{T_{Si}}{2} \pm W_i/2 P25\%$$

c. 形状和位置公差 当组成环为形状和位置误差时,对其分布特性的规定,按上述1或2进行标注,并放在框格内。

### 5.3 应用举例

【例1-5-3】 如图1-5-13所示齿轮箱,允许轴向间隙  $s$  为  $0.05 \sim 0.35\text{mm}$ ,  $T_{ca} = 0.3\text{mm}$ , 4个组成环  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  的公差相等。按极值法,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  的公差为  $0.3/4 = 0.075\text{mm}$ ,改用统计尺寸公差,组成环公差可以扩大。由表1-5-16取  $f = 1.6$ , 得

$$T_{ci} = 1.6 \times 0.075 = 0.12\text{mm}$$

四个组成环  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  标注如下:

$$L_{ca} \pm 0.06 \pm 0.02 P50\%$$

$$L_{cb} \pm 0.06 \pm 0.02 P50\%$$

$$L_{cc} \pm 0.06 \pm 0.02 P50\%$$

$$L_{cd} \pm 0.06 \pm 0.02 P50\%$$

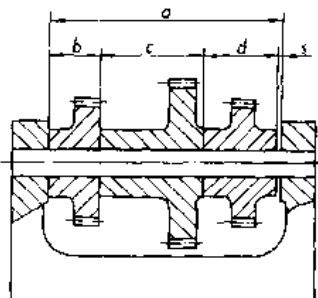


图1-5-15 齿轮箱

【例1-5-4】 图1-5-16所示的尺寸链,按极值法算出的封闭环公差  $T_{cs} = 1.4\text{mm}$ ,不能满足要求。试按统计尺寸公差

计算能否不减小组成环公差?

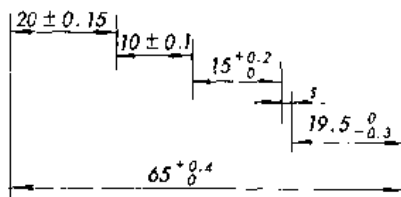


图1-5-16 按极值法算得的尺寸链

解 按极值法可算得

$$S = 0.05 \sim 1.45\text{mm}$$

(1) 将各组成环的上、下偏差改为大小相等、符号相反的对称偏差,见图1-5-17。

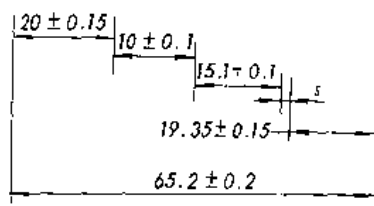


图1-5-17 改成对称偏差的尺寸链

(2) 对各组成环规定统计尺寸公差

1) 统计尺寸公差的分布要求按  $T_{Si} : W_i = 3 : 1$ ,  $P_{lim} = 50\%$ 。

2) 为使公差带能被3除尽,将部分组成环公差扩大。得各组成环统计尺寸公差如下

$$20 \pm 0.15 \pm 0.05 P50\%$$

$$10 \pm 0.12 \pm 0.04 P50\%$$

$$15.1 \pm 0.12 \pm 0.04 P50\%$$

$$19.35 \pm 0.15 \pm 0.05 P50\%$$

$$65.2 \pm 0.21 \pm 0.07 P50\%$$

(3) 计算统计封闭环公差

由5.2节式(1-5-5),取  $V_i = 1.2$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$ ,可得统计封闭环公差:

$$T_{cs} = 1.2 \sqrt{0.3^2 + 0.24^2 + 0.24^2 + 0.3^2 + 0.42^2} = 0.824\text{mm}$$

(4) 结论

各组成环按统计尺寸公差规定,可以使封闭环公差减小,而不必减小各组成环公差。

【例1-5-5】 如图1-5-18所示,步进电机的气隙  $M$  由铁心内径,转子直径和一系列形状和位置误差形成,按极值互换法及大数互换法计算气隙  $M_0$  的变动量。与计算有关的项目和数据列入表1-5-17。

解 计算过程列入表1-5-18。由计算结果知,按极值互换法计算的最大气隙  $M_{0max} = 0.225\text{mm}$ ; 最小气隙  $M_{0min} =$

◎ 摘自 JB/Z 307—87。





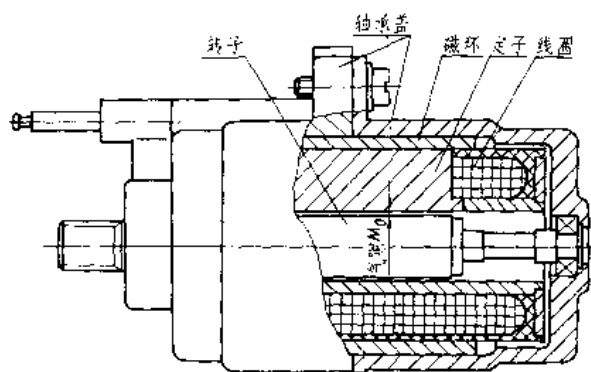


图 1-5-18 步进电机

0.011mm, 气隙的实际变动量为 0.214mm。

按大数互换法计算, 统计最大气隙  $M_{0.95max} = 0.179\text{mm}$ ; 统计最小气隙  $M_{0.05min} = 0.057\text{mm}$ , 在给定的置信概率下, 气隙的实际变动量为 0.122mm。

很明显, 用大数互换法计算对保证步进电机的功能可靠性是有利的。为此, 对表 1-5-17 中所列项目都应规定统计尺寸公差。

**【例 1-5-6】** 如图 1-5-19 所示的镜筒, 有两种设计方案: 图 1-5-19a 表示用调整法设计; 图 1-5-19b 表示的方案没有调整环节。若封闭环尺寸为  $(204 \pm 0.25)\text{mm}$ , 试对方案 a 及方案 b 确定各组成环公差。

表 1-5-17 与计算有关的项目和数据

序号	项 目	按 极 值 法	按 统 计 法 (约定 $T_{Sj} : W_c = 2 : 1, P_{\text{允许}} = 50\%$ )
1	定子铁心内径 $D$	$\phi 12^{+0.1}_0$	$12.05 \pm 0.05 \pm 0.025$
2	转子外径 $d$	$\phi 11^{+0.05}_0$	$11.64 \pm 0.01 \pm 0.005$
3	转子铁心对轴颈的圆跳动	$\sqrt{\quad} 0.1 \quad$	$\sqrt{\quad} 0.05 \pm 0.05 \pm 0.025 \quad$
4	滚珠轴承外圈对内圈的径向圆跳动	$\sqrt{\quad} 0.016 \quad$	$\sqrt{\quad} 0.008 \pm 0.008 \pm 0.004 \quad$
5	轴承盖定心外圆与轴承孔的同轴度	$\textcircled{\ominus} \phi 0.02 \quad$	$\textcircled{\ominus} \phi 0.01 \pm 0.01 \pm 0.005 \quad$
6	定子铁心定心外圆对于铁心内孔的径向圆跳动	$\sqrt{\quad} 0.04 \quad$	$\sqrt{\quad} 0.02 \pm 0.02 \pm 0.01 \quad$
7	有效的定子轴向窜动 (与半径有关)	0.06	$0.003 \pm 0.003 \pm 0.015$
8	定子铁心与轴承盖间的间隙	0.036	$0.018 \pm 0.018 \pm 0.009$
9	轴承与轴承盖间的间隙	0.016	$0.008 \pm 0.008 \pm 0.004$
10	间隙受热扩大量	0.02	$0.01 \pm 0.01 \pm 0.005$
11	轴承与轴的间隙	$0.02^{+0.008}_0$	$0.024 \pm 0.004 \pm 0.002$
12	磁环外径对内径的同轴度	$\textcircled{\ominus} \phi 0.04 \quad$	$\textcircled{\ominus} \phi 0.02 \pm 0.02 \pm 0.01 \quad$

注: 摘自 JB/Z304-87。



表 1-5-18 气隙  $M_0$  的计算

环	增 环			减 环			统 计 法 计 算			
	中间尺寸	上偏差	下偏差	中间尺寸	上偏差	下偏差	$T_{Si}$ ( $\mu\text{m}$ )	$V_i$	$V_i T_{Si}$	$(V_i T_{Si})^2$
$M_1$	6.025	+0.025	-0.025				50	1.5	75	5625
$M_2$				5.820	+0.005	-0.005	10	1.5	15	225
$M_3$				0.025	+0.025	-0.025	50	1.5	75	5625
$M_4$				0.004	+0.004	-0.004	8	1.5	12	144
$M_5$				0.005	+0.005	-0.005	10	1.5	15	225
$M_6$				0.010	+0.010	-0.010	20	1.5	30	900
$M_7$				0.003	+0.003	-0.003	6	1.5	9	81
$M_8$				0.009	+0.009	-0.009	18	1.5	27	729
$M_9$				0.004	+0.004	-0.004	8	1.5	12	144
$M_{10}$				0.005	+0.005	-0.005	10	1.5	15	225
$M_{11}$				0.012	+0.002	-0.002	4	1.5	6	36
$M_{12}$				0.010	+0.010	-0.010	20	1.5	30	900
① $\Sigma_i$	6.025	+0.025	-0.025	① 5.907	② +0.082	③ -0.082			$\Sigma$	14859
②	-① -5.907	-③ 0.082	-④ -0.082						$\frac{1}{2000} \sqrt{\Sigma}$	0.061
⑤ $M_0 = M_{12} - (M_2 + M_3 + \dots + M_{12})$	0.118	+0.107	-0.107	最大 0.225	最小 0.011	平均 0.118		$M_{0.5}$	平均 0.118	$\pm 0.061$
								$M_{0.9}$	最大 0.179	最小 0.057

注：摘自 JB/Z 304 · 87



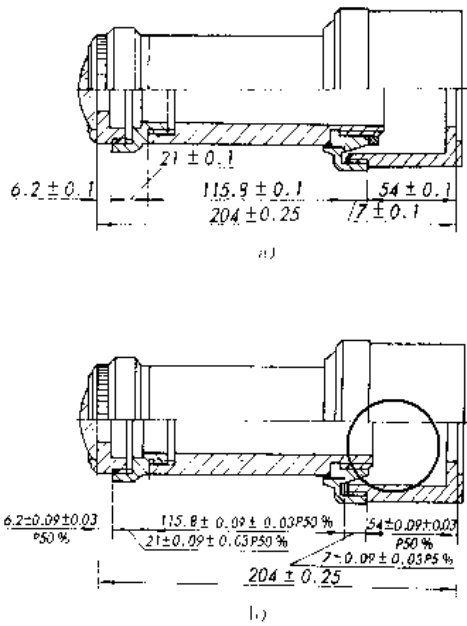


图 1-5-19 套筒的两种设计方案

**解** 方案 a, 由于有螺母调整, 各组成环公差可取较大值 (如偏差可为 ±0.1mm) 或更大, 仍可满足封闭环的要求。

对方案 b, 由于无调整环节, 按极值法求得的组成环公差为 0.1mm (对称偏差 ±0.05mm), 这很不经济。可规定统计尺寸公差使各组成环公差扩大。

设 5 个组成环采用同样大的公差, 且组成环实际尺寸分布要求规定为:  $T:W_s = 3:1$ ,  $P_{\min} = 50\%$ , 由式 (1-5-7) 得各组成环的统计尺寸公差为

$$T_{s_i} = \frac{T_{0.5}}{V \sqrt{m}} = \frac{0.5}{1.2 \sqrt{5}} \approx 0.187\text{mm}$$

按统计尺寸公差的标注方法, 各组成环的图样标注尺寸见图 1-5-19b。

## 参 考 文 献

- [1] 华中理工大学等院校编, 画法几何及机械制图, 北京: 高等教育出版社, 1989
- [2] 华东纺织工学院等主编, 机床设计图册, 上海: 上海科技出版社, 1979
- [3] 许隆文, 计算机绘图, 北京: 机械工业出版社, 1989
- [4] 潘伯楷等, 计算机自动绘图系统, 北京: 中国铁道出版社, 1982
- [5] 徐灏主编, 机械设计手册, 3 卷, 北京: 机械工业出版社, 1991
- [6] 李柱主编, 互换性与测量技术基础, 北京: 中国计量出版社, 1984
- [7] 汪恺、唐保宁主编, 形位公差原理和应用, 北京: 机械工业出版社, 1991
- [8] 俞汉清等编, 表面粗糙度及测量, 北京: 中国标准出版社, 1987
- [9] DIN 7186 Teil 2, Statistische Tolerierung, Berlin, 1980
- [10] DIN 7186 Blatt 1, Statistische Tolerierung, August, 1974

