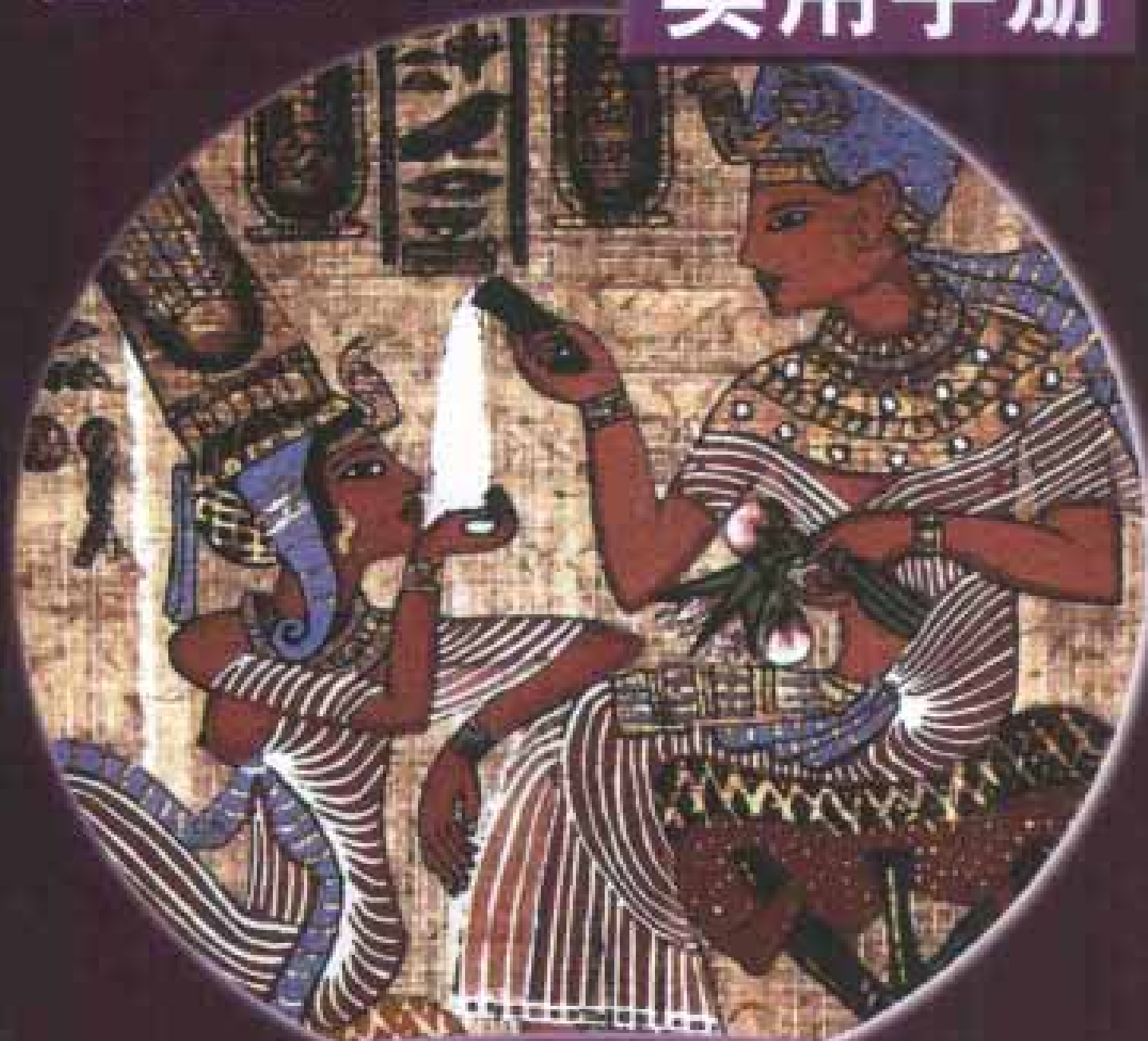


OHM handbook 4

# 机械

〔日〕土屋喜一 主编

实用手册



科学出版社 OHM社

(TN-0395.0101)

责任编辑 崔炳哲 樊友民

责任制作 魏 瑾

责任印制 安春生

封面制作 李 力

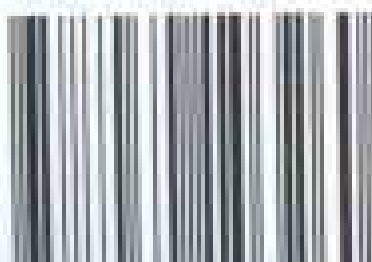
# OEM Handbook

## 本书特点

- ★ **方便选择学习** 各章内容相对独立，可根据需要选择学习
- ★ **提高学习效率** 板块式的编写方式，有利于提高学习效率
- ★ **满足不同要求** 系统性强，从新知识到实际应用
- ★ **即查即用** 特设**应用基础**、**应用知识**及**篇外语**专栏介绍实用知识
- ★ **易掌握重点事项** 重点名词标注在正文左侧，便于查找。书末给出索引
- ★ **便于学习** 丰富、易懂的图表，快速掌握相关内容
- ★ **知识面广** 涵盖机械领域各方面，既有最基础知识，也有先进技术提示



ISBN 7-03-010326-2



9 787030 103260 >

ISBN 7-03-010326-2/TN·395

定 价：48.80 元

李鑫  
制作

# 机械

## 实用手册

〔日〕土屋喜一 主编  
赵文珍 金晶立  
杨晓辉 白艳华 译  
耿连发 刘本伟



科学出版社 OHM 社  
2002





**图字:01-2002-0924号**

Original Japanese edition

Handy Book Kikai

Supervised by Kiichi Tsuchiya

Copyright © 1997 by Kiichi Tsuchiya

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co published by Ohmsha, Ltd. and Science Press

Copyright © 2002

All rights reserved

本书中文版版权为科学出版社和OHM社所共有

**ハンディブック 機械**

**土屋喜一 オーム社 2001 第1版第6刷**

**图书在版编目(CIP)数据**

机械实用手册/(日)土屋喜一主编;赵文珍等译. —北京:科学出版社,2002

(OHM hand book 4)

ISBN 7-03-010326-2

I. 机… II. ①土… ②赵… III. 机械 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018800 号

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

**科学出版社 OHM社 出版**

北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**中国科学院印刷厂 印刷**

科学出版社发行 各地新华书店经销

2002年7月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2002年7月第一次印刷 印张:21 1/8

印数:1-5 000 字数:615 000

**定 价:48.80 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)





## 译者前言

机械工程学是人类社会发展史上历史最为悠久的学科之一,也是对人类社会的进步具有巨大贡献的学科之一。在今天,机械工程学已经发展成为一门涉及机械、电子、电气、控制技术和计算机技术等多学科的综合性学科。机械工程学与其他技术的结合形成了诸多新兴的学科和技术,如机电一体化技术等。这些新技术对人类社会带来了巨大的影响,也促使机械工程学本身的应用领域和研究内容不断地产生变革。

本书是一本较全面地介绍有关机械工程学及其相关学科的工具书,内容极其广泛,包罗万象。本书面对的读者是学生和一般技术人员,因此,并不要求读者具有较深的理论基础。不过,对于专门从事机械工程学研究 and 应用的科研人员,本书也有很好的参考价值,因为除了可供查阅的基本素材之外,书中不乏一些对较新的研究课题的介绍。本书的讲解十分精练,图文并茂,易读易懂,且各章节中还配有一定数量的习题,可供学习者自我练习和自测。

本书翻译工作的具体分工如下:第1至第5章由金晶立翻译;第6章、第14章和第15章由杨晓辉翻译;第7章和第10章由耿连发翻译;第8章、第11章至第13章由赵文珍翻译;第9章由刘本伟翻译;第16章和第17章由白艳华翻译。全部译文由牛连强统稿校订。在翻译过程中,译者对原文中的个别错误进行了修正,并对与国家相关的特殊问题作了少量的删节。为了保持原著的风貌,译文中直接采用了原书的图表和版式。

尽管我们致力于把一部完美的译著奉献给读者,但限于自己的水平,加之时间仓促,译文中还会存在着不足和纰漏,恳请读者谅解并不吝指出,以便改进。

## 主编的话

从18世纪的产业革命发展至今,人类社会已经迎来了急剧变革的工业化时代,并经历了前所未有的繁荣。这里,以蒸汽机为开端的机械工程学的发展起着决定性的支撑作用。而机械工程学与当今的各种工业领域的不断融合与发展,更渴望成为今后工业的骨干技术。

不过,近年来,由于世界范围内形势的剧烈变化,对社会形态以及工业技术领域都产生了深刻的影响。本世纪所构筑起来的机械工程学体系,必然也会在新的形势下有所改变。

基于上述背景,本书将构成机械工程学的各领域有机地结合起来,以尽量简单的方式介绍了技术工作者需要了解的基础知识、现今的诸多课题及最新的课题,以此满足新时代的要求。

本书的作者都是目前活跃在技术教育第一线的专家和教授,他们把基础知识到最新技术,分别与自己的研究领域结合进行了广泛的介绍,从而形成了本书的特色。

今后的社会将要求科技工作者具有更宽阔的视野、更广博的知识和素养。本书可以使有志于机械工程学的学习者总览此学科的各领域,也可以作为再进一步学习机械工程学人员的工具书。

若本书能使您常备案头,将是我们最大的荣幸。

土屋喜一

# 编纂委员会

## 主 编

上屋喜一 (早稻田大学教授)

## 编纂委员

稻见辰夫 (东京都立墨田工业高等学校)

高桥日吉 (东京都立荒川工业高等学校)

深作贞男 (筑波大学附属坂户高等学校)

山下省藏 (东京都立乌山工业高等学校)

## 执 笔

天野一美 (东京都立藏前工业高等学校) [第 10、12、15、16 章]

市原精二 (东京都立新宿山吹高等学校) [第 4 章]

稻见辰夫 (东京都立墨田工业高等学校) [第 1 章]

大野和夫 (东京都立本所工业高等学校) [第 2 章]

太平典男 (筑波大学附属坂户高等学校) [第 6、11 章]

佐佐木 哲 (东京都综合技术教育中心) [第 9 章]

东海林定治 (东京都立江东工业高等学校) [第 8 章]

杉野荣一 (东京都立世田谷工业高等学校) [第 13、14 章]

高桥日吉 (东京都立荒川工业高等学校) [第 17 章]

浅泽隆司 (东京都立足立工业高等学校) [第 16 章]

丰田善敬 (东京都立藏前工业高等学校) [第 5、7 章]

桥本广明 (东京都立八王子工业高等学校) [第 3、5 章]

深作贞男 (筑波大学附属坂户高等学校) [第 6、13 章]

增田彦四郎 (东京都立中野工业高等学校) [第 6 章]

山下省藏 (东京都立乌山工业高等学校) [第 15 章]



# 有关本书

ADVICE

## / 本书的构成 /

(1) 本书共分为 17 章 238 节, 各节单独分页, 内容相对独立, 目的是使每节可按其题目独立作为手册使用, 不管从哪一节开始阅读都可以容易地理解。

(2) 各节均按【要点】和【解释】的顺序来描述, 以使读者更容易抓住重点, 必要时还增设了【相关知识】部分。

**【要点】** 在每一节的开头, 先对该节题目的结论进行概要式的描述。

**【解释】** 设置了一系列的小标题(带有●记号的标题), 对【要点】中阐述的内容进行详细的说明。

**【相关知识】** 对与本节题目相关的事项和关键词等作扼要的说明。

(3) 为了在短时间内了解某个知识范围内的内容, 只要按顺序认真阅读【要点】部分, 就可以迅速建立起较完整的知识体系。

## / 图、表的使用方法 /

(1) 为了有助于对内容的理解, 书中安排了约 800 张照片、图和表, 且在图表中适当增加了简单易懂的说明。

(2) 技术人员充分研究并熟悉了书中引用的图例后, 会给予大量阅读资料带来很大的帮助。

## / 关键词的查询 /

(1) 书中的重要名词都用黑体字标记, 并列于每页的左侧。

(2) 重要名词以索引的形式列在书末,以作为专业用语词典供方便地查询。

## / 选择性材料与附带资料 /

(1) 对应各节的题目,有选择性地组织了下述材料:

- |  |
|--|
| <p><b>【例 题】</b> 为了帮助理解,设置了易懂的例题。</p> <p><b>【应用知识】</b> 介绍实际设备的应用示例等。</p> <p><b>【选修知识】</b> 介绍那些如果能够事先了解将会给灵活运用带来方便的内容。</p> <p><b>【研究课题】</b> 讨论有望发展的新技术等。</p> |
|--|

(2) 在本书的正文之前,给出了将要用到的各种量的符号和单位列表,书后还列出了物体的重心以及惯性矩等材料。这些都是全面学习机械工程学知识时非常有用的参考资料。

# 目 录

## 第 1 章 机械工程学概论

1 什么是机械	2
2 机械的种类	6
3 机械工程学的內容	9

## 第 2 章 力学基础

1 力的表示方法	12
2 力的平衡	14
3 二力的合成	16
4 多个力的合成	19
5 力矩及正负力矩	21
6 桁架上作用的力	23
7 各种形状的重心与形心	25
8 机械运动与力的关系	28
9 功与功率	30
10 势能与动能	32
11 惯性矩	34
12 简单机械运动与力学	36

## 第3章 材料力学

1	应 力	40
2	弹性模量	43
3	剪切弹性模量	45
4	热应力	47
5	安全系数与可靠性	49
6	薄壁圆筒的圆周应力	52
7	厚壁圆筒的圆周应力	54
8	弹性能	56
9	悬臂梁的剪切力图与弯矩图	58
10	简支梁的剪切力图与弯矩图	60
11	梁的截面惯性矩与截面模量	62
12	梁与挠度	64
13	冲击载荷应力	66
14	轴的扭转	68
15	截面极惯性矩与极截面模量	69
16	杆的稳定与稳定系数、最小截面半径及长度 系数	71
17	杆的强度	73
18	复合应力(1)	75
19	复合应力(2)	77

## 第4章 工业材料

1	汽车上使用的工业材料	80
2	浅谈工业材料	81
3	工业材料的试验方法	85
4	金属材料的热处理	88
5	铁	91
6	钢铁的冶炼方法	93
7	钢铁材料	96
8	铸铁与铸钢	100
9	合金钢	103
10	不锈钢	106
11	铜及其合金	108
12	镍及其合金	111
13	铝及其合金	113
14	钛及其合金	116
15	其他金属材料	119
16	塑料	122
17	橡胶与橡胶制品	124
18	黏接剂	127
19	涂料	129
20	陶瓷	132
21	玻璃	135
22	复合材料	138
23	功能材料	141
24	电磁材料	144



## 第5章 机械设计与制图

1	螺 栓	148
2	铆钉连接	150
3	焊 接	152
4	管设计	154
5	轴的直径大小	157
6	牙嵌式离合器	159
7	摩擦离合器	162
8	滑动轴承	165
9	滚动轴承	167
10	弹 簧	169
11	摩擦制动器	172
12	皮带传动	176
13	链传动	185
14	标准直齿轮	189
15	根切与最小齿数	192
16	变位齿轮	193
17	轮系与行星轮系	194
18	齿轮强度	198
19	其他齿轮	199
20	机械制图	201

## 第6章 机械加工技术

1	砂型铸造	212
---	------	-----

2	铸造用砂	213
3	铸造用模型	214
4	铸 型	217
5	压力铸造	220
6	其他铸造方法	221
7	锻 造	222
8	粉末冶金	225
9	注 塑	228
10	剪切加工	231
11	弯曲加工	234
12	拉 伸	237
13	气焊与气割	240
14	电弧焊	243
15	铝的焊接	246
16	钎 焊	249
17	电火花加工	251
18	激光加工	253
19	电子束加工	255
20	水射流加工	256
21	各种切削加工	258
22	切削理论	263
23	精密切削加工	268
24	磨削机床	270
25	磨削加工	274
26	精密加工	279
27	抛 光	282
28	电解加工	284

29	镀 膜	285
30	阳极氧化处理	288
31	涂 装	290

## 第 7 章 测量技术

1	刻度尺测量	294
2	卡钳测量	297
3	游标卡尺的使用方法	300
4	千分尺的结构及使用方法	304
5	千分表的结构和使用方法	308
6	块规的使用方法	311
7	间接测量工具	314
8	测量和误差	317
9	活用水平仪	318
10	表面粗糙度及其测量方法	320
11	螺纹的测量	323
12	齿轮的测量	327
13	极限量规的灵活运用	329
14	天平和弹簧秤	332
15	时间、转速、功率的测量	334
16	温度的测量	336
17	非破坏试验	340

## 第8章 电气电子技术

1	欧姆定律	342
2	弗莱明定则	345
3	交流电路	348
4	功率和功	351
5	电动机和变压器	353
6	导线的额定电流	356
7	电器图形符号	358
8	万用表的使用方法	359
9	晶体管	362
10	集成电路	364
11	数字电路	366

## 第9章 信息技术

1	信息的表示方法	370
2	计算机中的基本电路	373
3	计算机的基本结构	376
4	计算机的基本动作	378
5	操作系统	380
6	编程语言	382
7	程序设计	384
8	数据通信	386
9	计算机网络	388
10	因特网	391

## 第10章 控制技术

1	自动控制	394
2	自动控制种类	396
3	顺序控制的表示方法	399
4	有触点顺序控制	401
5	无触点顺序控制	403
6	反馈控制的基础	405
7	反馈控制的应用示例	407
8	计算机控制基础	409
9	控制和信号	411
10	信号和控制程序	413

## 第11章 机械电子控制

1	机床自动化	416
2	用数控机床加工	418
3	数控装置的组成	419
4	数控机床的控制方式	420
5	插补	422
6	伺服机构	425
7	数控机床的种类	428
8	数控机床的系统化	434
9	CAD/CAM	437
10	数控机床的传感器	438
11	控制用伺服电动机	440

12	数控编程的规则	442
13	数控编程	444
14	刀具移动方式	447
15	刀具补偿功能	449
16	坐标系的设定	451
17	编程示例	452

## 第12章 流体力学

1	流体的概念	456
2	流体静力学	459
3	流体作用于容器壁上的力	462
4	流体的连续性定律	464
5	流动状态	466
6	流体在管内的流动	469
7	泵的种类与用途	472
8	泵的结构	475
9	气动机械	478
10	液压与气动	481

## 第13章 热力学

1	热量与功	486
2	气体与功	489
3	内燃机	493

4	汽油发动机	496
5	柴油发动机	498
6	旋转发动机	500
7	蒸汽机	503
8	斯特林发动机	506
9	制 冷	508
10	环境与汽车尾气	510

## 第14章 运载机械

1	机动车的历史和发展	512
2	汽车的种类和结构	515
3	汽车发动机	517
4	太阳能动力车	520
5	铁路的历史和发展	522
6	蒸汽机车的构造	525
7	电力机车的构造	527
8	高速铁路机车及其控制	529
9	铁路的行驶和性能	531
10	船舶的历史和发展	534
11	船舶的种类与构造	536
12	船用发动机	539
13	船舶的行走与控制	541
14	应用新技术的船舶	544
15	飞机的历史和发展	546
16	飞机的构造	548

17	飞机的发动机	550
18	飞机的飞行与控制	552
19	火箭的历史和发展	554
20	火箭的飞行和控制	557

## 第15章 生产机械

1	工业机器人	562
2	工业机器人的种类	564
3	工业机器人的控制和构造	566
4	工业机器人的应用	568
5	工业机器人的安全	570
6	挖掘机	572
7	推土机	576
8	移动式起重机	577
9	高层建筑的自动化机构	581
10	农用机械	583
11	纺织机械	586

## 第16章 生产管理技术

1	工厂的组织和经营的方法与功能	590
2	生产计划和管理的构成及其功能	592
3	生产管理的构成与功能	595



4	质量管理的构成与功能 .....	599
5	安全管理的构成与功能 .....	604
6	工厂经营 .....	606
7	综合生产系统 .....	608

## 第17章 公式集

1	SI 单位 .....	614
2	单位与单位的换算 .....	617
3	三角函数 .....	621
4	导数与积分 .....	624
5	金属的物理性质 .....	627
6	机械工程方面的公式 .....	629

索引 .....	635
----------	-----

# 第1章

# 机械工程学 概 论

- 责任编辑  
稻见辰夫
- 执 笔  
稻见辰夫

本章介绍了有关机械工程学的概念及机械工程学的主要组成部分，并简要介绍了第2章及以后各章的主要内容。

在本章的后半部分对构成机械工程学的各个领域进行了归纳总结。希望读者能够随时反复阅读，以理解不同领域的研究内容和相互关系。

# 1 什么是机械

要

点

在日常生活中人们经常使用机械一词,但若询问什么是机械时,很少能有人给予明确的答复。事实上,机械一词的定义也随着时代的发展而变化。目前较常用的机械一词的定义为

- ① 由具有一定强度的物体所构成;
- ② 这些物体能做相对运动;
- ③ 在动力的作用下能够做有用的工作。

随着电子计算机的问世,机械的定义也随之发展为“能改变或传递物理量的,对人类有用的物体组合”。

解

释

## ● 机械定义的变迁

威托洛威斯之说

**威托洛威斯(Marcus Vitruvius Pollio)之说** 威托洛威斯是罗马奥格斯托斯帝(公元前 63 年~公元 14 年)时期的一位建筑学家,他在所著《建筑十书》中曾对机械做了首次的定义(参见图 1.1)。

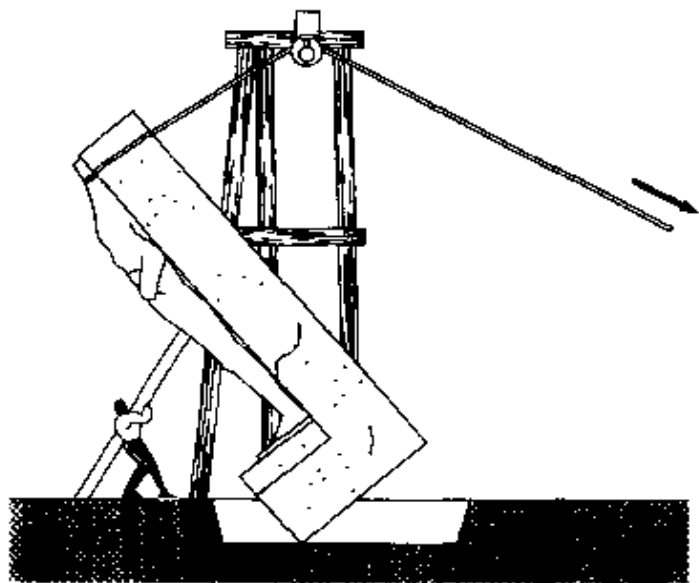


图 1.1

他说:“所谓机械就是一种在移动重物时可以省力的物理装置”。

泽伊辛格之说

**泽伊辛格(Zeising)之说** 17 世纪初,泽伊辛格对机械所下的定义为:“所谓机械是指在搬运重物时起特殊作用的一组木制结构的设备”(参见图 1.2)。

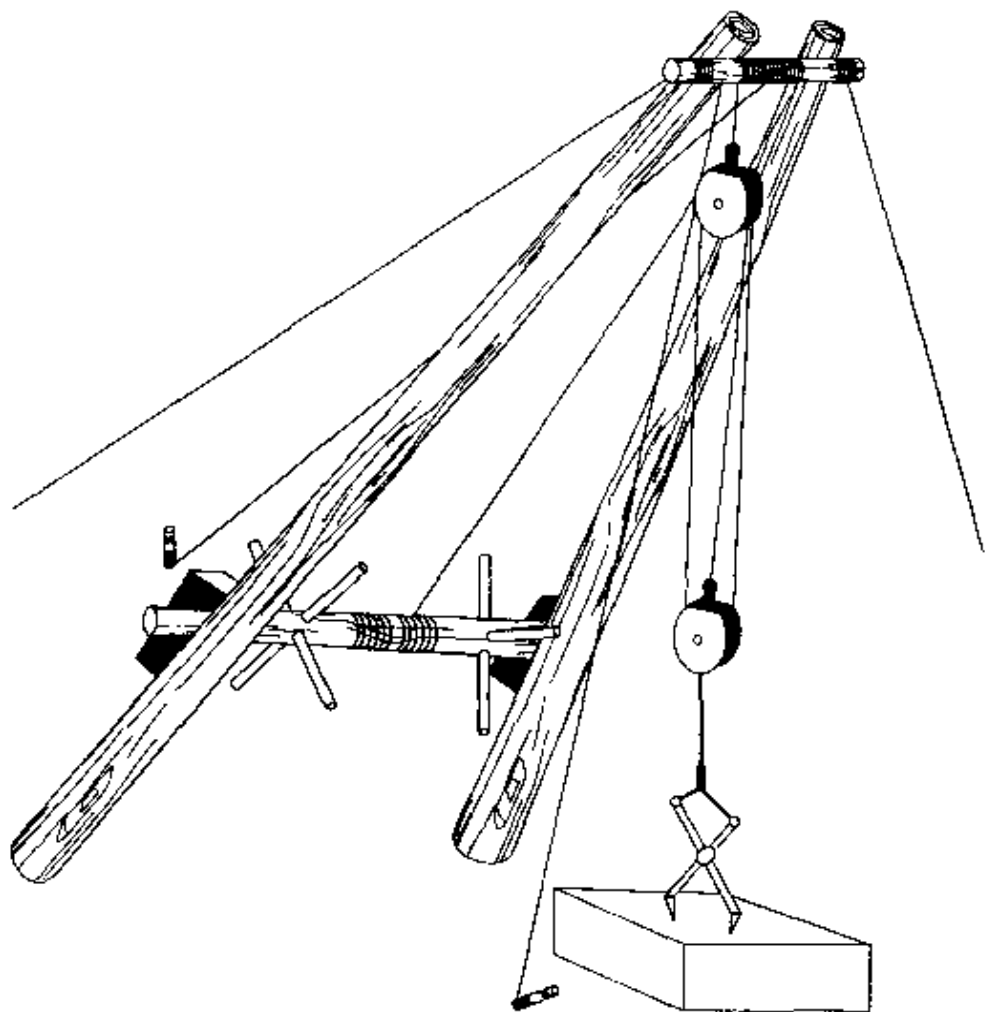


图 1.2 洋伊辛格下机械定义时较典型的起重机

这个时期的机械定义主要是针对搬运重物的工程机械而言的。

#### 路易波尔多之说

**路易波尔多(Jacob Leupold)之说** 进入 18 世纪,德国的一位名叫路易波尔多的学者设计出一种高压蒸汽机的原型,他对机械一词的定义为:“机械或机构是一种人为的实物的组合体,人们可以借助它实现省时省力的运动”。

图 1.3 所示的是当时给产业革命带来深远影响的高压蒸汽机 R. 特莱依夏克。

#### 路洛克斯之说

**路洛克斯(Franz Reuleaux)之说** 到了 19 世纪,英国的学者路洛克斯在他的《机械力学》一书中,从运动力学的角度对机械做了如下定义:“所谓机械就是一种具有一定强度的物体的组合体,且借助此组合体能够做出规定的运动”。此定义曾在很长时间里得到了众多机械学者的认同,也可以说是现今机械定义的原型。

图 1.4 所示为当时制造来福枪所用的铣床,利用这种铣床做了铣沟槽和平面的工作。

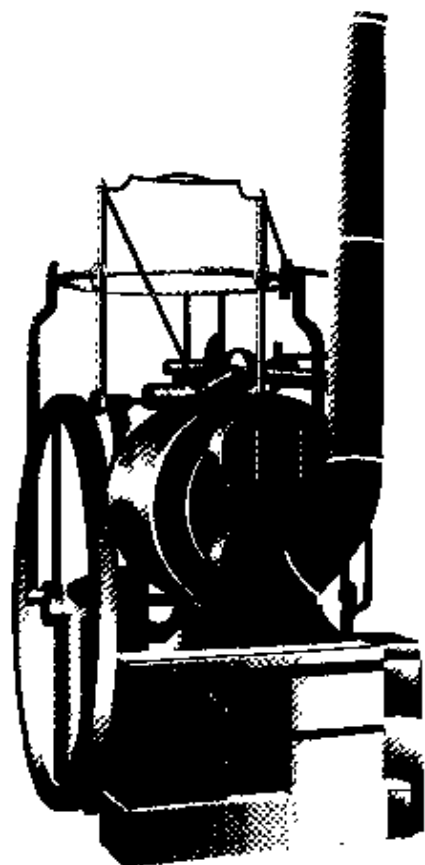


图 1.3 高压蒸汽机(1802 年获得专利)

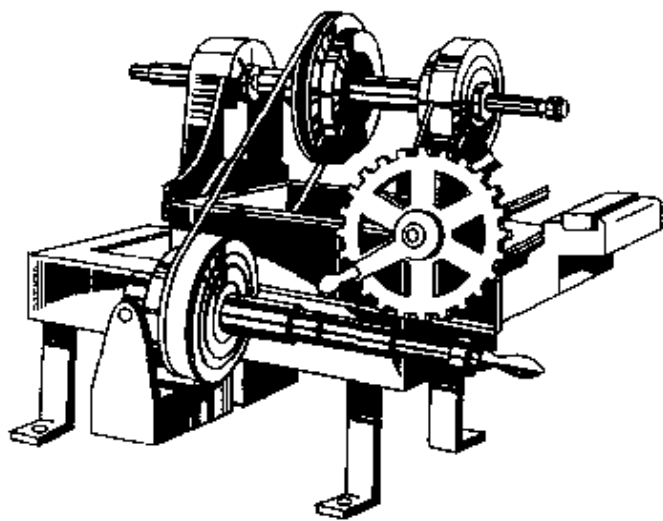


图 1.4 1820 年用于制造枪支的铣床原理图

### 相关知识 ● 工具、构件及机构的区别

类似于机械含义的词语还有工具、构件以及机构等。虽然工具也是由具有一定强度的物体制成,但这种物体(如刨、铁锤和螺

工具  
构件  
机构

丝刀等)没有相对的运动,此即工具(tool)的特点。而建筑物以及桥梁等归于构件。

此外,起到人类感官辅助作用的物体称为机构,如钟表、秤等。

## 2 机械的种类

**要 点** 从功能方面可把机械大体分成四个种类,即动力机械、工作机械、测量仪器以及智能机械等。

**解 释** ● 动力机械

所谓动力机械,是指如图 1.5 所示的汽车发动机那样,可以把接受的各种能量转换成有效的机械能,使其自身能够发出动力的机械。

利用风力的风车,利用水力的水车和水轮机以及利用电力的电动机等均属于动力机械。

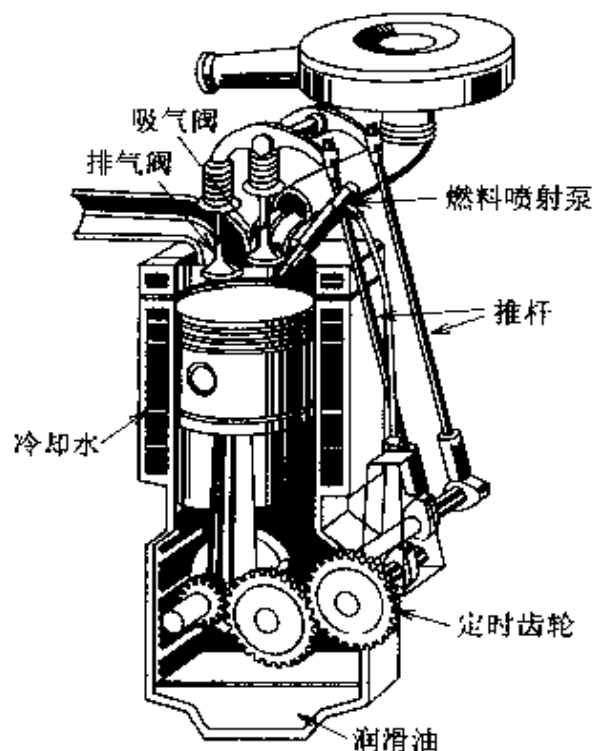


图 1.5 汽车发动机

● 工作机械

所谓工作机械,是指利用从动力机械接受的动力来完成一定工作的机械。

以往的工作机械一般都含有传动皮带等装置,以此把动力从动力机械传到工作机械处(参见图 1.6)。但现在的工作机械大部

分都是动力机械和工作机械的结合体。如在工厂车间经常见到的铣床、钻床和车床等。

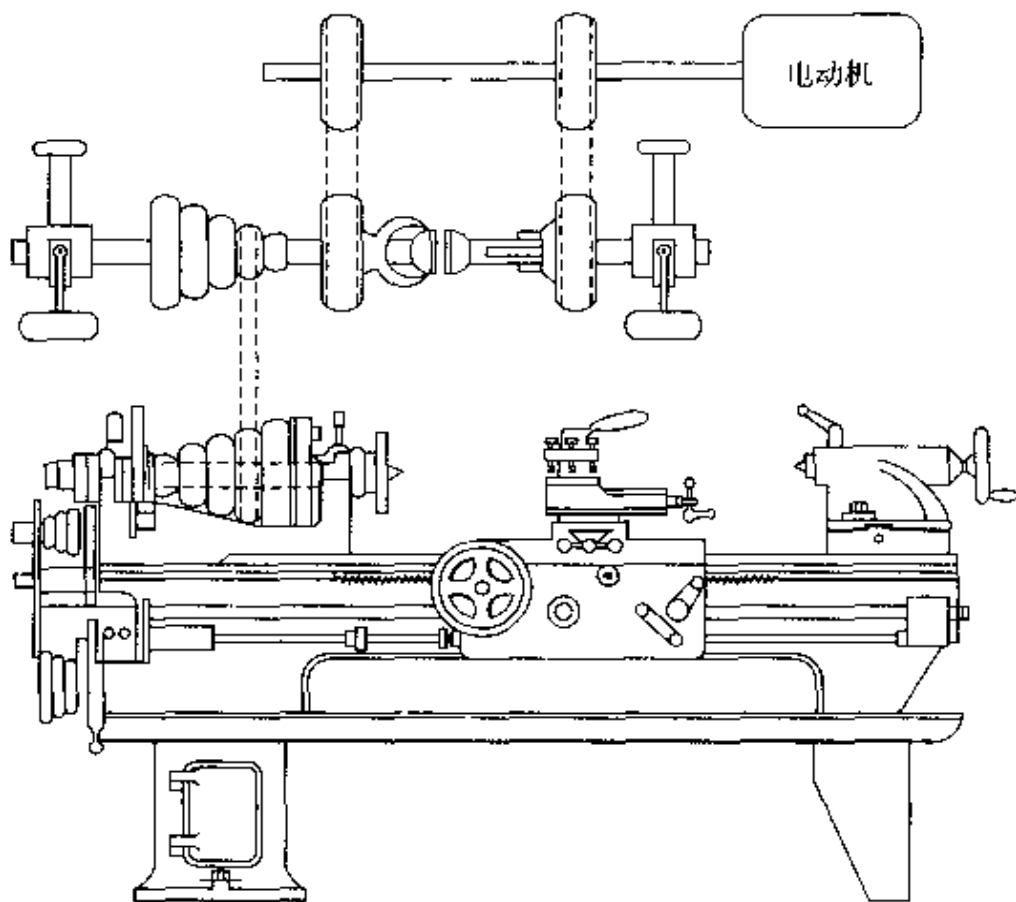


图 1.6 机床示例

## □ 相关知识

以往工厂中常用一两台电动机带动很多部工作机械。而今，由于作为动力源的电动机等动力机械造价的降低，一般每台工作机械上可直接安装一台专用的动力机械，二者合为一体。

### ● 测量仪器

所谓测量仪器，是指用于正确测量材料的强度或制造加工精度，并能够把测得的微量信号加以放大，显示出使人容易分辨的信息的机器。

我们身边常见到的厨房的台秤、体重计、握力计，以及在机械制造现场上的材料试验机、硬度计、冲击试验机等均为测量仪器（参见图 1.7）。

### ● 智能机械

所谓智能机械，是指根据从很多的自然现象和社会现象中收集来的数据和信息，正确地归纳和计算出必要信息的机械（参见图 1.7）。



计算机系统是典型的智能型机械的代表。

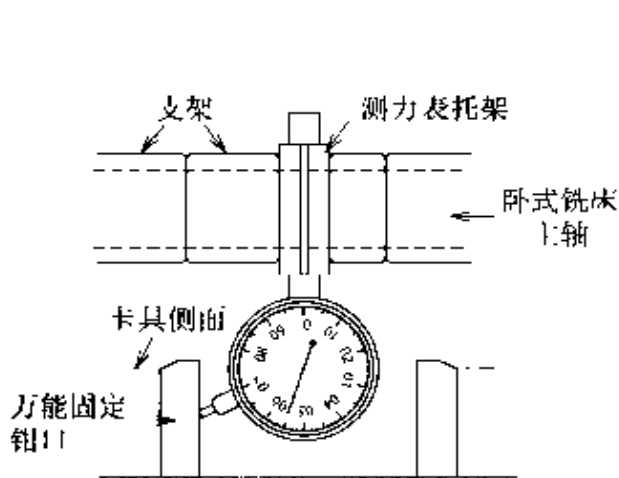


图 1.7 用测力表测力的大小

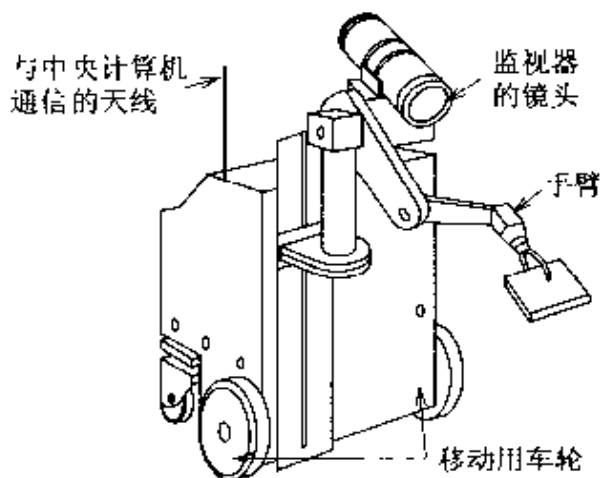


图 1.8 智能型机器人

### ● 组合型机械

卧式铣床等(如图 1.9 所示)工作机械和汽车、工业用机器人等机械是设计成动力机械与工作机械组合体形式的。近年来的机械大多以组合体的方法扩展其功能,如家用电器中的电饭锅、冰箱等都是具有代表性的组合型机械。

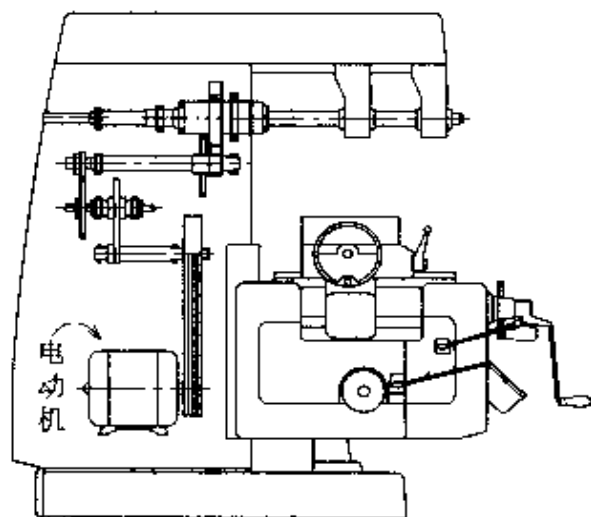


图 1.9 卧式铣床的主轴传动机构与作业机构

### ■ 例 题

试将下列机械分类:

- ① 一体化车床
- ② 工业机器人
- ③ 自行车

## 3 机械工程学的内容

### □ 要

### 点

机械工程学涵盖了有关机械方面的全部知识。因此,本书包括了从力学到设计、工程技术、交通工具,以及产业机械等多方面的内容。此外,考虑到近年来在机械工程学和工业领域迅速发展的现状,还增加了一些电气、电子和信息等方面的相关知识。

### □ 解

### 释

#### ● 力学基础

把机械看成运动体,观察其运动和做功,并与自然界物体运动行为相比较,可以分析其机械运动功率和力学特点。

#### ● 材料力学

材料力学课程中学生主要学习和研究以下内容:

- ① 机械、构件以及机构之间的不同点;
- ② 机械各部分的力的做功的形式;
- ③ 当受力工作时,其变形程度以及破坏程度;
- ④ 能满足安全、耐用目的的零件形状设计等。

#### ● 工业材料

工业材料主要学习和研究如下内容:

- ① 用于机械的材料及其种类;
- ② 工业材料的性质;
- ③ 轻便耐用的材料;
- ④ 可以使车辆乘坐舒适,安全行驶和停止的材料。

#### ● 机械设计、制图

机械设计、加工的应用十分广泛,目的也是多种多样的,例如,制造乘坐感舒服的汽车、适于在山地骑乘的自行车以及载客载货量更大的飞机等。为此,需要研究和观察各种机器上的不同的力的作用,计算各部件的几何形状,并绘制成图纸。当然,还需要在现有的工业材料中选择最合适的材料等。

#### ● 机械制造工艺

在加工已设计好的工件时,要选择最佳工艺,并尽量选择并充分运用高效的加工机械。

此外,应注意充分发挥现有的加工机械和技术来完成加工任务。

### ● 测量技术

在工作的制造过程中,测量轴和齿轮以及其他零件是否符合原设计的尺寸,并判断其是否为合格品,这就需要测量技术。

对于已完成的制品还需要测试其是否能够达到原设计所要求的功能。

### ● 电气、电子技术

现代汽车上使用了大量的电气、电子元器件,除了蓄电池、发电机和照明系统之外,在发动机的控制系统方面也使用了很多电气、电子元器件。

这使得电气、电子技术成为机械中不可缺少的相关技术。

### ● 信息技术

人在驾驶汽车时,利用耳、目和手等器官反馈得到的大量信息,以保证安全地驾驶。但人的操作灵敏程度和感观的反应程度都是有限的,而借助电子计算机的帮助,就可以使这样的工作变得更容易且安全。

为了充分发挥计算机的功能,必须学好有关的信息技术。

### ● 控制技术、电子机械控制

人类理想的汽车应该是:即使在驾驶员熟睡的情况下也能安全顺利地到达目的地。为此需要研究如何用机械和电子技术去实现人类所特有的能力,从而在一定程度上取代人的工作。

### ● 流体力学

新干线和飞机能够在空气中高速移动,涉及到流体力学的知识。为此,需要了解流体的性质,研究空气阻力最小的形状以及流体和机械的关系。

### ● 热力学

热力学主要研究以热为动力的装置和泵、制冷机等机械,学习如何把热能最有效地转换成其他形式能量或把机械能高效地转换成热能的知识。

### ● 交通工具、产业机械、生产技术

交通工具和产业机械是利用上述各种技术制造的。如汽车、火车、船舶、飞机等交通工具都是综合运用机械技术的产物。

产业机械将介绍有关纤维、土木以及农业机械等方面的知识。

生产技术包括工厂的设计、运营和管理方法等内容,可以了解更合理的企业管理方法。

## 第2章

# 力学基础

本章归纳了以运动体的观点来看待机械的基本要点，学习如何表示和分析机械运动及其作用力方面的知识。

应该说，本章所介绍的知识都是着手进行工业力学和机械力学的具体设计的基础。因此，希望读者能够十分透彻地理解这些内容。

- 责任编委  
稻田辰夫
- 执 笔  
大野和夫

# 1 力的表示方法

## □ 要点

在静止的物体上施加力时会使其移动,在动态物体上施加力则会改变其运动的方向或速度。这说明,改变物体的状态就需要力。通常,力是改变物体的运动状态或使物体产生形变的原因。

## □ 解释

### ● 力的三要素

向物体施加力时,由于力的大小和力作用的点(着力点)以及力的方向的不同,其运动状态的变化也有差异,此即力的三要素。

表示力的方向的线称为作用线。如果仅在作用线上任意移动力的作用点,对物体的影响不会产生变化。

### ● 力的矢量

类似于力的具有大小和方向的量称为矢量。矢量中除了力矢量之外,还有速度、加速度以及力矩矢量。

尽管人不能用肉眼见到力,但可以用带箭头的线段表示出力的大小和方向。力的大小可以用直线的长短来表示,需要明确表示为矢量的场合写成  $F$  (参见图 2.1)。

着力点  
力的三要素  
作用线

矢量

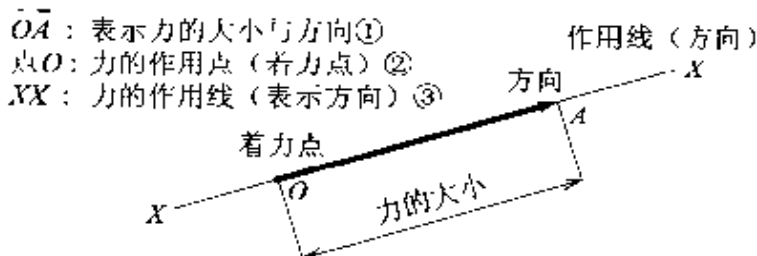


图 2.1 力的表示方法(1)

在同时表示几个力时,应该使用同一尺度。如果用 1cm 的线段表示 1N 的力,则表示 2N 的力的线段长度是 2cm。作用于点 O、与水平方向成  $45^\circ$  角的 1N 的力和成  $120^\circ$  角的 2N 的力用矢量表示,如图 2.2 所示。

牛[顿]

力的大小单位为牛[顿],用 N 来表示。即,使 1kg 质量的物体产生  $1\text{m/s}^2$  加速度的力的大小为 1N。

用 1N 表示  $1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ ,把 N 作为力的单位 ( $1\text{kgf}=9.8\text{N}$ )。

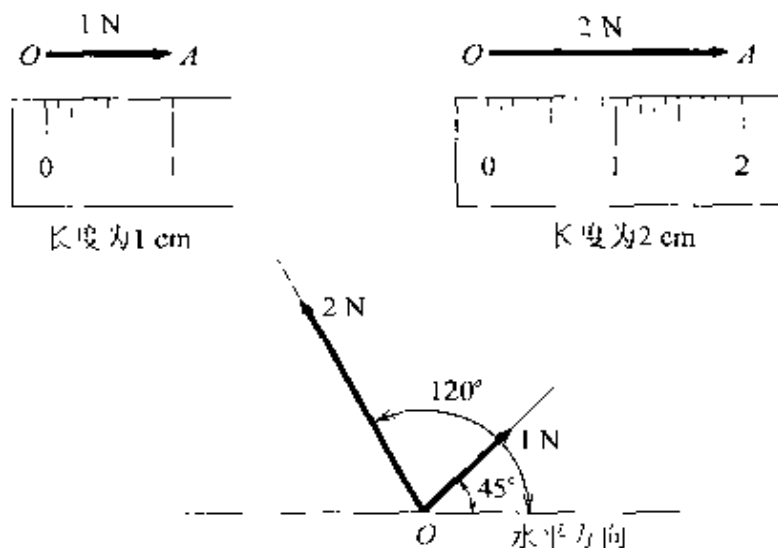


图 2.2 力的表示方法(2)

### □ 相关知识 ● 标量

在表示长度、面积和时间等量时,只表示大小,称其为标量(scalar)。

### ■ 例题

□ 若用 5cm 的矢量线段表示 120N 的力,3cm 的矢量线段等于多少牛[顿]?

**答** 72N。

思考方法:长度为 1cm 的矢量线段应为多少牛[顿]?

□ 请在图 2.3 中给出作用于 O 点、与水平线方向成  $30^\circ$  和  $130^\circ$  角的 20N、30N 的矢量图示。设 1cm 长度表示 10N 的力。

**答** 参见图 2.4。

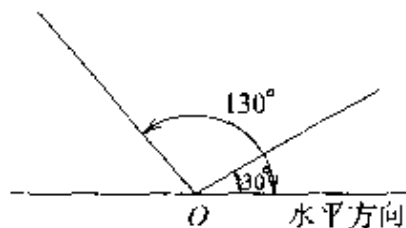


图 2.3

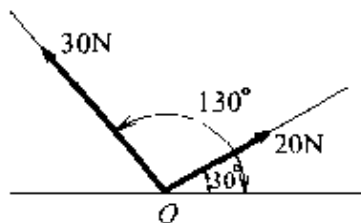


图 2.4

## 2 力的平衡

### □ 要点

若在一个物体上有若干个作用力,而且物体的位置保持不变,维持静止状态,则说这些力达到了平衡,并称该物体处于平衡状态。

### □ 解释

#### 二力平衡

#### ● 作用于一点上的力的平衡

**二力平衡** 图 2.5 所示为二人拔河的状态。当  $F_1 > F_2$  时,绳上的  $O$  点向左侧移动;反之,当  $F_1 < F_2$  时,则向右侧移动。若要力  $F_1$  和  $F_2$  达到平衡,必须使二力作用于一条线上,大小相等且方向相反,即当  $F_1 = F_2$  时,绳的中点  $O$  处于静止状态。

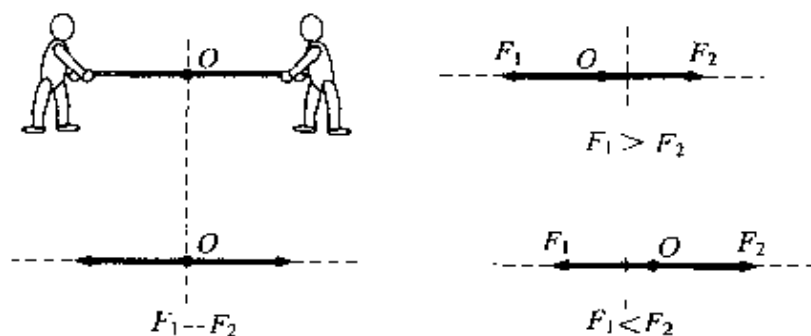


图 2.5 二力平衡

#### 三力平衡

**三力平衡** 在图 2.6 中,有三根被拉紧的绳子。如果力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  达到平衡,则  $O$  点处于静止状态。

如果力  $F_3$  要与  $F_1$  和  $F_2$  的合力达到平衡,就如同二力平衡的原理一样, $F_1$  和  $F_2$  的合力必须与  $F_3$  在同一作用线上,且大小相等、方向相反。

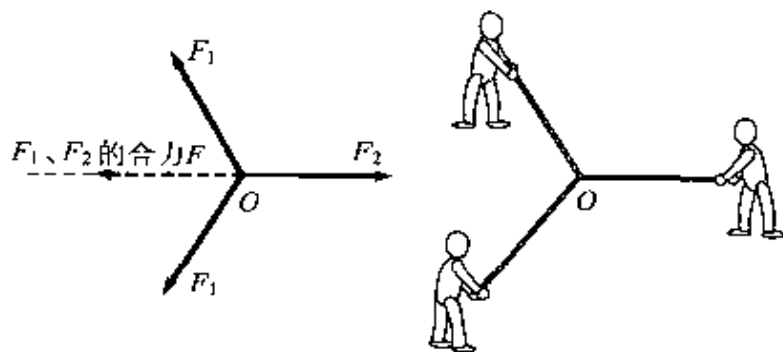


图 2.6 三力平衡(1)

## 合力

这种与  $F_1$  和  $F_2$  同时作用等效的力  $F$  称为合力。

若要使一个物体上作用的三个力达到平衡,则三条力的作用线必须交于一点。

上述关系也同样适用于另一个二力的组合。如图 2.7 所示,  $F_1$  与  $F_2$  的合力  $F$  必须与  $F_3$  大小相等方向相反且作用在同一条直线上。

至于  $F_1$  和  $F_3$  的合力  $F$  亦是如此。

一个物体上有三个力同时作用时,若符合上述情况,就称三力达到平衡。

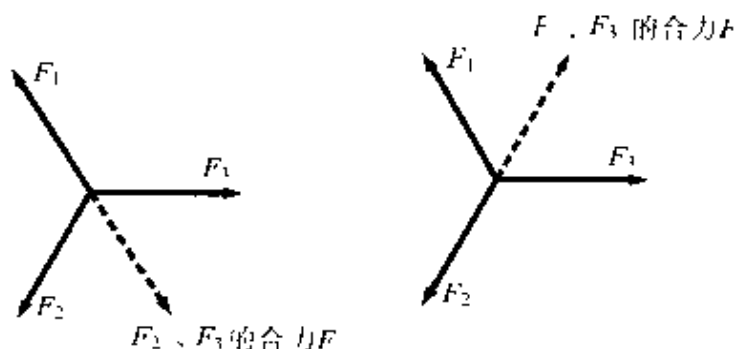


图 2.7 力的平衡(2)

### ● 拉米定理

若在  $O$  点有  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  三个作用力,且  $F_1$  和  $F_2$ 、 $F_2$  和  $F_3$  及  $F_1$  和  $F_3$  所构成的三个角为  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  和  $\theta_3$ ,则三力达到平衡时,有下述关系成立,并称之为拉米定理(参见图 2.8)。

### 拉米定理

$$\frac{F_1}{\sin\theta_1} = \frac{F_2}{\sin\theta_2} = \frac{F_3}{\sin\theta_3}$$

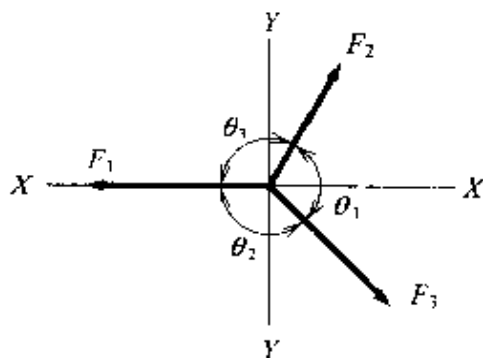


图 2.8 拉米定理示意图



### 3 二力的合成

**要 点** 一个物体上的两个作用力的合力的计算称之为两个力的合成。

用作图法求合力,有力的平行四边形法和力的三角形法,通过计算求合力的方法有勾股定理和三角函数法。

**解 释** ● 作用线重合时,用作图法求合力

两个力的作用线重合时,力的合成如图 2.9 所示。

若力  $F_1$  和  $F_2$  的方向相同,则合力  $F$  的大小等于  $F_1$  和  $F_2$  之和,合力的方向与  $F_1$  和  $F_2$  的方向相同。

$$\text{合力 } F = F_1 + F_2$$

若力  $F_1$  和  $F_2$  方向相反,其合力  $F$  的大小就等于  $F_1$  与  $F_2$  之差,而合力的方向与较大的力(这里为  $F_2$ )的方向一致。

$$\text{合力 } F = F_2 - F_1 (F_2 > F_1)$$

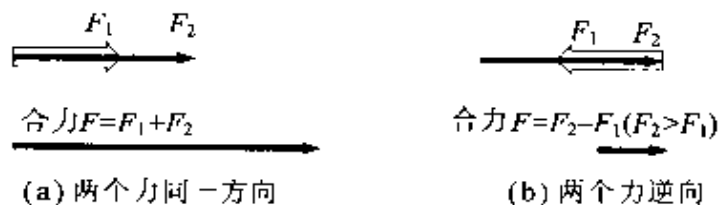


图 2.9 作用线重合的二力合成

● 作用线交叉时,用作图法求合力

如图 2.10 所示,力  $F_1$  和  $F_2$  的作用线在  $O$  点相交成  $\theta$  角时,形成以两个力  $OA$  和  $OB$  为两边的平行四边形  $OACB$ ,其对角线  $OC$  即为合力。

力的平行四边形

上述的平行四边形  $OACB$  称为力的平行四边形。

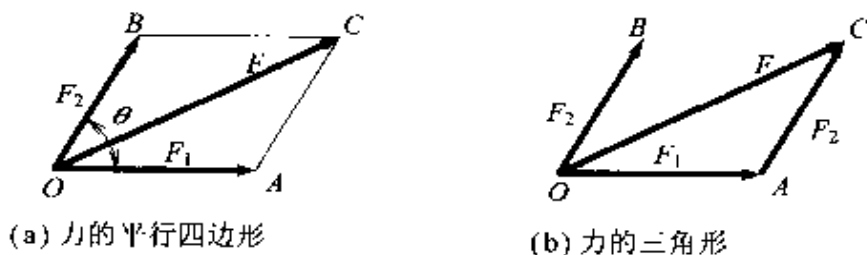


图 2.10 作用线相交的二力合成

## 力的三角形

此外,从力  $F_1$  的箭头  $A$  点与力  $F_2$  平行画直线  $AC$ ,然后把  $C$  点和  $O$  点连接起来,则  $OC$  线段就表示  $F_1$  和  $F_2$  的合力  $F$ 。上述三角形  $OAC$  称为力的三角形。

● 作用线相交时,用计算方法求合力

当两个力  $F_1$  和  $F_2$  成直角时(参见图 2.11)

合力大小

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

合力方向:合力  $F$  与  $F_1$  的夹角  $\alpha$  满足

$$\tan \alpha = \frac{F_2}{F_1}$$

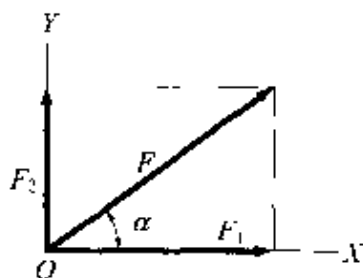


图 2.11 垂直的二力的合成

当两个力  $F_1$  和  $F_2$  的夹角为  $\theta$  时(参见图 2.12)

$$F_x = X_1 + X_2 = F_1 + F_2 \cos \theta$$

$$F_y = Y_2 = F_2 \sin \theta$$

合力大小

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \theta}$$

合力的方向:合力  $F$  与  $F_1$  的夹角  $\alpha$  满足

$$\tan \alpha = \frac{F_y}{F_x} = \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta}$$

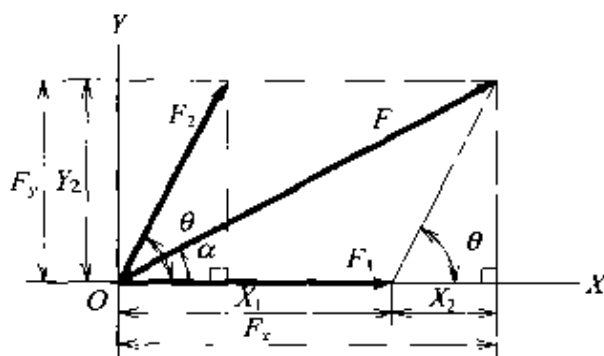


图 2.12 两个力的交角为  $\theta$  时的合成

### ● 力的分解

力的分解

把一个力分为等效的两个力  $F_1$  和  $F_2$  时称为力的分解, 画一个以  $F$  为对角线的平行四边形, 则两边  $F_1$  和  $F_2$  就是分解后的两个力, 故称  $F_1$  和  $F_2$  为  $F$  的两个分力(参见图 2.13)。

分力

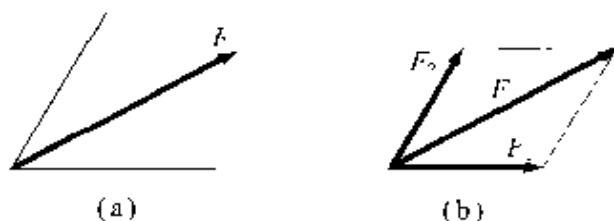


图 2.13 力的分解

### ■ 例 题

在图 2.12 中, 当  $F_1 = 50\text{N}$ ,  $F_2 = 40\text{N}$ ,  $\theta = 60^\circ$  时, 求此二力的合力。

**答**  $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos\theta} = \sqrt{50^2 + 40^2 + 2 \times 50 \times 40 \times \cos 60^\circ} = 78.1(\text{N})$

$$\tan\alpha = \frac{F_2 \sin\theta}{F_1 + F_2 \cos\theta} = \frac{40 \times \sin 60^\circ}{50 + 40 \times \cos 60^\circ} = 0.49$$

故  $\alpha = 26.3^\circ$ 。

合力的大小为 78.1N。

合力  $F$  与力  $F_1$  所形成的夹角为  $26.3^\circ$ 。

## 4 多个力的合成

□ 要 点 多个力合成时,可以通过重复二力合成的办法来计算其合力。与二力合成时一样,也有作图法和计算法两种。

□ 解 释 ● 用作图法求合力

利用平行四边形方法时,可先求出  $F_1$  与  $F_2$  的合力  $F_{12}$ ,再求出  $F_{12}$  和  $F_3$  的合力  $F_{123}$  (参见图 2.13),依此类推,即可求出最后的合力  $F$ 。

力的多边形作图方法与力的三角形法相同(参见图 2.14)。即在  $F_1$  的末端上连接  $F_2$ ,在  $F_2$  的末端上的连接  $F_3$ , $F_3$  的末端上连接  $F_4$ ,如此下去即可画出力的多边形。

将力  $F_1 \sim F_n$  所形成的三角形组合起来而构成的多边形称之为力的多边形。当合力达到平衡,即合力为 0 时,便形成封闭的多边形。

力的多边形

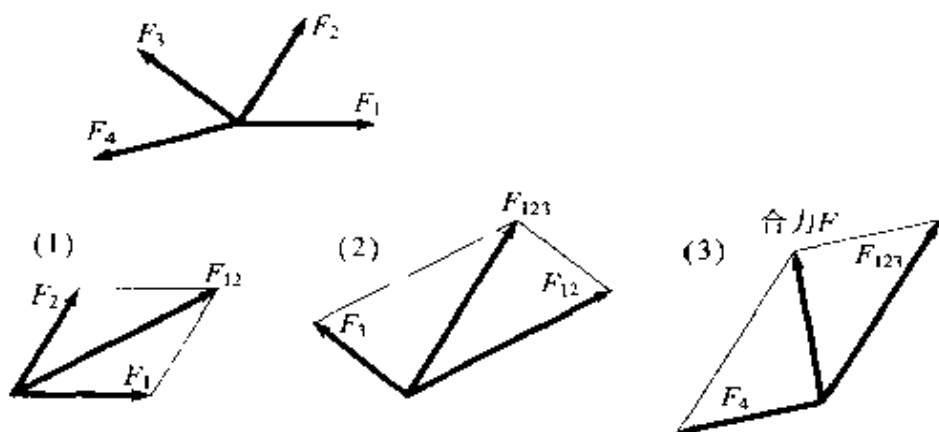


图 2.13 利用力的平行四边形方法

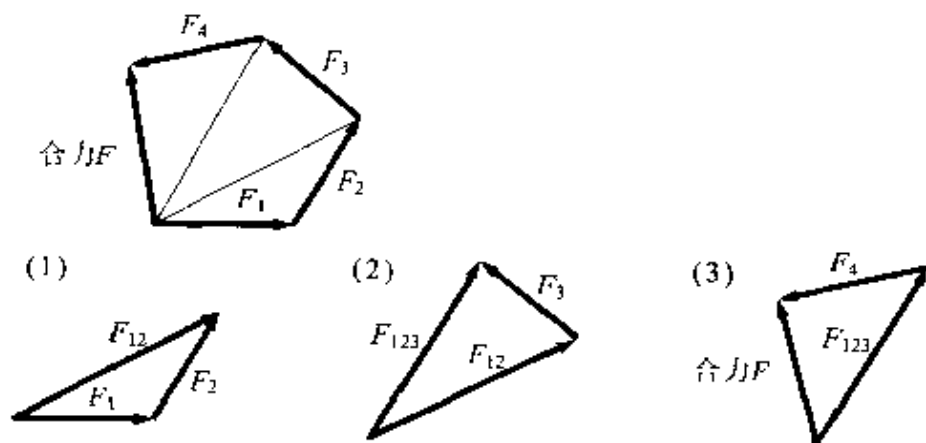


图 2.14 利用力的三角形方法

### ● 用计算方法求合力

画出以作用点为原点的直角坐标, 然后分别求出力的  $X$  轴方向分力之和  $F_x$  和  $Y$  轴方向的分力和  $F_y$ , 再将这两个互成直角的力合成即可计算出合力  $F$  (参见图 2.15)。

计算  $X$  轴的分力之和  $F_x$

$$F_x = F_1 \cos\theta_1 + F_2 \cos\theta_2 + F_3 \cos\theta_3$$

计算  $Y$  轴分力之和  $F_y$

$$F_y = F_1 \sin\theta_1 + F_2 \sin\theta_2 - F_3 \sin\theta_3$$

合力大小

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

合力方向: 合力  $F$  与  $F_x$  形成的夹角  $\alpha$  满足

$$\tan\alpha = \frac{F_y}{F_x}$$

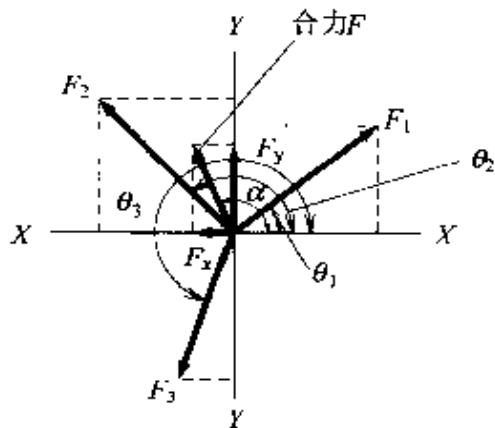


图 2.15 直角坐标法求合力

### ■ 例 题

见对图 2.16, 利用力的多边形求出其合力。

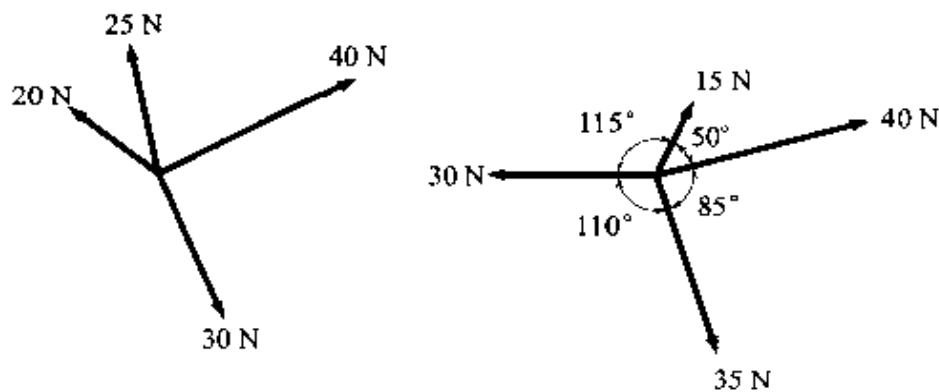


图 2.16

## 5 力矩及正负力矩

### □ 要点

使物体旋转的力的作用称为力矩。力矩表示了以某一点为轴的旋转作用的效果,等于旋转中心至作用线的垂直距离和力的大小的乘积。

### □ 解释 ● 力矩

#### 力臂

力臂与力成直角时(参见图 2.17) 从旋转中心  $O$  至力作用线的垂直距离称为力臂。力矩的大小  $M$  可用力  $F$  与力臂长度  $r$  的积来表示:

$$M = Fr$$

力矩的单位有  $\text{N} \cdot \text{mm}$ 、 $\text{N} \cdot \text{m}$  及  $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

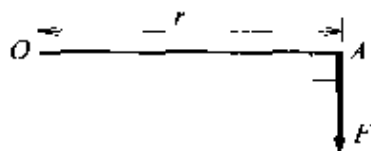


图 2.17 力矩(OA 与  $F$  成直角时)

力臂和力成  $\theta$  角时(参见图 2.18) 计算力矩  $M$  时,可从力臂的直角方向取  $F$  的分力  $F \sin \theta$ ,再乘以力臂的长度  $r$ ,即

$$M = Fr \sin \theta$$

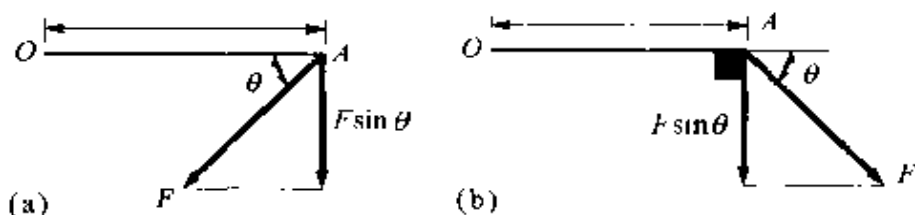


图 2.18 力矩(力臂 OA 与  $F$  成  $\theta$  角时)

### ● 力矩的方向

为了便于计算,可将作用于同一平面内的不同力矩用必要的符号来表示(参见图 2.19)。物体的旋转方向为逆时针时用正号(+)表示,顺时针方向时用负号(-)表示。

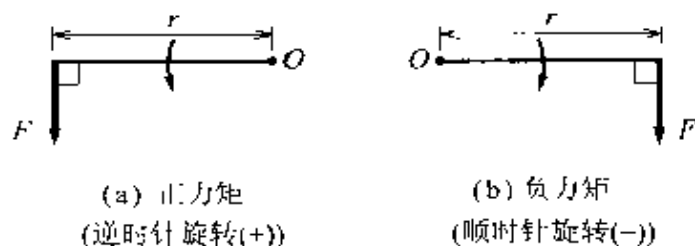


图 2.19 力矩符号

### ● 力矩合成(一个物体上同时作用多个力时)

若作用力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  的力矩分别为  $M_1$ 、 $M_2$  和  $M_3$ , 则合力  $F$  的力矩就等于各分力矩之和(参见图 2.20)。在有三个以上的力作用时, 合力的力矩  $M = M_1 + M_2 + M_3 + \dots$ 。

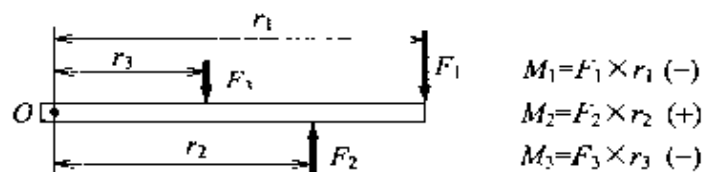


图 2.20 合力的力矩

### ● 力 偶

力偶

力偶矩

大小相等、方向相反的平行作用力称为力偶(参见图 2.21)。由力偶所产生的力矩称为力偶矩( $d$ ), 可由下式表示:

$$M = Fa + Fb = F(a + b) = Fd$$

式中,  $d$  表示为力偶臂。力偶的力矩与中心点  $O$  无关总是 一定的。

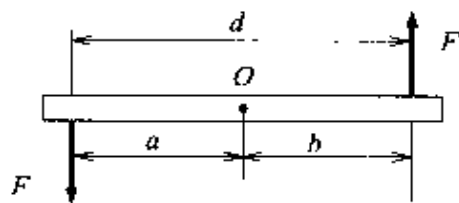


图 2.21 力 偶

## 6 桁架上作用的力

### 要点

铁丝、钢丝绳等用杆材制成的构件称为桁架结构,以三角形单元组合而成。每根杆的节点由销钉(或铆钉)联接,联接点可转动的构件称为桁架。桁架的种类如图 2.22 所示的种类。对于桁架结构,如果在某一节点上有作用力时,则每根杆上都会受到轴向的作用力。

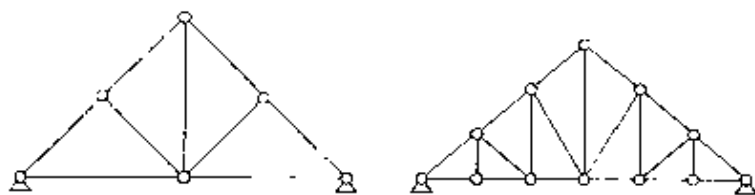


图 2.22 桁架的种类

### 解释 ● 桁架受力的计算方法

桁架的联接点(节点)均由铆钉铆合而成,计算时可认为外力只对节点起作用。因为节点上不产生弯曲力矩,故每根杆上只产生压应力和拉应力(轴向力)。

桁架上各节点的作用力始终保持平衡状态,即每个节点上作用的水平分力之和与垂直分力之和均为零。

压应力是从杆的外部向内部施加的压力,以减号(−)来表示;拉应力是从杆向外拉的力,以加号(+ )来表示。

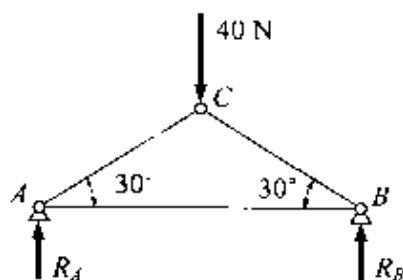


图 2.23 桁架

图 2.23 是以 A、B 两点支撑的桁架,计算应力时,A、B 两点的反作用力为  $R_A$  和  $R_B$ ,则有

$$R_A = R_B = \frac{40}{2} = 20(\text{N}) \quad (1)$$



若假定 A 点上作用的力如图 2.24 所示, 则有

$$F_x = R_{AC} \cos 30^\circ - R_{AB} = 0 \quad (2)$$

$$F_y = R_A + R_{AC} \sin 30^\circ - 0 \quad (3)$$

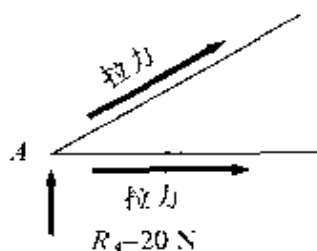


图 2.24 A 点上的力(设为拉应力)

根据式(3), 有

$$20 + R_{AC} \sin 30^\circ = 0$$

$$R_{AC} = -40 \text{ (由于是负值, 故受压应力)}$$

将求出来的  $R_{AC}$  代入式(2), 得

$$-40 \cos 30^\circ + R_{AB} = 0$$

$$R_{AB} = 20\sqrt{3} \text{ (由于是正值, 故受拉应力)}$$

可见, 支点 A 和 B 的反作用力均为 20 N, 杆 AC 受压力 40 N, 杆 AB 受拉力  $20\sqrt{3}$  N。

## 相关知识 ● 框架结构

框架结构

指杆材的各节点并非用销轴连接, 而是采用刚性连接, 不能活动的框架结构。

## 7 各种形状的重心与形心

### □ 要点

若将物体看成由微小部分组成的集合体,那么,各微小部分都受到垂直的重力作用,其重力的合力位置就是整个重量集中作用的一点,称之为重心。平面图形的重心也称为形心。

### □ 解释

#### ● 重心位置的求法

以任意点  $O$  作为原点,然后画正交的  $X$  轴和  $Y$  轴,假定各微小部分的重量为  $w_1, w_2, w_3, \dots$ , 其重心(重力作用点)  $G_1$  为  $(x_1, y_1)$ ,  $G_2$  为  $(x_2, y_2)$ ,  $G_3$  为  $(x_3, y_3), \dots$ 。则全体的重量  $W$  为

$$W = w_1 + w_2 + w_3 + \dots$$

在图 2.25 中,设重心的坐标为  $G(x, y)$ , 将  $X$  轴和  $Y$  轴作为各力的垂直分解轴,则因点  $O$  周围的力矩的平衡,有

$$W \cdot x = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \dots$$

$$W \cdot y = w_1 y_1 + w_2 y_2 + w_3 y_3 + \dots$$

整个物体的重心  $G$  的坐标为

$$x = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \dots}{W}$$

$$y = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2 + w_3 y_3 + \dots}{W}$$

此外,对于密度和厚度一定的物体,可用体积或面积求出其重心。

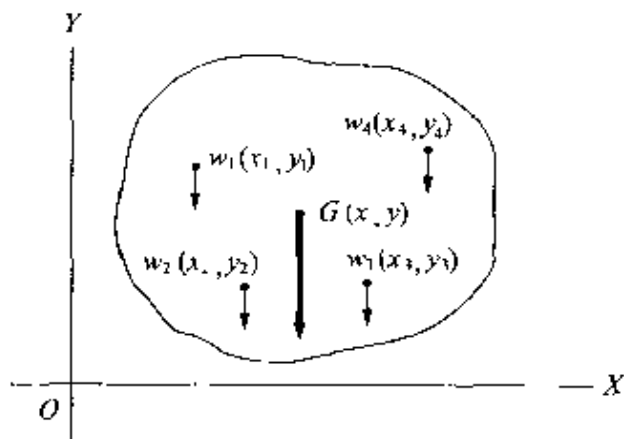


图 2.25 重力与重心

求图 2.26 的重心。

$$x_1 = 80, y_1 = 15, \text{ 所以, } G_1 \text{ 的坐标为 } (80, 15)$$

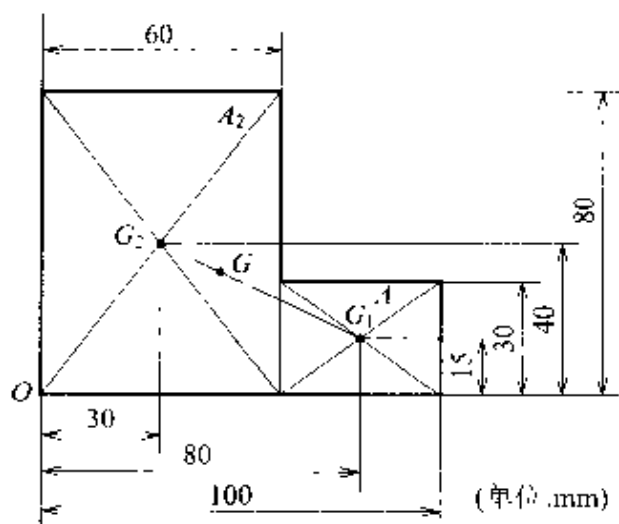


图 2.26 以长方形结合表的图形

$x_1 = 30, y_1 = 40$ , 所以  $G_1$  的坐标为  $(30, 40)$

$A_1$  的面积:  $30 \times 40 = 1200$

$A_2$  的面积:  $80 \times 60 = 4800$

总面积  $A$  为

$$A = A_1 + A_2 = 1200 + 4800 = 6000$$

从  $X$  轴、 $Y$  轴上的各面积重心对  $O$  点的力矩平衡条件可得

$$6000x = 1200 \times 80 + 4800 \times 30$$

$$6000y = 1200 \times 15 + 4800 \times 40$$

整体重心  $G$  的坐标为

$$x = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A} = \frac{1200 \times 80 + 4800 \times 30}{6000} = 40$$

$$y = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A} = \frac{1200 \times 15 + 4800 \times 40}{6000} = 35$$

故重心  $G$  的位置为  $x = 40\text{mm}, y = 35\text{mm}$ 。重心  $G$  在  $G_1$  和  $G_2$  的连线上。

图 2.27 显示了各种线形、平面形状和立体形状的重心。

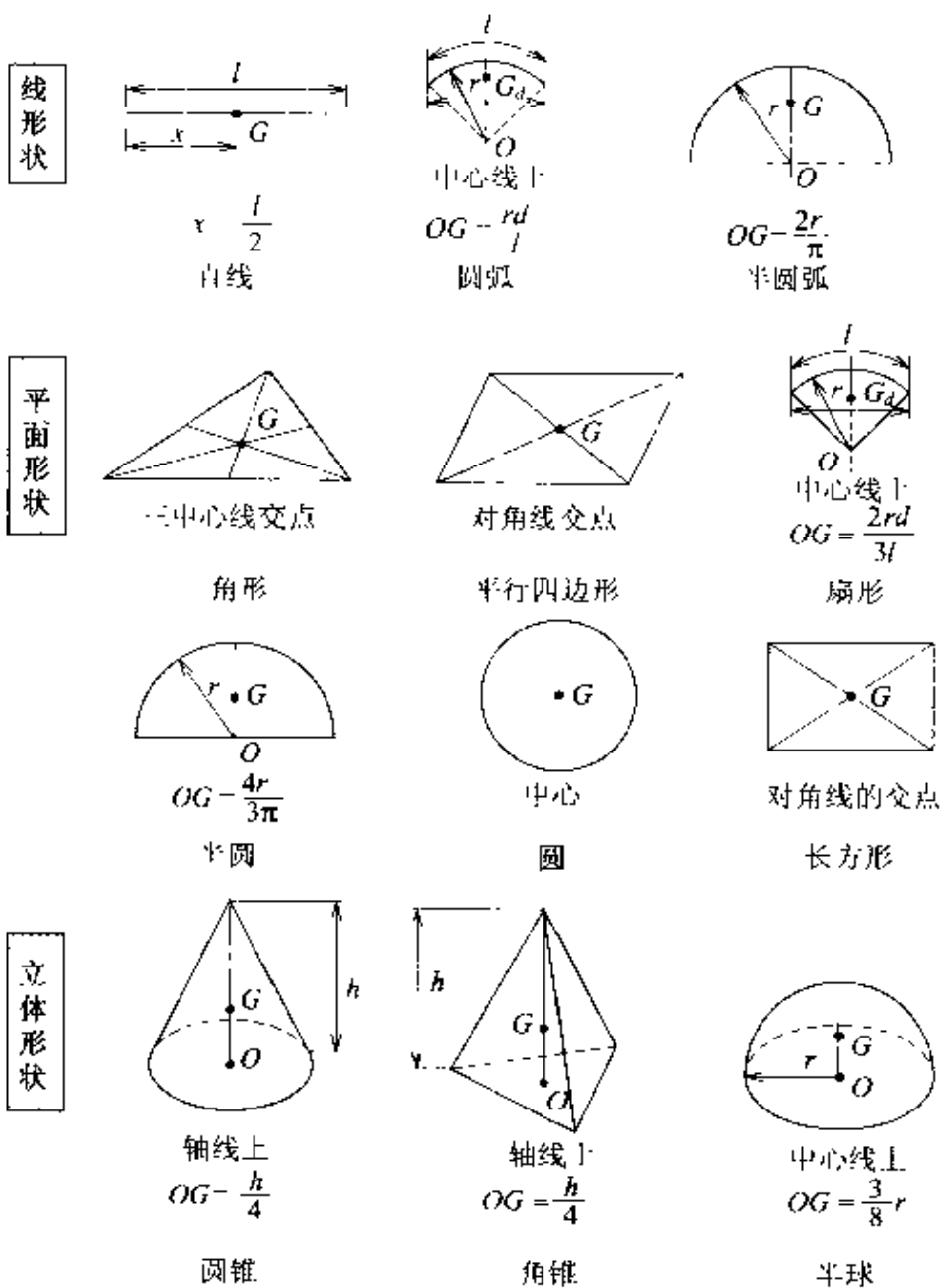


图 2.27 各种形状的重心

## 8 机械运动与力的关系

### □ 要 点

我们周围的很多日常用品是利用机械加工来制造的,通过了解机械的合理运动可以制造更好的机械。为了解机械运动的规律,需要研究机械运动与力的关系。

### □ 解 释

位移

速率

速度

匀速直线运动

#### ● 速 度

物体通过运动而改变位置时,其位置的变化称为位移。物体运动的速率是指物体在单位时间内位移的大小,而速度考虑的是物体在单位时间内沿某个方向的位移大小。

以一定速度沿直线的运动称为匀速直线运动。物体作匀速直线运动时,若在  $t(\text{s})$  时间内移动了  $S(\text{m})$  距离,速度为  $V(\text{m/s})$ ,则有下列关系:

$$V = \frac{S}{t}, \quad S = Vt$$

在变速运动中,上式所表示的  $V$  只是平均速率,在直线运动中可称为平均速度。

速度的单位用  $\text{m/s}$  来表示。

#### ● 加 速 度

加速度

等加速运动

汽车不可能总是按一个速度前进,如起动或停止以及超车等,其速度会随时间而变化。单位时间内的速度变化量称为加速度,加速度一定的运动称为等加速运动。

假设,做等加速运动的汽车在  $t(\text{s})$  时间内,其速度由  $V_0(\text{m/s})$  变化到  $V_1(\text{m/s})$ 。由于速度的变化量是  $V_1 - V_0$ ,其加速度  $a(\text{m/s}^2)$  可由下式表示:

$$a = \frac{V_1 - V_0}{t}$$

等加速运动中的速度  $V(\text{m/s})$  与移动距离  $S(\text{m})$  之间的关系可由下式表示:

$$V = V_0 + at$$

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

加速度的单位为  $\text{m/s}^2$ 。 $1 \text{ m/s}^2$  表示的含义为速度在每秒中有  $1 \text{ m/s}$  的变化量。

#### ● 第一运动定律

人们坐汽车时,每当出现急刹车或加速时均出现前仰后合的

惯性  
第一运动定律  
惯性定律

现象,这是因为运动着的物体始终要保持其运动的状态之故。物体的这一性质称为惯性,这一法则称为第一运动定律或惯性定律。

### ● 第二运动定律

在物体上施加作用力时,速度就会发生变化,并向着力的方向产生加速度,且加速度的大小与作用力的大小成正比,与物体的质量成反比,此法则称为第二运动定律。

当加速度用  $a(\text{m}/\text{s}^2)$ ,质量用  $m$  表示时,作用的力  $F(\text{N})$  可用下式表示:

$$F=ma$$

此式称为运动方程。

再让我们观察一下质量为  $m$  的物体做自由落体运动的情况。因为物体有产生铅垂方向加速度  $g$  的重力  $W(\text{N})$  在作用,有

$$W=mg, \quad m=\frac{W}{g}, \quad g=9.8\text{m}/\text{s}^2$$

用重量  $W(\text{N})$  来代替质量  $m$ ,则运动方程可表示为

$$F=\frac{W}{g}a$$

### ● 第三运动定律

物体  $A$  向物体  $B$  施加作用力时, $B$  对  $A$  具有反作用力。这两个力在同一作用线上,力的大小相等、方向相反。此法则称为第三运动定律或作用力与反作用力定律。

第三运动定律  
作用力与反作用力定律

## 9 功与功率

### □ 要 点

当力作用于物体上并使物体移动时,就说力作了功。有时还必须考虑做功所耗费的时间问题。这是因为,通过比较单位时间内所作的功,可分辨机械做功的能力。单位时间内作的功称为功率。

### □ 解 释 ● 功

功

力  $F$  作用于物体上,若物体在力的作用下移动了距离  $S$ ,则称力  $F$  作了功。

当物体沿力的作用线方向移动时,所作的功  $A$  等于力  $F$  和物体移动的距离  $S$  的乘积,可用下式表示(参见图 2.28):

$$A = FS$$

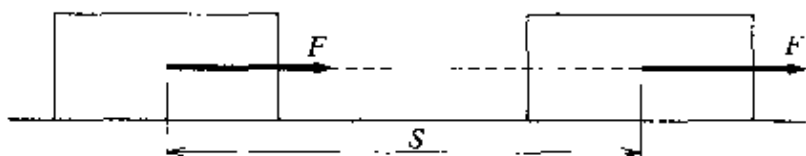


图 2.28 物体沿力的作用方向移动

设力的方向与物体移动的方向所构成的夹角为  $\theta$ ,则做功的有效力为  $F\cos\theta$ ,此时所作的功  $A$  等于  $F\cos\theta$  与移动距离  $S$  的乘积,可由下式表示(参见图 2.29):

$$A = F\cos\theta \cdot S = FS\cos\theta$$

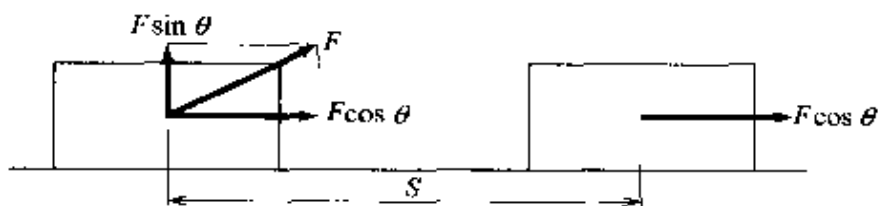


图 2.29 物体移动方向与力的作用线相交

尽管力在竖直方向有分量  $F_y = F\sin\theta$ ,但物体不能沿竖直方向移动,故力  $F_y$  并不做功。也就是说,不管在物体上施加多大的力,若物体不移动,则说该力没有做功(参见图 2.30)。

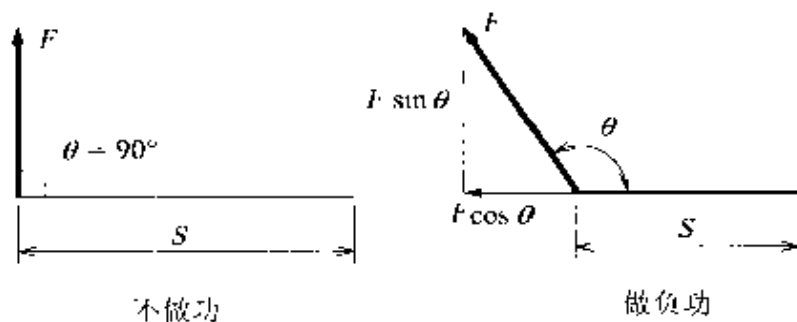


图 2.30 力的方向与功

功的单位为  $\text{N} \cdot \text{m}$  (牛[顿]·米), 用符号  $\text{J}$  (焦[耳]) 来表示

$$\begin{aligned} A &= 1\text{N} \times 1\text{m} = 1\text{N} \cdot \text{m} \\ &= 1\text{J} \end{aligned}$$

$$1\text{erg}(\text{尔格}) = 10^{-7}\text{J}$$

1J 等于 1N 的力使物体移动 1m 所做的功。

### ● 功 率

将重 200N 的物体举高 30m 时的机械功  $A = FS = 200 \times 30 = 6000\text{J}$ 。

不过, 所用的机械不同时所需时间也不一样, 可能用 10s, 也有可能用 20s, 若将每秒中的功加以比较, 则

$$6000/10 = 600\text{J/s}$$

$$6000/20 = 300\text{J/s}$$

如上所述, 利用单位时间内所做的功可以比较机械的做功能力。单位时间内所作的功称为功率。

若功  $A(\text{J})$  是在时间  $t(\text{s})$  内完成的, 则功率  $P$  可用下式表示:

$$P = \frac{A}{t}$$

$$\text{因 } A = FS, \text{ 故 } P = \frac{FS}{t} = FV$$

功率的单位用瓦[特](W) 表示。1W 等于 1s 内做 1J 功的功率。即

$$1\text{W} = 1\text{J/s}$$



## 10 势能与动能

**要 点** 如同从高处往下流的水能够转动水车一样,物体处于做功的状态时,就说该物体具有能量,即能够做功的能力称为能。

**解 释** ● 能的种类

能  $\left\{ \begin{array}{l} \text{机械能} \left\{ \begin{array}{l} \text{动能} \\ \text{势能(位能)} \end{array} \right. \\ \text{热能、电能、化学能、原子能} \end{array} \right.$

**能量守恒定律** 能量可转换形态,但能量的总和不变,这种现象称为**能量守恒定律**。

● 势 能

**势能** 从高处往低处流的水能够做功,以及被压缩的弹簧恢复到原处时也能做功,这是因为,物体的位置和形态变化便具有能量,这种能量称为**势能(位能)**

将质量为  $m$  的物体提高到  $H$  高度时所做的功为  $mgH$  ( $g$  为重力加速度),即高处的物体比低处的物体具有更大的势能。

位能  $E_p$  可由下式表示(参见图 2.31):

$$E_p = mgH$$

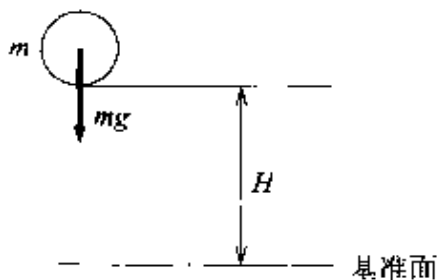


图 2.31 重力产生的能

● 动 能

**动能** 当运动的物体撞击另一物体时,被撞击的物体移动一定距离后停止,此时,运动的物体将被撞击物体移动了一定距离而做功,说明它具有能量。这种运动的物体所具有的能量称为**动能**。

质量为  $m$ (kg)的物体 A 以  $V$ (m/s)的速度做直线运动并撞击物体 B 时,将产生与运动方向相反的力  $F$ (N)。若物体 B 移动  $S$ (m)距离后停止,则所作的功为  $FS$ (参见图 2.32)。此时,物体 A

从物体 B 受到力  $F(N)$  的作用, 若物体 A 因而产生的加速度为  $a$ , 则

$$0 - V^2 = 2aS, \quad S = \frac{V^2}{2a}, \quad F = ma$$

可见, 至物体 A 运动停止时, 物体 B 所作的功为

$$FS = \frac{1}{2} mV^2$$

质量为  $m(\text{kg})$  的物体 A 以速度  $V(\text{m/s})$  作直线运动时, 所具有的动能  $E_k$  可由下式表示:

$$E_k = \frac{1}{2} mV^2$$

能的单位与功的单位相同, 一般用 J 表示。

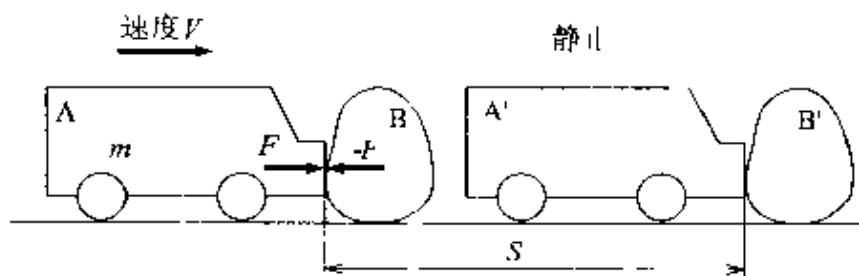


图 2.32 做直线运动物体的能量

### 例 题

① 请求出质量为  $300\text{kg}$  的物体置于离地表高  $12\text{m}$  处时的势能。

答  $E_p = 300 \times 9.8 \times 12 = 35280(\text{J}) = 35.3(\text{kJ})$

② 请求出质量为  $20\text{kg}$  的物体以  $54\text{km/h}$  的速度运动时的动能。

答  $V = 54\text{km/h} = \frac{54000\text{m}}{3600\text{s}} = 15\text{m/s}$

$$E_k = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} 20 \times 15^2 = 2250(\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^2) = 2.25(\text{kJ})$$

# 11 惯性矩

**要 点** 旋转的物体与直线运动的物体一样,也具有动能。本节中将讨论转动物体的动能。

**解 释** ● 惯性矩

如图 2.33 所示,有以轴  $O$  为中心旋转的质量为  $m_1, m_2, m_3, \dots$  的小物体,其角速度为  $\omega$ ,作半径为  $r_1, r_2, r_3, \dots$  的圆周运动。此时小物体  $m_1$  的动能  $e_k$  为

$$e_k = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 = \frac{1}{2} m_1 (r_1 \omega)^2$$

所有小物体具有的动能为

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} m_1 (r_1 \omega)^2 + \frac{1}{2} m_2 (r_2 \omega)^2 + \frac{1}{2} m_3 (r_3 \omega)^2 + \dots \\ &= \frac{\omega^2}{2} (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots) \end{aligned}$$

设  $m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots = J$ , 则动能  $E_k$  可表示为

$$E_k = \frac{\omega^2}{2} J$$

其中,  $J$  称为惯性矩或转动惯量,其单位为  $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$ 。

惯性矩

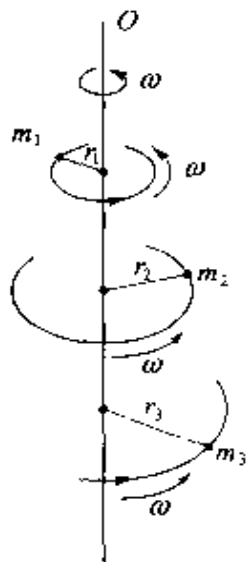


图 2.33 旋转体的动能

表 2.1 列出了不同形状物体的参考数据,可以发现惯性矩  $J$  因转动物体的形状、质量的分布状态以及旋转轴的位置不同而不

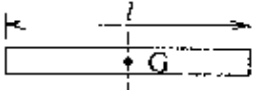
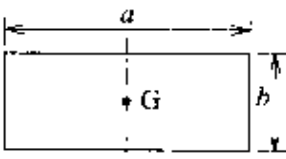
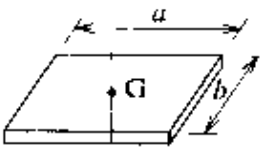
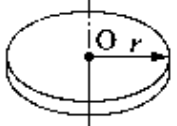
同  $J$  的值越大则越难改变物体的旋转运动状态。

若假定物体的所有质量  $M$  都集中在离旋转轴距离为  $K$  的点上, 则  $J = MK^2$ , 此处  $K$  称为旋转半径。

旋转半径

$$K = \sqrt{\frac{J}{M}} \quad (\text{m})$$

表 2.1 不同形状物体的惯性力矩与旋转半径

旋转体的形状	旋转轴	$J$	$K^2$
	通过棒的 铅垂中心	$M \frac{l^2}{12}$	$\frac{l^2}{12}$
	通过平行于 $b$ 边的重心	$M \frac{a^2}{12}$	$\frac{a^2}{12}$
	通过板的铅垂重 心	$M \frac{a^2 + b^2}{12}$	$\frac{a^2 + b^2}{12}$
	通过中心轴	薄板	$M \frac{r^2}{4}$ $\frac{r^2}{4}$
		厚板	$M \frac{r^2}{4}$ $\frac{r^2}{2}$

### 例 题

试求惯性矩为  $12 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$ , 角速度为  $5 \text{ rad/s}$  的旋转体的动能。

答]  $J = 12 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2, \omega = 5 \text{ rad/s}$

$$E_k = \frac{\omega^2}{2} J = \frac{5^2 \times 12}{2} = 150 (\text{J})$$

## 12 简单机械运动与力学

### □ 要 点

机械运动初看起来可能感觉很复杂,但仔细观察会发现,任何一部机器的运动均为基本的简单运动的结合。本章将学习有关机械的运动及其相关的力学知识。

### □ 解 释

#### ● 旋转运动与直线运动

#### 曲柄连杆机构

图 2.34 所示为汽车发动机的一部分。在这里,活塞做往复运动而曲轴做旋转运动,这种机构称为曲柄连杆机构(参见图 2.35)。

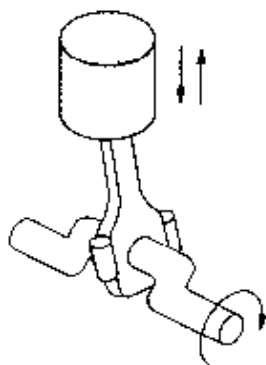


图 2.34 汽车发动机

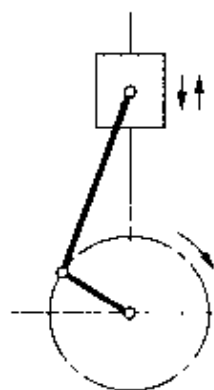


图 2.35 曲柄连杆机构

活塞的往复运动带动曲轴转动,曲轴通过离合器和齿轮箱把动力传递到车轮上。

#### ● 将较小力转换成较大的力

#### 杠杆

挪动笨重物体时常使用杠杆(参见图 2.36)。以  $O$  点为中心可列出如下的力矩平衡方程:

$$W \cdot OB = F \cdot OA, \quad \frac{W}{F} = \frac{OA}{OB}$$

如果  $OA$  的长度为  $OB$  的两倍,则  $W = 2F$ ,故可挪动两倍重的物体。起钉锤即采用了杠杆原理(参见图 2.37)。

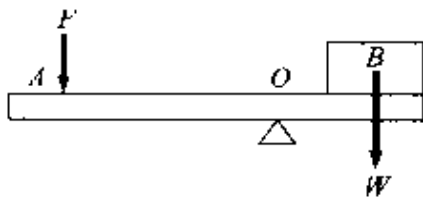


图 2.36 杠 杆

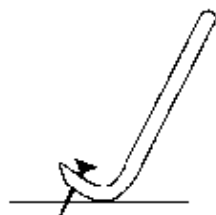


图 2.37 起钉锤

## 辘轳

辘轳可以用很小的力吊起重物。如图 2.38 所示,在大小不同的圆筒上卷上绳索,小圆筒的绳索上吊挂重物,拉拽大圆筒上的绳索,即可用较小的力吊起较重的物体。

以旋转轴为中心可列出力矩平衡方程如下:

$$F \times \frac{D}{2} = W \times \frac{d}{2}, \quad F = W \frac{d}{D}$$

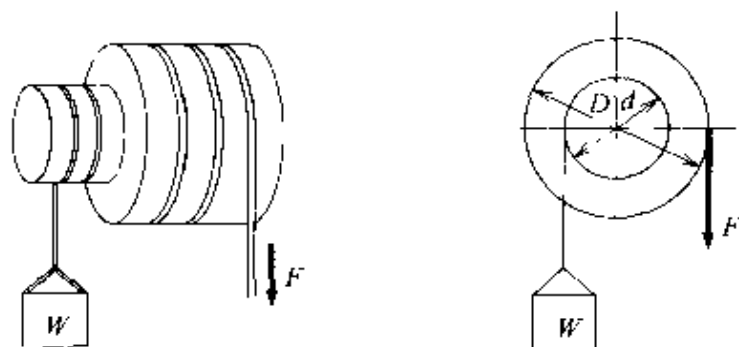


图 2.38 辘 轳

## 滑轮

## 定滑轮

## 动滑轮

滑轮是用于起吊重物的装置,包括定滑轮和动滑轮两类(参见图 2.39、图 2.40)。使用定滑轮时,起吊物体的拉力和物体的重力是相等的,它主要用于改变拉力方向。

$$W \cdot r = F \cdot r, \quad W = F$$

使用动滑轮时,所用的力是物体重力的  $1/2$ 。

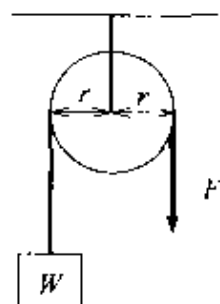


图 2.39 定滑轮

$$W \cdot r = F \cdot 2r, \quad F = \frac{W}{2}$$

● 各种各样的动作(参见图 2.41)

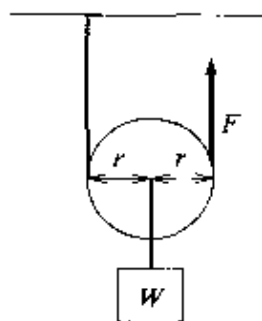


图 2.40 动滑轮

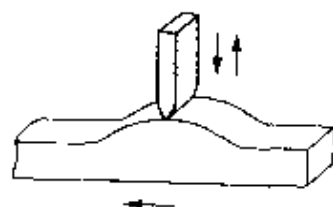
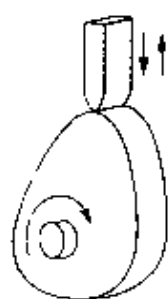


图 2.41 齿 轮



## 第3章

# 材料力学

材料力学是研究组成机械设备和构件物的材料在受各种力的作用下产生的变形及破坏机理的学科。

本章所讨论的内容是安全、经济地进行机械设计和制作时必须了解的基础知识，应反复阅读，深刻理解。

- 责任编委  
稻见辰夫
- 执 笔  
桥本广明



# 1 应力

## □ 要 点

当物体承受外载荷作用时,分布在任意截面上的单位面积的内力称之为应力。根据载荷的种类可将应力分为正应力和剪应力。

设载荷为  $W(\text{N})$ , 面积为  $A(\text{mm}^2)$ , 则正应力  $\sigma$  及剪应力  $\tau$  可用下式表示:

$$\sigma = \frac{W}{A} (\text{MPa}) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{W}{A} (\text{MPa}) \quad (2)$$

## □ 解 释

### ● 外力和内力的关系

当物体受到外力的作用并保持平衡状态时,谓之内力与外力达到了平衡。

### ● 载荷的种类

载荷可根据其作用效应分为拉伸载荷、压缩载荷、剪切载荷、弯曲载荷及扭曲载荷等(参见图 3.1)。

根据速度可将载荷分为静载荷和动载荷(含交变载荷、冲击载荷),参见图 3.2。

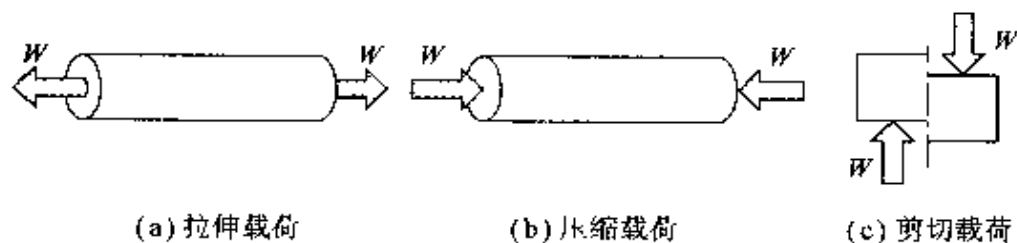


图 3.1 根据作用效应区分的载荷种类

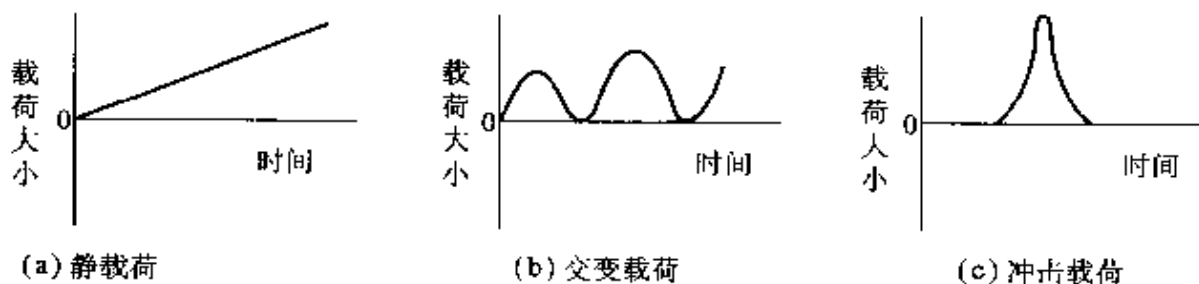


图 3.2 根据速度区分的载荷种类

### ● 正应力与剪应力

在截面的垂直方向产生的应力为正应力,正应力包括由拉伸载荷产生的拉应力和由压缩载荷产生的压应力。

所谓剪应力是沿着截面方向产生的应力。

拉应力  
压应力

### □ 相关知识 ● 应变

物体受载荷作用时会产生拉伸、压缩及剪切等变形。应变就是材料的原长度和变形量之比,用单位长度(或单位体积)的变形量来表示。

应变与应力一样,也可根据载荷的种类分为正应变和剪应变。

设物体原来的长度为  $l(\text{mm})$ ,变形量为  $\Delta l(\text{mm})$ ,正应变  $\epsilon$  可用下式表示(参见图 3.3):

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3)$$

在图 3.4 中,相距微小距离的两截面由于承受剪切载荷作用而产生剪切,位移  $\Delta l(\text{mm})$ ,相对于原位置倾斜了微小的角度  $\varphi$ ,此时剪应变可由下式表示:

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l} \approx \tan \varphi \approx \varphi(\text{rad})$$

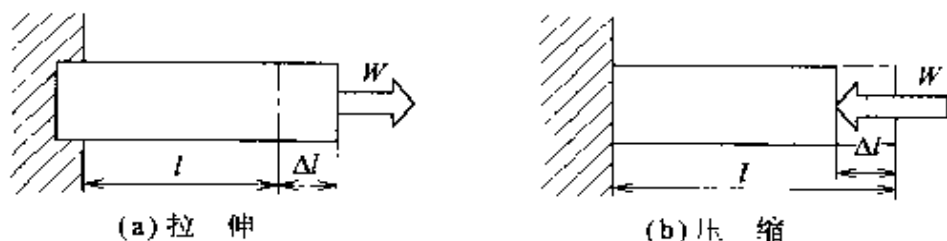


图 3.3 正应变

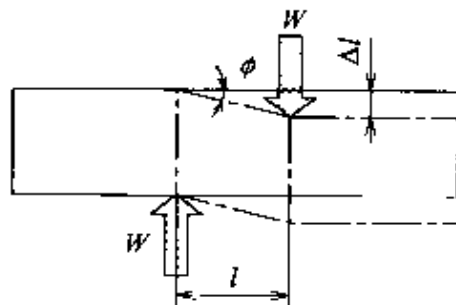


图 3.4 剪应变

正应变  
剪应变

**例 题** :

求直径为 50mm 的圆杆承受 30kN 拉力时的应力。

**答**  $W = 30\text{kN} = 30000\text{N}$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 50^2 = 1963.5 (\text{mm}^2)$$

由式(1)得

$$\sigma = \frac{W}{A} = \frac{30000}{1963.5} = 15.3 (\text{MPa})$$

## 2 弹性模量

**□ 要点** 正应力(拉伸与压缩应力)与其相应的线应变之比称为弹性模量,也称为杨氏模量。设正应力为 $\sigma$ (MPa),线应变为 $\epsilon$ ,则弹性模量为

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

**□ 解释** ● 胡克定律

在弹性物体上施加载荷时,在某一载荷范围内应力与应变成正比。这一性质称为胡克定律,可由下式表示:

$$\frac{\text{应力}}{\text{应变}} = \text{常量} \quad (2)$$

此比例系数就是弹性模量(参见表 3.1)。

但继续对弹性体增加载荷时,若达到某一极限值,此比例关系将消失并直至产生断裂破坏。

表 3.1 主要金属材料的弹性模量

材料	弹性模量 $E/\text{MPa}$	材料	弹性模量 $E/\text{MPa}$
瑞典钢	$196 \times 10^3$	铜锡合金	$80.4 \times 10^3$
低碳钢	$206 \times 10^3$	黄铜	$61.7 \times 10^3$
高碳钢	$206 \times 10^3$	锡	$53.9 \times 10^3$
弹簧钢	$206 \times 10^3$	铅	$16.7 \times 10^3$
铸钢	$211 \times 10^3$	锌	$12.7 \times 10^3$
铸铁	$83.3 \times 10^3 \sim 137 \times 10^3$	金	$79.4 \times 10^3$
铜	$103 \times 10^3$	银	$79.4 \times 10^3$
青铜	$88.2 \times 10^3$	铂	$167 \times 10^3$

(摘自:新机械工学便览,理工学社)

若在长度为 $l$ (mm)、截面积为 $A$ ( $\text{mm}^2$ )的材料上施加载荷 $W$ (N)时,其变形量 $\Delta l$ (mm),则应力 $\sigma$ 、应变 $\epsilon$ 及正弹性模量之间的关系如下:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Wl}{A\Delta l} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

## □ 相关知识 ● 应力-应变图

为了掌握材料的机械性能需进行拉伸试验,如图 3.5 所示。利用一个纵轴为应力(用实验前的截面积去除载荷)、横轴为应变的曲线图来表示材料的性能,此图称为应力-应变图。

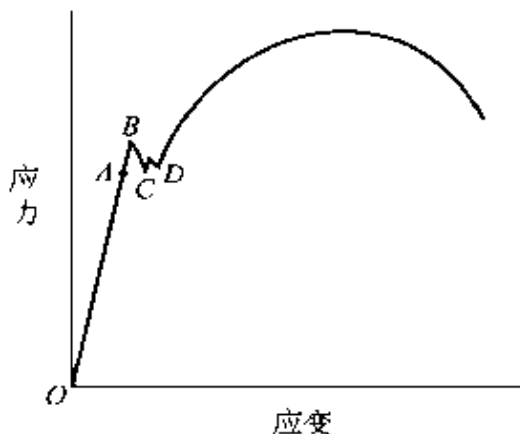


图 3.5 应力-应变图

### 弹性极限

在图 3.5 中,直线  $OA$  部分表示应力与应变成比例,此比例部分的最大极限点为  $A$  点,称为弹性极限。此弹性极限即为胡克定律的上限应力值。

### 屈服

此外,位于  $BCD$  区间的部分是应力不增加,只有应变增加,此现象称为屈服。此时,最大应力点( $B$ 点)称为屈服点。

### 屈服点

## ■ 例 题

在截面积为  $20\text{mm}^2$ ,长度为  $2.5\text{m}$  的钢筋上施加  $1\text{kN}$  的拉力,此时求其变形量。弹性模量为  $206 \times 10^5 \text{MPa}$ 。

**答** 由式(3)可知

$$\Delta l = \frac{Wl}{AE} = \frac{1000 \times 2500}{20 \times 206 \times 10^3} = 0.61(\text{mm})$$

## 3 剪切弹性模量

□ 要

点

所谓剪切弹性模量是指剪应力与其相应方向的应变之比。

设剪应力为  $\tau$ (MPa), 剪应变为  $\gamma$ , 则剪切弹性模量  $G$  可由下式表示:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

□ 解

释

### ● 剪切横弹性模量与载荷、截面积之间的关系

当高度为  $l$ (mm), 截面积为  $A$ (mm<sup>2</sup>) 的材料受剪切力  $W$ (N) 时, 出现  $\Delta l$ (mm) 的剪切变形量和剪切角  $\varphi$ (rad)。此时, 剪切弹性模量  $G$  可由下式表示(参见表 3.2):

$$G = \frac{Wl}{A\Delta l} = \frac{W}{A\varphi} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

表 3.2 主要金属材料的剪切弹性模量

材 料	弹性模量 E/MPa	材 料	弹性模量 E/MPa
瑞典钢	$75.5 \times 10^3$	铜锡合金	$28.4 \times 10^3$
低碳钢	$79.1 \times 10^3$	黄铜	$23.5 \times 10^3$
高碳钢	$79.1 \times 10^3$	锡	$27.4 \times 10^3$
弹簧钢	$83.3 \times 10^3 \sim 86.2 \times 10^3$	铅	$7.64 \times 10^3$
铸钢	$81.3 \times 10^3$	锌	$31.4 \times 10^3$
铸铁	$28.4 \times 10^3 \sim 13.1 \times 10^3$	金	$27.4 \times 10^3$
铜	$38.2 \times 10^3$	银	$28.4 \times 10^3$
青铜		铂	$60.8 \times 10^3$

(摘自:新机械工学便览,理工学社)

□ 相关知识

### ● 体积弹性模量

体积应变

物体因受应力而产生的体积变化量  $\Delta V$ (mm<sup>3</sup>) 与原体积  $V$ (mm<sup>3</sup>) 之比  $\epsilon_v = \Delta V/V$  称为体积应变。

设弹性体的全表面积上受压力为  $p$ (MPa) 的作用, 弹性体发生体积应变为  $\epsilon_v$ , 则体积弹性模量  $K$  为

$$K = \frac{p}{\epsilon_v} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

### ● 泊松比与泊松系数

#### 横向应变

与正应力的方向垂直的应变  $\epsilon'$  称为横向应变(参见图 3.6)。设原直径为  $d$ (mm) 的材料受拉伸载荷  $W$  后直径变为  $d_0$ (mm), 则横向应变  $\epsilon'$  为

$$\epsilon' = \frac{d_0 - d}{d} \quad (4)$$

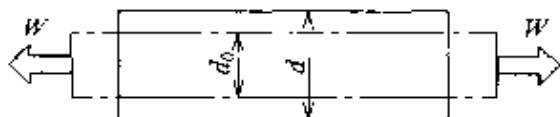


图 3.6 横向应变

#### 泊松比

在弹性范围内对材料施加轴向载荷时, 轴向应变  $\epsilon$  与横向应变  $\epsilon'$  成比例。此时的轴向应变  $\epsilon$  与横向应变  $\epsilon'$  之比  $\nu$  称为泊松比。

$$\nu = \frac{\epsilon'}{\epsilon} = \frac{1}{m} \quad (5)$$

#### 泊松系数

泊松比的倒数  $m$  称为泊松系数。

### ■ 例 题 选 解

设截面积为  $560\text{mm}^2$  的低碳钢板上施加  $15\text{kN}$  的载荷, 试求剪应变。其中剪切弹性模量为  $79.4 \times 10^3 \text{MPa}$ 。

**答** 由式(2)得

$$\phi = \frac{W}{AG} = \frac{15000}{650 \times 79.4 \times 10^3} = 3.37 \times 10^{-4}$$

## 4 热应力

### □ 要点

热应力是在温度的变化时,物体产生自由膨胀或收缩受某种约束时所产生的应力。

设两端夹住的材料温度从  $t_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 提高至  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 时,该材料的轴向弹性模量为  $E$  (MPa),线膨胀系数为  $\alpha$  ( $1/^{\circ}\text{C}$ ),则热应力  $\sigma$  可由下式表示:

$$\sigma = E\alpha(t - t_0) \text{ (MPa)} \quad (1)$$

从式(1)可知,热应力与材料的粗细长短无关,但与轴向弹性模量、线膨胀系数和温度差成正比(参见表 3.3)。

表 3.3 主要材料的线膨胀系数

材 料	线膨胀系数 $\alpha$ ( $1/^{\circ}\text{C}$ )
钢	$9.6 \times 10^{-6} \sim 11.6 \times 10^{-6}$
铸铁	$9.2 \times 10^{-6} \sim 11.8 \times 10^{-6}$
镍铬合金钢	$13.3 \times 10^{-6}$
硬质合金	$5.0 \times 10^{-6}$
七三黄铜	$19.9 \times 10^{-6}$
硬铝合金	$23.4 \times 10^{-6}$
电工铜	$17.6 \times 10^{-6}$

(摘自:日本机械学会编:机械工学便覧新版)

### □ 解 释 ● 压缩热应力与拉伸热应力

如图 3.7 所示,将温度为  $t_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ )、长度为  $l$  (mm) 的轴的两端固定在刚性壁上,将温度提高到  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ),那么,由于温度变化,而刚性壁之间的距离  $l$  没有变化,轴上就会产生式(1)所示的压缩热应力。

压缩热应力

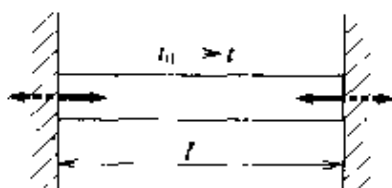


图 3.7 压缩热应力



## 拉伸热应力

反之,若将温度从  $t_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 降低到  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), 则产生相当于式(1)的拉伸热应力。而且,在一个物体或构造的内部存在不同温度时,通常高温部分上会产生压缩应力,而低温部分则产生拉伸应力。

● 线膨胀系数

物体的长度在每升高  $1^{\circ}\text{C}$  温度时的伸长量与原长度之比称为线膨胀系数。

□ 相关知识 ● 变形量与应变

当长度为  $l$  (mm) 的轴加热后,若温度从原来的  $t_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 提高到  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), 则轴就会产生如图 3.8 所示的膨胀,长度变成  $l'$  (mm)。

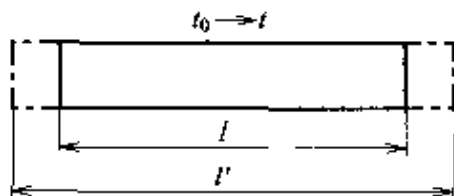


图 3.8 变形量与应变

此时,轴的变形量可由下式表示:

$$\Delta l = l' - l = l\alpha(t - t_0) \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

反之,若使温度从  $t_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 下降到  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), 其收缩量为式(2)计算的长度。如果将轴的两端固定,由于温度的变化,就会引起轴相应的收缩或拉伸应变。此时的应变可由下式表示:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \alpha(t - t_0) \quad (3)$$

■ 例 题

将铸铁轴的两端固定,使其温度从原来的  $15^{\circ}\text{C}$  上升到  $60^{\circ}\text{C}$ , 试求出此时产生的热应力。设该铸铁的线膨胀系数为  $11.8 \times 10^{-6}$ , 轴向弹性模量为  $98 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

答 根据式(1)可知

$$\begin{aligned} \sigma &= E\alpha(t - t_0) \\ &= 98 \times 10^3 \times 11.8 \times 10^{-6} \times (60 - 15) = 0.204 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

## 5 安全系数与可靠性

- 要点** 达到材料的拉伸强度或屈服强度时引起材料破坏的极限应力(理论强度)与根据使用状况决定的最大应力之比称为安全系数。若理论强度为  $\sigma_r$  (MPa), 最大应力为  $\sigma_c$  (MPa), 则安全系数  $S$  为

$$S = \frac{\sigma_r}{\sigma_c} \quad (1)$$

所谓可靠性是指“机器或部分零件在规定的条件下, 在预定的时间内能够完成规定功能的可靠程度”。

**□ 解释** ● **安全系数**

确定安全系数时应考虑如下因素(参见表 3.4):

- ① 对载荷的推断, 应力计算的不准确性;
- ② 载荷种类与其作用状况;
- ③ 所使用机械材料的可靠性;
- ④ 零件的破坏给机械及其他部分所带来的影响程度或对人身安全的影响。

表 3.4 以拉伸强度为理论强度时的材料安全系数

材料	静载荷	动载荷		变化载荷或冲击
		循环应力	交变应力	
铸铁	4	6	10	15
锻造钢	3	5	8	12
木料	7	10	15	20
砖石材	20	30	—	—

(摘自: 新机械工学便览, 理工学社)

● **理论强度**

理论强度是根据零件所受的载荷状态与功能确定的下列各值。

- 拉伸强度** 拉伸强度 用于受拉伸静载荷的铸铁等脆硬的材料制成的零件。
- 屈服强度、极限强度** 屈服强度、极限强度 用于受拉伸静载荷的低碳钢或铝合金

限强度

等延伸性材料制成的零件。对于低碳钢等会出现屈服的材料使用屈服强度,不出现屈服的材料使用极限强度。

疲劳限度

**疲劳限度** 用于承受交变载荷时。

### ● 最大应力

最大应力是指结构或机械零件在设计上可安全使用的应力。

## □ 相关知识 ● 疲劳破坏

当材料承受循环载荷或交变载荷(变换正负方向的交变载荷)时,即使载荷小于许用值也可能引起破坏这种现象称为疲劳破坏。

疲劳极限

另外,材料无论怎样承受交变载荷作用也不引起破坏的最大应力值称为**疲劳极限**(参见图 3.9)。

### ● 蠕变

蠕变极限

在材料上长时间施加一定的拉伸载荷时,材料随时间的增加而逐渐增加应变的现象称为蠕变现象。在高温状态下工作的金属材料尤其容易引起蠕变。因此,对蠕变应力和蠕变极限应予以足够的重视(参见图 3.10)。

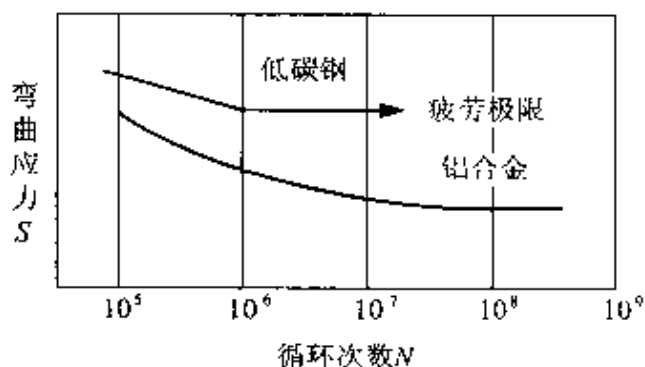


图 3.9 根据疲劳极限验作出的  $S-N$  曲线

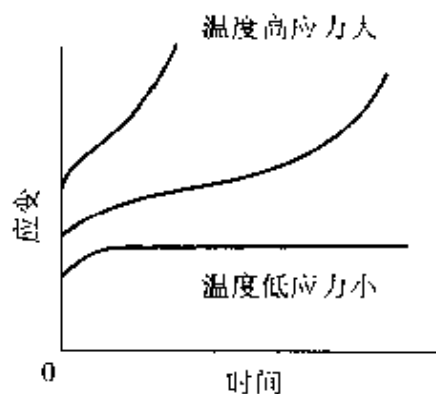


图 3.10 蠕变图

**例 题**

在低碳钢材料上施加拉伸载荷。在安全系数为 2 时, 求出其最大应力。假设该低碳钢材料的屈服点为 245MPa。

**答** 根据式(1)可知

$$\sigma_s = \frac{\sigma_r}{S} = \frac{245}{2} = 122.5 \text{ (MPa)}$$

## 6 薄壁圆筒的圆周应力

**要 点** 圆筒受内压而在壁上产生圆周方向的拉伸应力称为圆周应力。这种应力对于薄壁圆筒来说,从外壁到内壁愈来愈大。

若圆筒的内径为  $D$ (mm),圆筒壁厚为  $t$ (mm),内压为  $p$ (MPa),则圆周应力  $\sigma$  为

$$\sigma = \frac{pD}{2t} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

**解 释** ● 薄壁圆筒

壁的厚度与直径相比很小的圆筒称为薄壁圆筒。从材料力学的角度看,若由内压引起的筒壁上的圆周应力可以认为是从内壁到外壁相同,则此圆筒可称为薄壁圆筒。

● 在薄壁圆筒上产生的圆周应力与轴向应力

当内径为  $D$ (mm)的薄壁圆筒上施加压力  $p$ (MPa)时,在薄壁圆筒上将产生圆周应力与轴向应力。

圆周应力可用式(1)计算。轴向应力  $\sigma'$ 是由薄壁圆筒的两端面的压力而产生的应力,可由下式表示(参见图 3.11):

$$\sigma' = \frac{pD}{4t} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

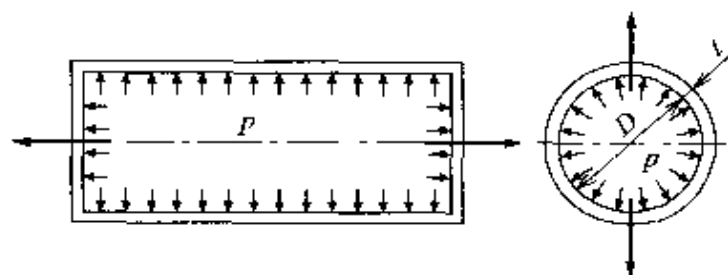


图 3.11 承受内压的薄壁圆筒

根据式(1)和(2)可知, $\sigma'$ 为 $\sigma$ 的1/2。因此,在设计圆筒的强度和厚度时,只考虑圆周应力 $\sigma$ 即可。

**相关知识** ● 承受内压的薄壁球

在内径为  $D$ (mm),壁厚为  $t$ (mm)的薄壁球体上施加压力  $p$ (MPa)时,沿直径的面将会产生分开球体的拉伸应力  $\sigma$ ,其大小为(参见图 3.12)

$$\sigma = \frac{pD}{4t} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

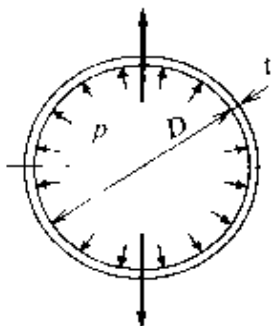


图 3.12 承受内压的薄壁球体

由式(1)和(3)可知,在内径、壁厚和压力相同的条件下,薄壁球体的厚度可以只用薄壁圆筒壁厚的 1/2。

### ■ 例 题

求内径为 1000mm 的薄壁圆筒容器内封装压力为 2MPa 的气体时的容器厚度。许用拉伸应力为 90MPa。

**答** 根据式(1)得

$$t = \frac{pD}{2\sigma} = \frac{2 \times 1000}{2 \times 90} = 11.11(\text{mm})$$

## 7 厚壁圆筒的圆周应力

### □ 要 点

在薄壁圆筒的情况下,由于内壁和外壁的圆周应力之差很小,故可看作是相同的。但对于厚壁圆筒,其内壁的应力比外壁大的多。

设厚壁圆筒的内直径为  $D_1$  (mm)、外直径为  $D_2$  (mm),任意位置的直径为  $D$  (mm)、内压为  $p$  (MPa) 时,直径  $D$  位置的圆周应力  $\sigma$  可表示为(参见图 3.13)

$$\sigma = \frac{pD_1^2(D_2^2 + D^2)}{D^2(D_2^2 - D_1^2)} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

最大的圆周应力发生在内壁上,可用下式表示:

$$\sigma_{\max} = \frac{p(D_2^2 + D_1^2)}{D_1^2 - D_2^2} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

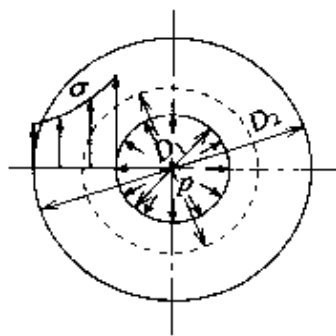


图 3.13 承受内压的厚壁圆筒

### □ 解 释 ● 承受外压的厚壁圆筒

当外压为  $p'$  (MPa) 时,厚壁圆筒的任意直径  $D$  (mm) 上的圆周应力  $\sigma$  可由下式表示(参见图 3.14):

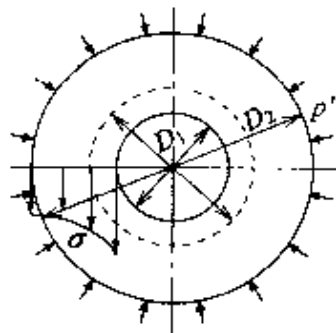


图 3.14 承受外压的厚壁圆筒

$$\sigma = \frac{p'D_2^2(D_1^2 + D^2)}{D^2(D_2^2 - D_1^2)} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

### ● 承受内外压的厚壁圆筒

承受内压的厚壁圆筒的任意直径为  $D(\text{mm})$  的位置上的圆周应力  $\sigma$  可表为(参见图 3.15)

$$\sigma = \frac{pD_1^2(D_2^2 + D^2)}{D^2(D_2^2 - D_1^2)} - \frac{p'D_2^2(D_1^2 + D^2)}{D^2(D_2^2 - D_1^2)} \quad (4)$$

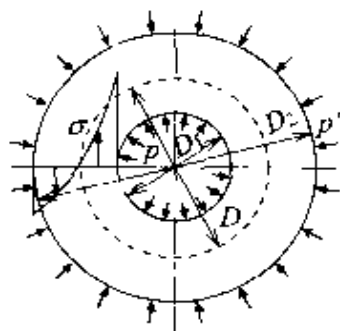


图 3.15 承受内外压的厚圆筒

### □ 相关知识 ● 承受内外压的厚壁球

在内径为  $D_1(\text{mm})$ , 外径为  $D_2(\text{mm})$  的厚壁球体上施加内压  $p(\text{MPa})$  和外压  $p'(\text{MPa})$  时, 任意直径  $D(\text{mm})$  位置的圆周应力可用下式表示:

$$\sigma = \frac{1}{D_2^3 - D_1^3} \left[ pD^3 - p'D_2^3 + \frac{(p - p')D_1^2 D_1^3}{2D^3} \right] \quad (\text{MPa}) \quad (5)$$

对于只承受内压的厚壁球, 因  $p' = 0$ , 故圆周应力  $\sigma$  为

$$\sigma = \frac{pD_1^2}{D_2^3 - D_1^3} \left( \frac{D^3}{2D^3} + 1 \right) \quad (\text{MPa}) \quad (6)$$

### ■ 例 题

在内径为 600mm, 外径为 1000mm 的圆筒里封装压力为 15MPa 的流体时, 试求圆周方向的最大应力。

**答** 根据式(2), 有

$$\sigma_{\max} = \frac{p(D_2^2 + D_1^2)}{D_2^2 - D_1^2} = \frac{15 \times (1000^2 + 600^2)}{1000^2 - 600^2} = 31.88(\text{MPa})$$



## 8 弹性能

### 要 点

弹性物体承受外力时,因弹性变形而储存的能量为弹性能。

在长度为  $l(\text{mm})$  的具有均匀截面的轴上施加轴向载荷  $W(\text{N})$  时,若轴向弹性模量为  $E(\text{MPa})$ ,轴的截面积为  $A(\text{mm}^2)$ ,则弹性能  $U$  为(参见图 3.16)

$$U = \frac{W^2 l}{2AE} (\text{mJ}) \quad (1)$$

此外,若剪切弹性模量为  $G(\text{MPa})$ ,平行的两平面间隔为  $h(\text{mm})$ ,则由于剪切载荷  $W(\text{N})$  产生的弹性能  $U$  为(参见图 3.17)

$$U = \frac{W^2 h}{2AG} (\text{mJ}) \quad (2)$$

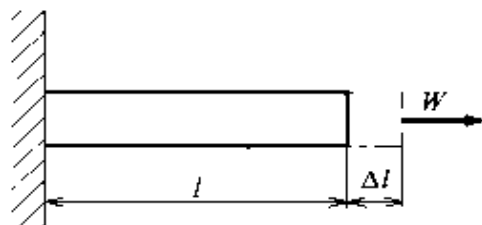


图 3.16 轴向载荷产生的弹性能

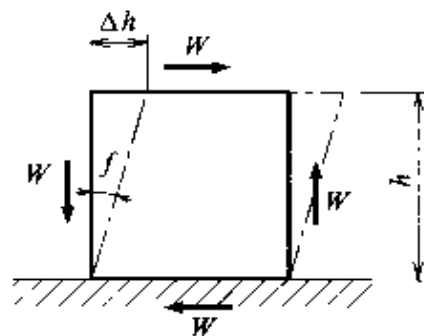


图 3.17 剪切载荷产生的弹性能

### 解 释 ● 单位体积的弹性能

设均匀轴的长度为  $l(\text{mm})$ ,截面积为  $A(\text{mm}^2)$ ,则其单位体积的弹性能  $U$  可由下式表示:

$$U = \frac{U'}{Al} (\text{mJ}) \quad (3)$$

轴向的正应力为  $\sigma(\text{MPa})$  时,轴向载荷的单位体积弹性能  $U$

可用下式表示:

$$U = \frac{\sigma^2}{2E} (\text{mJ}) \quad (4)$$

此外,若剪切应力为  $\tau$  (MPa),则剪切载荷的单位体积弹性能  $U$  可由下式表示:

$$U = \frac{\tau^2}{2G} (\text{mJ}) \quad (5)$$

### □ 相关知识 ● 由扭转或弯曲产生的弹性能

设扭矩为  $T$  ( $\text{N} \cdot \text{m}$ ),截面的极惯性矩为  $I_p$  ( $\text{mm}^4$ ),则长度为  $l$  ( $\text{mm}$ )的均匀轴的弹性能可由下式表示(参见图 3.18):

$$U = \frac{T^2 l}{2GI_p} (\text{mJ}) \quad (6)$$

此外,弯矩为  $M$  ( $\text{N} \cdot \text{mm}$ ),截面惯性矩为  $I$  ( $\text{mm}^4$ )时,长度为  $l$  ( $\text{mm}$ )的均匀(截面)悬臂轴的弹性能  $\bar{U}$  为(参见图 3.19)

$$\bar{U} = \frac{M^2 l}{2EI} (\text{mJ}) \quad (7)$$

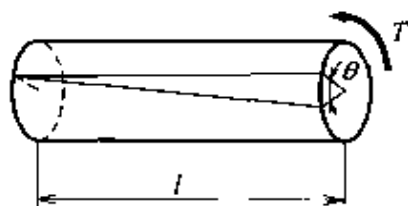


图 3.18 扭转弹性能

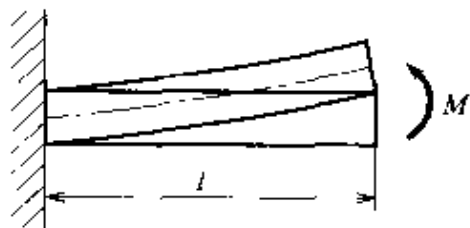


图 3.19 弯曲弹性能

### ■ 例 题

在长度为 3m,直径为 20mm 的均匀钢制轴上施加拉伸载荷 70kN 时,试求出其弹性能。设  $E = 206 \times 10^3 \text{MPa}$ 。

**答** 轴的截面积为

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 20^2 = 314.16 (\text{mm}^2)$$

根据式(1)有

$$U = \frac{W^2 l}{2AE} = \frac{70000^2 \times 3000}{2 \times 314.16 \times 206 \times 10^3} = 113.57 (\text{J})$$

## 9 悬臂梁的剪切力图与弯矩图

### □ 要点

如图 3.20 所示,所谓悬臂梁是指一端固定而另一端自由的梁,即一端为固定端,另一端为自由端的梁。

如图 3.21 所示,自由端上承受集中载荷  $W(N)$  时,距自由端为  $x(mm)$  的位置的剪切力  $F$  和弯矩  $M$  的关系可由下式表示:

$$F=W(N) \quad (1)$$

$$M=-Wx(N \cdot mm) \quad (2)$$

其剪切力图(SFD)及弯矩图(BMD)皆由图 3.21 给出。

此外,在图 3.22 中,梁的全长上承受均匀分布载荷  $w(N/mm)$  时的剪切力  $F$  及弯矩  $M$  可由下式表示:

$$F=wx(N) \quad (3)$$

$$M=-wx^2/2(N \cdot mm) \quad (4)$$

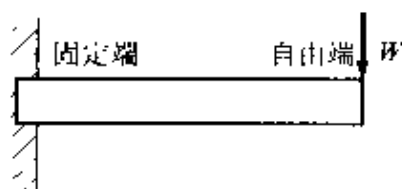


图 3.20 悬臂梁

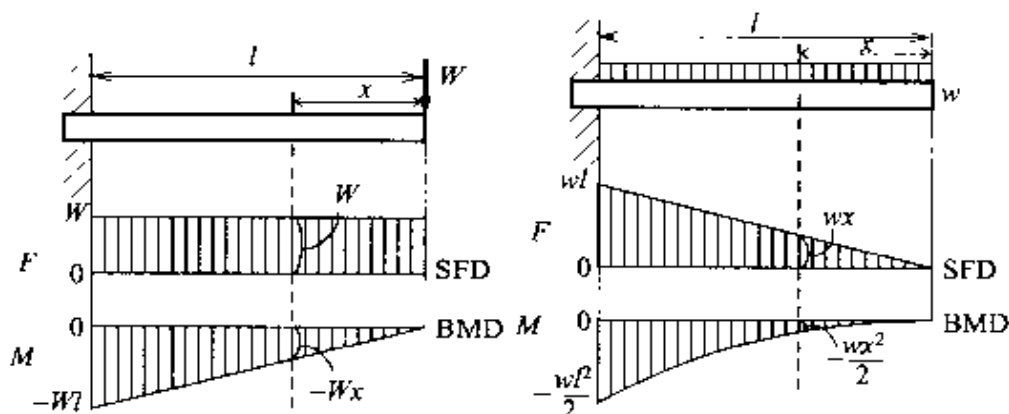


图 3.21 作用集中载荷时

图 3.22 作用均匀分布载荷时

### □ 解释 ● 剪切力与弯矩

#### 受集中载荷时

① 剪切力 从图 3.21 可知,剪切力在固定端到自由端的个长范围内是一定的。

② 弯矩 由图 3.21 可知,弯矩与离自由端的距离成比例,自

由端为 0, 固定端为最大,  $M_{\max} = WL$ 。

#### 受等分布载荷时

① 剪切力 从图 3.22 可知, 剪切力呈  $F = wx$  的线性关系, 自由端为 0, 固定端最大,  $F_{\max} = wx$ ;

② 弯矩 由图 3.22 可知, 弯矩呈  $M = -wx^2/2$  的抛物线形, 自由端为 0, 固定端最大,  $M_{\max} = wl^2/2$ 。

### □ 相关知识 ● 受两个以上的集中载荷作用的悬臂梁

剪切力图 在图 3.23 中

$$BC \text{ 间: } F_{BC} = W_1 \text{ (N)} \quad (5)$$

$$CA \text{ 间: } F_{CA} = W_1 + W_2 \text{ (N)} \quad (6)$$

弯矩图 如图 3.23 所示, 开始只考虑  $W_1$  (N) 的载荷, 绘出其弯矩图, 然后从 C 点向左, 叠加由载荷  $W_2$  (N) 引起的弯矩。

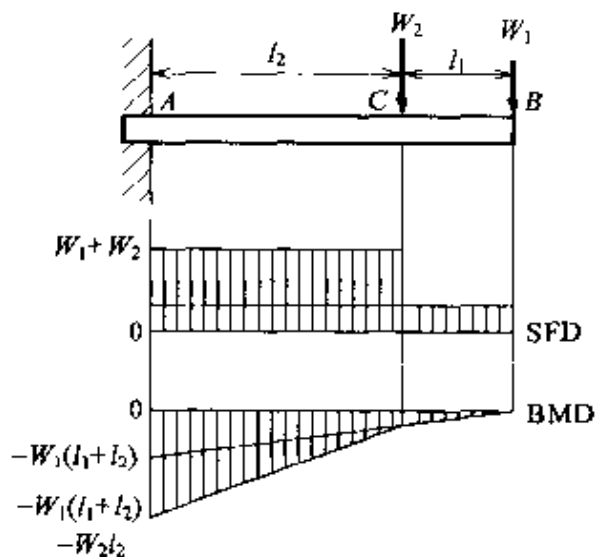


图 3.23 受两个以上集中载荷作用的悬臂梁

# 10 简支梁的剪切力图与弯矩图

**要 点** 简支梁是指两端都是由能转动的铰链支撑、而且其中一端为不受水平方向约束的梁。

**解 释** ● 支点上的反作用力、剪切力、弯矩

**承受集中载荷的简支梁** 如图 3.24 所示,在长度为  $l(\text{mm})$  简支梁上距左端距离为  $a(\text{mm})$  的位置施加集中载荷  $W(\text{N})$ ,则简支梁支点上的反作用力  $R_A, R_B$  以及距左端  $x(\text{mm})$  处的剪切力  $F$  与弯矩  $M$  之间的关系可由下式表示:

$$R_A = Wb/l(\text{N}) \quad (1)$$

$$R_B = Wa/l(\text{N}) \quad (2)$$

当  $X < a$  时,有

$$F = -Wb/l(\text{N}) \quad (3)$$

$$M = \frac{Wb}{l}x(\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (4)$$

当  $X > a$  时,有

$$F = -Wa/l(\text{N}) \quad (5)$$

$$M = \frac{Wa}{l}(l-x)(\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (6)$$

当  $X = a$  时,有

$$M_{\text{max}} = \frac{Wab}{l}(\text{N} \cdot \text{mm})$$

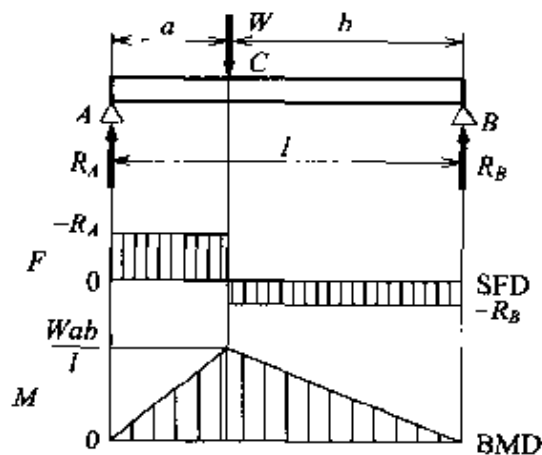


图 3.24 承受集中载荷的简支梁

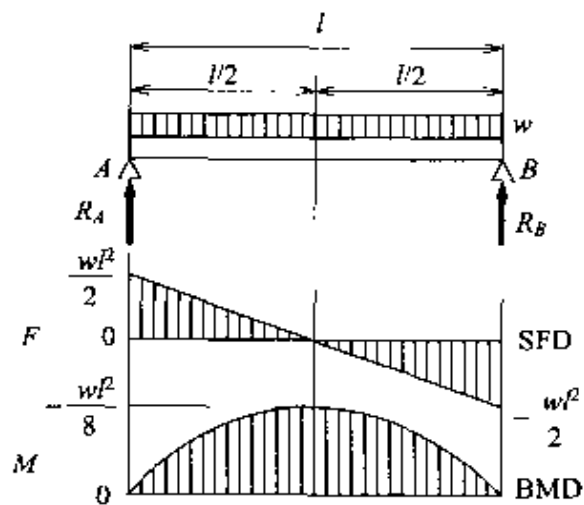


图 3.25 承受均匀分布载荷的简支梁

承受均匀分布载荷的筒支梁 如图 3.25 所示,在全长范围内,单位长度上承受均匀分布载荷  $w(\text{N}/\text{mm})$  时,支点上的反作用力以及距端点的距离  $x(\text{mm})$  处的剪力、弯矩可由下式表示:

$$R_A = R_B = wl/2(\text{N}) \quad (8)$$

$$F = \frac{wl}{2}(l - 2x)(\text{N}) \quad (9)$$

$$M = \frac{wlx}{2}(l - x)(\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (10)$$

## □ 相关知识 ● 等强度梁

边缘应力

等强度梁是指整个梁的各截面上所受的最大应力(边缘应力)均相等的不同截面的梁,铁路车辆、汽车等使用的叠板弹簧就是其中一例(参见图 3.26)。



图 3.26 叠板弹簧

设梁的截面系数为  $Z(\text{mm}^3)$ , 梁上作用的弯矩为  $M(\text{N} \cdot \text{mm})$  时, 梁上产生的弯曲应力  $\sigma$  为

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \text{常量}(\text{MPa}) \quad (11)$$

由此可知, 等强度梁上的截面系数与弯矩成正比。

## ■ 例 题

如图 3.27 所示, 有一个在全长上承受  $w=1.5\text{N}/\text{mm}$  的均匀分布载荷的长度为 2m 的筒支梁, 请绘制其剪力图与弯矩图。

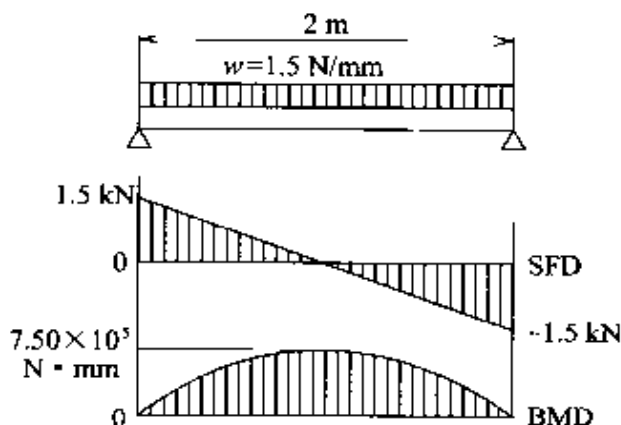


图 3.27

# 11 梁的截面惯性矩与截面模量

## □ 要 点

将截面分成无数个微面积,从各微面积到一个轴的距离的平方与各面积乘积的总和称为截面惯性矩。

设微小面积为  $dA(\text{mm}^2)$ ,与一个轴的距离为  $y(\text{mm})$ ,那么,截面惯性矩  $I$ 可由下式表示:

$$I = \sum y^2 dA (\text{mm}^4) \quad (1)$$

用从梁的中性轴到外表面的距离除梁的截面惯性矩而得到的量称为截面模量。如果从轴到外表面的距离为  $Y(\text{mm})$ ,则截面模量  $Z$ 可由下式表示(参见图 3.28 和表 3.5):

$$Z = \frac{I}{Y} (\text{mm}^3) \quad (2)$$

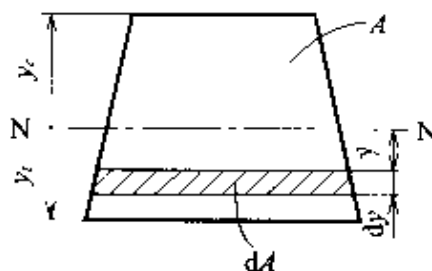
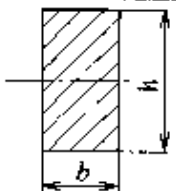
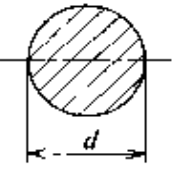
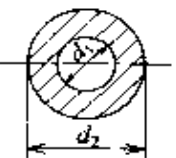


图 3.28 截面惯性矩与截面模量

表 3.5 各种截面形状的截面惯性矩与截面模量

截 面	$I/\text{mm}^4$	$Z/\text{mm}^3$
	$\frac{1}{12}bh^3$	$\frac{1}{6}bh^2$
	$\frac{\pi}{64}d^4$	$\frac{\pi}{32}d^3$
	$\frac{\pi}{64}(d_2^4 - d_1^4)$	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$

## □ 解 释 ● 弯矩、弯曲应力及截面模量的关系

当梁承受弯矩时,在其内部产生的正应力(拉伸应力与压缩应力)为弯曲应力,弯矩  $M(\text{N} \cdot \text{mm})$  与弯曲应力  $\sigma_b(\text{MPa})$  以及截面模量  $Z(\text{mm}^3)$  之间有如下关系:

$$M = \sigma_b Z (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (3)$$

## □ 相关知识 ● 中性面与中性轴

如图 3.29 所示,当梁承受弯矩时,由于弯曲应力的作用,从梁的最上层至最下层有连续的伸缩现象,其中既无伸缩又无弯曲应力的面叫做中性面。

中性面

中性轴

此外,中性面与梁横截面的交线称为中性轴。

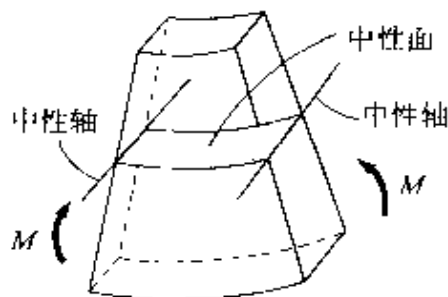


图 3.29 中性面与中性轴

## ■ 例 题

试求出能承受最大弯矩为  $5.0 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$  的梁的截面模量。设该梁的许用弯曲应力为  $90 \text{ MPa}$ 。

**答** 由式(3),有  $Z = \frac{M}{\sigma_b} = \frac{5.0 \times 10^6}{90} = 5.56 \times 10^4 (\text{mm}^3)$ 。



## 12 梁与挠度

### □ 要 点

挠度就是由于梁受载荷而引起变形时的中性面的弯曲量(参见图 3.30)。

设载荷为  $W$  (N), 梁的长度为  $l$  (mm), 轴向弹性模量为  $E$  (MPa), 截面惯性矩为  $I$  (mm<sup>4</sup>), 则最大挠度  $\delta_{\max}$  可由下式表示:

$$\delta_{\max} = \beta \frac{Wl^3}{EI} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

这里,  $\beta$  为根据梁的条件所确定的系数, 称为梁的挠度系数(参见表 3.6)。此外, 对于均匀分布载荷时, 可将全载荷  $wl$  作为  $W$  来处理。

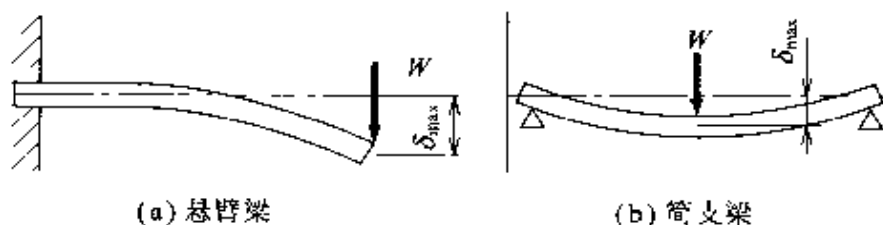
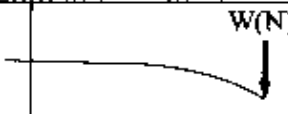
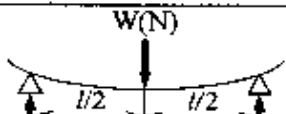
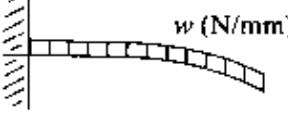
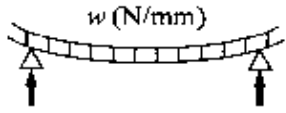


图 3.30 梁的挠度

表 3.6 梁的挠度系数

梁的种类	$\beta$	梁的种类	$\beta$
	$\frac{1}{3}$		$\frac{1}{48}$
	$\frac{1}{8}$		$\frac{5}{384}$

### □ 解 释 ● 挠度曲线、挠角和弯曲刚度

挠度曲线就是在弯矩和剪切力的作用下产生的梁轴线的变形曲线, 也称为弹性曲线或弹性线。

挠角是指在挠度曲线上的一点引出的切线与变形前的梁的轴线之间的夹角(参见图 3.31)。

梁的轴向弹性模量与截面惯性矩的乘积称为弯曲刚度。对梁来说, 此值越大则越不易弯曲。

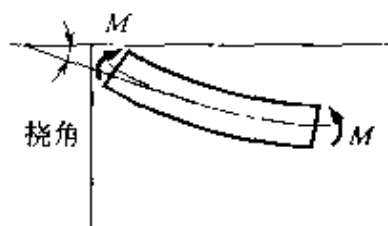


图 3.31 挠曲线与挠角

### □ 相关知识 ● 由剪切力作用而产生的挠度

剪切力也使梁产生挠度。但一般来说,由于剪切力引起的挠度比由于弯曲而出现的挠度小,故可忽略不计。但二者相差并不悬殊时,也需考虑此挠度。设与梁中心线的基准点相距  $x$  处的剪切力引起的挠度为  $\delta$ ,  $x=0$  时其值为  $\delta_0$  (mm), 梁的弹性模量为  $G$  (MPa), 剪切力为  $F$  (N), 梁的截面积为  $A$  (mm<sup>2</sup>), 则可由下式求出其挠度:

$$\delta = \delta_0 + \frac{1}{G} \int_0^x \chi \left( \frac{F}{A} \right) dx \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

式中,  $\chi$  为截面最大剪切力与平均剪切力之比(参见表 3.7)。

表 3.7  $\chi$  值

形状	长方形截面	圆形截面
$\chi$	$\frac{3}{2}$	$\frac{4}{3}$

### ■ 例 题

在长度为 1m 的悬臂梁的自由端上施加 20kN 的集中载荷, 请求出此时的梁的最大挠度。计算时梁材料的轴向弹性模量为  $192 \times 10^3$  MPa, 梁的圆形截面直径为 100mm。

答]  $I = \frac{\pi}{64} d^4 = \frac{\pi}{64} \times 100^4 = 4.91 \times 10^4 \text{ (mm}^4\text{)}$

查表 1 知  $\beta = 1/3$ , 根据式(1), 有

$$\delta_{\max} = \beta \frac{Wl^3}{EI} = \frac{1}{3} \times \frac{20000 \times 1000^3}{192 \times 10^3 \times 4.91 \times 10^4} = 7.07 \text{ (mm)}$$

## 13 冲击载荷应力

**要 点** 突然施加的载荷称为冲击载荷。冲击载荷的应力可依据如下两点的假设进行计算：

- ① 物体受冲击时,认为从外部施加的动能载荷全部变成物体的应变能;
- ② 认为物体受冲击载荷的抵抗符合胡克定律。

**解 释** ● 冲击拉伸应力与瞬间最大延伸量

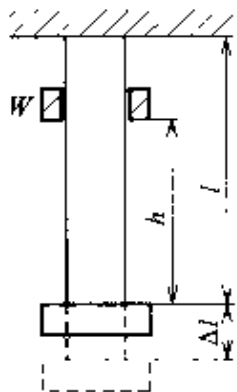


图 3.32 承受冲击载荷的轴

如图 3.32 所示,将长度为  $l$  (mm)、截面积为  $A$  (mm<sup>2</sup>)、纵向弹系数为  $E$  (MPa) 的均匀截面轴的上端固定,用重量为  $W$  (N) 的砝码从  $h$  (mm) 的高度下落冲击轴,则此轴上产生的冲击拉伸应力  $\sigma$  可用下式表示:

$$\sigma = \frac{W(1 + \sqrt{1 + 2hAE/Wl})}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

若假定由于静载荷  $W$  (N) 引起的轴的延伸量为  $\Delta l_s$  (mm),则此时产生的瞬间最大延伸量  $\Delta l$  可由下式求出:

$$\Delta l = \Delta l_s (1 + \sqrt{1 + 2h/\Delta l_s}) \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

式中,

$$\Delta l_s = \frac{Wl}{AE} \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

**相关知识** ● 受冲击载荷时梁的挠度

如图 3.33 所示,在跨度为  $l$  (mm) 的简支梁上,用重量为  $W$  (N) 的砝码从  $h$  (mm) 高度落下给予冲击时,冲击截面上的梁的最大挠度  $\delta_{\max}$  可由下式表示:

$$\delta_{\max} = \delta_s (1 + \sqrt{1 + 2h/\Delta l_s}) \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

式中的  $\delta_s$  为由于静载荷引起的轴的挠度。若截面惯性矩为  $I$  (mm<sup>4</sup>),梁的弹性模量为  $E$  (MPa),则  $\delta_s$  可由下式表示:

$$\delta_s = \frac{Wa^2b^2}{3lEI} \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

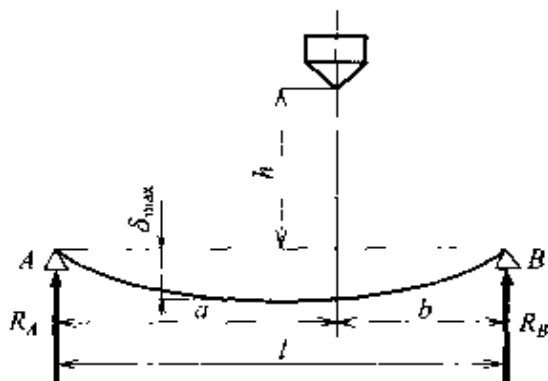


图 3.33 承受冲击载荷的梁

### 例 题

如图 3.34 所示,一根上端固定的直径为 30mm、长度为 2m 的轴,从距轴下端 150mm 的高度落下重 2kN 的砝码,冲击轴端突缘,试求出此时在轴上产生的最大应力,并试与挂上静载荷 2kN 时的情况相比较。(设轴的弹性模量  $E$  为  $108 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。)

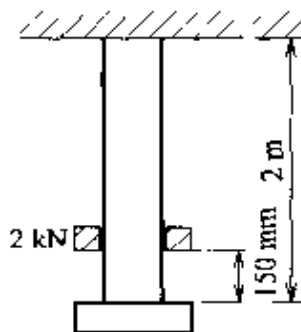


图 3.34

答] 轴的截面积  $A$  为

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 30^2 = 706.86 (\text{mm}^2)$$

根据式(1),有

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{W(1 + \sqrt{1 + 2hAE/Wl})}{A} \\ &= \frac{2000}{706.86} \times \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 150 \times 706.86 \times 108 \times 10^5}{2000 \times 2000}} \right) = 216.94 (\text{MPa}) \end{aligned}$$

受 2kN 静载荷时的应力  $\sigma_s$  为

$$\sigma_s = \frac{W}{A} = \frac{2000}{706.86} = 2.83 (\text{MPa})$$

冲击时所产生的最大应力为静载荷时的 80 倍左右。

## 14 轴的扭转

**要 点** 扭矩就是将直轴的两个横截面相对转动的力偶,也称为转矩。由于扭矩的作用,在轴的横截面与轴截面上均会产生剪应力。

**解 释** ● 扭矩与横向弹性系数的关系

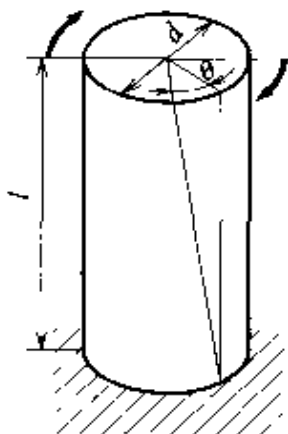


图 3.35 轴的扭转

如图 3.35 所示,当扭矩作用于长度为  $l$  (mm) 的轴的两端面时,设旋转角度为  $\theta$  (rad),轴径为  $d$  (mm),剪切弹性模量为  $G$  (MPa),则剪应力  $\tau$  可由下式表示:

$$\tau = G \frac{d\theta}{2l} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

此外,剪应变  $\gamma$  可由下式表示:

$$\gamma = \frac{d\theta}{2l} \quad (2)$$

**相 关 知 识** ● 内扭矩

如图 3.36 所示,轴在被扭的状态下处于平衡是因为轴上保持着受扭矩而产生的剪应力抵抗的缘故,这种剪应力产生的力矩称为内扭矩。内扭矩与外加扭矩大小相等、方向相反。

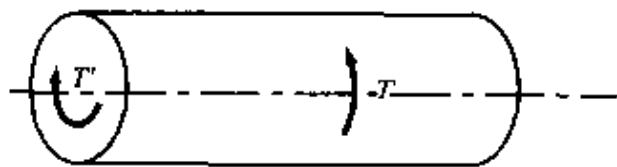


图 3.36 内扭矩

**例 题**

若低碳钢轴上施加载荷后产生了 0.0005 的剪应变,请求出此时的剪应力。计算时,轴的剪切弹性模量为  $79.4 \times 10^3$  MPa。

**答** 根据式(1)和式(2)得

$$\tau = G\gamma = 79.4 \times 10^3 \times 0.0005 = 39.7 \text{ (MPa)}$$

# 15 截面极惯性矩与极截面模量

□ 要

点

截面极惯性矩是指对截面上的一点(极点)的截面矩,即截面内的每一微小面积与到某一点(极点)距离的平方之积的总和。

设截面内的微小面积为  $dA(\text{mm}^2)$ ,从每微小面积到极点的距离为  $r(\text{mm})$ 时,截面极惯性矩可用下式表示:

$$I_p = \sum r^2 dA (\text{mm}^4) \quad (1)$$

极截面模量是用外半径除截面极惯性矩所得的商。设外半径为  $R(\text{mm})$ ,则极截面模量  $Z_p$  可用下式表示:

$$Z_p = I_p / R (\text{mm}^3) \quad (2)$$

□ 解

释 ● 圆形截面、空心圆截面的截面极惯性矩与极截面模量

若直径为  $d(\text{mm})$ ,则图 3.37 所示的圆形截面的截面极惯性矩和极截面模量可用下式表示:

$$I_p = \frac{\pi}{32} d^4 (\text{mm}^4) \quad (3)$$

$$Z_p = \frac{\pi}{16} d^3 (\text{mm}^3) \quad (4)$$

当外径为  $d_2(\text{mm})$ ,内径为  $d_1(\text{mm})$ 时,图 3.38 所示的空心圆截面的截面极惯性矩与极截面模量可用下式表示:

$$I_p = \frac{\pi}{32} (d_2^4 - d_1^4) (\text{mm}^4) \quad (5)$$

$$Z_p = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} (\text{mm}^3) \quad (6)$$

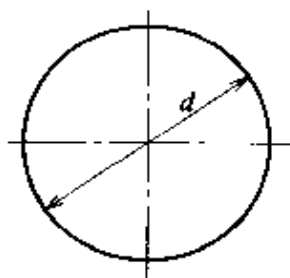


图 3.37 圆形截面

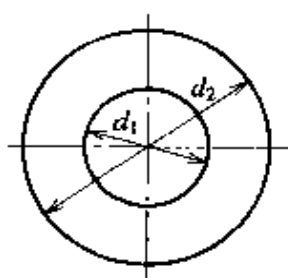


图 3.38 空心圆形截面

### □ 相关知识 ● 其他截面的截面极惯性矩

若椭圆的长轴半径为  $a$  (mm), 短轴半径为  $b$  (mm), 则如图 3.39 所示的椭圆截面的截面极力矩为

$$I_p = \frac{\pi}{4} ab(a^2 + b^2) \quad (\text{mm}^4) \quad (7)$$

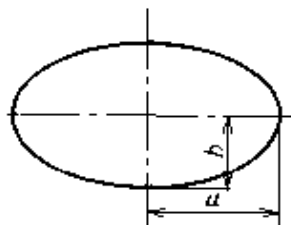


图 3.39 椭圆截面

若长方形的长边为  $a$  (mm), 短边为  $b$  (mm), 则如图 3.40 所示的长方形截面的截面极力矩为

$$I_p = \frac{ab}{12} (a^2 + b^2) \quad (\text{mm}^4) \quad (8)$$

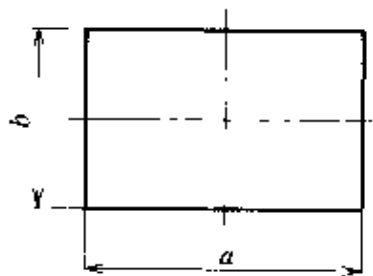


图 3.40 长方形截面

### ■ 例 题

求出与外径为 70mm, 内径为 40mm 的空心圆极截面模量相同的实心圆轴的直径。

**答** 由式(6), 有

$$Z_p = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d_2^4 + d_1^4}{d_2} = \frac{\pi}{16} \times \frac{70^4 + 40^4}{70} = 6.02 \times 10^4 \quad (\text{mm}^3)$$

由式(4)可知

$$d = \sqrt[3]{\frac{16Z_p}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 6.02 \times 10^4}{\pi}} = 67.4 \quad (\text{mm})$$

## 16 杆的稳定与稳定系数、最小截面半径及长度系数

## □ 要 点

杆受到超过一定限度的压缩载荷时,轴开始向横向弯曲,即使尚未达到压缩强度应力的情况下也会导致折损,这种现象称为不稳定现象(参见图 3.41)。

杆的稳定系数是表示杆的末端固定条件的系数。该值越大,杆就越不易弯曲。

所谓最小截面半径是指,当杆的截面惯性矩中的最小截面惯性矩为  $I_{\min}$  ( $\text{mm}^4$ ),其截面积为  $A$  ( $\text{mm}^2$ ) 时,用下式表示最小半径  $R_{\min}$  的值

$$R_{\min} = \sqrt{I_{\min}/A} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

长度系数用于表示相对于某一截面尺寸的长短程度。如果杆的长度为  $l$  ( $\text{mm}$ ),则长度系数  $\lambda$  可由下式表示:

$$\lambda = l / R_{\min} \quad (2)$$

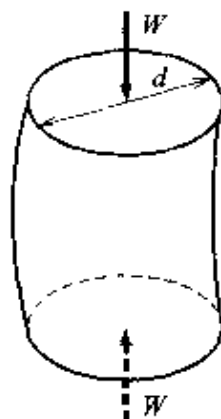


图 3.41 圆截面杆的稳定性

## □ 解 释 ● 稳定系数、长度系数的值

如表 3.8 所示,杆的支撑端可以是能自由移动的自由端、可自由旋转的旋转端,或既不能移动又不能旋转的固定端,而稳定系数即取决于这些端部条件。

表 3.8 支点固定状态与稳定系数

端部条件					
稳定系数	0.25	1	2.05	1	4



短杆  
长杆

根据截面尺寸与长度比可将杆分为短杆、长杆和中长杆。两端为铰链的钢制杆的长度系数  $\lambda$  为

① 短杆:  $0 < \lambda < 50$ ;

② 长杆:  $100 < \lambda$ ;

③ 中长杆:  $50 < \lambda < 100$ ;

## □ 相关知识 ● 稳定长度

杆的长度  $l$  (mm) 与稳定系数  $n$  的平方根之比称为稳定长度, 也称当量长度, 用  $l_k$  表示:

$$l_k = l/\sqrt{n} \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

## ● 当量长度系数

当量长度系数是考虑到稳定系数  $n$  时的长度系数。若杆的长度为  $l$  (mm), 稳定系数为  $n$ , 截面半径为  $R$  (mm), 则当量长度系数可用下式表示:

$$\lambda' = (l/\sqrt{n}) \cdot R \quad (4)$$

## ■ 例 题

求出长度为 2.5m, 直径为 100mm 的高碳钢制圆杆的最小截面半径与长度系数。

**答** 最小截面惯性矩

$$I_{\min} = \frac{\pi}{64} d^4 = \frac{\pi}{64} \times 100^4 = 4.91 \times 10^6 \quad (\text{mm}^4)$$

截面积为

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 100^2 = 7.85 \times 10^3 \quad (\text{mm}^2)$$

根据式(1), 最小截面半径为

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{4.91 \times 10^6}{7.85 \times 10^3}} = 25.0 \quad (\text{mm})$$

再根据式(2), 长度系数为

$$\lambda = \frac{l}{R_{\min}} = \frac{2500}{25.0} = 100$$

# 17 杆的强度

**□ 要点** 杆的强度用最小稳定载荷与杆的截面积的比值所给出的稳定强度来表示。

**□ 解释** ● **欧拉公式**

欧拉公式适用于稳定应力处于弹性范围内,即长度系数在大约 110 以上的长杆的情况。

设杆材料的弹性模量为  $E$ (MPa),杆的长度为  $l$ (mm),杆的截面积为  $A$ (mm<sup>2</sup>),最小截面惯性矩为  $I_{\min}$ ,稳定系数为  $n$ ,则稳定载荷  $W$  以及稳定应力  $\sigma$  可用欧拉式求出:

$$W = n\pi^2 \frac{EI_{\min}}{l^2} \text{ (N)} \quad (1)$$

$$\sigma = n\pi^2 \frac{EI_{\min}}{l^2 A} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

● **兰金公式**

兰金公式适用于稳定应力超过比例极限的情况,也适用于不易采用欧拉公式计算的短杆。

现设杆材料的强度为  $\sigma_c$ (MPa),杆材料的实验常数为  $a$ ,杆的截面积为  $A$ (mm<sup>2</sup>),杆的最小截面半径为  $R_{\min}$ (mm),则稳定载荷  $W$  及稳定强度  $\sigma$  可用兰金公式求出(参见表 3.9):

$$W = \frac{\sigma_c A}{1 + \frac{a}{n} \left( \frac{l}{R_{\min}} \right)^2} \text{ (N)} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_c}{1 + \frac{a}{n} \left( \frac{l}{R_{\min}} \right)^2} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

表 3.9 兰金公式的常数

材料	铸铁	低碳钢	高碳钢	木材
$\sigma_c$ /MPa	549	333	480	49
$a$	$\frac{1}{1600}$	$\frac{1}{7500}$	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{750}$
$l/R_{\min}$	$<80\sqrt{n}$	$<90\sqrt{n}$	$<85\sqrt{n}$	$<60\sqrt{n}$

## □ 相关知识 ● 约翰孙公式

通过压缩屈服应力点  $\sigma_s$ , 并使与  $\sigma_s/2$  作为稳定应力的欧拉曲线相切的抛物线上, 在  $\sigma_s/2 < \sigma < \sigma_s$  的范围适用约翰孙公式。设弹性模量为  $E(\text{MPa})$ , 杆的长度为  $l(\text{mm})$ , 截面半径为  $R(\text{mm})$ , 则稳定应力  $\sigma$  可由下式表示:

$$\sigma = \sigma_s - \frac{\sigma_s^2}{4\pi^2 E} \left( \frac{l}{R} \right)^2 \quad (\text{MPa}) \quad (5)$$

在约翰孙公式中, 根据末端条件, 有时可用  $l_k$  代替  $l$ 。

## ■ 例 题

求出两固定端之间长度为 3 m, 长方形截面为 100 mm × 50 mm 的低碳钢杆的稳定强度。假设弹性系数  $E$  为  $192 \times 10^3 \text{MPa}$ 。

**答** 最小截面惯性矩和截面积分别为

$$I_{\min} = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \times 50^3}{12} = 1.04 \times 10^6 (\text{mm}^4)$$

$$A = 100 \times 50 = 5000 (\text{mm}^2)$$

最小截面二次半径及长度系数为

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{1.04 \times 10^6}{5000}} = 14.43 (\text{mm})$$

$$\lambda = \frac{l}{R_{\min}} = \frac{3000}{14.43} = 207.9$$

这里, 两固定端的稳定系数  $n$  为 4。查表 3.9 知, 低碳钢杆的长度系数为  $90\sqrt{n} = 180$ , 故稳定强度计算适用于欧拉公式。根据式(2), 有

$$\sigma = n\pi^2 \frac{EI_{\min}}{l^2 A} = 4 \times \pi^2 \times \frac{192 \times 10^3 \times 1.04 \times 10^6}{3000^2 \times 5000} = 175.18 (\text{MPa})$$

# 18 复合应力(1)

## □ 要点

当物体承受两个以上的外力时所产生的应力为复合应力。  
复合应力通常比单一应力大,因此,零件的形状和尺寸通常要根据复合应力来确定。

## □ 解释

主面  
主应力  
主轴

### ● 主面、主应力及主轴

考虑受力物体的应力状态时,一般要统筹考虑正应力与剪应力,但必然存在剪应力为0而只有正应力作用的面,称这样的面为主面。在上面上的正应力称为主应力,其方向称为主轴。

通常,主面有三个,且相互正交。对应地,也有三个相互正交的主应力。

① 三轴应力状态 三个主应力均不为0;

② 平面应力状态 三个主应力中一个应力为0(参见图3.42)。

最大主应力  $\sigma_1$ , 最小主应力  $\sigma_2$ , 主应力方向  $\varphi_n$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

$$\varphi_n = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}\right) \quad (^\circ) \quad (3)$$

主剪切应力  $\tau_1, \tau_2$

$$\begin{cases} \tau_1 \\ \tau_2 \end{cases} = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

$\tau_1, \tau_2$  所作用方向与主应力  $\sigma_1, \sigma_2$  成  $45^\circ$ 。

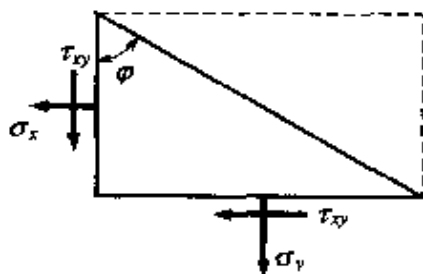


图 3.42 平面应力状态

□ 相关知识 ● 摩尔应力圆(参见图 3.43)

$$\left(\sigma - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2 \quad (5)$$

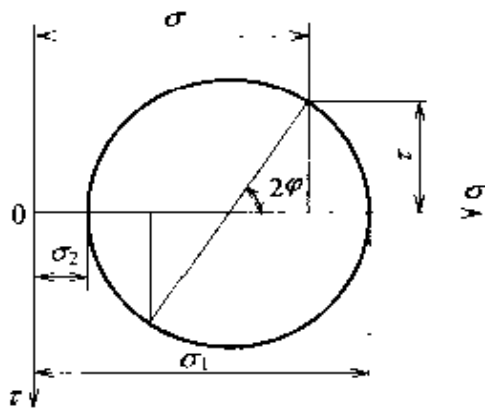


图 3.43 摩尔应力圆

■ 例 题

试求出如图 3.48 所示的平面应力状态下的主应力和主应力方向以及最大剪应力。

答 由式(3),主应力方向为

$$\varphi_0 = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}\right) = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2 \times 50}{60 - 20}\right) = 25.67^\circ$$

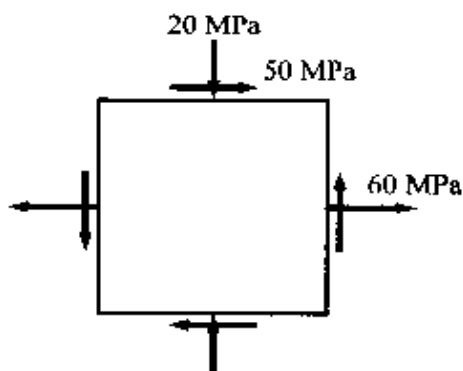


图 3.44

再根据式(1)和式(2),主应力为

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \\ &= \frac{60 + 20}{2} + \sqrt{\left(\frac{60 - 20}{2}\right)^2 + 50^2} \\ &= 84.03 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \\ &= \frac{60 + 20}{2} - \sqrt{\left(\frac{60 - 20}{2}\right)^2 + 50^2} \\ &= -44.03 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

由式(1),最大剪应力为

$$\tau_{\max} = \tau_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{84.03 + 44.03}{2} = 64.03 \text{ (MPa)}$$

此外,  $\tau_{\max}$  的方向  $\varphi_s$  为

$$\varphi_s = \varphi_0 - 45^\circ = 25.67^\circ - 45^\circ = -19.33^\circ$$

## 19 复合应力(2)

**要 点** 当物体因受力而产生应力时,即使是在平面应力状态下,应变也会向三轴方向产生。

设纵向弹性模量为  $E(\text{MPa})$ , 剪切弹性为  $G(\text{MPa})$ , 泊松比为  $1/m$ , 平面应力分量为  $\sigma_x(\text{MPa})$ 、 $\sigma_y(\text{MPa})$  和  $\tau_{xy}(\text{MPa})$ , 则三轴方向的应变为  $\epsilon_x$ 、 $\epsilon_y$  和  $\epsilon_z$  以及剪应变  $\gamma_{xy}$  可表示为(参见图 3.45)

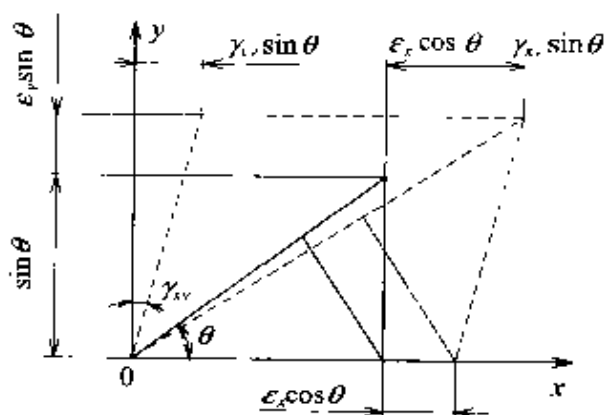


图 3.45 平面应变

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} \left( \sigma_x - \frac{1}{m} \sigma_y \right) \quad (1)$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} \left( \sigma_y - \frac{1}{m} \sigma_x \right) \quad (2)$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{Em} (\sigma_x + \sigma_y) \quad (3)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad (4)$$

式中  $\epsilon_x$  —— 在  $x$  面的  $x$  轴方向上的正应变;  
 $\epsilon_y$  —— 在  $y$  面的  $y$  轴方向上的正应变;  
 $\epsilon_z$  —— 在  $z$  面的  $z$  轴方向上的正应变;  
 $\gamma_{xy}$  —— 在  $x$  面的  $y$  轴方向上产生的剪应变。

**解 释** ● 主应变

剪应变分量为 0, 只产生正应变的面上的应变为主应变。

$$\epsilon_1 = \frac{1}{2} (\epsilon_x + \epsilon_y) + \frac{1}{2} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2} \quad (5)$$

$$\varepsilon_z = -\frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) - \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2} \quad (6)$$

● 平面应变

变形只发生于一个平面内的应变称为平面应变。

● 主剪应变

最大及最小剪应变为主剪应变。

$$\gamma_1, \gamma_2 = \pm \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2} = \pm(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \quad (7)$$

□ 相关知识 ● 摩尔应变圆

与主应变方向成任意倾斜的面上的正应变和剪应变可从应变摩尔圆上某点的纵横坐标来求得。应注意到剪应变为纵坐标的 2 倍(参见图 3.46)。

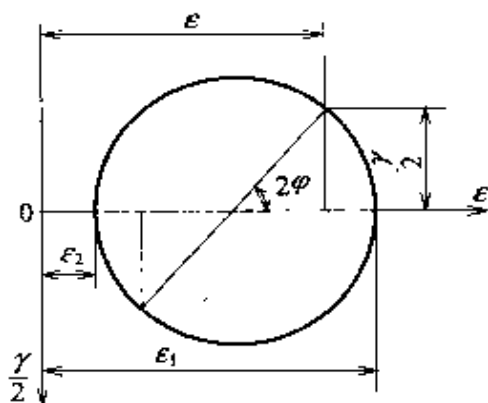


图 3.46 摩尔应变圆

■ 例 题 ■

使用直径为 4mm 的 JIS 4 号试验片进行低硬钢的拉伸试验, 请用摩尔应变圆计算施加 40kN 载荷时的应变状态。这里, 弹性模量  $E$  为  $206 \times 10^3$  MPa, 泊松比  $\nu$  为 0.3。

答] 试验片的截面积  $A$  为

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 153.94(\text{mm}^2)$$

于是, 试验片上产生的应变  $\sigma_1$  为

$$\sigma_1 = \frac{W}{A} = \frac{40000}{153.94} = 259.84(\text{MPa})$$

截轴向应变  $\varepsilon_1$  与  $\varepsilon_2$  为

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} = \frac{259.84}{206 \times 10^3} = 1.26 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= -\frac{1}{\nu}\varepsilon_1 = -0.3 \times 1.26 \times 10^{-3} \\ &= -0.38 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

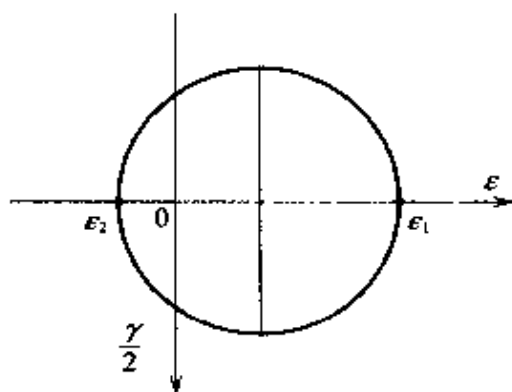


图 3.47 摩尔应变圆

## 第4章

# 工业材料

在机械工业中需要使用各种各样的材料。在进行机械设计时，必须清楚地了解这些材料的性质和特点，并充分考虑到其经济性。

本章将尽量以图和照片形式，对工业材料中的从基础材料到尖端材料给予归纳，并列举我们身边的实例进行说明。希望读者在阅读本章内容时也能充分注意到自身周围的工业材料。

- 责任编辑  
稻见辰夫
- 执 笔  
市原精二



# 1 汽车上使用的工业材料

**□ 要点** 汽车的零部件多达1~3万个以上,可将构成这些零部件的材料大体分为三类:钢板等黑色金属材料、铝等有色金属材料及塑料等非金属材料。这些材料以纯金属或合金及复合材料等形式使用。

**□ 解释** ● **汽车的构成材料**

汽车是工业技术的综合体,所使用的材料也多种多样,其构成材料的分类见表4.1。

表 4.1 汽车制造中使用的主要材料

钢铁	普通钢	铸铁、热处理钢板、高强度钢板、表面处理钢板、钢管
	特殊钢	碳素钢、合金钢
有色金属	电池	阴极铜、铝、铝合金、铅、锡、锌
非金属		防水树脂、高性能树脂、玻璃、纤维、陶瓷、橡胶

**□ 相关知识** ● **汽车的轻量化**

早期的汽车是以马车为基础发展起来的,其零件数只有数千个,材料也是以铸铁和木材为主。但随着性能的提高,汽车的零件数和重量也随之增加。出于对燃料和经济性等方面的考虑,人们开始追求汽车的轻型化,使用钢铁材料的比率逐渐下降,铝的使用量不断增加,并且正在向塑料化方面发展。此外,更轻便的镁合金也在近年来开始使用(参见图4.1)。

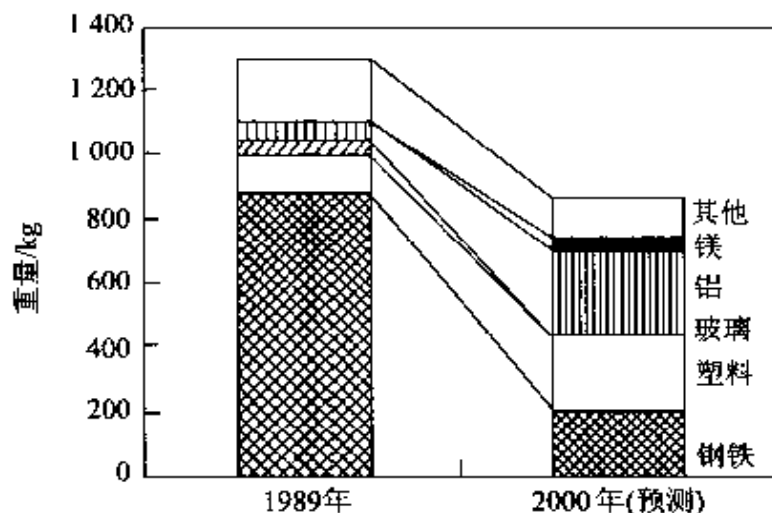


图 4.1 汽车的平均重量与材料构成

## 2 浅谈工业材料

**□ 要点** 在各工业领域中使用的材料称为工业材料。从性质上可将工业材料大体分为金属材料和非金属材料,且金属材料可进一步细分为黑色金属材料和有色金属材料,而非金属材料可分为陶瓷等无机材料和有机的高分子材料。这些材料合成的材料称为复合材料。另外,从使用目的上可将工业材料分为结构材料和性能材料。

**□ 解释** ● 工业材料的分类

工业材料分类见表 1.2.

表 4.2 工业材料的分类例

工业材料	金属材料	黑色金属材料	炭素钢、铸铁、合金钢
		有色金属材料	纯金属及合金
	非金属材料	无机材料	陶瓷(水泥、陶瓷、玻璃)
		高分子材料	合成高分子(塑料、合成纤维、合成橡胶) 天然高分子(木材、纸、纤维、皮革)

各种材料的特点见于表 4.3。黑色金属材料由于强度和可加工性能优越,多用于机械、器具和桥梁等的构造。这种用于结构形状的材料就是结构材料。另外,轻便的塑料多用于汽车的轻型化和生活用品上,坚硬和耐热性好的陶瓷多用于耐火材料等。总之,物尽其用,各显其能。

表 4.3 各种结构材料的一般性能比较

项 目	金 属	塑 料	陶 瓷
密度	△密度多为 7 左右	◎密度 1 左右	○密度 3~6
强度	◎拉伸、压缩性强	△一般较弱	○虽强但脆
加工性	◎延展性好	△可机械加工	△可机械加工
成形性	○一般限制连续铸造	◎注射成形,可批量生产	△费功夫
耐热性	○耐热性高	△有可燃性	◎用于耐火
耐蚀性	△容易生锈	○有耐油性	◎耐蚀性好
导电性	良导体	绝缘体	半导体
耐久性	○时间长易老化	△易老化	◎不易老化,安全
成本	△加工费用较高	◎可批量生产低成本	○有高有低
再利用	◎铝、铁良好	△废物引起环境问题	○玻璃等良好

注:◎优良 ○一般 △差

现今的生产中,要求工业材料具备下列性质:

- ① 价廉,保证供应;
- ② 开采、精炼、制造等环节上不产生环境污染;
- ③ 可加工性和成形性好,利于高精度加工,所需性质稳定;
- ④ 有耐蚀性和耐久性;
- ⑤ 作为资源可回收再利用。

## □ 相关知识 ● 工业材料的生产量

一个国家的钢产量是衡量其工业生产能力的的基本指标。图 4.2 所示为近年来日本钢铁生产情况,基本上在 1 亿吨左右。

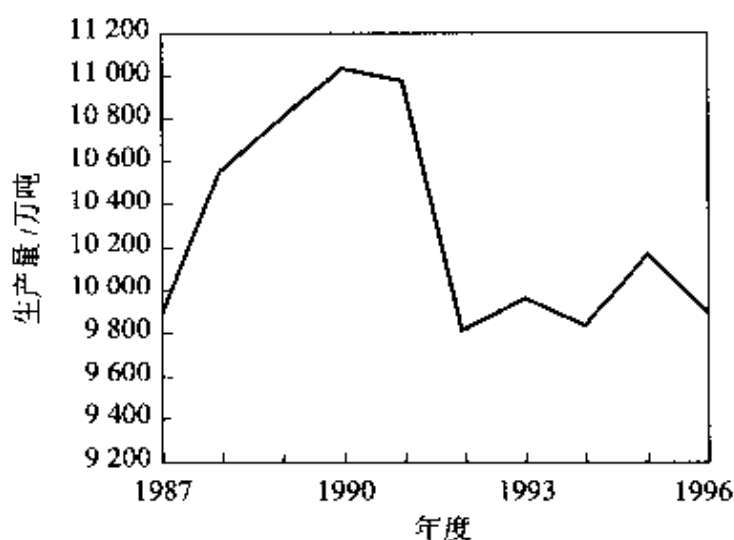


图 4.2 近年来的钢产量

## ● 从工业材料到成品

以钢铁材料为首,很多工业材料被用于制造各种制品,全日本制造业的产值约 309 兆日元(1995 年度)。图 4.3 所示为产业类别构成,前三位是机械器具制品。



图 4.3 制造业的产值构成(1995 年通产省统计)

● 各种机械的需求

图 4.4 所示为各种机械的需求情况。它反映了在电子技术和机电一体化时代,电子、通信设备和产业机械的制造比例很高,这是日本产业的特征。图 4.5 所示为产业机械的最近订货情况。

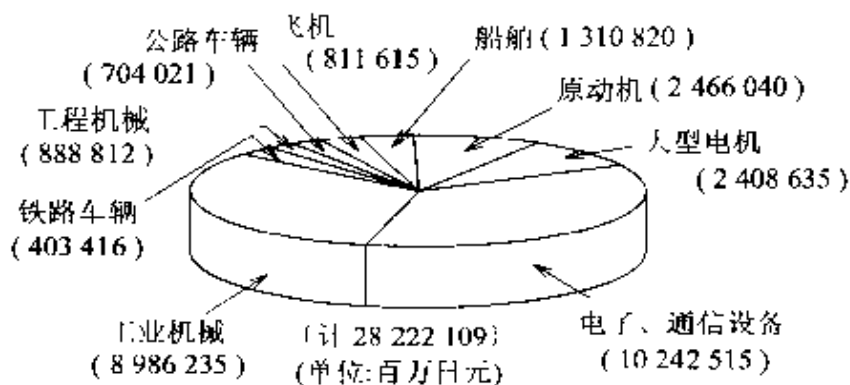


图 4.4 不同机械的需要量(1995 年度通产省统计)

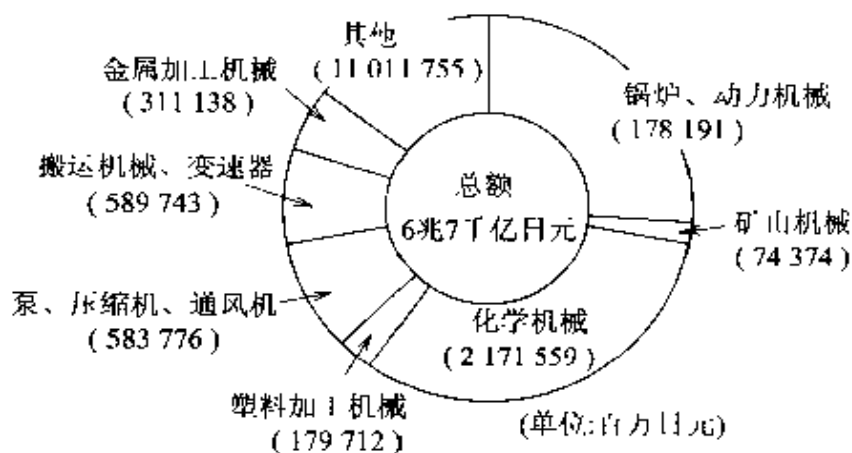


图 4.5 产业机械订货情况(1995 年日本产业机械工业会统计)

● 寻求资源的再利用

随着科学技术的发展和水平的提高,工业制品的生产量显著增加,同时也带来了许多新问题。首先,作为工业材料的有些资源即将枯竭。材料的估算埋藏量与年消耗量之比称为其可利用年限。其中,铝的可利用年限为 216 年,煤为 148 年,铁、石油、铜和铅分别为 71 年、46 年、33 年和 21 年。曾经被认为十分丰富的资源在不久的将来也会枯竭。其次,工业废弃物和一般生活垃圾造成了环境污染。为了解决这些矛盾,再生和可利用问题已经提到议事日程上了。

从平均每年报废的 100 万台汽车的零部件和车体上回收的铁、铝、铅、铜等,加起来相当于汽车重量的 80%。但剩下 20%的橡胶、树脂和玻璃等成为垃圾。一般的处理方法就是焚烧、填埋及丢弃等。当然,回收利用的系统固然重要,但从制造和设计的开发阶段上,就应该时刻牢记再生资源的利用和制品的再生问题。

## 3 工业材料的试验方法

### □ 要

### 点

因加工方法、使用目的和工作环境的不同,要求工业材料所具有的性质也多种多样。为了制造安全的工业产品,在设计中首先要了解工业材料的性质。而这些工业材料的物理和化学性质的取得,常常要依赖于对一些材料的力学试验、热特性试验以及电磁特性试验等。

### □ 解

### 释

#### ● 试验项目

材料的试验项目由表 4.4 列出。

表 4.4 试验项目示例

材料试验	拉伸、压缩、硬度、冲击、疲劳、弯曲、切削性
热特性试验	热传导、热膨胀率、耐热温度、热变形(蠕变)温度
电磁特性试验	导电性、带电率、介电常数、耐电压、磁导率
其他	耐腐蚀性、耐化学药品性、耐气候性、卫生

#### ● 材料试验

所谓材料试验就是通过在被试验的材料上施加外力使其破坏和变形的方法来了解其机械强度的试验。对于试验方法和试件的大小及形状等在 JIS 标准中都有规定。

#### 硬度试验

① **硬度试验** 硬度试验包括表 4.5 中所列的内容,通过试验可了解材料的硬度、脆性及耐磨性。

#### 拉伸试验

② **拉伸试验** 在试件上施加拉伸载荷使其断裂的方法,通过其拉伸强度、延伸率和截面收缩率等来了解其强度和加工性(参见后续方法)。

#### 冲击试验

③ **冲击试验** 利用摆锤冲击带有切口的试件致使其断裂破坏,通过这种方法可以了解材料的韧性。

#### 疲劳试验

④ **疲劳试验** 施加连续或交变载荷,直到使试件破坏为止。利用改变载荷大小进行多次试验后,可得出  $S-N$  曲线,从中可了解疲劳极限。

表 4.5 多种硬度试验方法

种类	使用的物体	符号	方法	原理	特征
布氏硬度	钢球	H <sub>BS</sub>	试件上施加一定的载荷	硬度高则出现的凹痕面积小	正确
	硬质合金球	H <sub>BW</sub>			留下痕迹
维氏硬度	金刚石四角锥	H <sub>V</sub>		越硬,出现的凹痕越浅	可能产生小的屑物
洛氏硬度	钢球	H <sub>RB</sub>			直接读取
	金刚石三角锥	H <sub>RC</sub>			
肖氏硬度	金刚石锥	H <sub>S</sub>	自然落下	越硬反弹越高	直观、设备简便

### □ 相关知识 ● 通过拉伸试验进行计算的方法

在试件(参见图 4.6(a))上施加拉伸载荷时,试件会与所施加载荷成正比地延伸,经过强度极限而最后断裂(参见图 4.6(b))。测出断裂口的最小面积以及将两段断裂面接续后的试验标记长度。

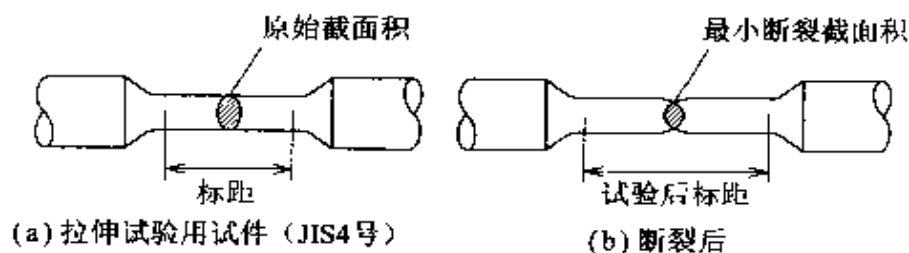


图 4.6 拉伸试件

利用上述数据即可依下列各式求出材料的拉伸强度、延伸率和截面收缩率:

$$\text{拉伸强度} \quad \text{拉伸强度 (MPa)} = \frac{\text{最大拉伸载荷 (N)}}{\text{原始截面积 (mm}^2\text{)}}$$

$$\text{延伸率} = \frac{\text{试验后标距} - \text{标距}}{\text{标距}} \times 100\%$$

$$\text{截面收缩率} = \frac{\text{原始截面积} - \text{最小断裂截面积}}{\text{原始截面积}} \times 100\%$$

延伸率和截面收缩率代表了材料韧性,可做为加工难易程度的指标。

### ● 其他试验方法

耐腐蚀和耐化学药品性试验是把试件浸泡在水或酸、碱性试剂中进行试验。在进行卫生试验时可将浸泡后的浸液进行化验,

以查明是否有对人体有害的物质解析出来。而做耐气候性试验时,要把塑料等试验物暴露于紫外线中,以观察其老化速度。

### 非破坏性检测 探伤法

另外,不损伤材料的前提下进行的检测称为非破坏性检测,常用的方法有磁场超声波、放射线等探测金属材料内部伤痕的探伤法等。

### ■ 例 题 计算实例

对4号试件(标记点距离50mm,直径为14mm)拉伸试验的结果如下:最大载荷为80000N,最小截面积为92mm<sup>2</sup>,试验后标距为65mm。

试计算出该材料的拉伸强度、延伸率和截面收缩率。

**答** 原始截面面积 =  $\pi r^2 = 3.14 \times 7^2 \approx 154 (\text{mm}^2)$

$$\text{拉伸强度} = \frac{80000\text{N}}{154\text{mm}^2} \approx 519 \text{ MPa}$$

$$\text{延伸率} = \frac{65\text{mm} - 50\text{mm}}{50\text{mm}} \times 100 = 30\%$$

$$\text{截面收缩率} = \frac{154\text{mm}^2 - 92\text{mm}^2}{154\text{mm}^2} \times 100 = 40\%$$



## 4 金属材料的热处理

### □ 要点

金属材料尤其是黑色金属材料,可利用加热或加热后冷却的方法来调节和改善其材料的性质,这就是所谓的热处理。

热处理有很多种方法,如淬火、回火、退火、正火等。此外,还有表面硬化热处理及加工热处理等方法。

### □ 解释

● 钢的普通热处理方法(温度可参见图 4.7)

淬火  
马氏体转变

把铁奥氏体急剧冷却的方法称为淬火(quenching)。淬火时,通常其组织不变,形成更硬的马氏体,这种转变称之为马氏体转变。由于马氏体太脆,不能直接使用。

回火

经淬火之后再次加热到  $A_1$  转变温度以下,再次冷却,这种工艺称为回火(tempering)。回火是淬火后进行的再处理。

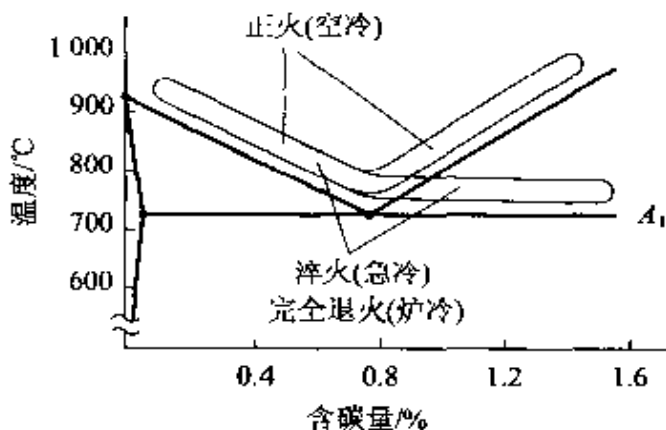


图 4.7 淬火、正火、退火温度

调质

① 对过共析钢进行低温回火( $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ )时,不会使硬度变化,只消除残余应力。这种钢可用于刀刃和量具上。

② 对亚共析钢进行高温( $450\sim 550^{\circ}\text{C}$ )回火时,强度影响不大,可提高其韧性(延伸率、截面收缩率)。这种钢可作为结构用钢。这种淬火和高温回火的工艺称为调质。

退火

对钢材进行一定程度的加热并保持一段时间之后,使之慢慢冷却称为退火(annealing)。

① 加热到与淬火同样温度后在炉内进行冷却的工艺称为完全退火。这使材料的组织能均匀化,可提高加工性,切削性也得到改善,常用于共析钢。

② 中间退火处理(再结晶温度 $\sim A_1$ )会软化材料,可恢复加工性。

## 正火

③ 消除内应力的退火处理( $500\sim 600^\circ\text{C}$ )以去除铸件的应变,使之在空气中从淬火温度冷却称为正火(normalizing)。由于过热或铸造可使粗大结晶组织正常化,从而增加了钢的强度。

**表面硬化热处理** 只改变零件表面的组织而保持内部的韧性,增强表面耐磨性和耐腐蚀性的热处理称为表面硬化热处理。这种工艺有渗碳、渗氮及高频淬火等。常用于齿轮、轴承和活塞的热处理。

## 气体渗碳

① **气体渗碳** 在加热到  $1000^\circ\text{C}$  左右的碳钢中送入二氧化碳气体,将气体中的碳成分渗透到  $\gamma$  固溶体中,只使表面成为高碳钢的处理方法称为渗碳。

## 渗碳

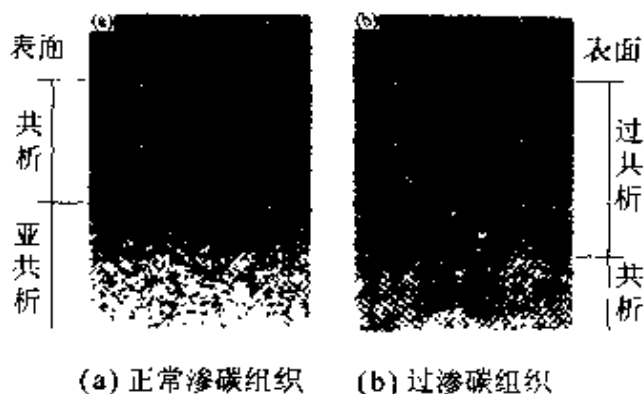


图 4.8 气渗碳的断面

## 渗氮

② **渗氮** 在加热到  $500^\circ\text{C}$  左右的碳素钢上吹入氨气,使表面上生成硬度很强的铁的氮化物,可以提高耐腐蚀性。类似的处理还可以将材料浸泡在熔融盐中,以进行软氮化处理。

## 高频淬火

③ **高频淬火** 用高频(数十千赫[兹])电磁感应产生的电流集中在金属的表面上(参见图 4.9),这种电流的焦耳热仅加热工件的表面。此处应注意淬火频率与淬火深度成反比。

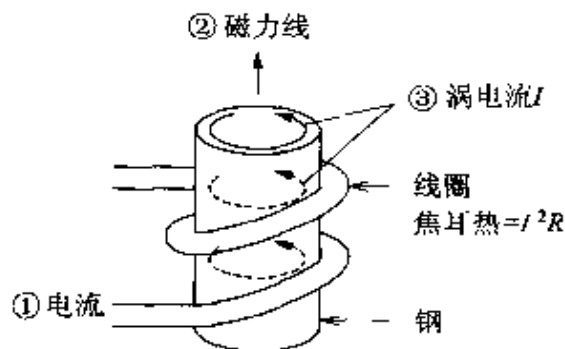


图 4.9 高频线圈和涡电流

**热加工处理法** 经过热锻或热轧后,用余热进行淬火处理的方法称为奥氏强度处理法,可以得到高强度钢。这种将加工和热处理结合起来的工艺称为热加工处理法。

## 相关知识 ● 热处理中的注意事项

① 对  $250\sim 450^{\circ}\text{C}$  的回火,不管碳的含量多少,均会降低冲击强度。此特性称为低温回火脆性,故应注意避免此温度的回火。

② 高碳钢的马氏体相变终止温度低于室温时,马氏体相变会一直在进行,这会导致变脆或变形。利用液氮或干冰将温度降到  $0^{\circ}\text{C}$  以下即可阻止高碳钢的马氏体化,这种方法称为过冷处理。利用水可将其再恢复到室温。

③ 尽管淬火的硬度取决于含碳量,但其硬度深度取决于钢的种类和零件的形状。这种淬火的难易程度称为淬透性。

① 合金钢比碳素钢易于淬火处理且淬火性也好。

② 即使是同样的钢,零件尺寸越大,其中心部的冷却速度越慢,故淬火不充分的比例相对也大一些。这种由于零件的大小所带来的影响称之为质量效应,而碳素钢的质量效应更明显。

③ 在零件的大小相同时,形状不同,其淬火的方法也应不同。一般来说,球体的淬火效果比板体好约 2 倍,而圆柱体的效果介于两者之间。这种因形状差异给淬火带来的影响称之为形状效应。此外,观察图 4.10 可知,当平面部位的淬火效果为 1 的时候,与其相比,其他部位的淬火的难易程度有一定差异:突起部分的处理效果好,而凹陷部分的效果则略差一些。

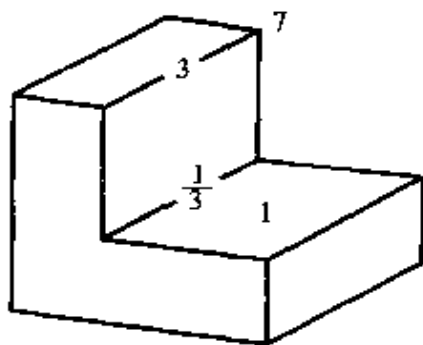


图 4.10 不同部位的淬火效果

过冷处理

淬透性

质量效应

形状效应

# 5 铁

## 要 点

所谓的钢铁就是纯铁与碳的合金,根据碳的含量不同可分为钢与铸铁。碳的含量对钢铁的性质起着很大的影响,钢铁根据碳的含量和温度高低会表现出不同的状态,而表示这种状态的图称为铁碳状态图。

## 解 释

晶体

### ● 金属晶体与相变

原子以一定的规则排列构成晶体。图 4.11 所示为一些晶体的结构。

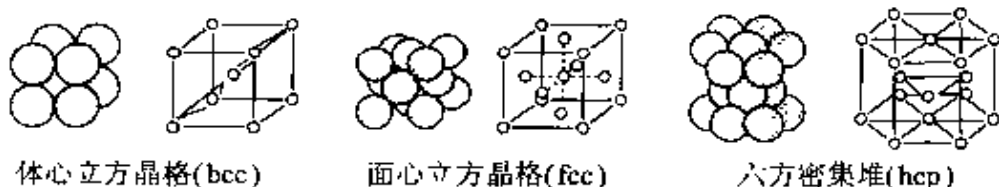


图 4.11 晶体模型与晶格

转变点

将纯金属继续加热到一定温度时,其晶体结构被破坏并变成液态,此现象称熔解现象。使固体熔融的温度称为熔点。熔点是每一种物质固有的特性。金属也可能因温度变化而改变其晶体的形态和性质,这种现象称为转变现象,对应的温度称为转变点。如表 4.6 所示,纯铁有 4 个转变点,并按其变态前后顺序进行命名。

表 4.6 纯铁转变点与名称

转变点名称	$\alpha$ 铁 $\xrightarrow[780^{\circ}\text{C}]{A_2}$ $\beta$ 铁 $\xrightarrow[911^{\circ}\text{C}]{A_3}$ $\gamma$ 铁 $\xrightarrow[1392^{\circ}\text{C}]{A_4}$ $\delta$ 铁 $\xrightarrow[1536^{\circ}\text{C}]{\text{熔点}}$ 熔液			
温度				
晶格结构	bcc	bcc	fcc	bcc
磁性	强磁性	顺磁性	顺磁性	顺磁性

注:失去强磁性的临界点  $A_2$  称为居里点。

### ● 合 金

合金

在纯金属中添加其他元素而不使其失去金属性质所构成的物质称为合金。钢铁可以说是在纯铁中添加碳而构成的合金。当熔融状态的合金再凝固时,必然变成下列三种状态之一:

① 完全熔合而成为固体的固溶体,有渗入晶体中原子空隙的渗入型固溶体和可进行原子交控的交换型固溶体二种;

② 各成分的晶体分别形成并混合得很精细的共晶体;

③ 与添加的元素重新化合形成晶体的金属化合物。

### ● 铁-碳状态(平衡)图

合金的成分和温度影响合金的状态。图 4.12 是反映铁、碳关系的铁-碳状态(平衡)图。用显微镜观察被线包围的部分时可以发现不同的组织,其性质也不相同,显示出合金成分和温度的不同而有多样的形式存在。0.02%以下的碳固溶于 $\alpha$ 铁中称为铁素体,2.06%以下的碳,固溶于 $\gamma$ 铁中称为奥氏体,碳素体为铁和碳之间的金属化合物( $\text{Fe}_3\text{C}$ ),碳的含量为 6.07%。珠光体是铁素体与渗碳体呈层状的共析钢,碳的含量为 0.77%。此以上(0.77%~2.06%)为过共析钢,不足(0.02%~0.77%)的为亚共析钢。另外奥氏体于 $A_{cm}$ 线开始析出渗碳体,于 $A_1$ 线开始析出珠光体,于 $A_3$ 线开始析出铁素体。

铁素体  
奥氏体  
金属化合物  
珠光体

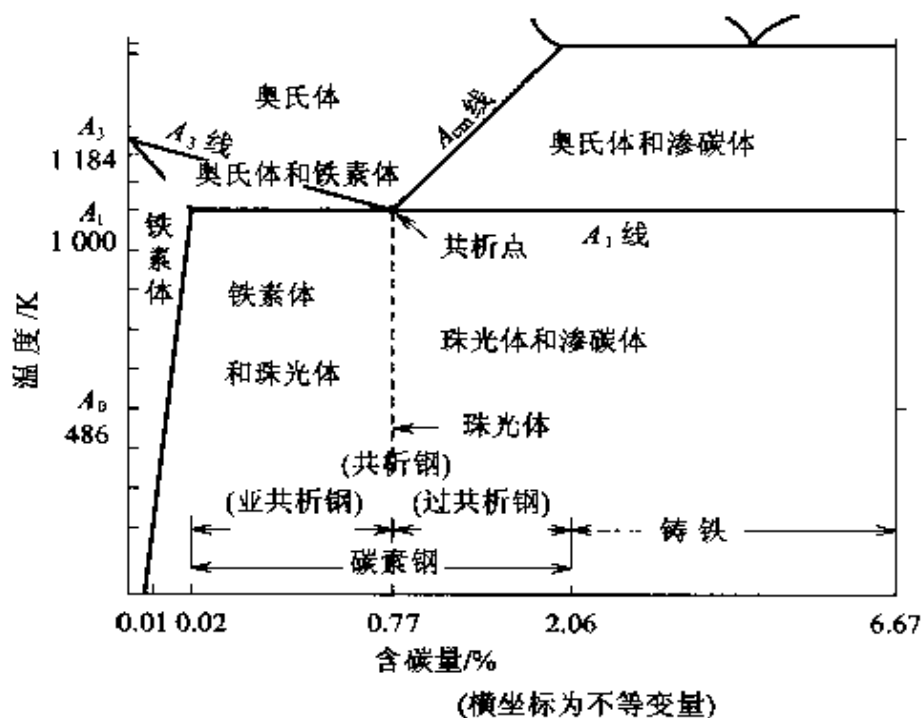


图 4.12 铁-碳状态(平衡)图

### □ 相关知识 ● 组织名的由来

- ① 根据研究者的名字命名的有:奥氏体、屈氏体、马氏体;
- ② 根据铁的元素命名的有:铁素体;
- ③ 根据观察命名的有:珠光体(在显微镜下像珍珠表面);
- ④ 根据硬度命名的有:渗碳体。

## 6 钢铁的冶炼方法

**要 点** 从铁矿石最先得到的是生铁,把这种生铁用转炉等精炼之后即成为钢。多数钢是将连续铸造后的半成品再轧制成各种形态的钢材,可用于锻造和铸造

**解 释** ● 钢铁的冶炼过程

钢铁的冶炼过程包括炼铁、炼钢、轧钢三个阶段(参见图 4.13)。

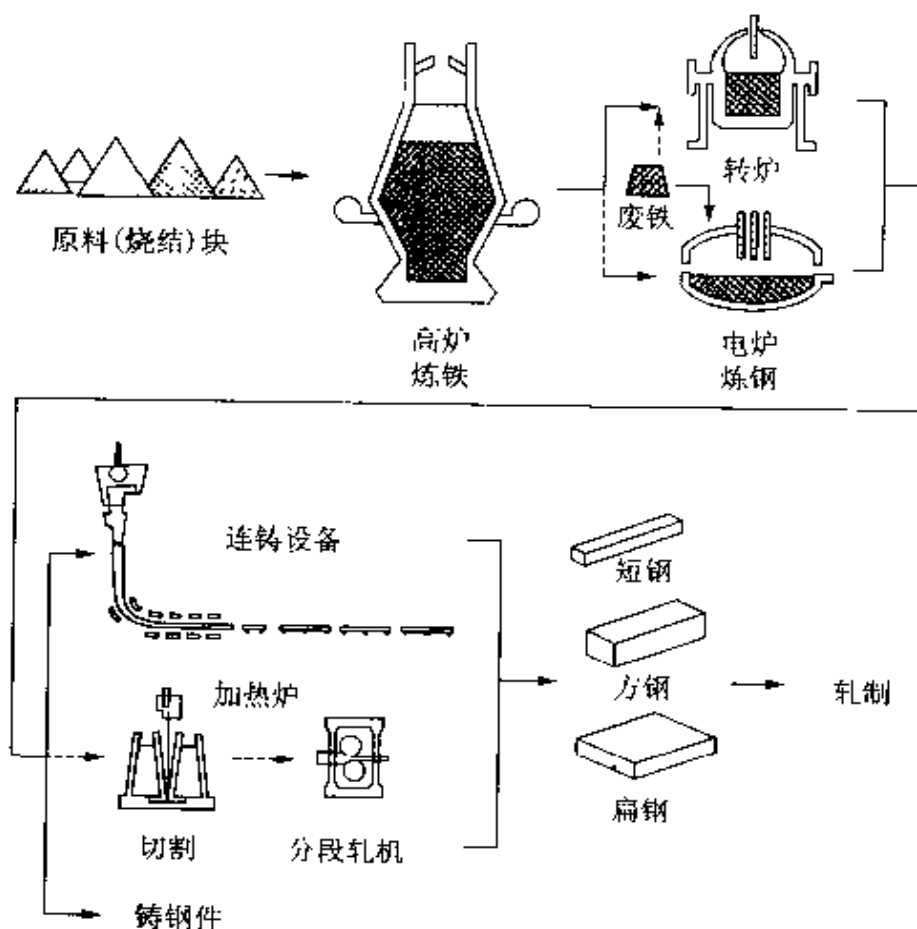


图 4.13 钢铁冶炼过程

### ● 炼 铁

高炉

在图 4.14 所示的高炉里,从炉顶放入铁矿石、焦炭、石灰石和锰矿,从侧孔送入热风,使燃料燃烧,其温度最高可达到  $2300^{\circ}\text{C}$ 。矿石中的氧化铁被燃烧生成的一氧化碳还原,矿渣浮在铁水上面

## 生铁

并被分离掉,此时得到的铁称为生铁。由于生铁中的含碳量为2.5%~4.5%左右,故材质坚硬且很脆。

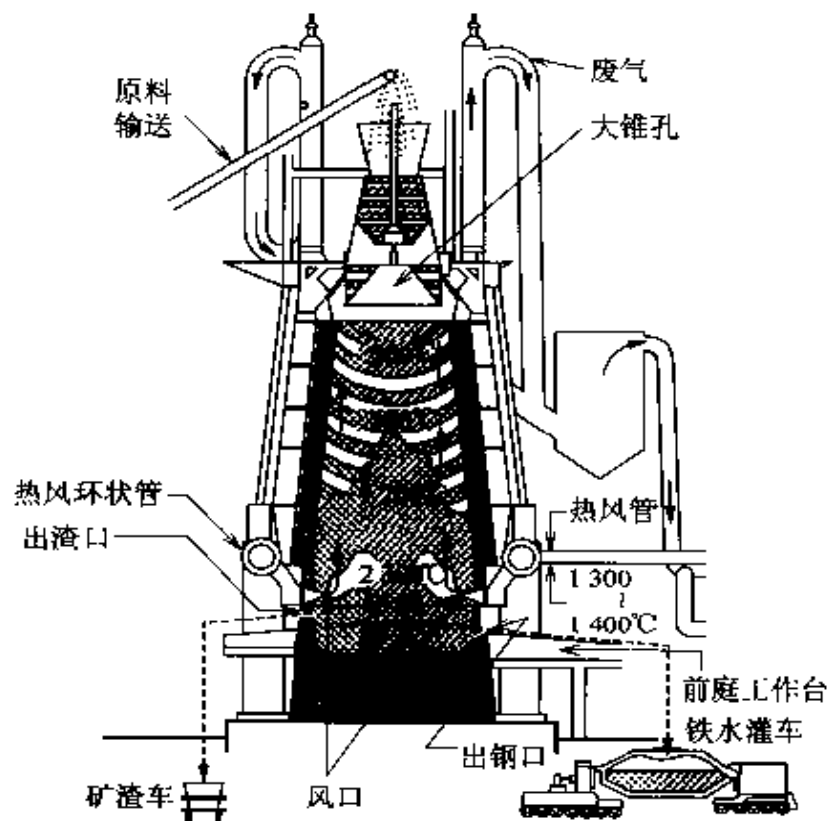


图 4.14 高炉截面图

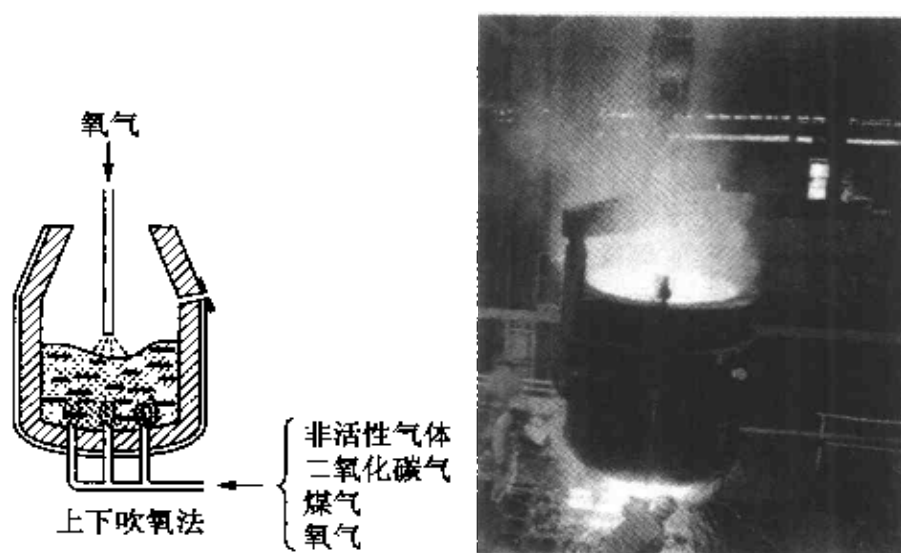


图 4.15 转炉

● 炼 钢

用生铁制钢的过程称为炼钢。在此工序中需要使用转炉和电炉。转炉（参见图 4.15）能够前后倾倒，可装入废铁、石灰、铁水并用氧气上下吹，用氧化

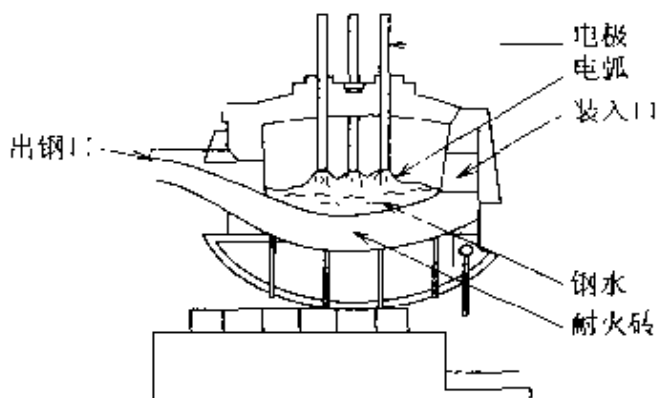


图 4.16 电弧式电炉(交流式)

热进行反应，不需要其他热源。炼钢时间很短，通常不超过 30 分钟，此为当今炼钢的主流方法。电炉有高频炉和电弧炉（参见图 4.16）两种。电弧炉直接利用电弧的热量进行氧化反应，其温度容易掌握，可以得到高纯度钢。电弧炉的原料多采用废钢。

炼钢

转炉

电炉

□ 相关知识

● 钢 锭

用脱氧剂去除钢水中的氧之后凝固的钢为钢锭。其中，脱氧充分的钢为镇静钢，不充分的钢为沸腾钢。因为镇静钢中去掉了杂质的凝聚体，略有些浪费，但其纯度高，是用于结构用钢或工具等的优质钢材。沸腾钢由于有杂质或中心部和外围之间的质地有差异，只能做为一般钢材使用。

镇静钢

沸腾钢

● 钢坯与连续铸造

利用钢锭制成的扁钢、短钢和方钢等称为钢坯。即使不经过钢锭，也可以直接从钢水用连续铸造的办法得到钢坯（参见图 4.17）。即将从钢水包出来的钢水放在水冷的铸模上冷却，然后用拉辊拉伸，经切断制成钢坯。现在，约 90% 以上的钢坯都是利用连续铸造的方法制成的。

钢坯

连续铸造

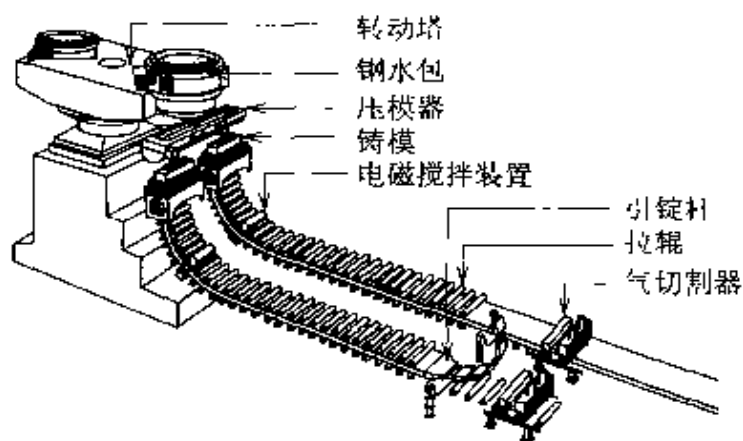


图 4.17 连续铸造机



## 7 钢铁材料

### □ 要 点

用钢锭经过加工得到的钢铁制品称为钢铁材料或钢材。按材料成分钢材可分为铸铁、碳素钢及合金钢；按用途又可将其分为铸造用生铁、轧制钢材、铸钢和锻钢等。在流通阶段中也有生产厂商自定的内部规格。

### □ 解 释 ● 碳素钢

一般来说,含碳量为 0.03%~1.7% 的钢称为碳素钢或简称为钢。碳的含量越高,其硬度越高也越脆。碳的含量低时,钢的加工性好,但质地变软。这说明,钢的性质在很大程度上取决于碳的含量(参见图 4.18)。表 4.6 中列出了钢的含碳量与习惯分类。

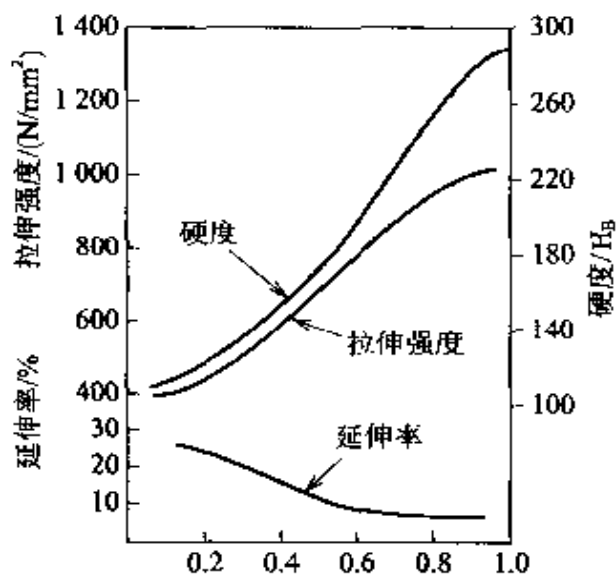


图 4.18 碳素钢的含碳量与机械性质

表 4.6 碳素钢的习惯性分类

碳/%	分类
0.03~0.08	特别极软钢
0.08~0.12	极软钢
0.12~0.20	软钢
0.20~0.30	半软钢
0.30~0.40	半硬钢
0.40~0.50	硬钢
0.50~0.60	最硬钢
0.60~1.50	碳素工具钢

### ● 碳素钢的 JIS 分类与用途

在 JIS(日本工业标准)中,各种钢都有其规格序号,并用材质标号规定了其机械强度和成分。例如,建筑等一般结构物中使用的轧制钢材采用 JIS 3101 规格序号;一般结构用轧制钢材(steel structure)用缩写 SS 与表示最低拉伸强度的数值相结合来标记,如 SS 540;机械结构用碳素钢(steel carbon)用在缩写 SC 之间加入碳含量的百分比的方法来表示,如对碳含量为 0.40% 左右的碳素钢,其表示形式为 S40C(参见表 4.7)。

一般结构用轧制钢材(SS材)是把低碳钢经热轧制成棒钢、型钢或钢板,然后作为建筑、土木、桥梁等整个构件材料使用。在低碳钢中可添加锰(Mn)等元素以改善其焊接性,作为焊接结构选用的轧制钢材,即是SM材,这些钢可用于船舶、桥梁、大型钢罐等的制造中。

在优质钢中,有利用调质的方法提高韧性的机械结构用碳素钢(SC材),主要用于制造轴类和螺栓。镇静钢的高碳钢经过淬火处理提高硬度和耐磨性的钢称为碳素工具钢。此外还有用于软钢丝,用于钢绳的硬钢丝,以及通过冷拔加工方法提高拉伸强度,用于制造钢琴琴弦等的硬钢丝。这种钢材也可以用于制造弹簧、弦及钢丝绳等。

表 4.7 碳素钢种类

种类	材料号码例	备注/用途
一般结构用轧制钢材 steel structure	SS SS 510	沸腾钢热轧材,有 SS330~SS540 四种,不做热处理,用于建筑、桥梁、车辆、机械等
机械结构用碳素钢 steel carbon	SC S 40 C	镇静钢热轧材,根据不同的轧制、锻造有 S10~S58 等 23 种材料,经过调质提高韧性,多用于螺栓、螺帽和轴类
焊接结构用轧制钢 steel marine	SM SM 490 A	用锰提高淬火性,以低碳缓和焊接时的硬化,焊接性能好,有 11 种材料,多用于造船、建筑、桥梁、大型钢罐
钢琴弦 steel wire rod spring	SWRS SWRS 62 A	碳含量 0.6%~0.95% 的高碳钢,经冷拔拉伸强度高,多用于高级弹簧丝、乐器弦、钢丝、PC 混凝土
软钢丝 steel wire rod mild	SWRH SWRH 10	碳含量 0.25% 以下,多用于电信线、铁丝、钉、螺丝、铆钉
硬钢丝 steel wire rod hard	SWRH SWRH 32	碳含量 0.24%~0.86%,多用于钢丝、弹簧、PC 硬钢丝、钢丝
碳素工具钢 steel kogu	SK SK 1	碳含量 0.6%~1.5% 的 7 种材料,硬度和耐磨性均佳,多用于钻头、锯条、锉刀、螺丝、冲头、冲模、弹簧
碳素铸钢制品 steel casting	SC SC 360	碳含量 0.40% 以下,有四种材料,铸造后再经热处理消除内应力后使用,用于铁心等电器材料、齿轮

## 相关知识 ● 热轧与冷轧

生铁的一部分用于铸件,但大部分几乎都用于炼钢。在炼钢工序中得到的钢锭,通常可在赤热状态下经压辊压延(参见图4.19),这种工序叫热轧,其制品称为热轧钢材。热轧钢材经过涂漆等工序最终制成成品,包括型钢、棒钢、钢板及轮毂等材料(参见表4.8)。图4.20所示为各种型钢断面与钢板桩。热轧钢材在常温下进行压延的工序称为冷轧,所得到的制品称为冷轧钢材。

表 4.8 普通钢材的产品分类

① 轨道钢(铁路和电梯用轨道)	② 钢板桩(土木和护岸中埋在地下或水中)
③ 型钢(桥梁、建筑的结构用)	④ 棒钢(混凝土钢筋、铁框架、螺栓)
⑤ 线材(外装线、电信线、钢绳)	⑥ 厚中板(造船、车辆、锅炉、道路施工等)
⑦ 薄板类(汽车、电气、农机)	⑧ 钢带(冷轧钢板、再加工用)
⑨ 镀锡钢皮(饮料罐、瓶盖)	⑩ 镀锌板(汽车、家电、窗框、屋顶)
⑪ 电气钢板(发电机和电动机铁芯)	⑫ 钢管(构件、汽缸、汽水管道、轴承)

注:( )内的说明为用途

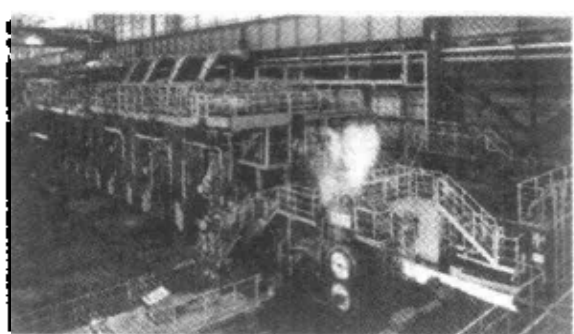


图 4.19 热轧机

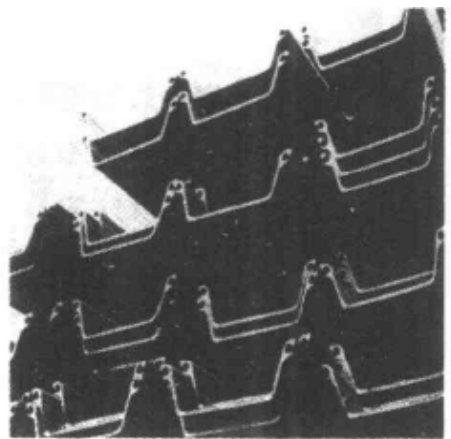
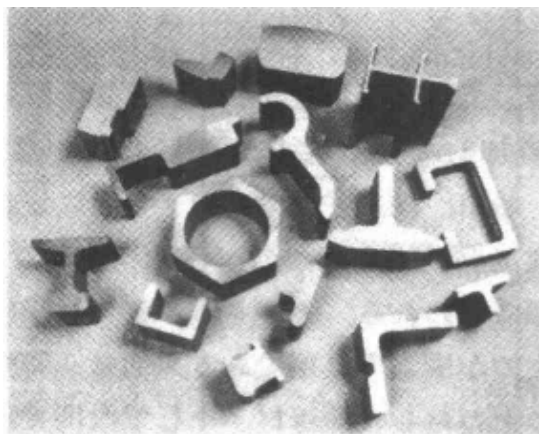


图 4.20 型钢截面(左)与钢板桩(右)

### ● 钢材的分类

有关钢材的分类方法如表 4.9 所示。在 JIS 规格中也组合使用了这些分类方法。

表 4.9 钢材的分类方法

分类标准	名称
成分元素	碳素钢、合金钢(轴承钢等低合金钢、不锈钢等高合金钢)
生产统计	普通钢(特殊钢以外的碳素钢)、特殊钢(规定碳和合金元素含量的钢)
制造方法	轧制品(热轧、冷轧)、锻制品、铸钢品
形状	条钢(型钢、棒钢、轨道钢等)、钢板制品(厚中板、镀锌板等)、钢管
用途	一般结构用钢、机械结构用钢、工具钢、弹簧钢、轴承钢、耐热钢、锅炉用钢等

## 8 铸铁与铸钢

### 要 点

在铸造用的钢铁材料中,含碳量为 2.14%~6.67% 的为铸铁,而含碳量小于 2.14% 的为铸钢。虽然铸铁的耐热性、韧性和焊接性较差,但由于其耐磨性、切削性及流动性好且收缩率低、价廉,故使用范围广泛。另外,铸钢的碳素含量在 0.2%~0.5% 时,其焊接性良好,为了提高其耐腐蚀性和耐热性还往往添加硅和锰等元素。

### 解 释 ● 铸 铁

在实际应用中,铸铁(cast iron)的含碳量约为 2%~4%。随着含碳量的增高,其硬度也会变高,并随之出现脆性,导致其加工性降低。但由于其熔解温度下降,而且流动性很好,故很适于铸造用材。用电炉精炼配入硅、锰、磷等成分的铸铁与铸造用生铁不同。

### ● 铸铁的组织

#### 莫氏(碳硅)组织图

图 4.21 所示为铸铁的组织图,也称莫氏(碳硅)组织图。从中可以发现铸铁在其成分不同时其组织的差异。图中的 I 部分中没有析出石墨,还是渗碳体的状态,故断口呈白色,所以叫白口铸铁(参见图 4.22(a))。II a 部分中石墨和渗碳体同时存在,所以叫灰口铸铁(参见图 4.22(b))。从 II 往右的部分中,碳素作为石墨析出,呈游离状,断口呈灰色故称为灰口铸铁。另外,根据碳硅组织和冷却速度可将铸铁分为铁素体铸铁(III)、珠光体铸铁(II,参见图 4.22(c))及含有铁素体的珠光体铸铁(II b)。

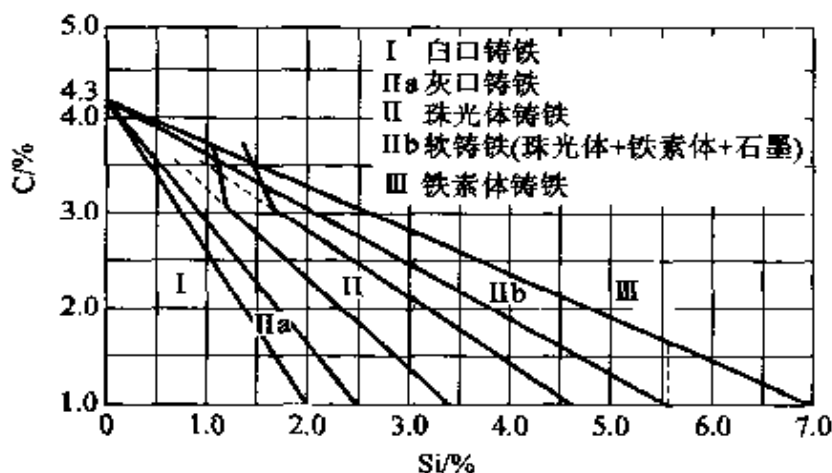


图 4.21 铸铁的组织图

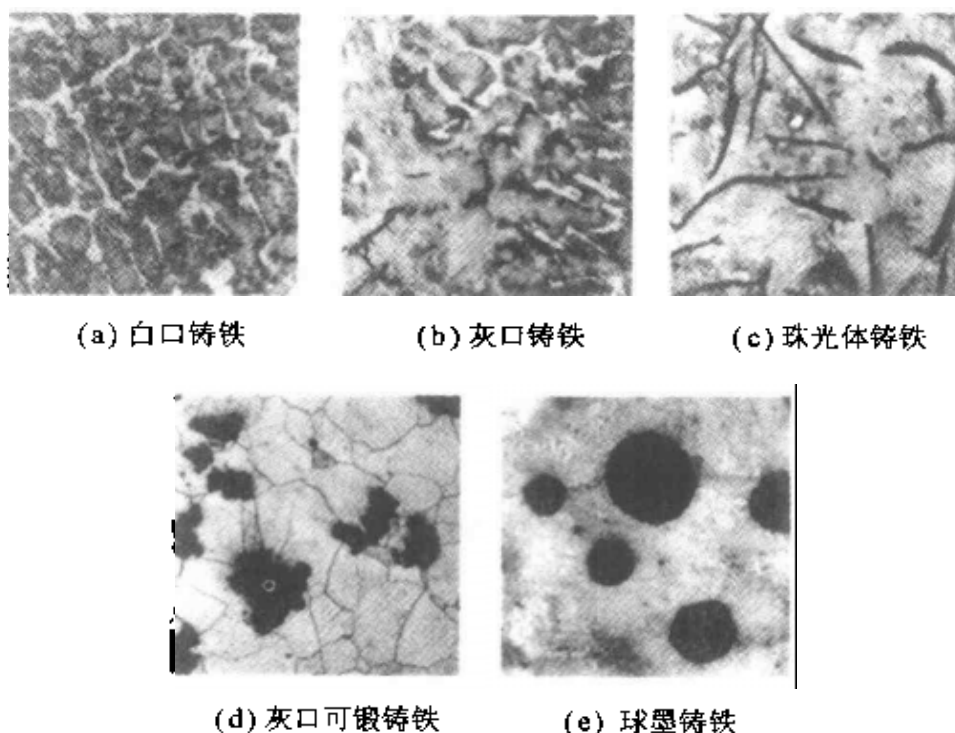


图 4.22 铸铁组织的电子显微镜照片

### ● 铸铁的成长

具有珠光体质地的灰口铸铁,若从  $900^{\circ}\text{C}$  左右的高温自然冷却,其体积将会增加。在最初阶段,渗碳体变成石墨并急速膨胀。随后,由于生成了硅的氧化物再膨胀几个百分点,这种现象称为铸铁的成长。此时,材质有所变差,但可以通过添加少量的铬使其得到抑制。

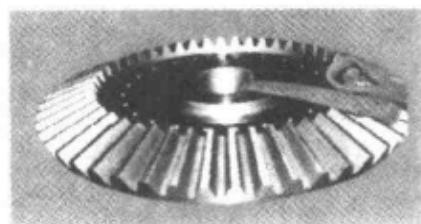
### ● 铸铁的分类

#### 可锻铸铁

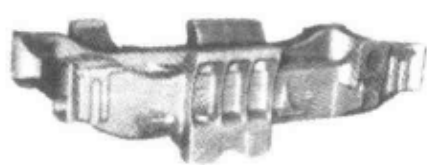
可锻铸铁具有韧性和塑性,且有利于锻造的铸铁称为可锻铸铁。它又有灰口可锻铸铁与白口可锻铸铁两种。把白口铸铁铸件放在铸模(箱)中退火,使渗碳体变成球状石墨的铸铁即称为灰口可锻铸铁(参见图 4.22(d))。把白口铸铁铸件与氧化铁等一起加热至  $950^{\circ}\text{C}$  后,经过缓冷,使内部石墨化,而外部脱碳变成铁素体的就是白口可锻铸铁。可见,它们是依据断口的色泽来命名的。另外,铸造时添加其他元素(Mg, Ce, Ca)使碳球墨化,从而提高其机械性质的铸铁称为球墨铸铁。其中,质地偏向珠光体的铸铁伸缩性差,但抗拉强度高的,称为高强度铸铁。而偏向于铁素体的铸铁,由于其抗拉性差伸缩性强,故称为可锻铸铁。因具有延展性故称为可锻铸铁;又因为碳是小颗粒状的,故也称为球墨铸铁。图 4.23 所示为铸铁零部件示例。



(a) 挖掘机斗



(b) 伞齿轮



(a) 侧架



(b) 涡轮机壳

图 4.23 铸铁零部件示例

图 4.24 铸钢零部件示例

## 铸钢

## ● 铸 钢

当用铸铁不能满足需要的机械强度和耐热性时可以使用铸钢。当然,铸钢也可以用于其锻造、轧制难以制造的复杂形状的零部件上。其铸造过程是在铸模上浇注熔钢,冷却之后进行正火、退火热处理。有时,大的部件可达数百吨重。由于含碳量经过调整,焊接性好,所以也可用做结构材料。图 4.24 所示为铸钢零部件示例。

铸钢包括碳素铸钢和合金铸钢。碳素铸钢又可根据其含碳量分为

- ① 含量小于 0.2% 时为低碳铸钢;
- ② 含量在 0.2%~0.5% 时为中碳铸钢;
- ③ 含量在 0.5% 以上为高碳铸钢。

从实用角度看,含碳量在 0.5% 以内为宜,含碳量越高,其机械强度也越高。

在 JIS 中,碳素铸钢品用 SC(steel cast)来表示,并在其后用数字表示拉伸强度,如 SC 360 等。

为了提高产品的耐腐蚀性、耐磨性及耐热性,可根据不同的目的和用途添加铬、锰等金属成为合金钢材料,此为特殊钢。高锰钢(锰含量为 11%~14%)的切削性较差,但由于硬度和韧性强,因此它的冲击性和耐磨性较强。所以常用做钢轨扳道岔和道岔口的铸造材料。

## 9 合金钢

### 要 点

在碳素钢中添加其他元素得到的钢称为合金钢。由于合金元素的添加,提高了材料的强度和耐热性等性质,可满足结构、工具等的特殊用途。合金钢有锰钢、铬钼钢等以合金元素来命名的合金钢,也有以用途命名的不锈钢和高速钢等。

### 解 释

#### ● 合金钢

在碳素钢中,除了含有铁和碳之外,在脱氧和脱硫工艺中还使其会残留有若干锰、硅以及属不良成分的磷、硫等。一般以主动添加一种或数种合金元素的方法来改善碳素钢的性质或构成新的特性而生成的钢称为合金钢。根据其用途,合金钢的种类见表4.10。

表 4.10 主要的合金钢

结构用	高强度钢、低温用钢
机械结构用	高韧性钢、渗氮钢
工具用	合金工具钢、高速钢
防腐耐热用	不锈钢、耐热钢
特殊用途	弹簧钢、易切削钢、轴承钢、硅钢

#### ● 结构用合金钢

##### 高强度钢

具有高抗拉强度的钢也称为高强度钢,具有足够的(490MPa以上)拉伸强度,焊接性良好而且价廉。其中的非调质材料随着大型结构物和汽车轻量化的进展,需求量也正在扩大。调质材料用于高压容器和锅炉等设备之中。在低碳钢中添加几个百分点的镍,可增加其低温下的抗脆性,称为低温用钢,用于 LNG(液温为 $-162^{\circ}\text{C}$ )容器等低温压力的容器。

##### 高韧性钢

##### 马氏体时效钢

用于机械结构中的合金钢有添加了铬、钼、镍等一种或数种合金元素而制成的钢,通过添加材料的方法提高了钢的韧性和拉伸强度,抗拉强度在 1000MPa 左右的高韧性钢包括铬钢、镍铬钢及铬钼钢等。在韧性方面著称的马氏体时效钢,可用于飞机、压力容器及火箭等(参见表 4.11)。



表 4.11 高韧性钢种类

种类	特点	用途
铬钢	淬火性好,但有回火脆性	高强度螺栓、轴类、起重机臂
镍钢	韧性高,低温脆性低	螺栓、轴类、齿轮
铬镍钢	易于高温加工,焊接性好	齿轮、大型轴类、锅炉管道
马氏体时效钢	拉伸强度高,1800MPa以上	压力容器、飞机起落架

### ● 工具用合金钢

通常,用于制造工具的合金工具钢是在碳素钢中添加铬来提高淬硬性,添加钨和钒来提高耐磨性的合金钢。根据用途又可分为切削用、耐冲击用、冷锻模具以及热锻模具用等四种类型(参见表 4.12)。在高速切削工件时,其温度会超过 500℃,为了能耐此高温,淬火时防止回火软化需要添加大量的钨和钒,此类合金钢就是高速工具用合金钢,简称高速钢(参见表 4.13)。

### 高速钢

表 4.12 合金工具钢分类

分类	符号	C/%	Cr/%	W 或 V/%	Mo/%	Mn/%	用途
切削用	SKS 2	1.00~1.10	0.50~1.00	W1.00~1.5	-	<0.80	丝锥、钻头
冲击用	SKS 4	0.45~0.55	0.50~1.00	W0.50~1.00	-	<0.50	钢钎、冲头
冷锻模具	SKD 1	1.80~2.40	12.0~15.0	-	-	<0.60	冲孔模、冲裁模
热锻模具	SKD 6	0.32~0.42	4.50~5.50	V0.30~0.50	1.00~1.50	<0.50	压铸模

表 4.13 高速钢分类

分类	符号	C/%	W/%	Mo/%	V/%	用途
钨系列	SKH 2	0.73~0.83	17.00~19.00	-	0.80~1.20	一般切削
钼系列	SKH 51	0.80~0.90	5.50~6.70	4.50~5.50	1.60~2.20	黏性切削

### ● 特殊用途合金钢

#### 易切削钢

**易切削钢** 机械结构用钢要适应高速切削加工,改善了被切削性的钢,称为易切钢,又分为价廉的硫易切削钢和保持原来强度

的优质铝易切削钢。

### 弹簧钢

**弹簧钢** 在高碳素钢里添加硅、锰、铬及钒等提高弹性限度和耐疲劳性而生成的钢。包括热成型后再经热处理提高其强度、用于车辆和大型机械中的 Si-Mn、Si-Cr 和 Cr-V 系列,以及具有弹簧性能、冷成型后再经低温热处理、用于制造车辆弹簧或钟表弹簧等的钢。

### 轴承钢

**轴承钢** 在高碳素钢中添加 1% 的铬来提高其耐磨性、耐久性而生成的钢,主要有用于制造轴承的高碳高铬系列钢。此外,也有将表面渗碳钢进行渗碳处理的渗碳轴承钢、喷气式飞机中用的耐热轴承钢以及化工厂中常用的耐腐蚀钢等。

### 耐热钢

**耐热钢** 通过添加大量的铬来增强高温中的抗氧化性能而生成的钢。此外,还有添加硅、镍、锰等的耐热钢,它们分别用于锅炉、发动机及涡轮等的制造,其耐热温度可在 1000℃ 以上。其中,

### 电磁钢板

添加 3% 硅的硅钢,其导磁率高,可用做磁性材料,称其为**电磁钢板**。

## 10 不锈钢

**□ 要点** 在铁中添加 12% 以上铬而制成的钢称为不锈钢。不锈钢的耐腐蚀性强,可作为板、管材料,大量使用在建筑、机械、车辆、厨房用具等领域(其英文名称为 stain less,即无污垢钢之意)。

**□ 解释** ● 不锈钢

不锈钢包括只添加铬的铬系不锈钢和添加铬、镍的铬镍系不锈钢。在 JIS 中,根据其形状分成了 90 多个种类,并通过在不锈钢代号 SUS(steel use stainless)之后附加数字的方法来区分(参见表 4.14)。

表 4.14 不锈钢分类

分 类		钢种	Cr/%	Ni/%	用 途
铬系	马氏体系	SUS 410	13		刀具、结构件
	铁素体系	SUS 430	18	—	高温用件
铬、镍系	奥氏体系	SUS 304	18	8	化学、建筑

淬火硬化  
13 不锈钢

马氏体系不锈钢的含铬量在 13% 以下,经 1000℃ 左右的淬火和 650℃ 左右的回火处理,提高了其韧性,属于淬火硬化钢。以铬含量为 13% 的 13 不锈钢为代表的 stainless 除用作刀具材料等工具钢之外,也用于电熨斗、烧烤器具及洗面用具等。

18 8 不锈钢

含有 16% 以上铬的合金钢属于铁素体系不锈钢。由于在高温中也可以保持铁素体状态,所以无需热处理。它的特点在于价廉,加工性好,且不会发生应力腐蚀,故适用于锅炉和热交换器。

添加了铬和镍两种金属元素的奥氏体系不锈钢,其加工性和耐腐蚀性、耐酸性得到了提高。这种钢的铬、镍下限含量为铬 18%、镍 8%,故命名为 18-8 不锈钢,多用于制药厂、化工厂以及制作厨房用具。此材料在进行焊接等操作时,温度达到 600℃ 左右时会变脆,并且容易引起晶界腐蚀。

pH 不锈钢

兼有马氏体系不锈钢的强度和奥氏体系不锈钢的耐腐蚀性特点的钢称为 pH 不锈钢。这种不锈钢因添加铝和铜而生成微细的析出物分散硬化。此种时效硬化特性称为析出硬化。所以有时把

这种钢称为析出硬化型不锈钢,其中的SUS 631(17Cr 7 Ni, 1Al)钢多用于飞机和化学工业中。

### ● 不锈钢不生锈的原因

在含铬不锈钢的表面上,水与铬相接触时铬与水起反应,生成一种肉眼看不见的薄膜(含氢氧化物),这种膜表现为稳定态(或不动态, passive state),化学稳定性强,即使表面划出伤痕,也会与空气中的氧立即起反应,再生出薄膜,所以不生锈(参见图 4.25)。当铬的含量超过 12%时,上述稳定态明显增加。含铬量在 12%以下的不锈钢称为耐腐蚀钢。

耐腐蚀钢



图 4.25 不锈钢与锈的模式图

## □ 相关知识 ● 晶界腐蚀

除了纯金属之外的金属都是小晶体(图 4.26 中的斜线部分)的集合体。这种结晶与结晶之间的间隙称为结晶粒界或简称为晶界。钢中的碳暴露于高温中时,会生成铬的碳化物(图 4.27 中的涂黑部分)并析出于晶界中,故结晶中的铬的浓度下降,其耐腐蚀性也随之下降,这种现象称为晶界腐蚀。发生晶界腐蚀后,就会沿晶界出现裂纹。添加容易与碳起化学反应的钛和镍的可阻止铬与碳化合的进程。



图 4.26 结晶粒



图 4.27 晶界析出

### ● 应力腐蚀裂纹

当金属材料与水接触起化学反应时,其表面出现的非金属化的现象称为腐蚀。非金属化的表面上加上内外压力和张力时,金属结晶粒和晶界中出现裂纹的现象称为应力腐蚀裂纹。

## ■ 例 题

- ① 列举出不锈钢的种类并加以说明。
- ② 举例说出身边的不锈钢制品。

# 11 铜及其合金

**要 点** 铜(Cu)是仅次于贵金属的稳定金属,其耐腐蚀性强,因质软而便于加工,且具有良好的导电性。铜合金有黄铜、青铜、白铜以及锌白铜等。

**解 释** ● 铜的冶炼

通过熔矿炉把黄铜矿或辉铜矿等矿石加热熔化后,利用转炉生成粗铜,再用精炼炉精炼后,放在硫酸铜溶液电解即可得到电解铜成品(参见图 4.28)。

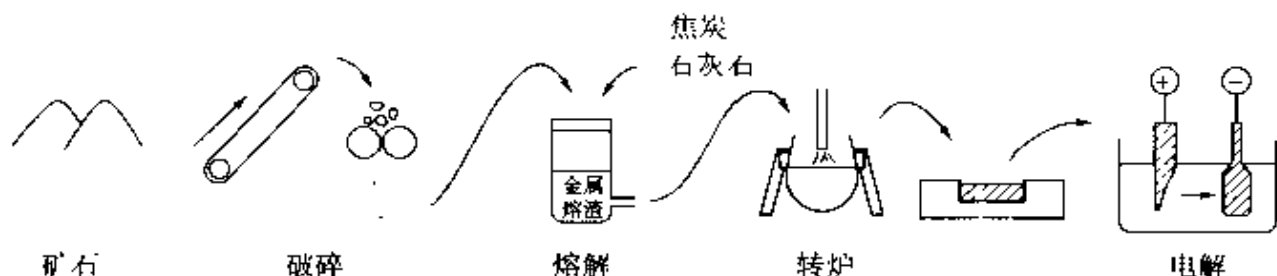


图 4.28 铜的冶炼流程图

**韧铜**

将前述的电解铜装入反射炉里,加入圆木,可将氧化铜还原,如此得到的铜为韧铜。在此铜中添加磷可继续去除铜中之氧,此铜称为磷脱氧铜。此外,在真空中或在还原条件下可除氧而还原为无氧铜。

● 物理性质

铜是电和热的良导体,且是非磁性体,其延伸性和压延性良好(参见表 4.14)。

表 4.14 铜的物理性质

熔点	密度	磁化率	杨氏模量	电阻率	导热系数	抗拉强度	延伸率
1083℃	9.0	$-0.85 \times 10^{-6}$	123GPa	$1.72 \mu\Omega \cdot m$	403W/(m·K)	230MPa	55%

● 化学性质

铜具有化学稳定性,但在含有二氧化碳和二氧化硫的湿气中

会生成绿锈,在海水中也会腐蚀。如果在空气中加热,在 $1000^{\circ}\text{C}$ 以下将生成氧化铜(II),而在 $1000^{\circ}\text{C}$ 以上时生成氧化铜(I)。此外,铜在稀硫酸、盐酸溶液中可缓缓溶解,而在硝酸溶液中则快速溶解。

### ● 铜的利用

铜一般不用作结构材料,但铜由于其导电性和延展性好可用于电线材料中。磷脱氧铜没有氢脆性,可用做焊接材料。无氧铜因纯度较高,故用于电子器材中。

### ● 铜合金

表 4.15 所列为各种铜合金材料。铜与锌的合金为黄铜。锌的含量在 10% 左右时为红铜。锌含量在 30% 左右的合金铜的塑性加工性好,但超过 45% 时就会出现脆性。经冷加工的黄铜制品在储存过程中,会出现自然裂纹,这种现象称为时间裂纹或放置裂纹。事实上,这种现象就是腐蚀应力裂纹现象,可利用加热到

### 黄铜

表 4.15 铜合金

分 类	名 称	铜以外主要元素	用 途
黄铜	丹铜	Zn 10%	建筑、家具
	七一黄铜	Zn 30%	汽车冷却器
	六五三五黄铜	Zn 35%	一般光阀
	六四黄铜	Zn 40%	钣金加工用
特殊黄铜	尼泊尔黄铜	六四黄铜 + Sn	回水器
	高力黄铜	六四黄铜 + Mn, Al, Fe, Sn	船舶用轴
	快削黄铜	六四黄铜 + Pb	钟表零件、齿轮、螺栓、螺钉
青铜	锡青铜	Sn 2%~35%	建筑用器具、水轮头
	炮铜	Sn 10% 未滴	阀、齿轮、轴承、电机零件
	磷青铜	Sn + P 0.03%~0.4%	弹簧、电子机器、精密机械零件
特殊青铜	硅系青铜	Sn 10%, Si 3%	化学工业用管、泵零件
	铝青铜	Al 5%~8%, As 0.3% 未滴	轴承、叫轮
	铍青铜	Be 2.5% 以下	安全工具、弹簧、电触点、振动物片
其他	白铜	Ni 10%~30%	回水器和热交换器的管、硬币
	锌白铜	黄铜 + Ni 10%~20%	餐具、医疗器械
	铅青铜	Pb 30%~10%	飞机和汽车的高速轴承

青铜

磷青铜

铍青铜

200~400℃之后退火的方法来防止。根据不同的目的和用途在黄铜里添加其他金属可制成特殊黄铜,包括用作铸造材料的尼泊尔黄铜和高力黄铜,以及提高了切削性的快削黄铜等。铜与锡的合金称为**青铜**,从古代就有。青铜中锡的含量通常为15%左右。锡的含量不到10%的铜锡合金俗称为**炮铜**,由于其耐腐蚀性强、抗应力腐蚀也强,故多用于管路和齿轮的制造。通过添加0.2%左右的脱氧剂磷来提高其强度而炼制的青铜叫**磷青铜**,此材料可用来制造发条。此外,还有代替锡元素而添加其他元素形成的特殊青铜,其中的**硅青铜**、**铝青铜**的耐腐蚀性和加工性均好。如果添加铍的特殊青铜在约300℃的温度进行时效硬化,可得到即使是在强烈冲击下也不会出现火花的青铜,称为**铍青铜**,可作为工具材料和制造安全发条的材料。

## 12 镍及其合金

### □ 要 点

镍(Ni)金属柔软而富有延展性,易于塑性加工。因镍对海水和碱性也有很强的耐腐蚀性,故多用于硬币、电镀及器皿等的制造中,一般不适合作为结构材料,但也用于不锈钢、耐热钢及锰镍合金的合金成分,用途很广。此外,镍也用做功能材料,如热电偶中的镍钒合金(康铜)等。

### □ 解 释

#### ● 镍的冶炼

镍矿有硅镍矿石的氧化矿石和针镍矿的硫化矿石,两种矿石的冶炼方法有所不同。硫化矿石先通过浮选成为精矿,然后进行干燥、浓缩并焙烧成氧化物,再用硫酸分离析出之后进行电解(参见图 4.29)。这种方法称为镍电解精炼法

#### 镍电解精炼法

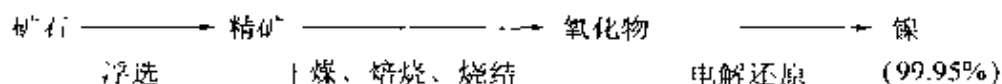


图 4.29 镍的冶炼工程

#### 蒙德炼镍法

氧化矿石先经过干燥、粉碎,然后用氢气还原后用碱析出,加热烧结后使其成为镍氧化物。从这种氧化物中再精炼镍的方法称为蒙德炼镍法,其方法利用了一氧化碳和镍的可逆反应原理,把在低温中反应的镍提取出来之后,经加热而分解成镍和一氧化碳。用这种方法可制得纯镍(99.95%)。

#### ● 焙 烧

在矿石不至于熔化的温度下,使其与其他物质进行反应,这是下一步反应的前处理,即加热处理。在镍的精炼中,需要进行如下的去硫作业:



#### ● 镍的性质及其应用

在表 4.15 中列出了镍的物理性质。镍富于延展性,可进行冷加工和热加工。此外,镍具有次于铁的强磁性,并具有耐热性和耐碱性,所以,广泛用于工业设备和电子管中。

表 4.15 镍的物理性质

比重	熔点	导热系数	电阻率	抗拉强度	延伸率	磁化率
8.9	1455℃	94W/(m·K)	0.069μΩ·m	441MPa	40%	16~30



### ● 镍合金

镍和铜容易熔解而形成固溶体。镍合金易于加工,其机械性能、耐腐蚀性及铸造性均良好。铜的含量为 24% 的镍合金称为蒙乃尔合金(高强度耐蚀镍铜合金),由于其强韧性与强耐腐蚀性,多用于螺旋桨、阀门、汽涡轮片等的制造。此外,铜的含量为 50%~60% 的镍铜合金称为康铜,常用于热电偶。

康铜

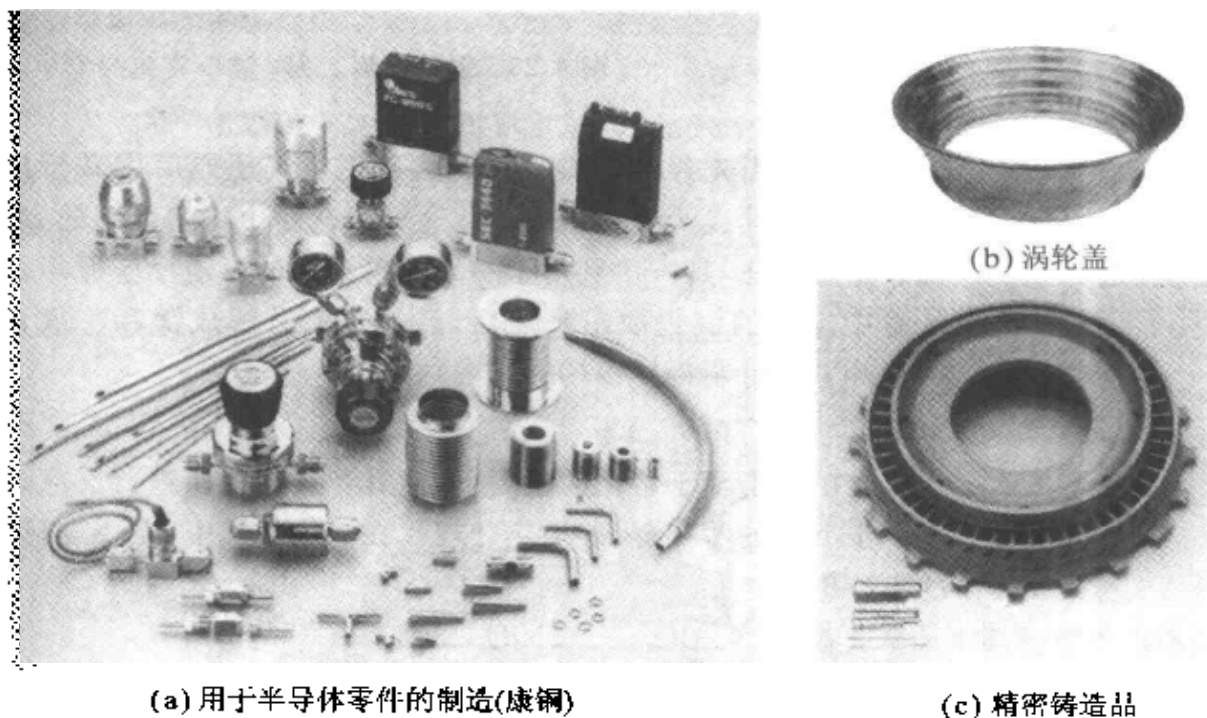
在镍中添加 20% 以下的铬的合金称为镍铬合金,其抗氧化性强,电阻值能利用所添加的铬的含量进行调节,故可用做电热丝的制造材料。

还有一种在上述镍铬合金中添加铁而形成的材料,其材料低廉,但在高温中的耐久性下降。

耐蚀镍基合金

在镍里添加铂的镍合金材料称为耐蚀镍基合金,其耐热、耐腐蚀性强,多用于制造汽涡轮片与耐碱性容器等。铁的含量为 21.5% 的镍合金称为高导磁镍铁合金,由于其导磁性强,故多用做磁心材料。图 4.30 所示为部分镍合金制品。

高导磁镍铁合金



(a) 用于半导体零件的制造(康铜)

(c) 精密铸造品

图 4.30 镍合金零部件示例

### ■ 例 题

- ① 列举出镍的四个特征。
- ② 举例说出自己身边的镍合金。

# 13 铝及其合金

## □ 要 点

地球上铝(Al)的埋藏量最多。铝的比重较小且耐腐蚀性、导热性、导电性以及延展性均好。用铝加工成的板材、棒材、管材以及线材等广泛用于窗框、反射材料、工业用罐、电线以及电容器等,其回收再利用效率高。此外,铝合金也广泛用作延伸材料和铸造材料。

## □ 解 释

### ● 铝的制造

#### 拜尔制铝工艺

铝在地表层的含量比为 8.2%,比铁(5.6%)还要多,仅次于硅和氧,位居第三。铝矿石主要有矾土矿石和高岭土。于 1888 年开发出的拜尔制铝工艺(湿式提取氧化铝)是把矾土矿石粉碎后,添加氢氧化钠,经加压、加热处理后再用水分解,即可得到纯度为 99% 的氧化铝( $Al_2O_3$ )。

#### 霍尔-埃鲁铝 电解预焙法

将上述的氧化铝利用霍尔-埃鲁铝电解预焙法可制得铝,即往氧化铝中加冰晶石,加热至  $1000^{\circ}C$  左右使其熔解,再电解其熔液即可。图 4.31 为预焙式电解炉略图,以碳为阳极,则氧化铝在阴极上还原成铝。此时,作为阳极的碳与所产生的氧变为二氧化碳被消耗,故应经常更碳阳极。

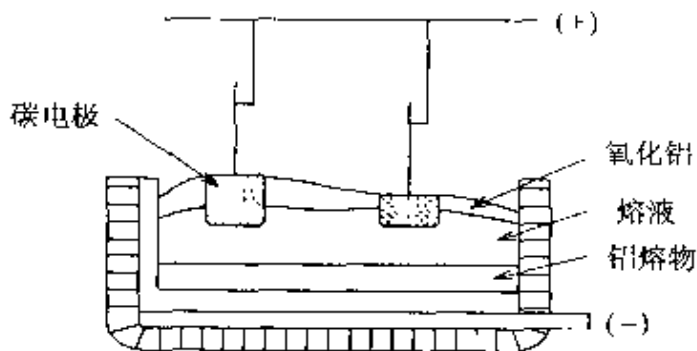


图 4.31 预焙式电解炉原理图

### ● 化学性质

将铝置于空气中,其表面便会氧化形成氧化铝膜,可保护内部不再进行氧化反应,具有良好的耐腐蚀性。但铝的耐酸、碱性差,这可以用硫酸等对其进行酸浸蚀,人为地形成多孔性氧化膜,再用高温水蒸气处理,以封闭这些孔来提高其耐蚀性。这种办法称为氧化铝膜处理法。

#### 氧化铝膜处理法

### ● 铝材的 JIS 分类及其性质

延展的铝材表示方法是以 A 后附加 4 位数字来分类。1000 系纯度为 99% 以上的铝材, 最后二位数字表示小数点以下的纯度。例如, A1070 所表示的纯度为 99.70%。若在铝中添加铜和镁(2000 系列), 其耐蚀性会稍有下降, 但经过热处理得到时效硬化后, 可做为强力合金用于飞机和汽车的部件中。若添加锰和镁(3000 系列、5000 系列、6000 系列) 则可提高其耐蚀性。此外, 用添加硅的方法(4000 系列) 可提高其耐热性, 参见表 4.16。

#### Y 合金 铝镁合金

铸造用铝合金, 如 AC2A, 可分为以 AC 开头的铸造用铝和以 ADC 开头的(如 ADC6) 模铸用铝。铸造用铝有 Al-Cu 系列的 Y 合金、Al-Si 系列的硅铝明合金, 以及 Al-Mg 系列的铝镁合金。

模铸用铝有 ADC 1(12Si) 等用添加硅的办法提高其流动性、去除热脆性的材料以及 ADC 5 等(6Mg) 用添加镁提高耐蚀性的材料。

表 4.16 铝合金示例

名称	型号	主要添加元素	特性、用途
硬铝	2017	1Cu-0.5Mg-0.5Mn	通过时效硬化可提高强度。飞机、车辆
超铝	2024	4.5Cu-1.5Mg-0.6Mn	增加硬铝中的 Mg 含量
Y 合金	2218	4Cu-2Ni-1.5Mg	耐热性, 高温强度。耐热锻造制品
高强度铝	6061	1Mg-0.6Si-0.25Cu	导电性。电线
超硬铝	7075	5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu	拉伸强度为 570MPa。飞机材料
劳塔尔铝合金	AC2A	4Cu-4.5Si	流动性、易切削性。薄铸造制品
γ 硅铝明合金	AC4A	9Si-0.5Mg	抗振性、发动机零件
含铜硅铝明合金	AC4B	9Si-3Cu	焊接性、发动机零件
铝镁合金	AC7A	3.5~5.5Mg	耐蚀性、易切削性。食品、化学装置
洛埃克斯硅铝合金	AC8A	12Si-1Cu-1Mg-1.1Na	低热膨胀率。活塞用合金

#### □ 相关知识 ● 时效硬化

2000 系列的铝合金中, 大多数的含铜率为 4%。在热处理过程中将其淬火时, α 固溶体中的铜尚未解析出来就变成了过饱和固溶体, 经过一定时间后, 原来的 α 固溶体与化合物(CuAl<sub>2</sub>) 结成共晶状态, 此时, 铝结晶应变增大, 机械强度增加。这种随时间而

实现的硬化为**时效硬化**(age hardening), 常温时的时效硬化称为**常温时效硬化**, 170℃等高于常温的温度中进行的时效硬化称为**人工时效硬化**。

# 14 钛及其合金

## □ 要点

钛(Ti)对海水的耐腐蚀性比 18-8 不锈钢还强,其重量比铜轻,而强度却与铜相等,耐热性胜于铝。钛矿石在地壳中的含量非常丰富。钛除了主要用做航空材料之外,还用做建筑、医疗和日用品材料,其需求量日益扩大,日本国内的年生产量已经超过一万吨。

## □ 解释 ● 制造法

### 库罗尔炼法

钛发现于 1795 年,直到 1910 年才得以成功地分离。钛的熔炼方法是 1946 年由库罗尔开发的,即用镁还原的库罗尔炼法。此方法的特点是把含有氧化钛的钛铁原矿中的钛铁矿和金红石用氯气进行处理,变成四氯化钛的液状氯化物( $TiCl_4$ ),并用蒸馏法精炼,然后,利用金属镁还原,对不纯物进行真空分离,最后得到多孔质的钛,由于呈多孔型故称其为海绵状钛(参见图 4.32)。

### 海绵状钛

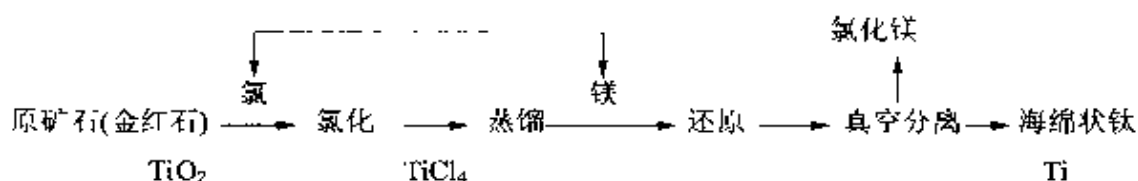


图 4.32 钛的冶炼法(库罗尔炼法)

海绵状钛封装于氯中出厂,各制造厂家将其压缩并焊接后,用真空电炉熔解或等离子熔解法炼制成钛。然后,经过压延轧制变成棒型、板型锻造品或其他型材以供使用。

## ● 钛的性质

钛的比重为 4.5,熔点为  $1668^{\circ}\text{C}$ ,对热和电的传导性不佳,线性膨胀系数也小(参见表 4.17),属轻质耐热性材料。经过热处理(淬火)的纯钛的拉伸强度为  $300\sim 750\text{MPa}$ ,其膨胀率大约为  $20\%\sim 30\%$ ,可与钢相匹敌。钛可被盐酸和硫酸浸蚀,但对硝酸、腐蚀剂溶液、海水以及碱性具有很强的耐蚀性。

表 4.17 钛(JIS 2 种)与其他金属的比例

	比重	熔点	导热系数	线膨胀系数	电阻率
金属	4.5	$1668^{\circ}\text{C}$	$22\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$8.4\mu/\text{K}$	$0.55\mu\Omega\cdot\text{m}$
其他金属	7.9(铁)	$1530^{\circ}\text{C}$ (铁)	$236\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ (铝)	$11.8\mu/\text{K}$ (铁)	$0.017\mu\Omega\cdot\text{m}$ (铜)



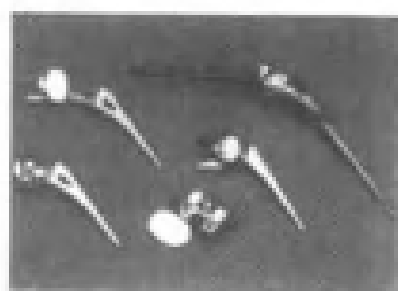
(a) 眼镜框



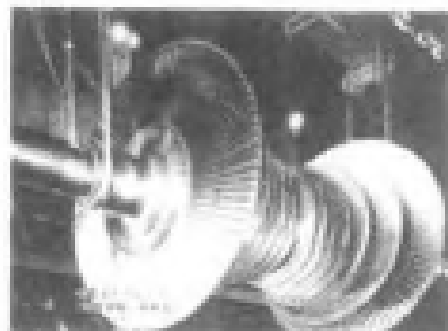
(b) 高尔夫俱乐部器具



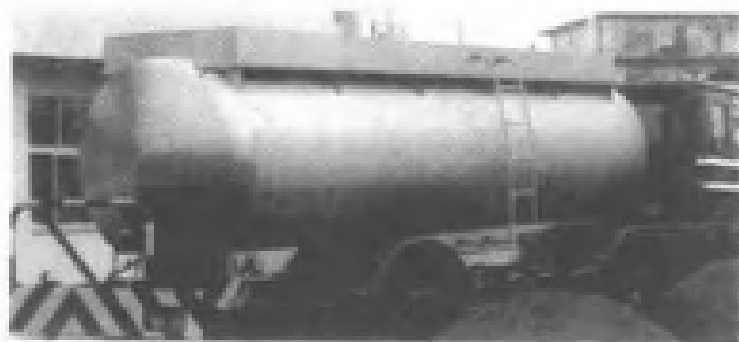
(c) 网球拍



(d) 人造骨



(e) 发电用涡轮叶片



(f) 油罐车

图 4.33 钛以及钛合金制品

### ● 钛合金

钛合金属于结晶系列,可分为三类。当需要增加强度时,必须添加铝。添加了铝和钒的 JIS 60(6Al-4V)属于  $\alpha+\beta$  合金,是常用的有代表性的钛合金。此外,还有为了提高耐热性而添加锡的  $\alpha$  合金,以及为了提高固溶性和时效硬化性而添加铜、锂、铁等的  $\beta$  合金。

### ● 钛制品的加工

对钛进行弯曲和挤压等成型加工比较容易,而且在不易进行冷加工时,也可以利用热加工。由于其传热性差,在切削等机械加工中容易引起烧结,所以,在切削等机械加工中应特别注意。纯钛的硬度为 110H<sub>B</sub>,通过氮化和渗碳等表面热处理方法还可提高其硬度。另外,含铁、铬、锰、铜等的合金钛延展性好,可用于薄板和箔的材料。

### ● 钛以及钛合金的用途

一般来说,钛合金的制造成本很高,相应地,只在重要的领域中使用它,如喷气式飞机的燃汽轮机的叶片和热交换器以及发动机等耐高温零部件的制造等。与其他材料相比,钛合金既轻又坚,且不生锈,故多用做镜框材料、高尔夫俱乐部的高尔夫球用具以及棒球场圆屋顶的材料等。此外,钛合金对人体无害,可用于制作安装在体内的器具,如人造骨和心脏起搏器等。

## ■ 例 题

- ① 钛和钛合金被广泛使用的原因是什么?
- ② 试举例说明钛可用于什么样的零部件中。

## 15 其他金属材料

### □ 要 点

金属元素有 70 多种,如表面涂镀用的锌、锡和铬,耐腐蚀性良好的铅,质轻多用于铸造的镁合金,价格高且耐热性好、质量轻的铍,用于焊接的焊锡铅合金,以及钽、钨、金、银和铂等。

### □ 解 释 ● 各种各样的金属

此处将对镁、铍、铅、锌及锡等金属加以说明。金等材料是在半导体制造工业中不可缺少的材料(参见图 4.34)。

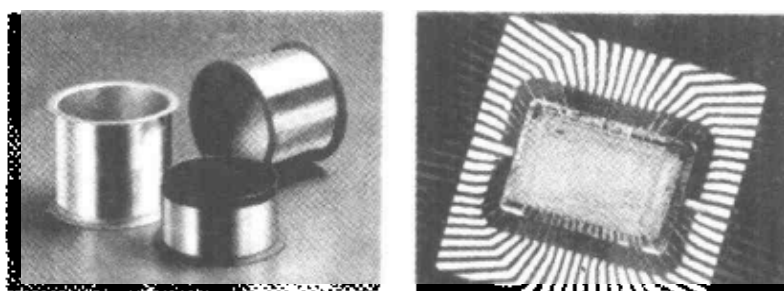


图 4.34 金箔与线路板

**镁** 镁(Mg)是从苦灰石或海水中的氧化镁中借助氯化物进行电解得到的。镁的耐腐蚀性差但比铝质轻,广泛用于铝合金、钛精炼、球墨灰铸铁及镁合金中。镁合金比铝合金还轻,在实用金属中属质量最轻的材料,且切削性和铸造性良好。作为镁合金的添加元素,当需要提高机械强度时可以用铝,需要改善铸造性时可添加锡,需要提高耐腐蚀性时可添加锰(参见表 4.18)。此外,如果添加铅或其他稀土元素,可使其加工性得到改善。

表 4.18 镁合金类

用 途	符号	ASTM 符号	添加元素
铸物用	MC1	AZ63A	6Al-3 Zn-0.15Mn
加工用	MS3	AZ80A	8Al 0.2~0.8Zn

注:ASTM 符号栏中的 AZ 之 A 为铝,Z 为锌,后续的数字为其成分比例,末尾的数字为不纯物允许范围

**铍** 从绿柱石中提取氧化铍,再用镁或电解法进行还原反应



得到铍(Be)。铍的弹性率比(弹性与比重的比)较高,且对 X 射线的透过率也很高,故多用于 X 射线机器的窗材或原子炉的反射材。铍也是铍青铜的添加元素之一。

**铅** 铅(Pb)是在方铅矿石中添加石灰石等熔剂进行烧结,在高炉上精炼之后,再经过电解精炼而得到的,其炼制的纯度可达到 99.99%。铅的延展性和耐腐蚀性良好,但放射线的透过性极差,所以,多用于水管道、耐酸性板材、蓄电池的电极(参见图 4.35)以及放射线遮蔽材料。另外,添加铋的铅合金其强度提高很多,故称为硬铅,可用作加工材料或铸造材料。铋含量为 2%~3% 的合金铅多用作电缆的外包皮,含量 4%~8% 的合金铅用作板、管材的延伸用材,含量在 8%~10% 时多用于化学装置等的铸造用材。在铅里添加 13%~20% 的铋和 1%~10% 的锡后可得到铸造性好、熔点低且具有良好耐磨耐腐蚀性的合金,其质优价廉,多用作活字印刷的铅字材料。

#### 铅字材料

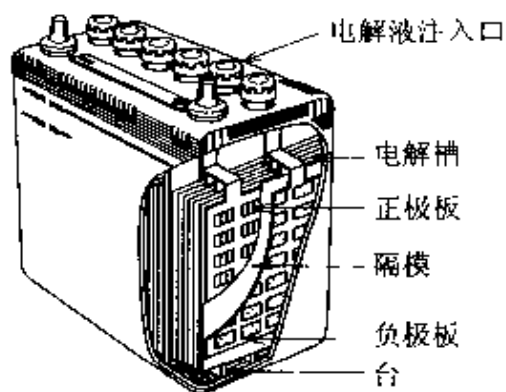


图 4.35 蓄电池构造  
(摘自:化学 1B,第一学习社)

**锌** 锌(Zn)是把闪锌矿经浮选、精制后,再经烧焙、清洗并电解、熔铸而炼得的。锌在潮湿的空气中会生成氨基碳酸锌外膜。在薄铁板上镀锌的白铁皮,即使表面刮伤,因为周围的锌先腐蚀,所以仍能保护铁板不受腐蚀,这种现象称为牺牲防蚀作用,镀锌板就是利用了这一作用原理(参见图 4.36)。

#### 白铁皮

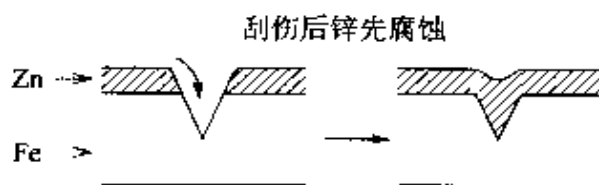


图 4.36 白铁皮的伤痕

锌的离子化倾向比铁高,因此,在出现伤痕时,周围的锌会先腐蚀,重新形成保护外膜,对铁起保护作用。

### 锌基压铸合金

在锌中添加铅可提高其强度,也会提高其铸造性。如果再添加铋或铜还可抑制晶界腐蚀,利用此特点的典型材料有锌基压铸合金(4Al-1Cu-0.05Mg)。若增大铜的比例,则可提高其硬度,而且价廉。

铅含量达到22%的合金在250℃左右时的延伸率可达到1500%,此现象叫做超塑性现象,可用作塑料成型技术中的铸模材料

### 镀锡铁板 焊锡

**锡** 锡(Sn)经选矿、焙烧并用电炉二次熔炼之后,再通过电解可得到精制锡,其纯度达到99.99%。锡的熔点低于232℃,且软度和加工性仅次于铅。锡对空气中的弱酸、弱碱较为稳定,但对于强酸、强碱的耐蚀性差。由于锡对人体无害,常用于餐具和食品工业以及包装中,但其主要用途还是在工业中制造镀锡铁板。此外也用于轴承、青铜、活字铅字以及焊锡等中。锡和铅的合金焊锡能够在350℃以下熔化,且其作业很简便,所以,广泛用于勿需耐热性和强度不高的电路、管线以及制罐等行业中。另外,铋、铅、锡合金的熔点是95℃,在此合金中添加铋而得到的伍德合金可熔化于70℃的低温,故被称为易熔金属。这种金属用于防火体系、高温高压用的安全装置以及精密铸造中的铸模等方面。

**钽** 钽(Ta)除了氟化氢酸以外,在其他酸中都不受浸蚀。由于其延伸性良好,经过冷加工之后可用于耐酸性化学装置。由于其熔点很高,故也可用于蒸汽压低的蒸汽加热器。

**钨** 钨(W)的熔点大约为3400℃,在金属中属熔点最高的一种,且具有极高的硬度,多用作电子管耐高温材料以及精密机械等。

**钼** 钼(Mo)的熔点大约为2600℃,其熔点之高仅次于钨,用途也基本与钨接近,多用于不锈钢和耐热合金的炼制中。

**银** 银(Ag)是导电及导热性最好的金属。在空气中即使是高温也比较稳定,但对于臭氧和硫较为脆弱,而且其强度也低,一般用于货币和装饰品的制作,也用于电镀、电池以及照相行业中。

**铂** 铂(Pt)属于耐热耐酸性很强且非常稳定的金属,具有很好的延展性。铂除了用于装饰品和货币之外,因其吸附氢和氧,故也用作催化剂(触媒)。铂的膨胀率与玻璃相同,可用于玻璃接合剂以及电器接点中。度量衡的重量标准砝码为铂和铱的合金。

# 16 塑 料

## □ 要 点

塑料就是从石油或天然气中提炼出来的合成树脂,分为热可塑性树脂与热硬化性树脂。这种材料可大批量生产,其比重小,成型性良好,电的绝缘性和染色性也均佳,但机械强度、耐热性和精度较差。这些弱点得到改善后的塑料称为工程塑料。

## □ 解 释 ● 热塑性树脂

用于制造薄膜和塑料管的聚氯乙烯是通过数次同类氯乙烯分子的结合形成的链状、有规律排列成长的链锁块状态(参见图4.36)。这些块状结构一旦得到加热,就会因热运动的作用而松懈变成柔软体,故称为热塑性树脂。

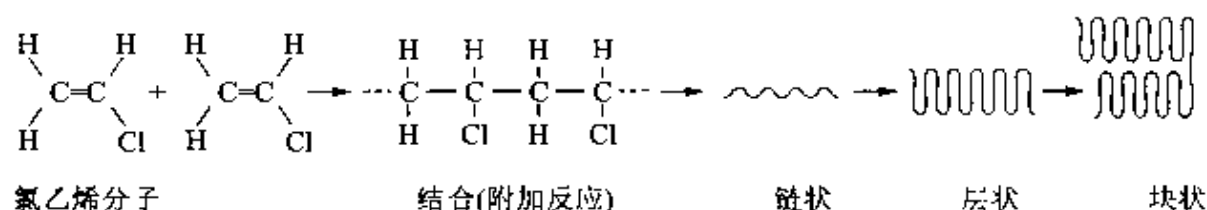


图 4.36 热塑树脂模式图

这种树脂的耐热性差,但在挤压成形和注射成形加工方面有其特点。类似地,还有聚乙烯、聚丙烯、聚丁乙烯及异丁烯等(参见表4.19)。

表 4.19 常见热塑性树脂的特性与用途

塑料名	符号	主要特性	用途
聚乙烯	PE	电绝缘性、耐水性、耐化学药品性	包装材料、玩具、工业纤维
聚氯乙烯	PVC	电绝缘性、耐水性、耐酸性	管材、板、膜、电线绝缘皮
聚丙烯	PP	电绝缘性、耐化学药品性、耐热性	管材、容器、合成纤维
聚丁烯	PS	高频绝缘性,高折射率	光学,电机零件,餐具
异丁烯	PMMA	电绝缘性、耐水性、耐化学药品性	有机玻璃,电绝缘材料,涂料

## ● 热固性树脂

### 酚醛塑料

用来制作饭锅的手柄和电器插座的绝缘体等的是酚醛塑料,

其耐热性和绝缘性好,机械强度也比较高。在分类中称其为酚醛树脂。热固性树脂的结构为立体网格结构,这种结构一旦加热成形之后,即使再加热也不易变软,故称其为热固性树脂。这种塑料的耐热性和耐药性均佳。作为热固性树脂的还有尿素树脂、不饱和聚酯、密胺甲醛树脂、环氧树脂以及硅酮树脂等(见表 4.20)。

表 4.20 常热硬化塑料的特性和用途

塑料名	符号	主要特性	用途
尿素树脂	UF	成型性、耐化学药品性、着色性	漆器、电机零件、杂货
酚醛树脂	PF	机械强度、耐热性、高精度	电机零件、汽车零部件
不饱和聚酯	UP	电绝缘性、耐热性、耐化学药品性	屋顶材料、蓄电池、安全帽
密胺甲醛树脂	MF	机械强度、耐水性	餐具、机械零件、电器具
环氧树脂	EP	对金属黏着性、耐化学药品性	封装半导体器件、黏接剂、涂料
硅酮树脂	SI	电绝缘性、防水性、耐气候性	水中电动机、填料、绝缘材料

### ● 工程塑料

工程塑料的机械强度高,多用于机械和电器零部件以及办公机械中。有代表性的工程塑料包括聚酰胺树脂、聚碳酸酯树脂、聚缩醛树脂、饱和聚酯及变性聚酯等,在这些热硬化性树脂中添加玻璃纤维、碳纤维等增强性材料可以增加其强度,添加氟橡胶则可以增加其缓冲能力。

## □ 相关知识 ● 塑料的成型法举例

塑料可通过添加充填剂、稳定剂、增塑剂以及染料等进行加工成型,常见塑料制品的成型法如下:

- ① 塑料桶:注射成型(向铸模里加压注入,留下注入口痕迹);
- ② 广口容器:压缩成型(模压);
- ③ 细口容器:吹气成型(铸模内吹入空气);
- ④ 塑料管(胎):挤压成型(从芯模中拔出);
- ⑤ 塑料板:辊压成型(用卷轴卷起)。

### ● 单体和聚合体

数百个以上单分子构成的具有重复链状的大分子量的物质称为高分子。此时,称单分子为单体,称高分子为聚合体。常见的高分子材料有天然纸、纤维、合成塑料、化学纤维以及合成橡胶等。

## 17 橡胶与橡胶制品

**要 点** 橡胶的特点是具有弹性,这是橡胶线状高分子物质的特征。橡胶可分为天然橡胶和合成橡胶两种,按用途又可分为用于汽车轮胎、鞋底方面的橡胶,要求具有耐磨性和耐久性的通用橡胶,以及用于耐油、防震、密封等方面的特殊橡胶等。

**解 释** ● **橡胶制造法**

不同成品的工艺有所差异,但大体上都遵循如下工艺:

生胶

① 把橡胶原料切碎,进行素炼,以增加其可塑性。此处所说的原料包括橡胶树分泌的乳白色橡胶液用醋酸凝固成的生胶,以及从石油等提炼合成的橡胶。

② 加入添加剂,进行搅拌混和形成混合橡胶。作为添加剂的有:

充添加剂(碳黑):提高硬度和强度,降低价格;

软化剂(工艺油):提高加工性,使表面光滑;

硫化剂(硫磺、氧化镁):提高橡胶的弹性;

③ 将混合橡胶加热、成形,再加硫制成成品。

● **通用橡胶与特殊橡胶**

通用橡胶用于制造轮胎、传动皮带以及鞋底等,主要为天然橡胶(NR)。与天然橡胶具有同样结构的人造橡胶有甲基丁二烯橡胶、丁二烯橡胶(BR)和丁苯橡胶(SBR)等。特殊橡胶的种类参见表4.21。

表 4.21 特殊橡胶的用途与特征

名称	符 号	用 途	特 征
异丁橡胶	IR	车内胎、软胶管	耐久性
氯丁橡胶	CR	电线绝缘皮,汽车,衬料	耐化学药品性、耐气候性
丁二烯橡胶	NBR	O 圈,印刷辊,燃料管	耐油性
硫化橡胶	T	燃气罐密封料,辊	耐油性、耐气候性
丙烯酸橡胶	AM、ANM	油管,燃气密封垫	耐热性、耐油性
氟化橡胶	FPM	飞机、汽车用管和填料	耐热性、耐油性、价格高
羟基硅橡胶		密封圈,医疗用,电线绝缘	耐热、耐寒、电绝缘性

## □ 相关知识 ● 橡胶的结构

如图 4.37 所示,天然橡胶的原料是由一种称为异戊二烯的分子重复 1000 个以上结合而成的、呈长线状的高分子物质。

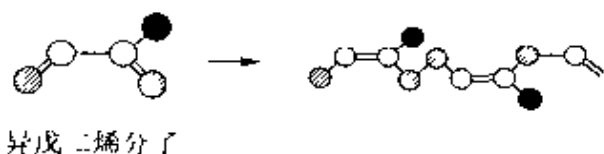


图 4.37 异戊二烯分子的重复

这种结构在低温时会结晶,但温度升高会导致其流动性增加。已成形的产品极易变形和老化。

### ● 硫化

1839 年,哥德伊亚开发出了防止天然橡胶的变形和老化,改善其弹性的工艺。此工艺通过加硫、加热,使分子与分子在硫的作用下联接起来,故称为硫化(参见图 4.38)。经此工艺处理后,橡胶的结构成网状,因分子之间形成的桥状联接而使结点的运动受到限制,可以减少其结晶化和流动性,从而提高了橡胶的弹性。当然,通过添加硫以外的物质和用放射线的办法也能达到在分子间构成桥状,因其原理相同,故都称为硫化法。

硫化

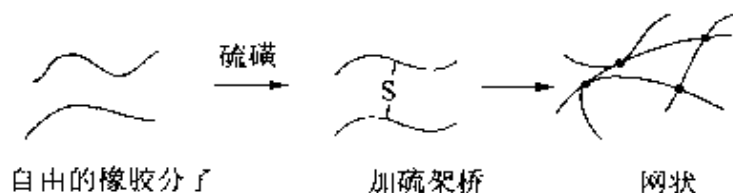


图 4.38 硫化后的变化

### ● 橡胶弹性

如橡皮套,轻微用力即可拉长,而且拉长了几倍之后,松开即可恢复原样。换言之,其弹性模量很小,弹性极限非常大,这样的弹性称为橡胶弹性。

### ● 橡胶的老化

橡胶在使用过程中会变硬或变黏,表面出现裂纹,性质变差,这种现象称为橡胶的老化。

### ● 轮胎色泽

一般来说车胎呈黑色,这是为了提高其机械性质而添加了炭黑的原因。如果需要形成其他色彩,还可以添加二氧化钛(白)及氧化铁(红)等色素。

# 18 黏接剂

## □ 要 点

黏接剂用于黏接物体。黏接剂有糊状淀粉及阿拉伯橡胶等天然黏接剂和合成树脂、合成橡胶等合成黏接剂。在工业上应用中以合成黏接剂为主,主要利用化学聚合或交联反应或溶剂的挥发,多用于汽车、飞机等结构和机械零部件的黏接,也用于多层材料等复合材料的黏接。

## □ 解 释

### ● 黏接剂的特点

黏接与焊接相比有如下优点:

- ① 可黏接异质材料;
- ② 可在常温下使用;
- ③ 可黏接复杂的形状;
- ④ 有良好的封闭(气、水)性。

为了达到上述目的,对黏接剂有如下要求:

- ① 要有流动性;
- ② 用毛细作用使黏接剂渗入到细小空隙(这种性质称为易浸性);
- ③ 涂均后,应固化保持其强度;
- ④ 溶剂无毒性和耐火性。

### ● 黏接剂的分类

黏接剂大体上可分两类,分别是通过溶剂等的挥发、冷却及固化的物理变化过程实现黏接和通过化学反应实现固化黏接。表 4.22 中列出了其他分类方法。

表 4.22 黏接剂的分类

分类名	说 明	身边的例子
溶液型	用溶媒溶解黏接剂	橡胶水
水溶性型	用水溶解黏接剂	浆糊
乳剂型	树脂和橡胶用乳化剂分散	木工用胶
不干胶型	黏接剂(不干)涂抹在结合面上	塑料胶带、玻璃纸胶带
再湿性型	把水溶性黏接剂涂匀后干燥	邮票
复合型	黏接剂和固化剂起反应	快速黏接剂
热熔型	热可塑性树脂溶解使用后再冷却固化	用于书本的简易装订



### ● 工业材料的黏接

金属黏接剂主要用于汽车、航空、宇航等的结构黏接上,要求具有较高的耐热性、耐寒性、黏接性和耐药性,故常用聚酰亚胺树脂和混合聚合物。用于塑料的黏接剂,有涂匀可溶性黏接剂和事先用5%~20%塑料溶于溶剂中的掺杂胶合剂构成的涂匀后进行加压的黏接剂。黏接不熔性材料时,采用热硬化性树脂。黏接木材用黏接剂,在不需耐水性时可使用尿素树脂,而在需要耐药和耐水性时可用醋酸乙烯树脂和酚美树脂,表4.23列出了常用的黏接剂。

表 4.23 常用的黏接剂

黏接剂名称	说明、特征/用途
尿素树脂	尿素与甲醛水溶液里添加氨之后使用的水溶剂,价廉有黏接力,但耐水性差。用于木工用
醋酸乙烯酯乳胶	聚乙烯醇中添加醋酸乙烯酯或根据需要加增黏剂或可塑剂的乳状黏接剂。有黏接力但耐水性差。用于木工、纸、胶合板
氯丁橡胶	氯丁二烯中添加树脂、硫化剂、助剂,把甲苯变成溶液型黏接剂,黏接性强,有毒对环境有害。用于鞋、橡胶、建筑、纤维等的黏接
环氧树脂	分子中有环氧剂的聚合性黏接剂,使用时添加硬化剂,剪切强度高,绝缘性好,耐冲击性差。用于电器、汽车、土木工程等
聚氨基甲酸酯树脂	有氨基醇乙酯聚合性黏接剂,其种类也很多样,有一液型和二液型,多用于电机、建筑、汽车、玻璃
乙烯醋酸乙烯酯聚合物	所谓树脂焊锡,是把热可塑性树脂加热熔融后,冷却固化的办法黏接。多用于标签、制本、汽车、安全玻璃
氰基丙烯酸盐	利用空气中的微量水分进行聚合的黏合剂,以快速黏合而闻名。多用于金属、玻璃等
尼龙·环氧树脂	在热可塑性树脂尼龙中,添加和混合环氧树脂,其特点在于发挥两者优势,属于聚合混合型黏接剂。多用于航空、宇宙、汽车控制装置等结构用零件的黏接上

### □ 相关知识 ● 黏接方法

用研磨等物理方法和去油脱脂的化学方法将接合面处理清洁后进行黏接。

#### ● 有关黏接剂的话题

20世纪70年代出现了人工草坪棒球场。这种人工草坪是应用在混凝土上铺设地毯,再黏接人工草的方法实现的,黏接剂的用量高达10吨以上。保护广岛原子弹爆炸展览馆工程中也使用了等量的环氧树脂。此外,快速黏接剂有时还用于外科止血和术后缝合中。

# 19 涂 料

## □ 要 点

所谓涂料就是某种流动状态的液体,一旦涂在被涂物的表面上就形成均匀的薄膜,通过自然干燥或加热、光照等的作用而固化的材料。涂料能保护被涂物不产生腐蚀和伤痕。除了起美观作用的涂料之外,还有起绝缘作用的特殊功能涂料。涂料在汽车、船舶、桥梁等的结构以及机械类、道路标识、生活相关物质等方面有着广泛的使用领域。

## □ 解 释 ● 涂料的构成

在表面涂上涂料时,涂料液经硬化形成数十微米左右的薄膜,这种膜称为涂膜。表 4.24 所列为涂料成分的分类与构成。

表 4.24 涂料成分的分类

分 类		说明和用例
涂膜成分	涂膜形成主要素	涂膜的主要成分,有油类、天然树脂、合成树脂、纤维素、衍生物等
	涂膜形成副要素	提高涂膜性能的添加剂,有分散剂、可塑剂、干燥剂、硬化剂、增黏剂、增光剂、平滑剂、防霉剂、防剥皮剂、防腐剂、防霉剂、紫外吸收剂等
	颜料	用于着色涂膜的粉末,有氧化钛(白)、铁丹(红)、氧化铬(绿)、青铜粉(绿)等无机颜料和啉啉红、阴丹士林蓝等有机颜料
其他	涂膜形成助要素	用于保持和调整流动性的溶剂和稀释剂,有水、酒精(乙醇)、酯(醋酸乙基)、酮(丙酮类)、烃(甲苯、二甲苯)等

## ● 涂料的分类

不含颜料的涂料是透明的,称为漆或清漆。在清漆中掺和有色颜料就形成了有色油漆,这种有色油漆中的颜料之外的液状成分称之为载色剂,表 4.25 中列出了涂料的分类。

## ● 涂料所要求的各种性质

涂料从作业性、耐久性及安全性等方面考虑应符合如下要求:

- ① 低黏度而高浓度(易于涂,并形成厚膜);
- ② 速干性或低温硬化性(迅速成膜);
- ③ 涂面的平滑性和光泽性(美观成形);
- ④ 涂面具有良好的硬度、附着力、对气候的适应性及耐药性;

清漆  
有色油漆  
载色剂

⑤ 无溶剂或水溶性(对环境和人具有安全性)。

表 4.25 涂料的分类

分 类	名 称	说 明	特 点	用 途	
油性 涂 料	调合油漆	把颜料溶于熟炼油中	价廉	结构物	
	油性清漆	加热树脂和干性油后溶于松节油中	坚固	建筑装修	
	油性油漆	把颜料溶于青漆中	价廉、光泽	铁、钢制品	
	防锈漆	把防腐漆溶于熟炼油中	耐酸	船舶	
	铝涂料	把氧化铝粉溶于油性清漆中	耐久	结构物	
纤维 素 涂 料	拉克漆	硝化绵中添加树脂然后溶剂溶解	速干	机械	
	瓷漆	把颜料溶于拉克漆中	速干、光泽	车辆	
	快干拉克漆	合成速脂溶于拉克漆中	气候适应性强	车辆、机械	
合 成 树 脂 涂 料	溶 剂 系	醇醇树脂涂料	用油把聚酯等加以变性	气候适应性强、硬度高	车辆、船舶
		氨基醇酸树脂涂料	三聚氰氨、醇酸树脂混合	速干、光泽、气候适应性强	车辆、机械
		乙烯树脂涂料	氯乙烯或醋酸乙烯	速干、气候适应性强	混凝土
		环氧树脂涂料	环氧树脂中加硬化剂后低温加热	耐化学药品、耐磨	车辆底盘
		氨基甲酸酯涂料	二异氰醇盐与多价乙醇树脂	耐化学药品、硬度	地板
	水系	浮化漆	醋酸乙烯和乳状丙烯树脂颜料	气候适应性强、耐化学药品	木工制品
	无溶 剂系	静电吹着涂料	氨基树脂、丙烯树脂粉+颜料	耐火、坚固	铁钢制品
交通油漆		氯化乙烯树脂+颜料+玻璃珠	速干、耐磨	道路表示	

### ● 涂液的固化与干燥

涂液经干燥、固化而成涂膜。干燥有两种：一种是像拉克漆和青漆一样，涂液中的溶剂挥发后的干燥，此时剩下的成分失去流动性成为涂膜，虽然是速干，但再添加溶剂则可还原成涂液；另一种是由合成树脂等经过聚合、交联等化学反应的干燥，此时成为高分子物质，已失去流动性，这种反应一经固化再不能还原。

## □ 相关知识 ● 与涂料相关的用语

热炼油  
底漆  
表漆  
上光漆

把亚麻油或大豆油加热至  $200^{\circ}\text{C}$  左右,吹入空气中使其干燥,这种油称为热炼油;用于加速涂料中油的氧化干燥的铅化合物等添加剂称为干燥剂。此外,汽车喷漆中的度油涂料称为底漆,中间用涂料称为表漆(或封闭油),最后喷的漆称为上光漆。

### ● 特殊涂料(高性能涂料)

涂料除了保护和装饰两大功能之外,还可满足多种需求和目的,这种涂料称为特殊涂料。如萤光涂料(钟、表、文字)、太阳光吸收涂料(太阳电池)、紫外线吸收涂料(玻璃窗)、光电导涂料(复印机辊)、绝缘涂料(漆包线、线圈)、电磁波封闭涂料(电子工业)、磁性涂料(卡片、硬盘类)、耐热涂料(暖风机、回气管或食筒式消声器)、防火涂料(车辆、建筑)、隔音涂料(汽车)、防贴纸涂料(电柱)、防滑涂料(道路)、重防蚀涂料(桥梁)以及自洁涂料(调理机库内)等。

### ● 含金属涂料与珍珠皮涂料

在 20 世纪 60 年代,汽车工业中出现了含金属涂料,这是一种颜料、树脂及氧化铝混合起来的涂料。由于氧化铝粉的反射性好,因此,利用它与抛光剂面的双层反射可显出其深度(参见图 4.39(a))。另外,有种类似萤火虫对不同的角度反射光起变化的涂料叫珍珠皮涂料,这种漆的特点是在彩色底中加入了云母片,由于云母片的重复折射,反射性强,即使油漆被盖住,对透过的光也可产生反射(参见图 4.39(b)),如同珍珠般闪烁发光,故取名为珍珠皮涂料。

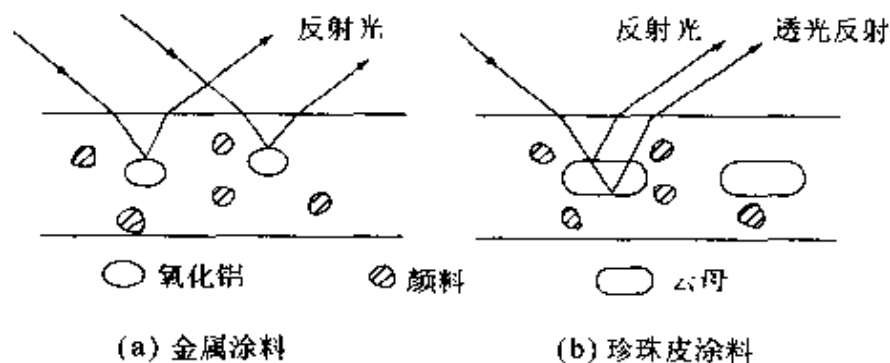


图 4.39 含金属涂料与珍珠皮涂料的特点

## 20 陶 瓷

**要 点** 用黏土、长石及硅砂等天然矿物成形,经高温处理后制得的瓷器、耐火材料、珐琅、玻璃、水泥等烧窑制品通称为陶瓷。陶瓷的特点是有很好的耐热、耐腐及耐磨性。

**解 释** ● **陶瓷的特点**

陶瓷包括单晶体、玻璃及烧结体等,它们之间有细微的差别,其特点可归纳如下:

- ① 坚硬、不易磨损、有耐久性和耐蚀性;
- ② 耐火性强、热传导率低且隔热性强;
- ③ 弹性模量大而脆。

● **水泥的制造方法**

水泥

有人说用于建造埃及金字塔的石膏与石灰石是水泥的起源。此话不错,因为水泥的原料就是石灰石、黏土及硅砂。把这三种原料以一定比例混合之后,加热至  $1500^{\circ}\text{C}$  左右的时候,就可生成熟料。在熟料中添加促进水凝化的石灰,再进行混合粉碎,即制得硅酸盐水泥。这种水泥用砂子为骨材可制成混凝土,用作结构材料。若作为骨材的砂粒的粒径为  $5\text{mm}$  以下则通常称为灰泥,常用于机械类的安装中。混凝土有很强的抗压性,但其拉伸强度只有抗压强度的  $10\%$ 。为了增加拉伸强度,可加入钢筋构成钢筋混凝土。不过,这种混凝土不可能在短时间内硬化,需要防冻和干燥数日,此过程称为养生期。图 4.40 所示为水泥的制造工艺流程。

混凝土

灰泥

钢筋混凝土



图 4.40 水泥制造工程

● **其他陶瓷制品**

除了水泥之外,还有如下陶瓷制品:

① **陶瓷器** 在黏土中混入长石等媒溶性原料,为了调节强度和收缩率,可再加入硅石等进行混合而构成原料,再经高温烧结就形成了陶瓷器。陶瓷器可分土器、陶器和瓷器。

## SK 值

② **耐火材料** 耐火材料是以氧化镁、氧化铝及白云红等为原料制成的材料,这种材料在  $800^{\circ}\text{C}$  以上的高温中不会熔解,且有足够的机械强度和耐蚀性,如耐火砖、耐火水泥以及坩埚等。这些耐火材料主要用于窑炉。耐火砖的耐火度用 SK(赛氏测温熔锥)值表示,从  $600\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ,共有 59 种之多。

③ **隔热材料** 根据使用温度,隔热材料从低温到高温可分为保冷、保温、隔热以及耐火隔热等多种。隔热材料要求具有耐久性和耐蚀性,因此,需用添加硅藻土等方法形成多孔形,或添加导热系数小的玻璃纤维(玻璃棉)或石棉等。

④ **珐琅** 珐琅实际上是掩盖或修饰金属表面的玻璃性物质,可分为铁珐琅、铜珐琅及铝珐琅等。通过珐琅的修饰可得到金属的坚固和玻璃的耐蚀、耐热性的双重效果,是从古至今一直沿用的一种金属表面处理方法,也是一种复合材料。珐琅多用于耐酸装置、耐热部件、排气管、建筑用表盘以及浴盆(槽)等。用金、银、红铜等装饰的八宝箱也是一种珐琅制品。

## 研磨用砂布

⑤ **研磨料** 磨料是指磨石和砂布(纸)等。人工磨石有以氧化铝、碳化硅磨料与克苯特酚树脂烧结而成的克莱特磨石。研磨用砂布(参见图 4.41)是把氧化铝、碳化硅颗粒用静电涂装法(参见图 1.42)等黏接在布(纸)等基础材料上制成的。其中颗粒的粒径称为粒度, #240 表示粒径为  $80\mu\text{m}$  左右, #1000 表示粒径为  $16\mu\text{m}$ 。总之,粒径越小砂布的牌号越大。

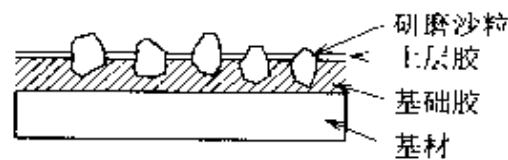


图 4.41 砂纸的截面

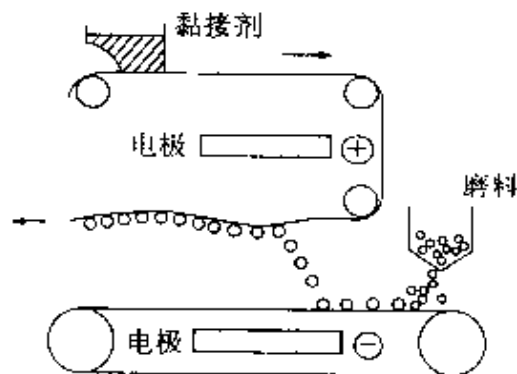


图 4.42 静电胶黏

## 相关知识 ● 新陶瓷

相对于传统的陶瓷,将合成氧化物、氮化物及碳化物的高纯度微粒子用高温加热处理而得到的制品,称为新陶瓷或豪华陶瓷。这些新陶瓷广泛用于切削刀具、机械零部件、光通信等电子工业领域和人造骨等医疗领域,也广泛用于日用品的制造领域。



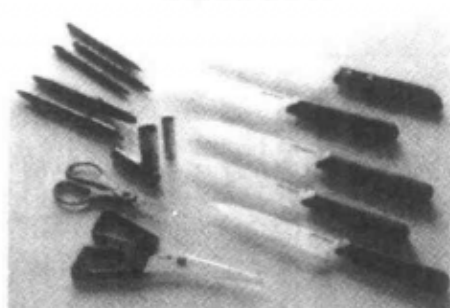
(a) 人工关节



(b) 泵阀零件



(c) 切削刀具



(d) 日用品



(e) 发动机零件

图 4.42 新陶瓷的使用例

## ● 宇宙飞船

在 20 世纪 80 年代,宇宙飞船被成功地送上了天空,这应归功于包住船体的三万多片船体耐热瓷砖。这种瓷砖经受住了宇宙空间的极低温( $-150^{\circ}\text{C}$ )和冲入大气层时的高温( $1600^{\circ}\text{C}$ 以上)的考验。

# 21 玻璃

**要 点** 把硅元素和金属氧化物用高温熔解之后使其在不结晶状态下冷却、固化所得到的称为玻璃。一般来说,玻璃的特点为透明、坚硬,化学性质稳定,且有绝缘性,常用于窗户玻璃、瓶、灯泡、理化仪器以及隔热材料中。

**解 释** ● **玻璃的原料**

玻璃是由图 4.43 所示的主要原料和辅助原料制成的。

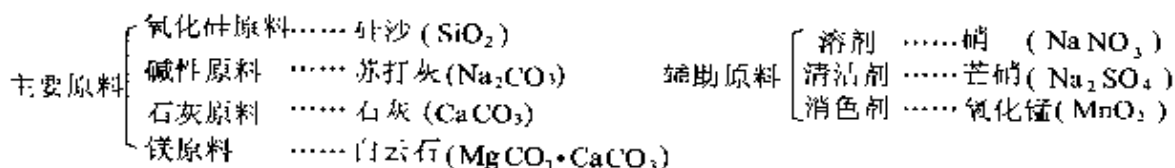


图 4.43 玻璃的原料

## ● 玻璃的种类与用途

如表 4.26 所示,玻璃中有以氧化硅为主的硅酸盐玻璃(苏打灰玻璃、铅玻璃)之外,还有硼硅酸盐玻璃(硼硅酸盐玻璃、氧化铝硅酸盐玻璃)、磷酸盐玻璃,以及只有硅酸盐单一成分的石英玻璃。

表 4.26 各种玻璃的成分与用途、特点

名称	主要成分	特点	用途
苏打石灰玻璃(软质玻璃)	$\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$	价廉	板、瓶、灯泡
铅玻璃	$\text{SiO}_2$ 、 $\text{PbO}$	低软化点 高折射率	电气、光学、工艺
硼硅酸盐玻璃	$\text{SiO}_2$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$	耐热、耐药	温度计、理化学
氧化铝硅酸盐玻璃	$\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$	高软化点	高压荧光灯
石英玻璃	$\text{SiO}_2$	耐热性	光学镜头

## ● 玻璃板的制造

玻璃的性质因其组成成分不同而异。玻璃的组成原料包括主要原料硅砂、苏打灰、石灰石以及硝石、芒硝等调节原料。这些原



批料

料的组合称为批料(batch) 将上述原料放入窑中,加热至 1550℃ 左右,成为均匀熔液并浮在锡等熔融金属上,使其成为均匀平滑面后慢慢冷却,再洗净、切断(参见图 4.44)。这种工艺称为浮法工艺,利用此工艺可制成平滑而长的玻璃。

浮法工艺

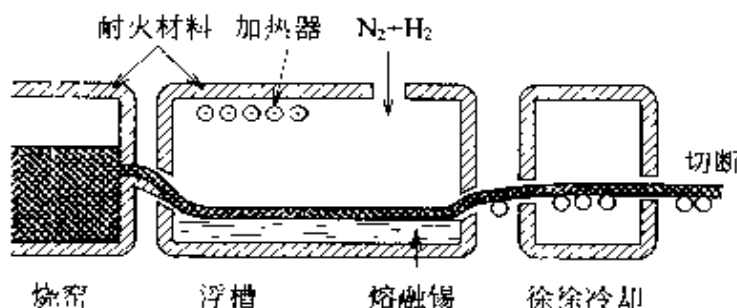


图 4.44 浮法制造工艺流程

### ● 玻璃瓶的成形法

把从窑中挤出的熔融玻璃用切断器切断后的材料块称为熔融玻璃块。将熔融块放入铸模,从下方吹入空气以后旋转,再从上方吹入空气,移到吹风模中,半旋转后再从上部吹进空气,成型后剥离铸模。这种制瓶工艺称为双吹工艺(参见图 4.45)。

双吹工艺

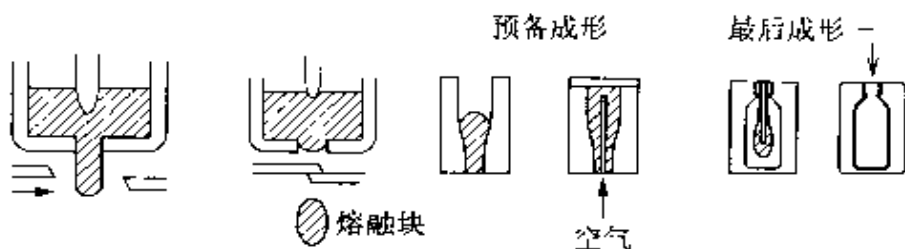


图 4.45 双吹法工艺流程

## □ 相关知识 ● 玻璃工业用语

在玻璃制造业中,常用到下列用语:

① 失透 组成玻璃的成分中有一部分结晶,分离析出,所制得的玻璃失去其应有的透明度。

② 澄清 指消除熔融状态玻璃中的气泡作业。气泡的直径大于 1~2mm 为浮泡,小于 1~2mm 的为细泡,加入硫氨可促进气泡清除业。

③ 熔剂 指缩短熔融时间的添加剂。

④ 乳浊剂 指把玻璃变成乳白色的添加剂,乳浊度高的添加

剂为蛋白石,乳浊度低的为蜡石。所用的添加剂有萤石、冰晶石及骨灰等。

〔5〕 **消色剂** 氧化锰可用作消色剂。在氧化硅原料中,氧化铁呈蔚蓝色,此时可以用氧化锰消色。

〔6〕 **碎玻璃** 指破损、变形以及边角余料玻璃,这种碎玻璃可用于防止原料的失散和降低熔点,也可以增加机械强度。

## 22 复合材料

**要 点** 如同玻璃纤维和塑料、钢筋与水泥,这种性质不同的材料组合而得到的材料称为复合材料。利用材料的复合可得到单一材料所不及的特性。

**解 释** ● **复合方法**

若将工业材料分成三大类,可以有如表 4.27 所示的组合形式。

表 4.27 复合材料的组合

		金 属	塑 料	陶 瓷
母 材	金属	电镀钢板	镶板	珐琅
	塑料	纤维强化塑、塑料草衣	人造革、复合胶片	纤维强化塑料合成铜石
	陶瓷	防护玻璃、钢筋混凝土	合成玻璃 陶塑混凝土	玻璃纤维混凝土

在材料组合时,主要的材料称为母材,以强化和充填为目的而添加的物质称为分散质,其复合方法有如图 4.46 所示的干式层积、湿式层积、混合及含浸等方法。

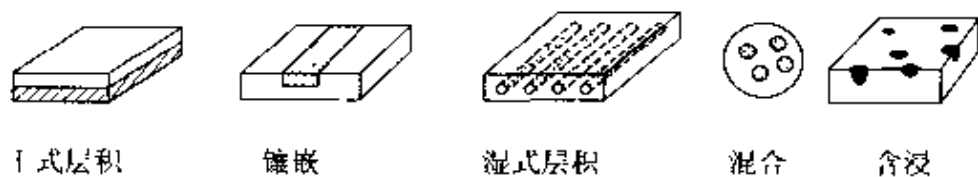


图 4.46 工业材料的复合法

### 金属包层

① **干式层积** 利用将板或卷板用黏接剂叠层黏合的办法,可层压箔片或叠层玻璃等。当把金属面之间用压力或加热接合形成的板称为**金属包层**(clad),结合又可分为整个面之间接合的覆盖式和部分面接触的镶嵌式。

② **湿式层积** 在形状整齐分散质上涂以液体母材的积层方法称为湿式积层。纤维强化塑料、纤维强化橡胶及防震玻璃等的制造均采用湿式层积法。

③ **混合** 把粒子、小片及液体等混合后,进行加热处理的方法称为混合法,如制造纤维层压板、聚合物混合体和金属陶瓷等。

④ **浸入** 在多孔质母材里浸入分散质的方法称为浸入复合法。在多孔质金属里浸入润滑油的油浸金属和在混凝土里浸入塑料的聚合含浸混凝土都属于此类。

● **粒子强化与纤维强化**

添加碳的橡胶可提高其硬度、强度及耐磨性,这种强化叫作粒子强化。另外,若将轮胎的纱绒层用纤维进行强化,则可提高其拉伸强度,这种强化称为纤维强化。纤维强化法还可分为斜线交叉法和平衡放射线法(参见图 4.47)。

斜线交叉法  
平衡放射线法

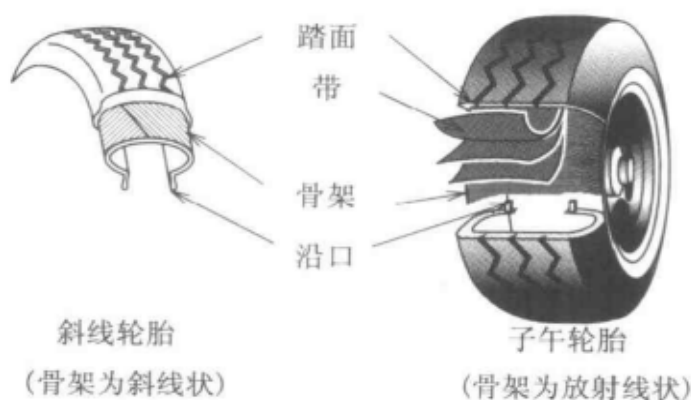


图 4.47 斜线轮胎和子午轮胎的截面图

● **FRP**

为防止塑料老化可用玻璃纤维或碳素纤维来提高其强度而构成的复合材料称为 FRP。由于这种材料既轻强度又高,多用于飞机、宇宙飞船、储水槽以及安全帽等,但其耐热性稍差。

● **其他复合材料**

① **FRM** 这是一种用纤维强化金属材料的复合材料,即用有耐热性的陶瓷去增强金属的高温耐热性。FRM 是铝合金与陶瓷的复合体,常用作宇宙飞船的耐热材料。

② **金属陶瓷** 此为利用金属微粒和陶瓷微粒加以混和烧结的复合物,其特点是即有金属的韧性、导热性又有陶瓷的耐热和耐磨性,常用于轴承、切削刀具以及火箭喷口等耐高温零部件中。

③ **聚合物混合体** 把多种塑料的聚合物像合金似地加以混合,得到单一材料所没有的特性的—种复合材料。例如,聚酰胺树脂和聚苯醚的混合体可大大提高耐冲击性,故常用于车体的装饰材料。

④ **复合玻璃** 一种把塑料板夹在玻璃板之间而压黏成形的复合玻璃。由于这种材料即有抗冲击性,且破损后碎片也不会飞散,故常用作汽车玻璃。

## 23 功能材料

**要 点** 与结构材料不同,功能材料所追求的是强度以外的其他性质,这种材料在电磁、光、热等作用下起特殊变化。

**解 释** ● 功能材料应具备的性质

根据不同需要,功能材料应具有很好的性质,如耐热性、耐腐蚀性、耐磨性、电磁屏蔽性、导电性以及放热性等。功能材料中还包包括半导体材料、磁性材料、形状记忆合金及超导材料等新材料与尖端材料。现有的弹簧钢、耐热合金、耐蚀合金、易切削钢以及高速工具钢也属于功能材料。另外,还有原本作为门窗材料的结构材料,若再将其用于光纤维时就属于两者兼备的材料了。图 4.48 所示为材料之间的关系图。

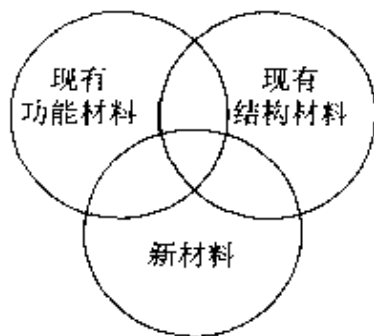


图 4.48 功能材料、结构材料及新材料之间关系

● 发挥材料特有的特性——各尽所能

不同物质有不同的物理和化学等特有性质,使用材料时应注意利用其特点,以下举例说明。

① 导电性能好的金属用作电线,导电性能差的高分子化合物用于电线的绝缘外皮材料,导电性能介于上述二者之间的材料可用作电炉丝等发热体。此即对物质原来的特性加以利用的例子。

② 在钢里添加硅而构成的高弹性材料可用于制造弹簧;添加铬的钢可用于耐腐材料;添加硫有意脆化的钢可用做易切削钢。此外,生胶上添加少量硫可增加其弹性,用于轮胎。加硫量大的硬质橡胶用于绝缘材料。这类材料属于改变了成分的功能材料。

③ 陶瓷和金属的热处理等是为了改变其组织。

④ 在绝缘性能好的塑料板上粘合导电性良好的铜箔而制成

的线路板,是通过将不同的材料加以复合而制成的功能材料。

### ● 新材料与尖端材料

新材料  
尖端材料

所谓新材料或尖端材料就是充分改善原有的材料的特性,得到的具有新的功能与性质的材料。

表 4.28 典型的功能材料

名称	说明	用途
超塑性合金	用微小力可使其如同橡胶一样伸长数倍	真空成型用的复杂形状产品
形状记忆合金	即使发生塑性变形(弯折、拉伸)但加热即可复原	测温元件、衬底
超导材料	无电阻、迈斯纳效应,有约瑟夫森效应	磁铁、储电
吸振合金	吸收振动后将能量转变成热能	机械、工具的减振器
耐蚀合金	低碳钢中添加 Ni, Cr, Mo 的超级不锈钢	耐海水器具
吸氢合金	按体积比,可吸收 1000 倍左右的氢	燃料存储、氢存储与精制
非结晶合金	非晶体,具耐蚀性、高高磁率	纤维、变压器
半导体	电流只能顺向流动	集成电路
液晶	通过改变电压改变其透光性	液晶屏幕
压电元件	施加压力产生电压,施加电压则产生变形	炉具点火器、声纳
光纤维	可在数百公里之间进行通信,光信号损失小	通信光缆
人造骨	成型、加工方便,对人体的适应性好	外科手术

部分新陶瓷或新合金材料如表 4.28 所示。这些新材料中,有些材料在研究开发后很快就得到利用,而有些材料因性能的稳定性、生产技术、经济性及用途等多方面的原因,虽然已开发了多年,但仍未实用。

**形状记忆合金** 此类材料有 Ni Ti 系列和 Cu 系列。其中,镍钛形状记忆合金是人们所熟知的。由螺旋管形记忆合金和弹簧联接组成的镍化钛形状记忆合金元件作为动作器件(参见图 4.49),用于空调的冷暖风方向设置和电饭锅的温度调节等。另外,因为这种合金弯曲成大曲率圆形也不会折断,并可以恢复原来的形状,因此,可应用在眼镜框或不变形胸罩等产品中。

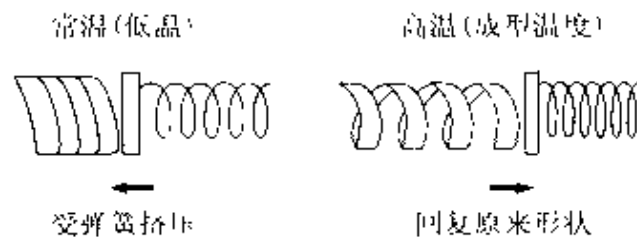


图 4.49 作动器原理图

**吸氢合金** 此类合金有 Fe-Ni 系列、La-Ni 系列和 Fe-Ti 系列等。此类合金可把氢作为氢化物固溶在结晶体内,并可在周围无氢时释放出来。

**光纤** 是一种直径为数十微米的硅系玻璃线,可传送波长为  $1\mu\text{m}$  左右的光,且在  $1\text{km}$  内信息损失不到 5%,所以可极大地提高信息的传递能力。



## 24 电磁材料

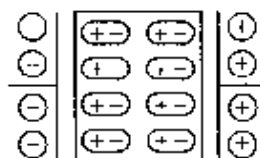
**要 点** 利用电特性和磁特性的功能材料称之为电磁材料。这些材料广泛用于导体、绝缘体、感应(介电)体、半导体及磁性体等方面(参见表 4.29)。

表 4.29 电磁材料及其应用

特 性	用 途
导体	电线、电话线、导线、接点、热电偶
半导体	二极管、三极管、集成电路、激光、太阳能电池、发光二极管、各种传感器
绝缘体	电线绝缘外皮、绝缘电瓷
感应体	电容器、扬声器、电子点火器、切换器、超声波诊断器
磁性体	电动机、发电机、变压器铁芯、磁流体密封材料、永久磁铁

**解 释** ● 导体、绝缘体及介电体

导电率的好坏是用电阻率(单位为  $\Omega \cdot m$ )来表示的。电阻率较小的材料称为**导体**,电阻率很大的不导电材料称为**绝缘体**。铜( $0.016\mu$ )和铝( $0.024\mu$ )作为导电材料使用, $1\mu$ 左右的铬镍可用作克劳曼尔电热线, $10^6$ 左右的硅和锗常作为半导体材料使用,瓷( $10^{12}$ )、橡胶( $10^{13}$ )和云母( $10^{14}$ )则用作电气绝缘用的瓷瓶和导线绝缘皮材料。如图 4.50 所示,将绝缘体夹在导体之间可构成电容器。在电容器上施加电压时,由于静电压的作用可以存储电荷。用于此目的的绝缘材料为**介电材料**。根据种类可将电容器分为云母电容器、陶瓷电容器和油电容器等。



感应分极

图 4.50 电容器原理

● 半导体与二极管

在常温下,绝缘体硅被加热时电阻率下降,成为导体,称为真

性半导体。如果在 99.999999% 的纯硅上添加微量元素, 则得到不依赖于温度的半导体, 称为化合物半导体。半导体本身可分为两种, 一种是 5 价元素的电子过剩的 n 型 (negative) 半导体, 另一种是添加了 3 价元素的 p 型 (positive) 半导体。将这两种半导体接合起来就构成了二极管, 这种二极管具有不遵循欧姆定律的特点 (参见图 4.51)。

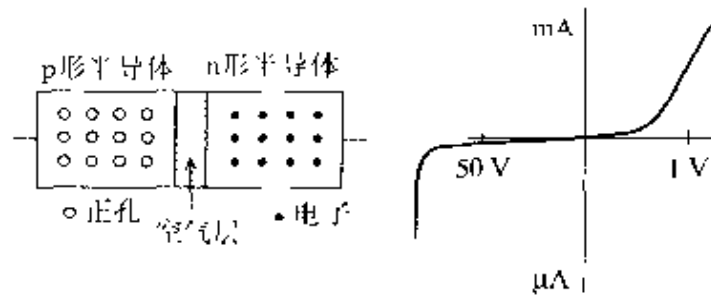


图 4.51 二极管与特性曲线

### ● 三极管与集成电路

如图 4.52 所示结构的半导体器件称为晶体管。因为三极管具有电流放大作用, 最初被用于袖珍收音机上。

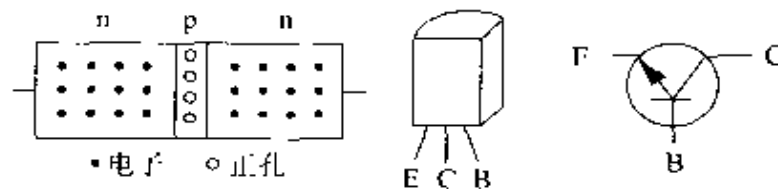


图 4.52 晶体管构造与符号

在硅片上利用照相和气相反应技术, 将半导体、导体及绝缘体层积至薄膜, 一并形成晶体管和电阻等各种电子元件, 以此方式集成制作的线路板称为集成电路 (IC)。具有 200 以上的元件可以用微米级的精度制造出来, 有些大规格集成电路甚至在数毫米尺寸的芯片上集成了 500 万个以上的电子元件。

### ● 磁铁与铁芯

铁和镍等材料容易被磁场所磁化, 磁化强的物质称为强磁性材料。强磁性材料还可分为两类。其中一种, 一旦被磁化后, 即使离开磁场也能继续保持磁性的保磁力大的材料, 称为永磁材料, 如铅镍钴永磁铁 (商品名 Al-Ni-Co 系列) 和钡氧磁铁 (BaO)

强磁性材料  
永磁材料

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 常用于扬声器和电动机中

还有一种磁性材料, 随着磁场的消失会很快地失去磁性, 称为软磁性材料。如电磁钢板(硅钢片), 常被用于电动机和变压器的铁芯上, 高导磁铁镍合金(商品名 Ni Fe 系列)常用做磁屏蔽和磁头及各种铁芯等

## 第5章

# 机械设计与制图

在制造机械产品时，机械的性能及其安全性、耐久性和经济性等，是在设计中必须要考虑的条件。设计师利用设计图向制造者表述其设计思想，因此，设计图不能随意勾画，其图面必须符合统一标准，以使每个人都可以读懂。

本章将介绍在机械设计时必须掌握的基本知识，也提醒读者在今后的工作中要逐步掌握和积累JIS（日本工业标准）标准和其他资料所介绍的相关技术。

● 责任编委

稻刈辰夫

● 执 笔

桥本广明(1~10)

丰田善敬(11~20)

# 1 螺 栓

## □ 要 点

沿着圆柱面制成连续或沟槽的零件称为螺栓,其凸峰称为螺纹,相邻螺纹之间的轴向距离称为螺距(参见图 5.1)

螺栓广泛应用于机械零件的连接、固定以及调整距离、动力传动等。

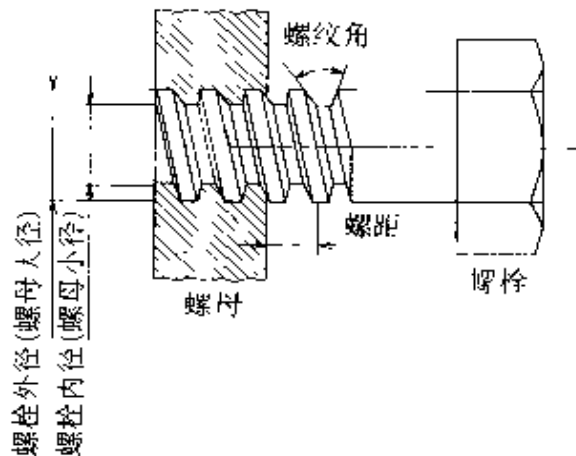


图 5.1 螺栓各部尺寸

## □ 解 释 ● 螺栓直径(外径)

受轴向拉伸载荷  $W$  (N) 时,螺栓的许用应力为  $\sigma_s$  (MPa),则螺栓的直径为

$$d = \sqrt{\frac{2W}{\sigma_s}} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

同时受轴向和扭转载荷时 同时受轴向和扭转载荷时,扭转载荷引起的应力相当于正应力的 1/3,因此螺栓的直径  $d$  为

$$d = \sqrt{\frac{8W}{\sigma_s}} \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

受剪切载荷时 螺栓受剪切载荷  $W$  (N) 时,许用剪切应力为  $\tau_s$  (MPa),则螺栓的直径为

$$d = \sqrt{\frac{4W}{\pi\tau_s}} \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

## ● 螺纹数和旋合段的长度

若螺栓和螺母旋合的螺纹数用  $Z$  表示,设螺栓的外径为  $d$  (mm)、螺母的内径为  $D$  (mm)、螺纹的许用接触面压力为  $q$  (MPa)

时,则 $Z$ 可用下式表示:

$$Z = \frac{4W}{\pi q (d^2 - D^2)} \quad (1)$$

表 5.1 螺纹的许用接触面压力

螺纹材料		$q/\text{MPa}$	
螺栓	螺母	连接用	传动用
软钢	软钢, 黄铜	30	10
硬钢	软钢, 黄铜	17	13
软钢	铸铁	15	5

(摘自:新机械工便覧,理工学社)

若假设螺距为 $P(\text{mm})$ ,则旋合段的长度 $L$ 可由下式计算:

$$L = \frac{4WP}{\pi q (d^2 - D^2)} \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

## 相关知识 ● 防止螺钉松动

拧紧的螺钉会因振动等原因而松脱,因此通常要采用防松措施(参见图 5.2~图 5.4)。

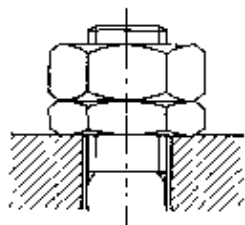


图 5.2 双螺母防松法

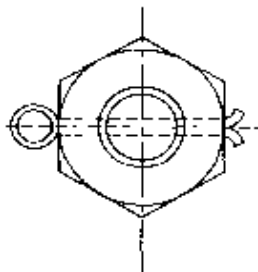


图 5.3 开口销防松法

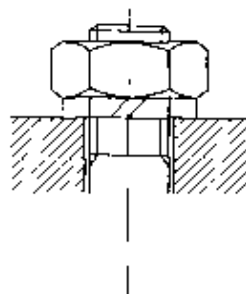


图 5.4 弹簧垫圈防松法

## 例 题

计算如图 5.5 所示的可以起吊 19.6 kN 重的起重吊钩的螺纹部的(公制标准螺纹)直径。吊钩的许用应力为 $\sigma_s = 48\text{MPa}$ 。

答] 由式(5.1)得

$$d = \sqrt{\frac{2W}{\sigma_s}} = \sqrt{\frac{2 \times 19600}{48}} = 28.6(\text{mm})$$

根据 JIS B0205 标准,应选 M 30。

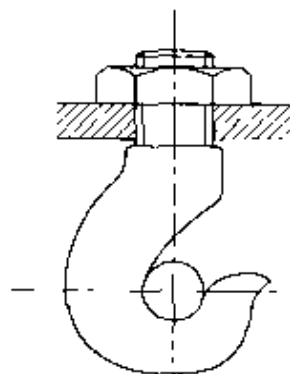


图 5.5

## 2 铆钉连接

**要 点** 铆钉连接是指先在被连接的板上打孔并插入铆钉,再用铆机紧密铆接的连接方法。

从结构上可将铆钉连接分成以下几类(参见图 5.6):

① 搭接:两板搭接;

② 对接:包括单盖板对接和双盖板对接。

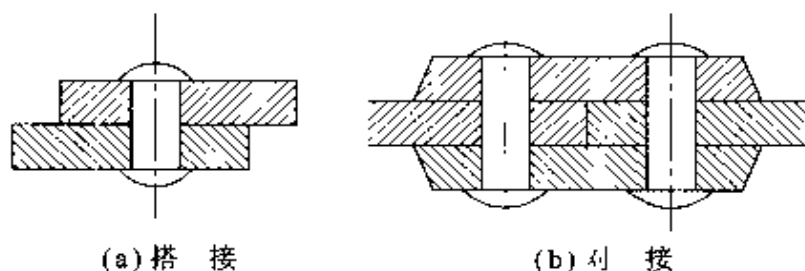


图 5.6 铆钉连接

**解 释** ● 铆钉间距  $p$

为了使连接处不产生泄漏,最大间距  $p_{\max}$  应满足:

$$p_{\max} \leq ct + 42(\text{mm}) \quad (1)$$

其中的  $t$  为板厚,  $c$  为系数(参见表 5.2)。

表 5.2 决定最大间距的系数  $c$

最大间距内铆钉个数	搭 接	对 接
1	1.30	1.75
2	2.60	3.50
3	3.15	4.60
4	4.15	5.50
5		6.00

从施工角度考虑,最小间距  $p_{\min}$  应满足:

$$p_{\min} \geq 2.5d(\text{mm}) \quad (2)$$

其中的  $d$  为板的孔径。

● 铆钉排列间隔  $e$

① 若  $p/d \leq 4$

长方形排列时  $e \geq 2d$  (mm) (3)

圆周形排列时  $e' \geq 1.7d$  (mm) (4)

2. 若  $p/d > 1$

$e \geq 2d + 0.1(P - 1d)$  (mm) (5)

### ● 板的厚度 $t_0$

对接双盖板的最小厚度为

$t_0 = 0.6W + 2$  (mm) (6)

对接单盖板的最小厚度为

$t_0 = 1.2t + 2$  (mm) (7)

## □ 相关知识 ● 铆钉连接的失效

铆接受拉伸载荷  $H'$  时,有以下失效形式:

1) 铆钉剪断失效

$H' = (\pi/4)d^2\tau$  (N) (8)

2) 板剪断

$H' = 2et\tau'$  (N) (9)

3) 铆钉孔间板剪断

$H' = (P-d)t\sigma'_0$  (N) (10)

4) 铆钉和孔挤压

$H' = dt\sigma_c$  或  $H' = dt\sigma'_c$  (N) (11)

5) 铆钉和板端部的龟裂

$H' = \frac{\sigma'_0 t (2e - d)}{3d}$  (12)

这里,  $d$  为孔径(mm),  $\tau$  为剪应力(MPa),  $\sigma_0$  为拉应力(MPa),  $\sigma$  为压缩应力(MPa),  $\sigma_0$  为弯曲应力(MPa),带“的项是板的参数,不带”的为铆钉的参数。

## ■ 例 题

在图 5.7 所示的单列搭接中,计算铆钉能承受的载荷。铆钉孔直径  $d = 19\text{mm}$ ,铆钉的许用剪应力  $\tau_s = 70\text{MPa}$ 。

答 根据式(5.12),有

$$H' = (\pi/4)d^2\tau_s = (\pi/4) \times 19^2 \times 70 = 1.98 \times 10^4 \text{ (N)}$$

因为铆钉数为 2 个,故

$$H' = 2 \times 1.98 \times 10^4 = 3.96 \times 10^4 \text{ (N)}$$

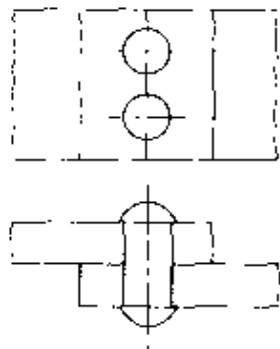


图 5.7



## 3 焊 接

### 要 点

焊接是把被连接金属加热到熔点以上使其永久连接的方法。焊接方法自古就有,而现今的焊接技术更有显著提高,在机械零件和构件造船等方面应用十分广泛。

### 解 释 ● 焊接接头的种类

焊接接头的基本形式如图 5.8 所示。

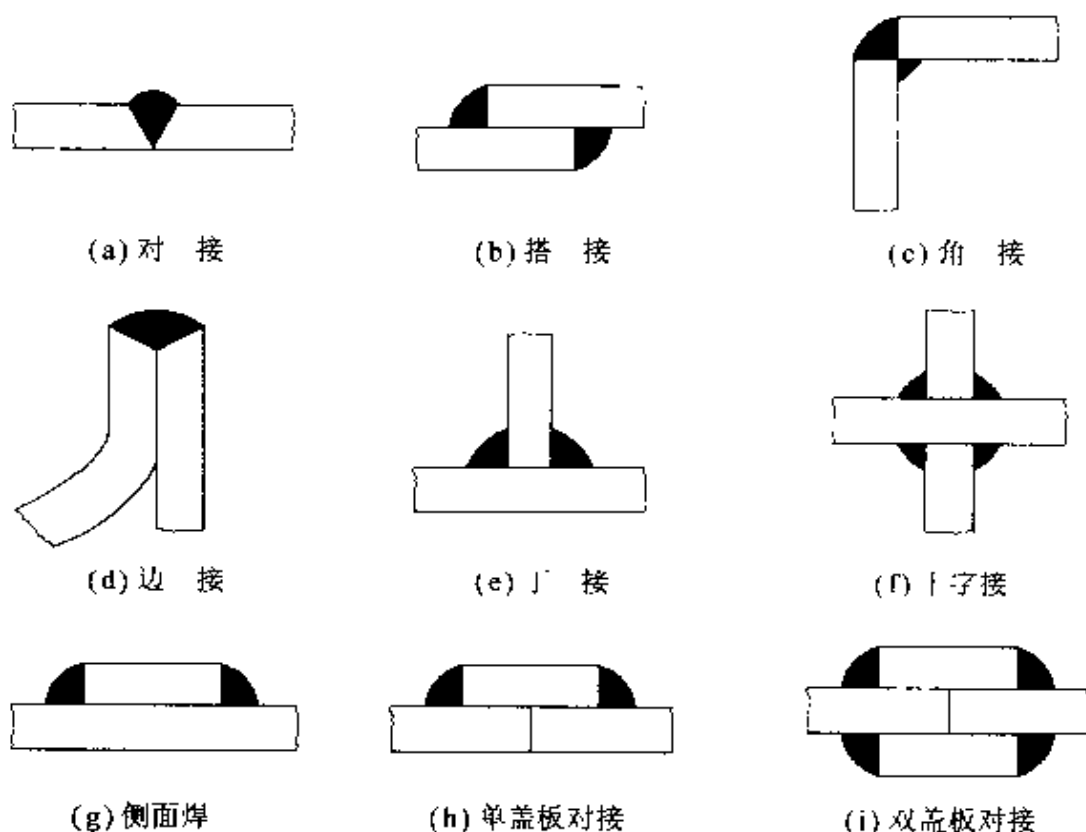


图 5.8 焊接接头种类

### ● 接头坡口形状和焊缝形状

坡口

坡口是“为了使接口完全熔接,而将接头加工成各种形状的坡口”(参见图 5.9)。

焊缝表面的种类如图 5.10 所示。

### 相关知识 ● 焊接头的强度

焊接头的强度计算一般不考虑冒出焊缝,属于保守型的安全计算。焊接头的强度一般优于铆接,但焊接部位的温度高,可能引

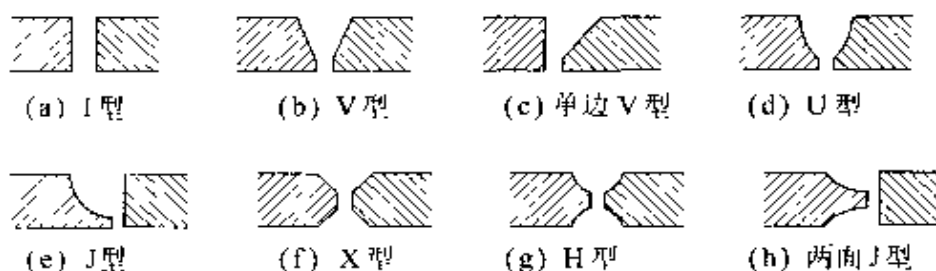


图 5.9 坡口种类

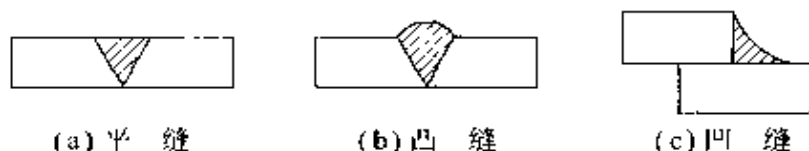


图 5.10 焊缝形状的种类

起机械性质恶化。

现在,假定焊接头的长度为  $l$  (mm),接头的有效长度为  $l_n$  (mm),母材的厚度为  $\tau$  (mm),焊缝厚度为  $a$  (mm),载荷为  $W$  (N),扭矩为  $M_b$  (N·mm),截面系数为  $Z$  (mm<sup>3</sup>),则接头的正应力  $\sigma$ 、剪应力  $\tau$  及弯曲应力  $\sigma_b$  可由下式计算(参见图 5.11):

$$\sigma = \frac{W}{al_n} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{W}{al_n} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

全周焊接

这里,  $l_n$  为接头的有效长度,在全周焊接中  $l_n = l$ ,其余均为  $l_n = l - 2a$ ,且必须有  $l \geq 50\text{mm}$  且  $l \geq 6a$ 。

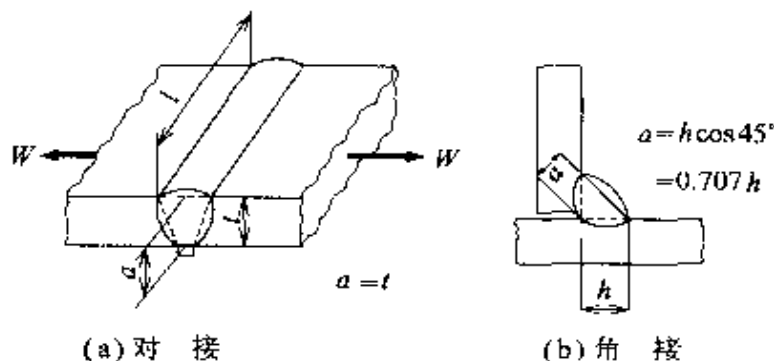


图 5.11 接头强度

## 4 管设计

### □ 要 点

在管的设计中必须考虑管内流速与管径的关系,以及保温材料的厚度等经济条件,同时还应注意强度和热力学振动与冲击等工程条件。

管的公称直径通常以管径为标准,设管内充满流体的平均流速为  $v_m$  (m/s),管内径为  $D$  (mm),流量为  $Q$  (m<sup>3</sup>/s),则管径和管内流速的关系可由下式计算(参见表1):

$$Q = Av_m = \frac{\pi}{4} \left( \frac{D}{1000} \right)^2 v_m \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1)$$

$$D = 2000 \sqrt{\frac{Q}{\pi v_m}} = 1130 \sqrt{\frac{Q}{v_m}} \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

表 5.3 管内流速标准

(a) 流体的情况

液体及管		平均流速/(m/s)	
上水管	长距离	0.5~0.7	
	中距离	~1	
	短距离	φ3cm左右	~1
		φ10cm以上	~2
水利动力站导水管	一般	2~5	
	中落差	3.5	
消防用管道		6~10	
离心泵吸入、送出管	低水位	1~2	
	高水位	2~4	
供暖管		0.1~3	

(摘自:新机械工学便覧,理工学社)

(b) 气体的情况

气 体		流 速/(m/s)
空气	高压	10~15
	低压	20~25
煤气		2~6
蒸汽	饱和	12~40
	过热	10~80

(摘自:新机械工学便覧,理工学社)

## □ 解 释 ● 管的壁厚

接缝效率  
腐蚀量

管的壁厚可以将管当作压力薄壁容器来设计。设管内径为  $D$  (mm), 单位面积的压强为  $P$  (MPa), 许用拉应力为  $\sigma_s$  (MPa), 接缝效率为  $\eta$ , 腐蚀量为  $C$  (mm), 则管壁厚  $t$  由下式给出:

$$t = \frac{pD}{2\sigma_s \eta} + \frac{C}{1.2p} \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

## ● 热膨胀与热应力

管中通过高温流体时会有热膨胀, 使管产生热应力。设管长为  $l$  (mm), 材料线膨胀系数为  $\alpha$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), 弹性系数为  $E$  (MPa), 环境温度  $t_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), 管内使用温度为  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), 则热膨胀  $\Delta l$  及热应力  $\sigma_t$  可由下式计算:

$$\Delta l = \alpha l (t - t_0) \quad (4)$$

$$\sigma_t = E \alpha (t - t_0) \quad (5)$$

## □ 相关知识 ● 管连接

法兰连接器  
螺纹接头

连接管的方法包括焊接等永久连接法和利用接头的可拆卸连接法。管接头有法兰盘形接头、螺纹接头和伸缩接头等多种。法兰连接器多用于管径比较大、内压高以及拆卸次数多的场合(参见图 5.12)。螺纹接头一般用于管径小、内压低的场合(参见图 5.13)。

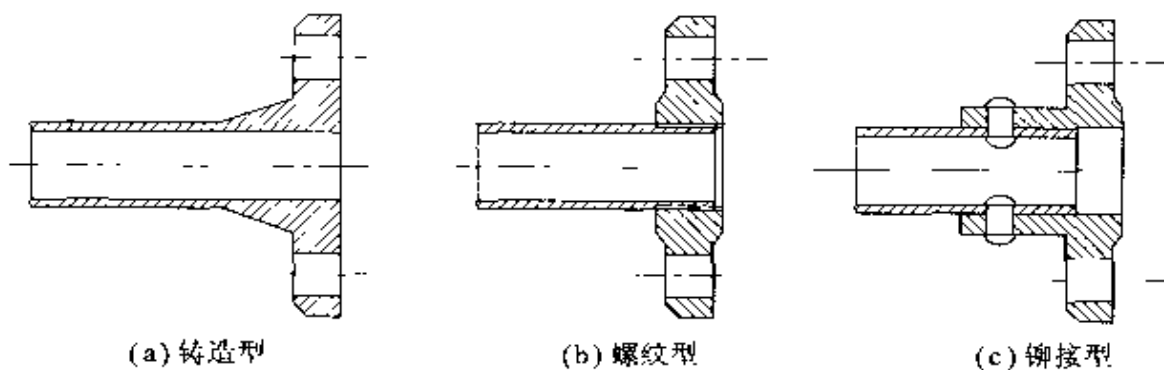


图 5.12 主要法兰连接器

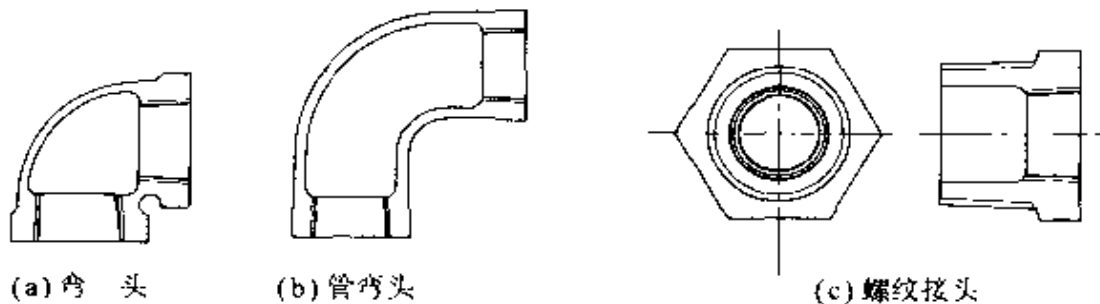


图 5.13 主要螺纹接头

### 例 题

试设计流量为  $5\text{m}^3/\text{s}$ , 水压为  $1.5\text{MPa}$  的铸铁水管。这里, 平均流速为  $2\text{m/s}$ , 许用拉应力为  $24.5\text{MPa}$ , 连接效率为  $0.8$ , 腐蚀量为  $2\text{mm}$ 。

**答** 根据式(2)有

$$D = 1130 \sqrt{\frac{Q}{v}} = 1130 \sqrt{\frac{5}{2}} = 1787 \text{ (mm)}$$

根据式(3)有

$$t = \frac{pD}{2\sigma_s \eta - 1.2p} - C = \frac{1.5 \times 1787}{2 \times 24.5 \times 0.8 - 1.2 \times 1.5} - 2 = 73.7 \text{ (mm)}$$

## 5 轴的直径大小

### 要 点

主要以旋转运动传递动力的部件称为轴,轴可分成传动轴和心轴。设计轴时必须根据使用目的来考虑其强度、应力集中、变形、振动、腐蚀及磨损等。特别地,轴的粗细要根据作用于轴的载荷和轴的断面形状来确定,还要考虑轴承的因素。

### 解 释

#### ● 轴的强度和直径

**只受扭矩作用的轴** 只受扭矩的实心轴的直径  $d$  可按下列式计算(参见图 5.14(a)):

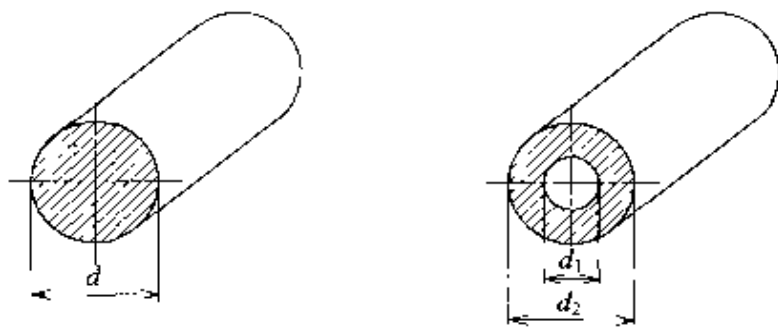
$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_s}} \approx 36.5 \sqrt[3]{\frac{P}{\tau_s n}} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

式中,  $P$  (W) 为传递动力,  $n$  (r/min) 为轴的转速,  $T$  (N·mm) 为扭矩,  $\tau_s$  (MPa) 为轴的许用剪应力。

此外,空心轴的外径  $d_2$  及内径  $d_1$  可按下列式计算 ( $k = d_1/d_2$ ) (参见图 5.14(b)):

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_s(1-k^4)}} = 36.5 \sqrt[3]{\frac{P}{\tau_s n(1-k^4)}} \quad (2)$$

$$d_1 = kd_2 \quad (3)$$



(a) 实心轴

(b) 空心轴

图 5.14 轴

**只受弯矩作用的轴** 只受弯矩两端轴承支撑的轴,可当做两端支撑的简支梁来考虑。因此,弯矩为  $M$  (N·mm), 轴的许用应力为  $\sigma_b$  (MPa) 的实心轴的直径可按下列式计算:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M}{\sigma_b \pi}} = \sqrt[3]{\frac{10M}{\sigma_b}} \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

空心轴的外径  $d_2$  及内径  $d_1$  可按下列式计算:

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{32M}{\sigma_b \pi (1-k^4)}} \approx \sqrt{\frac{10M}{\sigma_b (1-k^4)}} \quad (5)$$

$$d_1 = kd_2 \quad (6)$$

有效扭矩  
有效弯矩

**受扭矩和弯矩复合作用的轴** 对于受扭矩和弯矩复合作用的轴的计算,可将式(1),(2),(4),(5)中的扭矩  $T$  和弯矩  $M$  分别用有效扭矩  $T_e$  和有效弯矩  $M_e$  替换。这些量可以分别对轴径进行计算并取其大者。 $T_e$  和  $M_e$  可按下式计算:

$$T_e = \sqrt{T^2 + M^2} \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (7)$$

$$M_e = \frac{M}{2} \sqrt{\frac{T^2}{M^2} + 1} \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (8)$$

## □ 相关知识 ● 键

“在旋转轴与传动件之间起连接固定作用的零件”称为键。一般采用比轴更硬的材料构成(参见图 5.15)。

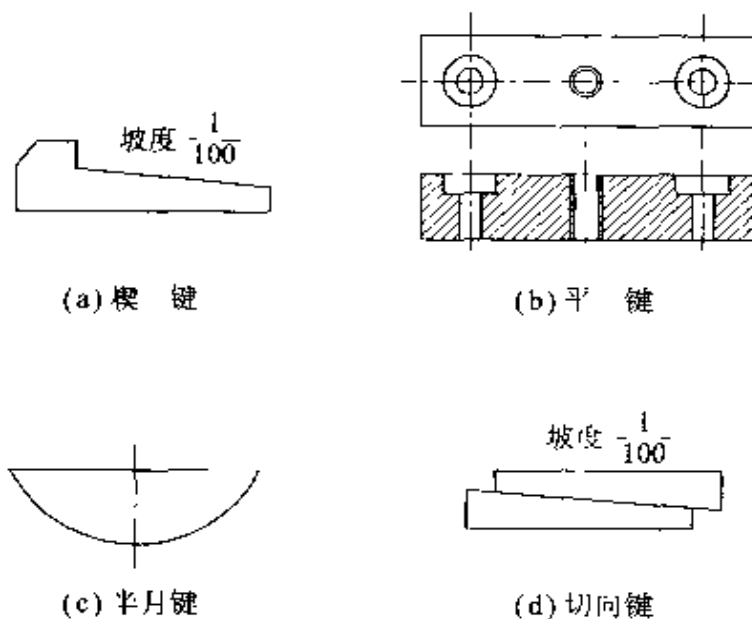


图 5.15 常用键

## ■ 例 题

求以转速  $1000\text{r/min}$  传递  $10\text{kW}$  动力的实心轴的直径。轴的许用应力为  $30\text{MPa}$ 。

**答** 根据式(1)有

$$d = 36.5 \sqrt[3]{\frac{P}{\tau_s n}} = 36.5 \sqrt[3]{\frac{10000}{30 \times 1000}} = 25.3 (\text{mm})$$

根据 JIS B0901 标准,取  $d = 28\text{mm}$ 。

## 6 牙嵌式离合器

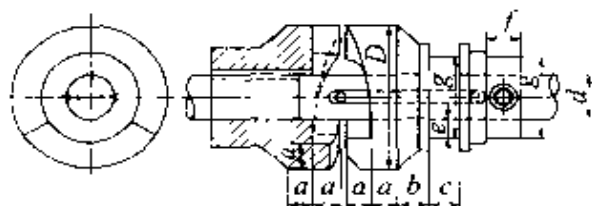
### 要 点

把动力从一个轴传递到另一个轴时所需要的根据需把两个轴或其他连接或脱开的联轴器称为离合器。

牙嵌式离合器是指通过一轴相互嵌合(啮合)的端面齿形连接两根轴以实现动力的可靠传递的离合器。

用于牙嵌式离合器的材料有铸钢和铸铁等(参见表 5.4)。

表 5.4 牙嵌式离合器的主要尺寸



(单位:mm)

$d$	$D$	$a$	$b$	$c$	$e$	$f$	$g$	齿数 $n$
40	100	20	40	20	16	30	72	3
50	125	23	50	25	18	32	86	3
60	150	25	60	30	20	34	110	4
70	175	35	70	35	22	36	114	4
80	200	35	80	40	24	38	128	4
90	225	45	90	45	26	40	142	5
100	250	45	100	50	28	42	156	5
110	275	50	110	55	30	44	170	6
120	300	56	120	60	32	45	186	6

(摘自:新机械工学便览,理工学社)

### 解 释 ● 牙嵌式离合器的强度

牙嵌式离合器的齿上的作用力  $W$  可按下式计算:

$$W = \frac{T}{r} \quad (\text{N}) \quad (1)$$

这里,  $T(\text{N} \cdot \text{mm})$  为转矩,  $r$  为齿中心半径。设齿数为  $n$ , 齿根部截面积为  $S(\text{mm}^2)$ , 则齿根部产生的剪应力  $\tau$  可按下式计算:

$$\tau = \frac{W}{nS} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

假定齿根部的截面系数为  $Z(\text{mm}^3)$ , 齿高为  $h(\text{mm})$ , 顶端作用的力为  $W$ , 则弯曲应力可按下式计算:



$$\sigma_b = \frac{Wh}{nZ} \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

于是可按下式计算最大剪应力  $\tau_{\max}$ 。

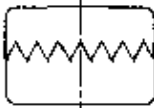
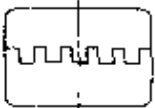
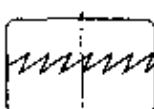
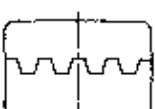
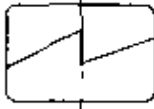
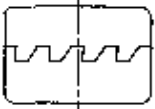
$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

设计应力可略小于  $\tau_{\max}$ 。

## □ 相关知识 ● 齿形和使用条件

牙嵌式离合器的齿形和使用条件如表 5.5 所示。

表 5.5 牙嵌式离合器的齿形和使用条件

齿形	形状	使用条件	载荷	逆转	齿形	形状	使用条件	载荷	逆转	
角		不管停止或运行中均可离合,但接合时注意要在低速时进行。	载荷比较轻	可能	方形		只能在停止时离合	大载荷	可能	
		同上	同上	不可能		梯形		比方形离合容易	大载荷	可能
		同上	载荷比较大	不可能				同上	同上	原则上不可能

(摘自:新机械工学便覧,理工学社)

## ■ 例 题

试校核传递 15kW、转速为 100r/min 的牙嵌式离合器。具体参数是,齿形的中心半径  $r=51.3\text{mm}$ ,齿根的截面积为  $S=1207.6\text{mm}^2$ ,齿根的截面系数  $Z=3600.4\text{mm}^3$ ,齿高为  $h=8\text{mm}$ ,齿数为  $n=3$ 。

**答** 根据式(1)计算牙齿所受力为

$$W = \frac{T}{r} = \frac{9.55 \times 10^4 \times (15000/100)}{51.3} = 2.79 \times 10^4 (\text{N})$$

由式(2)计算齿根剪应力为

$$\tau = \frac{W}{nS} = \frac{2.79 \times 10^4}{3 \times 1207.6} = 7.70 (\text{MPa})$$

由式(3)计算齿根弯曲应力为

$$\sigma_b = \frac{Wh}{nZ} = \frac{2.79 \times 10^4 \times 8}{3 \times 36000 \times 4} = 20.66 (\text{MPa})$$

由此可见,此牙嵌式离合器是可靠的。

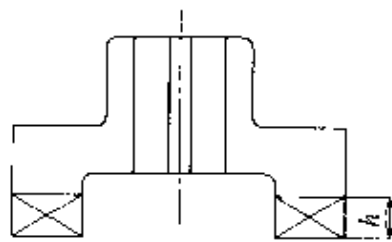


图 5.16

## 7 摩擦离合器

### □ 要 点

摩擦离合器是利用施加轴向力而产生的摩擦力来传递动力的联轴器。按形状可分为圆盘形、圆锥形和圆筒形三种。

摩擦离合器可在主动轴的旋转过程中操作离合,并具有在过负荷时打滑而保护主动装置的优点。

### □ 解 释

#### ● 圆盘摩擦离合器

圆盘摩擦离合器是指在主动轴和从动轴之间分别安装一个或几个圆盘,利用施加轴向力使圆盘接合产生的摩擦力来传动的离合器,可分为以下几种(参见图 5.17):

- ① 按圆盘数分类:单盘式和多盘式;
- ② 按有无润滑油分类:湿式和干式;
- ③ 按操作方法分类:机械式和液压式。

传动力矩  $T$  可根据轴向压力  $W$  (N),摩擦系数  $\mu$ ,摩擦面数  $z$  以及摩擦面平均半径  $r_m$  (mm)按下式计算:

$$T = z \cdot \mu \cdot r_m \cdot W \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

$$\text{式中 } r_m = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (1)$$

#### ● 圆锥形摩擦离合器

圆锥形摩擦离合器是指摩擦面为圆锥形的离合器,其特点是可用较小的轴向力传递较大的扭矩(参见图 5.18)。

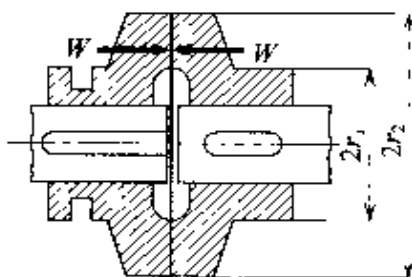


图 5.17 圆盘摩擦离合器

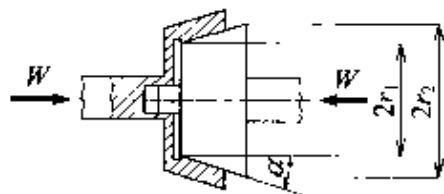


图 5.18 圆锥摩擦离合器

设圆锥角的一半为  $\alpha$  (°),则离合器传递的扭矩  $T$  可按下式计算:

$$T = \frac{\mu}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha} \cdot r_m W \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (2)$$

式中  $r_m = (r_1 + r_2) / 2$ 。

### ● 圆周摩擦离合器

圆周摩擦离合器是指利用在圆柱体的表面上压迫摩擦块来传递力矩的离合器(参见图 5.19)。

设圆柱的直径为  $D$  (mm), 压迫摩擦块的力为  $W$  (N·mm), 摩擦块长度圆心角为  $\theta$  ( $^\circ$ ), 则离合器传递的扭矩  $T$  可按下式计算:

$$T = \mu W D \frac{\sin(\theta/2)}{\theta/2 + \sin(\theta/2)\cos(\theta/2)} \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (3)$$

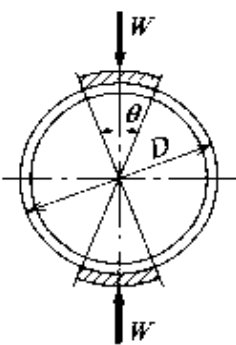


图 5.19 圆筒摩擦离合器

### □ 相关知识 ● 液压扭变器

液压扭变器是在以流体(油)为介质传递扭矩的流体联轴器上附加扭矩变换机构的自动变速器(参见图 5.20)。

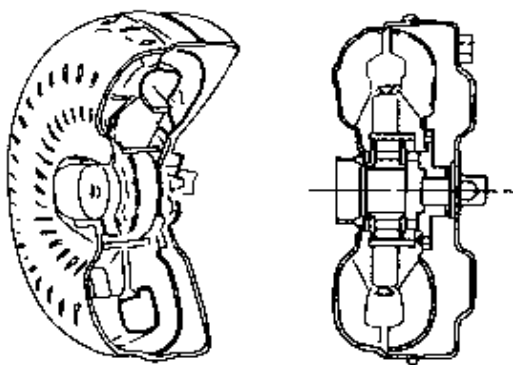


图 5.20 液力变扭器

(摘自:日産自動車,研修テキスト)

### ■ 例 题

假定用图 5.17 所示的圆盘摩擦离合器传递  $P = 2.2\text{kW}$ ,  $n = 2000\text{r/min}$  的动力,求所需要的在摩擦面上施加的压力。这里,摩擦圆盘为铸铁  $\mu = 0.1$ ,  $r_1 = 80\text{mm}$ ,  $r_2 = 120\text{mm}$ ,摩擦面数  $z = 2$ 。

**答** 主动轴的扭矩  $T$  为

$$T = 9.55 \times 10^3 \frac{P}{n} = 9.55 \times 10^3 \times \frac{2200}{2000} = 1.05 \times 10^4 (\text{N} \cdot \text{mm})$$

摩擦面的平均半径  $r_m$  为

$$r_m = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{80 + 120}{2} = 100(\text{mm})$$

因此,由式(1)得

$$W = \frac{T}{z \cdot \mu \cdot r_m} = \frac{1.05 \times 10^4}{2 \times 0.1 \times 100} = 525(\text{N})$$

## 8 滑动轴承

□ 要

点

滑动轴承是在轴和轴瓦之间通过很薄的油膜实现相对旋转滑动的轴承,包括受径向载荷的径向轴承和受轴向载荷的推力轴承(参见图 5.21)。

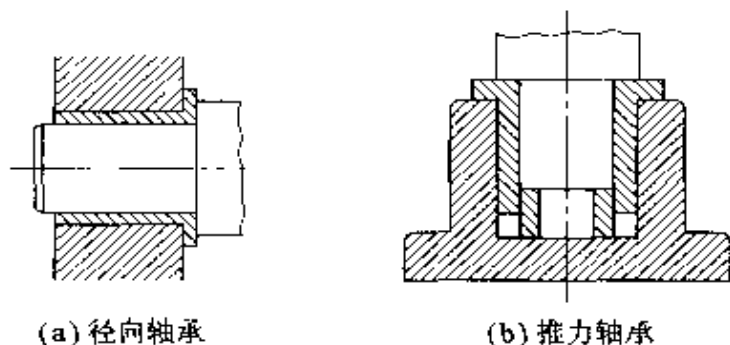


图 5.21 滑动轴承

□ 解

释

### ● 径向轴颈

轴颈是指“轴被衬瓦包围的部分”,有与径向轴承相匹配的径向轴颈和与轴向轴承相匹配的轴向轴颈。

此外,还可将径向轴颈根据轴承的位置分为端轴颈和中间轴颈。

**端轴颈的直径** 若轴颈上的载荷为  $W$  (N), 轴颈的长度为  $l$  (mm), 轴的弯曲应力为  $\sigma_b$  (MPa), 则轴颈的直径  $d$  可按下式计算:

$$d = \sqrt[3]{\frac{5Wl}{\sigma_b}} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

**轴承压力** 轴承压力  $p$  应以轴承面的油膜不被破坏为前提进行设计(参见表 5.6)。

表 5.6 轴承材料的许用压力 (单位:MPa)

轴承材料	许用压力	轴承材料	许用压力
铸 铁	3~6	碱硬化铅	8~10
青 铜	7~20	锡合金	10~11
黄 铜	7~20	铅铜	10~18
磷 青 铜	15~60	铅青铜	20~32
锡基合金	6~10	铅合金	28
铅基合金	6~8	银-三层合金(镀层)	30 以上

(摘自:日本机械学会编:机械工学便覧,新版)

轴颈  
轴向轴颈  
端轴颈  
中间轴颈

$$p = \frac{W}{dl} \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

**长径比** 长径比是指“轴颈的长度与直径的比”，可由下式表示：

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{\sigma_b}{5p}} \quad (3)$$

**压力速度系数** 压力速度系数  $pv$  是衡量轴承发热特性的数。设轴的角转速为  $n$  (r/min)，则

$$pv = 5.24 \times 10^{-5} \times \frac{Wn}{l} \quad (\text{MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}) \quad (4)$$

## □ 相关知识 ● 轴承的润滑

轴承的供油润滑有以下几种方法：

- |           |          |
|-----------|----------|
| ① 滴油润滑法；  | ② 油环润滑法； |
| ③ 油热润滑法；  | ④ 浸油润滑法； |
| ⑤ 飞溅式润滑法； | ⑥ 油脂润滑法。 |

## ■ 例 题

若载荷  $W = 10\text{kN}$ ，转速  $n = 300\text{r/min}$ ，试设计钢制端轴颈。这里，轴的弯曲应力  $\sigma_b = 45\text{MPa}$ ， $pv = 2\text{MPa} \cdot \text{m/s}$ ，轴瓦材料为锡基合金。

**答]** 由式(4)计算端轴颈长  $l$  为

$$l = 5.24 \times 10^{-5} \frac{Wn}{pv} = 5.24 \times 10^{-5} \times \frac{10000 \times 300}{2} = 78.60 \approx 80 \quad (\text{mm})$$

由式(1)，轴颈的直径  $d$  为

$$d = \sqrt[3]{\frac{5Wl}{\sigma_b}} = \sqrt[3]{\frac{5 \times 10000 \times 80}{45}} = 44.63 \quad (\text{mm})$$

根据 JIS B0901 标准，取  $d = 45\text{mm}$ 。

轴承的压力  $p$  可由式(2)计算：

$$p = \frac{W}{dl} = \frac{10000}{45 \times 80} = 2.78 \quad (\text{MPa})$$

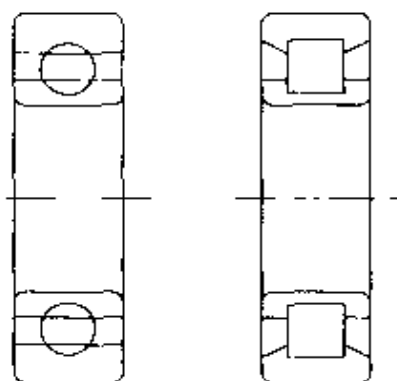
根据表 5.6 可知，其值是安全的。

## 9 滚动轴承

### □ 要 点

滚动轴承是在内圈和外圈之间装入球和滚子等滚动体构成的可滚动的轴承(参见图 5.22)。

滚动轴承比滑动轴承的摩擦系数小,故不必担心过热,且因轴承宽度小,可实现结构小型化。



(a) 球轴承

(b) 滚子轴承

图 5.22 滚动轴承

### □ 解 释 ● 寿命和载荷

#### 额定寿命

① 额定寿命 将若干同样的轴承在同样的条件下运转时,90%的轴承可无损伤的运转的总转数或在一定转速下的时间。

② 额定动载荷 额定寿命达 100 万转时的载荷。

③ 额定静载荷 产生最大应力的接触部的滚动体和滚道的总永久变形达到滚动体直径的 0.0001 倍时的静载荷。

速度系数  $f_v$

$$\text{球轴承} \quad f_v = \left( \frac{33.3}{n} \right)^{1.3} \quad (1)$$

$$\text{滚子轴承} \quad f_v = \left( \frac{33.3}{n} \right)^{3.10} \quad (2)$$

其中的  $n$  为轴的转速(r/min)。

寿命系数  $f_h$

$$\text{球轴承} \quad f_h = \left( \frac{L_h}{500} \right)^{1/3} \quad (3)$$

$$\text{滚子轴承} \quad f_h = \left( \frac{L_h}{500} \right)^{3/10} \quad (4)$$

#### 基本额定动载荷

#### 基本额定静载荷



其中  $L_h$  为轴承的寿命时间(h)。

载荷系数  $f_w$

$$f_w = \frac{W}{W_0} \quad (5)$$

其中  $W_0$  为轴承计算(当量)载荷(N),  $W$  为轴承载荷(N)。

**极限速度**

**极限速度** 极限速度是指在一般使用条件下长时间安全运转的许用旋转速度,由轴径  $d$ (mm)和转速  $n$ (r/min)的乘积  $dn$  来决定。

## □ 相关知识 ● 与滑动轴承比较(参见表 5.7)

表 5.7 滚动轴承与滑动轴承的比较

项 目	滚动轴承	滑动轴承
形状	直径大宽度小	直径小宽度大
结构	较复杂	较简单
互换性	标准化、互换性好	标准化程度低,自制容易

## ■ 例 题

试选择满足计算载荷 3kN、转速 800r/min、寿命 20 000h 的球轴承。这里,载荷系数  $f_w = 1.2$ 。

**答** 由式(1)计算速度系数为

$$f_v = \left(\frac{33.3}{n}\right)^{1.3} = \left(\frac{33.3}{800}\right)^{1.3} = 0.35$$

由式(3)计算寿命系数为

$$f_L = \left(\frac{L_h}{500}\right)^{1.3} = \left(\frac{20\,000}{500}\right)^{1.3} = 3.42$$

由式(5)得

$$W = f_w W_0 = 1.2 \times 3000 = 3600(\text{N})$$

因此,额定动负荷  $C$  为

$$C = \frac{f_L W}{f_v} = \frac{3.42}{0.35} \times 3600 = 35177(\text{N})$$

在轴承型号 13 系列中,选内径  $d = 45\text{mm}$  的双列自动调心径向球轴承,其极限速度为

$$dn = 45 \times 800 = 36000(\text{mm} \cdot \text{r}/\text{min})$$

此数值位于极限值范围内,因此选定 1309(内径 45mm)轴承。

# 10 弹 簧

**要 点** 弹簧是用弹性较大的材料制成特殊形状或结构,使之能储存或吸收能量的机械零件(参见图 5.23)。

根据使用目的和情况不同,有螺旋弹簧、板弹簧、圆锥螺旋弹簧、碟簧及扭簧等各种各样形状的弹簧。

**解 释** ● 螺旋弹簧

弹簧指数

若螺旋的平均直径为  $D$ (mm),弹簧指数为  $c$ ,则线材的直径  $d$  由下式表示(参见图 5.24):

$$d = \frac{D}{c} \quad (1)$$

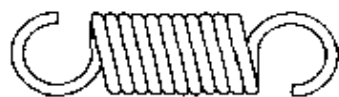
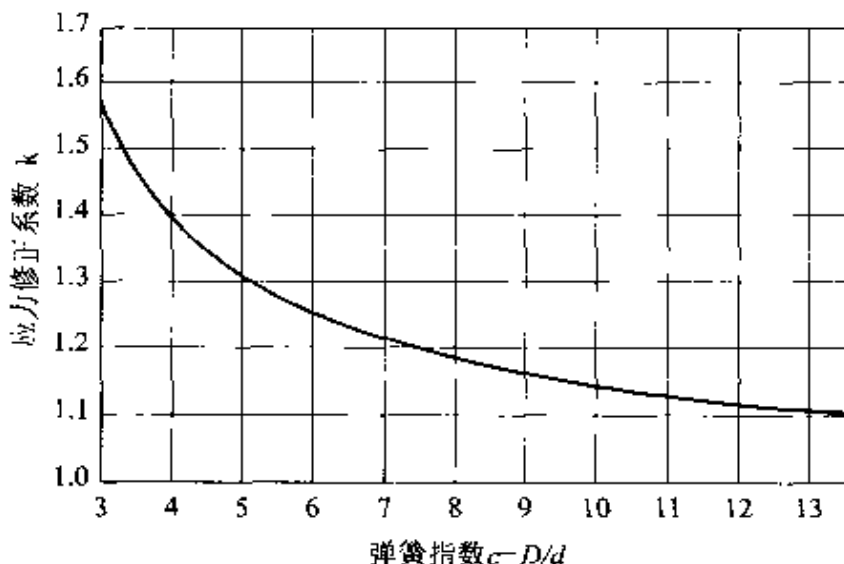


图 5.23 螺旋拉簧

图 5.24 弹簧指数和应力修正系数

● 有效圈数

所谓有效圈数  $N_s$  是指螺旋弹簧的有效工作的圈数。设负荷为  $W$ (N), 变形为  $\delta$ (mm), 线材的弹性模量为  $G$ (MPa), 则  $N_s$  可表示如下:

$$N_s = \frac{GD\delta}{8c^3W} \quad (2)$$

● 极限高度

极限高度  $H$ , 是指在弹簧中产生的应力和变形达到最大时的高度。设螺旋总圈数(有效圈数加上两端的座圈)为  $N_t$ , 螺旋两端

的厚度为  $r$  (mm), 则  $H_s$  可由下式表示:

$$H_s = (N_s - 1)d \cdot r \text{ (mm)} \quad (\text{一般取 } r = d/2) \quad (3)$$

### ● 自由高度

自由高度  $H$  是指无负荷状态下的弹簧高度, 即

$$H = H_s + \delta \quad (4)$$

## □ 相关知识 ● 扭力弹簧

所谓扭力弹簧, 是将杆状的弹簧钢的一端固定, 另一端施加扭力使其扭转变形的弹簧, 可用于车辆等驱动装置的减振装置中(参见图 5.25, 表 5.8)。

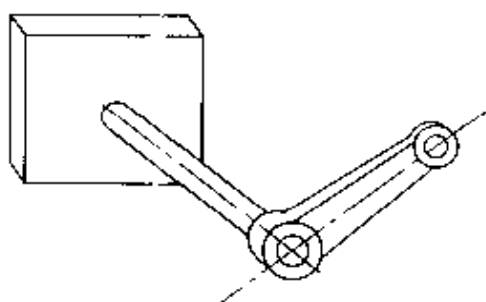
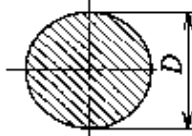
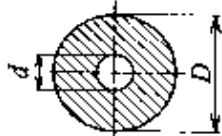


图 5.25 扭力杆

表 5.8 扭力弹簧的尺寸

形状 性质		
最大剪应力	$\frac{16T}{\pi D^3}$	$\frac{16TD}{\pi(D^4 - d^4)}$
扭角 $\theta$	$\frac{584 Tl}{GD^4}$	$\frac{584 Tl}{G(D^4 - d^4)}$
弹簧常数 $k$	$\frac{GD^4}{584 l}$	$\frac{G(D^4 - d^4)}{584 l}$
储存的弹性能	$\frac{\tau^2}{4G}$	$\frac{\tau^2(D^2 + d^2)}{4GD^2}$

(摘自: 机械工程便览, 理工大学社)

## ■ 例 题

试设计受  $W = 3\text{kN}$  的载荷时可产生  $\delta = 20\text{mm}$  变形的螺旋压缩弹簧。这里, 弹簧平

均直径  $D=60\text{mm}$ , 弹性模量  $G=78\times 10^3\text{MPa}$ , 弹簧指数  $c=6.0$ 。

**答** 线材的直径  $d$  由式(1)计算为

$$d = \frac{D}{c} = \frac{60}{6.0} = 10.0 \text{ (mm)}$$

由式(2)计算有效圈数  $N_1$  为

$$N_1 = \frac{GD\delta}{8c^3W} = \frac{78 \times 10^3 \times 60 \times 20}{8 \times 6^3 \times 3000} = 3.01 \approx 3$$

因为两端部的座圈皆为 1 圈, 故总圈数  $N$  为 5, 极限高度  $H$ , 由式(3)得

$$H = (N_1 - 1)d + x = (5 - 1) \times 10 + 5 = 45$$

由式(4)计算自由高度  $H$  为

$$H = H_s + \delta = 45 + 20 = 65 \text{ (mm)}$$

## 11 摩擦制动器

**要 点** 制动器是控制机械速度和使之停止的重要装置。主要用于卷扬机、起重机和铁路车辆等设备中。

制动器可利用摩擦、流体阻力和电磁力等,但最常用的是摩擦制动器。

**解 释** ● 块式制动器

块式制动器是指利用制动杠杆上安装的制动块压迫制动轮产生的摩擦力来制动的装置。根据制动块的个数不同可分为单闸块制动器和双闸块制动器。

● 单闸块制动器的设计

图 5.26 是单闸制动器的结构示意图。

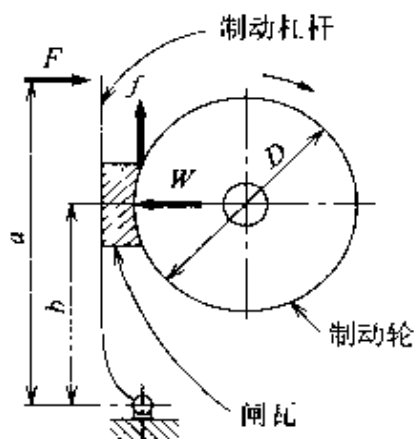


图 5.26 单闸块制动器

**制动力** 制动力 设制动轮上施加的力为  $W$  (N), 摩擦系数为  $\mu$ , 则制动力  $f$  (N) 可下式计算:

$$f = \mu W$$

**制动力矩** 制动力矩 设制动轮的直径为  $D$  (mm), 则制动力矩  $T$  (N·mm) 应按下式计算:

$$T = f \frac{D}{2} = \mu W \frac{D}{2}$$

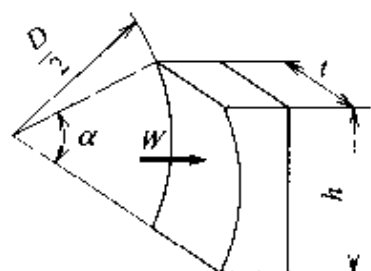
**制动杠杆上施加的力** 设制动杠杆的长度为  $a$  (mm), 从支点到力  $W$  作用点的距离为  $b$  (mm), 则制动力  $f$  (N) 与杠杆上作用的力  $F$  (N) 的关系, 因  $Fa = Wb$  且  $f = \mu W$ , 有

$$F = \frac{fb}{\mu a}$$

通常  $b/a$  的值取 1.3~1.5。杠杆上手动施加的力在 100~150N 时为宜。

### 制动片

**制动片** 制动片的结构如图 5.27 所示。表 5.9 列出了制动片的材料、摩擦系数和许用应力。



- $t$ : 宽(mm)
- $h$ : 长(mm)
- $\alpha$ : 接触角
- $D$ : 制动轮直径
- $W$ : 制动轮上作用的力

图 5.27 制动片

表 5.9 制动片的各参数

摩擦材料		摩擦系数		许用应力 $P/(N/cm^2)$
		干轮	适当润滑	
块闸	钢铁	0.18~0.20	0.1~0.15	$\leq 100$
	橡胶织物	0.5~0.6	0.2~0.3	25~35
带闸	钢带	0.15~0.20	0.10~0.15	—
	木、皮、橡胶织物	0.3~0.5	0.2~0.3	

(摘自:机械设计制图便览,理工学社)

### 制动容量

**制动容量** 制动操作时,制动轮与制动片之间会产生摩擦热。在通常的自然散热情况下,为了散发摩擦热,制动容量应限制在如下范围:

- 使用程度较轻的场合            1.0MPa·m/s
- 频繁使用的场合                0.6MPa·m/s
- 散热状态好的场合              3.0MPa·m/s

设单位时间内的摩擦功为  $P(W)$ , 制动片上作用的力为  $W(N)$ , 表面压力为  $p(MPa)$ , 制动片宽为  $t(mm)$ , 制动轮的圆周速度为  $v(m/s)$ , 则

$$P = fv = \mu Wv$$

再考虑到  $W = phl$ , 故制动容量为

$$\mu pv = \frac{P}{ht} \quad (MPa \cdot m/s)$$

## □ 相关知识 ● 双闸块制动器

双闸块制动器是指在一个制动轮上作用两个闸块的制动器，用于需要较大制动力的场合。

## ● 内张蹄式制动器

内张蹄式制动器如图 5.28 所示，蹄片装在制动轮内侧，用凸轮或油压装置使蹄片张开压紧制动轮。这种制动器结构小制动力大，多用于汽车制动装置中。

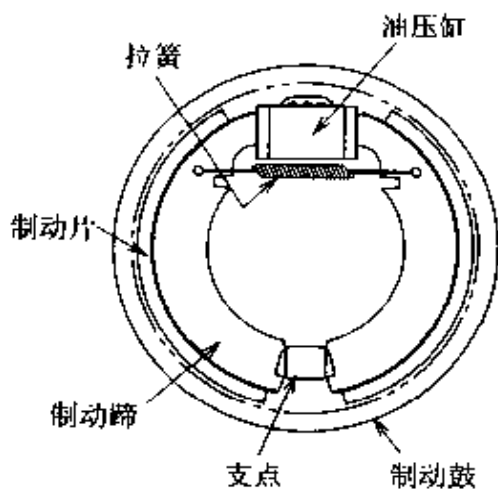


图 5.28 内张蹄式制动器

## ● 圆盘制动器

此为利用转轴上的圆盘两侧设有的摩擦闸片压迫圆盘而进行制动的装置，如图 5.29 所示，通常用于摩托车和汽车的制动中。



图 5.29 圆盘制动器的一例

### ● 螺旋制动器

螺旋制动器是利用螺旋力的自动载荷制动器。利用这种制动器可使手动卷扬机等吊起重物时,容易调整下放重物的速度或在任意位置停止。

### ● 带制动器

带制动器是利用制动钢带包围制动轮并在表面压紧钢带的摩擦制动装置。这种制动器的制动效果好,但摩擦系数的变化很大。图 5.30 是带制动器在汽车上的应用示例。

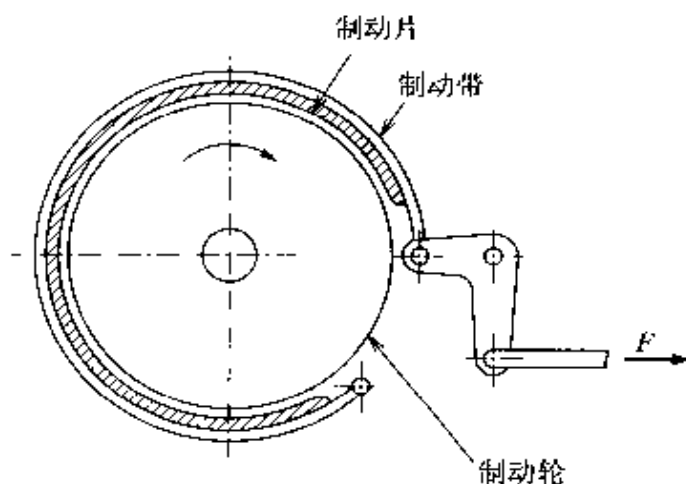


图 5.30 带制动器

### ■ 例 题

对于图 5.26 所示的单闸块制动器,设制动轮的直径为 500mm,转速为 60r/min。现对制动杠杆施加 100N 的力,求此时的制动力和校验摩擦热的安全性。这里, $a=1500\text{mm}$ , $b=200\text{mm}$ , $\mu=0.2$ , $p=0.07\text{MPa}$ 。

[提示]  $v = \frac{\pi \times 500 \times 60}{60 \times 1000}$

**答** 150N, 约 0.022MPa·m/s(不超过前述的许用值,因此是安全的)。



## 12 皮带传动

### □ 要点

当二轴间的中心距较大时,利用齿轮和摩擦轮传动比较困难,此时可采用在二轴间安装皮带轮和皮带进行动力传递,这种皮带传动不受二轴间中心距的影响。

使用不同类型的皮带实现传动时,多少会产生一些滑动,但不影响其实用,有时也利用相对滑动作为过载荷的安全保护措施。

### □ 解释

平皮带  
皮带轮

#### ● 平皮带传动

此为利用皮革、橡胶、特殊编制物等作成的平皮带和皮带轮之间产生的摩擦力来传递动力的装置,常用于纺织机械等多轴传动的机械中。图 5.31 是平皮带传动示意图。

**传动比** 主动轮用皮带带动从动轮时,若皮带轮的直径分别为  $d_1$  和  $d_2$ ,转速为  $n_1$  和  $n_2$ ,则传动比  $i$  可由下式表示:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

**皮带长度** 在带轮的轴间距为  $a$  时,皮带的长度  $L$  可用下式近似计算:

$$L = 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$$

**皮带的张力** 在皮带传动中,即使是不传递动力的静止状态下也需要张紧皮带,称此张力为初拉力,它与传递的载荷大小相对应。若皮带的紧边的张力为  $F_1$ ,松边的张力为  $F_2$ ,则初张力  $F_0$  可按下列式近似计算(参见图 5.32):

$$F_0 = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

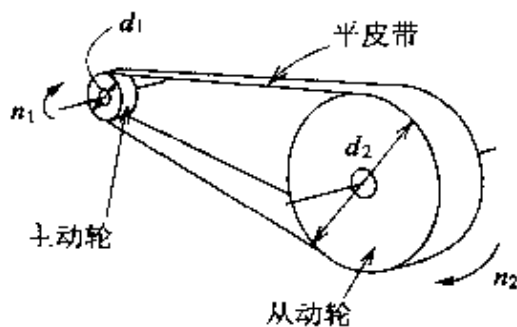


图 5.31 平皮带传动

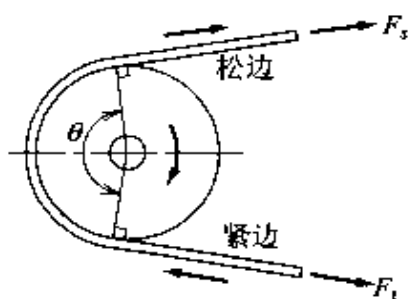


图 5.32 皮带张力

(摘自:机械设计 2, 实训出版)

带动从动轮的圆周力称为有效张力。有效张力  $F_e$  由下式表示:

$$F_e = F_1 - F_2$$

若皮带与带轮间的摩擦系数为  $\mu$  (0.2~0.3), 主动轮的皮带包角为  $\theta$  (rad), 自然对数的底为  $e$ , 则可导出下列关系式:

$$F_1 = \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1} F_e \quad F_2 = \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} F_e$$

设皮带速度为  $V$  (m/s), 有效张力为  $F_e$  (N), 则传递的动力  $P$  (W) 为

$$P = F_e V = F_e V \frac{e^{\mu\theta} - 1}{e^{\mu\theta}}$$

### ● V 型(三角)带传动

用优质的棉布、棉丝、合成纤维等为芯体构成的梯形断面的无接头环状橡胶带叫做 V 型带, 将其套在有 V 型槽的两个带轮上可实现动力传递。这种传送带广泛应用于产业机械、汽车和农业机械等。

**设计动力** 设计动力  $P_d$  应根据使用条件确定。设传递功率为  $P$ , 载荷修正系数为  $K_c$  (参见表 5.10), 则  $P_d$  由下式决定:

$$P_d = PK_c$$

**V 型带** 根据设计功率  $P_d$  和小带轮的转速  $n_1$ , 查阅图 5.33 即可选定带的种类。

**V 型带轮** 根据传动比将主动轮和从动轮组合起来考虑并确定。V 型带轮越小则滑动越大, 传递效率低, 寿命短。因此, 对 V 型带轮的最小直径应加以限制, 推荐使用表 5.11 所列尺寸以上的直径。

V 型带轮的槽数与带的种类和带轮直径等的组合可参见表 5.12、表 5.13。

**V 型带的长度** 利用公式计算出皮带的长度  $L$  后, 再从表 5.14 中选取接近的长度。V 型带的长度用 JIS 标准型代号表示。

**V 型带轮的中心距** 若主动轮和从动轮的公称直径分别为  $d_1$  和  $d_2$ , 中心距为  $a$ , 则有

$$a = \frac{B + \sqrt{B^2 - 2(d_2 - d_1)^2}}{4}$$

式中,  $B = L - \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2)$ 。

表 5.10 使用机械和负荷修正系数

使用机械	发 动 机					
	最大输出力为额定的 300% 以下			最大输出力为额定的 300% 以上		
	交流发电机(标准电动机, 同步电动机), 直流电动机(分卷), 二缸以上的发动机			特殊电动机(高扭矩), 直流电动机, 单缸发动机, 用天轴或离合器运转		
	运行时间			运行时间		
	间断使用, 每日使用 3~5h	通常使用, 每日使用 8~10h	连续使用, 每日使用 16~24h	间断使用, 每日使用 3~5h	通常使用, 每日使用 8~10h	连续使用, 每日使用 16~24h
轻载皮带输送机, 捆包机, 筛机, 送风机(10PS 以下)	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
搅拌机(流体), 粉末混合机, 洗衣机, 印刷机, 离心泵, 钻床, 车床, 螺纹切割床, 圆盘锯, 刨床, 送风机(10PS 以上)	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
搅拌机, (水泥、黏性体), 皮带输送机(矿石、煤、砂), 磨床, 中型拉床, 铣床, 振动筛, 压缩机	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
输送机(带、盘、斗、箱), 真空泵, 发电机, 大型洗衣机, 送风机, (离心、吸引、排气), 励磁机, 提升机, 电梯, 纤维机械, 橡胶机械	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
离心分离机, 输送机(刮板、螺旋) 锤式粉碎机, 造纸机械(打浆机、抄纸机), 活寒泵	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
压碎机, 轧机(板、棒), 烧窑机械(砖、黏土挤压机), 矿用推进机, 强制送风机	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

(摘自: 日本机械学会编: 机械工学便覧)

表 5.11 V型带轮的最小称直径 (单位:mm)

皮带种类	A	B	C	D	E
v型带轮的最小公称直径	75	125	200	355	500

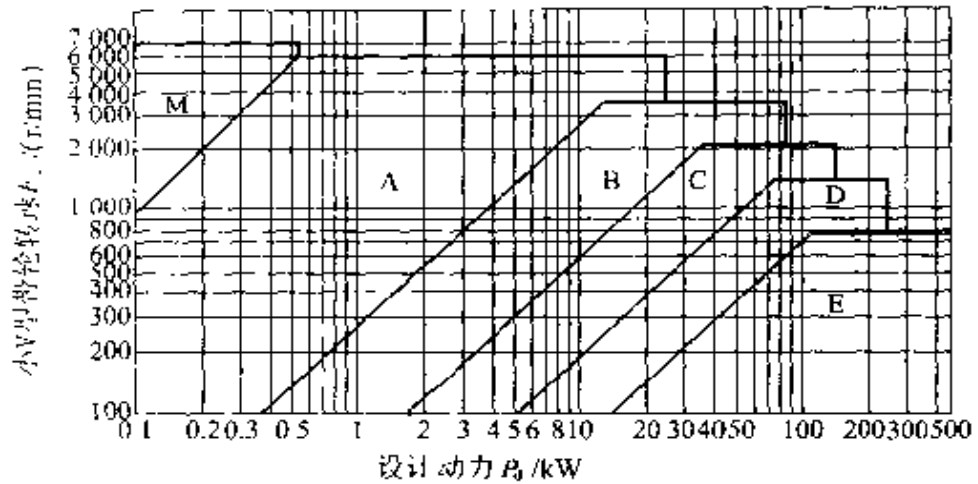


图 5.33 V型带种类选择图

(摘自:机械设计图例便览,理工大学社)

表 5.12 V型带轮的种类

V型带种类 \ 槽数	槽数					
	1	2	3	4	5	6
A	A1	A2	A3	-	-	-
B	B1	B2	B3	B4	B5	-
C	-	-	C3	C4	C5	C6

表 5.13 V型带轮的公称直径 (单位:mm)

V型带种类 \ 槽数	槽数					
	1	2	3	4	5	6
A	75~560	75~630	75~710	--	-	-
B	125~710	125~710	125~900	125~900	125~900	-
C			200~900	200~900	200~900	200~900

公称直径: 75 80 85 90 95 100 106 112 118 125 132  
 140 150 160 180 200 224 250 280 300 315  
 355 400 450 500 560 630 710 800 900

表 5.14 V 型带的长度

(单位: mm)

代号	长度	公差	代号	长度	公差	代号	长度	公差	代号	长度	公差
20	508		30	762		40	1 016		50	1 270	
21	533	+8	31	787		41	1 041	-11	51	1 295	+12
22	559	-16	32	813	+10	42	1 067		52	1 321	-24
23	584		33	838	20	43	1 092		53	1 346	
24	610		34	864		44	1 118	-22	54	1 372	
25	635		35	889		45	1 143		55	1 397	
26	660	+9	36	914		46	1 168		56	1 422	
27	686	-18	37	940		47	1 194		57	1 448	
28	711		38	965		48	1 219		58	1 473	
29	737		39	991		49	1 245		59	1 499	
60	1 524		81	2 057		105	2 667	+14	165	4 191	+20
61	1 549		82	2 083		108	2 743	-28			-40
62	1 575		83	2 108		110	2 794		170	4 318	
63	1 600		84	2 134		112	2 815	+15			
64	1 626		85	2 159		115	2 921	-30	180	4 572	+22
65	1 651		86	2 184		118	2 997		190	4 826	-45
66	1 676	+12	87	2 210	+13	120	3 018		200	5 080	
67	1 702	-24	88	2 235	-26	122	3 099	+16	210	5 334	+25
68	1 727		89	2 261		125	3 175	-32	220	5 588	-50
69	1 753		90	2 286		128	3 251		230	5 842	
70	1 778		91	2 311		130	3 302		240	6 096	
71	1 803		92	2 337		132	3 353	+17	250	6 350	+27
72	1 829		93	2 362		135	3 429	-34	260	6 604	-55
73	1 854		94	2 388		138	3 505		270	6 858	+30
74	1 880		95	2 413		140	3 556		280	7 112	-60
75	1 905		96	2 438		142	3 607	+18	300	7 620	
76	1 930		97	2 464		145	3 683	-36	310	7 874	+35
77	1 956		98	2 489	+14	148	3 759		330	8 382	-70
78	1 981		99	2 515	-28	150	3 810	+19	360	9 144	
79	2 007		100	2 540		155	3 937	-38	390	9 906	+40
80	2 032		102	2 591		160	4 064	+20 -40	420	10 668	-80

## V 型带种类的代号

M: 代号 20~50

A: 代号 20~180 但 132、138、142、148 除外

B: 代号 25~210 但 142、148、除外

C: 代号 45~270 的尾数为 0、2、5、8 及 54

D: 代号 100~360 的尾数为 0、5

E: 代号 180、210、240、270、300、330、360、390、420

V型带的根数 接触角修正系数  $K_\alpha$  和长度修正系数  $K_L$  可查表 5.15 和表 5.16 确定, 一根带的基本额定功率  $P_0$  和附加功率  $P_1$  可查表 5.17 确定, 而一根带的设计功率  $P_d$  可由下式求得:

$$P_d = (P_0 + P_1)K_\alpha K_L$$

由设计功率  $P_d$  和一根带的设计功率  $P_0$  可按下式求出带的根数  $Z$ 。

$$Z = \frac{P_d}{P_0}$$

将所求的  $Z$  值取整即可。

表 5.15 接触角修正系数

$\frac{d_2-d_1}{a}$	小 V 型带轮接触角 $\theta/^\circ$	接触角修正系数 $K_\alpha$
0.00	180	1.00
0.10	174	0.99
0.20	169	0.98
0.30	163	0.96
0.40	157	0.94
0.50	151	0.93
0.60	145	0.91
0.70	139	0.89
0.80	133	0.87
0.90	127	0.85
1.00	120	0.82
1.10	113	0.79
1.20	106	0.77
1.30	99	0.74
1.40	91	0.70
1.50	83	0.66

表 5.16 带长修正系数

代号	种 类					
	M	A	B	C	D	E
20~25	0.92	0.80	0.78			
26~30	0.94	0.81	0.79			
31~34	0.96	0.84	0.80			
35~37	0.98	0.87	0.81			
38~41	1.00	0.88	0.83			

续表 5.16

代号	种 类					
	M	A	B	C	D	E
42~45	1.02	0.90	0.85	0.78		
16~50	1.04	0.92	0.87	0.79		
51~54		0.94	0.89	0.80		
55~59		0.96	0.90	0.81		
60~67		0.98	0.92	0.82		
68~74		1.00	0.95	0.85		
75~79		1.02	0.97	0.87		
80~84		1.04	0.98	0.89		
85~89		1.05	0.99	0.90		
90~95		1.06	1.00	0.91		
96~104		1.08	1.02	0.92	0.83	
105~111		1.10	1.04	0.94	0.84	
112~119		1.11	1.05	0.95	0.85	
120~127		1.13	1.07	0.97	0.86	
128~144		1.14	1.08	0.98	0.87	
145~154		1.15	1.11	1.00	0.90	
155~169		1.16	1.13	1.02	0.92	
170~179		1.17	1.15	1.04	0.93	
180~194		1.18	1.16	1.05	0.94	0.91
195~209			1.18	1.07	0.96	0.92

表 5.17 基本额定传动功率和附加传动功率(单位:kW)

种类	小带轮的转速 r/min	$P_n$									$P_a$ 旋转比 2.00 以上
		小V型带轮的公称直径/mm									
		80	85	90	95	100	106	112	118	125	
A	485	0.36	0.41	0.46	0.51	0.56	0.62	0.67	0.73	0.80	0.06
	575	0.42	0.47	0.53	0.59	0.64	0.71	0.78	0.84	0.92	0.07
	690	0.48	0.55	0.61	0.68	0.75	0.83	0.91	0.98	1.07	0.09
	725	0.50	0.57	0.64	0.71	0.78	0.86	0.94	1.02	1.12	0.09
	870	0.57	0.65	0.74	0.82	0.90	1.00	1.09	1.19	1.30	0.11
	950	0.61	0.70	0.79	0.88	0.97	1.07	1.18	1.28	1.40	0.12
	1 160	0.71	0.81	0.92	1.03	1.13	1.26	1.38	1.50	1.65	0.15
	1 425	0.82	0.95	1.08	1.20	1.33	1.48	1.62	1.77	1.94	0.18
1 750	0.94	1.10	1.25	1.40	1.55	1.72	1.89	2.06	2.26	0.22	
2 850	1.26	1.48	1.70	1.91	2.12	2.36	2.59	2.82	3.07	0.36	

续表 5.17

小种类	V型带的转速/ r/min	$P_s$									$P_s$ 旋转比
		小带轮的公称直径/mm									
	r/min	80	85	90	95	100	106	112	118	125	2.00 以上
小带轮的转速	r/min	140	155	160	170	180	190	200	212	224	2.00 以下
B	185	1.23	1.47	1.55	1.71	1.87	2.03	2.19	2.38	2.57	0.16
	575	1.40	1.69	1.78	1.97	2.16	2.34	2.53	2.75	2.96	0.19
	690	1.62	1.96	2.07	2.29	2.51	2.73	2.94	3.19	3.45	0.23
	725	1.68	2.03	2.15	2.38	2.61	2.83	3.06	3.32	3.59	0.24
	870	1.94	2.35	2.48	2.75	3.02	3.28	3.54	3.85	4.15	0.29
	950	2.07	2.51	2.66	2.95	3.23	3.51	3.79	4.12	4.45	0.31
	1 160	2.40	2.92	3.09	3.43	3.76	4.09	4.41	4.79	5.16	0.38
	1 425	2.77	3.38	3.58	3.97	4.35	4.73	5.09	5.52	5.94	0.47
	1 750	3.16	3.85	4.08	4.52	4.95	5.36	5.77	6.23	6.67	0.58
	2 850	3.81	4.62	4.86	5.32	5.73	6.09	6.39			0.94

相关知识 ● 齿形带传动

齿形带传动是用带有齿形的带与带轮上的齿相啮合来传递动力的传动方法。与平皮带和 V 型带相比,齿形带传动没有滑动,传动效率高且传动比准确,适用于高速度、大扭矩的传动装置。齿形带传动的结构如图 5.34 所示。

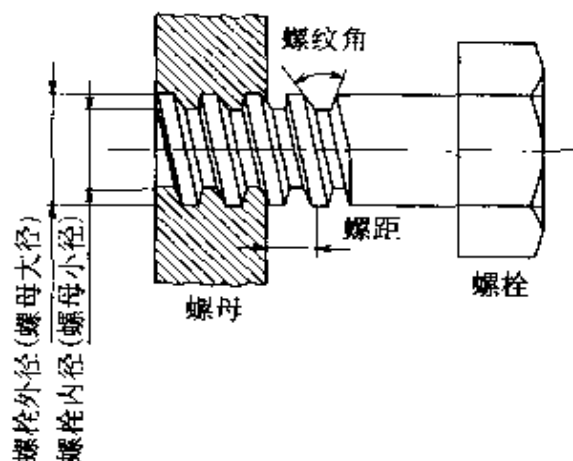


图 5.34 齿形带传动

(摘自:机械设计制图便览,理工学社)



**例 题** 求满足下列条件的 V 型带

试选择小带轮的转速为 1160r/min, 传递功率为 2kW, 传动比为 2, 中心距为 300mm 的 8h 工作制的送风机用 V 型带。

**答** 代号为 A39 的 V 型带 3 根, 带轮公称直径为 80mm(主动轮)和 160mm(从动轮), 槽数 3, 中心距为 304mm。

# 13 链传动

## □ 要点

链传动与带传动类似,是一种不受中心距限制,可以在二轴的链轮上套挂链条来传递动力的装置,如图 5.35 所示。链条与链轮通过啮合传递动力,故传动时不会打滑,传递功率大且传动比准确。

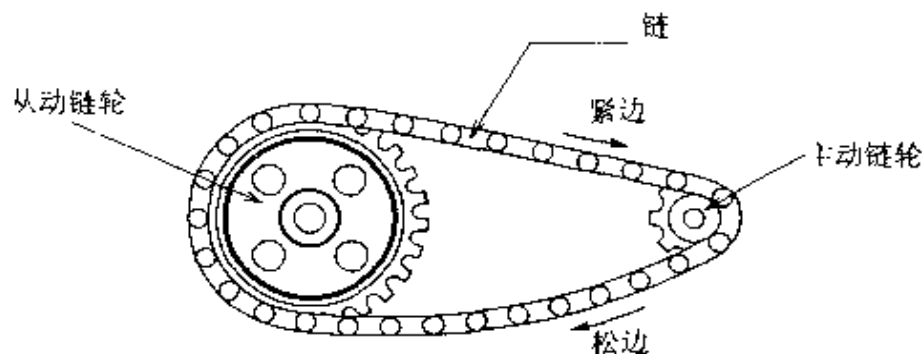


图 5.35 链传动

## □ 解释 ● 链

链传动中常用滚子链,而在希望传动装置具有振动和噪音低的情况则使用无声链。

连接链时需要使用连接用的链节,链节的总数应为偶数,奇数时需使用过渡链节。滚子链的结构如图 5.36 所示。

## ● 链轮

图 5.37 是链轮的结构图。链轮可以采用钢制或铸铁制,至于轮齿,齿数过少则磨损增大且有冲击运动,传动不均匀。因此,齿数要大于 17 且尽量采用奇数齿的链轮。

## ● 滚子链传动设计

链的张力和传动力 设传动功率为  $P(\text{W})$ ,链的平均速度为  $v(\text{m/s})$  时,则链的紧边的张力  $F_t(\text{N})$  可用下式表示:

$$F_t = \frac{P}{v}$$

此处忽略了链的自重。

链的紧边的许用张力不超过链的极限负荷的  $1/7$ ,从表 5.18 中可选取能够承受上式中求得的张力  $F_t$  的 7 倍以上极限负荷的滚子链。

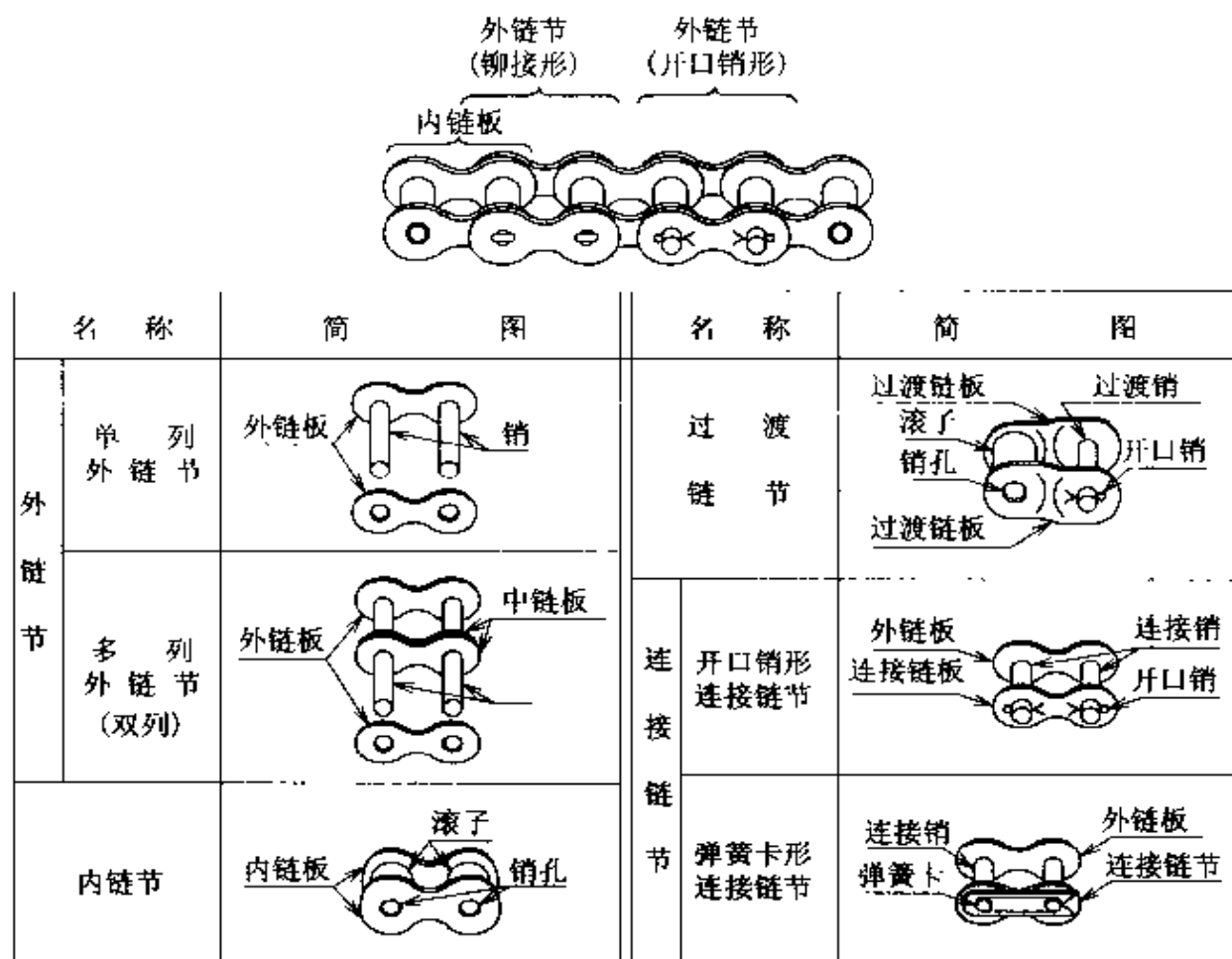


图 5.36 滚子链的构成

(摘自:机械设计制图便览,理工学社)

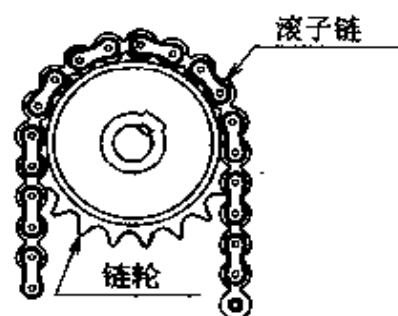


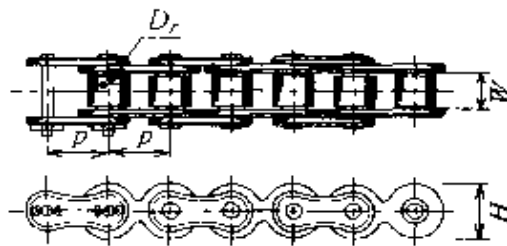
图 5.37 链轮

(摘自:机械设计制图便览,理工学社)

**链轮的齿数** 设主动轮和从动轮的转速为  $n_1$ 、 $n_2$ , 齿数为  $N_1$ 、 $N_2$ , 则传动比可由下式表示:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

表 5.18 滚子链的种类



在大功率传动中可采用多个这种链并列,然后用销钉串起来的多列滚子链。

(单位: mm)

代号	节距	滚子外径 (最大)	内链节 内宽(最小)	内链板 高度(最大)	极限负荷 (最小)(kN)
	$p$	$D_r$	$W$	$H$	
1	12.70	7.95	7.85	12.1	13.8
50	15.875	10.16	9.10	15.1	21.8
60	19.05	11.91	12.57	18.1	31.1
80	25.40	15.88	15.75	24.2	55.6
100	31.75	19.05	18.90	30.2	86.7
120	38.10	22.23	25.22	36.2	124.6
140	44.45	25.40	25.22	42.3	169
160	50.80	28.58	31.55	48.3	222.4
200	63.50	39.68	37.85	60.4	347

又,若链的节距为  $p$  (mm),则链的平均速度可按下列式计算:

$$v = \frac{pN_1n_1}{60 \times 1000} = \frac{pN_2n_2}{60 \times 1000}$$

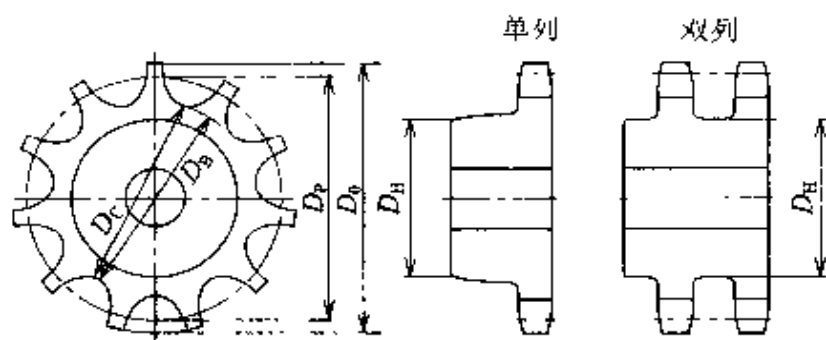
链的链节数 链的长度用节数  $L$  来表示为

$$L = \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{2C}{P} + \frac{P(N_2 - N_1)^2}{4\pi C}$$

由于节数为奇数时需用过渡链节,因此,应尽量改变链轮的齿数或调整中心距以便使节数能为偶数。

此外,轴间距为节距的 30~50 倍为宜。

链轮的尺寸(参见图 5.38)



$p$ : 节距       $D_r$ : 滚子直径       $N$ : 齿数

$$D_p = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{N}} \quad D_0 = p \left( 0.6 + \cot \frac{180^\circ}{N} \right) \quad D_B = D_p - D_r$$

$$D_c = D_B \text{ (偶数齿)} \quad D_c = D_p \cos \frac{90^\circ}{N} - D_r = p \frac{1}{2 \sin \frac{180^\circ}{2N}} - D_r \text{ (奇数齿)}$$

$$D_H = p \left( \cot \frac{180^\circ}{N} - 1 \right) - 0.76$$

图 5.38 链轮尺寸

## 相关知识 ● 有效张力

由于链的松边没有张力,因此有效张力等于紧边的张力。

## ● 链的润滑

滚子链的耐久性与销和销孔的磨损情况有很大关系,故需要适当地润滑。

## 例 题

对于传动功率为 1.2kW,转速为 500r/min 的电机,设二轴中心距 600mm,链的平均速度为 2m/s,传动比为 2,试设计滚子链传递装置,要求安全率为 15。

- [提示]
- |                                    |          |       |
|------------------------------------|----------|-------|
| ① 紧边的张力?                           | <u>答</u> | 600N  |
| ② 安全率为 15 时链的极限负荷?                 | <u>答</u> | 9000N |
| (从表 5.18 选择代号为 40(节距=12.70)的单列滚子链) |          |       |
| ③ 主动链轮的齿数?                         | <u>答</u> | 18 齿  |
| ④ 从动轮的齿数?                          | <u>答</u> | 36 齿  |
| ⑤ 主动链轮的节圆直径?                       | <u>答</u> | 73mm  |
| ⑥ 从动轮的节圆直径?                        | <u>答</u> | 146mm |
| ⑦ 链节数?                             | <u>答</u> | 122 节 |

# 14 标准直齿轮

## □ 要点

齿轮用于二轴中心距较小的动力传动场合,具有传动比准确,传动功率大的特点。为此,要求轮齿与轮齿之间能够稳定平滑地啮合旋转。

在JIS标准中,规定齿轮采用渐开线的标准齿形,理论上可以构成正确啮合的齿轮。

## □ 解释 ● 标准直齿轮

标准直齿轮(standard spur wheel)是采用压力角为20度的标准齿条刀具,在使其基准节线与齿轮的基准节线相切状态下切成的齿轮。

### ● 标准齿条(参见图 5.39)

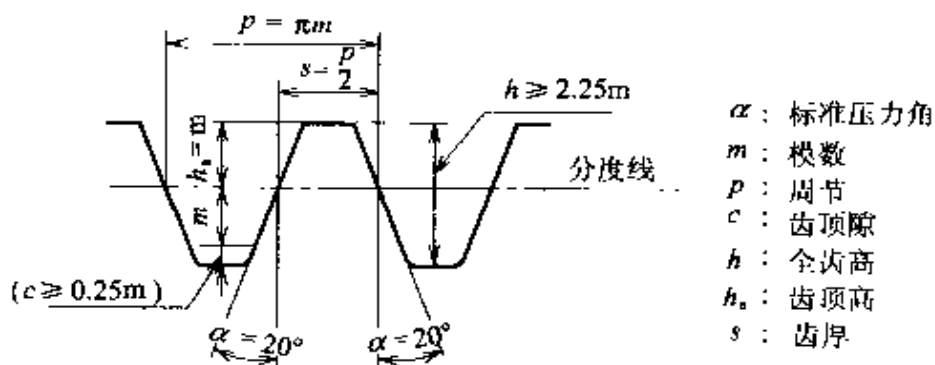


图 5.39 标准齿条

### ● 齿轮的啮合(参见图 5.40)

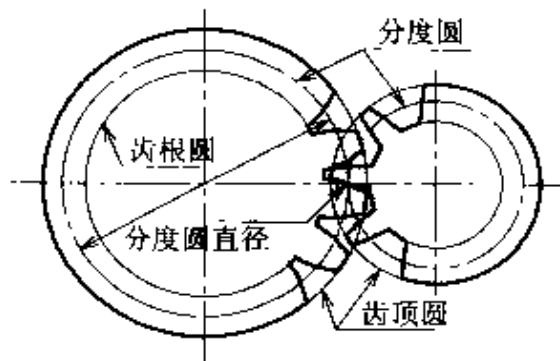


图 5.40 齿轮啮合

(摘自:机械设计2,实教出版)

### ● 模 数

模数是一个表示齿轮大小的量,等于分度圆直径与齿数的商比值。

### ● 齿形的各部分的名称

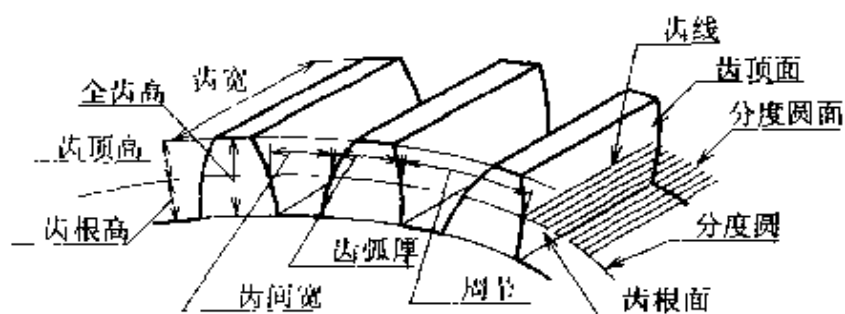


图 5.41 齿轮各部的名称

(摘自:机械设计 2, 机械工业出版社)

### ● 标准直齿轮的尺寸

若一对齿轮的齿数为  $z_1$  和  $z_2$ ,  $m$  表示模数, 则标准直齿轮的尺寸可由下列算式表示:

- |              |  |
|--------------|--|
| ① 分度圆直径      | $d_1 = mz_1$ $d_2 = mz_2$  |
| ② 中心距        | $a = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$   |
| ③ 齿顶高        | $h_a = m$  |
| ④ 齿根高        | $h_f = h_a + c \geq 1.25m$   |
| ⑤ 齿顶间隙       | $c \geq 0.25m$   |
| ⑥ 全齿高 $\leq$ | $h \geq 2.25m$   |
| ⑦ 齿顶圆直径      | $\begin{cases} d_{a1} = d_1 + 2h_a = m(z_1 + 2) \\ d_{a2} = d_2 + 2h_a = m(z_2 + 2) \end{cases}$ |
| ⑧ 周节         | $p = \pi m$  |
| ⑨ 分度圆齿厚      | $s = \frac{p}{2} = \frac{\pi m}{2}$  |

### □ 相关知识 ● 齿侧间隙

要使齿轮平滑运转, 齿与齿之间应有齿侧间隙, 这是保证齿轮润滑的必要条件。

### ■ 例 题 试根据要求设计标准直齿轮

假定模数为  $m = 4\text{mm}$ , 齿数为  $z_1 = 28, z_2 = 84$ , 压力角为  $20^\circ$ , 试设计一对标准直齿轮。

**答]**

$$d_1 = 112\text{mm}, d_2 = 336\text{mm}, a = 224\text{mm}, h_a = 1\text{mm}, h_f = 5\text{mm}, c = 1\text{mm}$$

$$h = 9\text{mm}, d_{a1} = 120\text{mm}, d_{a2} = 344\text{mm}, p = 12.566\text{mm}, s = 6.283\text{mm}$$



## 15 根切与最小齿数

**□ 要点** 在渐开线齿轮的齿数较少或齿数比特别大时,一側齿轮的齿顶会与另一齒轮的齿根相互碰撞使之无法转动,即发生齿干涉。尽管在齿轮加工时切去干涉的部分以使其不产生碰撞,但总归不是我们所希望的。因此,规定了限制和避免根切的最小齿数。

**□ 解释** ● **根切**

在加工齿轮时,如果允许齿条刀具(或滚刀)移出(或进刀)限界进行切削,就可以避免轮齿干涉。然而,一旦进刀越过限界点时,就会产生如图 5.42 所示的根切,致使轮齿的齿根被削弱,降低了轮齿强度和重合度等,这并不是我们所希望的。

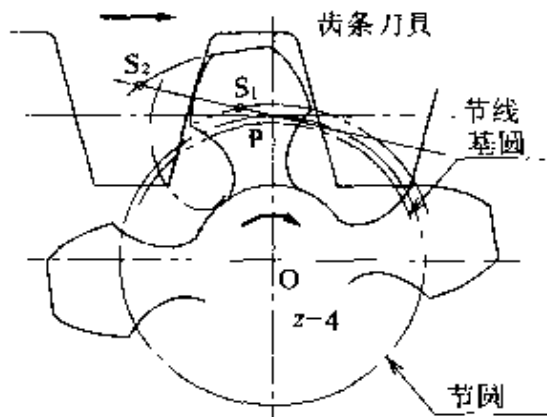


图 5.42 齿轮的根切

● **最小齿数**

一般,压力角为  $20^\circ$  的标准齿轮在理论上的最小齿数应为 17 个,但实用上可使用到 14 个齿。

齿轮不发生根切的最小齿数  $z_b$  可用下式计算,这里的刀具压力角  $\alpha = 20^\circ$

$$z_b = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$$

**□ 相关知识** ● **变位齿轮**

在齿数较少的标准齿轮中,为避免根切而使用齿根较厚的齿轮,并称之为变位齿轮。

# 16 变位齿轮

**要 点** 标准齿轮是指标准刀具的分度线与齿轮的分度圆相切的方法进行加工的齿轮。所谓变位齿轮则是用刀具的分度线向外移出齿轮分度线而加工的齿轮(正变位)。变位齿轮使齿轮不会发生根切且齿厚加大。

**解 释** ● 变位加工(参见图 5.43)

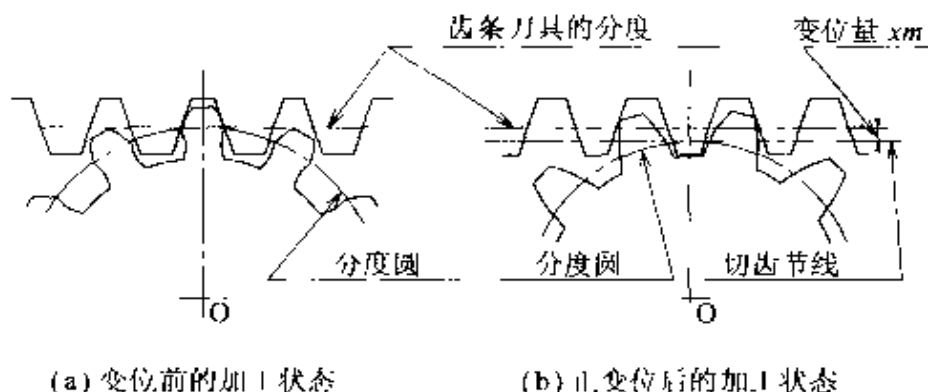


图 5.43 变位加工

(摘自:机械制图便览,理工学社)

**变位量**  
**变位系数**

● 变位量与变位系数

变位量是刀具的分离量,使用模数  $m$  的  $x$  倍数来表示。此处的  $x$  称为变位系数,可用下式表示:

$$\text{变位量} = mx$$

$$x = 1 - \frac{z}{2} \sin^2 \alpha$$

**相关知识** ● 齿隙(齿侧间隙)

为保证直齿轮和斜齿轮的齿隙,加工齿轮时要采用刀具的分度线超过齿轮分度线以便使齿厚变薄的加工方法,应注意与变位区别开来。

**例 题** 变位量和变位系数的计算

试计算使模数为 4mm,齿数为 12,刀具压力角为  $20^\circ$  的齿轮不发生根切的变位系数和刀具变位量。

**答** 不根切的变位系数  $x_0 \geq 0.298$ ,刀具变位量为 1.192。

## 17 轮系与行星轮系

### □ 要 点

组合数对齿轮或变换齿轮可输出不同的速度。根据不同的要求可以改变旋转速度或改变旋转方向的多个齿轮啮合群称为轮系,其中固定齿轮和围绕固定齿轮旋转的齿轮组成的轮系叫做行星轮系。这些轮系适用于机床的主轴、进给轴和汽车的变速装置。

### □ 解 释 ● 轮 系

① 图 5.44 所示轮系的传动比可由下式计算,这里的齿轮齿数为  $z_1$ 、 $z_2$  和  $z_3$ ,各轴的旋转速度为  $n_1$ 、 $n_2$  和  $n_3$ 。

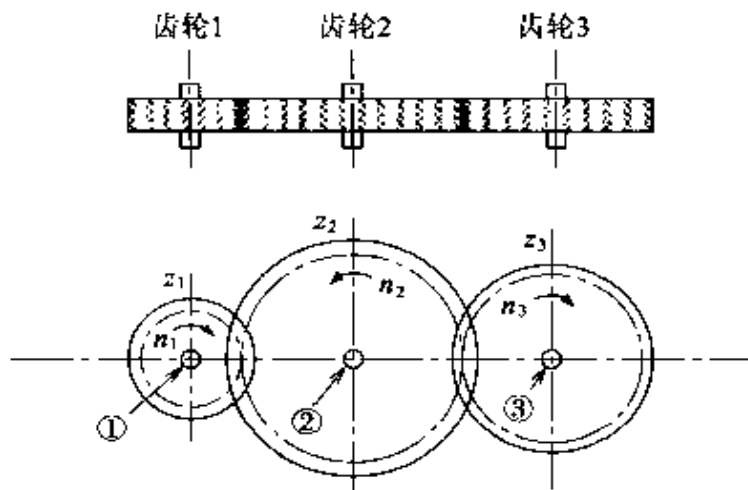


图 5.44 轮系

轴①和轴②的传动比  $i_1$  为

$$i_1 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}$$

轴②和轴③的传动比  $i_2$  为

$$i_2 = \frac{n_3}{n_2} = \frac{z_2}{z_3}$$

轴①和轴③的传动比  $i$  为

$$i = \frac{n_3}{n_1} = \frac{n_2 \cdot n_3}{n_1 \cdot n_2} = \frac{z_1 \cdot z_2}{z_2 \cdot z_3} = \frac{z_1}{z_3}$$

这里,轴②是轮系的中间齿轮,属于对传动比没有影响的介轮(idle gear)。插入此类惰轮的目的是为了改变两端齿轮的旋转方向。

② 图 5.45 所示轮系的传动比可由下式计算,这里的齿轮齿

数为  $z_1, z_2, z_3$  和  $z_4$ , 各轴的旋转速度为  $n_1, n_2$  和  $n_3$ 。

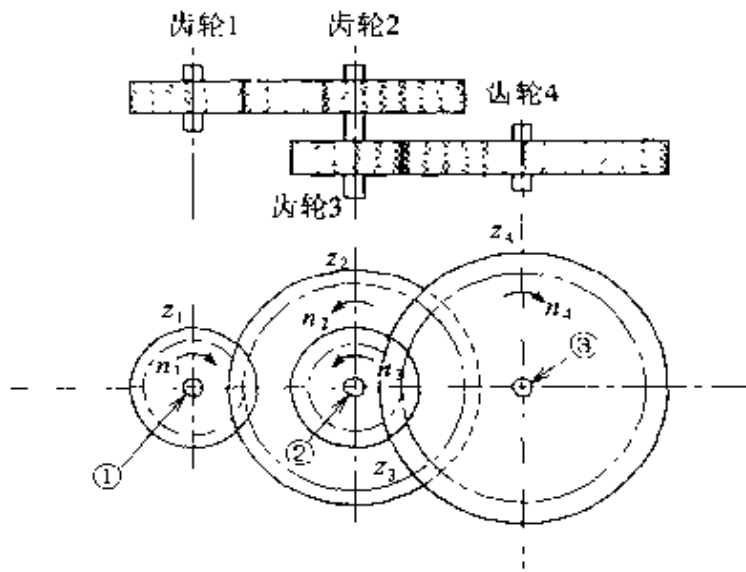


图 5.45 轮系

轴①和轴②的传动比  $i_1$  为

$$i_1 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}$$

轴②和轴③的传动比  $i_2$  为

$$i_2 = \frac{n_3}{n_2} = \frac{z_2}{z_3}$$

轴①和轴③的传动比  $i$  为

$$i = \frac{n_3}{n_1} = \frac{n_2 \cdot n_3}{n_1 \cdot n_2} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

在此轮系中,利用不同的齿轮组合,可以在较大范围内选择不同的传动比。

### ● 行星轮系

只需利用反转法即可得到输入侧和输出侧的传动比的情况下,很容易计算出旋转方向和旋转速度。

① 在图 5.46 所示的行星轮系中,固定齿轮 1,将装有两个齿轮的系杆 A 旋转一周时的旋转方向和旋转速度由表 5.19 给出。

② 在图 5.47 所示的行星轮系中,装有两个齿轮的系杆 A 正向旋转 +3 周,齿轮 1 旋转 +1 周时,齿轮 2 和齿轮 3 的旋转方向和旋转速度如表 5.20 所列。这里,以轴①为中心的逆时针旋转为 +,顺时针方向旋转为 -。

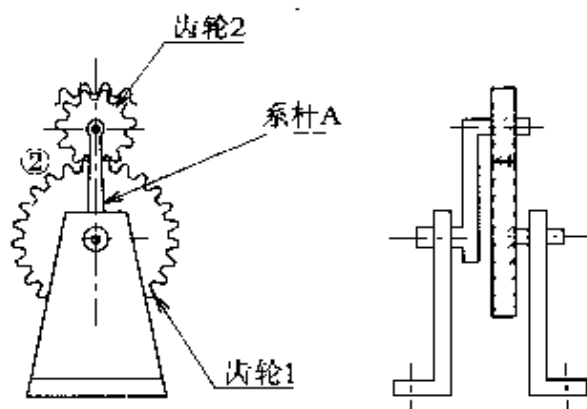


图 5.46 行星轮系

表 5.19

	系杆 A	齿轮 1	齿轮 2
(1) 全体胶合	+1	-1	+1
(2) 固定系杆 A	0	-1	$-(-1) \times \frac{z_1}{z_2}$
(3) 正向旋转速度	+1	0	$-1 + \frac{z_1}{z_2}$

(1) 齿轮 1、齿轮 2 和系杆 A 互相“粘连”，总体以轴①为中心逆时针方向旋转一周时，各自也旋转+1周。

(2) 解除“粘连”，固定系杆并将齿轮 1 旋转-1周时，齿轮 2 的逆转量可由下式表示：

$$-(-1) \times \frac{z_1}{z_2}$$

(3) 系杆 A、齿轮 1 和齿轮 2 的正向旋转速度是(1)和(2)的旋转速度之和。因此，齿轮 2 的旋转速度可用下式表示：

$$+1 + \frac{z_1}{z_2}$$

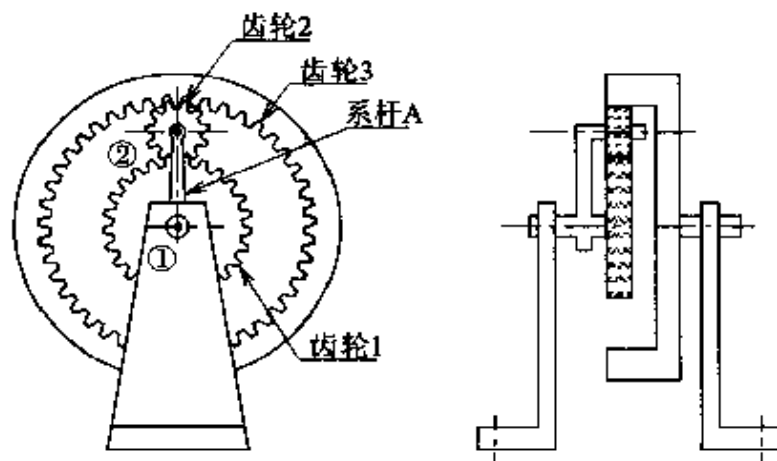


图 5.47 行星轮系

表 5.20

	系杆 A	齿轮 1	齿轮 2	齿轮 3
(1) 全部啮合	+3	+3	+3	+3
(2) 固定系杆 A	0	-2	$-(-2) \times \frac{z_1}{z_2}$	$(-2) \times \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3}$
(3) 正向旋转速度	-3	+1	$+3 + 2 \times \frac{z_1}{z_2}$	$+3 + 2 \times \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3}$

□ 相关知识 ● 差动轮系

图 6.48 所示的差动轮系也是一个行星轮系。这种装置安装在汽车后轴上,当汽车转弯时两轮可以以不同的速度做平稳旋转。

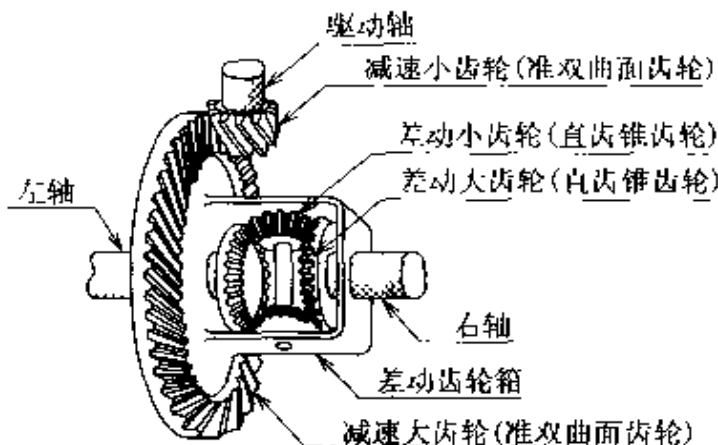


图 5.48 差动轮系的实例  
(摘自:机械用语事典,增补版)

■ 例 题 轮系计算

① 假设图 5.63 所示轮系中各齿轮的齿数分别为  $z_1 = 20, z_2 = 60, z_3 = 30, z_4 = 120$ , 轴的旋转速度  $n_1 = 600 \text{ r/min}$ , 求传动比及轴③的旋转速度  $n_3$ 。

答]  $50 \text{ r/min}$ 。

② 假设图 5.64 所示的行星轮系中各齿轮的齿数分别为  $z_1 = 80, z_2 = 20$ 。当固定齿轮 1, 系杆 A 旋转 +1 周时, 求齿轮 2 的正向旋转速度。

答] +5 周。

## 18 齿轮强度

### 要点

利用齿轮传递动力时,要求轮齿不能折断并应尽量避免齿面磨损,增加耐久性。

齿轮的强度与其形状、材料、精度、润滑以及载荷条件等诸多因素有关,要以此来决定齿轮的各部分尺寸。实际上,准确计算许用载荷是很困难的,通常要根据实际经验设计。

### 解释

#### ● 齿轮的传动功率

若齿轮的传动功率  $P(\text{W})$ ,分度圆上的圆周速度为  $v(\text{m/s})$ ,旋转力为  $F(\text{N})$ ,则有如下的关系。这里所说的旋转力是指沿圆的切线方向的力,即圆周力

$$P = Fv$$

#### ● 弯曲强度

直齿轮的弯曲强度可按齿顶上作用集中载荷的悬臂梁来考虑,与圆周力  $F$  的关系可用下式计算:

$$F = \frac{\sigma_F b m}{Y K_0 K_v S_F} \quad (\text{N})$$

这里,  $\sigma_F$  为许用弯曲应力,  $b$  为齿宽,  $m$  为模数,  $Y$  为齿形系数,  $K_0$  为使用系数,  $K_v$  为动载荷系数,  $S_F$  为安全系数。

#### ● 齿面强度

直齿轮的齿面强度体现了齿面上的任意一点的接触应力与圆周力的关系,用下式表示:

$$F = \left( \frac{\sigma_H}{Z_H Z_E} \right)^2 \frac{u}{u+1} \cdot \frac{d_1 b}{K_0 K_v S_H^2} \quad (\text{N})$$

其中,  $\sigma_H$  为需用接触应力,  $H_{11}$  为区域系数,  $Z_F$  为材料参数,  $u$  为齿数比,  $d_1$  为齿轮的分度圆直径,  $b$  为齿宽,  $K_0$  为使用系数,  $K_v$  为动载荷系数,  $S_H$  为安全系数。

### 相关知识

#### ● 齿轮强度设计

齿轮啮合通常至少有 2~3 对轮齿同时啮合,而设计齿轮强度时可只考虑 1 对齿啮合,并假定全齿宽均匀受力。

齿轮设计时要考虑到齿轮的使用条件和材料,在齿的弯曲强度及齿面的接触强度的计算值中,要选取安全一方来作为设计依据。

## 19 其他齿轮

### □ 要 点

齿轮广泛应用于两轴间距比较小的动力传动,或利用改变齿数来转换传动比(变速装置)。在传动装置和变速装置中需要高速平稳地传递动力时,可根据使用目的不同而采用不同类型的齿轮,其中较广泛使用的有斜齿轮、锥齿轮、交错斜齿轮(螺旋齿轮)以及蜗轮蜗杆等。

### □ 解 释

#### ● 斜齿轮

斜齿轮是轮齿为螺旋线形的圆柱齿轮(参见图 5.49)。斜齿轮轮齿上的啮合点是从一端渐渐向另一端移动,因此,能平稳的传递大功率。斜齿轮比直齿轮的重合系数大且噪音小,但加工时略比直齿轮复杂。

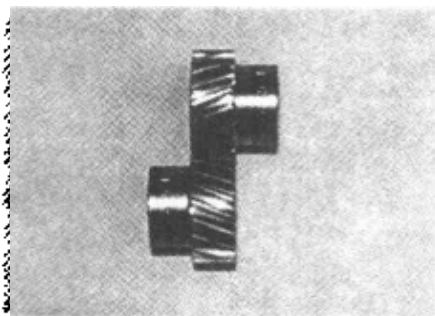


图 5.49 斜齿轮

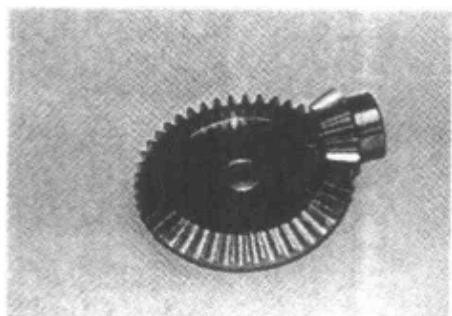


图 5.50 直齿锥齿轮

#### ● 锥齿轮

锥齿轮用于交叉轴之间的传动,是分度面为圆锥体的齿轮(参见图 5.50)。根据轮齿的形状可分成直齿锥齿轮、曲齿锥齿轮和斜齿锥齿轮。齿数相等的一对锥齿轮称为等径锥齿轮,分度圆锥角为  $90^\circ$  的称为正交锥齿轮。

#### ● 交错斜齿轮

交错斜齿轮也是将轮齿面加工成螺旋状的圆柱齿轮(参见图 5.51),用于交错轴的传动,其啮合的磨损较大,不适于大功率传动。

#### ● 蜗轮蜗杆传动

蜗轮蜗杆传动广泛用于在交错轴的传动中、要求有大传动比的场合。一般用于减速装置,图 5.52 是蜗轮蜗杆传动的啮合构成。



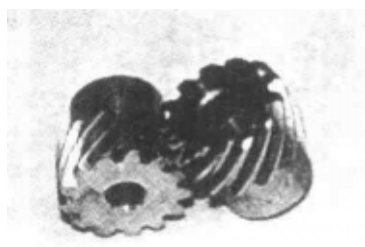


图 5.51 螺旋齿轮

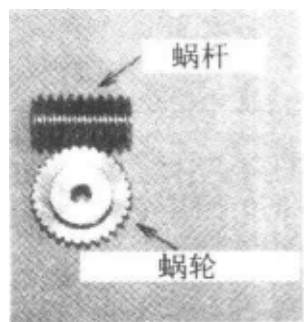


图 5.52 蜗轮蜗杆

## □ 相关知识 ● 齿条和小齿轮

齿条

小齿轮

在直杆类零件上加工出齿形的结构称为齿条,与此相啮合的称为小齿轮(参见图 5.53)。这种传动装置一般可用于将旋转运动转换为直线运动的场合。

### ● 内齿轮

大齿轮与小齿轮内切啮合且其旋转方向均相同的齿轮传动称作内齿轮传动(参见图 5.54)。与外啮合相比,内齿轮具有占用空间小且传动比大的特点。

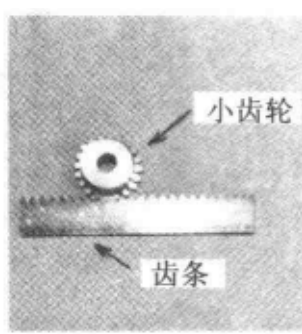


图 5.53 齿条齿轮

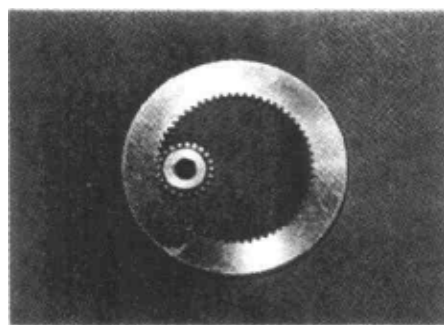


图 5.54 内齿轮

## 20 机械制图

### □ 要 点

制图是指绘制工业生产中使用的图纸的作业。设计者设计的机械和零部件,需要正确地转达到加工和组装人员的手中,图纸就是在设计者和制造者之间传递信息的媒介。有关机械方面的制图就是机械制图,其基本内容已在日本工业标准(JIS)的制图总则中做了规定。此外,也包括利用计算机设计制图的CAD方面的规定。


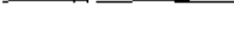

### □ 解 释 ● 线条的种类

制图中使用的线条如表 5.21 所示。根据线型可分为实线、虚线、一点画线和二点画线四种,按线宽可分为粗线、细线和加粗线。此外,如表 5.22 所示,还可以根据用法细分为外形线、隐藏线、中心线、尺寸线、尺寸辅助线、引出线、剖切线、断裂线、假想线和剖面线。





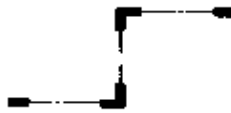



表 5.21 线形和粗细

实线	细线	一点划线	细线
	粗线		粗线
	加粗线		
虚线	细线	双点划线	细线
	粗线		

表 5.22 各种线的用法

用途名称	线种类		线的用途
轮廓线	粗实线		用于表示物体可见部分的线
尺寸线	细实线		标注尺寸用
尺寸辅助线			为标注尺寸从图形引出的线
引出线			为注明、记号用的引出线
旋转断面线			为表示断口形状把断口转 90°表示的线
中心线			简略表示图形的中心
水平面线 <sup>1)</sup>			表示水面、油面的线
隐藏线	细虚线或粗虚线		用于表示不可见部分的形状

续表 5.21

用途名称	线种类		线的用途
中心线	细点画线		①用于图形的中心
基准线			②用于表示中心移动轨迹线
节线			用于明示特殊位置的线
特殊指定线	粗点画线		用于表示节距的基准 用于特殊加工的部分等表示特殊要求事项适用范围
假想线 <sup>2)</sup>	细双点画线		①表示邻接参考部分
重心线			②表示刀具或卡具装置 ③表示可运动部分的特定位置或运动范围 ④表示加工前后的形状 ⑤表示重复 ⑥表示断面前面被剖切掉的部分
断裂线	用不规则的实线或双折线		用于表示断裂部分的边界或剖切掉部分的边界线
剖切线	用细点画线表示, 端部及改变方向用粗实线表示 <sup>3)</sup>		绘制剖面图时, 剖切对应的图上用于表示切断位置
剖面线	用规则排列的细实线		为了表示图中的特定部分与其他部分的区别, 如剖面的断面等
特殊用途的线	细实线		①用于外形线或不可见部分的延长线 ②用于表示平面 ③用于明确表示位置
	加粗实线		用于明示薄壁的实线图

注: 1) ISO 128 (Technical drawing-General Principles of presentation) 中没有规定;

2) 假想线在投影法上是不可见的, 用于表示必要的形状, 还用于帮助理解功能的辅助图形中;

3) 不至于混淆的情况下, 端部及改变方向的位置部分没有必要用加粗线。

备注: 细线、粗线及加粗线的粗细比为 1:2:1。

### ● 制图用文字

制图中的文字要与表示图形的线条的粗细相匹配,要逐字正确、工整、明晰地标出。

① 汉字:汉字要按常用汉字表(日本)书写,16画以上的汉字最好用片假名书写;

② 假名:假名可用片假名或平假名,不能混用;但用片假名表示的外来语不能算作是混用;

③ 数字:主要用阿拉伯数字;

④ 英文:主要用大写字母,但根据情况也可以小写。

另外,文字的大小和种类也有规定,如图 5.55 所示。



图 5.55 制图用文字示例(J形斜体)

### ● 投影图

在纸面上表示物体的形状时可以使用正投影法、轴侧投影法、斜投影法和透视图法。

**正投影法** 此为用平行光把物体的影像投影到画面上的方法,包括单视投影法和三视投影法。机械制图中规定采用三视投影法。

不过,在用三视图还不能完全表达或不好理解的场合,可以采用各方向视图来表达。

主视图  
俯视图  
侧视图

把物体置于一个投影面之间,向各投影面投影即可得到三个投影图(主视图、俯视图和侧视图)。图 5.56 表示了三视图和各方向视图,

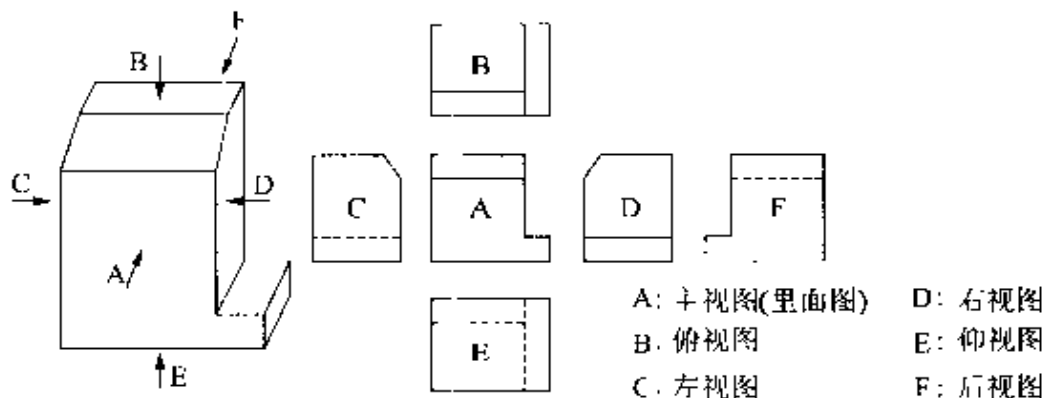


图 5.56 三视图

等角轴侧图  
二等角轴侧图  
不等角轴侧图

**轴侧投影法** 只用一个投影图来描述立体形状的方法叫做轴侧投影法,这种投影法方便识别物体形状。图 5.57 为等角轴侧图,图 5.58 为二等角轴侧图,图 5.59 为不等角轴侧图。

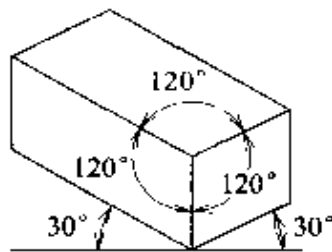


图 5.57 等角轴侧图

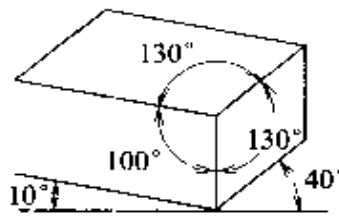


图 5.58 二等角轴侧图

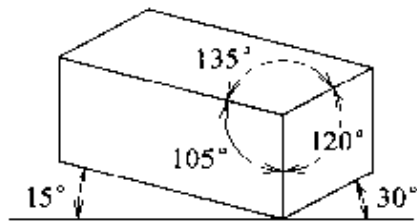


图 5.59 不等角轴侧图

**斜投影法** 使 X 和 Z 轴相互垂直,并使 Y 轴倾斜得到的投影图。与轴侧投影一样,使用斜侧图有利于识别物体的形状。

**透视图法** 具有远近感的图称为透视图。透视图多用于土木建筑图中,而在机械制图使用很少。

### ● 工作图

工作图

记录加工时所必需的零件的形状、尺寸、加工方法及完成状况等的图纸称为工作图。

工作图中最能表达物体形状的方向取为主视图,而将俯视图、侧视图等作为必要的辅助视图。工作图中应尽量减少不可见线条。

**主视图的确定** 在车削旋转体时(参见图 5.60),应将中心线绘制在水平方向,并将加工的重点置于右端。对于平面加工的物体(参见图 5.61),应将长的方向置于水平方向并把主要加工面置于主视图上,这些都是从加工的角度考虑的。

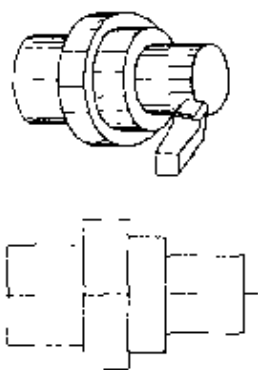


图 7.60 车削

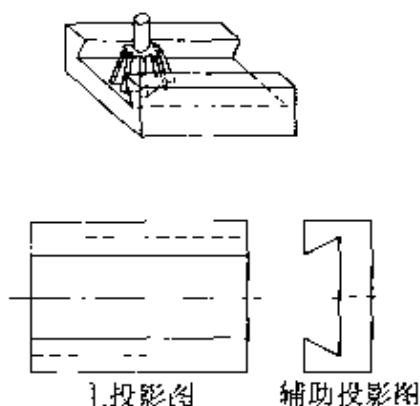


图 5.61 铣槽

## 剖视图

**决定辅助视图(俯视图、侧视图)的方法** 辅助视图有右侧视图、左侧视图、俯视图和底视图等,但应尽量减少辅助视图的数量。

**剖面视图法** 对于物体的内部不能从外部见到的部分,要用剖视图来表示(参见图 5.62)。剖面一般从中心线剖开,从其他部位剖开的剖面要用断裂线表示其位置。

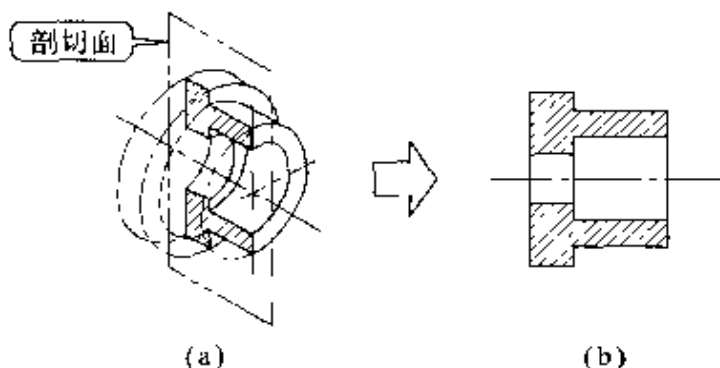


图 5.62 剖视图示例

另外,轴、销、螺母、螺栓、垫圈、小螺丝、螺塞、铆钉、键、筋、车轮辐条和齿轮齿等原则上不剖开,必要时可进行局部剖切。

### ● 尺寸标注法

尺寸标注不仅表示物体的形状和大小,而且要给出加工时所必须的加工精度、方法及工序等数据,以指导生产。

**尺寸比例** 绘制的图形和实物的长度比叫做尺寸比例。制图中采用的缩小或放大的比例如表 5.23 所示,规定为 24 种。不管是缩小或放大,图面上标注的尺寸应是实物的实际尺寸。此外,图面的大小和种类以及轮廓的尺寸可参见表 5.24。

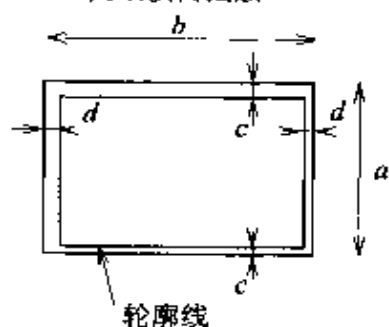
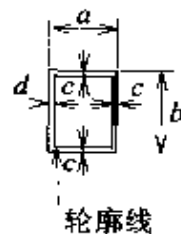
表 5.23 尺寸比例

比例种类	栏	比 例
缩小比例	1	1:2 1:5 1:10 1:20 1:50 1:100 1:200
	2	$1:\sqrt{2}$ $1:2.5$ $1:2\sqrt{2}$ 1:3 1:4 $1:5\sqrt{2}$ 1:25 1:250
与实物相同		1:1
放大比例	1	2:1 5:1 10:1 20:1 50:1
	2	$\sqrt{2}:1$ $2.5\sqrt{2}:1$ 100:1

备注:1 栏为优先使用比例

表 5.24 图面大小的种类和轮廓尺寸 (单位:mm)

A 列大小					加大系列尺寸				
代号	尺寸 $a \times b$	c (最小)	d(最小)		代号	尺寸 $a \times b$	c (最小)	d(最小)	
			不装 订时	装订 时				不装 订时	装订 时
	—			—	A0×2	1 189×1 682			
A0	841×1 189	20	20	25	A1×3	841×1 783	20	20	25
A1	594×841				A2×3	594×1 261			
		A2×4	894×1 618						
A2	420×594	A3×2	594×1 682						
		A3×4	420×1 189						
A3	297×420	10	10		A4×3	297×630	10	10	
				A4×4	297×841				
A4	210×297			A4×5	297×1 051				
				—					

规格为A0~A4的  
图纸横向摆放规格为A4的图  
纸纵向摆放

备注:d 是把图面装订折叠时,标题栏的设为左侧

**尺寸单位** 图纸上的标注尺寸原则上以 mm 为单位,单位的记号不填写。角度的单位采用度,必要时可用到分和秒。

**尺寸标注** 尺寸线不能将标注的尺寸数字中间隔断,且应尽量避免与其他尺寸线相交。在尺寸线的两端要标上箭头符号。

尺寸辅助线应与尺寸线垂直,较混乱时可以用斜线引出。图面上标注的尺寸原则上是完成品的尺寸。

尺寸线为水平的时候,尺寸应标在尺寸线的上方,而垂直时,尺寸应标在尺寸线的左边。标注角度数据的方向以通过角顶的水平线为基准,标注数字的位置在上方时向外标,下方时向中心标。

图 5.63 是长度标注的示例。

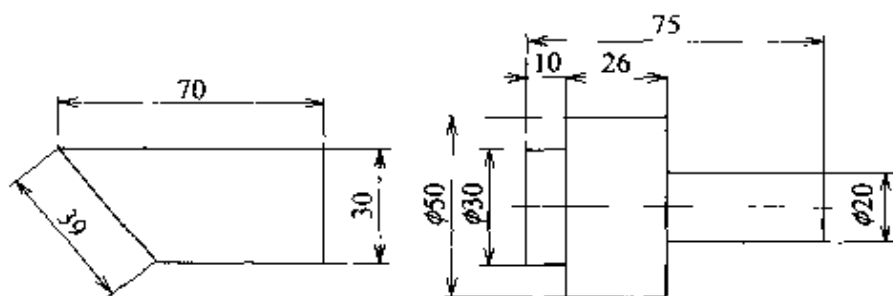


图 5.63 标注长度的实例

**与尺寸并用的形状符号** 为了便于判断物体的形状或简化制图,常使用表 5.25 所列的记号。

表 5.25 尺寸形状符号

符号	读法	符号的意义	符号	读法	符号的意义
$\phi$	斐	直径	SR	爱斯阿	球面半径
□	方	正方形的边	O	希	45°倒角
RS	阿	半径	l	梯	板厚
$\bar{\phi}$	爱斯斐	球面直径	~	圆弧	圆弧长

使用这些符号时应与尺寸数字的大小相同,并在数字的前边并列标注,但圆弧符号应标注在数字的上方。

### ● 尺寸公差

在加工工件时,加工出的工件尺寸不可能完全精确地达到设计尺寸,根据使用目的对于基准尺寸要有一个允许误差范围。允许误差范围的最大值称为最大尺寸,最小值称为最小尺寸。最大尺寸与最小尺寸的差叫做公差。

JIS 标准中,根据公差的大小将其分为 IT1~IT18 共 18 个等



基本公差  
配合  
间隙  
过盈  
间隙配合  
过盈配合

级。这些公差称为基本公差，其中，对于孔和轴的常用基本配合公差范围分别是 IT6~IT10、IT5~IT9。

### ● 轴孔配合

轴和孔的相互装配关系叫做配合，如图 5.64 所示。根据轴和孔的不同，可能出现间隙和过盈。有间隙的一对配合称为间隙配合，有过盈的一对配合称为过盈配合。

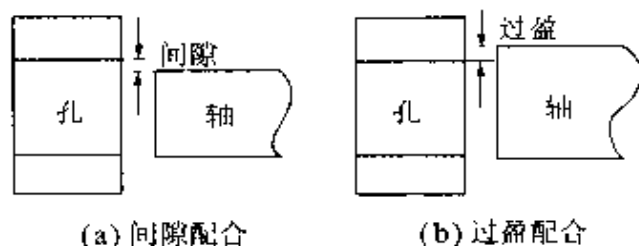


图 5.64 轴孔配合

### □ 相关知识 ● CAD 制图

**CAD 系统概要** 如图 5.65 所示，CAD 系统由处理设备和外围设备的硬件 (hardware) 和运行处理设计制图所必须的软件 (software) 所组成。

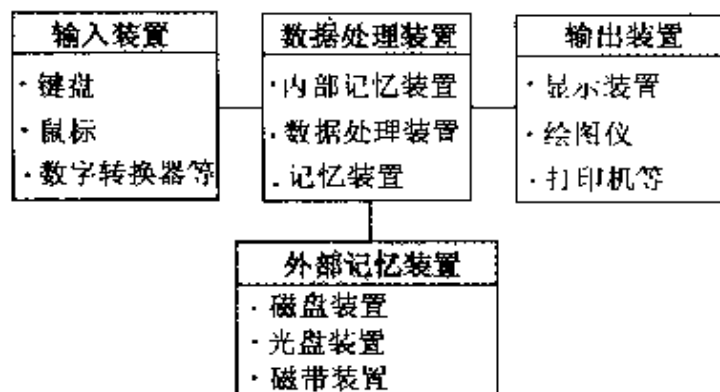


图 5.65 CAD 系统的硬件

**CAD 系统的应用** 在应用 CAD 系统进行设计时，根据设计者的输入信息，计算机对设计的对象构建模型，进行计算及图形处理，同时，对零部件的相互干涉、刀具的运作等进行模拟，并将结果通过显示设备用二维或三维方式输出出来 (参见图 5.66)。

用 CAD 系统计算的数据可模拟加工时的刀具运动，并在讨论其结果的基础上，自动形成控制 NC 数控机床的控制数据。

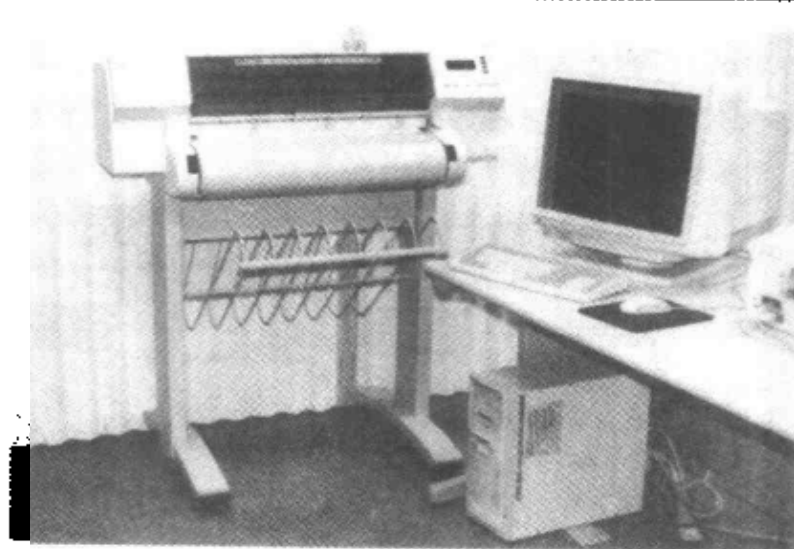


图 5.66 CAD 系统

## CAD/CAM

这种设计和加工相结合的称为 CAD/CAM (computer aided design / computer aided manufacturing, 计算机辅助设计与制造)。由于 CAD 系统的信息可直接转换成生产信息, 使设计与生产有机地结合起来, 可以大大缩短生产周期, 提高效率。

CAD 制图有以下优点:

- ① 可缩短绘图时间;
- ② 绘图精度高, 可以提高图面质量;
- ③ 制图时, 修改和转换方便;
- ④ 对图纸的保管、检索等管理效率高;
- ⑤ 图纸再利用方便, 可加快标准化进程。

### ● 机械设计的基础知识

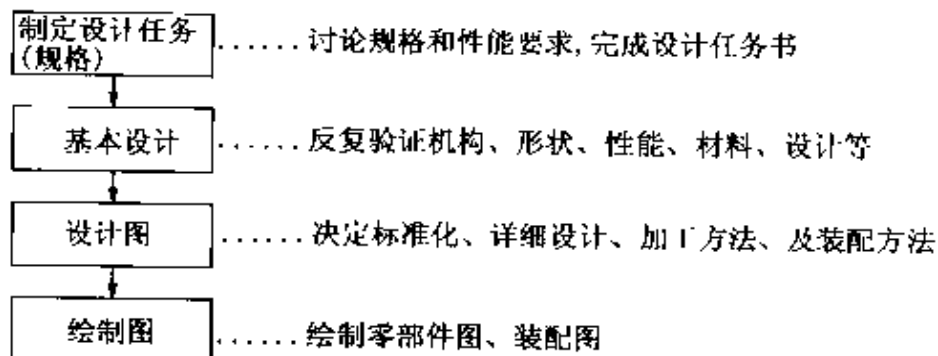
通常, 在制造机械装备时, 首先要构思能够满足使用要求的机构和结构, 再决定各部分的形状、尺寸、材料、强度及装配方法, 此工作过程即为机械设计。

## 机械设计

### ● 设计步骤

## 设计步骤

一般的机械制造中的设计步骤如下:





## 第6章

# 机械加工 技术

一种产品经过构思设计转化为图纸后，就进入加工制造阶段。本章将学习有关机械加工的基本知识。

为了有针对性地选择高效的加工方法和加工设备，需要了解 and 掌握机床的种类、特性以及各种材料的性质。本章归纳了目前使用的典型加工设备、加工方法和各种材料的知识。

- 责任编委

深作贞男

- 执 笔

深作贞男(1~16)

大平典男(17~20)

增田彦四郎(21~31)

# 1 砂型铸造

**要 点** 铸造是根据零件的形状和尺寸先用耐热材料制作好铸型,再将熔化的液态金属注入铸型的型腔中,待其凝固冷却后再从铸型中取出,即得到与型腔形状相同的金属零件(铸件)。砂型铸造是使用铸造用砂制作铸型的铸造方法。

**解 释** ● 铸件的制作

砂型中的型腔是用模型制作出来的,模型的材料通常是木材或铝合金。铸造使用的模型称为原型。制作砂型的基本过程如图 6.1 所示,将原型、砂箱放在型板上,在砂箱中放入型砂,捣实后取出原型,就在砂型中形成空腔。这种有空腔的砂型称为铸型。将熔化的金属浇入铸型中即可得到铸件。

模型  
原型  
铸型

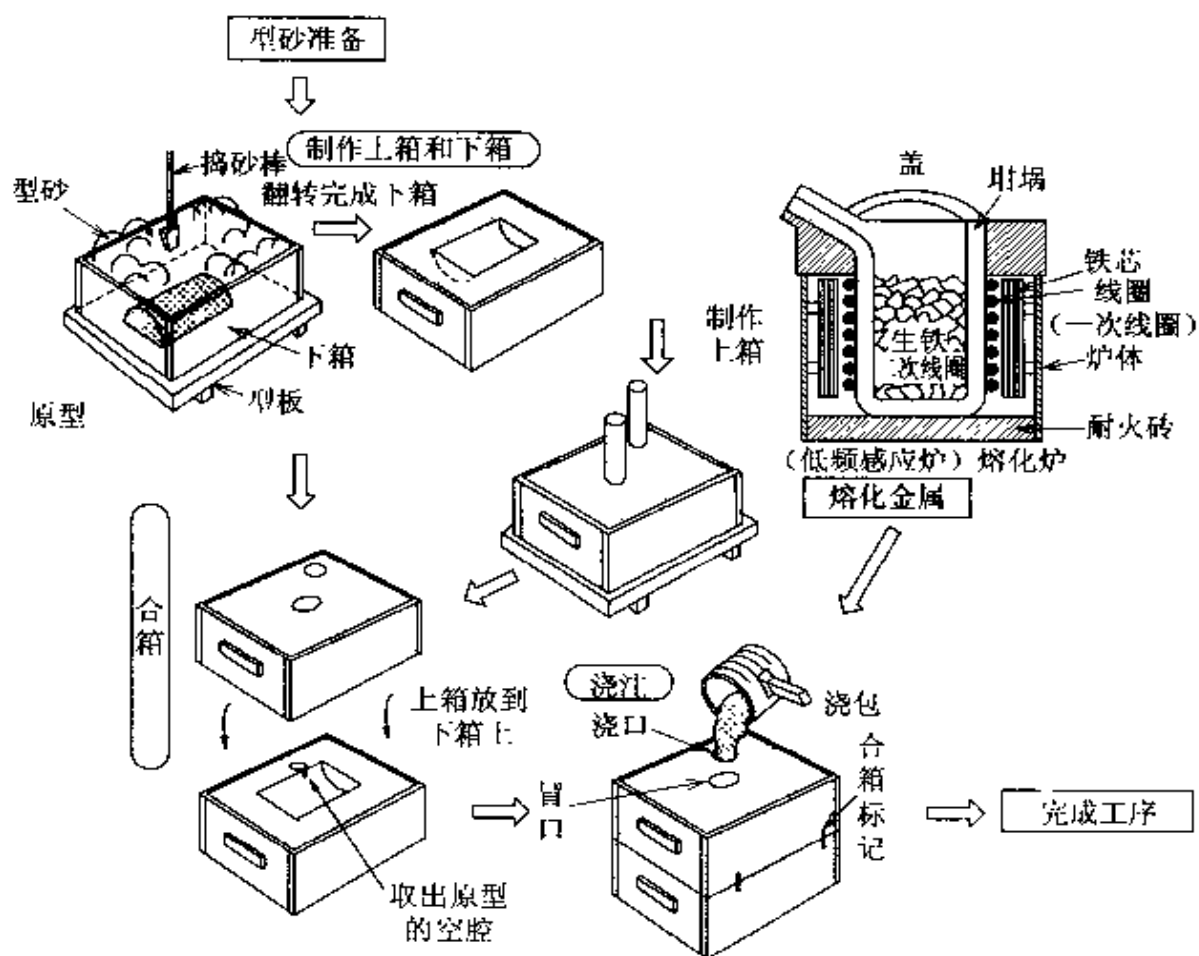


图 6.1 砂型铸造的基本过程

## 2 铸造用砂

### □ 要点

当温度很高的液态金属浇入型腔后,因其与型砂接触,故要求铸造使用的型砂耐火性好,在高温下几乎不产生分解和变质。型砂可分为天然砂和人工砂。天然砂需要经过精加工,人工砂是由耐热岩石经人工破碎筛选而成的。

### □ 解释 ● 型砂的种类和成分

**型砂的种类** 铸造用砂根据 JIS 可分为山砂和硅砂,参见图 6.2。黏土含量为 2%~40% 的型砂为山砂;而黏土含量小于 2% 且二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )含量大于 85% 的型砂为硅砂。

山砂  
硅砂

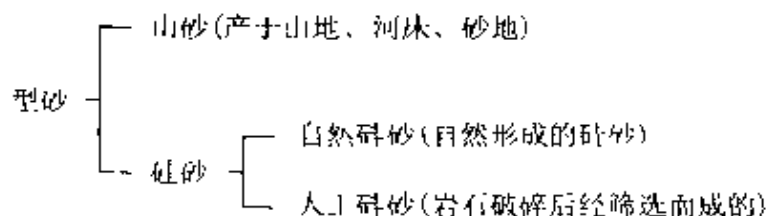


图 6.2 铸造用砂的种类

**型砂的成分** 型砂成分因产地及岩石的种类而异,一般认为二氧化硅含量高的为优质型砂,表 6.1 列举了几种型砂的主要成分。

表 6.1 型砂的成分 (单位:%)

	砂名称(产地)	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	(黏土)
山砂	神户砂 (兵庫)	81.17	9.38	2.71	0.52	0.84	(11.1)
	野间砂 (爱知)	78.90	12.57	2.15	0.65	0.33	(13.0)
	川口砂 (埼玉)	76.38	9.95	6.01	1.28	0.51	(15.1)
天然 乱砂	濑户砂 (爱知)	96.25	4.0	0.29	0.25	0.16	
	土岐津砂(岐阜)	98.83	1.15	0.12	0.10	0.13	
	小高砂 (福岛)	96.84	0.93	0.06			
	奥塔瓦砂(加拿大)	98.36	0.37	0.07	0.26	0.30	
人造 硅砂	橄榄石砂	40.52	0.53	7.20	0.17	50.01	

注:橄榄石砂,用橄榄石破碎制造的人工乱砂。

### 3 铸造用模型

**□ 要点** 按照设计图纸加工铸件时,首先必须制作出由图纸给定形状的模型。模型可以用木材或金属制作,分别称为木制模型和金属模型,统称为原型。普通的原型用木材或铝合金制作,根据铸造方法及铸件的种类不同,原型也可用石膏、发泡苯乙烯或石蜡等材料制作。

**□ 解释** ● 木制模型的种类

如图 6.3 所示,木制模型可以分为以下几种:

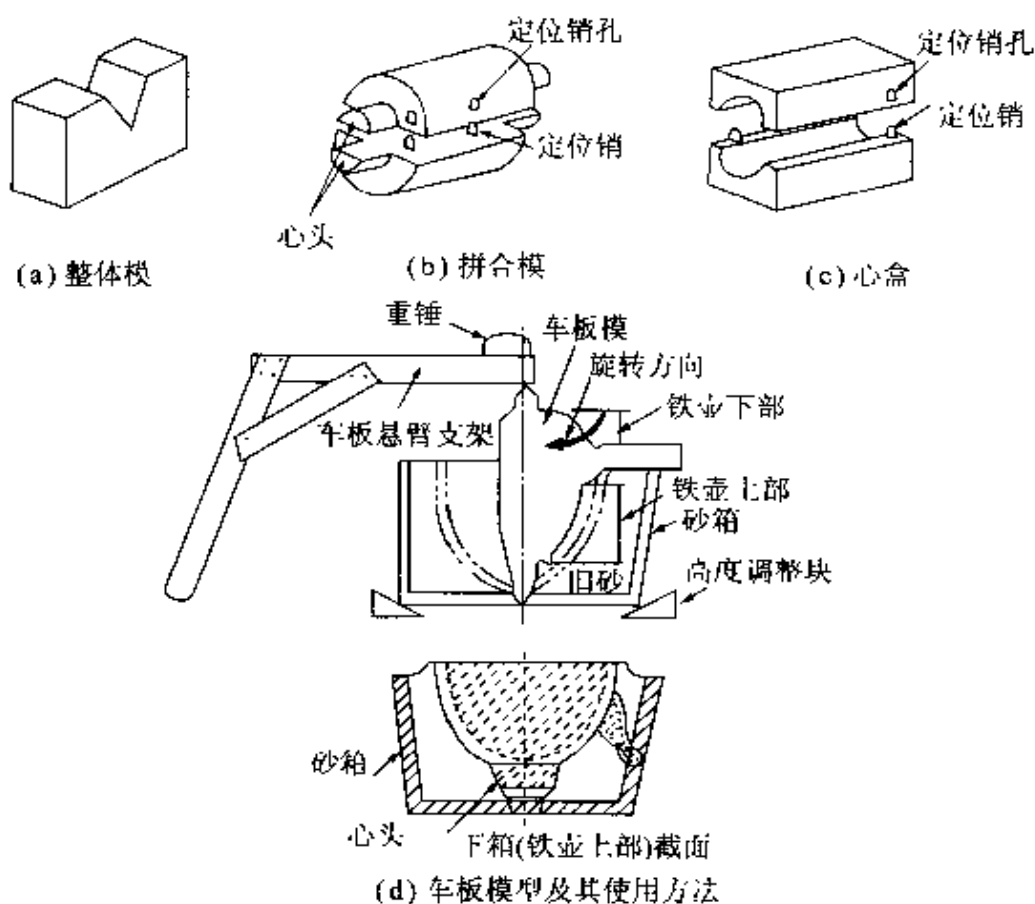


图 6.3 木制模型的种类

**立体模型**

① **立体模型**(整体模、拼合模、组合模) 与铸件形状几乎完全相同的模型;

**车板模型**

② **板模型**(车板模型、刮板) 做成铸件轴截面形状的木制模型;

**心盒**

③ **心盒** 用于制作型心的木制模型。型心的主要作用是构成铸件的内腔。

## □ 相关知识 ● 木制模型的工艺参数

为得到图纸规定形状、尺寸的铸件,在制作木制模型时要进行适当的尺寸放大,如图 6.4 所示。

### 收缩余量

① 收缩余量 金属熔化后体积膨胀,凝固冷却后收缩。所以在制作木制模型时要加上凝固后被收缩部分的尺寸。

### 精加工余量

② 精加工余量 许多铸件表面都需要经过切削精加工后才能最终符合图纸规定的尺寸,所以铸件上要留出切削余量。为切削等留出的加工量称为精加工余量。

### 起模斜度

③ 起模斜度 制作铸型时,木制模型被埋在型砂中,捣实后需要取出木制模型才能形成铸型的型腔。在木制模型上作出便于取出木制模型的斜度,称为起模斜度。

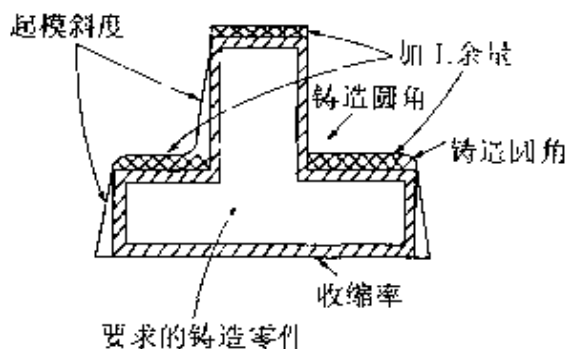


图 6.4 木制模型的工艺参数

## ● 木制模型的工艺

液态金属的凝固冷却过程是一个结晶过程,铸件凝固时的结晶方式决定了铸件的性质。结晶时,冷却快的部分先形成晶体。尖角部分由于冷却速度不同,结晶方式如图 6.5(b)所示。由于以这种结晶方式形成的晶体会使材料强度降低,所以,除特殊需要

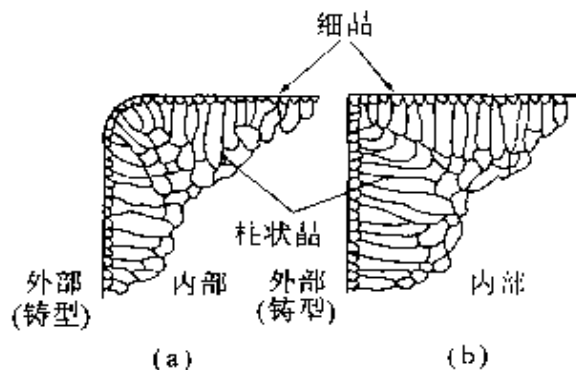


图 6.5 木制模型的形状与结晶方式的关系



外,一般都要去掉木制模型的尖角处,作成圆弧等形状,将这种工艺结构称为铸造圆角或倒角。图 6.5(a)是有铸造圆角铸件的结晶,利用此方法形成的材料强度较高。

# 4 铸 型

## □ 要 点

为了将熔化的金属(金属液)引入型腔中,获得轮廓清晰、符合要求的铸件,必须在铸型上设置浇口和浇道等。铸型通常是用耐火性好的型砂或金属制作,用型砂制作的铸型称为砂型,而用金属制作的铸型称为金属模型。金属模型通常是经机械加工成型腔,设计型腔时也要考虑到金属的收缩量,型腔要比铸件稍大些,使最终得到的铸件符合设计要求。

## □ 解 释 ● 铸型的种类

砂型(参见图 6.6)。

使用型砂制作铸型的方法有以下几种:

### 湿型

① 湿型 由于山砂中的黏土含量较高,只需加水混匀即可使用。用这种型砂制作的铸型称为湿型。

### 水玻璃型

② 水玻璃型 在硅砂中加入 4%~6% 的硅酸钠并充分混合得到水玻璃砂。用水玻璃砂制作的砂型需要吹入二氧化碳进行硬化,由于硅酸钠与二氧化碳发生化学反应,得到的铸型强度高,称为水玻璃型。

### 壳型

③ 壳型 将混有酚醛树脂的型砂覆盖到加热的金属模型上,使与热金属模型接触的型砂固化,形成铸型(壳型)。酚醛树脂具有加热到 100℃ 时软化和 180~240℃ 时固化的特点,制作壳型即利用了此性质。

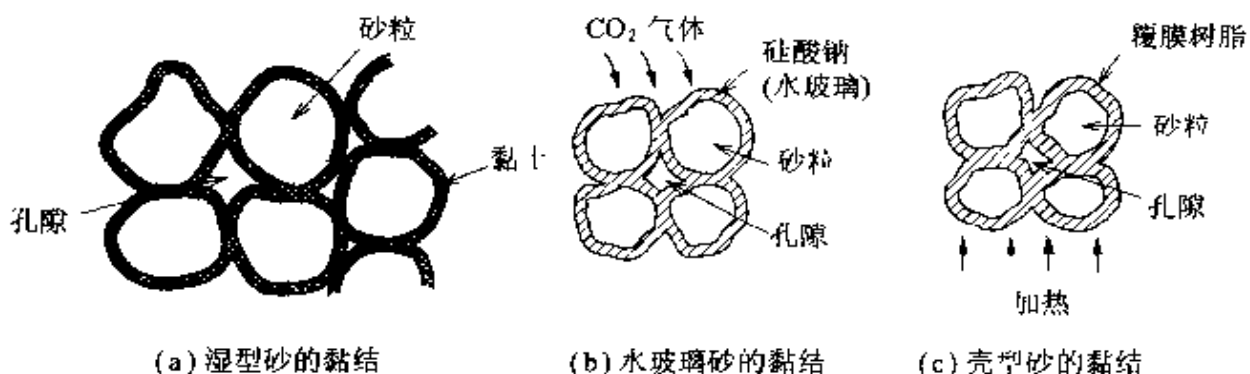


图 6.6 砂粒的黏结

**金属型**

**金属型** 以金属为材料,经机械加工得到的铸型称为金属型。使用金属型铸造的方法有以下两种:

**压铸**

① **压铸** 将熔化的金属用较大的压力压入金属型中并凝固获得铸件的方法。

**金属型铸造**

② **金属型铸造** 熔化的金属在重力作用下注入金属型中凝固获得铸件的方法。

## □ 相关知识 ● 铸造工艺设计

为使金属液快速地流入型腔以得到完整的铸件,铸型上必须设有浇口、冒口、出气孔、溢流冒口等,参见图 6.7。它们的尺寸和位置因金属的种类、铸件形状及大小等不同而异,要根据具体情况设计。

金属凝固时体积收缩,在铸件中常会因收缩产生空洞,称为缩孔。冒口的主要作用是消除缩孔,是在铸件外设计的一种工艺结构。如图 6.7 所示,冒口要设计大些,并且凝固速度要比铸件部分慢才能起到补充金属液的作用。

在铸件凝固过程中,当各处冷却速度相同时不容易产生缩孔。采用图 6.8 所示安放冷铁的措施,可以实现薄壁处与厚壁处同时凝固的目的。

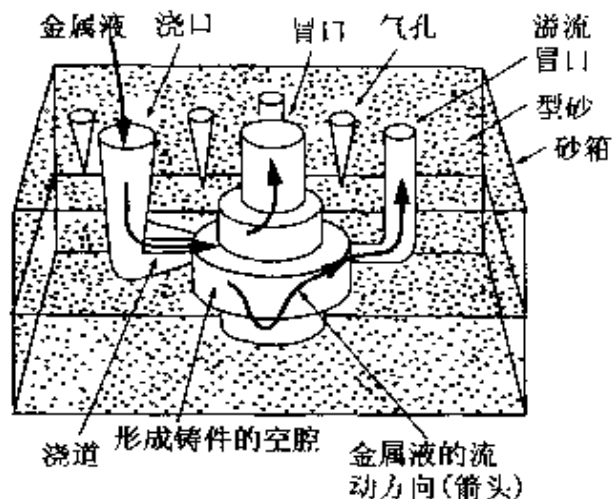


图 6.7 铸型的构成

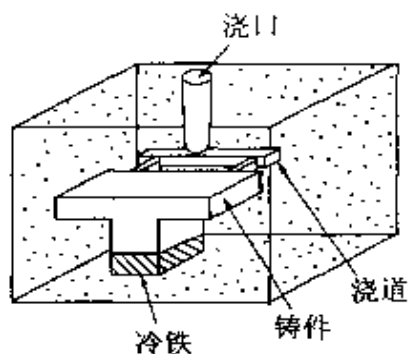


图 6.8 同时凝固的措施

## ● 金属的凝固

液态金属的凝固过程如图 6.9 所示。请读者认真观察焊锡的凝固过程。

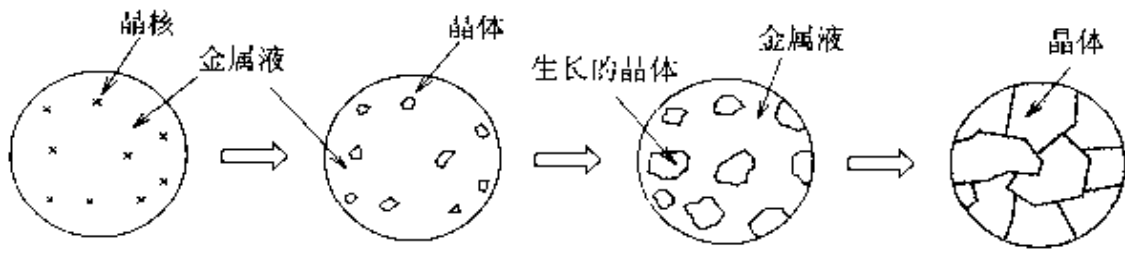


图 6.9 金属的凝固过程

## 5 压力铸造

□ 要

点

压力铸造是液态金属在高压下快速充型并在压力下凝固成型的铸造方法,简称压铸。

压铸模具是采用耐热钢通过精密加工制作而成,由动模和静模构成,两者合到一起形成生产铸件的型腔。

□ 解

释

### ● 压铸件的制作

压铸方法生产铸件要使用压铸机。首先将在熔化炉中熔化的金属液从浇口注入,然后用柱塞以  $5\sim 200\text{ MPa}$  的压力将金属液压入模具并保持压力,待凝固后取出铸件。

图 6.10 为压铸机生产铸件的过程。压铸的熔化炉有两种配置方式,一种是压铸机本身配有熔化炉,另一种是压铸机与熔化炉分离。图 6.10 是压铸机与熔化炉分别配置的方式,图 6.11 为压铸件。

压铸适用于生产熔点较低的金属件,如铝锌等合金。压铸件致密、精度高,能产生壁厚为  $2\sim 6\text{ mm}$  的薄壁件。

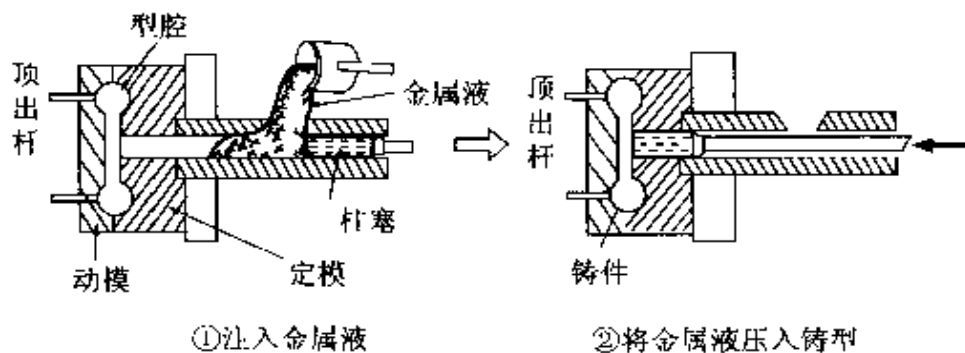


图 6.10 压铸机的生产过程

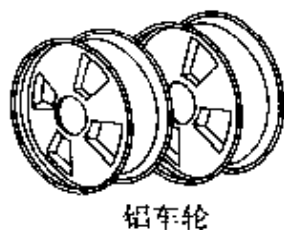


图 6.11 压铸件实例

## 6 其他铸造方法

### □ 要 点

除上述铸造方法外,将金属液注入铸型生产铸件的方法还有许多,在此仅列举出两种:一种是能够生产非常精密、形状复杂铸件的精密铸造;另一种是壳型铸造,用于生产汽车零件等大批量的铸件。

### □ 解 释

#### ● 精密铸造

用合成树脂或石蜡制作原型,在原型周围涂敷上硅砂或三氧化二铝等耐热材料制作铸型,然后加热铸型使原型材料熔化并流出而得到型腔。向铸型中注入金属液,冷却后得到铸件。这种铸造方法可以生产形状复杂、非常精细的精密制品,故称为精密铸造。

因为是用石蜡制作原型,将石蜡熔化除去得到铸型,所以也称这种铸造方法为失蜡铸造法。又因为这种方法是造型材料将原型包裹起来后将原型熔化,又被称为熔模铸造。

图 6.12 为用精密铸造方法制作戒指。

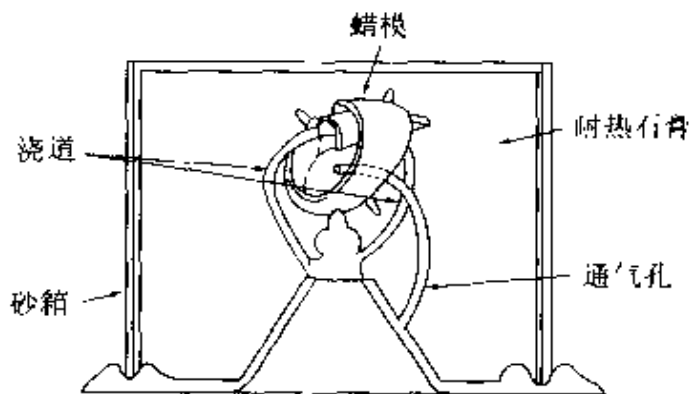


图 6.12 用精密铸造制作戒指

#### ● 壳型铸造

壳型铸造的铸型厚度由金属原型温度决定,调整原型温度就可以确定铸型厚度。制作较小的铸件时,铸型厚度为 5~10mm。由于制作铸件的铸型很薄,所以称为壳型铸造。

壳型铸造不但生产铸型的时间短,而且铸件凝固后,铸型与铸件容易分离,适于大批量生产。

合成树脂

石蜡

三氧化二铝

失蜡铸造法

大批量生产

## 7 锻 造

### 要 点

锻造是将金属坯料加热后,在高温下通过锻锤或金属模具施加外力,使金属坯料塑性变形,以获得一定形状、尺寸锻件的成型方法。锻造成型可以提高材料的机械性能

### 解 释

#### ● 锻造的种类

锻造可以分为自由锻造和模型锻造。自由锻造是利用手锤或机械锤施加外力,使加热后的金属坯料产生塑性变形;模型锻造是将金属坯料加热后放在具有一定形状的锻模内,通过外力作用使坯料在模腔形状控制下塑性变形并充满模腔,从而获得与模腔形状一致的锻件。模型锻造简称模锻。

自由锻造  
模型锻造

热锻造  
冷锻造

按加热温度不同,将锻造分为热锻造和冷锻造。加热温度在金属再结晶温度以上的锻造方法称为热锻造;反之称为冷锻造。

**自由锻造** 基本工序如图 6.13 所示,有锻粗、锻延、切沟槽等。锻粗是沿锻件的轴向方向进行锻造,使坯料高度减小而横截面积增大的工序。锻延是沿垂直于锻件轴向进行锻造,使坯料横截面积减小,长度增加的工序。切沟槽可以在零件上加工沟槽。自由锻造通过基本工序的组合可获得各种形状的锻件。

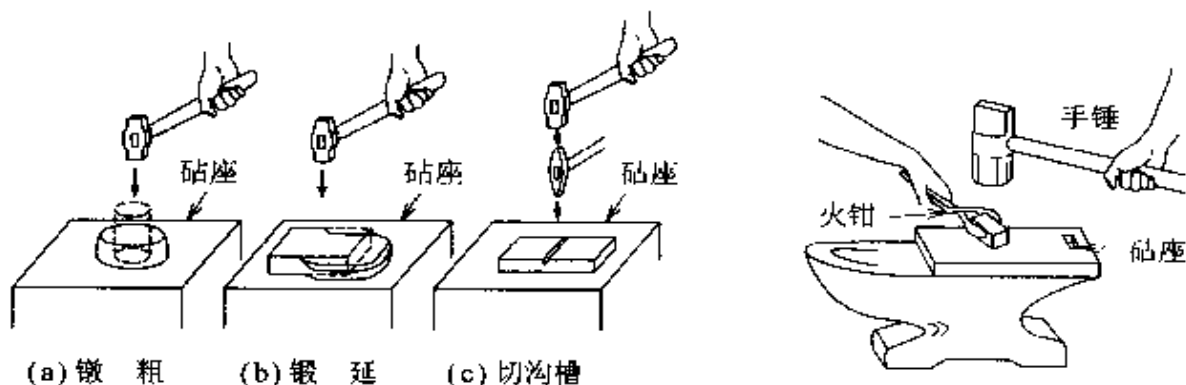


图 6.13 自由锻造的基本工序

压缩成型

**模型锻造** 如图 6.14 所示,模型锻造是将金属坯料加热后放在上下一对的锻模内,通过外力作用压缩成型来获得与模腔形状一致的锻件的锻造方法。适用于制作扳子、扳手等工具,或加工齿轮、曲轴等汽车零件。

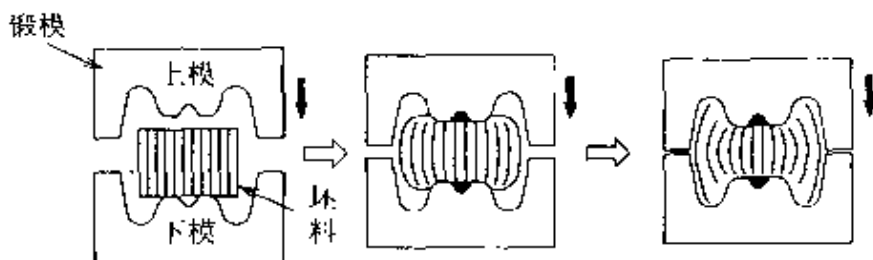


图 6.14 模锻

□ 相关知识 ● 加工硬化和再结晶

加工硬化

金属是由非常小的晶体组成的。金属晶体在一定外力的作用下会发生变形或损坏。若在常温下发生形变会导致金属变硬,发生加工硬化现象。加工硬化使金属的强度、硬度增加,塑性降低,金属变脆。冷锻造就是利用加工硬化现象来提高金属硬度的。

再结晶

将因加工硬化而变脆的金属加热到某一温度,金属就会变软。这是因为金属中形成了新的晶核并长大的结果。称此现象为再结晶。金属再结晶时,硬度下降,塑性增加,产生软化作用。金属的种类不同,其再结晶温度也有差异。图 6.15 所示为金属再结晶的过程。

再结晶温度

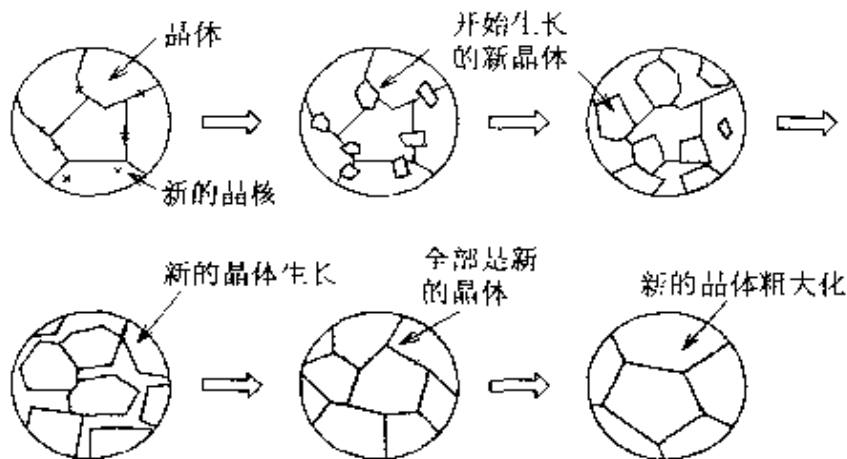


图 6.15 金属再结晶的过程

● 纤维组织

锻造是通过对金属坯料施加外力使坯料发生塑性变形。塑性变形会带来金属内部组织结构的变化。图 6.16 中的晶体发生变形而呈相互连接状态,称为晶体的纤维组织。具有纤维组织的金属材料机械强度高。如图 6.17 所示,锻造时所施加的作用力有利于形成纤维组织,所以常用此方法制作机械强度较高的零件。



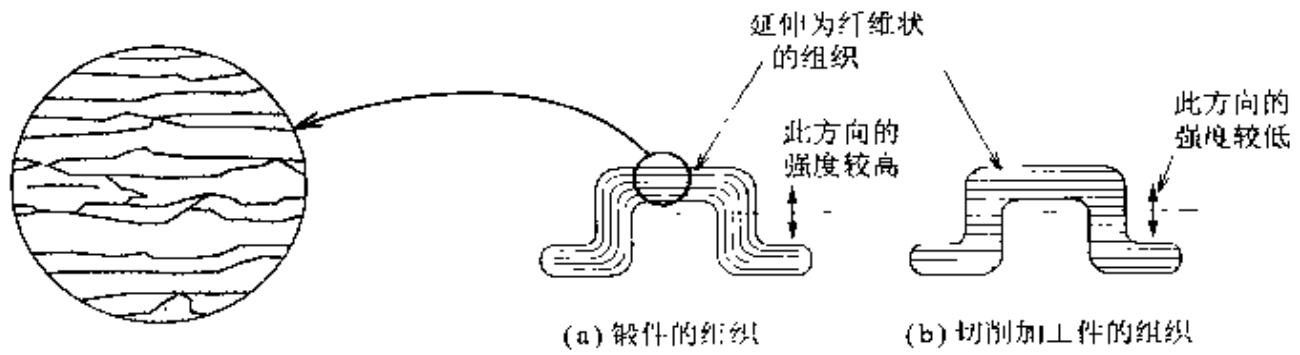


图 6.16 晶体的纤维组织

图 6.17 具有纤维组织的零件强度

## 8 粉末冶金

### □ 要点

粉末冶金是将金属粉末放入金属模具中压制成型,然后在高温下使粉末烧结得到制品的成型方法。用粉末冶金成型的零件机械性能高,但不能制作形状复杂的零件。形状复杂的机械零件常用切削加工、熔化金属成型的方法制作。

### □ 解释

#### ● 制作方法

将原料——金属粉末放入金属模具中,使其在 200~700 MPa 压力的作用下**压缩成型**。然后将压缩成型体放入加热炉中,在 760~800℃ 的温度下**烧结**。这样得到的制品的**孔隙率**为 20%~30%。若将其放入另一模具中再次压缩,就能获得孔隙率为 5%~10%、机械性能很高的零件(参见图 6.18)。

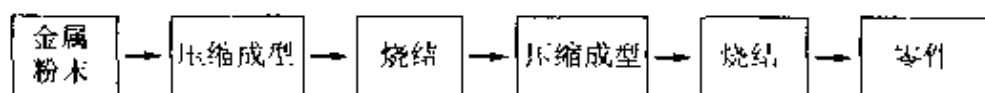


图 6.18 粉末冶金的成型过程

### 含油轴承

电风扇、洗衣机的电机轴承是**含油轴承**。这种轴承采用多孔质的粉末冶金材料,成型后在该材料中渗入润滑油。含油轴承的特点是不需要经常加润滑油。

#### ● 金属粉末的制备

### 金属粉末

金属粉末的种类很多,有铁粉、铜粉、锡粉、铝粉及钨粉等。常用的制备金属粉末方法有雾化法(参见图 6.19)、粉碎法和还原法等。

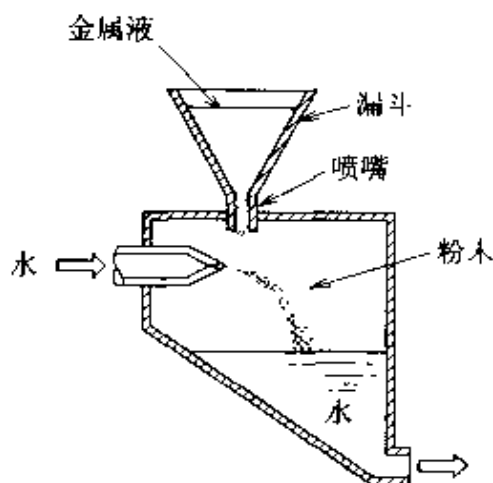


图 6.19 金属粉末的制备方法(雾化法)

金属粉末的颗粒大小根据产品不同而异。如机械零件用铁粉为  $40\sim 50\mu\text{m}$ ，制作电灯丝用的钨粉为  $1\sim 3\mu\text{m}$  等(参见图 6.20)。

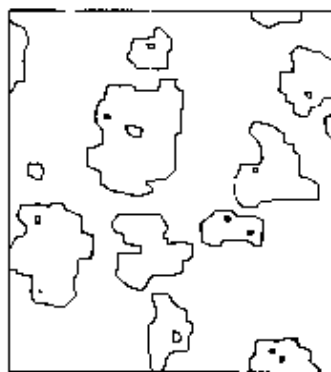


图 6.20 金属粉末的形状

## □ 相关知识

### ● 金属粉末的压缩成型

#### 压缩成型

将金属粉末放入金属模具中施加高压,使其相互聚合,紧固为金属模具的形状,称为**压缩成型**。尽管金属粉末在高压下成型,但其内部仍有  $15\%\sim 25\%$  的孔隙。

### ● 压缩成型体的烧结

#### 压缩成型体

金属粉末被压缩成型后的预制品称为**压缩成型体**。虽然压缩成型体的聚合度很高,但受到较小的外力就会被破坏。若将压缩成型体加热到低于金属熔点的某一温度,粉末间就会牢固地结合,形成机械强度高的成型体。此过程称为**烧结**。**烧结体**就是指经烧结得到的成型体(参见图 6.21)。

#### 烧结

#### 烧结体

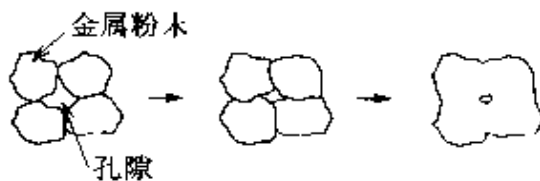


图 6.21 烧结的过程

表 6.2 金属熔点

钨	3 387
碳化钨	2 860
氧化铝	2 015
钴	1 494

(单位:℃)

#### 扩散

#### 塔曼温度

烧结利用了**扩散**现象,即原子在低于熔点温度下的移动现象。扩散的温度一般为金属熔点(参见表 6.2)的  $1/2\sim 1/3$ ,称之为**塔曼温度**。

### ● 粉末冶金件

由于粉末冶金件是在熔点的  $1/2\sim 1/3$  温度下成型的,所以,

**高熔点材料**

适合于制作高熔点材料的制品。

用粉末冶金成型法制作切削工具或超硬合金的模具时,先将碳化钨粉和钴粉混合的粉末在 100~400MPa 压力作用下压缩成型,然后在 1380~1700℃ 的温度下烧结。由于烧结温度高于钴的熔点而使钴被熔化,故称之为**液相烧结**。

**液相烧结**

电灯中的灯丝是用钨粉制成的。钨粉的熔点极高,不能使用液相烧结方法。由于其压缩成型体的烧结温度为 1700~1800℃,低于钨的熔点,所以将这种不溶化金属粉末的烧结方法称为**固相烧结**。

**固相烧结**

因为烧结体中有空隙,所以,要求强度高、耐热性好的过滤产品中多使用粉末冶金成型法。

## 9 注 塑

**要 点** 塑料具有加热后软化的性质。将加热软化的塑料以高压注入到金属模具中,冷却后得到塑件的加工塑料制品的方法称为注塑。

**解 释** ● 塑件的制作方法

金属模具

制作塑件时,先将片状或颗粒状的塑料原料加热使其软化呈流动状态,然后以高压将原料注射到金属模具的型腔中。图 6.22、图 6.23 为注塑机的结构图。

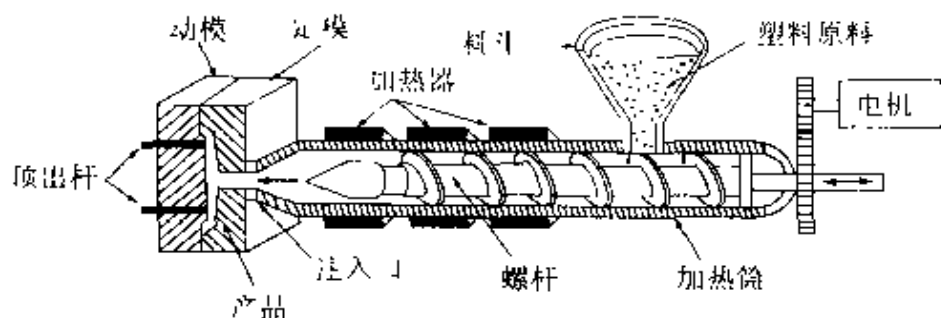


图 6.22 螺旋式注塑机

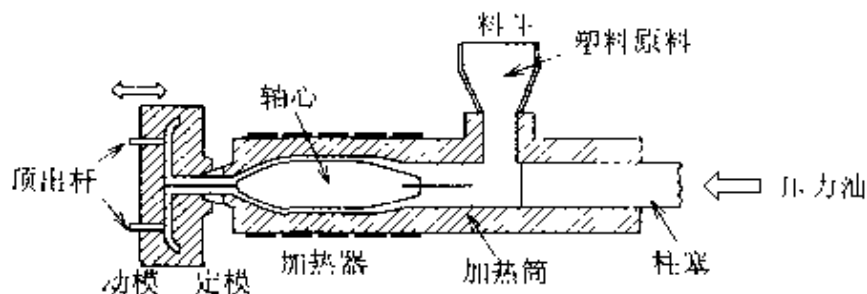


图 6.23 柱塞式注塑机

螺杆  
柱塞

塑料原料由料斗送入加热筒中加热,将加热软化的原料用螺杆或柱塞压入金属模具中成型,经冷却得到塑件。注塑成型适于大批量生产同一形状、尺寸的产品。

### ● 塑料产品

陶瓷粉  
玻璃纤维  
碳纤维

可以在塑料中加入陶瓷粉、玻璃纤维或碳纤维等材料来制作零件,加入其他材料的目的是提高塑料件的强度或性能,这种塑料称为强化塑料。强化塑料常用来制作体育用品、螺杆等大型产品。

塑料制品的应用极其广泛,从机械、电器元件到文具及各种日用品都使用塑料件。

□ 相关知识 ● CD 的制作方法

CD

激光

CD(激光盘)常被用于音乐或影像的再现,其结构如图 6.24 所示,形状复杂且精细的 CD 是注塑成型的,其制作工艺见图 6.25。首先用激光在玻璃板上刻出记录声音的槽,然后在玻璃板上反复镀镍制作成薄的原盘,再将原盘放入金属模具中压入加热软化的塑料制作成 CD 盘。

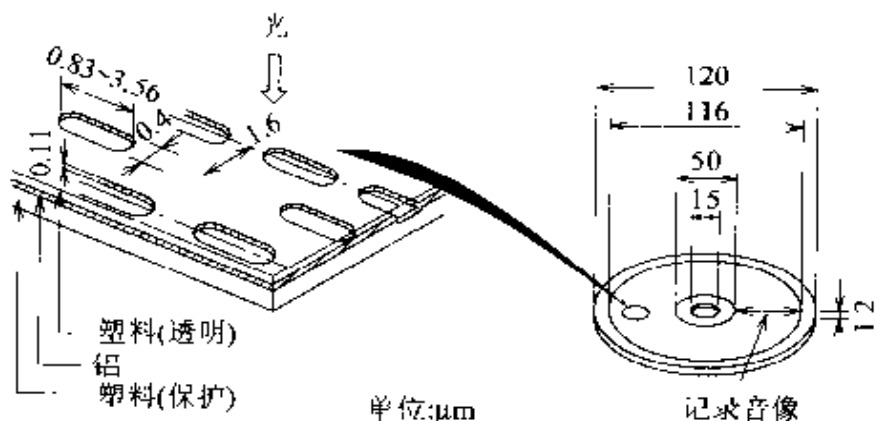


图 6.24 CD(激光盘)的结构

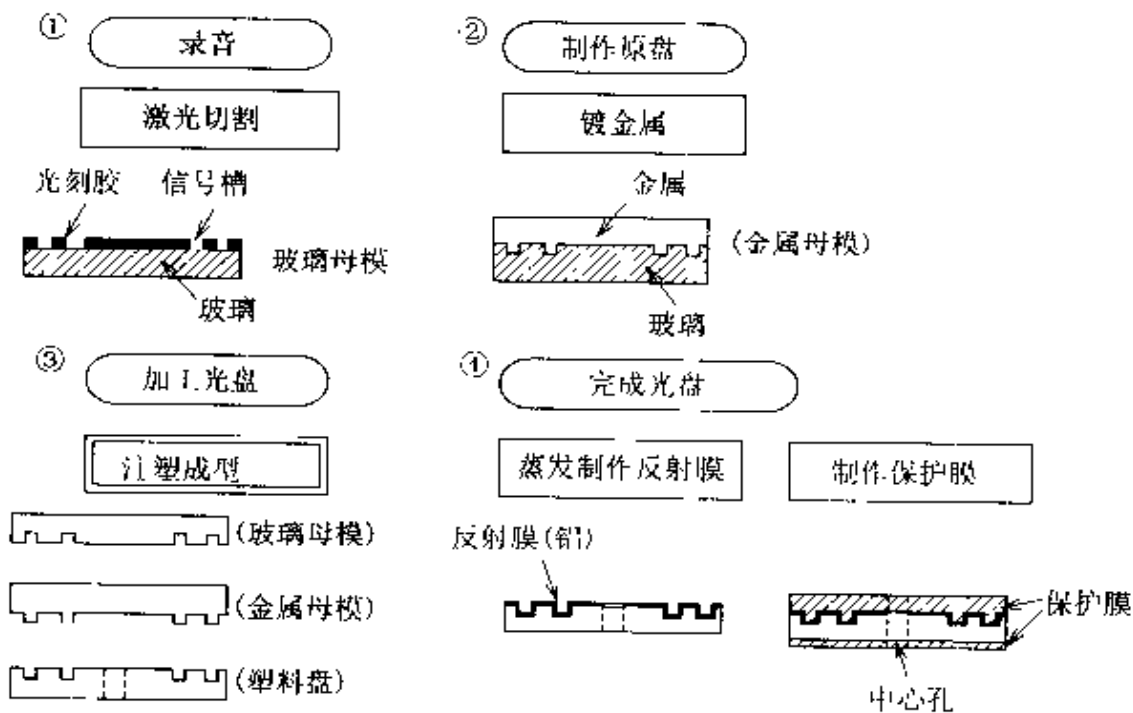


图 6.25 CD 的制造工艺

### ● 塑料的种类和性质

塑料可分为热塑性塑料和热固性塑料两种。

热塑性塑料

① 热塑性塑料 指加热后变软,冷却后变硬并且不易变形的塑料。

热固性塑料

② 热固性塑料 指加热后变软并有流动性,但继续加热时,由于发生化学反应会变硬的塑料。

聚碳酸酯

热塑性塑料成型时,先加热到  $140\sim 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,当塑料呈软化状态时再加  $150\text{kPa}$  的压力压制成型。通常,制作 CD 使用的材料是聚碳酸酯,即属于热塑性塑料。而酚醛树脂属于热固性塑料,加热到  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  时变软, $180\sim 240\text{ }^{\circ}\text{C}$  时固化。

# 10 剪切加工

□ 要

点

常用的切割金属材料方法有很多,如用钢锯或铁剪切割、通过加热金属使其局部熔化切割、用高压水柱破坏材料以及利用放电切割材料等等。剪切的切割原理与用剪子切割材料的方法相同。

□ 解

释

## ● 剪 切

剪切

用铁剪剪切金属材料如图 6.26 所示,将刀具按图示位置对材料施加的力称为剪切力。剪切是将材料夹在两个刀刃之间,通过两个刀刃的相对运动进行切割的方法。与拉断材料相比,剪切材料所用的力较小。图 6.27 是剪切材料时切口的断面图。

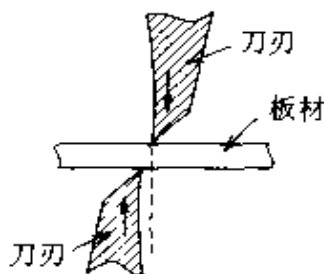


图 6.26 用铁剪剪切

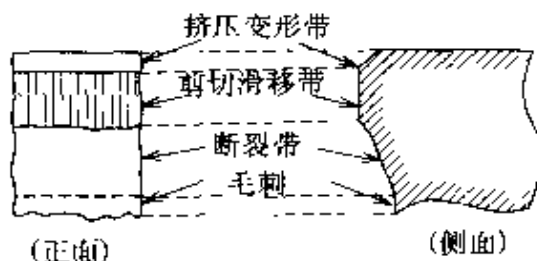


图 6.27 剪切时切口的断面图

剪切角

当剪刀的两刀刃呈图 6.28 所示角度一点一点地剪切材料时,所需的剪切力更小。这时两刀刃的夹角称为剪切角。对于直线刀刃,当被剪切板料厚度为 1~3mm 时,剪切角为  $1^{\circ}15' \sim 3^{\circ}30'$ ;当被剪切板料厚度为 4~6 mm 时,剪切角为  $1^{\circ}30' \sim 3^{\circ}45'$ 。



图 6.28 剪切角



### ● 剪切加工的种类与特点

剪切加工是利用剪切力将材料切割成规定形状和尺寸的加工方法。剪切加工的生产效率高,适用于大批量生产相同形状和尺寸的产品。图 6.29 为剪切加工的种类。

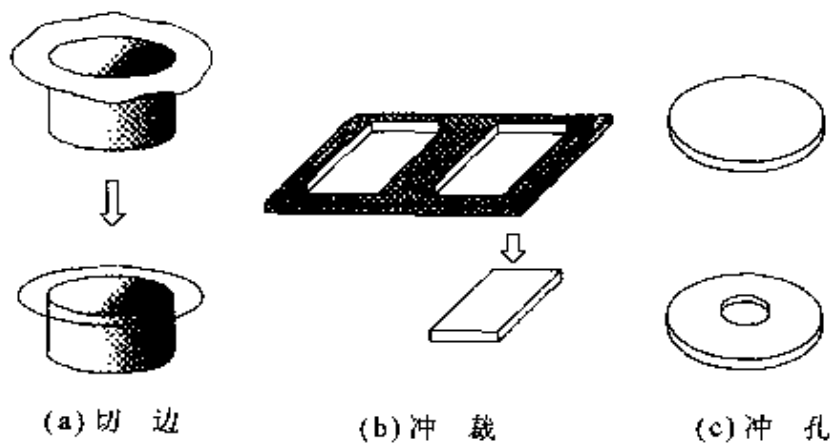


图 6.29 剪切加工的种类

### □ 相关知识 ● 板材的剪切及剪切力

凹模  
凸模  
间隙

板材的剪切加工必须有支撑板材的凹模和施加剪切力的凸模。凸模与凹模之间的间隙大小直接影响剪切面的质量。合理地选取间隙值,可提高剪切加工的精度。图 6.30 是在合理设置间隙值时的一组剪切原理图。

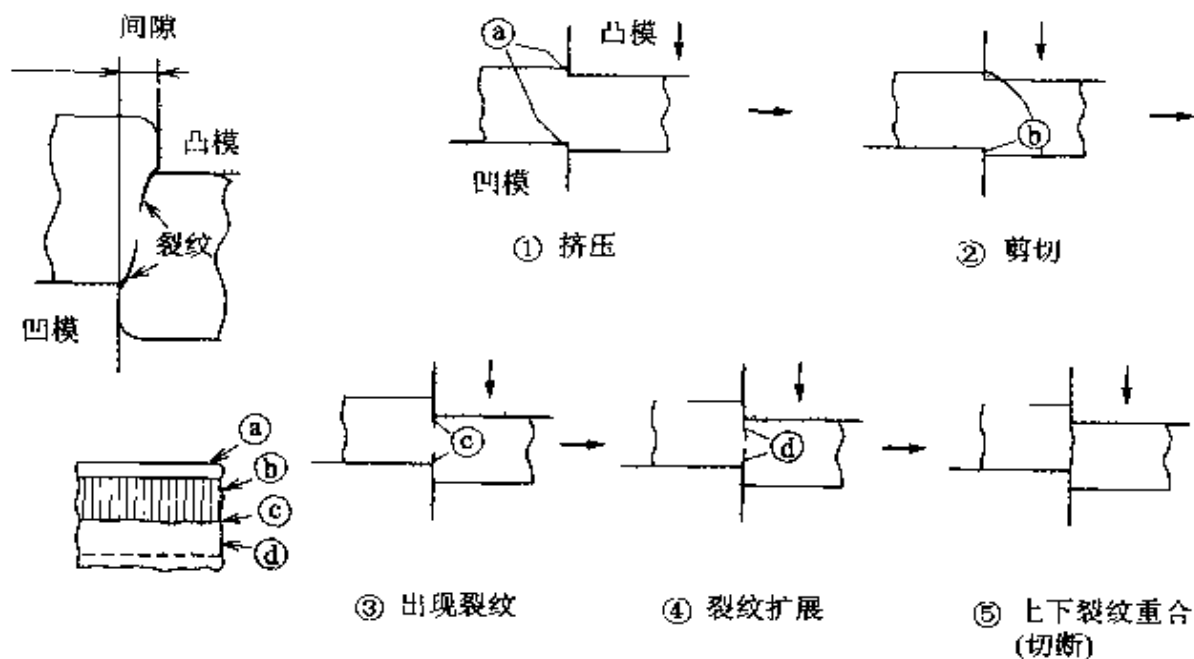


图 6.30 剪切原理

剪切板材所需最大剪切力  $P$  的计算公式:

$$P = tlk(\text{N})$$

其中,  $t$  为板厚(mm),  $l$  为剪切长度(mm),  $k$  为剪切阻力(抗剪强度)(MPa)。

剪切阻力与材料有关,通常取值为材料抗拉强度的 80%~90%。

### ◎ 剪切力与抗拉强度的比较

表 6.3 板材的剪切力与抗拉强度

材 料	剪切应力/MPa		抗拉强度/MPa	
	软质	硬质	软质	硬质
铝	69~108	127~137	78~118	167~216
铜	176~216	245~290	216~274	294~392
贵铜	216~291	343~392	274~343	392~588
低碳钢	314	392	392	490
不锈钢	510	549	637~689	—

### ■ 例 题

观察铁剪并总结其特点。

# 11 弯曲加工

## □ 要点

大多数金属材料的硬度和强度都很高,但在一定力的作用下也可以弯曲或延伸。弯曲加工即是利用这一性质,将板材、型材、管材等材料通过各种弯曲工序制作零件的成型方法。

## □ 解释 ● 弯曲加工

图 6.31 是利用简单工具弯曲板材的手工加工方法。大批量生产汽车、各种机械及日用品等时,常使用图 6.32 所示的机械加工方法。

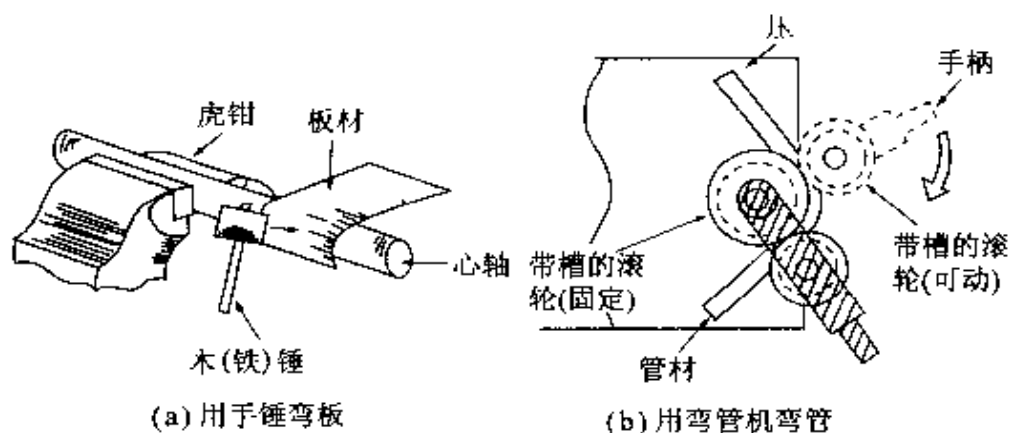
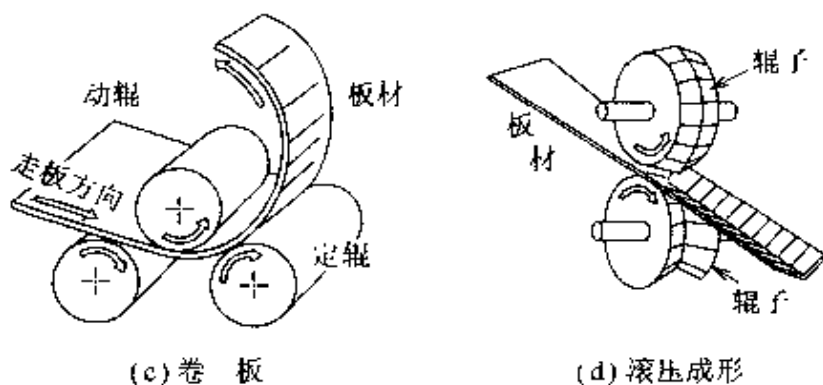
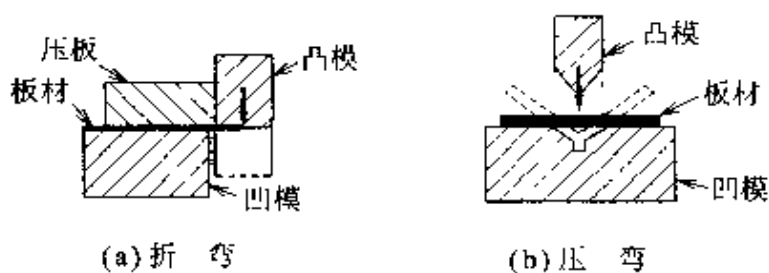


图 6.31 手工弯曲工序



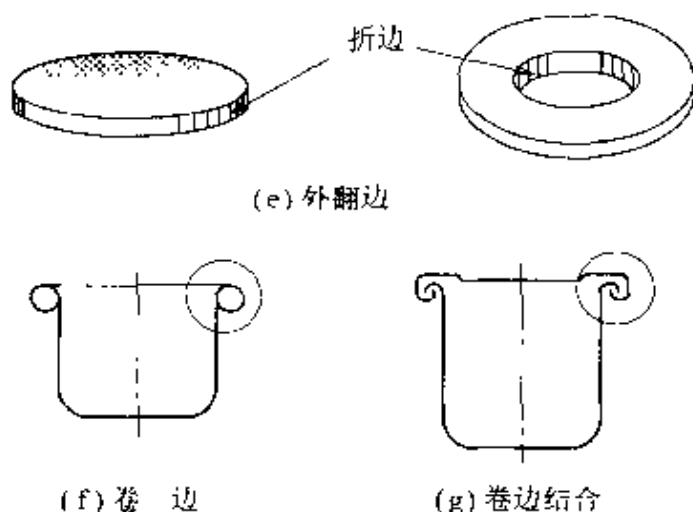


图 6.32 机械弯曲工序

板材的弯曲有许多工序,如将板材固定,用凸模和凹模进行弯曲的折弯;用所需形状的凸模和凹模加工的模压弯曲;用轧辊代替凸模和凹模的卷板和滚压成型等。另外,还有将圆盘或圆孔的外翻边缘竖立的翻边,将零件的边缘卷成圆形的卷边,通过卷曲边缘连接两个零件的卷边接合等,参见图 6.32。

翻边  
卷边  
卷边接合

## 相关知识 ● 材料的塑性和弹性

材料受到外力作用后可以弯曲、折叠,也可能被破坏。施加外力使材料变形,当外力去除后仍不能恢复原有形状的性质称为材料的**塑性**。施加外力使材料产生变形后再去除外力,材料能够恢复原有形状的性质称为**弹性**。制作黏土制品则是利用了材料的塑性,而弹簧和橡胶则是利用材料的弹性,故复原性能好。

钢在常温下受到外力的作用就可弯曲,且外力较大时会产生断裂。不论哪种情况,都会产生回弹现象。图 6.33 中的实线为低

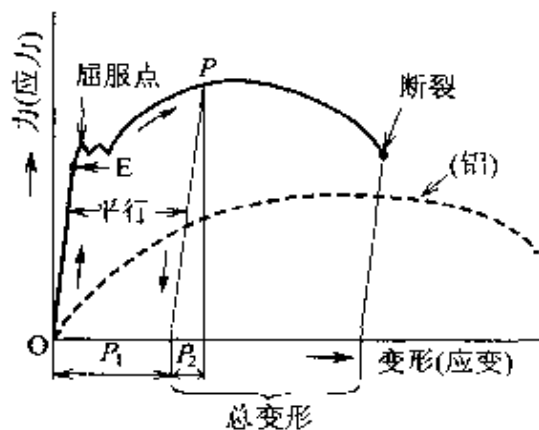


图 6.33 拉伸力与应变的关系

塑性  
弹性

应力

应变

弹性极限

比例极限

碳钢的拉伸力(应力)与应变曲线。

拉伸低碳钢试样时,当拉伸力在 E 点以下,试样在受力时发生变形,去除拉伸力后变形能完全恢复,称为弹性变形阶段。E 点是弹性极限。由于 OE 为直线,说明在弹性变形阶段拉伸力与应变成正比,所以 E 点也称为比例极限。当所加的拉伸力超过弹性极限达到屈服点后,试样便产生塑性变形,即不可逆的永久变形。如果再继续增加拉伸力,试样就会断裂。由此可知,要使材料能保持受力后的状态,施加的外力必须大于弹性极限。

当外力超过屈服点到达 P 点后去除外力,材料的拉伸长度会因弹性收缩其长度减小到  $P_1$ ,即应变减少了弹性应变  $P_2$ ,剩下的是不可恢复的塑性应变。

回弹

弯曲加工薄板的过程如图 6.34(a)所示。在除去外载荷之后,工件要由实线位置变为虚线位置,即工件尺寸与模具尺寸不一致。这是因为有弹性应变的缘故,称此现象为回弹。所以,弯曲加工产品时要事先确定回弹值,以此对模具工作部分的几何形状等作相应的修正。图 6.34(b)是为抵消回弹采取的工艺措施。

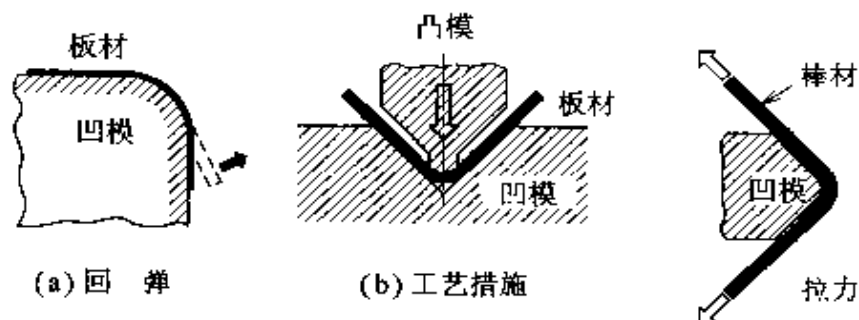


图 6.34 回弹与弯曲加工工艺

# 12 拉伸

## □ 要点

拉伸是利用凸模和凹模将板材坯料加工成饮料罐类没有焊缝的深圆筒形的成形方法。除了饮料罐外,拉伸还用于大批量制作汽车零件、日用品等的产品。

## □ 解释 ● 铝罐的加工

图 6.35 为装饮料用的铝罐,这种铝罐的加工过程如图 6.36 所示。先将铝板冲裁成圆板形坯料,利用凸模和凹模进行一次拉伸加工。随后,为了增加深度,需要再次拉伸加工。最后,为了进一步增加深度并减薄坯料的厚度,还要再次进行变薄拉伸。由于加工硬化现象会使材料硬度增加,所以得到的铝罐强度较高并且表面具有光泽。

再次拉伸加工  
加工硬化

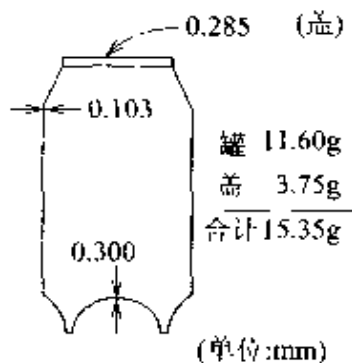


图 6.35 铝罐

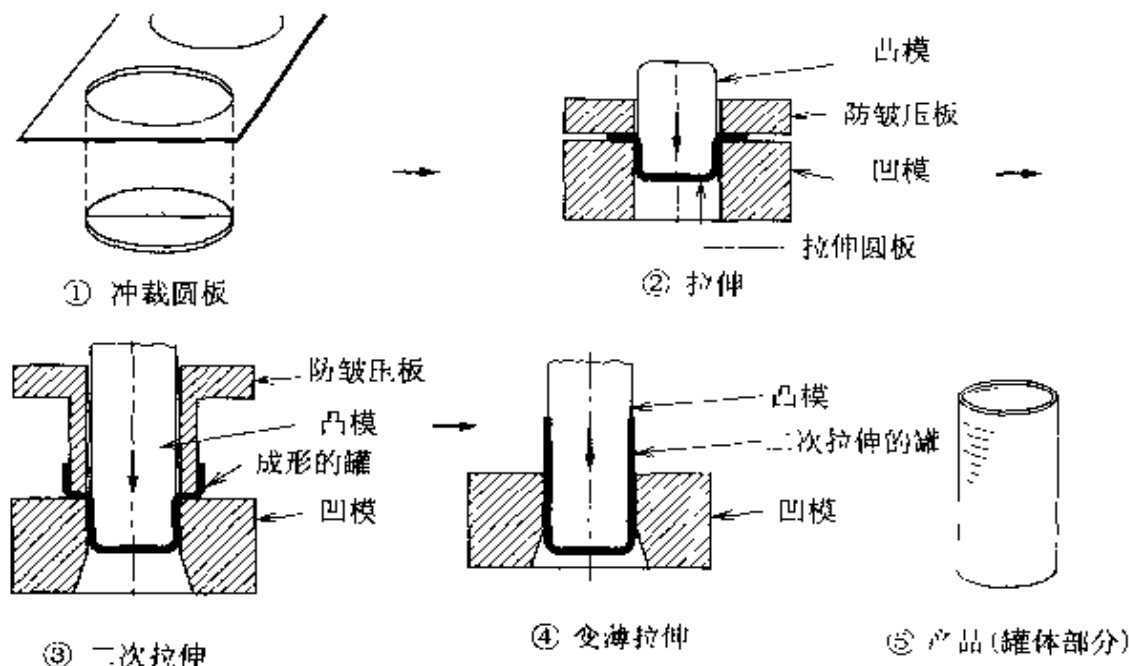


图 6.36 铝罐的加工方法

铝罐又称为DI(drawn and ironed)罐,由盖和容器两部分组成。在批量加工时,通常采用带料连续拉伸工艺(参见图6.37)。带料连续拉伸的方法加工速度快,生产效率高,每分钟可加工DI罐1000个,但要求使用质量好(塑性)的铝合金材料。

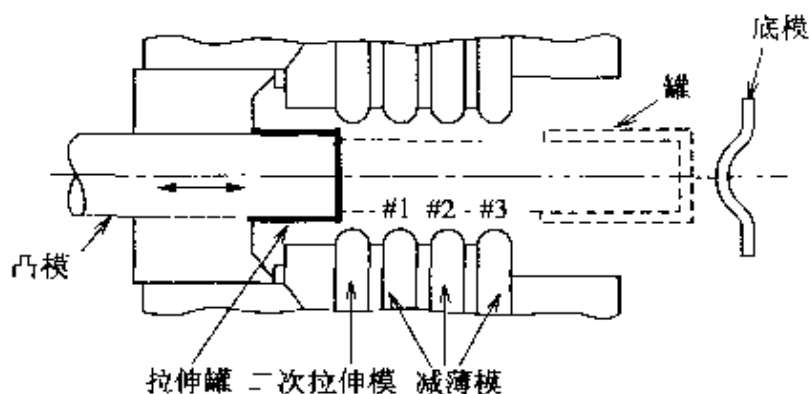


图 6.37 铝罐的带料连续拉伸工艺(DI成型法)

## 相关知识 ● 拉伸极限与拉伸系数

### 拉伸系数

拉伸加工并非对任意深度和口径的罐都能进行加工,因为每次拉伸的深度和直径都是有限制的。拉伸系数表示在不破坏材料的前提下的拉伸变形程度,等于加工成品的直径 $d$ 与坯料板材的直径 $D$ 之比,即 $m=d/D$ 。

### 极限拉伸系数

极限拉伸系数是一次拉伸加工能达到的最大比例,金属为0.5~0.6。极限拉伸系数与板材的厚度、模具间的摩擦、模具的形状以及尺寸有关。当拉伸系数值过小,超过极限拉伸系数时,应分几次拉伸,即依次在前次拉伸的工件上再作一次拉伸加工。此方法适用于深罐的加工。

将直径为 $D$ (mm)、厚度为 $t$ (mm)的圆板坯料加工成直径为 $d$ 的圆筒形容器,所需要的拉伸力可以用以下方法求得。因为制成的圆筒形容器的表面积应与圆板的面积相等,即

$$\frac{\pi d^2}{4} + \pi d h = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{mm}^2)$$

由此推导出 $D$ 为

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh} \quad (\text{mm})$$

凸模所需的压力 $P$ (N)由下式决定:

$$P = \pi d t C_1 \sigma_b \quad (\text{N})$$

式中, $\sigma_b$ (MPa)为材料的抗拉强度, $C_1$ 是与拉伸系数有关的系数,其值按下表选取。

$m$	0.8	0.7	0.6	0.55
$C_1$	0.4	0.6	0.85	1.0

### ● 旋压成形

使安装在金属或木制模具上的坯料随模具一同高速(3000r/min)旋转,如图 6.38 所示,利用车轱或曲圆镢子对着模型给坯料上加压力成型的方法称为旋压成形。用旋压成型法加工筒形容器的历史最长。目前,火箭头部、电机外壳及核反应堆的高速离心机等机械零件均采用旋压成形。小批量生产时,常用手工方法控制旋压工具进行加工。

旋压成形  
筒形容器

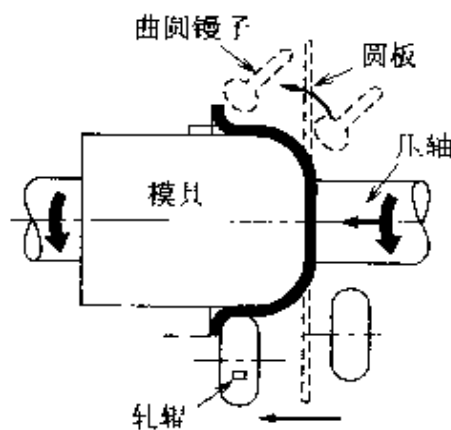


图 6.38 旋压工具



# 13 气焊与气割

## □ 要 点

金属具有加热熔化的性质。利用这一性质既可以连接金属，也可以通过吹掉金属熔液切割金属。气焊是利用乙炔和氧的混合气体燃烧产生的热将金属熔化后进行连接的方法，而气割是利用燃烧热来切割金属的方法。

## □ 解 释 ● 气 焊

利用乙炔与氧气的混合气体燃烧可产生最高可达  $3000^{\circ}\text{C}$  以上的高温。因气焊主要使用氧和乙炔，故亦称之为氧-乙炔焊。

图 6.39 所示为气焊设备。液化乙炔是将乙炔溶于丙酮，再将其用石棉等多孔物质吸收装入储气钢瓶。由于乙炔是一种爆炸性的气体，为防止回火，设备上要配有隔断火焰进入乙炔反应室的安全装置。液态氧盛装在氧气瓶中，这些储气瓶上都安装有调压阀，以便能够将瓶中的气压调整到工作压力，并保证焊接过程中的压力稳定(参见图 6.40)。

氧-乙炔焊  
液化乙炔  
丙酮

调压阀

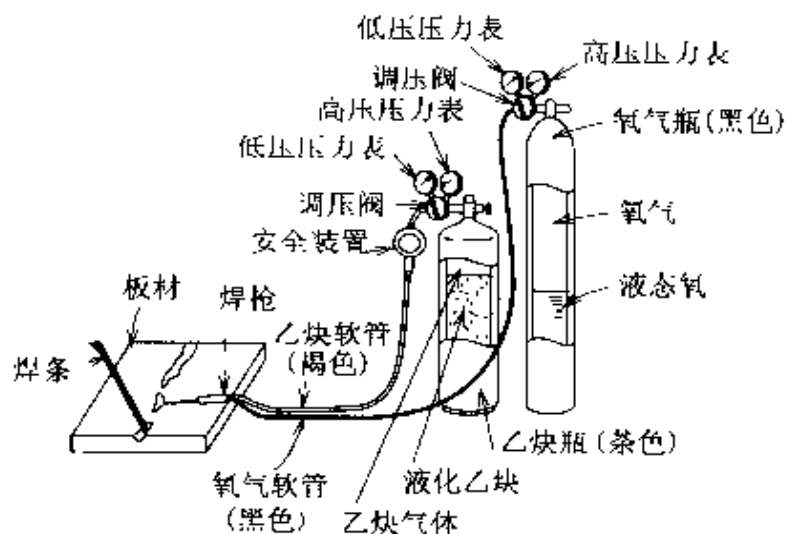


图 6.39 气焊设备

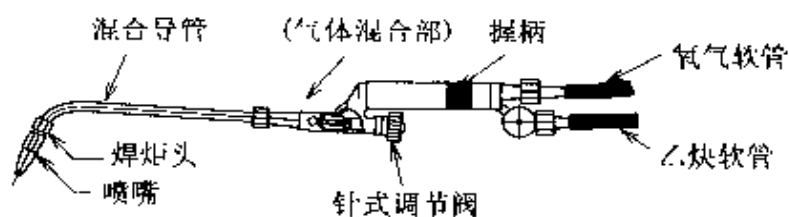


图 6.40 焊 枪

## ● 气 割

气割使用的割炬如图 6.41 所示。割炬有两个通道,既可以喷出氧气与乙炔的混合气体,又可以单独喷出氧气。开始切割时,用混合气体的燃烧热将割缝部位的金属预热,待金属熔化后,打开高压氧气,使金属激烈氧化并将熔渣吹走形成割缝。

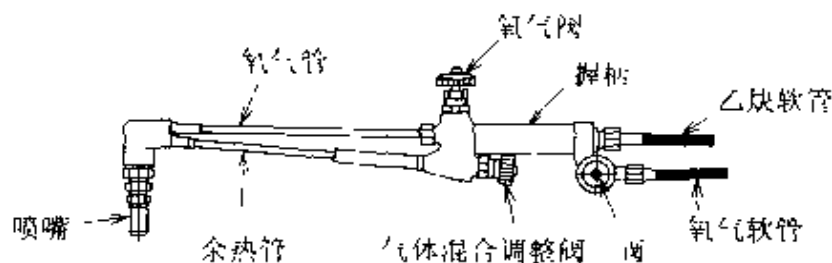
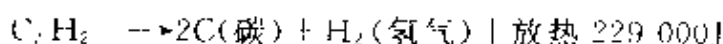


图 6.41 割 炬

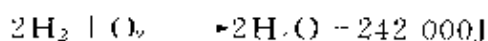
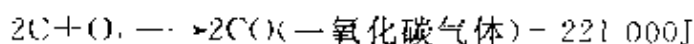
## □ 相关知识 ● 气体的燃烧与热量

乙炔气体燃烧时发生下列化学反应并产生高温火焰。

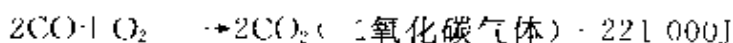
[1] 乙炔气体分解放热



[2] 分解产物 C 和 H<sub>2</sub> 与氧气反应放出热量



[3] CO 与氧气反应放出热量



## ● 火焰的温度

图 6.42 是乙炔气体燃烧时的火焰。透过气焊用眼镜观察火焰时,蓝色的部分是中心火焰,外侧的部分称为外焰。中焰前端 2~3mm 处的温度最高,可达 3 000℃ 以上,是焊接使用的位置。外焰与空气中的氧气起反应,温度也很高。

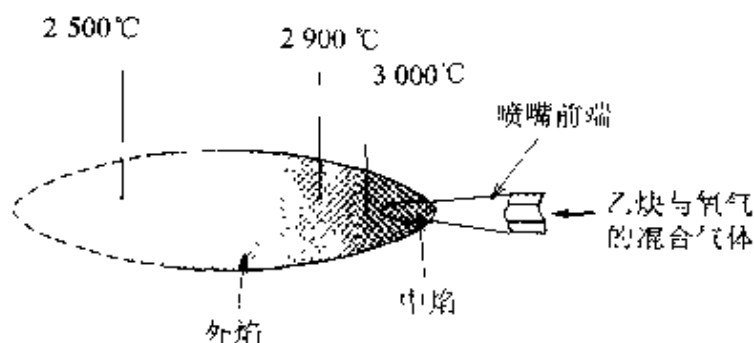


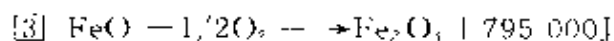
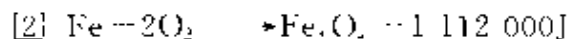
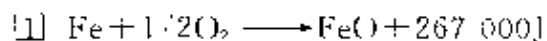
图 6.42 火焰的温度

放热

## 氧化反应

## ● 气割与热量

切割钢铁时,先用乙炔燃烧产生的热量加热割缝,并在金属开始熔化时喷出高压氧气,这时铁与氧就会发生激烈的化学反应并释放出大量的热。气割就是利用氧化反应的热量将钢铁依次熔化。下面是铁的氧化反应,反应时放出大量的热。



铝的氧化物( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )的熔点高达 $2\,015^\circ\text{C}$ ,故铝不能用气割方法切割,而代之以其他方法

# 14 电弧焊

## □ 要点

切断电路时常会看到电火花。电火花是电流在空气中的放电现象,称为电弧。产生电弧的同时释放热量。电弧焊是利用电极与母材间产生的电弧热量来加热并熔化金属进行焊接的方法。

## □ 解释

### ● 电弧焊

将电极与母材瞬间接触后分离,就会在电极与母材间产生电弧,此时,只要使二者保持一定距离,电弧就会连续产生。此间产生的热量与流过的电流大小有关。熔化工电弧焊使用的电极材料与母材相同,电极熔化后填充到焊缝部位。电弧产生的温度比气焊要高。图 6.43 是熔化工电弧焊,图 6.44 为电弧焊的焊接过程。

电弧

熔化工电弧焊

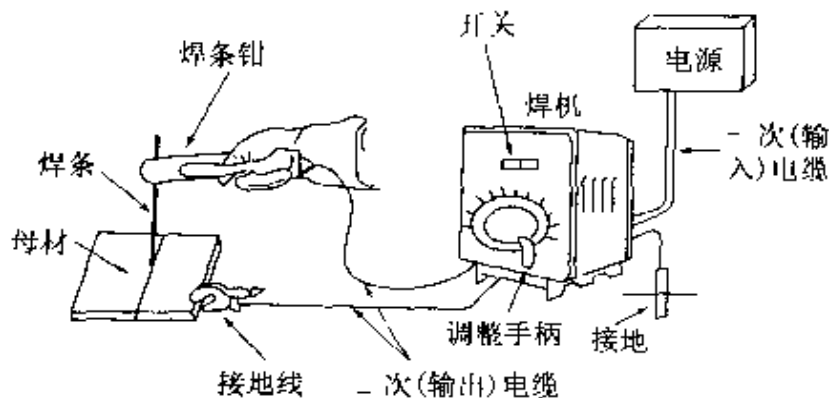


图 6.43 熔化工电弧焊

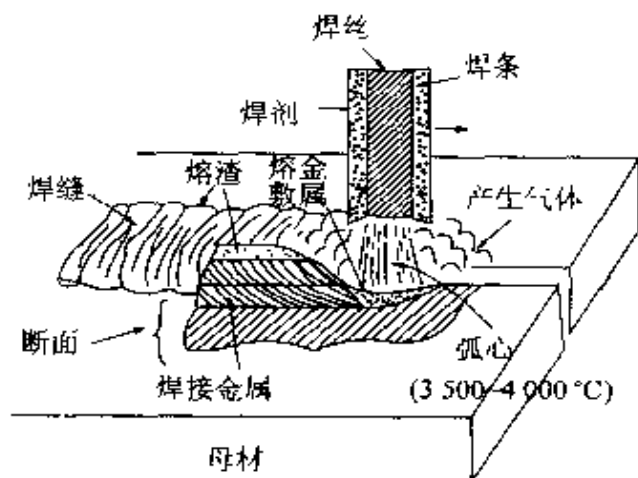


图 6.44 电弧焊接

焊剂

药皮电焊条

电弧焊接时,由于熔化的金属会与空气发生氧化反应,对焊缝极为不利。特别是当氧化物混入焊缝时,会导致焊缝强度降低。为此,要使用在焊芯周围涂有焊剂的药皮电焊条。使用药皮电焊条进行焊接时,既能阻断空气,保持稳定的电弧,又能使焊缝金属缓慢地凝固、冷却,还能使焊缝的质量得到改善。

## □ 相关知识 ● 电焊机

电焊机有交流电焊机和直流电焊机两种,分别利用了交流电和直流电的特性,其焊接能力均由焊接电流决定。交流电焊机实际上是一种特殊的变压器,工作时将电压降到适合焊接的几十伏左右。图 6.16 是可调铁芯式交流电焊机示意图。

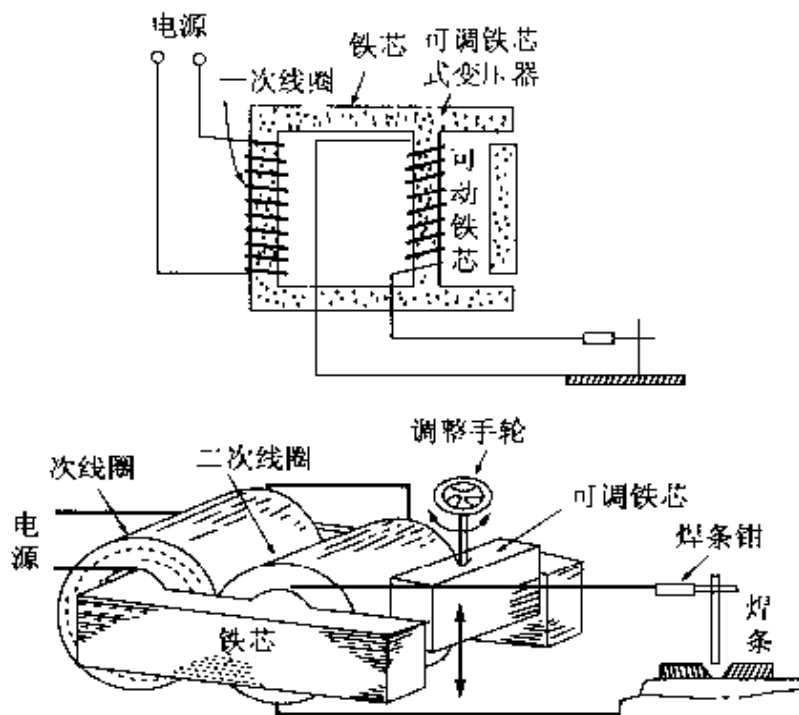


图 6.45 可调铁芯式交流电焊机

## ● 药皮电焊条的牌号

低碳钢用药皮  
电焊条

低碳钢用药皮电焊条牌号的表示方法如下:

D 440 0 1  
 ↑ ↑ ↑ ↑  
 a b c d

其中,

a: DENKI(电气)的英文字头,表示电焊条。

b: 抗拉强度( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),

c: 表示焊接位置或表示日本开发的焊条, 其中。

0: 日本开发的焊条

1: 可以进行各种位置的焊接。

2: 可以立焊或横焊。

3: 只能立焊。

d: 焊药的种类(1: 钛铁矿型)。

### ● 药皮电焊条的种类

以下仅列举了其中一部分焊条。

① 钛铁矿型(DXX01): 日本自行开发的电焊条。钛铁含量( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ) 在 30% 以上, 多用于焊接低碳钢。

② 高钛型(DXX13): 氧化钛( $\text{TiO}_2$ ) 含量在 30% 以上, 多用于焊接薄板。

③ 低氢型(DXX26), (DXX26): 碳酸钙含量在 40% 以上, 用于焊接高碳钢。

④ 氧化铁型(DXX20), (DXX30): 氧化铁( $\text{FeO}$ ) 含量在 30% 以上, 焊接金属的机械性能高。

## 15 铝的焊接

**要 点** 铝的熔点为  $660^{\circ}\text{C}$ ，属于熔点较低的金属。但铝在焊接过程中极易与空气中的氧气反应，生成高熔点的氧化物，所以要在氩气或氦气的保护下进行焊接。

**解 释** ● 铝的焊接

**TIG 焊接**  
电弧  
惰性气体

铝焊接主要采用氩弧焊，是一种使用电极为钨的不熔极形式的气体保护焊。**TIG 焊接** (tungsten inert gas are welding) 如图 6.46 所示，它是一种在氩气中产生电弧，用铝焊条进行焊接的方法。氩气是惰性气体，具有与其他物质不发生化学反应的性质。钨的熔点极高，达  $3387^{\circ}\text{C}$ ，故焊枪需要用水冷却。

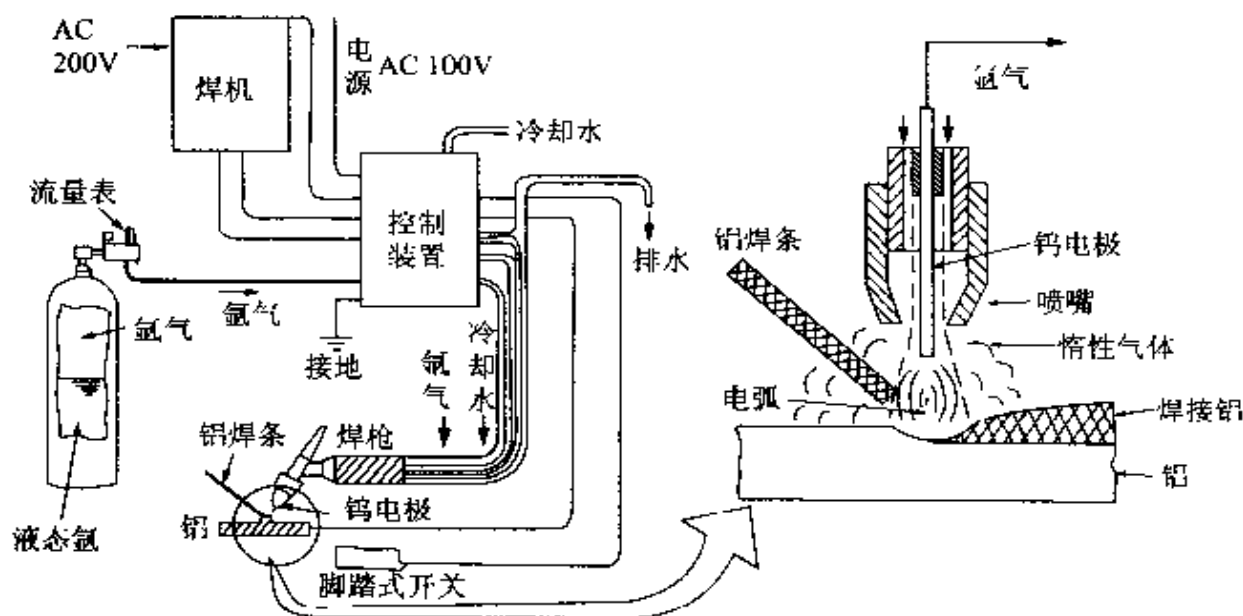


图 6.46 TIG 焊接

**导热性**

铜也是一种可焊性差的金属。焊接铜可以使用与焊接铝相同的方法。铜的熔点为  $1084^{\circ}\text{C}$ ，比钢低得多。这类金属不容易焊接的原因之一是因为它们的导热性非常好，由于散热速度过快而很难达到金属的熔点。铝的导热性是低碳钢的 5 倍以上，而铜的导热性则是钢的 8 倍以上。

## □ 相关知识 ● 铝焊接的特点

轰击作用

正接

反接

在焊接铝时,由于熔化的铝与氧反应,会在焊缝表面形成高熔点的氧化膜(氧化铝),造成焊接困难。利用离子和电子的轰击作用可将这层氧化膜从金属表面清理干净,如图 6.17 所示的直流装置即具有这种轰击作用。焊接时利用电极与母材的正接或反接,可以调整焊件的熔深。图 6.17 是直流装置的两种不同的连接方法及其熔深。实际焊接时,要根据各自的特点选择合理的焊接工艺。因交流电弧的熔深适中,故应用较多。

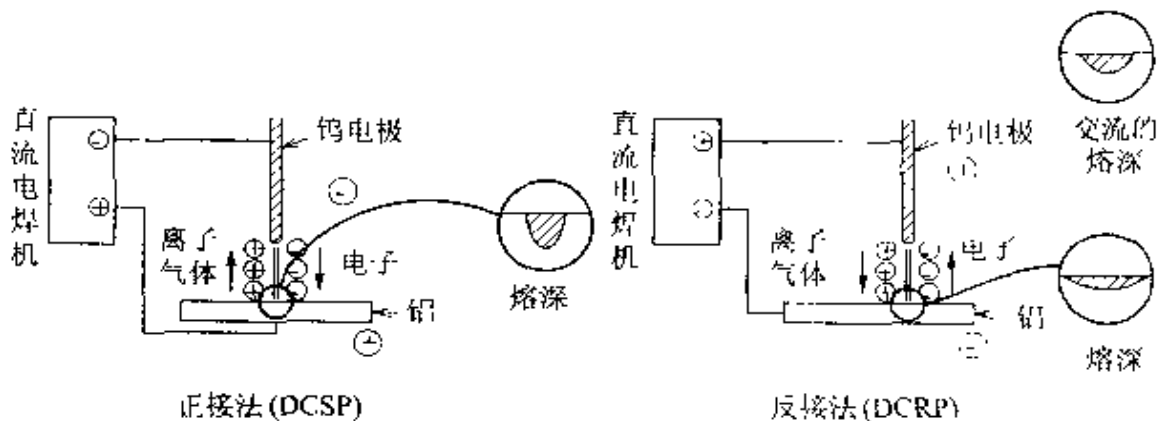


图 6.47 直流电焊机的连接方法

直流正接法 DCSP(direct current straight polarity);

直流反接法 DCRP(direct current reverse polarity)。

## ● 气体保护焊

MIG 焊接

MIG 焊接(metal inert gas arc welding)是一种在气体保护下进行电弧焊接的方法(参见图 6.48)。

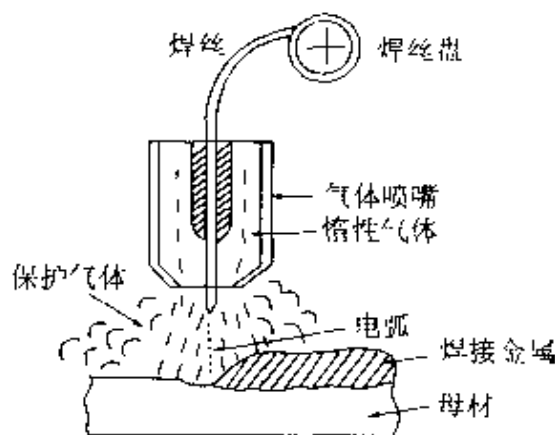


图 6.48 MIG 焊接



### 二氧化碳气体 保护焊

MIG 焊接的电极是熔化极焊条或焊丝,使用氩气或二氧化碳作为保护气体。二氧化碳气体保护焊使用的保护气体为二氧化碳。由于二氧化碳气体的价格低廉,应用范围广,所以,焊接钢件时多采用这种焊接方法。气体保护焊是指在气体的保护下进行电弧焊接方法的统称。

# 16 钎焊

**要 点** 焊接是将焊条和焊件金属同时熔化后相互结合的方法。锡焊则是不熔化焊件,只将熔锡液化渗入焊缝,凝固后使焊件结合的方法。焊锡属于钎料的一种,这种不熔化焊件材料,只熔化钎料的焊接方法称为钎焊。

## 解 释 ● 钎 焊

钎焊是一种最常见的焊接。锡焊是将比焊件熔点低的钎料熔化并润湿钎焊面,使钎料与焊件紧密结合的连接方法。为使钎料与焊件能紧密结合,要求焊件表面洁净,没有灰尘、油污及氧化膜等物。灰尘、油污可以用抹布擦净或用砂纸打磨除净,氧化膜则要用钎剂清除。熔化的钎料与洁净的焊件表面充分润湿后,金属原子会在两者间扩散,形成牢固的接头(参见图 6.49)

钎焊  
锡焊  
钎剂

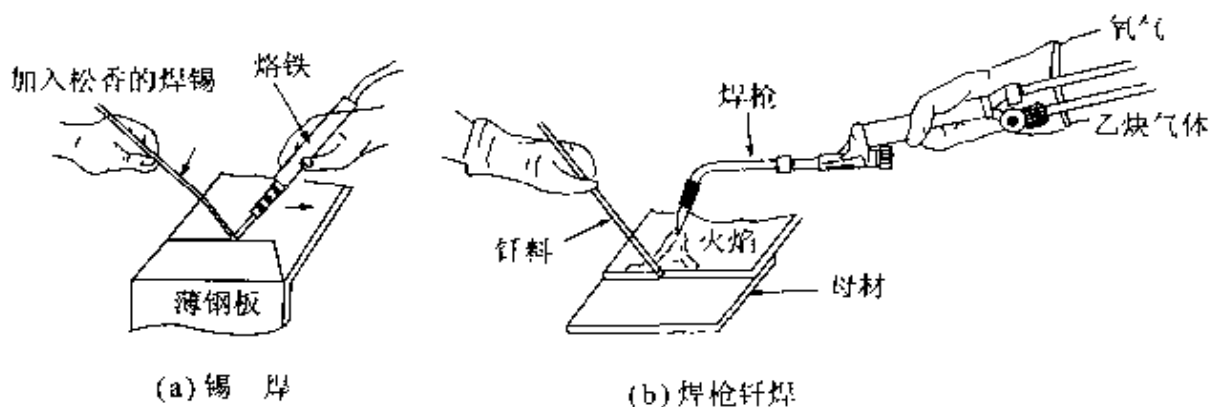


图 6.49 锡焊与用焊枪钎焊

**软钎焊** 按钎料的熔化温度,可将钎焊分为软钎焊和硬钎焊。软钎料的熔点低于  $450^{\circ}\text{C}$ ,而熔点高于  $450^{\circ}\text{C}$  的为硬钎料。

**硬钎焊**

焊锡是铅锡合金,是常用的一种钎料,熔点为  $180\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。由于硬钎料的熔点较高,可根据钎料分别采用氧气和乙炔气体的燃烧热、电热、电弧热等多种方法进行钎焊。

## 相 关 知 识 ● 润 湿 性 与 钎 焊

润湿性  
润湿角

润湿性能反应钎料与焊件(母材)紧密结合的状态。润湿性与钎料的种类有关。如图 6.50 所示,润湿角小时,熔化的钎料能与母材充分润湿,而当润湿角为钝角时则不能充分润湿。要使润湿性好,母材表面必须处理干净。图 6.51 为钎焊的应用示例。

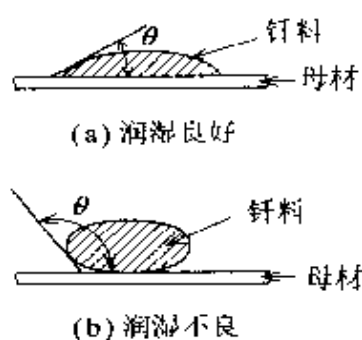


图 6.50 润湿与润湿角

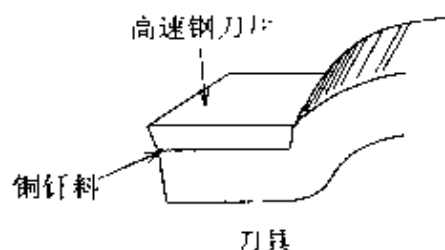


图 6.51 铜钎焊

### ● 钎料的种类和用途

焊锡的熔点较低,可用铬铁进行钎焊,非常方便,但强度稍低,通常用于受力较小的工件或电路板的焊接。铜钎料是铜锌合金,熔点高达 $900^{\circ}\text{C}$ 。含锌 $20\% \sim 40\%$ 的铜钎料由于机械强度高,常用于钎焊钢件,含锌 $40\% \sim 50\%$ 的铜钎料则用于钎焊黄铜件。表 6.4 是其他钎料的成分及用途。

表 6.4 其他钎料的成分及用途

名称	成分	钎焊温度/ $^{\circ}\text{C}$	性质和用途
银基钎料	银、铜、锌、锡	650~760	银色,装饰或钎焊食品器皿
金基钎料	金、银、铜、镍	890~1095	金色,耐热性及抗氧化性能好,拉伸强度高,广泛用于宝石镶嵌和牙科
铝基钎料	铝、硅		用于钎焊铝、铝与钢或不锈钢
铜锌钎料	铜、锌、镍		用于铜、镍合金、钢或铸铁制品

### ● 钎剂的种类

当钎剂在比钎料熔点低的温度下熔化时,先与金属起氧化反应生成熔渣,起到隔离空气、保护钎焊的作用。锡焊使用松香作钎剂,软钎焊常用的钎剂有盐酸、氯化铵及氯化锌。硬钎焊常用硼砂、硼酸及食盐、碳酸钠等混合物作为钎剂。通常,焊接轻合金时使用含氯化钾的钎剂。

# 17 电火花加工

## 要 点

电火花加工(electrical discharge machining, EDM)是利用在电极与工件间产生的电蚀现象,微量去除工件表面的加工方法。

电火花加工主要用于塑料等制品的模具制造。通常,模具材料的硬度高,加工困难。电火花不受加工材料的硬度和强度限制,任何导电材料均可加工成形。

## 解 释

### ● 放电装置

将工件和电极放入绝缘的工作液中,使两者之间保持几微米到几十微米的间隙并施加电压,在工件和电极之间就会产生电弧放电现象。放电区的高温使工件部分熔化并蒸发,进而在工件上复制出电极的形状。

工件熔化的同时,工作液也被加热、汽化,可以起到去除工件上的加工屑的作用。在进行电火花加工时,由于加工面的材料被去除,工件与电极间的间隙变大。为了保持放电所需的间隙,要使用伺服机构自动控制进给,以使放电连续发生。

### ● 电火花加工

电火花加工过程如图 6.52 所示,电极与工件形状相同,方向相反,形成了一种利用电极复制工件的加工方法,故又称为刻模加工。

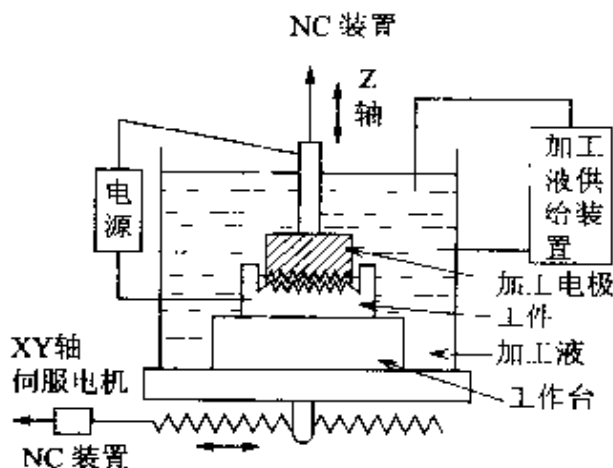


图 6.52 放电装置

电火花加工的电极是用电蚀性能较好的铜或石墨制成。工作液使用导电性较差的煤油或绝缘的水(纯水)。工件或电极利用数字控制方法调节其移动、进给,以保证工件与电极之间具有适当大

电弧放电

电火花加工  
复制  
刻模加工

## 线切割加工

小的放电间隙。

### ● 线切割

线切割加工(WEDM)装置如图 6.53 所示,其加工原理与电火花加工相同。这是一种使用细黄铜线为电极,利用电极在接近工件时的放电现象熔化材料进行切割的加工方法。线切割机采用数字方式控制固定工件用的工作台,使之按规定路线进给。

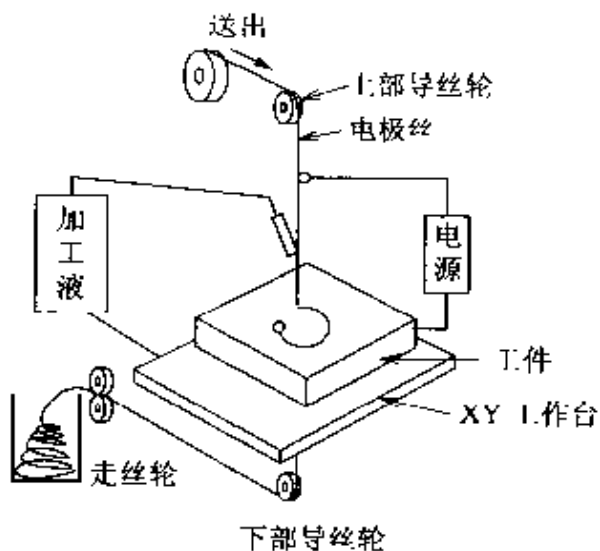


图 6.53 线切割装置

线切割的电极是直径为  $0.02\sim 0.3\text{mm}$  的铜线。工作液采用的是普通水经过处理后得到的近似纯水。

由于线切割使用的金属线极细,很容易断。因此,机床应配有自动接线装置,以实现自动断线连接。

### ● 电火花加工的优缺点

电火花加工有如下优点:

- ① 只要材料导电就能加工,不受材料的硬度限制,可加工模具等硬度较高的金属材料;
- ② 由于采用数字控制,能加工形状复杂的工件,且加工精度高;
- ③ 加工时对工件施加的力极小,故不易产生变形和应力;
- ④ 可长时间工作,容易实现无人化、自动化加工。

电火花加工的缺点:

- ① 与机械加工相比,生产效率低;
- ② 电极损耗较大。

# 18 激光加工

**要 点** 将激光的能量聚焦到工件上,使工件的某一部分被加热到高温或熔化,可进行切割、穿孔、焊接以及表面处理等加工。利用激光的加工方法统称为激光加工。

**解 释** ● 激 光

**激光** 激光(laser)一词取自激发放大发射的光(light amplification by stimulated emission of radiation)的英文词头

**相干性** 普通光是多种不同频率的单色光的混合,相位与振幅均无规律,而激光则不同,由于相干性(coherent),激光具有波长一定,相位一致,方向性强,以及单色度高等性质,在精密测量及光通信等领域得到了广泛应用。

● 激光的生成

**放电管** 图 6.54 为激光器的原理图。在中间的放电管内充入二氧化碳或氦气等气体激光介质。放电后产生的光在反射镜间反射,穿过激光介质,并使光放大。最后得到的强光从半透明的反射镜中输出。利用这种方法输出的强光就是激光。激光束(laser beam)是指由激光聚焦的光能。

**激光束**

激光也可以通过固气激光介质,如红宝石、YAG、玻璃等产生。将脉冲氙灯等产生的光穿过固体激光介质后,即可输出激光。

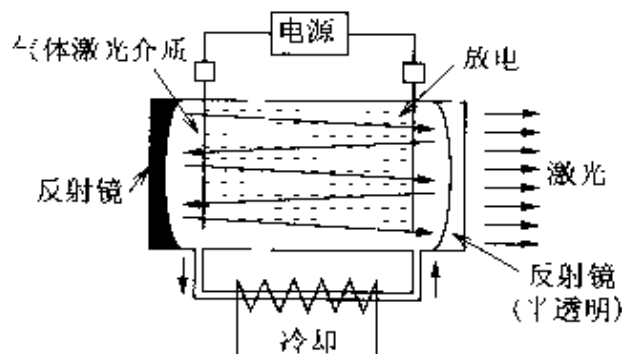


图 6.54 激光器的原理

● 激光的种类

**二氧化碳激光**

**二氧化碳激光** 这是由波长为  $10.36\mu\text{m}$  的光经振荡放大后得到的激光。使用透镜将得到的二氧化碳激光聚焦,可用于切割金属、陶瓷、布等物质,以及焊接机械零件等。

## YAG 激光

**YAG 激光** YAG 是钇铝石榴石的单晶体。YAG 激光是用波长为  $1.065\mu\text{m}$  的光振荡得到的。与二氧化碳激光相比,这种激光的波长短,且激光斑很小,在  $10\mu\text{m}$  以下。

## 激光加工

**激光加工** 利用氯化氙等反复进行脉冲放电得到的激光。激光的波长极短,为  $0.2\mu\text{m}$ (紫外线),可用于高精度的微细加工。

## ● 激光加工

当激光聚焦到材料上时,会发生温度升高、加热、熔化或蒸发等现象。利用激光束可以对钢板等金属材料以及塑料和布等各种材料进行切割、焊接和穿孔等等形式的加工。

## 激光斑

**激光斑** 的直径从  $10\mu\text{m}\sim 0.2\text{mm}$  不等,并且是高密度的能量,所以,可以利用激光对高熔点的材料进行高精度、超微细加工。通常,激光加工机的工作台采用程序控制,可以加工形状复杂的工件。又因激光加工属于一种非接触加工,输出控制容易,适用于自动控制系统。

图 6.55 是一种激光加工机,主要由激光发生装置、反射镜和程序控制的 XY 工作台构成。

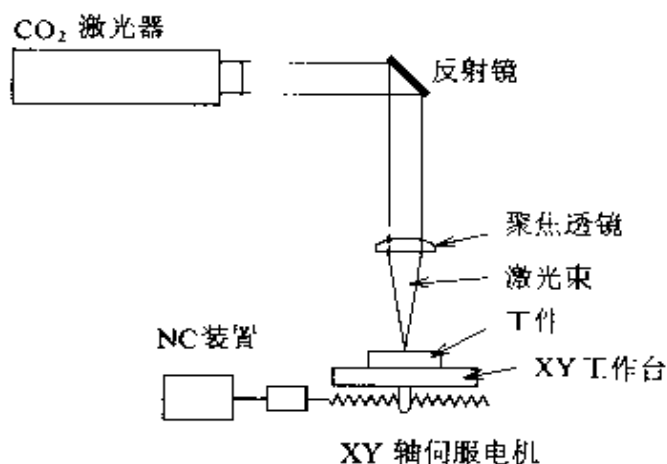


图 6.55 激光加工装置

# 19 电子束加工

## □ 要点

电子束加工是在真空中从炽热阴极向阳极发射电子,经过高压电场加速而聚焦成电子束,再利用电子束轰击工件时产生的热能进行穿孔、焊接及表面处理等的加工方法。

## □ 解释

电子束

如图 6.56 所示,由电子枪中发出的热电子具有高能量,且方向一定,称这种高度集中的电子流为电子束。经过聚集线圈、偏转线圈等电子透镜的聚集,电子束可以在工件表面汇聚成极小的焦点。当电子束冲击到工件表面时,电子所具有的动能大部分都转化成热能,使工件局部被加热到高温,可以使工件局部熔化、蒸发而去除多余材料。

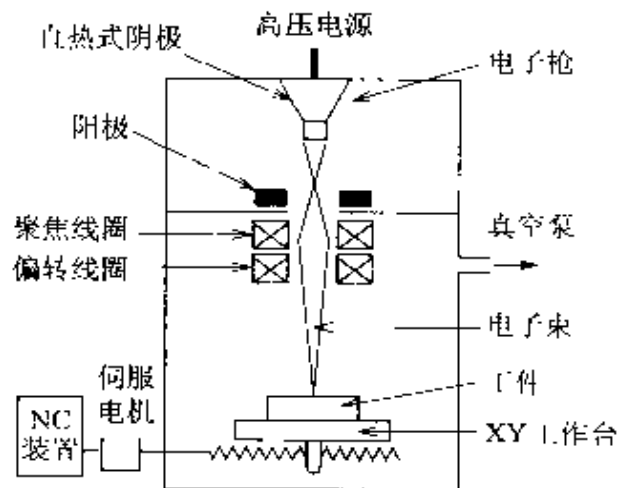


图 6.56 电子束加工装置

电子束最早被用于焊接,而今已广泛应用于加工高熔点及加工困难的金属,如钨、钼、不锈钢、半导体材料、陶瓷及玻璃等。

## 电子束加工

电子束加工与激光加工相比,束斑直径小,可以做更微细的加工。因为加工过程在真空中进行,工件表面不会被氧化,加工中污染也小,但工件尺寸受真空室大小的限制,而且需要大容量的电压,加工装置造价较高。



## 20 水射流加工

**□ 要 点** 水射流加工(water jet machining)是将高压液体通过聚焦喷嘴高速喷射到工件表面,用高压液体及其中所含磨料实现对工件的切割或穿孔的加工方法。

**□ 解 释** ● 水射流加工

此方法使用水泵等将水加压到高压(最高 400MPa),再使其由直径为 0.1~1mm 的聚焦喷嘴中射出。加工时,用超过音速几倍的超高速呈射线状喷出的高压水打击工件,以此来去除材料。图 6.57 是使用水射流加工的示例。

水射流加工

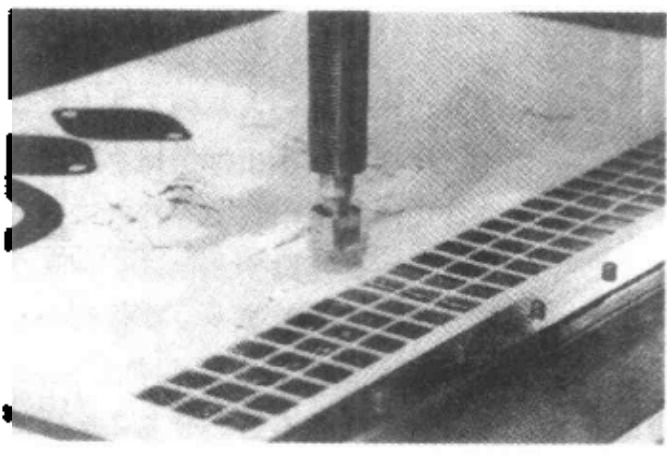


图 6.57 水射流切割塑料板

常规的机械加工过程中都要产生加工热,而水射流加工不发热,无热变形。因此,水射流加工不但适用于加工金属,而且常用于加工一些断面容易产生热变形的丙乙烯板和软质材料如纸、布及食品等。

高压水中有时也加一些磨料,借助于磨料与水一起打击工件,可使所需的水压力稍微低些。

### 应用知识 喷射加工

利用水和磨料等通过喷嘴高速射出来打击工件表面,进行表面加工的方法统称为喷射加工。水射流加工是其中的一种,此外还包括喷砂、喷丸、液体珩磨等。其中,喷丸处理是使用铁丸或磨料

清理铸件的表面处理方法；喷砂是利用砂粒从喷嘴中喷出砂粒来处理工件表面的方法；液体珩磨是指将水和磨料从喷嘴中喷射出，以此处理加工硬化的零件表面的方法。

## 21 各种切削加工

**要 点** 切削加工是用刀具从毛坯上切除多余材料,从而获得图纸要求形状的加工方法。被切削的毛坯称为工件,刀具是切削用的工具。根据刀具的形状及刀具与工件的相对运动,可将切削加工可分为车削、刨削、钻削及铣削,分别使用与之相适应的刀具和机床。

**解 释** ● 切削机床

机床是具有动力且能实现刀具与工件间相对运动的切削加工机械。切削加工方法应根据产品的形状进行合理选择。图 6.58 所示为常用的几种切削加工方法。

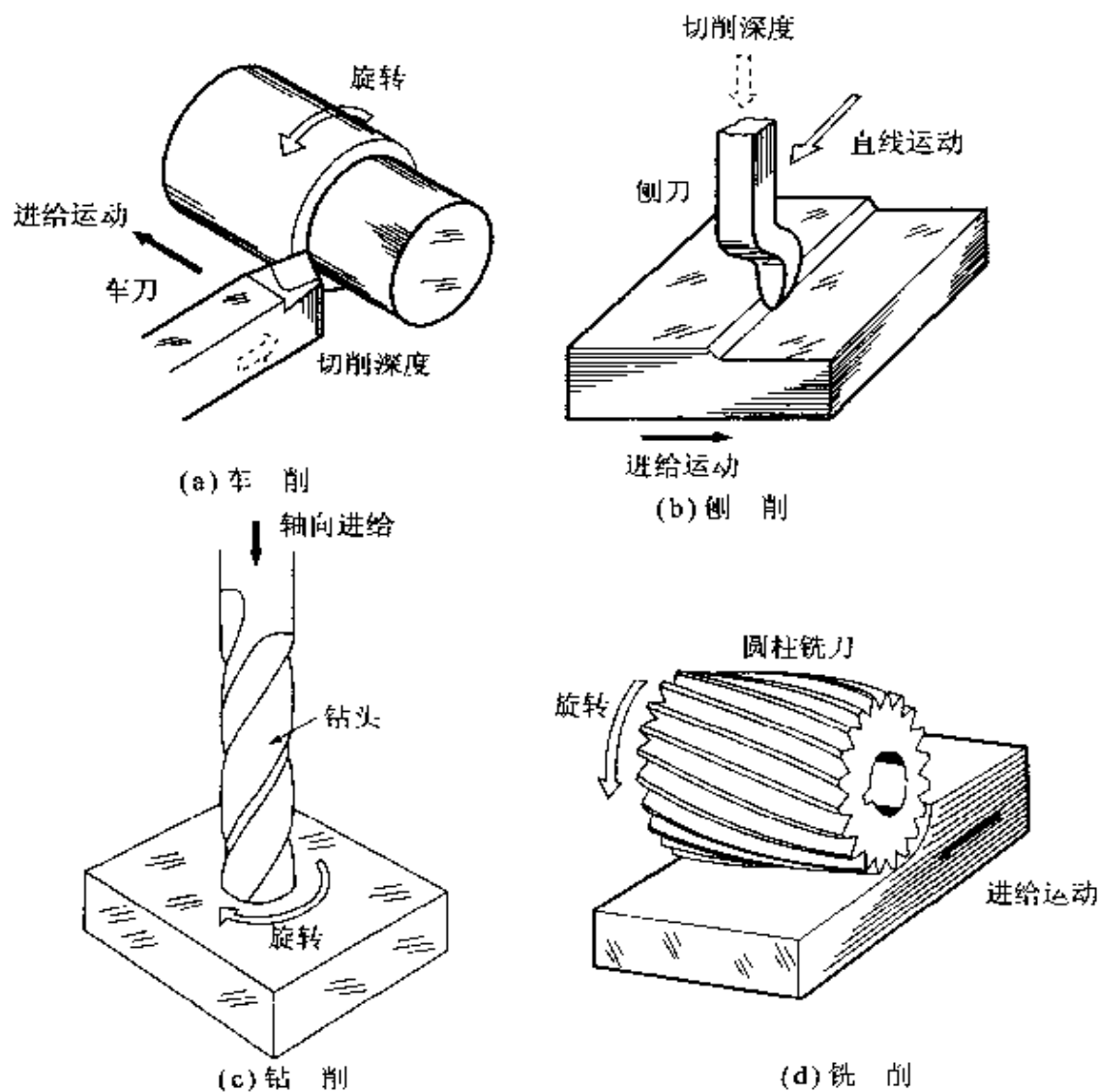


图 6.58 切削加工方法

**车削** 如图 6.58(a)所示,车削是工件作主回转运动,刀具作进给的切削加工方法。车端面与车外圆都属于车削加工,只是刀具的进给方向不同。

**车床** 车床是车削加工使用的机床,使用的刀具称为车刀。

**车刀** 车削有顶卡和卡盘两种装卡方式。顶卡加工是指用主轴和尾架上的顶尖支撑工件进行的加工;卡盘加工是指将工件用主轴上的夹盘卡紧进行的加工。

**刨削** 如图 6.58(b)所示,刨削是进给量一定,通过工件或刨刀的往复直线运动切削平面的方法。使用的刀具称为刨刀。牛头刨床是刀具作往复主运动的机床;龙门刨床是将工件固定在工作台上,工作台面作往复主运动的机床。

**钻削** 图 6.58(c)所示的加工孔的方法称为钻削。钻削使用的刀具叫做钻头。钻床是钻削加工使用的机床。加工时,安装在钻床主轴上的钻头作回转运动的同时还作轴向进给运动。

**铣削** 如图 6.58(d)所示,铣削是铣刀(在圆柱上分布多个切削刃的刀具)作回转运动,工件作直线进给的加工平面的方法。铣削加工使用的机床称为铣床。

铣床和车床的使用范围都非常广,种类也很多。铣床主要有卧式铣床和立式铣床两大类。

卧式铣床是主轴绕与工作台平行的轴旋转,工件作上下、前后、左右三个方向进给运动的铣床。卧式铣床主要使用圆柱铣刀(圆柱四周带切削刃的铣刀)切削平面或加工槽。

立式铣床的主轴垂直于工作台,主要使用端铣刀(圆柱的一个端面或柱面上有切削刃的铣刀)切削平面,有时也用立铣刀切削侧面或加工槽。

## 相关知识 ● 顺铣和逆铣

**逆铣** 用圆柱形铣刀加工平面时,刀具的旋转方向与工件的进给方向相反,进给量逐渐增大的称为逆铣(参见图 6.59(a))。刀具旋转

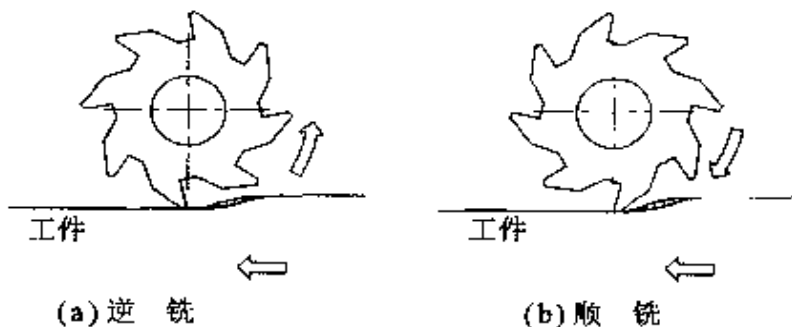


图 6.59 逆铣和顺铣

顺铣

方向与工件进给方向相同时,进给量是由大变小的称为顺铣。

逆铣时工件必须固定好,由于工件与刀具是相对运动,所以消除进给机构的间隙能提高加工精度。

消除间隙机构

顺铣适用于加工薄壁件或卡紧困难的工件,刀具寿命长。由于进给机构的间隙是产生振动的原因,所以顺铣时应选用带有消除间隙机构的铣床。

### ● 刀 具

刀具要根据工件的材质、加工表面的形状及精度及机床的种类来选择。

前角

用途、名称、形状 车床使用的车刀形状如图 6.60(a)所示。

车刀上部的使切屑流出的面与水平面的夹角叫做前角。前角越大则出屑越顺利,已加工表面的质量越高,但刀尖强度降低,车刀寿命短。

后角

如图 6.60(a)所示,车刀上与切削表面相对应的刀面和切削运动方向的夹角叫做后角,是车刀切削加工时需要的角度,可避免车刀与工件干涉。

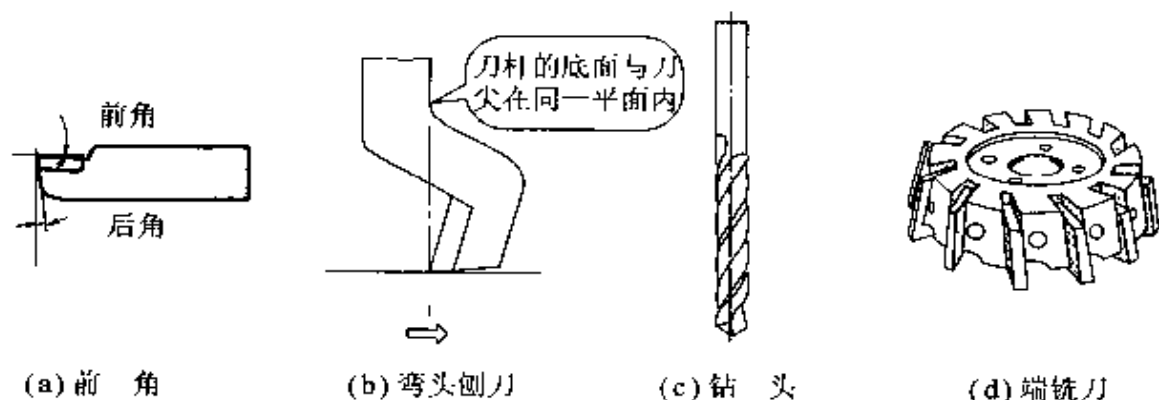


图 6.60 刀具

弯头刨刀

通常,刨削使用如图 6.60(b)所示的弯头刨刀,可避免因刀杆变形引起的啃刀现象。

钻头是钻削使用的刀具。钻头的前端有两个切削刃和两条向外排屑的槽,外形见图 6.60(c)。

圆柱铣刀

在铣床上采用不同类型的铣刀可以加工平面、沟槽及成形面

端铣刀

等。铣平面时除了用圆柱铣刀外,还可用端铣刀(参见图 6.60

侧面刃铣刀

(d))。侧面刃铣刀和立铣刀等可以铣槽和端面。为减少切削阻力,

立铣刀

常将圆柱铣刀的刀齿设计成螺旋等形状。

刀具的材料 生成切屑时,因工件与刀具机械摩擦,会导致刀

尖部位发热而使温度升高。所以,切削刀具材料应具有较高的耐热性、高硬度及足够的强度等。常用的刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷、金属陶瓷以及金刚石等。

#### 碳素工具钢

碳素工具钢的碳含量为 $0.6\% \sim 1.5\%$ ,经过淬火能得到较高的表面硬度。碳素工具钢刀具的价格低廉,但高温时硬度低,一般用于低速切削,如绞刀、丝锥、钻头。

#### 合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢中加入钨、铬、镍等合金元素,提高刀具的耐磨性和韧性,常用于制作带锯、车刀、刨刀、钢镗、冲头以及各种冷、热加工模具。

#### 高速钢

高速钢是含钨、铬及钒等元素较多的合金工具钢,具有较高的耐热性及耐磨性。即使刀尖温度高达 $600^{\circ}\text{C}$ 时,硬度也不降低,切削效果仍然良好,故通常用于高速切削。高速钢应用范围较广,主要用于车、铣、刨、钻等刀具。

#### 硬质合金

硬质合金是将碳化钨与钴粉末经液相烧结而成的。硬质合金与高速钢相比,其高温硬度和耐磨性较高,可以适用于更高的切削速度。但由于硬质合金是用粉末冶金成型,不适合制造复杂形状的刀具。

#### 陶瓷刀具

陶瓷刀具是在三氧化二铝粉末中加入少量镁和硅等元素,经 $1600^{\circ}\text{C}$ 以上的高温烧结而成的,可适用于高速切削。但陶瓷刀具较脆、韧性差,不能承受冲击载荷。

### ● 钳工知识

钳工是指利用各种简单工具进行手工加工工件的方法,其中最典型的钳工作业是锉削。

锉削是手持锉刀(参见图 6.61)进行平面或曲面切削的加工方法。

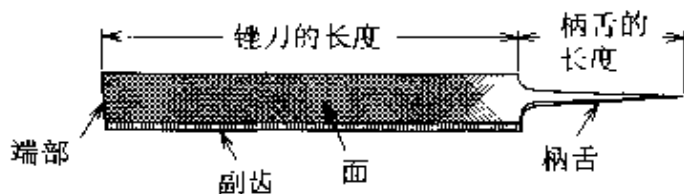


图 6.61 锉刀

锉刀根据尺寸、齿纹粗细、齿纹方向以及断面形状等不同分为许多种。锉削时,要综合考虑工件的材质、加工面的形状及表面粗糙度等因素来合理地选择锉刀。通常,金属工件可采用钢锉加工。

#### 钢锉

**锉刀的尺寸** 锉刀尺寸用锉刀的长度表示,从 100mm 起,间隔 50mm,最长为 400mm,锉刀按齿纹的粗细可分为粗锉刀、中粗锉刀、细锉刀和油光锉。如果待加工的表面大且粗糙,为提高加工效率,应考虑选择尺寸大且齿纹粗的锉刀加工。

**锉刀的齿纹方向** 锉刀的切削刃称为锉刀的齿。单方向的齿纹称为单纹(参见图 6.62(a));图 6.62(b)所示中的两个方向交错的齿纹称为双纹。通常,单纹锉刀用于加工软金属,双纹锉刀用于加工钢类金属。

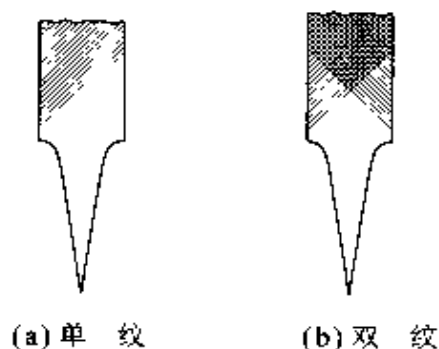


图 6.62 锉刀的齿纹方向

**锉刀的断面形状** 按断面形状锉刀可分为平锉、方锉、三角锉、圆锉和半圆锉,加工时根据具体情况选择使用。进行小件或较精密加工时,可以使用锉刀长度为 150mm 的锉刀及各种断面形状齐全的组锉。

## 22 切削理论

**要 点** 切削加工时,要根据工件的材质、形状、尺寸、加工表面的精度以及生产数量等选择使用机床及工具。只有了解切削加工机理,才能合理地选择切削条件,提高切削效率和精度。

**解 释** ● 切削机理

当刀尖锐入工件表面后,使这部分材料产生塑性变形而被挤出,从刀具前面滑过成为切屑排出。按照切屑形成的状态可分为带状切屑、节状切屑和崩碎切屑。

**带状切屑**

**带状切屑** 如图 6.63(a)所示,带状切屑是沿着刀具的前面被连续排出的切屑。带状切屑与刀具接触一侧非常光亮,而不接触一侧则非常粗糙。生成带状切屑时,加工表面光洁。

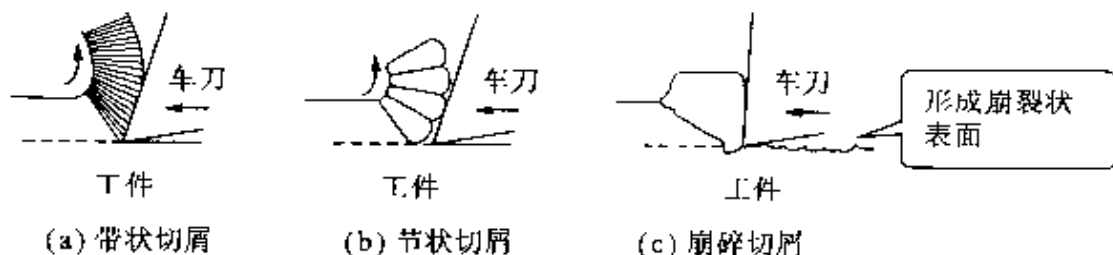


图 6.63 切屑的种类

**节状切屑**

**节状切屑** 当刀尖锐入工件一定深度后,材料被剪断,排除的是一节节的切屑,参见图 6.63(b),这种切屑称为节状切屑。当机床在切削中发生微小震动时通常生成节状切屑,这时加工表面的粗糙度较大。

**崩碎切屑**

**崩碎切屑** 当刀尖锐入工件表面后,工件材料受到刀具的挤压产生裂纹,形成颗粒状的切屑,这种切屑称为崩碎切屑。当产生崩碎切屑时,工作表面也产生裂纹,所以加工表面质量差。

**相关知识** ● 积屑瘤(刀瘤)

**积屑瘤**

当切屑的碎片被夹在刀具与切屑之间时,由于高的压力和热使之在刀具上堆积,称为积屑瘤,又称刀瘤。积屑瘤非常坚硬,可以代替切削刃进行切削。如图 6.64 所示,积屑瘤长大到一定程度时,就会脱落。脱落后又重新生成、长大、脱落,不断循环。

以较低速度切削铁、不锈钢及铝等工件时,虽然切屑看似带状



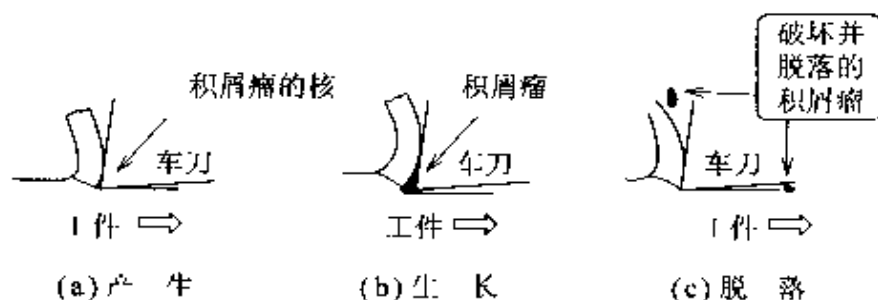


图 6.64 积屑瘤的生长过程

切屑,但由于产生积屑瘤,使切削处于不稳定状态,会导致加工表面的质量差。

合理的选择切削条件可防止积屑瘤生成,如加大刀具的前角,提高切削速度或进给速度使刀刃上的堆积材料容易排除等。当前角为  $30^\circ$  时,可以得到稳定的积屑瘤,所以,有时也利用这种积屑瘤进行切削。

### ● 切削条件

切削条件一般是指与各种加工工艺相适应的切削速度、进给量及切削深度等要素。

#### 切削速度

**切削速度** 指刀具切削工件的速度,它直接影响加工面的表面粗糙度、切削加工效率和刀具寿命等,是一个重要参数。

切削速度越高,加工表面越光滑,切削效率越高。但随着切削速度的增高,切削温度上升,会导致刀具的寿命急剧下降。

#### 经济切削速度

通常以经济切削速度切削工件,经济切削速度是指将刀具耐用度确定为  $60\sim 100\text{min}$  的切削速度。

切削速度要根据工件材料、刀具材料、刀具的形状以及加工表面的粗糙度等选择。表 6.5 是车削常用金属材料的切削速度。表 6.6 是铣削时的切削速度。

当用车床或铣床进行切削加工时,工件或刀具作主回转运动,(参见图 6.65)。切削速度与转速有如下关系:

$$n = 1000v/\pi d$$

式中, $v$  为切削速度( $\text{m}\cdot\text{min}$ ), $d$  为工件旋转时为被切削面的直径或旋转的刀具直径( $\text{mm}$ ), $n$  为工件或刀具的转速( $\text{r}/\text{min}$ )。

#### 进给量

#### 切削量

#### 进给速度

#### 切削面积

**进给量和切削深度** 切削量是刀具切入工件的深度。工件回转时,进给速度是表示刀具沿与切削深度垂直方向移动快慢的量。切削面积是进给量与切削深度的乘积。进给量与切削深度的关系可参见图 6.66,切削面积越大,切削效率就越高,刀具所受的力也随之增大,导致切削温度增高,使刀具耐用度降低。

表 6.5 车削的标准切削速度

工件的材料	抗拉强度或硬度	工具材料	粗加工		精加工	
			切削速度	进给量	切削速度	进给量
钢: 锻造 或轧制	350~400	A	40~50		60~75	
		B	130~210		200~300	
	430~500	A	30~35		50~70	
		B	100~200		220~300	
	600~700	A	22~28		30~40	
		B	100~150		150~220	
	700~850	A	18~24		35~40	
		B	70~90		100~130	
铸铁	HB 140~190	A	18~25		30~35	
		B	60~90		90~130	
锡青铜	HB 65~95	A	40~50		60~75	
		B	250~300		300~400	
	HB 95~125	A	30~35		40~50	
		B	150~200		220~300	
铝		A	150~200		200~250	
		B	600~800		800~1 000	

[注]A: 高速钢, B: 硬质合金, HB: 布氏硬度

(摘自: 日本机械学会编: 机械工学便览)

表 6.6 铣削的标准切削速度(切削速度, m/min; 每齿进给量, mm)

工件的材料	抗拉强度或硬度/MPa	工具材料	粗加工		精加工	
			切削速度	进给量	切削速度	进给量
钢	500~700	P25	80~120	0.3~0.4	100~120	0.1
	700~1 000	P10	60~100	0.15~0.4	80~100	0.1
铸铁	HB 200~300	K20	60~90	0.3~0.5	60~90	0.1
黄铜	HB 80~120	K20	150~220	0.15~0.4	170~300	0.1
青铜	HB 60~100	K20	100~180	0.15~0.4	140~250	0.1
铝合金	HB 60~100	K20	300~600	0.15~0.4	500~800	0.1

(摘自: 日本机械学会编: 机械工学便览新版)

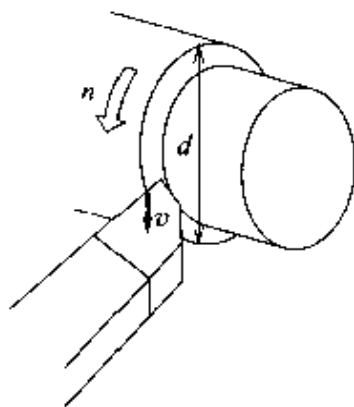


图 6.65 转速与切削速度

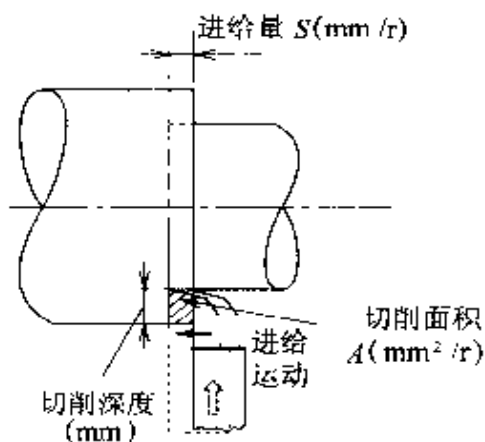


图 6.66 进给量与切削深度

车削时,进给量表示工件每转刀具移动的量(单位为 $\text{mm}/\text{r}$ )。铣削时,进给量是指铣刀转过每个刀齿时,刀具在进给方向上的移动量。所以,它与铣床工作台的移动速度有以下关系:

$$v_f = s_z z n$$

式中, $v_f$ 为工作台的移动速度( $\text{mm}/\text{min}$ ), $s_z$ 为每齿的进给量( $\text{mm}/\text{齿}$ ), $z$ 为铣刀的齿数, $n$ 为铣刀的转速( $\text{r}/\text{min}$ )。

进给量对加工表面的精度影响极大。

## 切削液

### ● 切削液

切削金属产生的切削热使刀具温度升高,刀具的硬度降低,切削效率大幅度下降。

为保证加工面的质量,在切削加工时常使用切削液。切削液除了可以减小摩擦,起润滑作用外,还有降低刀具温度的冷却作用以及排除切削屑的除屑作用。

### 例 题

例 1 一个长为 80mm 的工件,若切削速度为 50~70m/min,加工直径为 30mm,那么,主轴的转速应是多少?如果进给量是 0.02mm/min,求切削所需要的时间。已知机床的转速分别为:80r/min、165r/min、310r/min、560r/min、1050r/min、2000r/min。

**答]** 计算出最低切削速度 50m/min 和最高切削速度 70m/min 时的转速  $n_1$ 、 $n_2$ 。

$$n_1 = \frac{1000v}{\pi d} = \frac{1000 \times 50}{3.14 \times 30} = 530 \text{ r/min}$$

$$n_2 = \frac{1000v}{\pi d} = \frac{1000 \times 70}{3.14 \times 30} = 743 \text{ r/min}$$

从机床的转速中选定 560r/min 的转速值。

又,每分钟刀具移动的距离为

$$l = 560 \times 0.02 = 11.2 \text{ mm}$$

因此,移动 80mm 所需的时间  $t$  为

$$t = 80 \div 11.2 = 7.1429 \text{ min} = 7 \text{ min} 9 \text{ s}$$

例 2 端铣刀的直径为 100mm,切削速度为 140m/min,齿数为 8。以 0.2mm/齿的进给量切削工件时,求铣刀的转速和每分钟的进给量。

**答]** 
$$n = \frac{1000v}{\pi d} = \frac{1000 \times 140}{3.14 \times 100} = 445 \text{ r/min}$$

$$v_f = s_z z n = 0.2 \times 8 \times 445 = 712 \text{ mm/min}$$

## 23 精密切削加工

### □ 要 点

计算机使用的磁盘、磁盘驱动器的转速和读写精度都很高,是精密加工的产品。精密切削加工是指使用高精度的机械和高超的加工技术进行的产品加工方法。

### □ 解 释

#### ● 精密切削加工

通用机床的加工范围广,但结构复杂,并容易产生震动和热变形等。近年来,随着技术的高度进步,对形状和尺寸精度要求更高的精密零件的需求也不断增加,从而促进了加工精密零件所需要的高刚度和高精度的精密机床设备的发展。

使用精密切削机床加工零件时,尺寸和形状精度要求在 $0.1\mu\text{m}$ 以上,加工面的表面粗糙度小于 $0.01\mu\text{m}$ 。

制造精密机床使用与普通机床不同的材料,多用热膨胀率低的花岗岩,质轻且刚度好的碳纤维强化塑料以及刚性好的陶瓷等。材料的机械性能见表6.7。

表 6.7 材料的机械性能

材 料	比 重	杨氏模量 /GPa	线膨胀系数 /( $\times 10^{-6}$ /K)	热导率/ [W/(m·K)]
铸铁	7.0	117	12	64
碳钢	7.8	205	12	68
氧化铝陶瓷	3.9	370	4.5	25.6
玻璃陶瓷	2.5	80	0.01	1.3
花岗石	2.66	39	8	0.69

(摘自:メカトロニクス教科書シリーズ10,超精密加工学,コロナ社)

#### 静压轴承

精密机床的机械结构应尽可能简化。其与普通机床的不同之处在于:主轴轴承采用静压轴承,导向采用静压导轨,驱动系统采用滚珠丝杠或静压丝杠,微进给装置使用压电元件。

#### 单晶金刚石

精密加工用的切削工具也与普通切削刀具不同,它的切削刃呈直线,后面和前面平滑,多使用最锋利的切削刃单晶金刚石制作刀具。用金刚石刀具切削铁系材料时,由于切削不够稳定而需要使用硬度仅次于金刚石的单晶氮化硼刀具。

#### 单晶氮化硼

金刚石刀具适用于加工硬质陶瓷、硬质合金、铝、铜及强化塑

料,而淬火钢、镍基合金及钴基合金等材料通常使用氮化硼刀具进行加工。

精密切削加工时,对环境要求严格,需要建立净化间。要求净化间的空气中悬浮的灰尘和微粒子在  $0.5\mu\text{m}$  以下,并且能够控制室内的压力、温度、湿度及气流等。另外,必须使加工环境与各种振动隔离,如运输机产生的振动、工厂中各种机械产生的振动以及自然环境中的振动等。

## □ 相关知识 ● 静压轴承

静压轴承是保证高精度加工的重要轴承,如图 6.67 所示。在精密机床的轴承部位充入空气或压力油,使轴在轴承中悬浮,以达到转动时不产生机械摩擦的目的。

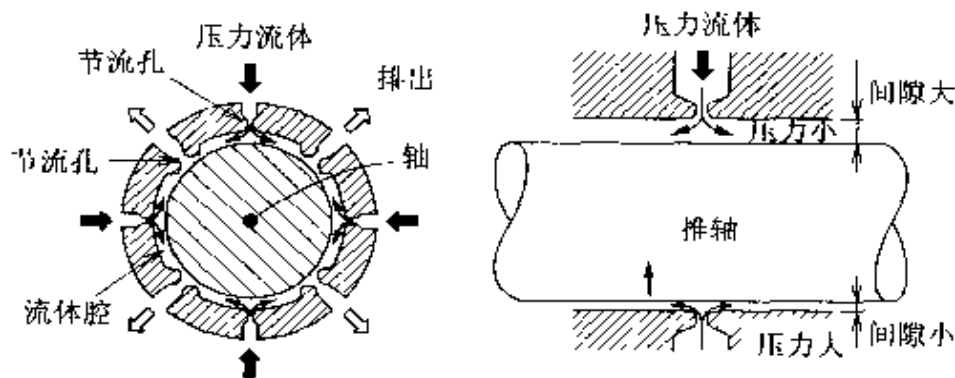


图 6.67 静压轴承

精密加工使用的精密机床必须能准确地传递运动,以获得高加工精度的精密零件。因此,高速旋转的精密机床均使用液体静压轴承或空气静压轴承。

液体静压轴承或空气静压轴承是将润滑油或空气以一定的压力充入轴和轴承之间并进行循环,使轴在轴承中心悬浮。当轴在轴承中偏向一侧时,该侧的间隙变小,流体的压力就会随之增加,升高的压力会将轴再推回原位置。另一方面,由于相反一侧的间隙大,压力降低,也会将轴拉回,使轴在静压轴承中始终处于中心位置。

## 24 磨削机床

### □ 要点

机床是由高精度零部件构成的,而高精度零部件通常又使用制造好、硬度高的金属材料经过磨削加工制成。磨削加工是用砂轮对工件表面进行微量切削的加工方法。磨削机床是使用砂轮加工工件的机床。

### □ 解释

磨削砂轮  
磨料  
结合剂  
磨削加工

### 释 ● 磨削加工机理

磨削砂轮是将粒状或粉状的磨料用结合剂加工成圆盘或圆筒形的切削工具。磨削加工时,砂轮以  $1000 \sim 3000 \text{ m} \cdot \text{min}$  的速度旋转,微量切削工件表面。

图 6.68 是砂轮磨削工件的状态。磨削加工与多个刀刃的铣刀加工工件相似,一个磨粒就相当于一个刀刃,当它切入工件表面后,随着砂轮的转动产生切削屑。由于每个小刀刃切削下的金属屑极小,使加工面非常光洁。在砂轮圆周上有无数个作为切削刃的磨粒,故加工的精度和加工效率较高。

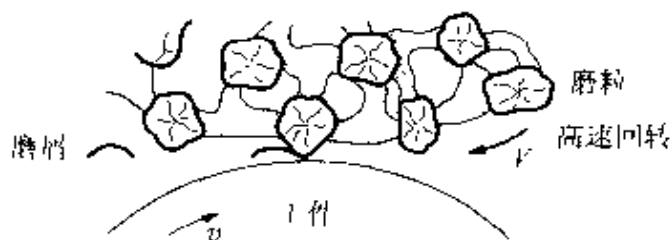


图 6.68 磨削加工

磨料是极硬的矿物质,能精密加工较难加工的材料,如淬火钢、合金钢、玻璃以及陶瓷等。砂轮还可用来清理铸件的毛刺、切削型材或石料等,也可用于加工戒指等工艺品。

### ● 磨削加工的种类

磨床

磨床是磨削加工使用的机床。磨床的种类很多,要根据加工工艺合理选择。

平面磨削

平面磨削指磨削工件上的平面,有两种磨削方法。图 6.69(a)所示为用砂轮外圆周磨削加工平面,图 6.69(b)所示为用砂轮的端面磨削加工平面。磨削平面的机床叫做平面磨床。

在图 6.69(a)中,由于使用圆柱面上的磨料加工,每一粒磨料与工件接触的时间短,磨料切削出的磨屑也短,切削深度也随磨料

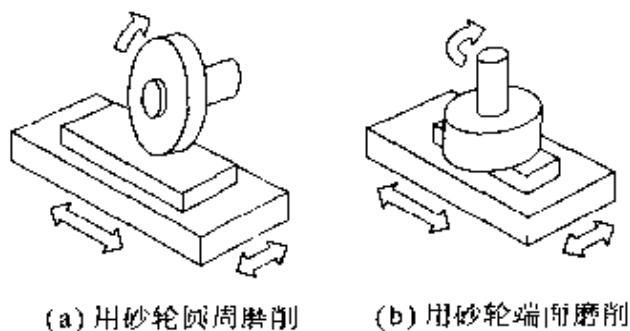


图 6.69 平面磨削

的位置而变化,所以用砂轮外圆磨削产生的热量小,加工精度高。

用砂轮端面上的磨料进行加工的过程如图 6.69(b)所示,在切削深度一定时,磨料与工件接触时间越长,生成的切削热量越大,所以加工速度不宜太高。但由于切削的面积大,加工效率较高。

### 外圆磨削

**外圆磨削** 指工件作旋转运动,砂轮在旋转的同时切削工件(参见图 6.70),可用于加工圆柱形工件的外圆。所使用的机床叫做外圆磨床。

如图 6.70(a)所示,砂轮高速旋转并切削工件,而工件在旋转的同时,沿轴线方向做往复运动,这种磨削方式可以加工精度较高的圆柱面。当被磨削的工件较大而移动困难时,采用砂轮沿工件轴线方向往复运动的进给方式,参见图 6.70(b)。图 6.70(a)和图 6.70(b)均属于纵磨法,适用于磨削较长的轴。

### 纵磨法

当工件的厚度比砂轮厚度小时,砂轮只作径向进给运动,称为横磨法,如图 6.70(c)所示。

### 横磨法

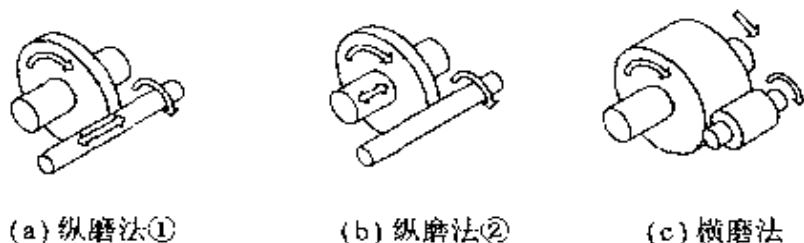


图 6.70 外圆磨削

通常,纵磨法比横磨法的磨削效率低。但由于采用纵磨法时工件或砂轮沿轴向进给,能使砂轮表面上的微小凸凹平均化,所以加工精度高。

### 内圆磨削

**内圆磨削** 内圆磨削用于磨削孔的表面,磨削使用的机床称为内圆磨床。内圆磨削有两种方式(参见图 6.71)。



在图 6.71(a)中工件旋转,而砂轮在旋转的同时作轴向进给运动。在图 6.71(b)中则是工件固定,砂轮作自转和公转的行星运动,同时砂轮还要沿轴向进给,适用于加工重量大或形状复杂工件的内孔。

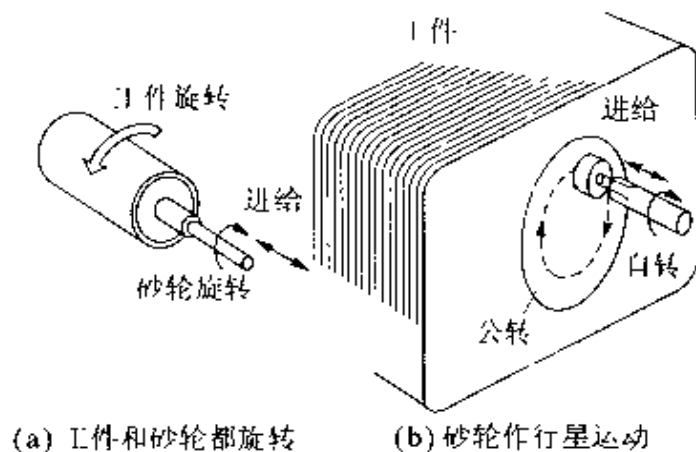


图 6.71 内圆磨削

通常,内圆磨削使用的砂轮直径小,是细而长的砂轮轴。为提高砂轮轴的转速,必须采取一些提高主轴刚性和回转精度的措施。

在切削深度相同时,内圆磨削与外圆磨削相比,砂轮与工件接触面积大,故施加给砂轮轴上的力也较大。而内圆磨削时,磨料切削工件的切入角小,磨料不容易切入工件,故加工较困难(参见图 6.72)。

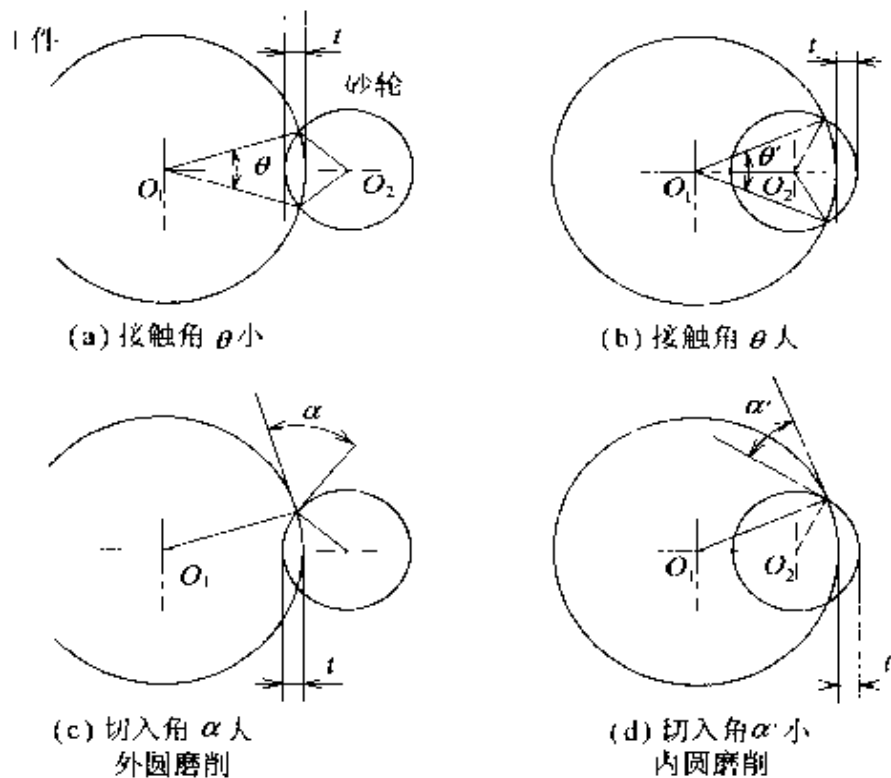


图 6.72 外圆磨削与内圆磨削的比较

## □ 相关知识 ● 无心磨削

导轮  
托板  
无心磨床

无心磨削如图 6.73 所示,这是一种不固定工件而是放在磨削砂轮和导轮之间,由托板支承磨削外圆的加工方式。使用的机床叫做无心磨床。无心磨削时,因加工部位有支承,所以磨削均匀。适用于磨削加工直径较小的工件。无需装卸工件,所以生产效率较高。

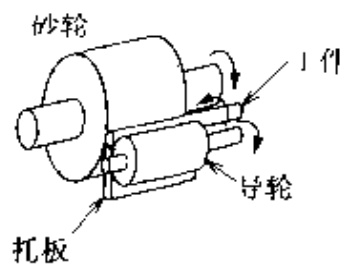


图 6.73 无心磨削

## 25 磨削加工

### □ 要点

磨削加工时,根据工件的形状、材质合理地选择使用砂轮,可提高磨削表面的质量和精度。选择砂轮时,要综合考虑砂轮的种类、磨料和结合剂的种类以及砂轮的其他要素等。另外,根据加工表面的精度等来选择磨削条件也非常重要。

### □ 解释 ● 磨削砂轮

如果将砂轮表面放大,其状态如图 6.74 所示,可以发现在磨粒间有无数个空隙(气孔),即砂轮是由磨料和结合剂及气孔构成的。磨粒有尖硬的棱角,可起到切削工件表面材料的切削刃的作用。利用结合剂使磨粒之间相互结合。气孔有排除切屑和辅助冷却液循环的作用。以上是构成砂轮的三要素。

磨料  
结合剂  
气孔  
排除切屑  
冷却液循环  
砂轮的三要素

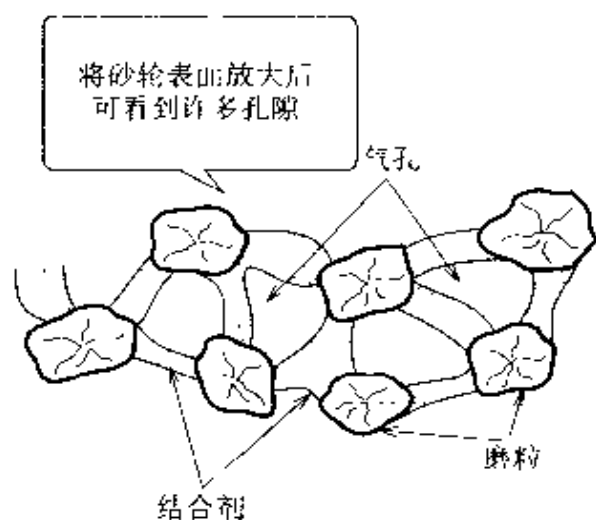


图 6.74 砂轮的三要素

### 五大要素

磨料的种类和粒度、结合剂的种类、砂轮的硬度及其组织是影响砂轮性质的重要因素,合称为砂轮性质的五大要素。磨削时,应根据工件的材质合理地选择。

刚玉  
碳化硅  
金刚石  
粒度

**磨料的种类** 磨料要选择具有韧性好、耐磨损、耐热及化学性质稳定的材料。常用的磨料有刚玉、碳化硅和金刚石。表 6.8 为常用人造磨料的种类及用途。

磨料颗粒的大小用粒度表示。JIS 中规定的粒度从 8~8000 号,其中 8 号最粗,8000 号最细。磨削砂轮使用的粒度为 24~220 号。

表 6.8 常用人造磨料的用途

刚玉	刚玉	A	钢铁
	白刚玉	WA	合金钢, 工具钢, 硬化钢
碳化硅	黑色碳化硅	C	铸铁, 有色金属
	绿色碳化硅	GC	硬质合金, 合金铸铁
金刚石		D	硬质合金

**结合剂的种类** 结合剂可以使磨料间相互结合形成砂轮。常用的结合剂有: 用黏土和长石烧结的**陶瓷结合剂**, 用热固性树脂的粉末成型的**树脂结合剂**, 以及用铜、镍等金属通过粉末冶金或电镀法使磨料黏结的**金属结合剂**。

**硬度** 表示在磨削力的作用下, 抵抗磨粒从砂轮上脱落的程度。硬度分为 A~Z 的 26 个等级, A 为最软, Z 为最硬。常用从 G 级到 P 级的硬度范围。

**组织** 表示砂轮中磨料的疏密程度。组织疏松的砂轮用于加工软而黏的工件材料或切削用量大的场合, 而组织紧密的砂轮用于加工硬而脆的工件或用于精加工。砂轮组织的代号为 0~14 级, 其中 0 为最紧密, 14 为最疏松。常用的范围是 5~7 级。

**砂轮的选择** 首先根据磨削方式或工件的形状选择砂轮的形状, 然后根据工件的形状、材质及加工表面等要求, 选择磨料的种类、粒度、硬度及组织等。

通常, 工件材质较硬时应选择硬度较软的砂轮, 当要求加工表面的粗糙度值小时, 则应选择粒度细并且组织紧密的砂轮。

图 6.75 所示是常用的砂轮形状。

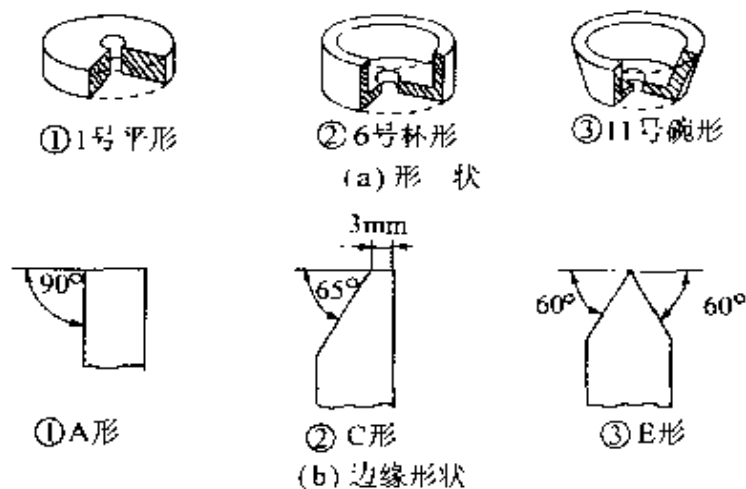


图 6.75 常用砂轮的形状及其边缘形状

陶瓷结合剂  
树脂结合剂  
金属结合剂  
硬度

### ● 磨削原理

磨削加工时,工件及砂轮的大小、磨削时砂轮的圆周速度、切削深度和进给速度等对加工效率及加工表面的精度都有较大影响。

加工表面的精度 因磨削时的切削深度极小,与工件的速度相比,砂轮的转速非常高,所以切屑很小,切削层形状如图 6.76 中的 ABCD 所示。其中 AC 是切削的长度,BD 是切削深度。

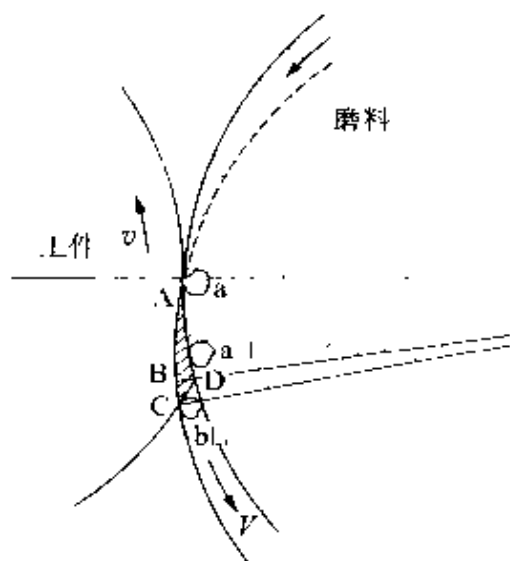


图 6.76 磨削加工

如图 6.77 所示,由于砂轮表面的磨粒与磨粒的间距不均匀,导致切削的厚度和长度都不相同,切削深度也有差异。又因为磨粒距工件的高度不等,使磨粒切入工件的深度也不一致。由此形成微小的凸凹不平的加工表面,使加工表面的表面粗糙度不均匀。

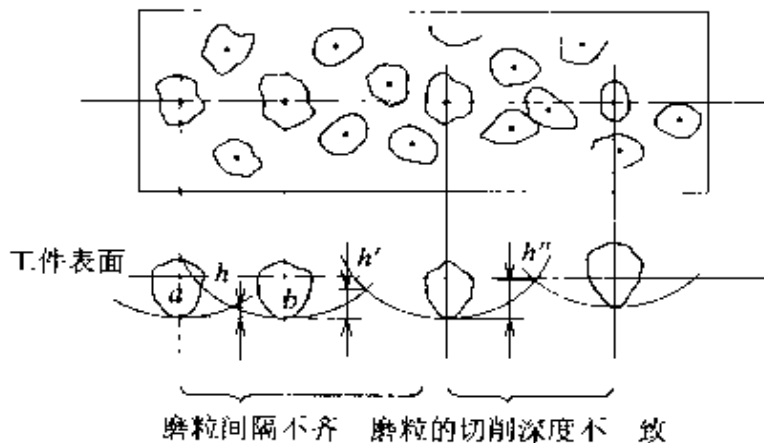


图 6.77 磨粒间距与表面粗糙度

另外,加工面的表面粗糙度除受磨粒的间距和切削深度的影响外,还受磨料的粒度、砂轮的硬度、组织以及砂轮的圆周速度等磨削条件影响

磨削加工时,当工件的圆周速度为  $20\text{m}/\text{min}$  时,工件与砂轮的圆周速度比的标准值为 1:100。砂轮的圆周速度降低会使砂轮的磨损增大,而砂轮圆周速度过高又会导致磨粒磨损加剧,使其锋利度降低。表 6.9 是磨削进给量的标准值。

表 6.9 磨削加工的标准进给量 单位: mm

	钢	铸 铁
粗磨	0.02~0.05	0.005~0.01
精磨	0.08~0.15	0.02~0.05

磨削力  
主切削力  
切深抗力  
进给抗力

**磨削力** 磨削力与车削时车刀上所受的作用力相同。在砂轮作用面上,磨削力可分解成三个分力:切线方向上的主切削力、垂直方向的切深抗力和轴线方向的进给抗力。

磨削与车削的不同之处是切深抗力较大,参见图 6.78。这是因为在磨削中,磨粒的前角为较大的负角,使磨屑在切削刃的前进方向上排出。

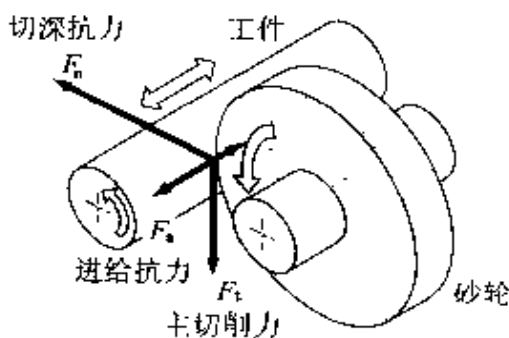


图 6.78 磨削力

磨削力随着砂轮的切削深度、工件速度以及进给速度的增加而增大。砂轮的硬度越高,则磨削力越大。而磨削力过大会产生大量的磨削热,使工件温度升高。

磨削热

磨削热来自两方面,一方面是工件表面与磨料间的摩擦热,另一方面是形成切屑时塑性变形产生的热。磨削热可使磨削区的温度高达  $2000^{\circ}\text{C}$ ,磨削热由工件和砂轮向磨屑、磨削液和空气中传递。

磨削烧伤

磨削裂纹

磨削液

自锐作用

变钝

堵塞

溃落

金刚石修整器

修整滚轮

磨削热会使工件精度降低,导致工件表面的原子晶格变形,严重时还会产生氧化发黑的磨削烧伤,甚至在工件表面产生网纹状的磨削裂纹。所以,为降低工件温度,磨削时需要大量使用磨削液。

磨削液的作用除降低磨削部位温度外,还能通过对加热的磨料急冷,促使磨削面上磨损的磨料脱落,从而得到锋利的切削刃。

另外,磨削液渗入切削刃和工件的接触面后,可减小摩擦,防止磨屑堵塞砂轮。同时,磨削液还有清洗磨屑和脱落的磨料的作用,可改善磨削表面质量。

**自锐作用** 随着磨削时间增长,锋利的磨粒就会因磨损而变钝,使作用在磨粒上的力增大。当该力增大到一定值时,磨粒被挤碎并脱落,得到新的锋利的切削刃,这一现象称为自锐作用。磨粒的适度脱落可以使砂轮保持锋利度。所以,一定要合理选择磨削砂轮。

如果砂轮选择不当,就会发生磨粒变钝、堵塞、溃落(参见图 6.79)。磨粒变钝是因为磨粒之间的结合强度过高,已磨损的磨粒不容易脱落或破碎,是产生磨削烧伤的原因。磨削软金属材料时产生的磨屑会粘在砂轮表面引起砂轮气孔堵塞。砂轮气孔堵塞是产生高频振动的主要原因。磨料溃落是由于砂轮的硬度过低,导致磨料脱落过快引起的砂轮急剧损耗。另外,当砂轮锋利度降低、表面形状损坏时,要使用金刚石修整器或修整滚轮来修整砂轮表面。

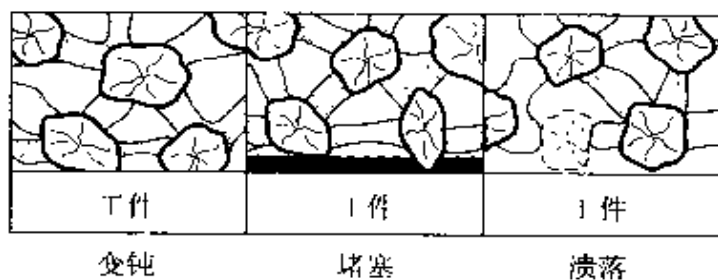


图 6.79 砂轮的变钝、堵塞和溃落

## 26 精密加工

### 要 点

### 点

磨削加工时,由于磨削速度高,产生的切削热将工件表面的晶体破坏形成加工变质层。精密加工是指用更细的磨料,施加较小的压力,在不产生磨削热的条件下,去除磨削后表面上极小的凸凹和加工变质层的加工方法。

### 解 释

### 释

#### ● 珩 磨

珩磨

珩磨床

珩磨头

珩磨是精密加工圆柱内表面的方法,如珩磨内燃机的缸体或油缸内表面等,使用的机床称为珩磨床。

珩磨加工如图 6.80 所示,将粒度细、砂轮硬度低的数个珩磨条安装在珩磨头上。珩磨时珩磨头以较低的转速旋转,并以较小的力将珩磨条压向工件内表面,同时在轴线方向作较慢的往复直线运动,对工件内表面进行微量切削

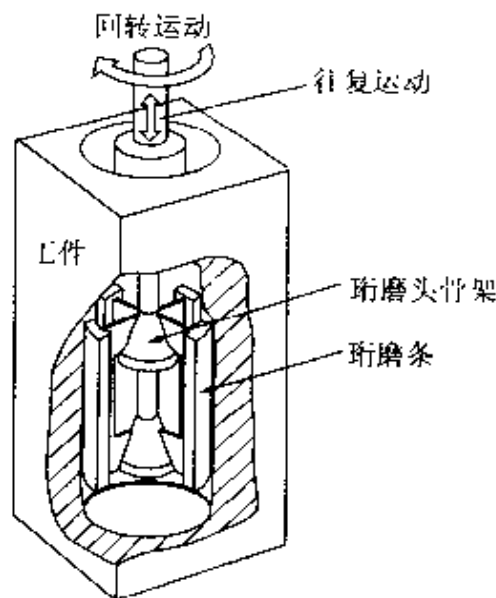


图 6.80 珩 磨

珩磨时,珩磨条的接触压力一般为  $4\sim 7\text{MPa}$ 。

因为珩磨条与工件的接触面积大,相对速度小,故可以达到微量去除加工变质层的精密加工的目的。粗珩加工的表面粗糙度为  $1\mu\text{m}$ ,精密珩磨的表面粗糙度达到  $0.5\mu\text{m}$ ,抛光的表面粗糙度可达到  $0.1\mu\text{m}$ 。珩磨时,因为往返运动使磨粒的切削方向不同,所以磨料不易磨损,并且珩磨条的自锐作用强,加工效率较高。



因为珩磨条较长,所以,珩磨可以减小圆柱面的径向跳动,但不能校正上一道工序中产生的不圆度。

珩磨加工后,加工表面的状态如图 6.81 所示,珩磨表面上残留着由珩磨条的回转和往复直线运动而形成的很细的、相互交叉的加工纹路。磨料轨迹的夹角  $\alpha$  称为交叉角。通常,粗珩的交叉角  $\alpha$  为  $40^\circ \sim 60^\circ$ ,精珩的交叉角  $\alpha$  为  $20^\circ \sim 40^\circ$ 。

珩磨速度  $V$  通常取  $20 \sim 40 \text{ m/min}$ 。珩磨速度高时,加工效率也高。但速度过高会导致磨粒不易切入工件,反而使加工量减少,加工效率降低。珩磨速度和珩磨头转速  $V_1$  以及轴向速度  $V_2$  的关系如下:

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} = V_1 \cos(\alpha/2)$$

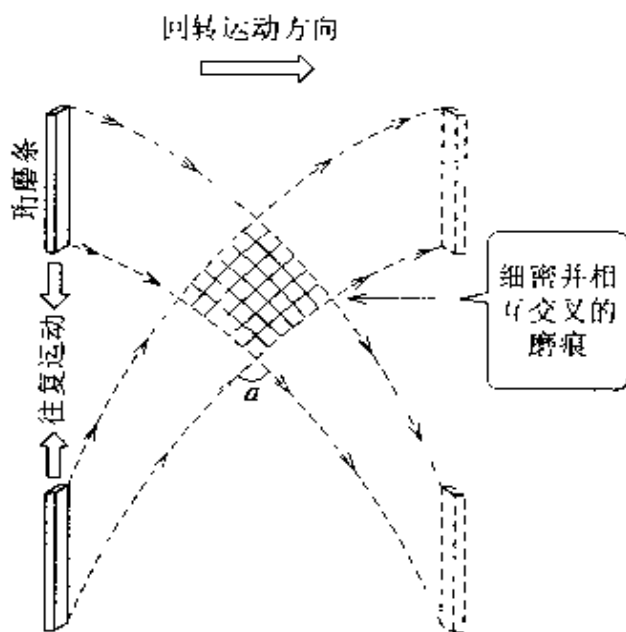


图 6.81 磨料的轨迹

### ● 超精密加工

超精密加工  
超精密加工机床

超精密加工是指对特别耐磨的零件表面,如轴或轴承环向等零件进行加工的方法,加工过程使用的机床称为超精密加工机床。

超精密加工使用粒度很小且硬度较低的磨条,以较小的压力压向旋转着的工件表面,并且在与工件回转方向垂直的方向上作高频率的振动和进给运动,故对工件表面的去除量极小,是一种镜面磨削。

超精密加工时,在磨条的振动和进给运动的共同作用下,磨料在工件表面的轨迹呈正弦曲线,如图 6.82 所示。因切削刃的方向

经常变化,所以与珩磨相比切削刃的自锐作用更强。虽然磨料的粒度小,砂轮的的压力和速度低,但加工时间短,加工表面光亮。

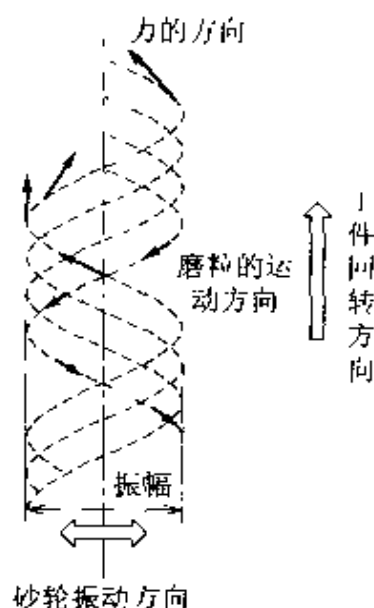


图 6.82 超精密加工时切削刃的方向

珩磨和超精密加工均要求工件的前一工序具有较高的加工精度。所以,工件必须经过精密切削加工或磨削加工后,方能进行珩磨或超精密加工。

超精密加工后的工件表面状态,与珩磨相同,也有相交的研削纹路。随着加工时间增加,磨条处于堵塞状态,得到的加工面是非常光亮的镜面。

超精密加工时,通常取工件的圆周速度为  $5 \sim 30 \text{ m/min}$ ,磨条的振幅为  $1 \sim 4 \text{ mm}$ ,磨条的振动频率为  $16 \sim 30 \text{ Hz}$ ,磨条压力为  $0.1 \sim 0.2 \text{ MPa}$ ,交叉角为  $40'' \sim 60''$ 。

## 27 抛 光

**要 点** 抛光是使用游离磨料加工工件表面的精密加工方法。抛光加工是在工件和软的金属之间放入磨料,通过磨料的滚动和刮削对工件表面进行微量加工。

**解 释** ● 抛 光

研具  
抛光

研具是用较工件材料软的金属制作的抛光工具。抛光时,在研具与工件之间加入磨料,使研具与工件产生相对运动。

抛光分为湿式抛光和干式抛光。湿式抛光是在磨料中加入加工液进行的抛光方法;干式抛光是在湿式抛光后进行的不加加工液的抛光方法。图 6.86 是抛光原理。

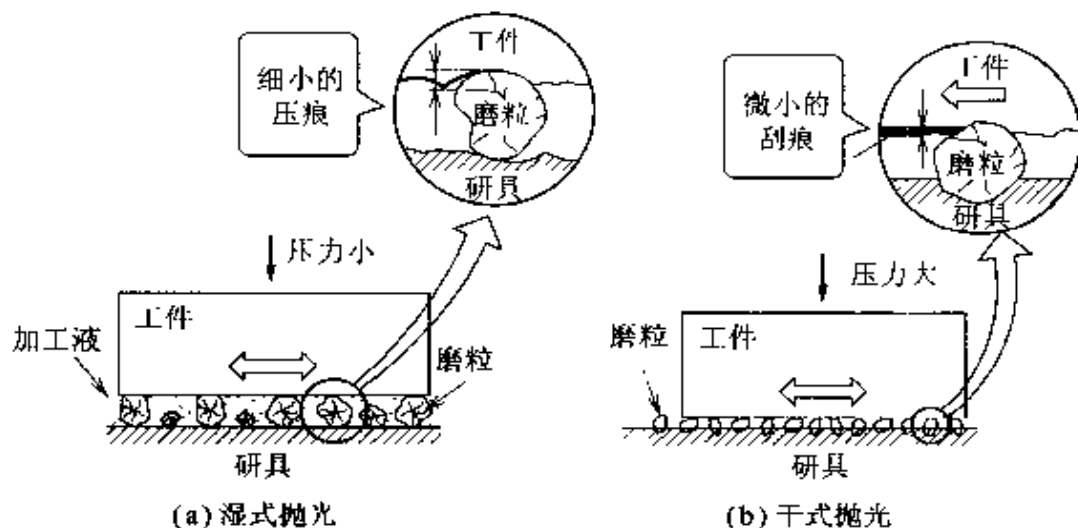


图 6.83 抛 光

湿式抛光  
滚动

湿式抛光如图 6.83(a) 所示,磨料的粒度较大,但按压力较小,主要依靠磨料的滚动使表面塑性流动,加工效率较高。湿式抛光后的加工面为亚光表面。

干式抛光  
滑动

干式抛光如图 6.83(b) 所示,使用粒度较小的磨料,但按压力较大,磨料被嵌入研具表面,磨料与工件间进行相对滑动,所以干式抛光是刮削工件表面极小一层材料的切削加工。随着加工时间增加,磨料会破碎变细,磨屑排出困难,故加工效率较低。干式抛光后的加工表面为有光泽的镜面。

抛光使用的磨料除氧化铝( $Al_2O_3$ )外,还有碳化硅( $SiC$ )、氧化

铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、碳化钨(WC)、碳化硼(BC)及金刚石等。

研具使用较工件材料软、容易嵌入磨料的材料,常用铸铁、铜合金和锡等。

研具上的压力一般为  $0.1\sim 0.2\text{MPa}$ 。

## □ 相关知识 ● 液体珩磨

液体珩磨是在加工液中混入微细的游离磨料,用这种加工液喷射工件表面的精密加工方法。

如图 6.84 所示,进行液体珩磨时,将含磨料的加工液通过循环泵搅拌加压后送入喷嘴,经过喷嘴加速喷射到工件表面。

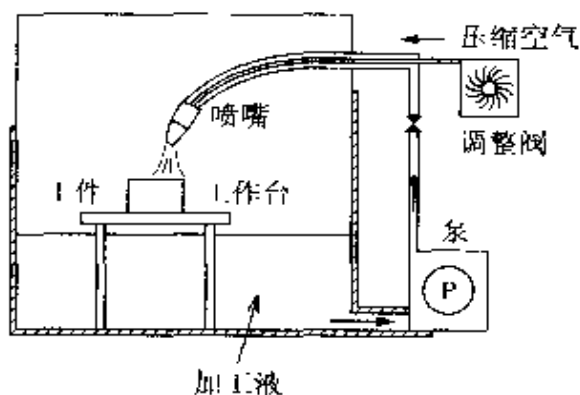


图 6.84 液体珩磨的原理

液体珩磨使用的磨料的粒度为  $60\sim 1000$  号,喷射压力约  $0.6\text{MPa}$ 。

此外,液体珩磨有硬化表面的强化效应,得到的加工面为亚光表面,可加工形状复杂的工作。

## 28 电解加工

**要 点** 电解加工是在电解液中利用电化学反应加工工件表面的方法。

**解 释** ● 电解加工

电解加工

电解加工如图 6.85 所示,将置于电解液中的工件接阳极,工具接阴极,两极之间加直流电压。工具向工件缓慢进给,利用电化学反应使工件表面连续溶解,依次进行加工。

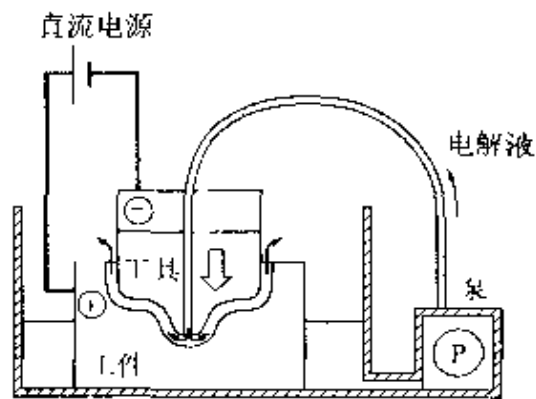


图 6.85 电解加工。

电解加工时,工件与工具之间保持一定的间隙,依靠从工具前端小孔中高速流出的电解液使工件表面发生电化学反应,电解产物则从工件表面溶解到电解液中被冲走,直至工件表面形状与工具的工作面形状相同为止。

一般使用铜来作为电解加工的工具材料,因铜的电阻率低,容易加工,而强度与耐蚀性又较好。电解加工使用的电压为几十伏,电流密度为  $2 \sim 20 \text{ A/mm}^2$ 。

电解加工的特点是工具消耗小,且加工速度快。由于利用电解反应进行加工,故不需考虑工件的硬度。电解加工通常用于加工压铸模、锻模及形状复杂的零件。

# 29 镀膜

**□ 要点** 镀膜是将金属等物质附着到工件表面的表面处理方法。其目的在于提高软质材料的表面硬度、防锈蚀、改善工件表面性质以及使工件表面光泽美观等。

**□ 解释** ● **镀膜**

镀膜可分为电镀和气相沉积。电镀是在金属零件表面覆盖另一种金属,起美观装饰以及提高耐蚀性、耐磨性和耐热性的作用。气相沉积是利用物理现象等在真空中对零件进行表面覆膜的表面处理方法。

● **电镀**

电镀时,先将工件作为阴极浸入含有镀膜金属离子的溶液中,加直流电压后,镀膜金属离子在工件表面析出,形成金属镀层。

图 6.86 是镀铜的原理图。将待镀膜的钢板和铜板浸入硫酸铜的电镀液中,钢板接阴极,铜板接阳极。在两极之间施加直流电压后,硫酸铜溶液中的铜离子向阴极移动,在阴极还原成金属铜附着在钢板上。另一方面,电离后的硫酸根离子与阳极的铜板发生反应,使铜板表面轻微溶解,形成新的铜离子,不断被送到阴极。这一过程的化学表达式为

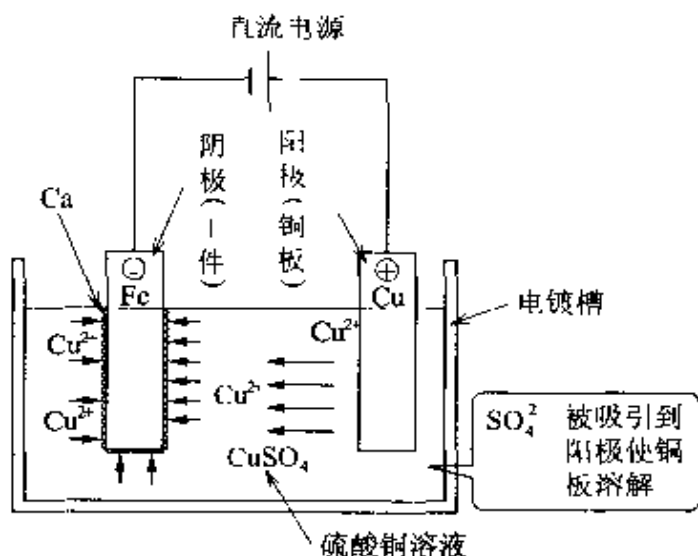
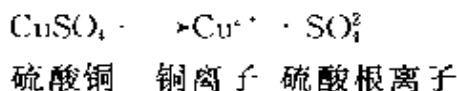
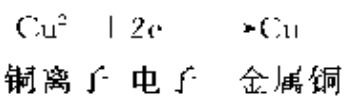


图 6.86 镀铜的原理



● 气相沉积

气相沉积是利用物理现象或化学过程在工件表面形成镀膜的方法。气相沉积可以在陶瓷、塑料等非导电材料的表面镀膜,其原理见图 6.87。

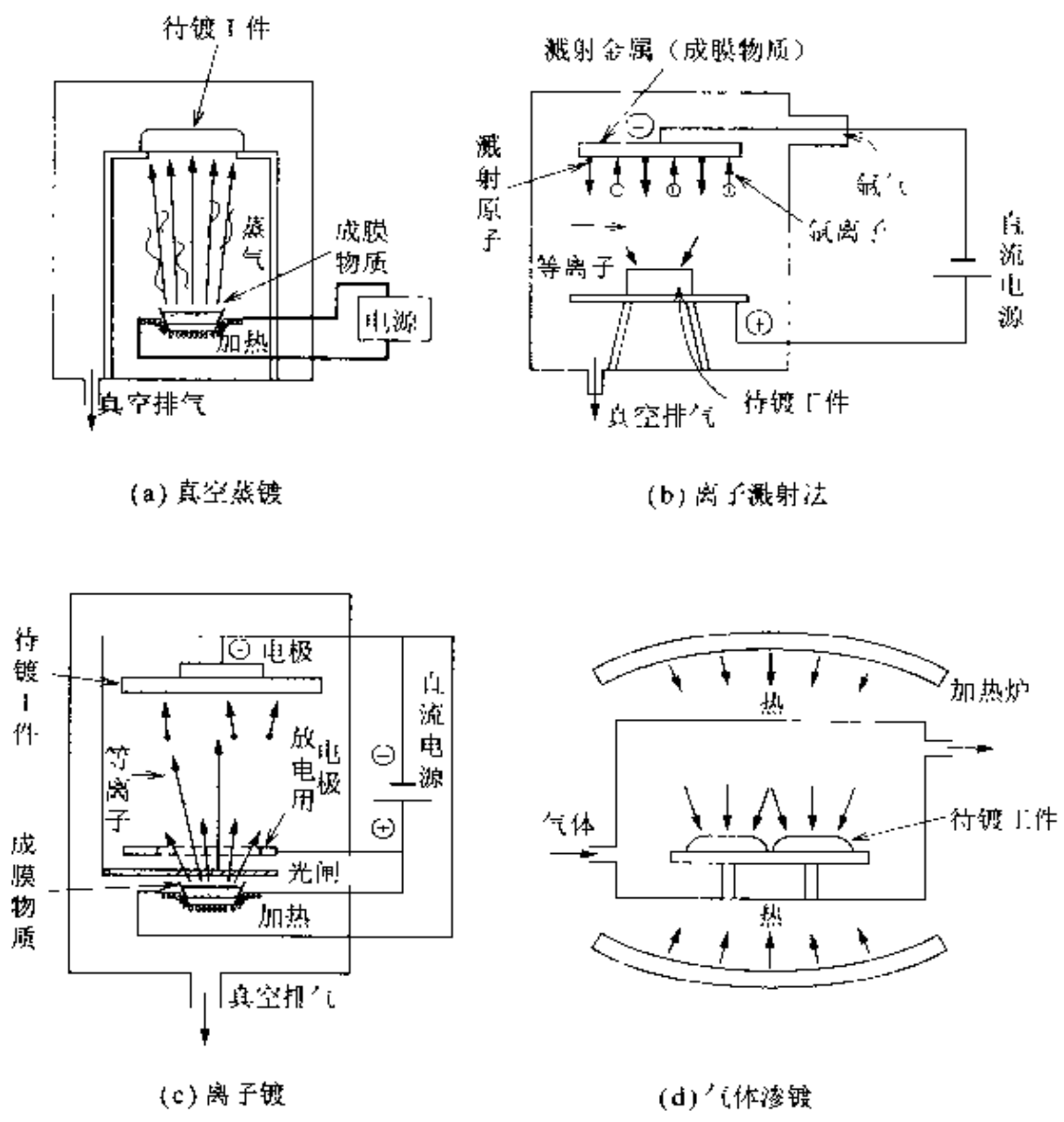


图 6.87 气相沉积的原理

属于气相沉积的方法有真空蒸镀法、离子溅射法、离子镀和气体渗镀等,一般用于镀眼镜架、玻璃及木材等非金属材料。

**真空蒸镀**

**真空蒸镀** 图 6.87(a)是真空蒸镀的原理图。将工件置于真空反应室中,再将成膜物质加热蒸发,使其蒸气附着到工件表面即可形成镀膜。

**离子溅射法**

**离子溅射法** 如图 6.90(b)所示,在充满氩气的反应室中分别放置待镀工件和成膜物质,以待镀工件为阳极,成膜物质为阴极,施加电压产生等离子。等离子层使氩离子加速并撞击成膜物质产生溅射原子,从而在工件表面沉积形成镀膜。

产生等离子需要几千伏的电压,反应室的压力为  $1\sim 0.01\text{Pa}$ 。

**离子镀**

**离子镀** 所谓离子镀是使成膜物质蒸发,在被溅射的阴极工件上形成镀膜的方法,是真空蒸镀与离子溅射法的综合。

图 6.90(c)是离子镀的原理图。在  $1\text{Pa}$  压力的反应室内,利用弧光放电使工件周围形成等离子层,同时使成膜物质蒸发。成膜物质的蒸气在穿过等离子层时被离子化,轰击阳极的工件表面并沉积成为镀膜。

用离子镀可以形成金属、非金属等多种物质的镀膜。由于镀膜是在高温下形成的,所以镀层的附着强度高、表面光洁。

**气体渗镀**

**气体渗镀** 将含有成膜元素的气体在高温下加热,送到待镀的工件表面,高温下发生化学反应,在工件表面形成沉积层的方法称为气体渗镀。图 6.87(d)所示为气体渗镀原理图。

气体渗镀可以将金属、非金属等多种物质作为成膜材料,每分钟可以形成从几微米到几百微米的镀层厚度,应用范围极广。但由于沉积是在高温下进行的,故不能用于塑料镀膜。



## 30 阳极氧化处理

**要 点** 阳极氧化处理是在金属零件表面形成氧化膜层的表面处理方法。在电解液中,将金属作为阳极,通电后,在阳极表面上会析出氧原子并与金属反应,使金属表面上形成氧化膜层。

**解 释** ● 阳极氧化处理

图 6.88 为阳极氧化处理的原理图。在电解液中,将准备处理的铝件作为阳极,施加电压后铝件表面就形成氧化膜层。

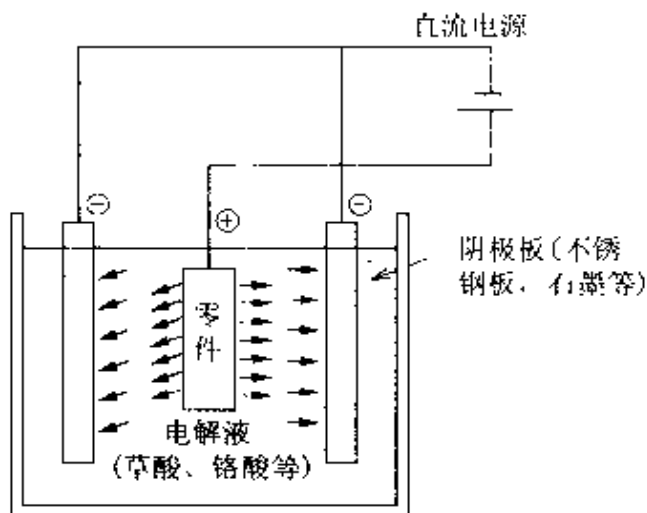


图 6.88 阳极氧化处理

通常阳极氧化膜比较厚有防护作用,而电容用的阳极氧化膜尽管较薄但是致密,也有防护作用。

### ● 铝的阳极氧化处理

铝的阳极氧化工艺流程为:除油处理,电解研磨,水清洗,在电解槽中进行阳极氧化处理。普通阳极氧化电解液多采用百分之几的磷酸、铬酸及草酸等。

铝的纯度越高,经过阳极氧化处理后的氧化膜越光亮;反之,铝的纯度越低就越没有光泽。

阳极氧化处理时,电解液的温度和酸性低、电流密度高会导致形成硬的氧化膜硬膜阳极氧化处理可提高铝的耐磨性。处理时,电解液的温度要低于  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,并增加电流密度,以保证氧化膜在短时间内形成。经硬膜氧化后,氧化膜厚度大于  $50\mu\text{m}$ ,氧化膜的维

氏硬度为 400~500,耐磨性能较好。

铝的氧化膜是由致密而薄的无孔层和一定厚度的多孔层组成。

无孔层具有良好的电气性能,电容率高,绝缘性好,适用于电容器。

铝箔的阳极氧化处理也使用没有糊状电解液的纸张与铝箔一起卷成卷,铝箔接阳极,电解液为阴极,施加电压后形成氧化膜。用于制作电解电容。

着色是指利用多孔层的孔隙吸附染料。为防止着色染料溶出,要用高压蒸汽或沸腾水作封闭处理。经过着色、封闭处理的铝合金,不但外观漂亮、色彩丰富,还具有良好的耐蚀性和防污性。

经阳极氧化处理而形成的氧化膜一般是透明的。如有金属化合物析出,呈白浊化。当氧化膜中含有合金元素形成的氧化物时,就会呈现出各种金属所特有的色泽。

### ● 镁的阳极氧化处理

镁的阳极氧化处理的主要目的是提高耐蚀性。氧化膜的色泽也会因电解液的种类、处理方法不同而呈现出不同的颜色。

在镁合金的阳极氧化处理前,工件要浸入氢氟酸溶液,进行表面活性化处理。电解液的主要成分是重铬酸钠和硫酸铵。氧化膜的色泽为褐色或黑色,不过,因电解液的不同也会呈淡灰色、淡黄色和绿色。

## 31 涂 装

### 要 点

涂装是以适当的工艺手段使涂料在产品表面形成保护层的工艺过程。涂装的主要目的是防止零件表面腐蚀和用作装饰。涂装前,先要进行预处理,清除零件表面的油污,然后按涂底层、中间层及面层的顺序进行涂装。

### 解 释

刷涂  
浸涂  
喷涂  
静电涂装

#### ● 涂装方法

涂装方法有使用蘸有涂料的刷子涂刷零件表面的刷涂;将零件浸入涂料中的浸涂;将涂料以雾状喷向工件表面的喷涂;以及静电涂装和电泳涂装等。

**静电涂装**如图 6.89 所示。工件为阳极,喷涂装置为阴极,加高压直流电压使涂料带电并雾化成微粒。由于静电的吸附作用,涂料被吸附在阳极的工件表面形成涂层。

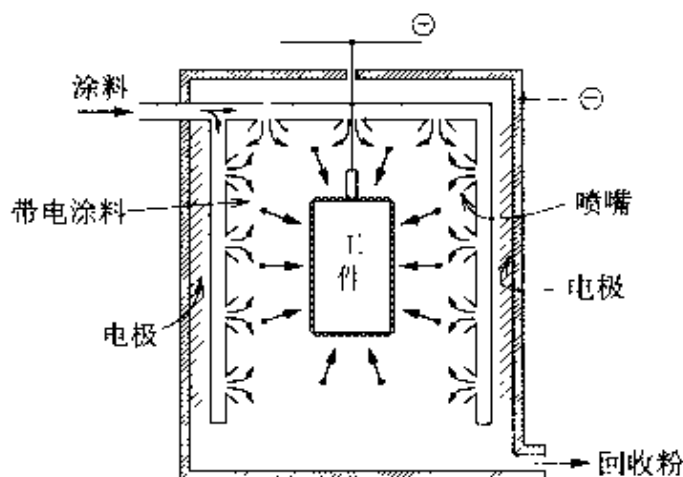


图 6.89 静电涂装的原理

#### 电泳涂装

**电泳涂装**如图 6.90 所示,在电泳槽中放入浓度较低的水溶性涂料,工件接阴极。在直流电场的作用下,槽内的涂料离子化,并被吸附到阴极的工件表面。电泳涂装,涂料的附着力强,即使是很窄的缝隙也能成膜,抗腐蚀效果佳。常用作自行车的车架等零件的底涂。

#### ● 涂料的种类

涂料

涂料由成膜物质、颜料和溶剂组成。

成膜物质

按成膜物质可将涂料分为油性涂料、水性涂料、纤维素涂料和

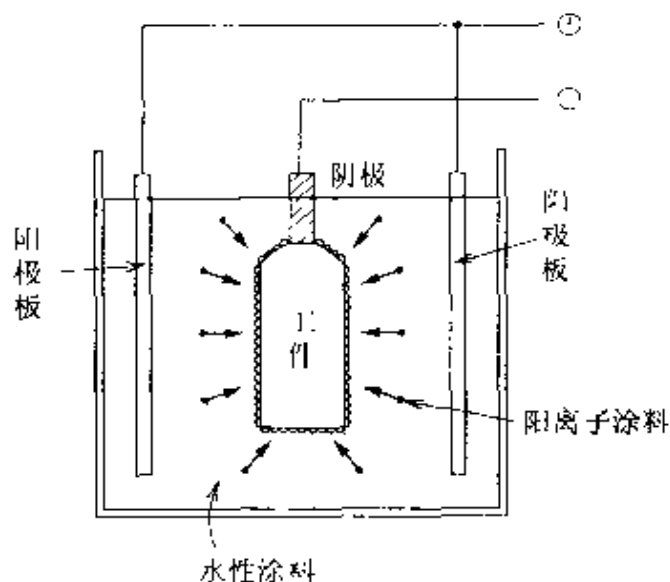


图 6.90 电泳涂装的原理

合成树脂涂料等。表 6.10 是成膜物质的种类。

表 6.10 成膜物质的种类

涂 料	涂 层
油性涂料	油漆 清漆
水性涂料	乳胶漆 乳化涂料
纤维素的衍生物涂料	硝化纤维素 纤维素涂料
合成树脂涂料	醋酸乙烯树脂 酚醛树脂 脲醛树脂

**溶剂** 溶剂是能将成膜物质溶解,有一定黏度的液体。通常,溶剂中只含有成膜物质的涂料为透明涂料。

**颜料** 颜料可使涂料具有各种色彩,并分为无机颜料和有机颜料,见表 6.11。

表 6.11 无机颜料

白色颜料:	钛白粉
红色颜料:	氧化铁
绿色颜料:	氧化铬
黄色颜料:	硫化镉
黑色颜料:	石墨



## 第7章

# 测量技术

为了提高被加工机械的性能，其结构和零件的设计尺寸、形状及质量必须得到保证。无论采用怎样的设计和制造过程，都需要通过测量来检验零件的尺寸和形状。

本章将通过列举有代表性的测量工具及其使用方法，来学习有关测量的基础知识。在此，我们尽量使用实际的测量工具，以期望读者能够学习并掌握测量的方法。

- 责任编委  
山下省藏
- 执 笔  
丰田善敬

# 1 刻度尺测量

## □ 要点

刻度尺(scale, 钢板尺)常用于直接测量工件的长度,或者用于在加工过程给出作为目标的尺寸测量。利用外卡钳和内卡钳组合起来可以测量工件的外径和内径尺寸。此外,在划线作业中,还可以使用刻度尺确定划针或单边卡钳划线时的尺寸。

## □ 解释 ● 规格

刻度尺由矩形不锈钢制成,是利用两边刻有线文的刻度侧面作为基点的钢制直尺。长度有150mm,300mm,600mm,1000mm,1500mm或2000mm,分度值常常以0.5mm和1.0mm并用。图7.1给出了刻度尺各部分的名称。

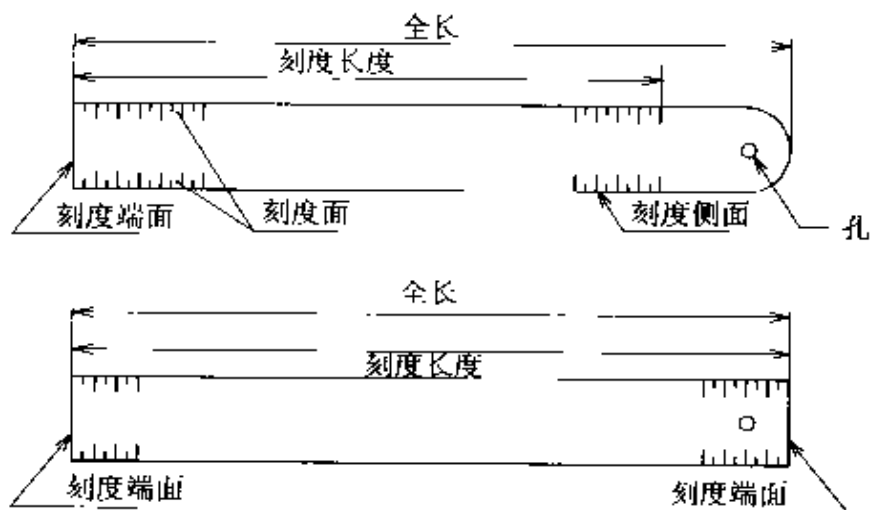


图 7.1 刻度尺各部分的名称

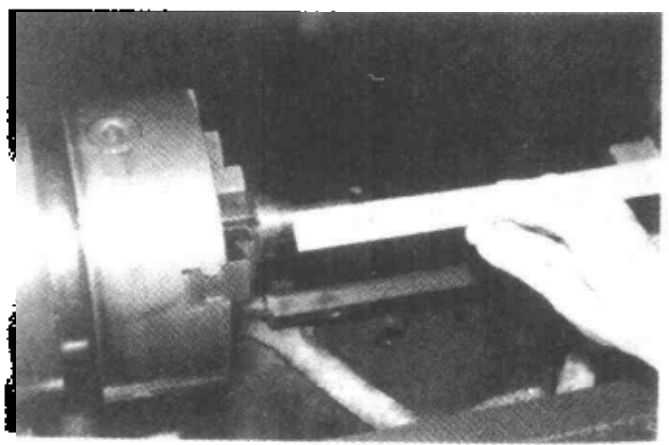


图 7.2 阶梯的测量

● 测量示例

- ① 阶梯的测量(参见图 7.2);
- ② 刻度尺的种类(参见图 7.3);
- ③ 刻度尺的刻度线(参见图 7.4);
- ④ 确定划针尺寸(参见图 7.5)。

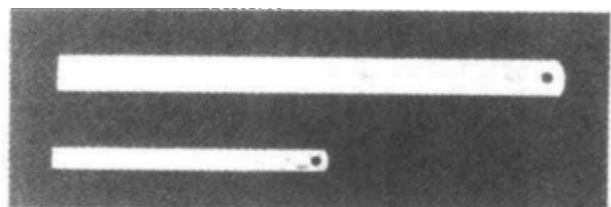


图 7.3 刻度尺的种类

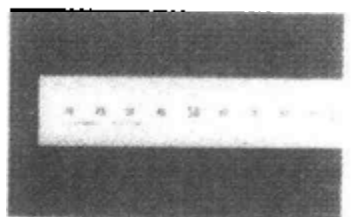


图 7.4 刻度尺的刻度线

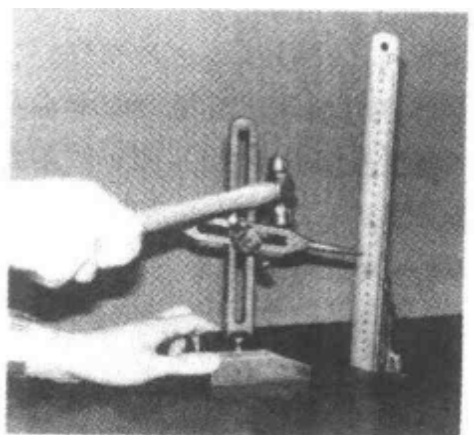


图 7.5 确定划针尺寸

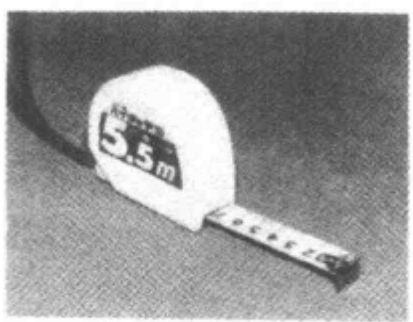


图 7.6 盒式卷尺

□ 相关知识 ● 钢卷尺

通常使用的钢板尺是 300mm 的刻度尺。不便于使用钢板尺进行测量时可使用钢卷尺。



钢卷尺的公称尺寸规格为 0.5~200mm,可根据用途灵活使用。不过,因使用卷尺测量时需要给予拉力,应注意不要影响测量精度。

#### 盒式卷尺

图 7.6 所示的盒式卷尺为 0.5~10m 的袖珍型卷尺,垂直性较好。这种卷尺是具有一定弹性的整条钢带,其剖面呈直线状。通常在钢材等材料的测量时使用卷尺

## 2 卡钳测量

### □ 要 点

根据使用目的不同,卡钳(calipers)有外卡钳、内卡钳及单边卡钳品种,它们往往与各种钢板尺配合使用。外卡钳用于测量圆柱形工件的外径,而内卡钳则用于测量内径。利用单边卡钳可在工件上划出用于加工的大体尺寸的划线。

### □ 解 释 ● 卡钳的使用方法

利用卡钳进行测量时,要将卡钳与被测工件的边缘轻轻地接触,使手稍有受阻碍的感觉即可进行测量。

在车床加工过程中测量工件时,要将机床停下才可进行测量。对于外卡钳或单边卡钳,应预先确定好卡钳的目标尺寸。随着加工过程的进行,反复进行测量直到满足加工尺寸要求。不过,对精切削的测量应采用游标卡尺或千分尺。

#### ● 确定卡钳尺寸

用钢板尺确定卡钳尺寸时,可用车床的套筒扳手等将卡钳轻轻敲开,然后将尺放入其中,再从卡钳的外部轻轻敲打它,使其闭合到所要测定的尺寸。不过,这种敲打手法是因人而异的,为了能够进行细微的尺寸调整,必需有自己的习惯。

① 用钢直尺确定外卡钳尺寸(参见图 7.7);

② 用钢直尺确定单边卡钳尺寸(参见图 7.8)。

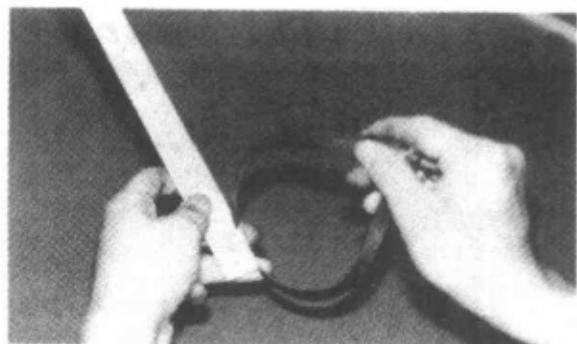


图 7.7 确定外卡钳尺寸



图 7.8 确定单边卡钳尺寸

### ● 测量示例

#### 外卡钳

外卡钳(参见图 7.9) 将卡钳两脚的顶端沿工件的轴向轻轻地与其接触,因卡钳自身的重量,在测量时会有轻微的接触感。根据卡钳的测量结果,若工件还没有达到加工的目标尺寸,则可以判断出切削的余量。

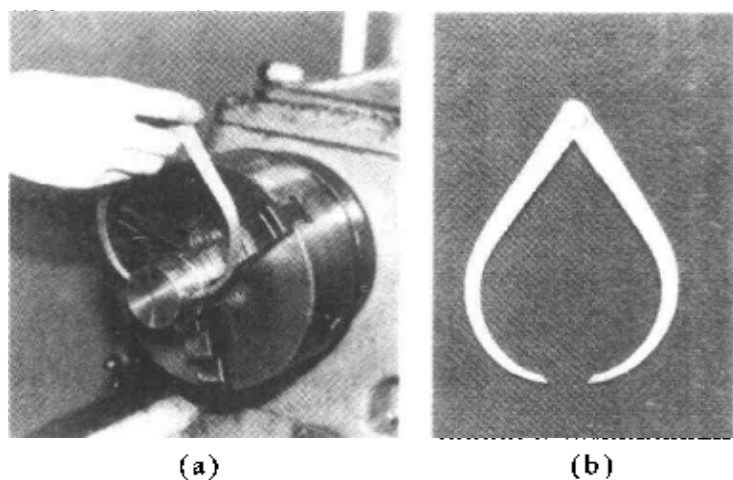


图 7.9 外卡钳

#### 内卡钳

内卡钳(参见图 7.10) 将内卡钳沿孔的轴向滑动,确认接触,以寻找最小尺寸;沿孔的直径方向滑动,确认接触,以寻找最大尺寸。若卡钳容易通过,表明已比目标尺寸切削过量。

#### 单边卡钳

单边卡钳(参见图 7.11) 一般在钣金加工或车床加工等的划线作业中使用较频繁。特别是在车床的切台阶、切槽或切断等的加工作业时,要使用单边卡钳划出切削标记。

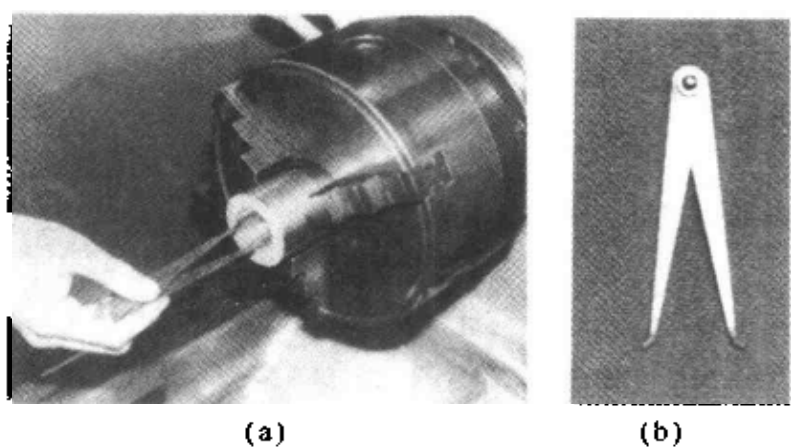


图 7.10 内卡钳

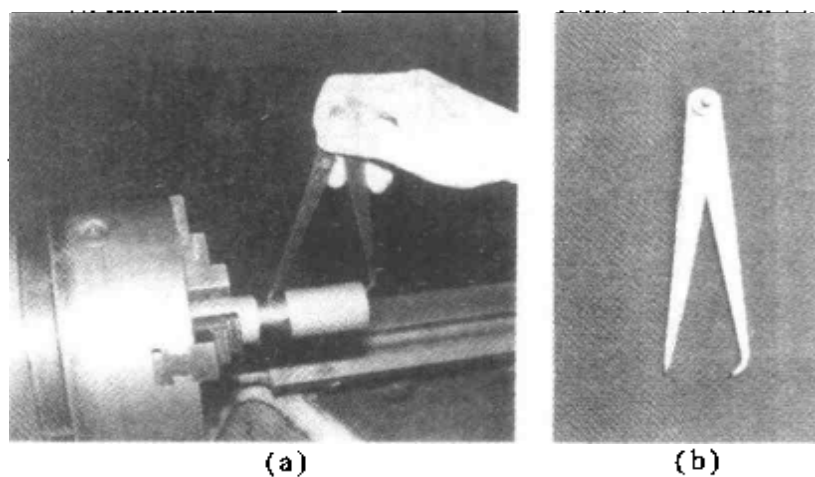


图 7.11 单边卡钳

- 相关知识 ● 用刻度尺以外的测量器具读出内卡钳的尺寸  
通常,可以利用刻度尺读出内卡钳的尺寸,而利用游标卡尺或千分尺可以实现更高精度的内径测量。

### 3 游标卡尺的使用方法

#### □ 要 点

游标卡尺(vernier calipers)是集刻度尺和卡钳为一体的测量工具。利用游标卡尺可以进行工件的外径、内径、阶梯差及深度等各种测量,即使被测尺寸不足1mm也可以容易地测量出来。

在生产现场,要求对工件的测量精度为 $1/20\text{mm}$ 或 $1/50\text{mm}$ 时,经常使用游标卡尺。

#### □ 解 释 ● 种 类

游标卡尺包括M型、CM型以及没有微调型式的卡尺。从读取测量值的方式看,有采用指针的针盘式游标卡尺和采用数字计数器的数字式游标卡尺。

针盘式游标卡尺

数字式游标卡尺

深度游标卡尺

① M型游标卡尺 具有外侧用钳及单独内侧用钳的结构,最大测量长度在300mm以内时,另有测量深度用的深度游标卡尺。

② CM型游标卡尺 用同一个钳可测量外侧面及内侧面的卡尺。

#### ● 最大测量长度

原则上,游标卡尺的最大测量长度有如下5种,即150mm、200mm、300mm、600mm及1000mm,在M型具有微调装置的游标卡尺中可测量的长度为130mm、180mm、280mm、600mm及1000mm几种。

#### ● 游标卡尺的各部分名称(M型游标卡尺,参见图7.12)

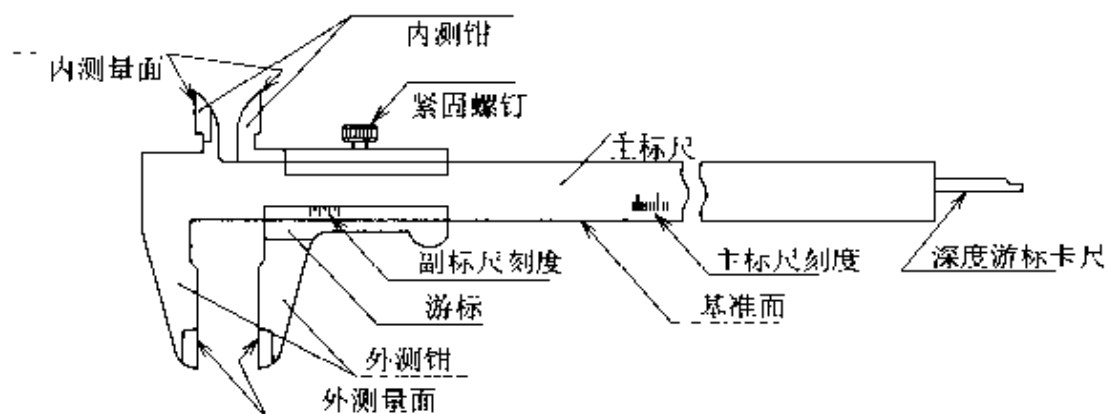


图 7.12 游标卡尺各部分的名称

#### ● 结 构

以下仅就使用最为广泛的M型游标卡尺进行说明。

钳

利用内侧钳爪可以测量工件的内径,利用外侧钳爪,可以测量工件的外径(此时用钳内侧)和内径(此时用钳外侧),而利用深度尺可以测量深度。如果能够仔细调整使用方法,也可以方便地进行阶梯差的测量。

主标尺

副标尺

在测量不足 1mm 的尺寸时,可沿着游标卡尺的主标尺(scale)滑动游标,使标有刻度的副标尺(vernier)和主标尺刻度对齐,即可以读取尺寸。

### ● 刻度的读数方法

通常,副标尺采用将主标尺的  $n - 1$  刻度分为  $n$  等份的刻度。在 JIS 中规定了刻度方法,如表 7.1 所示。

表 7.1 刻度方法

主尺刻度值/mm	副尺的刻度方法	最小读数值/mm
1	将 9mm 十等份	0.1
	将 19mm 十等份	
	将 19mm 二十等份	0.05
	将 39mm 二十等份	
	将 49mm 五十等份	

### ● 将 19mm 二十等份

在图 7.13 中,主标尺为每 1mm 一个刻度,副标尺的刻度为主标尺的 19mm 的二十等份,可以测量的最小读数是  $1/20\text{mm} = 0.05\text{mm}$ 。即

$$1\text{mm} - \frac{19}{20}\text{mm} = \frac{1}{20}\text{mm} = 0.05\text{mm}$$

(1.45 mm 读数例子)

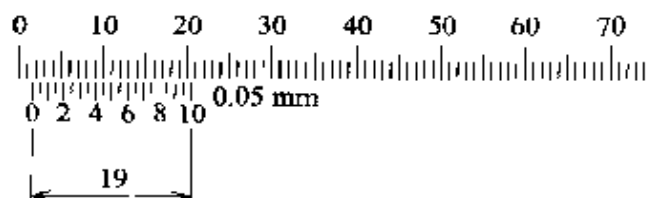


图 7.13 将 19mm 20 等份

### ● 测量示例(参见图 7.14)

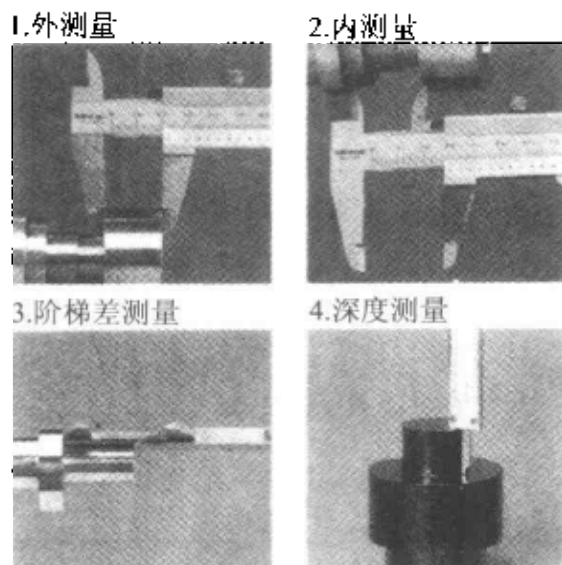


图 7.14 使用游标卡尺测量的例子  
(摘自:三豊総合カタログ)

### □ 相关知识 ● 深度游标卡尺

深度游标卡尺是指将游标卡尺的深度尺作为深度测量部分,进而测量孔或槽的深度以及平面上的突出部分的高度及阶梯差等,构成了专用的深度测量工具。

### ● 高度游标卡尺

高度游标卡尺是将游标卡尺和指针一体化的结构,主要用于测量高度(垂直方向),同时也可用在需要划出加工的大体尺寸的标记作业中。

### ● 带有指针的游标卡尺(参见图 7.15)

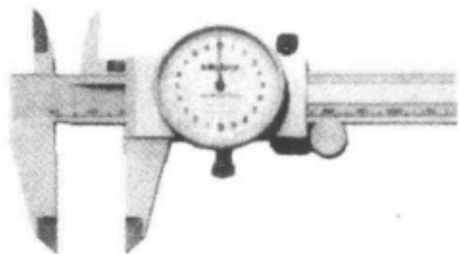


图 7.15 带有指针的游标卡尺  
(摘自:三豊総合カタログ)



图 7.16 数字式游标卡尺  
(摘自:三豊総合カタログ)

● 数字式游标卡尺(参见图 7.16)

■ 研究课题 游标卡尺的由来

发明游标尺刻度的是葡萄牙人 Nonius, 利用这种刻度法构成的现今使用的结构, 并能够精密读数的游标卡尺的却是(法国)。游标卡尺也有其他叫法, 例如, 在英、美叫作游标尺卡钳, 在德国叫作卡尺, 而在日本叫作游标卡尺等

■ 例 题

试读出图 7.17 中的刻度数。

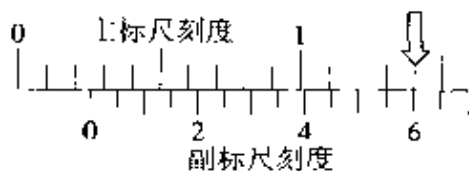


图 7.17



## 4 千分尺的结构及使用方法

**□ 要点** 千分尺(micrometer)是以精密加工螺纹的进给量为基准的长度测量工具,测量精度大约比游标卡尺高一个数量级。依据测量用途的不同,千分尺也有很多种类。

**□ 解释** ● 种类

外径千分尺  
内径千分尺  
深度千分尺  
螺纹千分尺  
齿厚千分尺  
数字计数器  
数字式千分尺

一般将使用测微头进行长度测量的仪器称为千分尺。针对不同的测量目的要选择不同的千分尺:测量外径时使用外径千分尺,测量内径时使用内径千分尺,测量深度时使用深度千分尺,测量螺纹的有效直径(中径和齿顶圆直径)时使用螺纹千分尺,而测量齿轮的齿厚要使用齿厚千分尺等等。另外,利用数字计数器来读出各种测量值读数的千分尺称为数字式千分尺。

● 最大测量长度和测量范围

外径千分尺的最大测量长度为 500mm,而测量范围规定有如下 31 种:0~15mm, 0~25mm, 25~50mm, …, 475~500mm, 以及 0~50mm, 50~100mm, …, 450~500mm。

● 千分尺各部分的名称(外径千分尺,参见图 7.18)

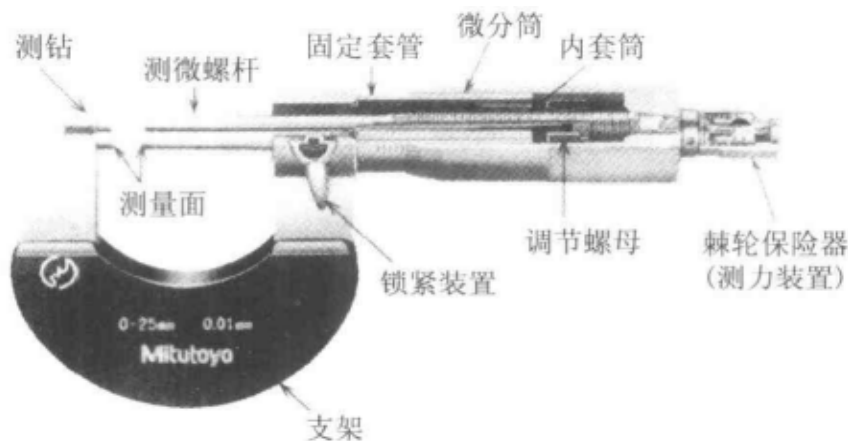


图 7.18 千分尺各部分的名称

● 结构

以下就使用最广泛的外径千分尺(分度值 0.01mm,测微螺杆螺距 0.5mm,测量值范围 0~25mm)进行说明。

将外螺纹拧在内螺纹上,固定内螺纹。旋转外螺纹使其前后

移动,此即千分尺的测量原理。

测钻  
测微螺杆  
棘轮保险器

在测量长度时,将被测工件夹在测钻和测微螺杆之间,拧紧测微螺杆即可测量。为了不使因测量力而产生测量误差,设置了棘轮保险器或摩擦限动装置。

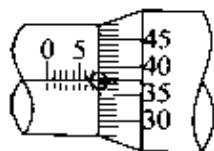
### ● 刻度的读数方法

固定套管刻度  
微分筒刻度

一般千分尺的刻度有固定套管刻度和微分筒刻度。固定在套管上的刻度是间隔 1mm,在基准线上面以 1mm 为单位刻度,而基准线下则附有中间刻度(表示 0.5mm 的刻度)。测微螺杆螺距为 0.5mm,微分筒旋转一周时,其移动距离为 0.5mm。所以,在读微分筒的刻度时,要加上中间刻度的 0.5mm(参见图 7.19)。

微分筒上的刻度是将其圆周 50 等分并标以 0~50 的刻度,1 刻度的值为 0.01mm。

·标准刻度的情况(刻度值 0.01 mm)



固定套管读数 7. mm

微分筒的读数 1.37 mm

千分尺的读数 7.37 mm

通常,如上图分度值读数到 0.01 mm,而下图分度分量值也可以读数到 0.001 mm。

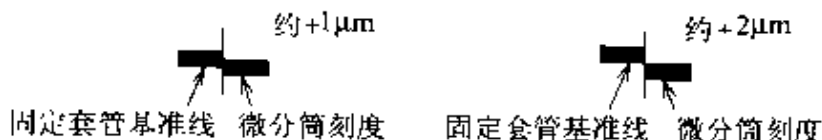


图 7.19 刻度的读数方法

### ● 测量示例(参见图 7.20)

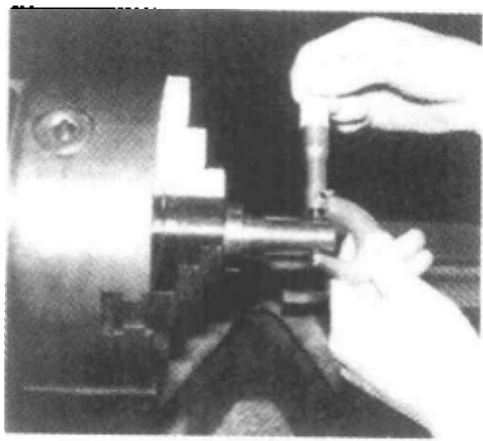


图 7.20 利用千分尺测量的例子

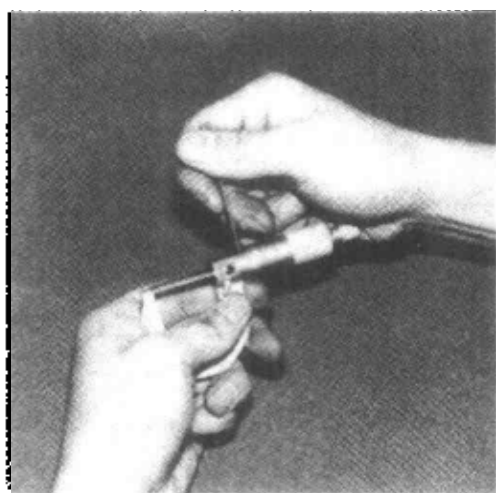


图 7.21 零位调整

### ● 零位调整

为了能够准确地测量,在使用千分尺测量前,必须进行零位调整(参见图 7.21),也称为“对零位”。所谓对零位就是将测钻和测微螺杆靠紧,以确认固定套管刻度的基准线与微分筒的 0 刻度是否吻合。在有偏离时要将二者调整一致。

## □ 相关知识 ● 千分尺的定期检定

对测量使用的千分尺要进行定期的精度检定,根据需要进行修理等,以确保千分尺的精度。根据检定结果,不符合规定精度的千分尺不能使用。

在性能检定时,有关测量面的平面度、测量面的平行度、仪表误差、测微螺杆进给的误差、测量力、测量力的波动度及支架松弛等都有规定标准。

### ● 数字式外径千分尺(参见图 7.22)

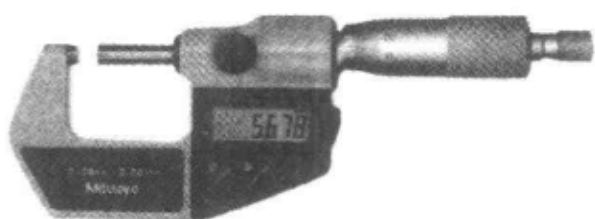


图 7.22 数字式千分尺  
(摘自:三豊総合カタログ)

## 研究课题：千分尺的发明

使用螺纹来测量物体长度的测量工具是由盖革米勒·瓦特在1819年发明的。随后，在1818年，由法国帕马制造出了与现在的千分尺相近的测量工具，而真正作为商品出售是由美国的布郎夏普公司在1867年开始的。

## 例题

试读出图7.23中的刻度。

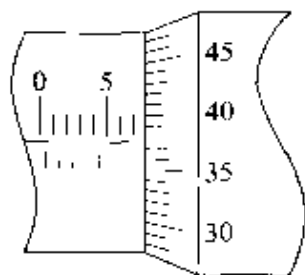


图 7.23

## 5 千分表的结构和使用方法

**要 点** 千分表(dial gage)是一种带有可上、下移动的测量头的量杆,通过齿轮-齿条传动机构,将量杆的直线位移转变为指针角位移,再通过此长指针将量杆位移量用圆形的刻度盘读数读出的测量仪器

**解 释** ● 种 类

数字式千分表  
杠杆式千分表  
端面千分表

根据测量头的移动状态或形状可分为较常用的依赖齿轮和齿条机构构成的千分表或将测量值用数字计数器读数的数字式千分表,以及将测量头移动用杠杆扩大指针读数的杠杆式千分表。此外,还有对刻度盘量杆垂直移动的端面千分表。

● 测量范围

一般,对应千分表的最小刻度 $0.01\text{mm}$ ,长指针旋转一周,量杆移动 $1\text{mm}$ ,测量范围为 $5\text{mm}$ 和 $10\text{mm}$ 。或者,也可以对应最小刻度 $0.001\text{mm}$ ,长指针旋转一周,量杆移动 $0.2\text{mm}$ ,测量范围为 $1\text{mm}$ 、 $2\text{mm}$ 及 $5\text{mm}$ 。

● 千分表各部分的名称(分度值 $0.01\text{mm}$ ,测量范围 $10\text{mm}$ ,参见图7.24)

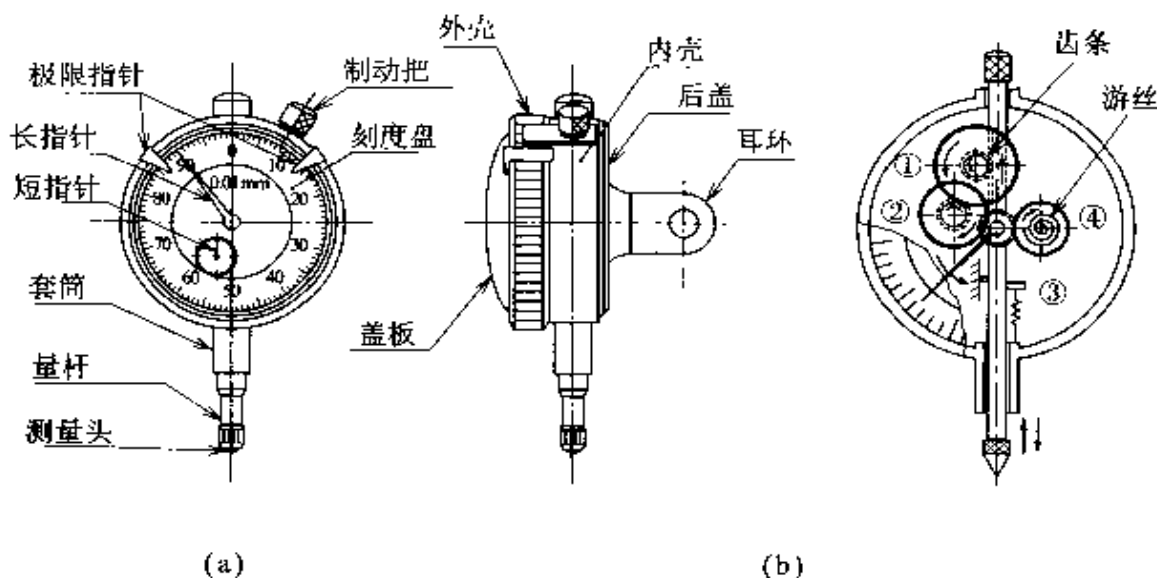


图 7.24 千分表各部分的名称  
(摘自:日本机械学会编:机械工学便覧)

### ● 结 构

下面就有关使用最多的千分表(分度值 $0.01\text{mm}$ ,测量范围 $10\text{mm}$ )进行说明。

这种表利用齿条、小齿轮及齿轮的啮合来对量杆的微小移动进行放大。在图 7.24(b)中,啮合在量杆上的齿条做上、下移动时,小齿轮①旋转,此旋转由齿轮②传送给中心小齿轮③从而使长指针移动。螺旋弹簧是实现测量的动力,由它产生的力在推出方向作用在量杆上。另外,利用导销防止量杆旋转,且在齿轮上装有游丝④以消除齿轮啮合间隙。

### ● 刻度的读数方法

分度值 $0.01\text{mm}$ ,测量范围 $10\text{mm}$ 的刻度盘的圆周被 $100$ 等分,一刻度表示 $0.01\text{mm}$ 。因此,长指针转动 $1$ 周时,其读数为 $1\text{mm}$ 。此外,短指针每刻度的指示值为 $1\text{mm}$ 。

### ● 刻度盘的调零

轻轻按下量杆,在测量头与被测工件之间施加测量力,使刻度盘旋转使长指针与刻度 $0$ 重合。就这样轻轻按下量杆 $2\sim 3$ 次,通常刻度已确实为 $0$ ,即可进行测量并读出测量值。

### ● 测量示例(参见图 7.25 和图 7.26)

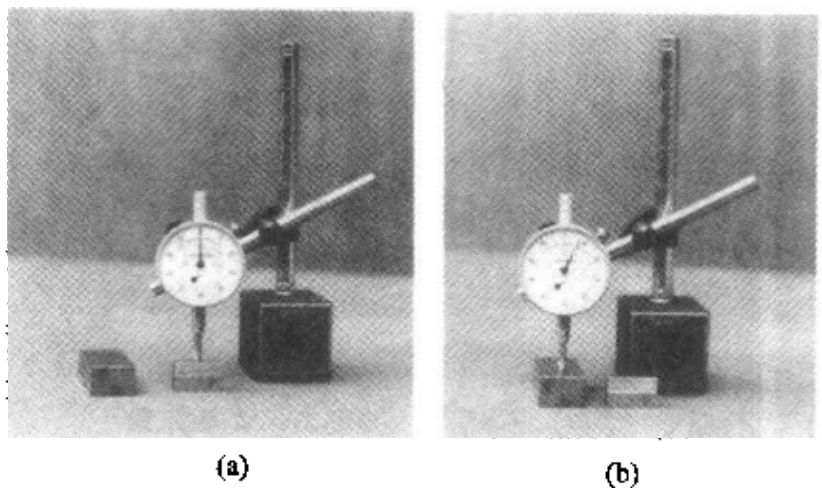


图 7.25 千分表校零及测量的示例

### 相关知识 ● 千分表的定期检定

对测量用的千分表要进行定期的精度检验或根据需要进行修理等,以确保千分表的精度。根据检验结果,不符合规定精度的千分表不能使用。

在性能检验时,有关宽量程精度、窄量程精度、窄量程相邻误

差、回程误差、重复精度以及测量力等都有规定的标准。

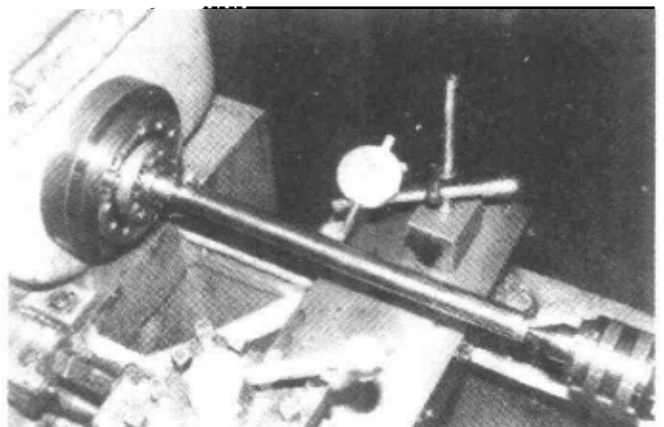
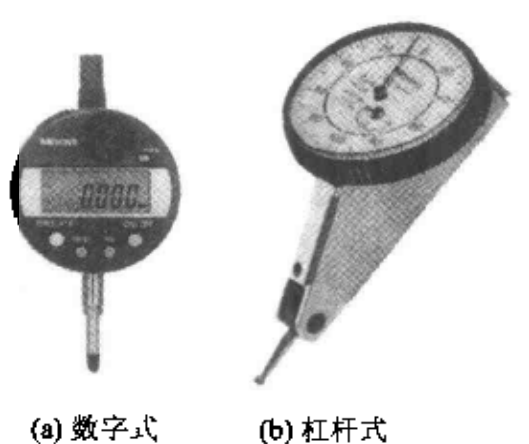


图 7.26 两中心间的找正

● 数字式千分表和杠杆式千分表(参见图 7.27)



(a) 数字式

(b) 杠杆式

图 7.27 数字式千分表  
(摘自:三豊総合カタログ)

■ 选修知识  由测量力产生的误差

若量杆的变化量较大,则在量杆走行时,回程间隙或测量的力会产生变化,由此往往产生测量误差。在要求具有较高测量精度时应予以注意。

## 6 块规的使用方法

### □ 要 点

块规(block gage)是作为长度测量标准的重要端面量具。它的长方形剖面被精制成两个平行平面。在极小的公差内,精制成和公称尺寸相等的量块。

使两个以上的块规端面靠紧,就可以形成所量目标的长度。

### □ 解 释

#### ● 规 格

块规(量块)由耐久性的材料制成,其测量面和其他的块规具有良好的靠紧性质。精度有00级、0级、1级和2级几种。标准的块规有103组(参见表7.2),利用它们的组合可以构成目标长度。

表 7.2 103 组块规

个 数	公称尺寸/mm	尺寸等级/mm
1	1.005	
19	1.01~1.49	0.01
50	0.5~25	0.5
3	50~100	25

#### ● 块规(量块)的各部分名称(参见图7.28)

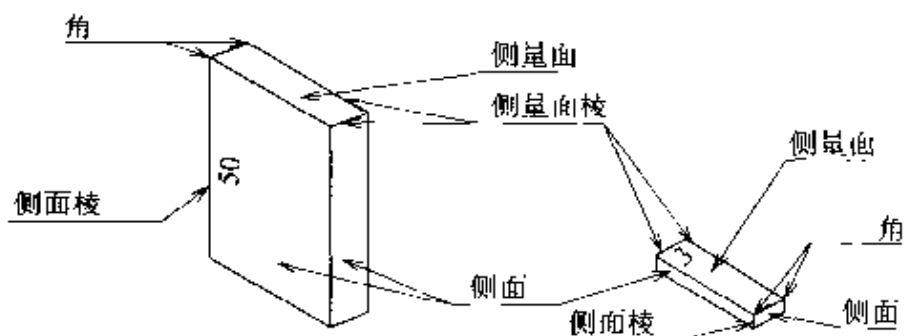


图 7.28 块规的各部分名称

#### ● 使用方法

**温度管理** 块规在20℃时可以实现准确的测量。在实际测量时,将块规和被测量工件在室温下紧密结合为一体,就可以作为长度的标准或进行精密的测量。即使是保管场所,也希望具有恒定的温度和湿度。



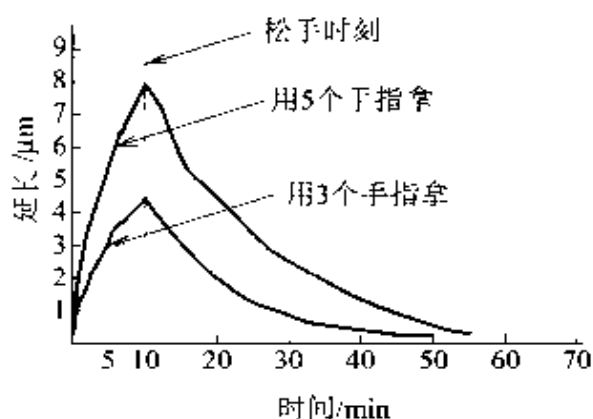


图 7.29 平均温度时间  
(摘自: 三豊総合カタログ)

### 来自手上的热量

图 7.29 给出了用手处理 100mm 钢制块规时尺寸变化的一个示例。当量块研合到有温热感时,将其横放在测量盘上,10 分钟后开始使用。

**检修** 使用块规前,要擦净防锈油及油分等,在测量面没有损伤及没有污染状态下才能使用。用完之后,要将污染仔细擦净,再涂上防锈油保管。

用完后,要将污染仔细擦净,再涂上防锈油保管。

### ● 所需尺寸的组合

制作所需尺寸组合时应充分考虑并注意以下基本原则:

- ① 组合量块个数尽可能少;
- ② 组合量块从最后位选择;
- ③ 选择整数部分的几个量块组合时,考虑到磨损,尽量不使用同一种量块。

例如,对 39.605mm 的尺寸,可以采用 1.005 · 1.1 | 25 | 12.5 的 4 个量块构成测量组合。

### ● 使用目的及等级(参见表 7.3)

表 7.3 使用目的及等级

使用目的		等级
工作用	工具刀具的安装	2
	量规的制作 测量器具类的精度调整	1 或 2
检定用	机械零件、工具等的检定	1 或 2
	测量器具类的精度调整	0 或 1
标准用	工作用量块的精度检修 检定用量块的精度检修 测量器具类的精度检修	00 或 0
参考用	标准量块的精度检修 学术研究用	00

(摘自: 三豊総合カタログ)

□ 相关知识 ● 量块的研合

量块研合时,可以采用如图 7.30 所示的二种方法制作出目标长度。

■ 选修知识 米的定义

在 1983 年的第 17 届国际度量衡会议上规定:一米为  $1/299\,792\,458$  秒的时间内,光在真空中传播的距离。

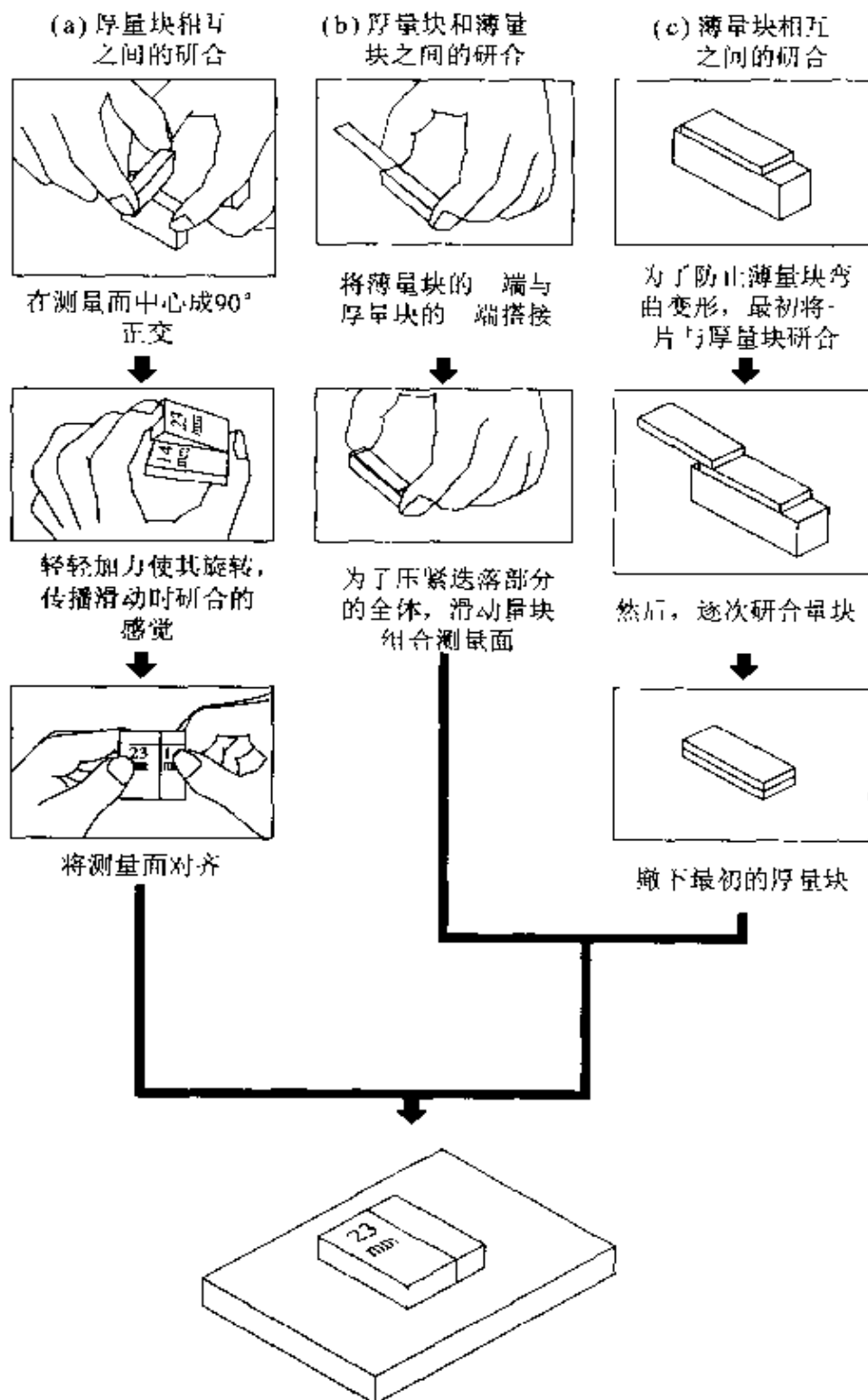


图 7.30 量块的研合(摘自:三豊総合カタログ)

## 7 间接测量工具

### □ 要 点

在长度测量工具中,有采用基准刻度进行测量的直接测量工具,如游标卡尺、千分尺等。也有一些间接测量工具,通过与其他基准相比较,利用机械、电气、空气、光学及其组合的工具将长度变化量放大而实现测量。在间接测量工具有指针测微计、比较测长仪及测微显微镜等,利用它们可测量微小的尺寸。

### □ 解 释 ● 种 类

#### 指针测微计

**指针测微计** 指针测微计(microindicator)的工作原理与度盘式指示器相同,指针的旋转范围在一周以内,分度值为 $1\mu\text{m}$ 以下。可作为高灵敏度测量目的的测量工具。

#### 微型测微仪

指针测微计有很多种类,如微型测微仪(杠杆式)、杠杆式比较仪(带杠杆和齿轮)及投影式光学比较仪等。图 7.31 所示为杠杆式比较仪。

#### 杠杆式比较仪

#### 投影式光学比

#### 较仪

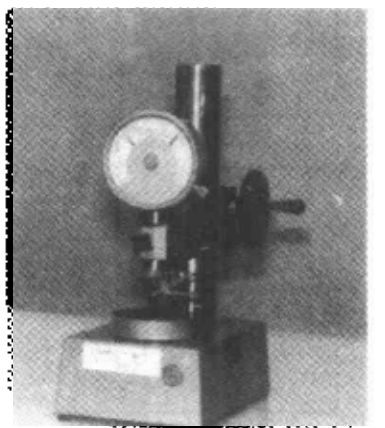


图 7.31 杠杆式比较仪

#### 比较测长仪

**比较测长仪** 比较测长仪(comparator)是将被测量工件的测量长度和其基准长度(量块等)进行比较的测量工具。

#### 电动测微仪

**电动测微仪** 是一种利用将测量头和被测工件的位移转换成电气量方法进行测量的测量工具,参见图 7.32。**气动测微仪**则利用检查在空气喷嘴和被测量面的间隙中流过的气体流量及压力的变化进行测量。

#### 气动测微仪

#### 测微显微镜

**测微显微镜** 利用测微显微镜(micrometer microscope)可视觉读出 $1\text{mm}$ 以下的长度,也可将其方便地安装在测长仪及机床上,实现对精密零件或精密工具的长度测量(参见图 7.33)。

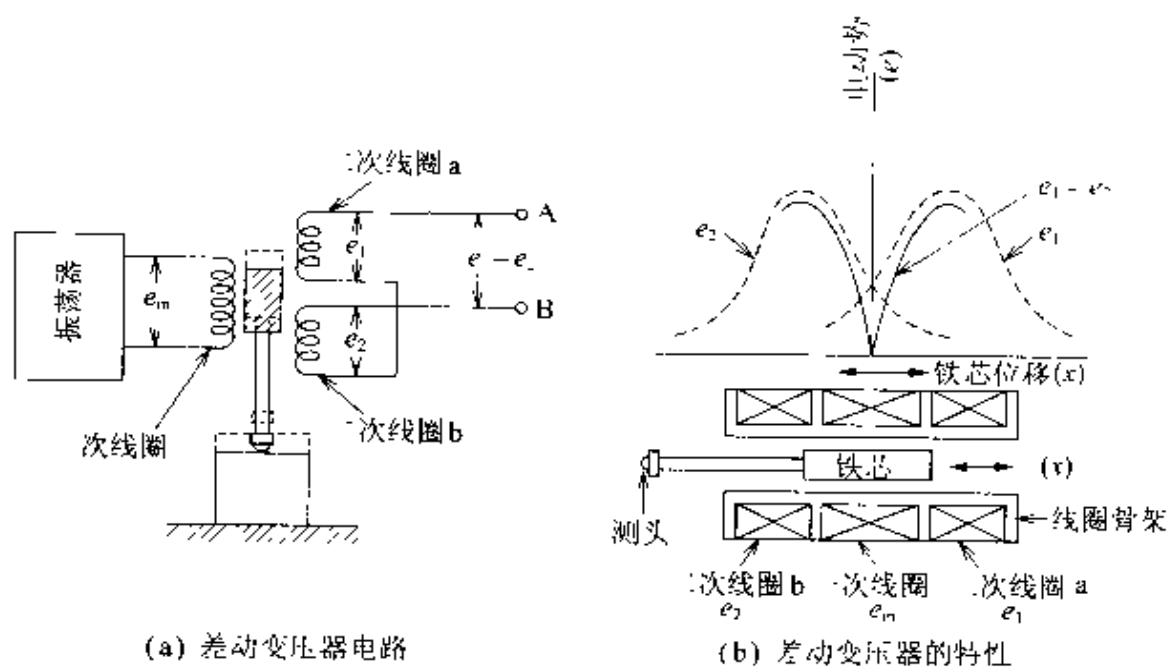


图 7.32 电动测微仪的工作原理  
(摘自:日本机械学会编:机械工学使用)

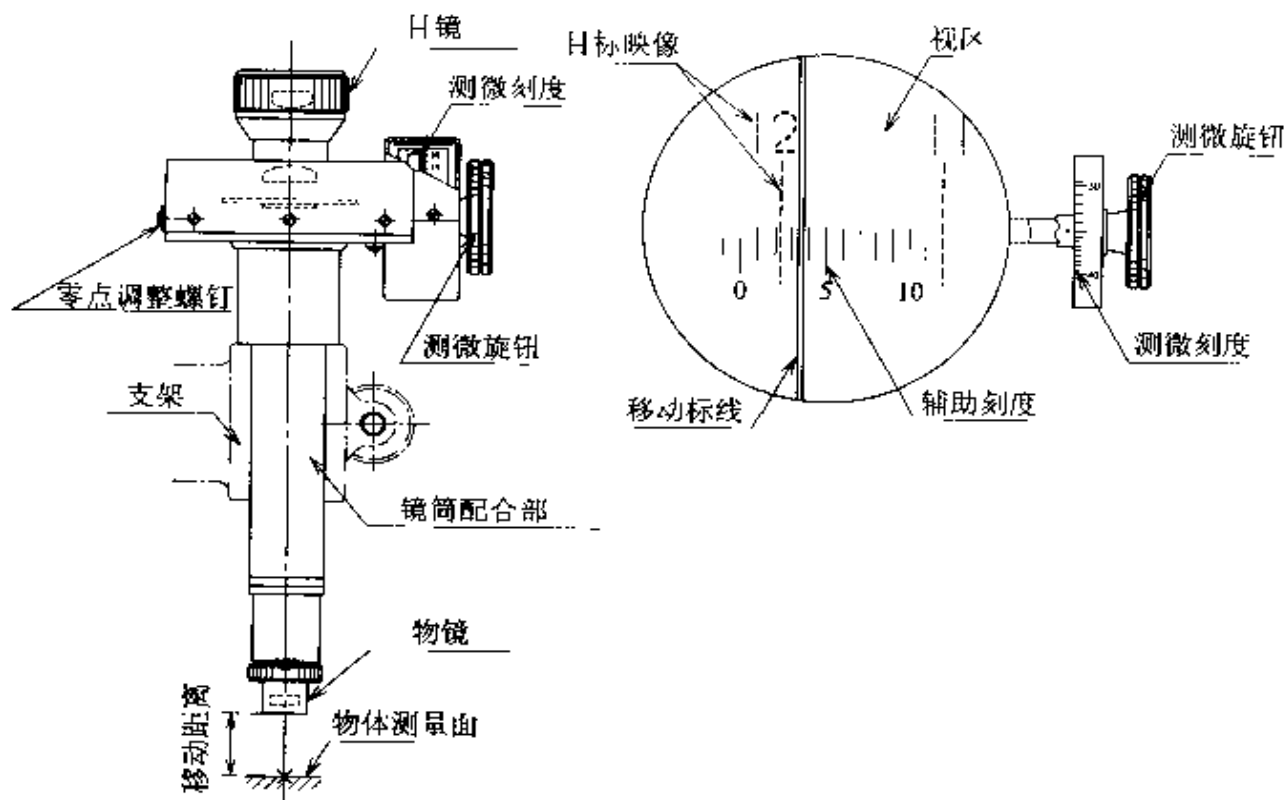


图 7.33 测微显微镜

## □ 相关知识 ● 三维测量工具

三维测量工具是指实现瞬时的三维位置测量的测量工具,利用这样的工具,可以方便地测量涡轮叶片或金属模具等复杂形状或自由曲面及孔的位置等。此外,此工具具有利用测量数据自动计算圆心坐标并进行形状绘制的功能。

## 8 测量和误差

### 要 点

无论测量工具的精度多高,当温度、湿度或测量者变化时,多少总会产生数据的偏差,包括由于数字跳动而产生的误差,只有尽可能消除这些误差,才能获得准确的测量值,这就要求必须仔细地进行测量。

### 解 释

#### ● 测 量

测量(measurement)的根本目的就是将待测量与基准量进行比较,并用数值或符号表示出来。

#### ● 误 差

无论采用多么精密的测量工具,或者是什么样的测量方法,在测量值和真实值之间总会有误差。

误差可以按如图 7.34 所示进行分类,而真正重要的工作是尽量将测量误差控制在最小限度内。

测量值  
真实值

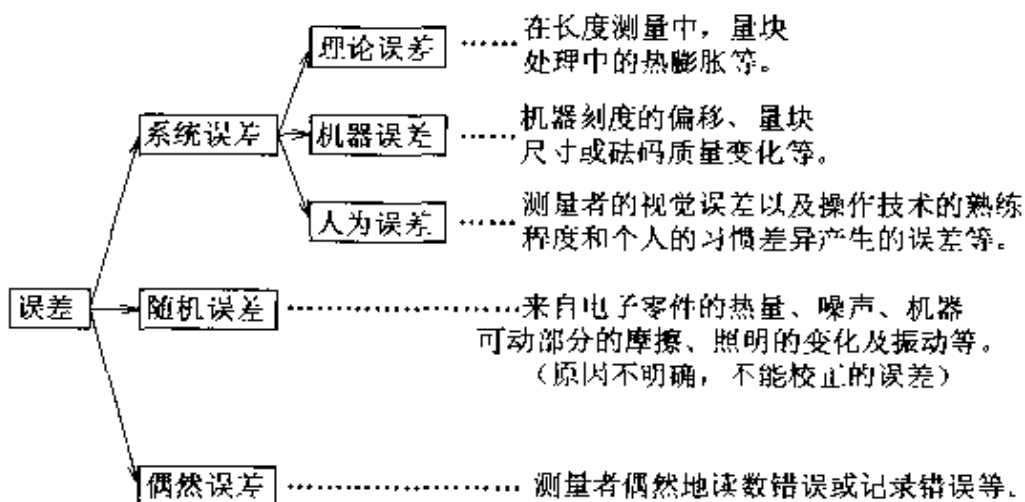


图 7.34 误差的分类

### 相 关 知 识

#### ● 测量计划的基本要求

测量计划不单单是指直接的测量操作,而是包括整个测量过程。通过测量来明确测量目标以及依据目标所制定的测量计划都是至关重要的环节。

## 9 活用水准仪

**要 点** 水准仪(level)是一种测量水平面或垂直面倾斜度的角度测量仪。在机械设备的组合和安装时经常使用水准仪,而精密设备平面度或平面度的鉴定时也要使用它。

**解 释** ● 水准仪的种类

根据主体形状可将水准仪分为框式水准仪和钳工(平面)水准仪(参见图 7.35)。

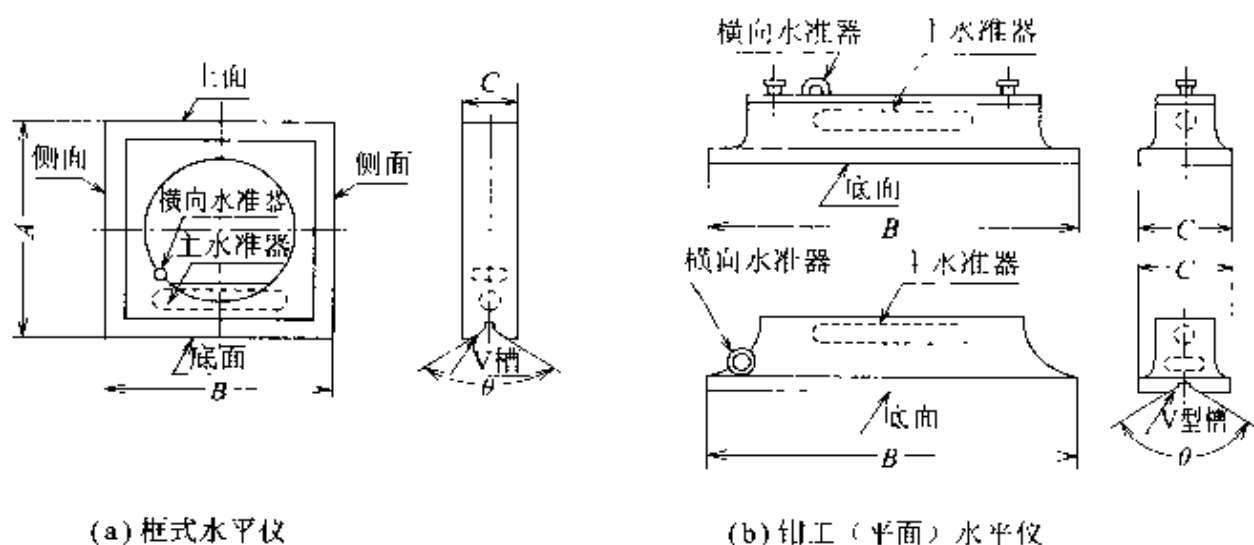


图 7.35 水准仪

### ● 水准仪的结构

水准仪是以水准器作为测量和读取倾斜角度偏移的一种测量仪。水准器是一个密封的玻璃管,在玻璃管内装有黏性系数较小的酒精、乙醚等液体,并封入非常少量的空气,就构成了所谓的水准气泡结构。根据水准气泡可以读出非常小的倾斜位移(参见图 7.36)。

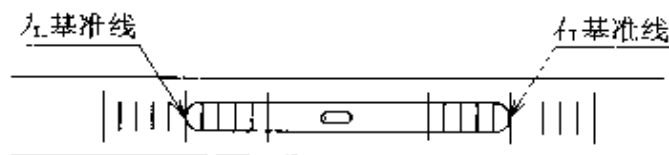


图 7.36 水准气泡管

### ● 平台平面度的测量

平台的工作面通常采用刮研、切削等方法制成加工模型。在测量时,为了避开它的影响,应该在工作面的测量点放置剖面尺寸为 $30\text{mm}\times 9\text{mm}$ 的量块,以便进行测量。

沿工作上的测量线测量出各被测量点之间的相对高度,以此为基准计算出平面度。确定测量线的方法如图 7.37 所示,要根据平台的大小进行调节。

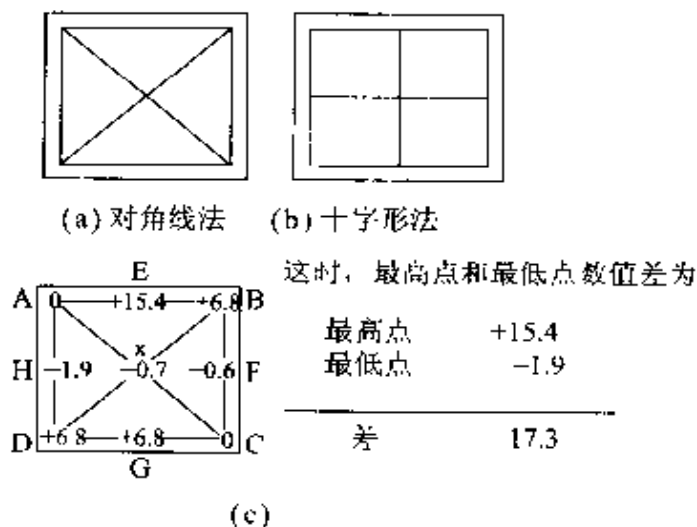


图 7.37 平台平面度的测量示例

## □ 相关知识 ● 平台

所谓平台就是以平面为基准,经精确、平整地加工而成的平面的操作台。为了长期保持平面的精度,可用高刚性、高硬度及耐磨性的材料制成。

**种类** 平台有铸铁制和花岗岩制两种。根据工作面的平面度精度可将其分为 0 级、1 级和 2 级平台。

#### 用途

- ① 测量用平台:作为测量或检定的基准定位面使用;
- ② 划线用平台:在划线作业中作为基准平面使用;
- ③ 配研用平台:在配研作业中作为基准平台使用。



## 10 表面粗糙度及其测量方法

### □ 要 点

通常,机械零件根据其用途进行精加工。在加工表面会有微小的高低不平现象,称为表面粗糙度(surface roughness)。测量粗糙度的仪器中使用比较广泛的有触针式和光波干涉式表面粗糙度测量仪。

尽管表面粗糙度用肉眼观察或用手触摸都可以感觉到,但将其数值化却比较困难。使用上述测量仪可以获得比较详细的粗糙度的数值信息。

### □ 解 释 ● 表面粗糙度的表示方法

一般,表面粗糙度有平均算术偏差( $R_a$ )、不平度最大高度( $R_y$ )及十点平均偏差( $R_z$ )等三种规定的表示方法。在国际上,使用频率最高的表示方法为平均算术偏差法。

#### 平均算术偏差

平均算术偏差( $R_a$ ) 在粗糙度曲线  $y = f(x)$  的中线(平均值)方向上截取基准长度,以这个取样部分的中线方向作为 X 轴,以纵向放大率作为 Y 轴,用图 7.38 所示的公式计算出来的数值( $\mu\text{m}$ )即为平均算术偏差。

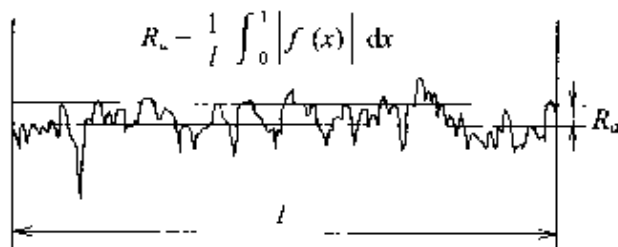


图 7.38 平均算术粗糙度

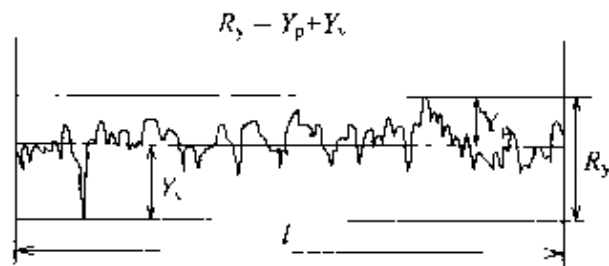


图 7.39 不平度量高度

不平度最大高度

不平度最大高度( $R_y$ ) 在粗糙度曲线  $y = f(x)$  的中线方向上截取基准长度, 在此取样部分的纵向放大率方向上测量出最大和最小值, 它们的间距数值 ( $\mu\text{m}$ ) 为不平度的最大高度 (参见图 7.39)。

十点平均偏差

十点平均偏差( $R_z$ ) 在粗糙度曲线  $y = f(x)$  的中线方向上截取基准长度, 在此取样部分的纵向放大率方向上, 取 5 个最大值和 5 个最小值并按图 7.40 中的公式计算出平均值 ( $\mu\text{m}$ )。

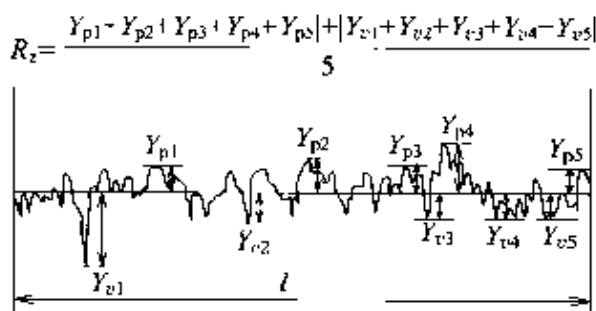


图 7.40 十点平均偏差

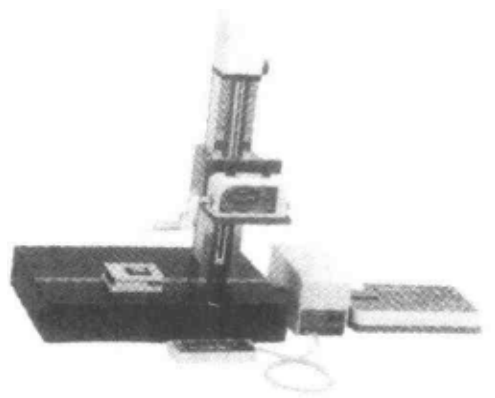


图 7.41 触针式表面粗糙度测量仪  
(摘自: 三豊総合カタログ)

● 触针式表面粗糙度测量仪

通常, 触针式表面粗糙度测量仪是一个装有触针的仪器, 触针的顶端镶着半径微小的金刚石。当触针以一定速度在高低不平的被测量表面上移动时, 其上、下波动的位移波形被放大并记录下来 (参见图 7.41)。

□ 相关知识 ● 剖面曲线

将测量面垂直剖开时, 其切口所呈现的轮廓线称为剖面曲线。

● **粗糙度曲线和切断值**

从剖面曲线上,将比给定波长长的表面弯曲分量切断曲线称为粗糙度曲线,将这个给定的波长称为切断值。

● **平面表层的图示方法**

在加工机械零件时,利用图纸的符号指出某个零件精加工面的精加工等级

# 11 螺纹的测量

## □ 要点

螺纹(screw)包括螺栓和螺母,在机械零件中经常使用。螺栓和螺母组合使用时应加以注意,处理不好会导致其相互之间不能啮合,螺纹失去作用。因此,有关螺纹制作的形状和尺寸有详细的规格说明,而通过测量验证其是否符合规定的尺寸也是非常重要的一环。

## □ 解释

### ● 螺纹的基本形状及各部分名称

在圆柱的周围缠绕倾斜角为 $\theta$ (螺纹升角)的直角三角形,其斜边会在圆柱表面产生环绕的螺旋线(参见图 7.42)。此曲线为螺纹的基本牙形曲线。图 7.43 给出了螺纹的各个部分及其名称。

螺旋线

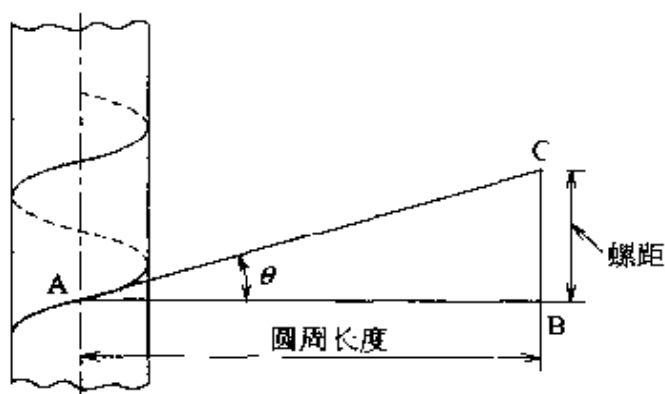


图 7.42 螺旋度

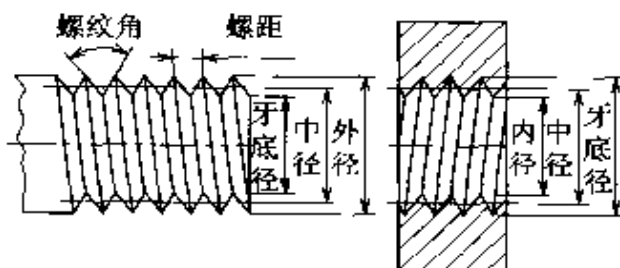


图 7.43 螺纹的各部分名称

(摘自:机械设计制图便览)

### ● 螺纹的测量

对螺纹的测量包括测量外径(螺母为内径)、中径、牙底径、螺距及螺纹牙形角(半角)等。一般三角螺纹多数作为紧固螺钉使用。

三角螺纹

此处所述为按照公制的普通螺纹规格的测量方法。

**用千分表测量螺纹** 螺栓的外径用外径千分表,中径使用螺纹千分表,即可容易地分别进行测量。此外,将三根针作为一组高精度的精制量规,用外径千分尺测量时,中径可以利用已测得的值计算出来,这就是螺纹的测量中径的三针法(参见图 7.44)。

### 三针法

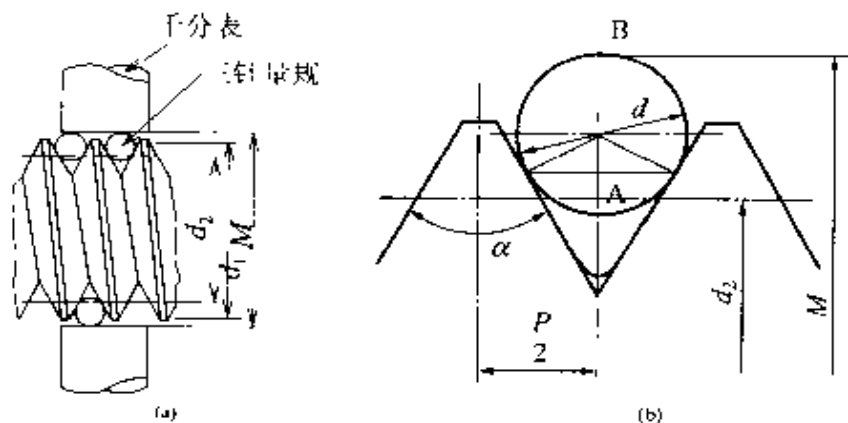


图 7.44 用三针法测量螺纹中径的测量示例

表 7.4 三针直径表

三针直径 $d/\text{mm}$	应用螺纹的种类及其螺距或螺纹牙数	
	公制螺纹(螺距/mm)	英制螺纹(螺纹牙数/mm)
0.1443	0.25	
0.239	0.4	61
0.2887	0.5	48
0.4330	0.7, 0.75, 0.8	36, 32
0.5774	1	24
0.7217	1.25	20
0.8949	1.5	16
1.0227	1.75	14
1.1547	2	13
1.4434	2.5	10
1.7897	3	8
2.0454	3.5	7
2.3863	4	6
2.5981	4.5	—
2.8868	5	5
3.1817	5.5	4 1/2
3.5794	6	4

中径的计算 用三针法测量的螺纹中径时可以用下式计算:

$$d_2 = M - 2AB = M - d \left( 1 - \frac{1}{\sin(\alpha/2)} \right) - \frac{p}{2} \cos \frac{\alpha}{2} \quad (7.1)$$

其中,  $d$  为三针直径 (mm),  $d_1$  为外径 (螺栓) (mm),  $d_2$  为中径 (mm),  $M$  为外径 (测量值) (mm),  $p$  为螺距 (mm),  $\alpha$  为螺纹牙形角度 ( $^\circ$ )。

由式 (7.1), 螺纹牙形角度  $\alpha = 60^\circ$  (公制螺纹、英制螺纹) 时, 其中径可以由下式计算出来:

$$d_2 = M - 3d + 0.866025p \quad (7.2)$$

三针直径 三针直径和适用三针法测量的螺纹的种类, 以及螺距及有关 25.4mm 牙数由表 7.4 给出。

## 相关知识 ● 螺纹的种类

将螺纹按其牙的剖面形状分类是时三角螺纹、梯形螺纹、方螺纹、锯齿螺纹及圆螺纹等几种。另外, 还有在要求高密封性的连接管中使用的管螺纹, 以及能够光滑旋转且具有极小齿隙间摩擦的用作机床进给螺纹的滚珠丝杠等 (参见图 7.45)。

梯形螺纹  
方螺纹  
锯齿螺纹  
圆螺纹  
滚珠丝杠

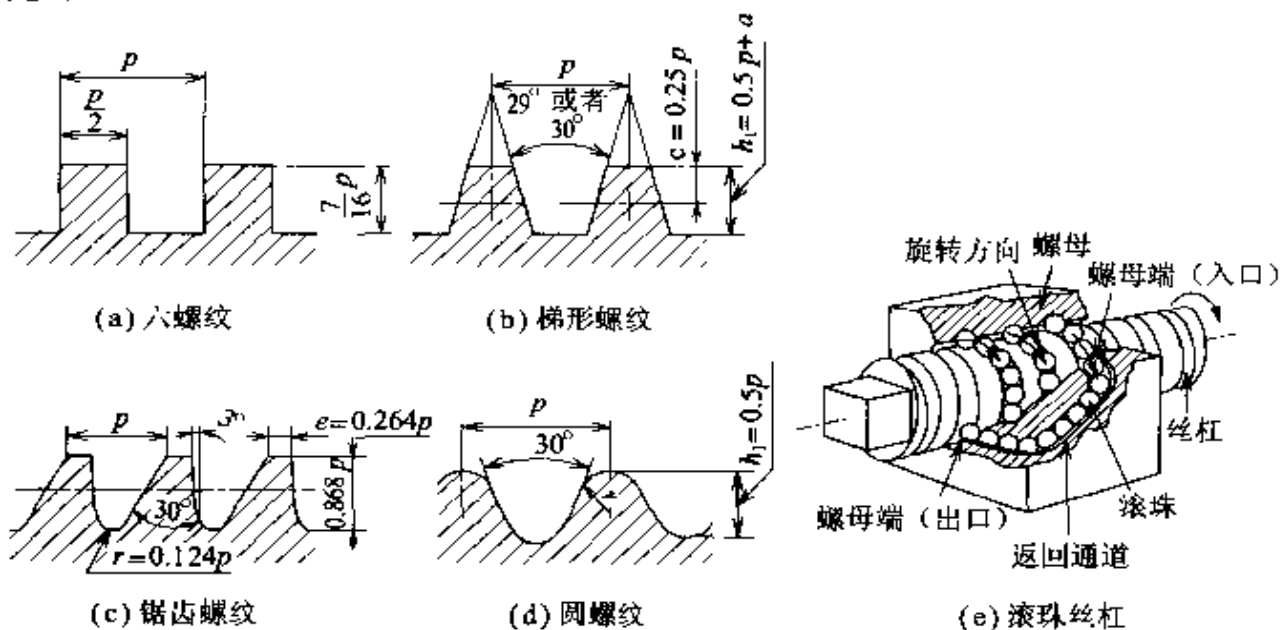


图 7.45 三角螺纹以外的螺纹

(摘自: 机械设计制图便览及机械工学便览)

## ● 用螺纹量规测量

用螺旋塞规和螺纹环规组合可以测量各种各样的连接、拧紧用的螺栓、螺母。在加工螺纹时, 若能充分地使用螺纹量规, 可以

最大限度地减少不合格零件的加工数量。

● 工具显微镜

在外径、牙底径、螺距及螺纹牙形角度等的测量中可使用角度目镜,而在中径的测量中需使用轮廓目镜。

● 螺纹的中径

将螺纹槽宽度与螺纹宽度相等的假想的圆柱的直径称为螺纹中径。

# 12 齿轮的测量

**□ 要 点**

齿轮(gear)仅比较短的距离内使用,目的是在2个轴之间传递功率或转速。齿轮和螺纹相同,互相之间啮合并平滑地旋转,如果不能传递功率就失去了应有的作用。所以,每种齿轮的齿形和尺寸都有详细的规格,需要认真测量所制作的齿轮是否符合规定的尺寸。

**□ 解 释**

● 齿轮的测量

为了使齿轮能够获得理想的转动,需对制作出的齿轮进行齿距、齿形、齿槽的偏移及齿厚等进行测量,以保证其精度。

● 齿厚的测量

通常,可以在齿轮的加工过程中很容易地测量出齿厚。因此,为了准确地进行加工,在生产现场常常是一边测量,一边调整精加工尺寸。表7.5所列为公法线齿厚值(标准齿轮)。

表 7.5 公法线齿厚值(标准齿轮)

$\alpha_0 = 20^\circ$		$\alpha_0 = 20^\circ$		$\alpha_0 = 20^\circ$		$\alpha_0 = 20^\circ$	
$z$	$z_m$	$z$	$z_m$	$z$	$z_m$	$z$	$z_m$
5	4.4982	2	25	7.7305	3	45	16.8670
6	4.5122	2	26	7.7445	3	46	16.8810
7	4.5262	2	27	10.7106	4	47	16.8950
8	4.5402	2	28	10.7246	4	48	16.9090
9	4.5542	2	29	10.7386	4	49	16.9230
10	4.5683	2	30	10.7526	4	50	16.9370
11	4.5823	2	31	10.7666	4	51	16.9510
12	4.5963	2	32	10.7806	4	52	16.9650
13	4.6103	2	33	10.7946	4	53	16.9790
14	4.6243	2	34	10.8086	4	54	19.9452
15	4.6383	2	35	10.8227	4	55	19.9592
16	4.6523	2	36	13.7888	5	56	19.9732
17	4.6663	2	37	13.8028	5	57	19.9872
18	7.6324	3	38	13.8168	5	58	20.0012
19	7.6464	3	39	13.8308	5	59	20.0152
20	7.6604	3	40	13.8448	5	60	20.0292
21	7.6744	3	41	13.8588	5	61	20.0432
22	7.6884	3	42	13.8728	5	62	20.0572
23	7.7025	3	43	13.8868	5	63	23.0233
24	7.7165	3	44	13.9008	5	64	23.0378

(摘自:机械实用便览)



公法线齿厚测量法  
滚柱测量法  
固定弦齿厚测量法

测量齿厚时有公法线齿厚测量法、滚柱测量法及固定弦齿厚测量法等多种测量方法。此处将对利用齿厚千分尺的公法线齿厚测量法进行说明。

### ● 公法线齿厚表的使用

用齿厚千分尺夹着多个齿轮齿测量时,将其测量值和由公法线齿厚的计算公式求出的值(理论值)进行比较,以检查能否按齿轮的准确尺寸制作出合格产品。此时,利用表 7.5 中的公法线齿厚值表可以简化理论值的计算。

### ● 公法线齿数的计算方法

公法线齿数可以由下式求出:

$$z_m = (\alpha_n / 180^\circ)z + 0.5$$

刀具压力角  $\alpha_n = 20^\circ$  时,  $z_m$  变为

$$z_m \approx 0.11z + 0.5 \quad (7.3)$$

### ● 公法线齿厚的计算(理论值)

直齿圆柱齿轮的公法线齿厚可以用下式求出(参见图 7.46)。

$$S_m = m \cos \alpha_n (\pi(z_m - 0.5) - z \operatorname{inv} \alpha_n) + 2xm \sin \alpha_n - \Delta S \cos \alpha_n \quad (7.4)$$

其中,  $S_m$  为公法线齿厚,  $z$  为齿轮齿数,  $z_m$  为公法线齿数,  $r$  为移距系数(对标准直齿圆柱齿轮值为 0),  $m$  为模数,  $\Delta S$  为节圆上圆弧齿厚减少量(考虑齿隙时值为 0)。

由式 7.4 可知,当刀具压力角  $\alpha_n = 20^\circ$  时,考虑到齿隙,公法线齿厚可以由下式求出:

$$S_m = (0.140055z_m + 2.95213z_m - 1.17606 - 0.68404r)m \quad (7.5)$$

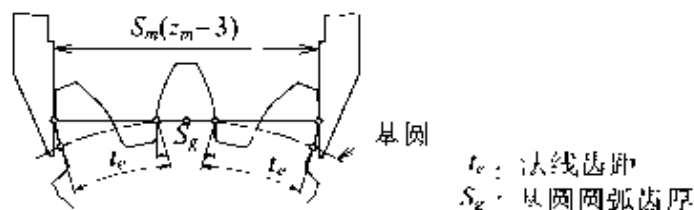


图 7.46 公法线齿厚的测量

(摘自:日本机械学会编:机械工学便覧)

## □ 相关知识 ● 万能齿轮检测仪

万能齿轮检测仪由底座、中心托架及导向架等构成。将被测的齿轮用中心托架的中心部位托起,可以实现齿槽的偏移、齿距误差和齿形误差等数据的测量。

## 13 极限量规的灵活运用

### □ 要点

极限量规(limit gage)有轴用和孔用的两类。这是一种为了测量是否在产品最大允许尺寸和最小允许尺寸的范围(允许极限尺寸)内继续进行精加工的量具。

根据机械零件的功能,允许极限尺寸已经标准化,目的是使零件可具有互换性。特别是对配合零件的检查时需要使用极限量规。

### □ 解释

单限量规  
极限量规

#### ● 量规的作用

量规的作用就是检定预先确定的产品的实际尺寸。在量规中包括仅有一个尺寸的单限量规(标准量规)和极限量规。图 7.47 中显示了各种量规的形式。

#### ● 极限量规

孔用、轴用及螺纹(螺栓、螺母)用的极限量规是用在各种形状的机械零件切削亏盈量通端、切削过盈量止端进行检查的成对检定量具。

#### ● 极限量规的种类

① 塞规:这是一种使用最多的孔用极限量规,它是将通端和止端两方合为一体的圆柱形塞规。

② 扁平形、圆柱形及板形塞规:这是一种“可调节”的量规,即可以根据被测物的尺寸将量规进行“裁减”后再测量。

③ 球面型双眼塞规:孔用特殊量规,是为了能够简单地检定孔的直径尺寸和椭圆度而使用的量规。

④ 环规:由于测量尺寸增大时会使环规的重量急剧增加,因此,作为轴用极限量规,仅仅在测量较小尺寸的零件上使用环规。

⑤ C型卡规:用钢板可以制成比较简单的固定式卡规,使用较广泛的是单口形(C型)和双口型卡规。双口形在两头有通端和止端,而单口形(C型)仅在一个口上构成通端和止端,不用反转卡规部分即可实现检定。

⑥ 螺纹量规:螺纹量规包括螺栓用和螺母用的中径量规(塞规、环规)、螺母内径用的塞规、螺栓外径用的卡规,以及检修用的螺纹量规等。

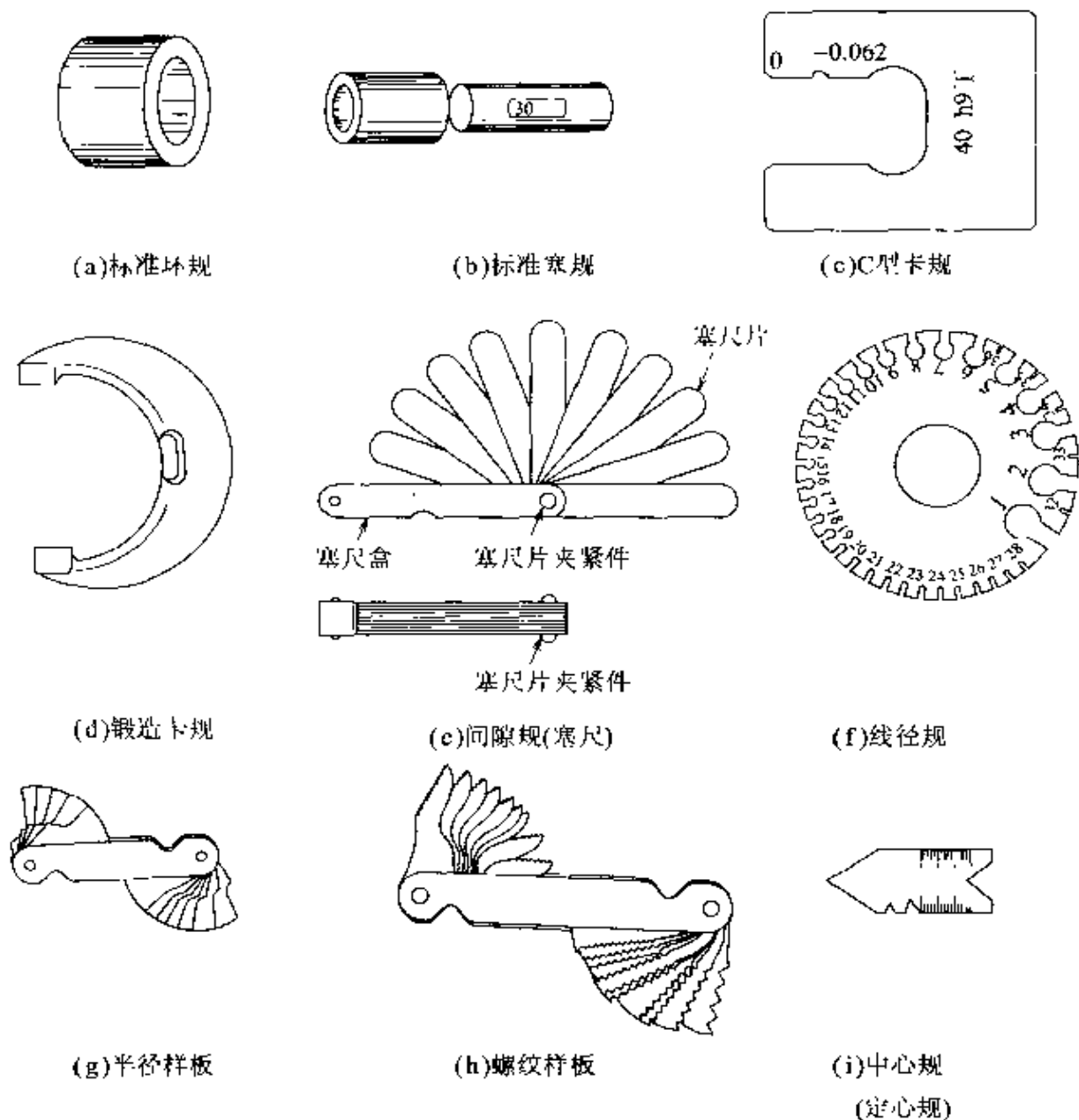


图 7.47 各种类型量规

(摘自:標準ゲージと限界ゲージ,精密測定技術振興財団)

## □ 相关知识 ● 经常使用的标准量规

① 塞尺 用薄钢片精加工而成的高精度的厚度量具,可以在被测量的间隙中一枚一枚地插入塞尺,进而测量出间隙的尺寸。

②  $R$  量规(半径样板) 用于测量面或圆角,以得到其半径的量具。

③ 中心规(定心规) 用于螺纹切削刀头的刀尖角度的检定

以及在检查刀头是否正确安装时使用。

- ④ **螺纹样板** 用于测量并求出螺纹的螺距和牙数。
- ⑤ **线径规** 用于测量金属丝的粗细的量规。

## 14 天平和弹簧秤

### □ 要 点

天平(balance)和弹簧秤(spring balancer)是测量质量用的测量仪器。在地球的重力加速度下,用天平或弹簧秤可测出被测物体的重量,根据质量和重量的正比例关系即可求出质量。

### □ 解 释 ● 天 平

天平的基本结构是以支点为中心,左右具有等长的两臂,使被测量物体和砝码平衡即可实现机械方式的测量。最近较为常见的是采用测力传感器的数字式电子天平(参见图 7.48)。

电子天平

### ● 弹 簧 秤

弹簧秤是以机械方式检测弹簧位移量的测量仪器(参见图 7.49)。

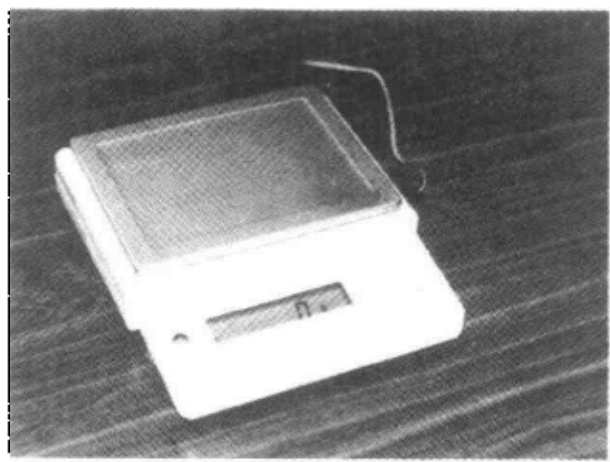


图 7.48 电子天平

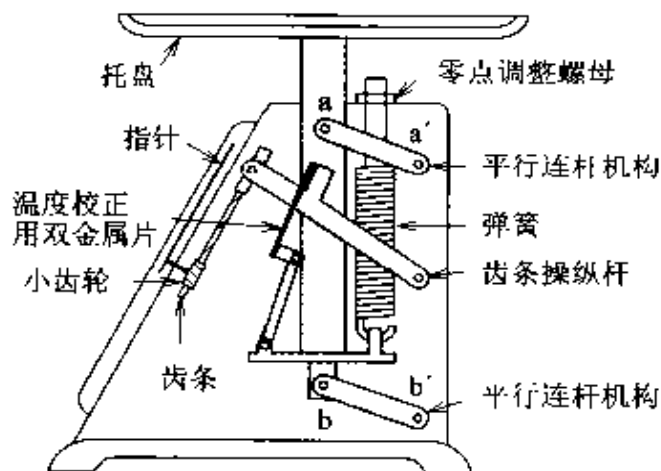


图 7.49 盘式弹簧秤

(摘自:日本机械学会编:机械工学便覧)

## □ 相关知识 ● 质量的标准

国际标准重量  
原器

日本标准重量  
原器

质量的单位是千克,此千克由国际度量衡局保存的国际标准重量原器所具有的质量决定。在日本的度量衡局也保存有与此原器同材质、同形状的日本标准重量原器,其与国际标准重量原器的精度差不超过 $1\mu\text{g}$ 。日本国内的标准都依此原器制定,并根据此标准进行各种砝码的检定、测量或天平校验。

## 15 时间、转速、功率的测量

**□ 要点** 时间的测量都采用与预先准备的标准量进行比较的直接测量法,包括模拟测量和数字测量两种方式。

测量机械轴等旋转的测量仪器是转速表。将旋转体在单位时间内的转数称为转速(rotational speed)。

功率(power)为单位时间内所作的功。机床的功率通常用瓦[特](W)表示。

**□ 解释** ● 时间的测量

时刻是指连续流过的时间的某个瞬间,度量 2 个时刻之间间隔的量为时间。时间的单位为秒(s)。

模拟方式

**模拟方式** 用计时器将时刻作为时间标记,将要测量的现象一起记录的方法,通常有示波器或数据记录仪等模拟记录仪。

数字方式

**数字方式** 在电子式计数器中,可利用时间间隔计数器实现测量,其基准信号来自晶体振荡器(参见图 7.50)。

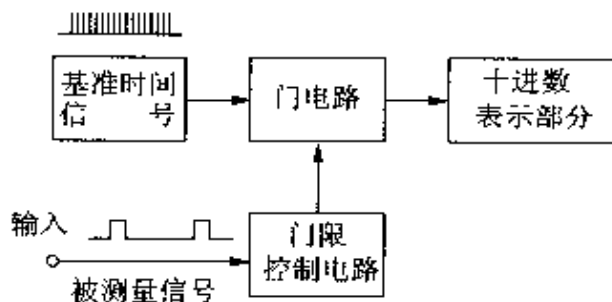


图 7.50 时间间隔计数器

(摘自:日本机械学会编:机械工学便覧)

● 转速的测量

旋转体的转速用单位时间内的转数  $n$  表示,在一秒钟内旋转一周的转速为  $s^{-1}$ 。在工业领域中,1 分钟的转速惯用  $r/min$  表示。

转速表就是以旋转体的转速为测量对象的测量仪器,根据其原理可分为闪光测频转速仪、数字转速仪及涡流式转速仪等。

● 功率的测量

功率为单位时间内所作的功。功  $A(J)$  在时间  $t(s)$  内连续作功时的功率  $P(W)$  可用下式表示:

$$P = \frac{A}{t}$$

另外,用功率表测量转矩  $T(\text{N} \cdot \text{m})$ ,用转速表测量转速  $n(\text{r}/\text{min})$ 时,功率  $P(\text{W})$ 可以用下式求得:

$$P = \frac{2\pi n T}{60}$$

## □ 相关知识 ● 1 秒的定义

“1秒钟为铯元素 133 个原子的基态对应 2 个超精细能级之间的跃迁辐射周期的 9192631770 倍的持续时间”,这是在第 13 届国际度量衡总会上(1967 年)定义的。

## ● 1 N(牛[顿])

国际单位制中力的单位为 N(牛[顿])。1 牛[顿]为在质量 1kg 的物体上施加使其产生  $1\text{m}/\text{s}^2$  加速度的力。

## ● 计时器

如果调整计时器使其能够准确地指示时刻,时间间隔也正确,就可以作为时间(time)的测量仪器。

## ● 吸收功率计

吸收功率计也称为制动测力计,用功率吸收装置可吸收被测量的所有功率,并可测量出产生的转矩。根据原理和结构,可分为摩擦功率计、水功率计和电功率计等多种。

## ■ 例 题

内燃机的转速 3000 r/min 时,由功率计测出的转矩为 100 N·m,此时的功率为多少? 假设  $\pi=3.14$ 。

**答** 31400W(31.4kW)



## 16 温度的测量

**□ 要点** 温度(temperature)可用开氏温度(绝对温度)及摄氏温度表示。开氏温度的单位是K,摄氏温度的单位是℃。

一般在温度的测量中使用国际温度标度,测量工具则使用温度计(thermometer)。

**□ 解释** ● 温度的测量方法

现今使用的温度计多种多样。在温度的测量中,有接触方法和非接触方法。根据测量对象的种类或目的适当地选择温度计进行有效温度测量是非常重要的。

① 接触方法 将温度计(如体温计)与被测量对象直接接触的测量方法。



图 7.51 玻璃温度计

② 非接触方法 不需要温度计(如光学高温计)与被测量对象直接接触而进行温度测量的方法。

● 温度计的种类

以下是一些较常用的温度计:

① 玻璃温度计 在玻璃温度计的球部封入感温液,感温液对应不同的温度可在毛细管中移动。利用此原理,分别形成了封入水银以及封入有机液体构成的玻璃温度计(参见图 7.51)。

② 压力式温度计 这种温度计利用了感温部分的温度变化导致被充满液体或者气体中产生压力变化的原理(参见图 7.52)。

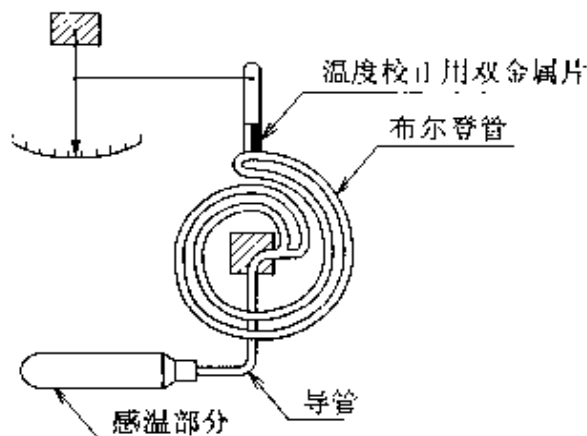


图 7.52 压力式温度计

在压力温度计中填充的液体有水银、酒精、二甲苯及石油等。填充的气体包括氦气及氮气等惰性气体。

③ 热电(偶)温度计 用二种不同的金属制成闭合电路(称为热电偶),接点间的温度差会导致电动势的产生。利用此原理构成热电温度计(参见图 7.53)。

### 热电偶

在 JIS 中,用于测量温度使用的热电偶规定为 7 个种类(参见表 7.6)。

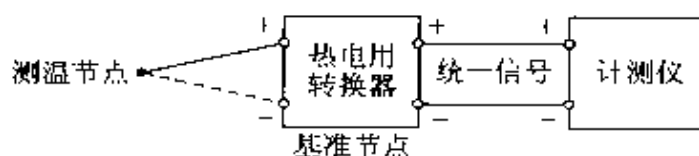


图 7.53 热电偶温度计(E 连接)

表 7.6 热电偶的材料构成

符 号	机器材料	
	+焊脚 <sup>①</sup>	-焊脚 <sup>②</sup>
B	含 30% 铱的白金铱合金	含 60% 铱的白金铱合金
R	含 13% 铱的白金铱合金	白金
S	含 10% 铱的白金铱合金	白金
K	以镍及铬为主的合金	以镍为主的合金
E	以镍及铬为主的合金	以铜及镍为主的合金
J	铁	以铜及镍为主的合金
T	铜	以铜及镍为主的合金

① 所谓+焊脚是指连接在测量温差电动势测试仪的正极的焊脚,其相对侧的焊脚称为-焊脚。

备注:旧 JIS 中的 PR 由于-焊脚的构成材料铱的含量不同,不与 R 对应的种类。

④ 电阻温度计 由金属或半导体构成,利用了温度的变化引起电阻变化的原理。以此方法构成的温度计有白金电阻温度计及热敏电阻温度计等。

⑤ 光学高温计 若在计量仪器内按装上电灯泡,则流过电流时灯泡的亮度和被测量对象的亮度是否相同可由肉眼判断,此时可根据电流值测量出温度。利用这种原理可以制成光学高温计。

图 7.54 中给出了各种温度计的使用范围。

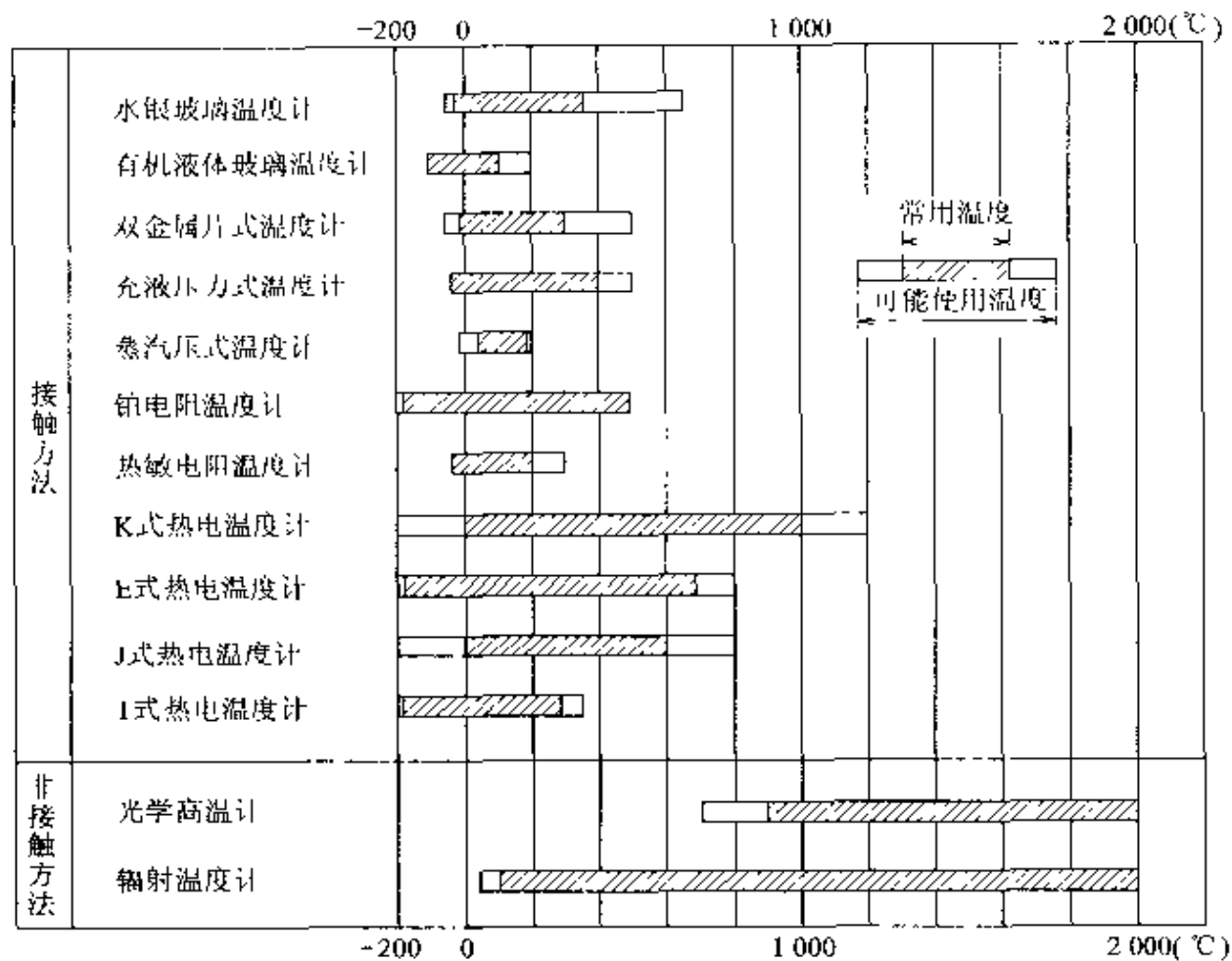


图 7.54 温度计的使用范围

### □ 相关知识 ● 摄氏温度和 K 式温度的关系

用摄氏温度表示值  $t(^{\circ}\text{C})$  和用开氏温度表示值  $T(\text{K})$  之间的关系用下式表示:

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$

### ● 水的沸点

目前采用的在标准大气压下水的沸点为  $99.974^{\circ}\text{C}$ , 实际上采用  $100^{\circ}\text{C}$ 。表 7.7 中为国际温度标度修定时(1990 年)各主要物质的标度定义点, 水的沸点定义点除外。

表 7.7 国际温度标度的定义点

序 号	定义点	$T_{90}/K$	$T_{90}/^{\circ}C$
1	氢的汽压点	3~5	-270.15 268.15
2	平衡氢的三态点	13.8033	259.3467
3, 4	平衡氢的汽压点 或气体温度计点	约 17 或 约 20.3	约 -256.15 或 约 252.85
5	氦的三态点	24.3561	-248.5939
6	氧的三态点	51.3584	-218.7916
7	氖的三态点	83.8058	-189.3442
8	水银的二态点	234.3156	-38.8344
9	水的三态点	273.16	0.01
10	镓的熔点	302.9146	29.7646
11	铟的凝固点	429.7485	156.5985
12	锡的凝固点	505.078	231.928
13	亚铅的凝固点	692.677	419.527
14	铝的凝固点	933.473	660.323
15	银的凝固点	1234.93	961.78
16	金的凝固点	1337.33	1064.18
17	铜的凝固点	1357.77	1084.62

(摘自:理科年表)

# 17 非破坏试验

## □ 要点

非破坏试验(non-destructive inspection)是指不损坏构成检查对象的产品,就可以知道产品的内部、表面、表层等的缺陷或伤痕及状态的检验方法。主要用于对焊接部分或铸造零件的检查。

## □ 解释

### ● 放射线透视试验

由于X射线、γ射线等可透过物体的内部,所以,利用同样强度的放射线照射时,由于有无缺陷会对放射线的吸收产生差别,结果显示在照片的底片上。当显像这个底片时,缺陷部分变黑,没有缺陷部分显现出白色。根据其黑白差别就可以判断有无缺陷或缺陷(伤痕)的大小(参见图7.55)。

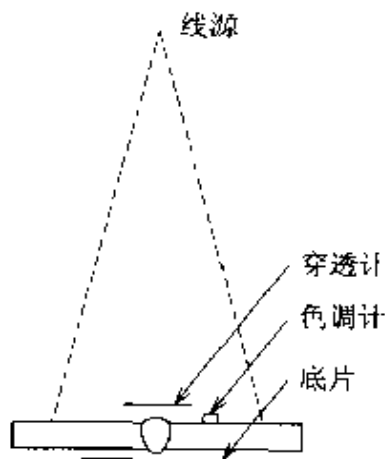


图 7.55 放射线透视试验

(摘自:日本机械学会编:机械工学便覧)

### ● 超声波探伤实验

超声波的波长较短且有直线性,在固体、液体和气体的边界面上容易反射,故可用于金属内部缺陷的检测。一般主要使用500kHz~10MHz的脉冲反射方法。

#### 脉冲反射方法

在探头和试验材料之间充满水、油及甘油等液体时,超声波很容易通过(参见图7.56),但对18-8不锈钢的铸件及焊接部分、大型铸钢件等的探伤仍比较困难。

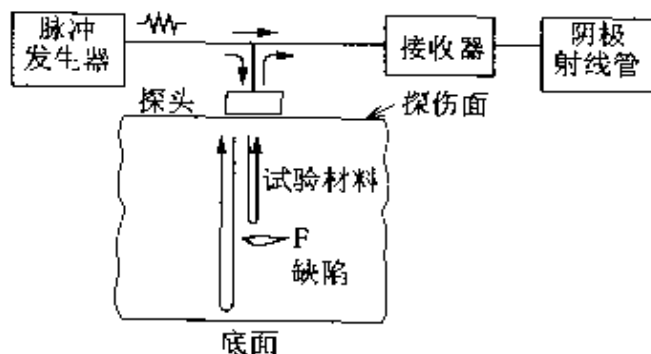


图 7.56 超声波探伤试验(脉冲波反射方法)

(摘自:日本机械学会编:机械工学便覧)

## 第8章

# 电气电子 技术

电气电子技术与机械技术相结合,使具有更强功能的机械不断地涌现。并不仅仅是电气工作者需掌握电气知识,机械工程师也应该了解与之相关的电气电子技术,这在开发和设计新的机械产品时是非常必要的。

本章将要讨论与电气电子有关的基本内容。这些知识是今后进一步学习的基础,希望读者能够认真研究例题,加深对基础知识的理解。

- 责任编委  
高桥日吉
- 执 笔  
东海林定治

# 1 欧姆定律

**要 点** 欧姆定律表达了电流  $I$  (A)、电压  $V$  (V) 和电阻  $R$  ( $\Omega$ ) 之间的关系,是电路理论中最基本的定律。

导体中通过的电流与电压成正比,而与电阻成反比。这种关系可用下式表示:

$$I = \frac{V}{R} \quad (\text{A})$$

**解 释** ● 电流  $I$ 、电压  $V$  和电阻  $R$  的关系

在图 8.1(a)所示的电路中,当电阻两端的电压成 2 倍、3 倍地增加时,电流也如图 8.1(b)所示,与电压成比例地增加 2 倍、3 倍。若将电压固定,使电阻增加 2 倍、3 倍,则如图 8.1(c)所示,电流与电阻按反比关系减小到原来的  $1/2$  和  $1/3$ 。

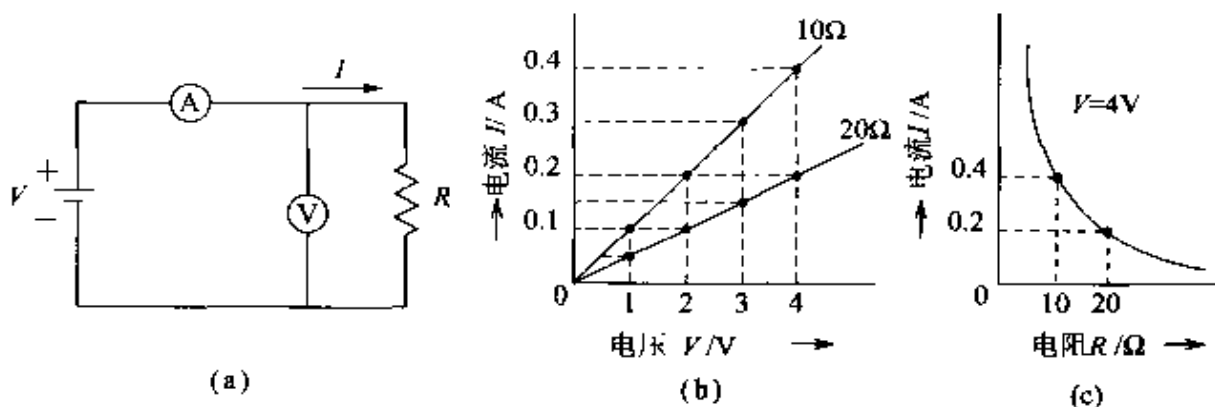


图 8.1 欧姆定律

● 欧姆定律的记忆方法

如图 8.2 所示,将圆分成 3 分,分别填以  $V$ ,  $I$  和  $R$ ,用手指盖住想求的量,剩下的两个就构成了计算表达式。

电压  $V = IR$  (V)

电阻  $R = \frac{V}{I}$  ( $\Omega$ )

电流  $I = \frac{V}{R}$  (A)

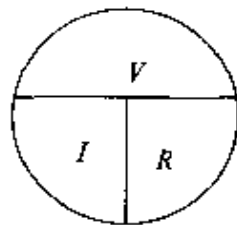


图 8.2 欧姆定律

## □ 相关知识 ● 单位名称的由来

电压的单位 V(voltage, 伏)、电流的单位 A(Ampere, 安)和电阻的单位  $\Omega$ (Ohm, 欧)都是用曾对电气科学技术发展做出杰出贡献的研究者的名字来命名的。

## ● 辅助单位

将电流、电压和电阻的基本单位 A、V 和  $\Omega$  加上词头,可以形成更大或更小的表示单位(参见表 8.1)。

表 8.1 辅助单位

符 号	读 法	10 的倍数
M	兆	$10^6$
k	千	$10^3$
m	毫	$10^{-3}$
$\mu$	微	$10^{-6}$

## ● 利用词头的单位表示方法

表 8.2 列出了电压、电流和电阻的辅助单位。

表 8.2 使用词头的单位表示方法

量	符 号	单位的读法	单位的关系
电压	kV	千伏	$1\text{kV} = 1\,000\text{V} = 10^3\text{V}$
	mV	毫伏	$1\text{mV} = \frac{1}{1\,000}\text{V} = 10^{-3}\text{V}$
电流	mA	毫安	$1\text{mA} = \frac{1}{1\,000}\text{A} = 10^{-3}\text{A}$
	$\mu\text{A}$	微安	$1\mu\text{A} = \frac{1}{1\,000\,000}\text{A} = 10^{-6}\text{A}$
电阻	M $\Omega$	兆欧	$1\text{M}\Omega = 1\,000\,000\Omega = 10^6\Omega$
	k $\Omega$	千欧	$1\text{k}\Omega = 1\,000\Omega = 10^3\Omega$

## ■ 例 题

① 在  $600\Omega$  的电阻上连接一个 3V 的电池时,电阻中的电流是多少毫安?

**答**  $I = V/R = 3/600 = 0.005(\text{A}) = 5(\text{mA})$

② 若在一个电阻的两端加上 12V 的电压,则电阻中的电流是 3mA。试问此电阻的阻值为多少千欧?



答  $R = V/I = 12/(3 \times 10^{-3}) = 4 \times 10^3 (\Omega) = 4 (\text{k}\Omega)$

③ 若  $5 \text{k}\Omega$  的电阻上有  $20 \text{mA}$  的电流通过, 此电阻两端的电压是多少伏?

答  $V = IR = 20 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^3 = 100 (\text{V})$

## 2 弗莱明定则

### □ 要点

弗莱明定则包括左手定则和右手定则。左手定则用于判断电动机转动原理中的电磁力方向,右手定则用于判断发电机的感应电流方向。

### □ 解释

#### ● 电磁力

磁铁周围存在磁场,磁场的方向为从N极到S极。若用右手握住导线,当电流按拇指方向流动时,则电流所产生的磁场的方向与其他四指的手指方向相同。此即安培右手定则。

在图 8.3(a)中,当有电流通过处于磁场中的导体时,此导体会向图 8.3(b)中箭头所示的方向移动,这是因为电流和磁场间所产生的作用力  $F$  (电磁力)所致。进一步说,磁场中的磁场强度和电流产生的磁场强度在导体的上侧互相抵消,在导体的下侧互相叠加,其合成电磁力推动导体向上移动。

电磁力

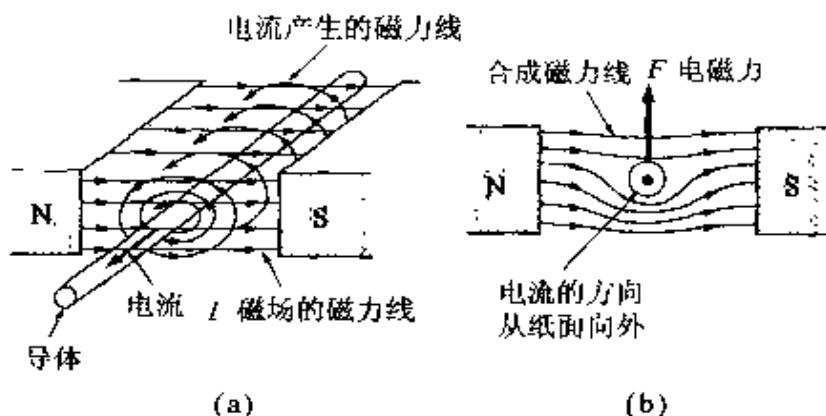


图 8.3 电磁力的产生

#### ● 弗莱明左手定则

为了知道导体受力(电磁力)的方向,可如图 8.4 所示,将左手拇指、食指和中指互成直角排列,使食指指向磁场方向,中指指向电流方向,那么拇指便指向导体受力的方向。

电气仪表和电动机等都利用了

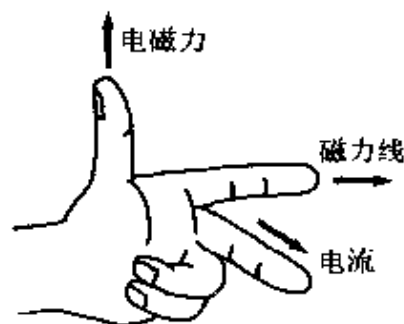


图 8.4 弗莱明左手定则

## 电磁感应 感应电动势

导体在磁场中受力这一原理。

### ● 感应电动势

当磁铁在线圈中移动,或者如图 8.5 所示,将导体在磁场中移动时,可以发现检测用的电流表的指针随着导体的移动而摆动。事实上,增大或减小线圈中的磁场强度,或将导体在磁场中移动时,就会有电流产生。这种现象称为**电磁感应现象**,电磁感应所生成的电动势称为**感应电动势**。

在有电磁感应时,可以通过楞次(Lenz)定律知道线圈中产生的感应电流的方向,而线圈中感应电流的磁场强度会阻碍线圈中的外部磁场强度变化。

### ● 弗莱明右手定则

为了知道导体切割磁力线时产生的感应电流方向,可以如图 8.5 所示,令右手拇指、食指和中指互成直角,使食指指向磁场方向,拇指指向导体移动的方向,则中指指向感应电流方向。

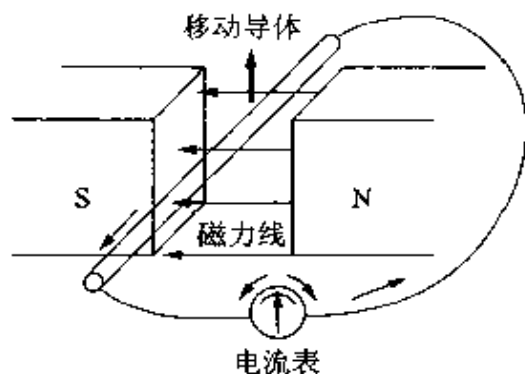


图 8.5 感应电流

发电机即利用了导体切割磁力线产生感应电动势的电磁感应现象。

## □ 相关知识 ● 电磁力的大小

在磁场强度为  $B(\text{T})$  的磁场中,将导体按与磁场垂直的方向放置,若导体中通过的电流为  $I(\text{A})$ ,则长度为  $l(\text{m})$  的导体所受的电磁力  $F(\text{N})$  可由下式给出:

$$F = BIl \quad (\text{N})$$

### ● 感应电动势的大小

假设切割磁力线的导体长度为  $l(\text{m})$ ,导体沿与磁场方向成直

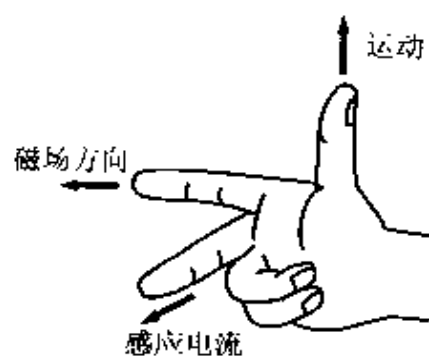


图 8.6 弗莱明右手定则

导体的方向以恒定速度  $v$  (m/s) 移动, 则感应电动势  $e$  (V) 可由下式计算:

$$e = Blv \quad (\text{V})$$

### 3 交流电路

**要 点** 在我们使用的电力中,有由于电池或其他种类电池产生的直流电,也有从电力公司提供给家庭用的插座上引出的交流电。

直流电(DC)是指大小和方向不随时间变化的电流。

交流电(AC)是指大小和方向有周期性变化的电流。

**解 释** ● 交流电的周期和频率

如图 8.7 所示,由正半波形和负半波形组成的一个循环波形称为周波。

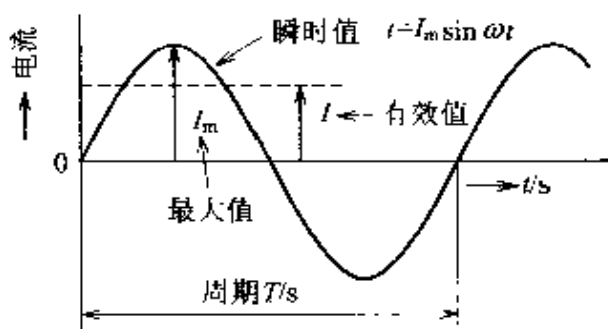


图 8.7 交流电的波形

**周期** 一个循环的时间称为一个周期,单位为秒(s)。

**频率** 1秒时间内发生的循环次数称为频率,单位通常为赫[兹] Hz(Hertz)。频率  $f$  (Hz)和周期  $T$  (s)有如下关系:

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}, T = \frac{1}{f} \text{ (s)}$$

**有效值** 正弦波交流电的值随时间变化。此波形在各时刻的值称为瞬时值,最大的瞬时值称为幅值。与直流电等效的交流电的值称为有效值。通常我们使用的即是有效值,且交流电中有一系列的有效值。

**角频率** 在产生感应电动势时,1秒时间内线圈相对于磁场所转动的角度称为角频率或角速度,记为  $\omega$ ,且有

$$\omega = 2\pi f \text{ (rad/s)}$$

假定电流的瞬时值为  $i$ ,最大值为  $I_m$ ,角速度为  $\omega$ ,则有如下关系:

$$i = I_m \sin \omega t \text{ (A)}$$

$$\text{有效值为 } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (\text{A})$$

### □ 相关知识 ● 50Hz 和 60Hz

日本采用的交流电有两种频率,东日本为 50Hz,西日本 60Hz。这是因为当初电力公司进口发电机时,来自美国的发电机是 50Hz,而来自欧洲的发电机却是 60Hz。

### ● 电阻与交流电

如图 8.8 (a) 所示的交流电路中,如果只有电阻负载,则电压  $v$  和电流  $i$  具有相同的相位,如图 8.8 (b) 所示。

$$v = v_m \sin \omega t, \quad i = I_m \sin \omega t$$

有效值也符合与直流电相同的欧姆定律。

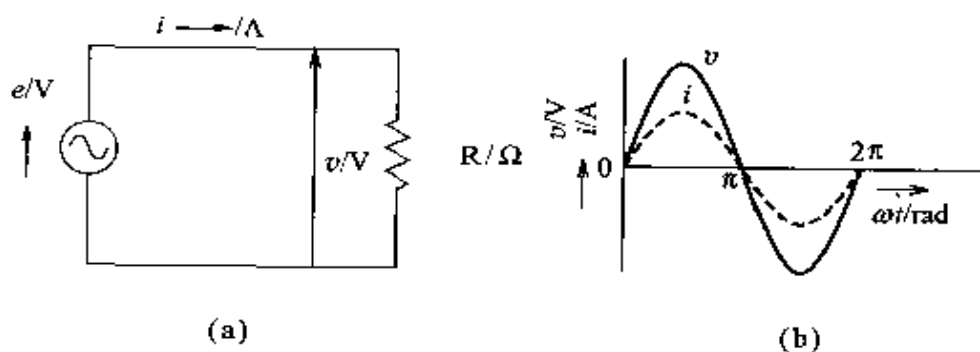


图 8.8 只有电阻负载的电路

### ● 线圈与交流电

在线圈加上交流电压时,因为电磁感应的缘故,会产生与电阻类似的阻碍电流流动的作用(感抗)。此时,电流相对于电压会有  $90^\circ (\pi/2)$  的相位延迟(参见图 8.9)。

$$i = I_m \sin(\omega t - \pi/2)$$

有效值为

$$I = \frac{V}{X_L} \quad (\text{A}), \quad X_L = 2\pi fL \quad (\Omega)$$

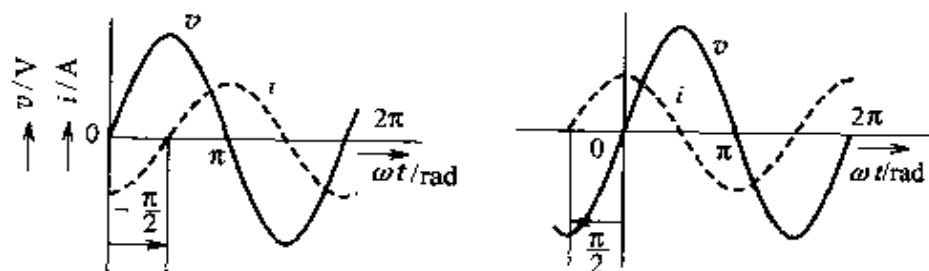


图 8.9 线圈负载上的交流电波形 图 8.10 电容负载上的交流电波形

### ● 电容器与交流电

在电容器加上交流电压时,因为电压的变化会引起反复的充电和放电,从而不断地有电流产生。电容器也会产生与电阻类似的阻碍电流流动的作用,称为容抗。电流相对于电压会有  $90^\circ(\pi/2)$  的相位超前(参见 8.10)。

$$i = I_m \sin(\omega t - \pi/2)$$

有效值为

$$I = \frac{V}{X_c} \quad (\text{A}), \quad X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (\Omega)$$

## 4 功率和功

**要 点** 电能可以转换为光、热和机械能,应用广泛。电能单位时间内所做功的大小称为功率,功率的单位为瓦特(W)。功率为

$$P=VI \quad (\text{W}) \quad (8.1)$$

**解 释** ● 直流电的功率

图 8.11 是一个电炉的示意图。这样的用电器可等效成图 8.12 所示的电阻负载  $R(\Omega)$ 。当加上电压  $V$  时,若电路中通过的电流为  $I(\text{A})$ ,可以由式(8.1)和欧姆定律得到如下关系:

$$\text{功率 } P=VI=I^2R=\frac{V^2}{R} \quad (\text{W})$$

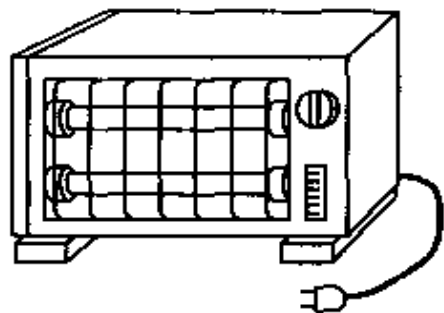


图 8.11 电 炉

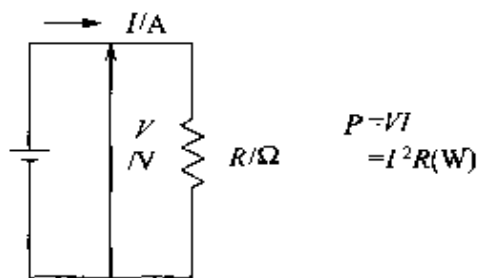


图 8.12 电阻  $R$  的功率

电流在一定时间内所产生的能量称为功,功等于功率乘以时间。功的单位为 J(焦)(即  $\text{W} \cdot \text{s}$ )或  $\text{W} \cdot \text{h}$ (瓦[特][小]时)、 $\text{kw} \cdot \text{h}$ (千瓦[小]时)等。

$$\text{功 } W=Pt \quad (\text{W} \cdot \text{s})$$

$$1\text{W} \cdot \text{s}=1\text{J}, 1\text{W} \cdot \text{h}=3600\text{W} \cdot \text{s}$$

● 交流电的功率

交流电的负载不仅仅是电阻,还包括线圈和电容。因此,电压和电流的相位可能延迟或超前,不能像直流电那样简单地计算。若假定相位差为  $\theta$ ,则有

$$\text{交流电功率 } P=VI \cos \theta \quad (\text{W})$$

称此交流电功率为有功功率或消耗功率。

● 视在功率和无功功率

在交流电功率的表示方法中,还包括表示电器容量的视在功率  $S$ (单位为  $\text{V} \cdot \text{A}$ ,伏安)和存储在线圈等部件中的不能被消耗的

有功功率  
消耗功率



无功功率  $Q$  (单位 var, 乏)

$$\text{视在功率 } S = VI \quad (\text{V} \cdot \text{A})$$

$$\text{无功功率 } Q = VI \sin \theta \quad (\text{var})$$

$$\text{所以, } S^2 = P^2 + Q^2$$

### ● 功率因数

在交流电功率的计算公式中,  $\cos \theta$  称为功率因数, 其含义为由下式给出的功率比值

$$\text{功率因数 } \cos \theta = \frac{P}{\bar{I}V}$$

若大量使用低功率因数的设备, 就会因为无功功率的增加而造成输电设施的浪费。为了改善功率因数, 可以如图 8.13 所示, 将电容器并联到用电器上。

由图 8.14 中的向量图可知, 因为  $I = I_C + I_{RL}$ , 可使  $V$  和  $I$  的相位差  $\theta$  变小, 从而导致功率因数  $\cos \theta$  增大。

大功率负载的功率因数越大, 电力系统的运行效果越好。反之运行效果较差。

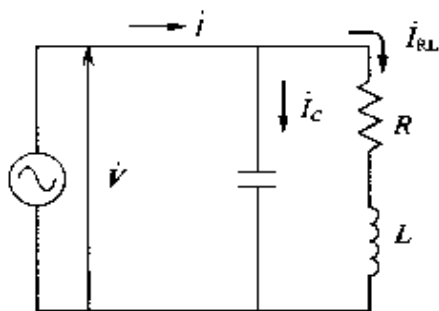


图 8.13 将电容器并联到电路中

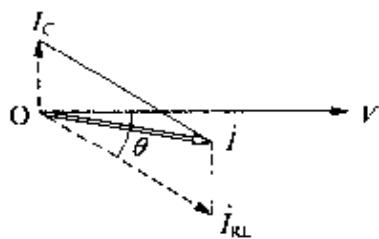


图 8.14  $\theta$  角变小

### ■ 例 题

在  $20\Omega$  的电阻与具有  $15\Omega$  感应电抗的线圈的串联电路中, 加上  $100\text{V}$  的交流电压, 试计算电路的有功功率、视在功率和无功功率。

**答]** 阻抗  $Z = \sqrt{20^2 + 15^2} = \sqrt{625} = 25(\Omega)$

$$\text{电流 } I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{25} = 4(\text{A})$$

$$\text{有功功率 } P = I^2 R = 4^2 \times 20 = 320(\text{W})$$

$$\text{视在功率 } S = VI = 100 \times 4 = 400(\text{V} \cdot \text{A})$$

$$\text{无功功率 } Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{400^2 - 320^2} = 240(\text{var})$$

## 5 电动机和变压器

### □ 要点

电动机(motor,简称电机)是利用电磁力产生旋转或直线等运动的动力装置,包括直流电机和交流电机等。

如图 8.15 所示,在磁场中放置一个长方形的线圈,当线圈中有电流通过时,根据弗莱明左手定则,线圈的  $ab$  段和  $cd$  段都会产生固定方向的电磁力  $F$ ,从而产生转矩  $T$  使线圈转动。

变压器是根据电磁感应原理将电压放大或缩小的设备,用于电力配送。

### □ 解释

#### ● 直流电机

直流电机既可以用在大型的机械如电动机车、电梯和起重机中,也可以用于小型设备如便携式工具、模型以及玩具等。

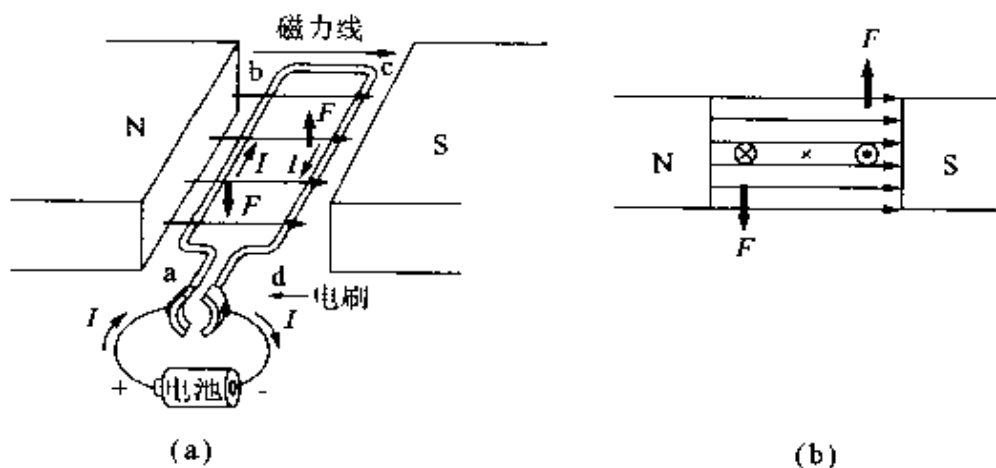


图 8.15 直流电机的转动原理

#### ● 三相感应电机

这种电机结构简单,故障率较低,且价格便宜,故使用最为广泛。

此类电机的转动原理是根据弗莱明左手定则,利用三相交流电形成旋转磁场,从而使线圈产生转动。旋转磁场的转速称为同步转速。

#### 同步转速

$$\text{同步转速 } N_s = \frac{120f}{p} \text{ (r/min)}$$

其中,  $p$  表示磁极数(N极,S极的个数),  $f$  表示频率。

### ● 单相感应电机

单相感应电动机在家庭用的洗衣机、电冰箱及吸尘器等电器中广泛使用。但是,仅利用单相交流电生成的交变磁场不会产生启动转矩,即使有电流通过线圈也不能使转子旋转,因此,必须安装启动装置才能使其开始转动。

### ● 变压器的原理

如图 8.16 所示,当磁铁在线圈中移动时,会造成线圈中磁场强度增大或减小,使线圈产生感应电动势,此即电磁感应现象。变压器就是利用电磁感应原理形成的相互感应作用而实现变压的。

在构成同一个磁路的铁芯上,输入端绕有匝数为  $N_1$  的初级(一次)线圈,输出端绕有匝数为  $N_2$  的次级(二次)线圈。当初级线圈中有交流电通过时,铁芯内的磁场强度就会发生变化。由于电磁感应作用,在次级线圈中就会产生感应电势。

在无损耗的理想状态下,变压器输出端可以得到与次级线圈的匝数成正比的电压。

匝数比

$$\text{匝数比 } a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{e_1}{e_2}$$

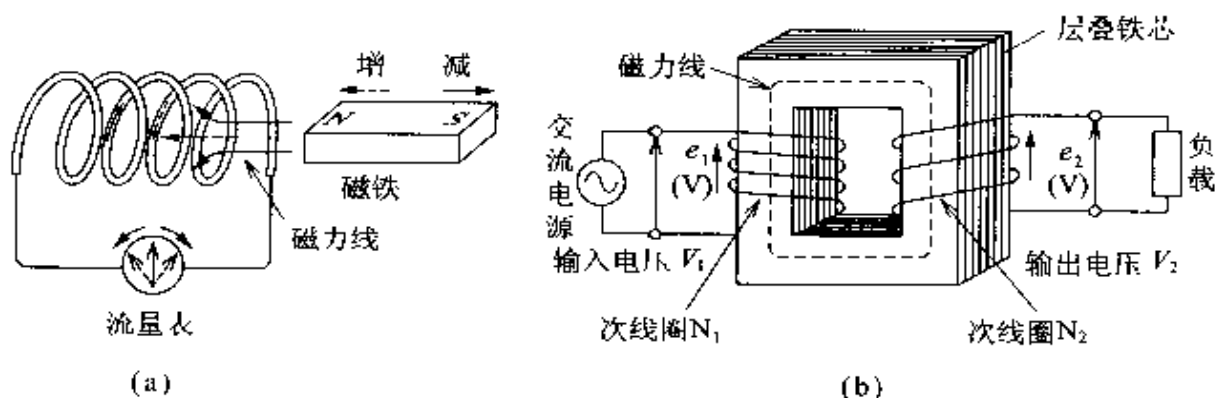


图 8.16 变压器的原理

### ● 变压器的使用

很多用电领域都需要使用变压器,例如,发电站和变电所使用的大型变压器,工厂和家庭配电用的变压器,焊接作业中使用的变压器以及电器设备中用的电源变压器等等,一般的交流设备中都要使用变压器。

**■ 例 题**

假定有一部输入电压为 6300V, 输出电压为 210V 的单相变压器, 其中的初级线圈的匝数为 600, 问次级线圈的匝数应该是多少?

**答** 次级线圈的匝数  $N_2 = \frac{e_1}{e_2} N_1 = \frac{210}{6300} \times 600 = 20$  (圈)

## 6 导线的额定电流

**要 点** 导线中能够安全通过的最大电流称为导线的额定电流。导线的额定电流应根据电气设备技术标准以及内部配线规程来确定。

**解 释** ● **导线的额定电流**

导线中总会存在一定的电阻。电流经过此电阻时就会产生焦耳热,致使导线的温度升高。过高的温升会烧损导线外的绝缘层,可能导致漏电或火灾等危险发生。

为了防止上述现象发生,必须限制导线中可安全通过的最大电流,此电流即为导线的额定电流。

额定电流与导线的材质、截面直径以及是单股导线还是多股导线等因素有关,具体参数可参见表 8.3。

表 8.3 导线的额定电流

导 线		额定电流/A
单股导线或多股导线 (横截面积/mm <sup>2</sup> )	单股导线 (直径/mm)	铜导线或 软硬铜导线
	$\geq 1.0 > 1.2$	16
	$\geq 1.2 > 1.6$	19
	$\geq 1.6 > 2.0$	27
	$\geq 2.0 > 2.6$	35
	$\geq 2.6 > 3.2$	48
	$\geq 3.2 > 4.0$	62
	$\geq 4.0 > 5.0$	81
	5.0	107
$\geq 0.9 > 1.25$		17
$\geq 1.25 > 2$		19
$\geq 2 > 3.5$		27
$\geq 3.5 > 6.5$		37
$\geq 5.5 > 8$		49
$\geq 8 > 14$		61
$\geq 14 > 22$		88
$\geq 22 > 30$		115

(环境温度在 30℃ 以下)

(摘自:电气设备技术标准)

不难理解,若导线的绝缘层采用耐热程度好的材质,则可以得到较大的额定电流,因此,需要根据绝缘层的材质来确定相应的修正系数。

此外,当环境温度超过  $30^{\circ}\text{C}$  时,导线产生的热量不容易散发,会致使导线的温度明显升高,此时,必须采用更小的额定电流。这种减小的比例也可以通过电流减小系数来修正。







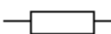



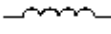


















## 7 电器图形符号

**要 点** 在电气、电子电路图中,元器件都用简单的符号来表示,因此,需要记住有代表性的图形符号。

**解 释** ● 电器图形符号

JIS C 0301 中规定了电器用的图形符号。由于种类很多,此处的表 8.4 仅列出了其中经常使用的部分图符。

表 8.4 典型的电气图形符号

名称	图形符号	摘要
直流电		(例) 直流电流表  直流发电机 
交流电		(例) 交流电压表  交流电源 
接地		箱外连接 
电阻	(a)  (b) 	无感抗电阻  可变电阻 
线圈	(a)  (b) 	在特殊的必要场合(a)中表示线圈匝数目的“山形线”可以增加
互感器或变压器		 加入铁芯  框图用变压器符号
电容器	(a)  (b) 	有极性  可变电容器 
电池或直流电源		容易混淆时  可变电压 
整流功能及整流器		可能有混淆时应加上圆  发光二极管 
pnp 晶体管		pnp 晶体管  标记表示与外部器件连接的集电极
接触型场效应晶体管	 (n型沟道)	 (p型沟道)

(摘自:JIS C 0301 1990)

## 8 万用表的使用方法

### □ 要 点

万用表通过量程切换可以测量直流电压、交流电压、直流电流以及电阻等,是一种非常灵活方便的电工工具。

万用表有用指针表示测量值的模拟型和用数字显示的数字型两种,随着半导体技术的进步,数字万用表在性能及价格方面越来越具有优势,使用更加广泛。

### □ 解 释 ● 模拟万用表和数字万用表的比较

图 8.17 所示的模拟万用表和图 8.18 所示的数字万用表的外观区别是它们分别用指针和数字来表示数据。在工作原理上,模拟型万用表使用可动线圈的电流表进行测量,数字型万用表则使用由电子电路构成的电压表进行测量。数字万用表的输入电阻很大,电压降的误差小,可读性和精度都比较高,且量程的切换可以由万用表自动实现。此外,数字万用表在极性有错时可以用“-”表示,容易处理。



图 8.17 模拟型万用表



图 8.18 数字型万用表

### ● 数字万用表的使用方法

**直流电压的测量** 将换挡开关切换到直流电压测量模式并打开电源。将被测端与表的 2 个表笔连接好即可以从表上读出测量值。测量量程从低电压范围到高电压范围可以自动调节。在极性错误时用“-”表示,不会发生故障。

**电阻的测量** 将开关切换到  $\Omega$  模式。表笔不接触时表示 O.L (开路)。不需要进行回零调整。

### ● 模拟万用表的使用方法

**电阻的测量**



- ① 旋转开关,切换到  $\Omega$  的位置;
- ② 如图 8.19 所示将表笔短路,旋转  $0\Omega$  旋钮将指针调整到 0 的位置(注意电阻的表盘刻度的零位与电压和电流的表盘刻度的零位相反);
- ③ 若指针不能调整到 0 的位置,可能是因为内部电池接触不良或电池的电量低,可检查电池状态,根据情况可更换电池;
- ④ 将被测电阻连接到万用表,读指针刻度;
- ⑤ 如果指针摆动达到了左端,需要切换量程来选择一个适当的倍率( $\times 1$ ,  $\times 10$ ,  $\times 100$ );
- ⑥ 量程切换后需要再次调零;
- ⑦ 测量结束时,切换量程开关,置于 OFF 状态。

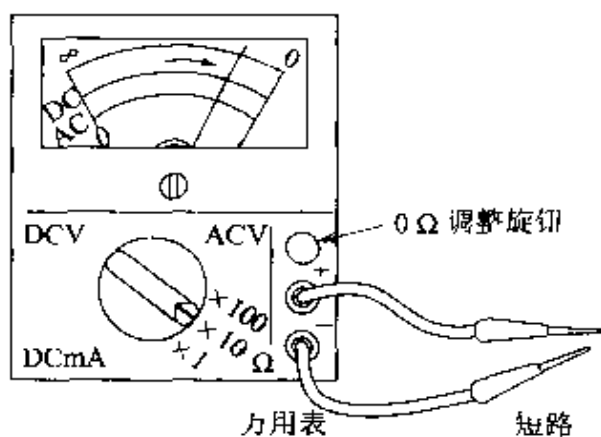
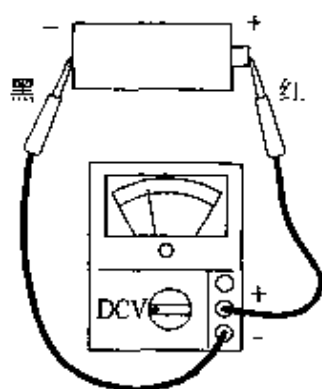
图 8.19  $0\Omega$  调整

图 8.20 直流电压的测量

### 直流电压的测量

- ① 将量程开关切换到 DCV 位置;
- ② 注意表的红色表笔应连接到正极(+),黑色表笔连接到负

极(-)；

③ 若指针不摆动,说明初始设置的量程过大,可减小量程的设置。

#### 交流电压的测量

① 将量程开关切换到 ACV 位置；

② 交流电测量时,无需考虑表的正负极性,若表的指针不动,要注意所选择的量程是否合适；

③ 要注意防止触电或接触其他导体而引起短路。

## 9 晶体管

### □ 要点

晶体管是由 p 型半导体和 n 型半导体组合成的 pn 结所构成的半导体元件,含有发射极、基极和集电极三个电极。该元件的主要功能是放大和整流,是电子电路中广泛使用的基本元器件。

### □ 解释

#### ● pn 结

半导体中存在着能够导通电流的电子和空穴,称为载流子。空穴载流子较多的半导体称为 p 型半导体,而电子载流子较多的半导体称为 n 型半导体。

将 p 型半导体和 n 型半导体相接而形成的结构称为 pn 结(参见图 8.21)。

在 pn 结中的两种半导体的接触面附近,由于空穴和电子互相结合而形成了一段没有载流子的区域,称为本征层。

p 型半导体  
n 型半导体  
pn 结

本征层

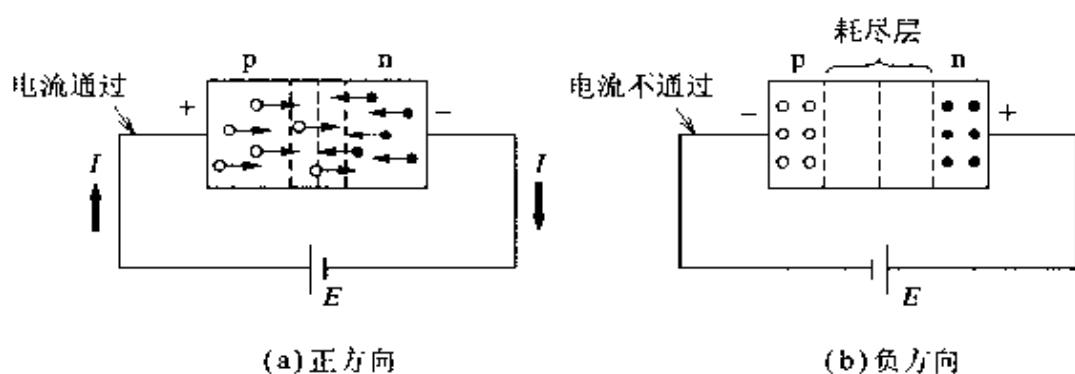


图 8.21 pn 结

#### ● 正方向和逆方向

正电压排斥空穴而负电压吸引空穴,相反地,负电压排斥电子而正电压吸引电子。

在 pn 结上施加不同方向的电压,可以形成有电流导通的正向电压和没有电流导通的反向电压。此功能称为 pn 结的整流作用。

具有整流作用的 2 极半导体称为二极管。

#### ● 晶体管

在晶体管的内部,将 p 型半导体和 n 型半导体分别组合,就形成了 3 层结构的 pnp 型晶体管和 npn 型晶体管。二者只是电流的流向相反,工作原理相同,都是基于 pn 结中载流子的流动实现其

正向电压  
反向电压  
整流作用

pnp 型晶体管  
npn 型晶体管

导电功能的。

### ● 晶体管的工作原理

晶体管中有称为发射极(E)、集电极(C)和基极(B)的三个电极。为了使晶体管工作,要在发射极和基极之间加上正方向的电压,在集电极和基极之间加上负方向的电压。图 8.22 所示为 npn 型晶体管的工作原理示意图。

晶体管工作时,因为施加的负方向电压吸引了电子,集电极端形成了电流为  $I_C$  的回路。由于电子的流向与电流的流向相反,电流按从基极到发射极、从集电极到基极的方向流动。根据电子的流向可知,调整基极电流即可以控制发射极电流。基极电流本身很小,但基极电流的微小变化会引起发射极电流的很大变化,此现象称为晶体管的放大作用。

放大作用

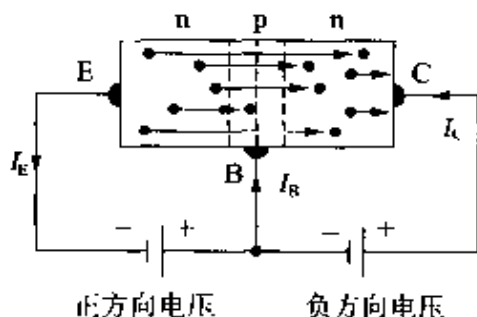


图 8.22 npn 晶体管的工作原理

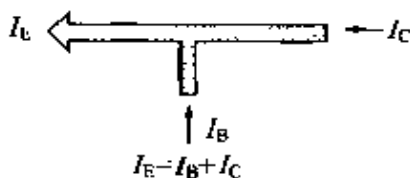


图 8.23 晶体管的电流

## 相关知识 ● 场效应晶体管

场效应晶体管(field effect transistor, FET)是用 p 型半导体和 n 型半导体结合而成的,有源极(S)、漏极(D)和栅极(G)等三个电极。用施加到栅极的电压可以控制大量的载流子移动,以此方式可构成一种具有放大作用的元件。

根据制造方法的不同可以将 FET 划分成结合型、MOS 型和 MES 型三类。与普通晶体管相比,FET 具有响应速度快、输入阻抗高及噪音小等特点,特别是 MOS 型 FET,其结构简单,可以达到很高的集成度,多用于 IC 中。

## 10 集成电路

### □ 要点

集成电路(integrated circuit, IC)是指在边长为数毫米的半导体或陶瓷基板(芯片)上,以薄膜形式集成了大量的晶体管、二极管、电阻和电容等元件以及连接线路所构成的电路。目前,由于半导体制造技术的进步,几乎所有的电子电路都已 IC 化,使大量的元件被集成在一个芯片上。利用 IC,电子产品可以用很小的体积提供更多的功能并具有更好的性能。

### □ 解释 ● IC 的种类

IC 可以根据集成度、功能和结构等来分类,针对不同的使用目的,人们已经开发出了满足多种用途的 IC。

半导体芯片中所集成的基本元件的数量称为集成度。根据集成度,可以将 IC 分为从 SSI 到 ULSI 5 类(参见表 8.5)。

表 8.5 用元件数对 IC 分类

IC 的名称	元件数/芯片(集成度)
SSI(small scale IC)	~100
MSI(medium scale IC)	100~1000
LSI(large scale IC)	1000~10 万
VLSI(very large scale IC)	10 万~1000 万
ULSI(ultra large scale IC)	1000 万以上

### ● 按功能分类

IC 按功能分类时与计算机等的分类类似,包括用于开关作用的数字 IC 和用于录音机和电视机等放大电路中进行模拟信号处理的模拟 IC。

数字 IC 可分为逻辑电路 IC 和存储器电路 IC。计算机、计算器、OA 设备、AV 设备及电子交换机等都使用数字 IC。

模拟 IC 包括运算放大器用 IC、比较器用 IC 和定时器用 IC 以及电源用 IC 等,此类 IC 可用于电视机、收录机、VTR 以及测试仪器等设备中。

### ● 按结构分类

按结构可以分为单片 IC、掩膜 IC 和混合 IC 三种。

单片 IC 意味着只有一片,即在一个硅片等半导体基板(芯片)上,集成全部的晶体管和电阻等电路元件,且包含元件间的连接配线的 IC。在单片 IC 中,有使用普通晶体管构成的双极型 IC(参见图 8.24)和使用 MOS 型 FET 构成的 MOS 型 IC 两种。双极型 IC 速度快但消耗电量,而 MOS 型 IC 速度稍慢但消耗电量少。

掩膜 IC 是在玻璃或陶瓷等材料的绝缘基板上集成电阻及电容所构成的 IC,根据制造方法可分为厚膜 IC 和薄膜 IC 两种。

混合 IC 是由上述两种 IC 混合构成的,即在掩膜 IC 的基板上再组合上单片 IC,可以实现单片 IC 本身所不具备的功能。

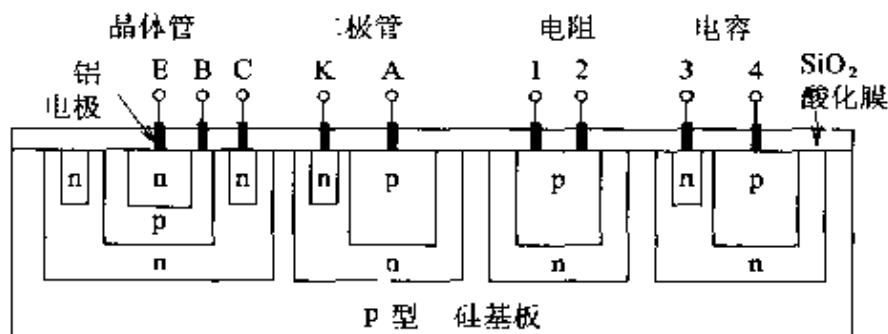


图 8.24 双极型 IC 的构成示例

## 相关知识 ● IC 存储器

RAM

ROM

IC 存储器分为 RAM(random access memory)和 ROM(read only memory)两种。

RAM 是可以随机读出或写入数据的存储器,但切断电源时存储器中存储的数据将全部消失,故用于暂存数据。

ROM 是一种只能读出事先存储好的数据的专用存储器,即使切断电源,存储器中原来的数据也不会丢失。因此,ROM 可用于固化文字处理器的词典及初始化程序等不需要改变的软件和程序。

ROM 可进一步分为可重写型和不可重写型两类。

# 11 数字电路

## □ 要 点

在电子电路中,直接处理用电流或电压大小表示信息的电路称为模拟电路,而处理断续形式的信息(脉冲信息)的电路称为数字电路。

数字电路包括组合电路和顺序电路。组合电路由 AND、OR 及 NOT 等以及它们的组合构成基本电路。顺序电路具有触发器 (flip-flop) 等形式的存储能力,可根据条件在一定时间后产生输出。

## □ 解 释

### ● 功能表和真值表

数字电路中,所有处理的信息都只用“电平高 H”和“电平低=L”这 2 种电气信号来表示。这种只用 H 和 L 状态表示的电路称为逻辑电路。而数字电路中的逻辑电路通常称为门(gate)电路。

对应于输入的组所产生的输出结果也用 H 和 L 形式表示的列表称为功能表,若用数值 1 来表示 H,用数值 0 表示 L,则称其为真值表。

### ● 基本的门电路

在构成数字电路的诸要素(电路)中,AND、OR 和 NOT 是三个最基本的门电路(参见图 8.25)。

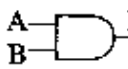
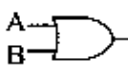
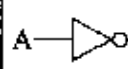
输入		输出 F		
A	B	AND $F = A \cdot B$	OR $F = A + B$	NOT A $F = \bar{A}$
L	L	L	L	H
L	H	L	H	H
H	L	L	H	L
H	H	H	H	L
MUL. 符号				

图 8.25 基本的门电路

因为实际电路来源于门电路的组合,故这种电路的输出只由输入的组合来惟一确定。若给定同一个组合的输入状态,不管运行多少次,电路的输出状态总是相同的。

反相器

数字电路 IC 中, NOT 门常称为反相器, 它的功能是将输入状态反转后输出。

缓冲器

此外, 缓冲器的功能是将输入数据原样保存以等待输出, 不改变控制逻辑, 在输入输出控制或希望提高驱动能力时需要使用缓冲器。

### ● NAND 门和 NOR 门

在 AND、OR 和 NOT 的基础上, 再考虑到由 AND 和 NOT 组合而成的 NAND 门, 由 OR 和 NOT 组成的 NOR 门, 故共有 5 个基本的电路(参见图 8.26)。

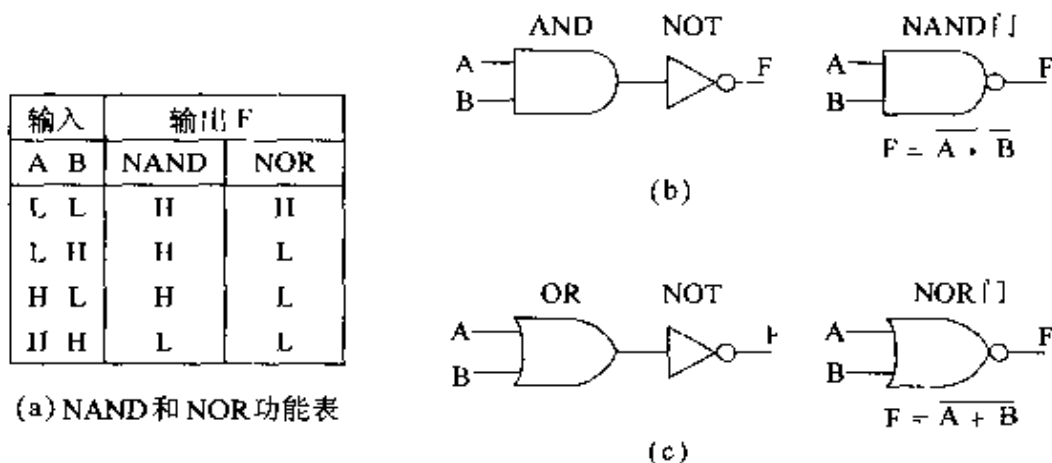


图 8.26 NAND 门和 NOR 门

使用 NAND 门的方便之处在于反相器在先, 可以应用到各种各样的逻辑类型。

### 相关知识 ● TTL 和 CMOS

由于数字电路容易 IC 化, 目前已开发出了大量的数字 IC 产品, 其功能从简单到复杂, 种类繁多。以晶体管为主体的 TTL (transistor transistor logic) 型 IC 具有价格便宜、速度快, 以及工作稳定、使用简单等特点, 使用广泛。以场效应晶体管(FET)为主体的 CMOS (complementary metal oxide semiconductor) 型 IC 消耗电量少且噪音小, 多用于个人计算机。

### 例 题

请利用 NAND 门制作反相器和 OR 门。

**答** 制作方法见图 8.27 和图 8.28。



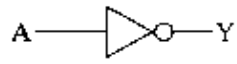
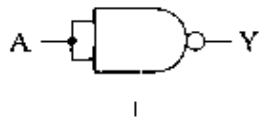


图 8.27 反相器

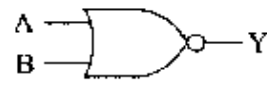
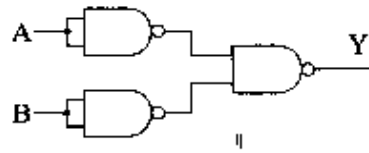


图 8.28 OR 门

## 第9章

# 信息技术

对今天的工业产品来说，从家用电器、汽车到加工机械，只要相应地在某个部分上安装上计算机单元，就可以提高这些产品的性能，使其完成更复杂的动作，为其增添更高级的功能。计算机已经成为工程技术人员必须掌握的基本知识之一。

本章中将介绍从计算机基本原理到计算机网络的运用形式等诸多知识，并按需要掌握的最低限度归纳、阐述其要点。

- 责任编辑  
高桥日吉
- 执 笔  
佐佐木哲

# 1 信息的表示方法

## □ 要 点

我们日常生活中使用的数值多是采用 0~9 这 10 种数码组合而成的十进制数,而计算机中使用的数值则是采用 0 和 1 这 2 种数码组合构成的二进制数。

在计算机中,信息的表示、运算以及各种处理都是采用二进制数进行的。因此,为了能清晰地理解计算机电路(硬件)和程序(软件),需要对二进制数有一定了解。

## □ 解 释 ● 二进制数

### 二进制数

仅用“0”和“1”这 2 种数码表示任意数的方法称为二进制计数法。用二进制计数法表示的数就是二进制数。十进制数是以 10 作为单位,低位向高位逢十进一。同样,二进制数是以 2 作为单位,低位向高位逢二进一。二进制数和十进制数的相互转换方法如图 9.1 所示。

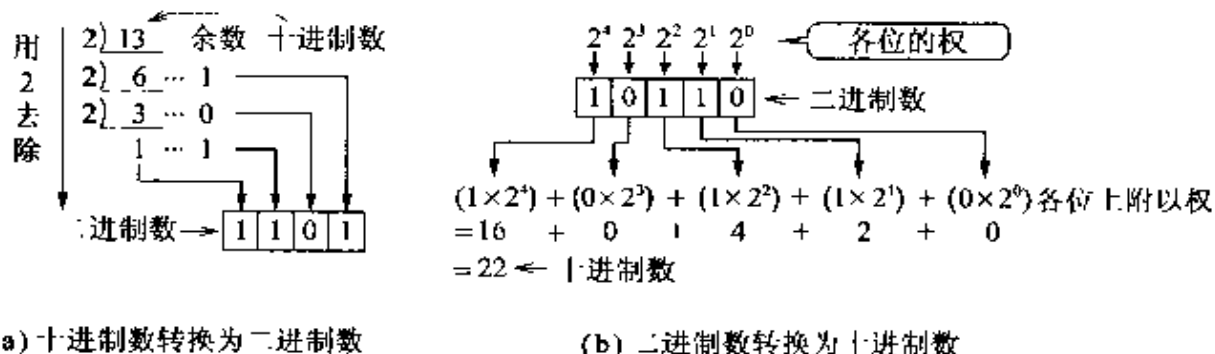


图 9.1 十进制数与二进制数的相互转换

## ● 二进制数的运算

由于二进制数只有“0”和“1”两种数码,因此,在进行四则运算时,只要注意当各位的运算结果超过 1 时,要以 2 为单位向高位进位(逢二进一),其他的基本运算规则与十进制数相同。

## ● 用二进制数表示各种信息

计算机处理的信息都是采用二进制数表示的。换句话说,计算机只能处理由“0”和“1”这两种数码组成的信息。然而,在实际生活中,我们要处理的信息是多种多样的,有负数、小数以及文字等。因此,为了能用二进制数来表示这些信息,需要采用补码、ASCII 码以及 BCD 码等多种变形的二进制码。

补码

ASCII 码

BCD 码

### ● 信息单位

1 位

在计算机中,采用若干个“0”和“1”数码的组合来表示各种信息。我们将只能表示“0”或“1”这 2 种状态的信息单位称为 1 位,它是表示信息量的最小单位。1 位所具有的信息量只有“0”和“1”两种。2 位具有的信息量,通过组合有“00”、“01”、“10”和“11”4

1 字节

种。此外,将 8 位构成的信息单位称为 1 字节。在很多情况下,计算机中的信息量都是以这种字节为单位表示的。一个字节所能表示的信息量为  $2^8=256$  种。

## 相关知识 ● 十六进制数

十六进制数

二进制数是由若干个“0”和“1”排列构成的,对于人来说,利用二进制进行数据的书写和处理非常麻烦。因此,需要考虑使用更简便的形式来书写二进制数,这就是十六进制数。

采用十六进制数表示二进制数非常方便,无须像十进制数转换成二进制数那样的复杂计算,可以直接采用 4 位二进制数替换成 1 位十六进制数的方法实现转换。而且,同一个数,用十六进制书写比用二进制书写需要的位数少得多。因此,通常计算机处理的数据都采用十六进制数表示。十进制数、二进制数和十六进制数的相互关系如表 9.1 所示

表 9.1 十进制数、二进制数和十六进制数的关系

十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...
二进制数	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	10000	10001	...
十六进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10	11	...

### ● 补 码

如果某数 A 与另一数 B 相加,结果等于一个预先规定的固定数 C,则数 A 称为数 B(相对于 C)的补码。

1 的补码

2 的补码

在计算机中,负数的表示和减法运算是采用补码完成的。在采用二进制数表示的补码中,有对 1 的补码(简称反码)和对 2 的补码(简称补码)。在表示负数时,采用的是对 2 的补码。通常,在表示二进制数时,最高位是符号位(正数时为 0、负数时为 1)。例如,用 8 位信息表示带符号的二进制数时,共有  $(00000000)_2 \sim (11111111)_2$  的 256 种不同组合,其中的  $(10000000)_2 \sim (11111111)_2$  的 128 种组合被分配给十进制数的  $-128 \sim -1$ ,剩下

进位

的 $(00000000)_2 \sim (01111111)_2$  的 128 种组合分配给了十进制数的  $0 \sim 127$ 。采用这种分配方法,在忽略进位时, $(11111111)_2$  加 1 的结果等于 $(00000000)_2$ ,即可以用加法来实现减法运算。

## 2 计算机中的基本电路

### □ 要 点

计算机是由各种功能的逻辑电路按不同形式相互连接构成的,包括加法器、编码器、译码器以及触发器等等。采用电路形式实现这些逻辑功能的单元电路称为门 IC 或数字 IC。

此外,逻辑表达式是指描述逻辑电路功能的数学表达式。在设计计算机的控制电路时需要用到逻辑表达式。

### □ 解 释 ● 基本逻辑单元

AND  
OR  
NOT

逻辑电路是通过“0”或“1”这两种信号实现运算的电路。作为构成各种逻辑电路的最基本逻辑单元,有 AND(逻辑与)、OR(逻辑或)、NOT(逻辑非)三种。这些基本逻辑单元的逻辑符号及输入与输出的关系如图 9.2 所示。

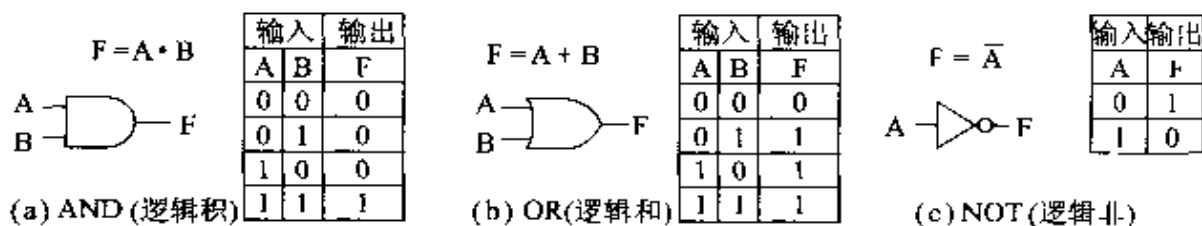


图 9.2 逻辑单元的符号和输入输出

### ● 逻辑表达式

布尔代数  
卡诺图

逻辑表达式是描述逻辑电路功能的数学表达式。复杂的逻辑表达式可以采用逻辑代数(布尔代数)或卡诺图等方法进行化简。逻辑代数的各种运算规则如表 9.2 所示。

表 9.2 逻辑运算规则

① 零律与同一律 $0 + A = A, 1 \cdot A = A$ $1 + A = 1, 0 \cdot A = 0$	④ 对合律 $\bar{\bar{A}} = A$	⑦ 分配律 $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$ $A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$
② 幂等律 $A + A = A, A \cdot A = A$	⑤ 交换律 $A + B = B + A, A \cdot B = B \cdot A$	⑧ 吸收律 $A + A \cdot B = A$
③ 互补律 $A + \bar{A} = 1, A \cdot \bar{A} = 0$	⑥ 结合律 $A + (B + C) = (A + B) + C$ $A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$	⑨ 摩根定律 $\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}, \overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$

半加器  
全加器

编码器

译码器

寄存器  
累加器  
计数器

## ● 加法器

由基本逻辑单元构成的、能够实现二进制数加法运算的逻辑电路称为加法器。它分为只能求出两个一位二进制数相加和的半加器,以及还能将低位进位一起进行相加运算的全加器。

## ● 编码器与译码器

为了能用逻辑电路处理信息,需要实现十进制数与二进制数的相互转换。能够实现将十进制数转换成二进制数的电路称为编码器。与此相反,能够实现将二进制数转换成十进制数的逻辑电路称为译码器。

## ● 触发器

触发器是在信息存储和计数过程中使用的最基本电路。触发器的输出信号不仅与当前的输入信号组合有关,还与此前的电路输出状态有关,故也称为时序电路。将其输出信号反馈至输入端,就能构成对一位信息进行存储和计数的电路,可广泛用于计算机的寄存器、累加器和计数器之中。

## □ 相关知识

### ● NAND 单元与 NOR 单元

在用逻辑门(基本逻辑单元)构成逻辑电路时,如果采用 AND 单元、OR 单元、NOT 单元作为基本元件,就需要多片不同种类的数字 IC 芯片,效率较低。事实上,采用单一的 NAND 单元或 NOR 单元就可以构造出所有的基本逻辑单元。因此,可以说 NAND 单元和 NOR 单元是更为实用的逻辑单元。在实际的逻辑电路中,很多都是采用单一的 NAND 单元构成的。采用单一的 NAND 单元或 NOR 单元构成其他基本逻辑单元的方法可参见图 9.3。

数字 IC  
NAND 单元  
NOR 单元

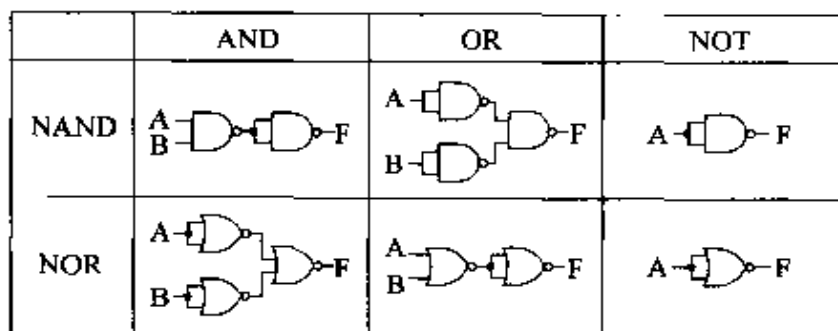


图 9.3 用 NAND 和 NOR 构成的逻辑单元

## ● 数字 IC

数字 IC 是能够实现各种逻辑功能的 IC 的总称。根据电路的

TTL 电平

工作原理,大致可以分成双极型的 TTL 与 DTL、以及场效应型的 MOS 两类。在 TTL 电路中,采用 TTL 电平——用电压的“高(H)”或“低(L)”来表示二进制数的“1”或“0”。计算机就是通过这些数字 IC 产生的电信号进行工作的。根据集成度不同,数字 IC 有多种类型。其中,LSI(大规模集成电路)在一片 IC 中集成了 10 000~1000 000 个门电路,VLSI(超大规模集成电路)则在一片 IC 中集成了 1000 000 个以上的门电路。

LSI

VLSI



## 3 计算机的基本结构

### □ 要点

计算机的基本功能大致可以分为五种：运算功能、存储功能、控制功能、输入功能以及输出功能。计算机就是由实现这五种功能的运算器、存储器、控制器、输入设备以及输出设备（五大设备）构成的。

### □ 解释 ● 计算机的基本结构

计算机是由输入设备、存储器（包括主存储器和外部存储器）、控制器、运算器和输出设备这五种设备构成的。各设备之间通过总线（信号线）按图 9.4 所示的方式相互连接。在这些设备中，输入输出设备以及辅助存储器称为外围设备，主存储器、控制器以及运算器称为处理设备（也称为主机），控制器与完成算术逻辑运算的运算器合在一起称为中央处理单元（CPU）。

外围设备

处理设备

中央处理单元

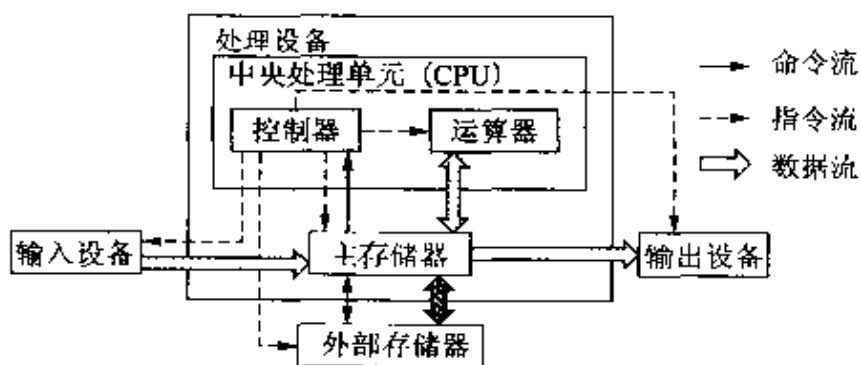


图 9.4 计算机的基本组成结构

### ● 运算器

这是完成数据的算术及逻辑运算的部分，是由用全加器和半加器构成的用来完成运算的电路（ALU）、暂时存放运算结果的寄存器（一种内部存储器）、以及完成计数功能的计数器等电路构成的。在运算过程中，存放在寄存器中的运算数据将被送入 ALU，在 ALU 中按照指令完成运算后，结果还要存放到指定的寄存器。

### ● 控制器

这是负责从主存储器中顺序取出程序，并对其指令进行译码后，按照指令的要求控制各设备工作的电路。

### ● 主存储器（内存）

ALU

寄存器

计数器

**程序存储方式**

现在的计算机一般都是采用程序存储方式进行工作的。在计算机运行前,事先将要执行的指令存储在内存中。而在执行时,由控制器负责逐个取出这些指令,再由运算器完成运算等各种处理。由于运算器内部的寄存器能够存放的信息容量有限,因此,需要根据程序中的指令和数据量,在寄存器之外设置一个存放这些信息的场所。主存储器也称为内存,就是用来存放那些在寄存器中存放不下的程序 and 数据的。内存分为 ROM(read only memory)和 RAM(random access memory)两种类型。为了能够存放大量的数据,这两种存储器都具有很多的存储单元,且每个存储单元都被分配一个地址(编号)。在进行数据的存取时,必须指定存储单元的地址。

内存  
ROM  
RAM

地址

● **输入设备**

指用于将程序或数据输入给计算机的设备,有键盘、鼠标以及 OCR(一种光学文字读取设备)等多种类型。

● **输出设备**

用于将计算机处理的结果以人们能够理解的形式进行输出的设备,包括 CRT(监视器)和打印机等。

● **外部存储器**

外部存储器也称为辅助存储器或二次存储器,是主存储器之外的存储器的总称。在外部存储器的存储媒体中,有软盘、硬盘、磁盘及磁带等多种。在虚拟存储方式下,可以将磁盘存储器的存储空间作为主存储器的扩展部分使用。

**虚拟存储方式****相关知识**

● **I/O 接口电路**

I/O 接口电路(input output unit 的缩写)是在将 CPU 中的数据向外输出或者将外部数据读入 CPU 时,实现外部设备与 CPU 之间的数据交换的中转站。计算机中的外部设备,如键盘、鼠标以及 CRT 等等,都是通过 I/O 接口与 CPU 相连的。

● **总线**

连接 CPU、内存及 I/O 接口等电路的信号线称为总线,可分为地址总线、数据总线和控制总线三种。总线是用各信号线上电压的“高”、“低”表示计算机工作状态的。

地址总线  
数据总线  
控制总线

## 4 计算机的基本动作

**要 点** 中央处理单元(CPU)由各种寄存器、译码器及编码器等电路构成。CPU在执行各种指令时,要以时钟作为同步信号进行同步,使整个系统能够协调一致地工作。

**解 释** ● **寄存器**  
寄存器与主存储器中的内存不同,它位于CPU的内部,由若干个能够存储“0”或“1”的触发器组合而成。

在内存中,每个字节的存储单元都分配了一个地址(编号),通过地址可以区分不同的存储单元。而每个寄存器都有自己的名称,可以通过名称来区分它们而不是使用地址。

### ● 计数器

计数器是一种能够对输入脉冲进行计数的电路,是寄存器中的一种。

### ● 算术逻辑运算单元的基本电路

算术逻辑运算单元由如下的电路构成:

**累加器** 累加器(A寄存器) 用于暂时存放运算数据及运算结果的寄存器。

**全加器** 全加器 能够完成一位二进制数加法运算的电路,由半加器组合构成。

### ● 控制器的基本电路

控制器是由如下的电路构成的。

**指令计数器** 指令计数器 也称为指令地址寄存器或程序计数器,用于存放CPU下次要执行的指令地址。

**指令寄存器** 指令寄存器 用于暂时存放从主存储器送来的、还未送至指令译码器的指令的寄存器。

**指令译码器** 指令译码器 用于对送至指令寄存器中的操作码部分进行译码的电路,它是以译码器为核心构成的。

**指针寄存器** 指针寄存器 也称变址寄存器。在确定要执行指令所需的数据地址时,多数都要加上这个指针寄存器中的数值。

**地址寄存器** 地址寄存器 用于存放根据指令操作数部分或指针寄存器确定的、执行该指令所需数据的地址的寄存器。

### ● 指令的执行

按各寄存器在计算机执行指令中所起的作用,可以将指令的

执行过程分为如下几个步骤(参见图 9.5):

① 按指令计数器指定的地址,取出相应的指令(程序)送至指令寄存器中。

② 送至指令寄存器中的指令,通常都是由操作码部分和操作数部分组成的。

在操作码部分存放了该指令的操作内容,如“进行加法运算”等,而在操作数部分存放执行该指令所需要的数据信息。

③ 将操作码部分的内容送至指令译码器进行指令译码,根据译码的结果,由控制器向各设备发出相应的控制信号,控制这些设备完成相应的操作。

操作数部分的内容包括执行该指令时所需的数据或者存放此数据的地址。如果存放的是地址,还要将它送至地址寄存器中。如果该指令是运算指令,则要将主存储器中的这一地址内的数据送至运算器中完成指定的运算。

④ 返回至①继续执行下一条指令。

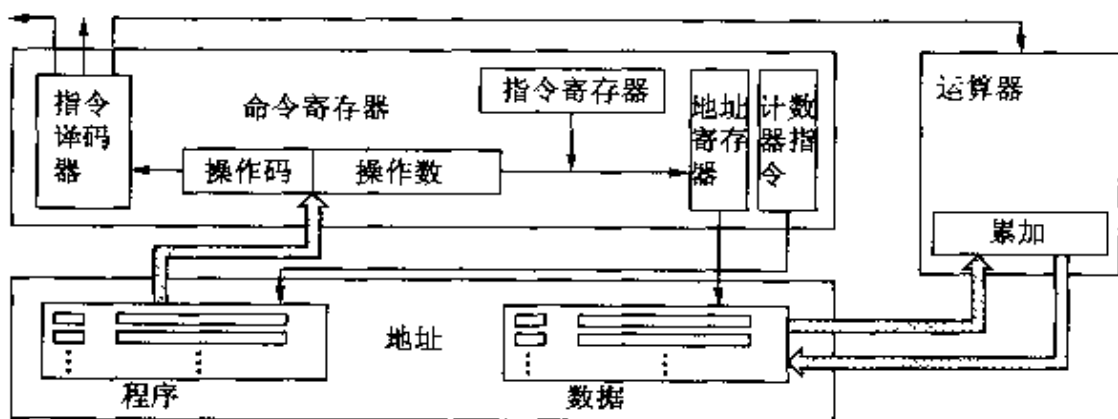


图 9.5 计算机的指令处理顺序

## 相关知识 ● 时钟

时钟是按固定周期连续输出的、电压“高”、“低”交替变化的脉冲信号。CPU 等计算机中的所有部件都要按照这个信号(电压)的变化同步进行工作。因此,时钟的快慢决定了整个计算机系统的工作速度。

## 5 操作系统

### 要 点

操作系统(OS)也称为控制程序,它是一组介于计算机用户和计算机硬件之间,用于管理 CPU、存储器以及输入输出设备的程序与数据集合。这些程序与数据具有提高计算机工作效率、方便用户使用计算机等多种功能。

### 解 释

作业

#### ● 执行管理功能

用户交给计算机的工作称为作业。从用户角度来看,它是一个完整的工作,而从计算机的角度来看则是一个由若干项工作组成的集合,每一项是一个工作单位,称为作业步骤。另外,通过 OS 进行处理的工作单位称为**任务**,一个任务的执行过程是顺序实现该任务的不同状态(顺序执行给定的各条指令)。作业步骤是通过执行一个或多个任务完成的。对于只有一个 CPU 的计算机,可以采取**并行处理**的方式同时执行多个任务,这种方法称为**多任务处理**。从外观上看,多任务处理是在同时执行多个任务。实际上,它是通过在很短的时间间隔内不断地切换执行任务来实现的。为此,需要操作系统具有分配 CPU 执行哪个任务、执行多长时间的执行管理功能。

作业步骤

任务

并行处理

多任务处理

#### ● 存储器管理功能

输入输出等外围设备的速度通常要比 CPU 的工作速度慢很多。如果让一个作业完全占用计算机系统的全部资源,就会降低计算机的工作效率。因此,如果能够将输入输出处理与其他处理分开,使它们能够并行工作,就可以提高系统的工作效率,这种编程方法称为**多级程序设计**。在可以实现同时处理多个作业的多级程序设计中,需要对分配给多个作业的内存单元(主存储器)进行管理。如果系统中的内存容量很大,这种管理比较容易实现。一般来说,计算机中的内存都是有限的,为了能将有限的内存分配给多个作业,现在广泛采用由操作系统控制的**虚拟存储方式**来实现。

多级程序设计

虚拟存储方式

#### ● 作业管理功能

作业管理功能是接收用户交给的作业,并对每个作业步骤的执行直至输出结果的整个工作过程进行控制,所采用的处理方式有**批处理**、TSS(time sharing system)等多种。而对应各种处理方式,作业管理程序为了能够最大限度发挥计算机处理能力,也都具备多种功能。

批处理

TSS

### ● 输入输出管理功能

输入输出管理功能是指对外部输入输出设备进行时序控制,使数据传送等操作能够顺利地进行。另外,由于该功能允许用户使用逻辑设备名来指定输入输出设备,因此,输入输出管理程序可以根据系统所连接设备的信息,将用户指定的逻辑设备名用物理设备名或者设备编号进行替换,并控制相应设备的工作过程。

## □ 相关知识 ● UNIX 操作系统

UNIX 操作系统是 1964 年开发出来的一种操作系统。目前,UNIX 操作系统不仅被用作个人电脑或工作站的标准操作系统,也被用作大型计算机的 TSS 操作系统。

UNIX 操作系统功能完善,不仅具有在以工作站为主的各种计算机之间构建网络的功能,还具有虚拟存储、向 LAN 进行资源分散、多窗口以及过程间通信等功能。

### 虚拟存储

**虚拟存储** 是操作系统根据需要,通过在主存储器和外部存储器之间按页进行存储替换(页方式),从而使计算机系统能够执行需要内存容量比系统实际安装量大很多的过程。此外,通过采用虚拟存储,还可以采用单一的 TSS 来增加系统支持的用户数,提高系统的响应速度。

### 页方式

**页方式** 在执行一个很大的程序时,页方式并不是在调用该程序的时刻将程序中的所有内容都一次性的装入到内存中,而是将整个程序分成若干个页,开始执行时只装入部分内容,根据执行的需要,再将需要的页内容装入到内存中。

### 通信协议

#### TCP/IP

从通信功能上看,由于 UNIX 操作系统有支持各种 LAN 通信协议的子系统,因此,除了 UNIX 系统内部的通信外,不仅能够适应现存的或者将来的 LAN 通信协议,还可以适应 XNS、TCP/IP 等通信协议。

此外,作为过程间的通信功能,UNIX 操作系统还可以在 LAN 的基础上构建用户接口,其典型的范例就是连接 Windows 操作系统。

## 6 编程语言

### 要 点

程序是计算机用户针对要解决的各种具体问题,将求解过程按照某种规定而描述出来的一段文字。作为描述的手段,可以使用机器语言、汇编语言及高级语言等多种。

### 解 释

#### ● 机器语言

机器语言是一种计算机能够直接理解的语言。它是将电压的“高”、“低”对应表示成二进制数的“1”、“0”,以二进制数形式描述的程序。为了便于人们的处理,利用机器语言编程时,多数采用十六进制数来描述。无论何种语言,在实际执行时,计算机最终执行的都是机器语言程序。

#### ● 汇编语言

汇编语言是为了消除书写机器语言指令的繁琐和复杂性而创造出来的一种符号语言。它采用与机器语言一一对应的指令符号来描述程序。这些与机器语言一一对应、便于人们记忆的符号称为助记符。采用汇编语言编写的程序,必须再翻译成相应的机器语言程序才能由计算机执行。将用汇编语言编写的程序翻译成机器语言程序的过程称为汇编。

#### ● 高级语言

高级语言是一种采用易于人们理解的命令来描述程序的语言,分为解释性语言和编译性语言两类。解释性语言在执行时,将源程序中的每条命令翻译成对应的一条条机器语言指令,一边翻译(转换)一边执行,如 BASIC 语言。编译性语言在执行时,先将源程序全部转换成可执行的机器语言,然后再一起执行。编译型语言有如下几种。

**FORTRAN** 这是一种在科学计算中使用最多的高级语言。在注重运算精度的诸多计算中,FORTRAN 是一种不可缺少的语言。然而,这种语言的控制字种类有限,不能进行递归调用,不适于作为结构化程序设计的语言。

**COBOL** COBOL 中的基本运算是针对表格数据的运算,程序也是由表格数据部分和项目运算步骤部分构成的。

**PASCAL** PASCAL 是一种具有较好控制结构的结构化语言,比较适合于作为结构化程序设计语言。

**C语言** C语言原本是一种为了开发UNIX操作系统(OS)创

助记符

汇编

解释性语言  
编译性语言  
源程序结构化程序设  
计

结构化语言

造出来的语言。它不仅具有与高级语言相同的控制结构,而且数据结构与汇编语言齐平,因此,也被称为“低级的高级语言”或“结构化的汇编语言”。C采用符号化的语句,是一种书写简洁的语言。

● 非数值计算语言

非数值计算主要是指符号处理。用于数据库和 AI(人工智能)中的 LISP 和 PROLOG,都是典型的非数值计算语言。

AI

□ 相关知识

● 可执行程序的制作

将用编译性语言编写的程序转换成可执行程序的过程(步骤)如图 9.6 所示。

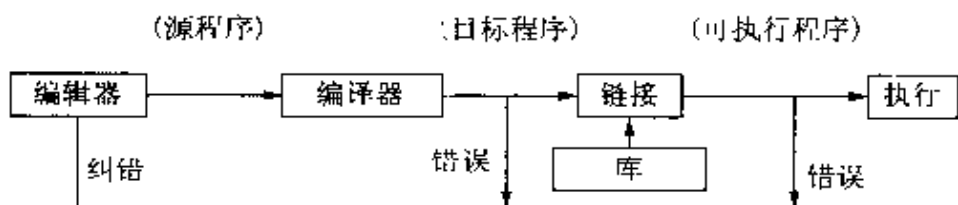


图 9.6 形成可执行程序的过程

● 编辑器

在使用编译性语言编写程序时,要使用编辑器这种编辑程序来编写程序,用编辑器编写出来的程序称为源程序。

● 编译

将源程序翻译成计算机可以理解的目标程序的过程称为编译,完成这种翻译功能的程序称为编译器。

● 链接

目标程序只是将源程序翻译成机器语言程序,而不包含函数等功能。将目标程序与所需函数结合起来的过程称为链接。完成链接的程序称为链接器。函数等功能存放在库文件中,链接就是将这些功能加入到目标程序中,形成可执行程序。

目标程序  
编译  
编译器  
链接  
链接器  
库  
可执行程序



## 7 程序设计

### □ 要 点

程序是在利用计算机处理具体问题,用计算机可以理解的语言(编程语言)来描述具体处理步骤的一段文字。在程序设计过程中,最重要的问题是“问题的分析、研究”和规划出“解决问题的步骤”。

### □ 解 释

#### ● 程序设计

如图 9.7 所示,程序设计分为若下个阶段。其中,算法和数据结构的选取至关重要,直接关系到程序的执行效果,要在充分考虑 CPU 处理能力和系统内存容量的基础上加以确定。

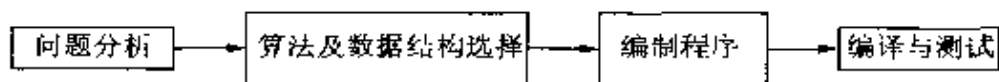


图 9.7 程序设计流程

### 算法

#### ● 算 法

描述解决问题所采取的具体处理步骤称为算法。在解决具体问题时,可以采用的算法有很多。这些算法各具特色,要认真选取,这是至关重要的工作。如果算法使用不当,就会造成程序的执行时间过长、效率低下。

#### ● 流程图











流程图(flowchart)是用易于理解的图形方式,将计算机的处理步骤或程序的处理步骤描述出来的图形。在流程图中,表示数据流向的图形称为数据流程图,表示程序流向的图形称为程序流程图。此外,表示系统流向的图形称为系统流程图。采用流程图描述程序有如下的几个优点:

- ① 使解决问题的方法清晰明了;
- ② 便于跟踪处理步骤,易于发现和修改程序中的错误;
- ③ 在多人协同编程时,能使每人承担的工作内容清晰明确;
- ④ 便于他人阅读自己编写的程序。

在 JIS 中,对流程图中使用的所有图形符号都有规定,其主要图形符号如表 9.3 所示。在绘制流程图时,作为一个原则,流程图的流向应该是从上到下、从左到右。如果在绘制具体的流程图时,出现了与此相悖的情况,则必须在流程线上添加箭头进行标注。

数据流程图  
程序流程图  
系统流程图

表 9.3 主要的流程符号

数据(数据符号)	文档(数据符号)	手工输入(数据符号)	处理(处理符号)	既定处理(处理符号)
 数据输入·输出	 生成阅读文档	 键盘等于 1 输入	 运算处理	 子程序或模块
准备(处理符号)	判断(处理符号)	循环(处理符号)	流线(线符号)	终止(特殊符号)
 数据准备	 根据条件进行分支	 循环的开始和结束	 数据或控制的流向	 程序流程结束

## 相关知识 ● 结构化的程序设计

从整体上看,可以将程序中完成各种处理的程序段看成是构成整个程序的零件(模块)。结构化的程序设计就是按照一定的规则,用这种模块组合构成完整的程序。由于利用这种方法编写的程序更容易理解,从而使得程序开发和改进变得更加简单。在结构化的程序设计中,全部采用只有一个入口和一个出口的基本结构来构造整个程序的流程图。这些基本结构有 3 种(参见图 9.8)。

**顺序结构** 处理的流程是直线式的连接结构(顺序执行各种处理)。

**选择结构** 根据条件决定分支的处理结构。程序的流向是从同一个入口进入,根据条件选择一个分支并经过若干处理后,再由同一个出口出来。这种结构也称为分支结构。

**循环结构** 根据条件重复进行某种处理的结构。

模块

顺序结构

选择结构

循环结构

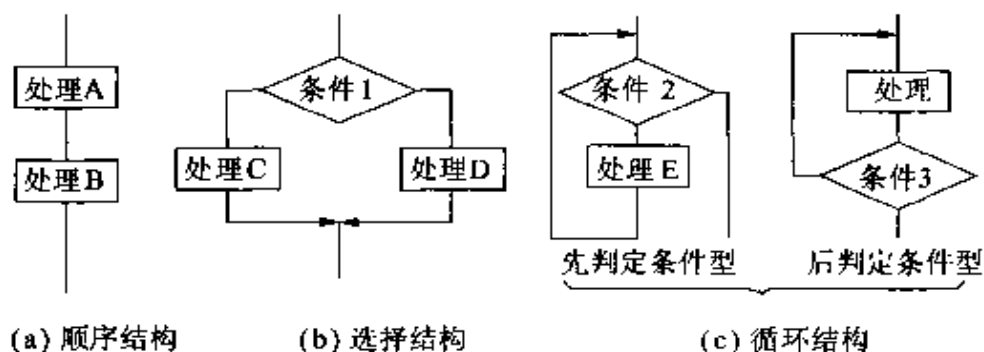


图 9.8 程序的三种基本结构

## 8 数据通信

**□ 要点** 通过电信网将计算机与远程数据输入输出设备相互连接,构成一个集计算机与通信于一体的数字通信网,可以高效地处理广域信息。现在,这种数字通信网正在迅速地普及。

**□ 解释** ● **数据通信的应用**

网络

根据数据通信的用途,可以将数字通信网分为仅仅共享设备、共享存储的信息,以及由此发展起来的具有兼容性的网络互连这3种形式。

● **通信线路的种类**

在进行数据通信时,可以采用的通信线路有两种。即,自己架设的线路或利用 NTT(注:NTT 是日本电报电话公司的英文缩写,相当于中国的中国电信)等通信商提供的线路。在数据通信中,为了使远程终端和计算机连接的通信更具一般性,通常都是采用 NTT 等通信商提供的线路。NTT 所提供的通信线路大致分为如下几种:

直通线路

**直通线路** 直通线路就是采用所谓专线构成的特定通信线路,也称专用线路。采用这种通信线路时,终端之间或者终端与计算机之间是一直连接的。

交换线路

**交换线路** 根据连接的交换网不同,交换线路可以分为模拟式电话交换线路和数字式电信交换线路,而后者又包括数字式数据交换线路(DDX)以及 ISDN。

ISDN

● **数据通信的基本构成**

DTE

DCE

数据传输线路

模拟式线路

调制解调器

数字式线路

DSU

基带信号

时分多路方式

数据通信系统是由图 9.9 所示的计算机系统、数据终端设备(DTE)、数据线路终端设备(DCE)以及数据传输线路等部分构成的。在数据传送线路中,可以分为模拟式线路与数字式线路两种。采用模拟式线路时,从发信方终端输出的数字信号,要通过调制解调器(MODEM)转换成模拟信号后,再发送到通信线路上去。而接收方也要通过调制解调器,将通信线路传来的模拟信号还原成数字信号后,再送给数据终端接收。采用数字式线路时,从发信方终端输出的数字信号,通过 DSU 转换成适合用户传输线路的基带信号后,再送至通信线路上。在传输线路中,采用数字式线路要比采用模拟式线路受噪声及信号电平变化的影响小,可以实现高速、高品质的数据传送。通过采用时分多路方式,还可以轻易地实现

多路信号的同时传输。

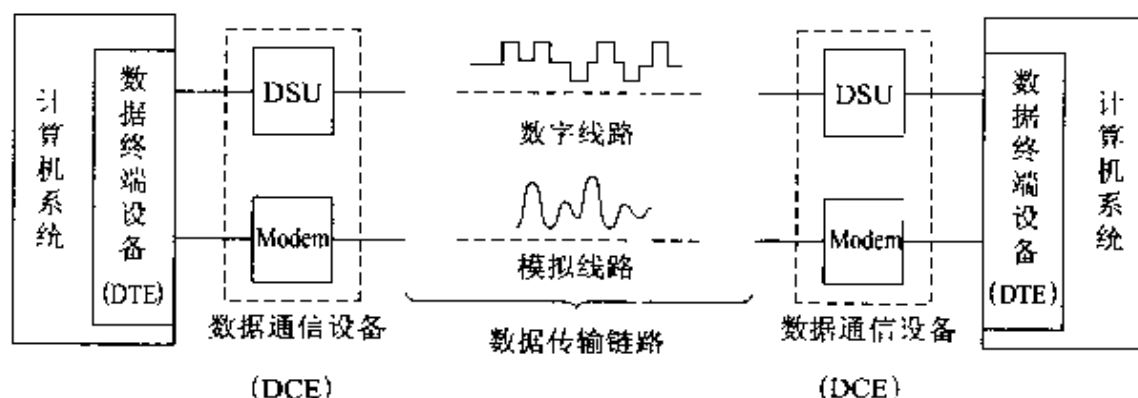


图 9.9 数据通信系统

## 相关知识 ● ISDN

ISDN 也称数字综合服务网。利用 ISDN 可以实现用一个通信网提供原来需分别提供的电话、数字通信、传真、图像等全部通信服务。ISDN 也是构成未来多媒体的核心部分（参见图 9.10）。

多媒体

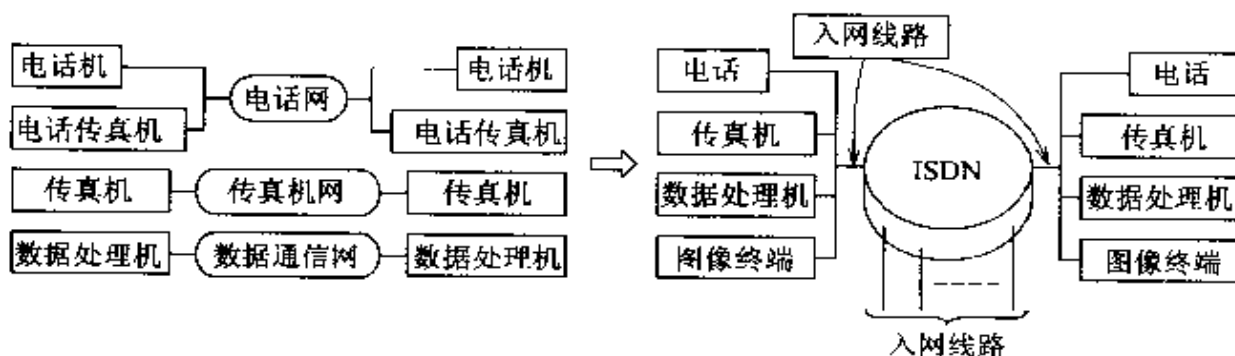


图 9.10 ISDN 梗概

## ● 通信协议

网络上的各种计算机在进行数据通信时，不仅要考虑通信线路上的信号电平等物理特性问题，还必须约定双方采用的文字编码及传送信号的形式等通信规则。通信协议（简称协议）就是在网络内进行通信时必须遵守的通信规则，它对能否顺畅地进行数据通信起着重要的作用。此外，由于现存的通信网种类很多，且分别使用不同的通信协议。因此，随着网络化的发展，在进行不同网际的互连时，需要进行不同种类的协议转换。

协议转换

## 9 计算机网络

**要 点** 计算机网络是利用通信方式,将大量独立的信息资源有机地结合起来而构成的一个具有更强功能的综合性系统。典型的计算机网络有 LAN 和 VAN 等多种。

**解 释** ● 计算机网络的分类

根据计算机网络的运用形式及范围,可以大致将其分为两类。一类是覆盖范围很大的广域通信网(WAN),另一类是限定在本地通信的局域通信网(LAN)。在 WAN 使用的通信线路中,有专用线路、卫星线路和公共电话线路等多种。在 LAN 使用的通信线路中,有以太(或同轴电缆)、光纤、局域电话交换机等多种。

● 计算机网络的基本结构

网络是指通过连线将点与点相互连接构成的网状结构,这些点称为节点,连接各个节点之间的连线称为线路。因此,在计算机网络中,网络上连接的各个终端就相当于节点,连接各终端之间的通信线路就相当于线路。有如下的几种计算机网络结构。

**分散型网络**(参见图 9.11) 这是将分散在各区域内的终端通过通信线路连接起来构成的自然型网络。在这种网络中,虽然各终端间的通信连接时间较短,但随着终端数目的增加,通信线路的数目将会激增,网络也会变得十分复杂。

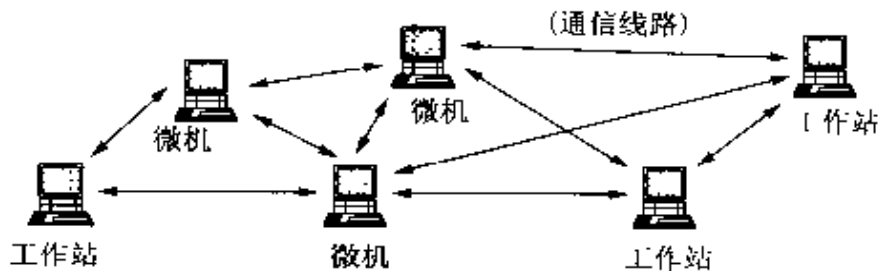


图 9.11 分布式计算机网络

**星型网络**(参见图 9.12) 这是将宿主计算机置于中心节点上,各终端以宿主计算机终端的形式连接构成的网络。具有附加功能的通信网(VAN)等网络就是采用这种结构构建的。在这种网络中,由于各终端必须通过作为中转站的宿主计算机进行通信,因此,信息的传输路径将会变长,而且宿主计算机的停机会造

WAN  
LAN  
以太  
光纤

节点  
线路

宿主计算机

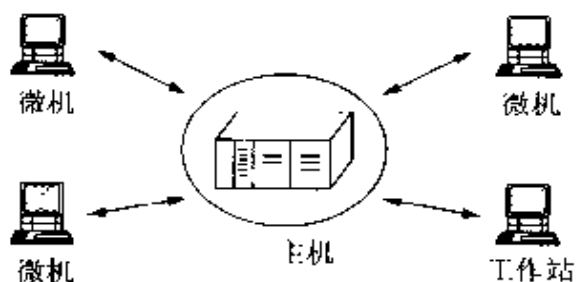


图 9.12 集中式计算机网络

成网络整体瘫痪。

**环型网络**(参见图 9.13) 用一根单方向的线路(主要为光缆),将各终端连接成环形所构成的网络,主要用于 LAN 中。

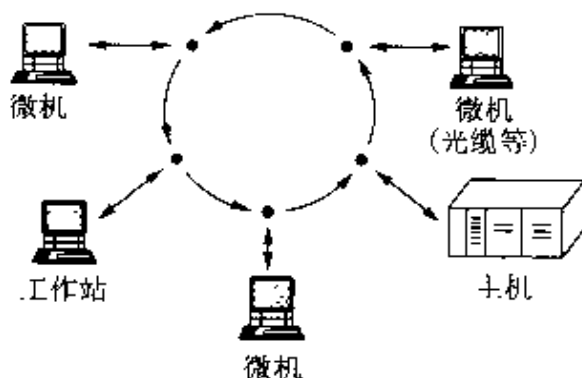


图 9.13 环型计算机网络

**总线型网络**(参见图 9.14) 将多个终端连接到一根通信线路上构成的网络。LAN 中的以太网就采用了这种结构。

以太网

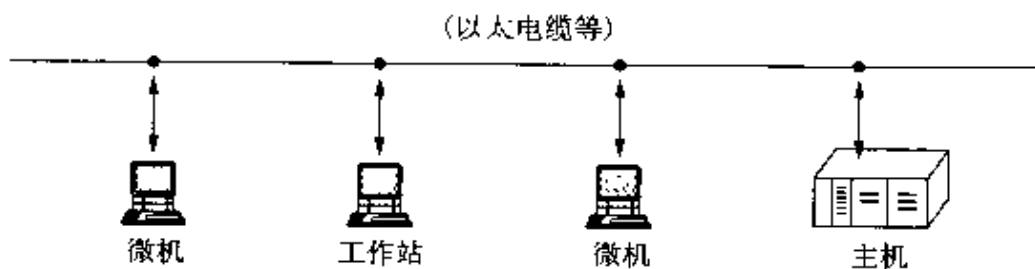


图 9.14 总线型计算机网络

相关知识 ● VAN

这是借用第一类通信商的通信线路,将很多不固定的计算机

**协议转换**

或终端设备连接起来构成的网络。它不仅能实现信息传递,还能够根据需要完成信息交换、存储及处理。由于 VAN 网络可以实现不同协议(协议是指对传送步骤及信息格式等等进行的规定)间的**协议转换**,因此,使用这种网络时,即使是遵守不同协议的计算机之间,也可以自由地进行通信。

**服务器****● 服务器与客户机**

计算机网络中的**服务器**是指能够根据数据终端设备的要求提供服务的计算机。它分为打印服务器、文件服务器等多种。与此相对地,向服务器提出服务要求的数据终端称为**客户机**。通过服务器,客户机可以更有效地共享网络资源。

**客户机**

# 10 因特网

## □ 要 点

普通电脑通信网是结构固定的网络(局域网或广域网),而因特网则是利用 TCP/IP 协议作为通信方式,将各种网络互连而构成的一个没有中心节点的网络。通过网络账号,用户可以获得电子邮件、电子公告、远程登录、文件传输以及 World Wide Web 等多种服务。

## □ 解 释

### 电子函件

#### ● 电子函件

电子函件(E-mail)与通过邮政机构进行的信件传递相似,是一种通过因特网在不同计算机之间进行信件传递的方法。由于利用 E-mail 传输的信件全部经过数字化处理,因此,可以在信件中加入声音或图像信息,甚至还可以对接收到的信件进行再加工。

### BBS

#### ● 电子公告

电子公告也称 BBS,是因特网上的公告栏。它与传递给特定人的电子邮件不同,可以将信件同时传递给不固定的很多人。此外,利用 BBS 还可以从不同人发送来的信件中收集自己所需要的信息。在电子公告栏中,各种信件按新闻组的形式进行分类,从而使连接在因特网上的全世界的人们都可以利用计算机进行对话。

### 新闻组

### 远程登录

#### ● 远程登录

通过远程登录(telnet),用户可以将自己的计算机作为一个网络终端使用,还可以像使用自己的计算机那样使用网上那些并没有与自己的计算机直接相连的计算机。

### 文件传输

#### ● 文件传输

在因特网上,所有计算机能够处理的媒体,如文字、数字、图像、声音、动画以及程序等,都是通过 TCP/IP 的文件传输协议(ftp)以文件形式传输的,进而实现不同计算机之间的信息交换。因此,利用文件传输不仅可以向其他系统传送文件,还可以从大量的文件夹中下载文件。

### 文件夹

#### ● World Wide Web

### WWW

### 超文本结构

### 网页

### 主页

### URL

World Wide Web(WWW,万维网)是一种采用超文本结构获取因特网上各种信息的系统。这种超文本结构如图 9.15 所示,其特点是具有从文本到文本的 3 维链接结构。为了使用户在 World Wide Web 上能够读到这些信息而制作的页面称为网页(Web Page)。在多层结构中,最高层的页面称为主页。所有页面都带有 URL



(统一资源定位器)地址。通过指定 URL 地址,用户就可以访问所需页的信息。

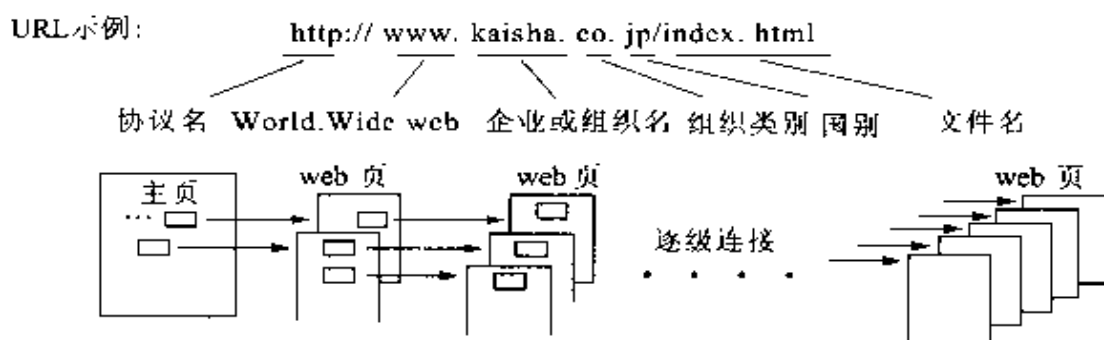


图 9.15 超文本的结构

## 相关知识 ● TCP/IP

### TCP/IP

TCP/IP 是在很多计算机网络中普遍采用的一种通信协议,用于实现不同机种的计算机之间或者不同网络(网际)之间的通信。对应 OSI(开放型系统互连)模型,TCP 相当于传输层,IP 相当于网络层。IP 是无链接型的网络协议,能够提供在因特网上接收和发送数据包的功能。而 TCP 是有链接型的网络协议,它以网络层的 IP 为基础,构造过程间的实际传送步骤,从而实现高可靠性的数据传输功能。

### OSI

## ● 网络账号

### 网络账号

网络账号是一种包含使用服务许可、使用者标识、交费信息等多种信息的标志。非宿主计算机的用户在使用因特网时必需输入网络账号。网络账号可以通过与提供因特网服务的服务商签约来获得。

### 服务商

## ● WWW 浏览器

### WWW 浏览器

WWW 浏览器是一种供用户浏览主页的软件,能以图像和文字混合排列的形式提供视觉信息。使用 WWW 浏览器可以轻松地实现从一个主页到另一个主页的网上冲浪。

### 网上冲浪

## 第10章

# 控制技术

在第8、9章中，我们分别介绍了电气电子技术和信息技术的有关知识，本章将介绍具体应用这些知识实现的控制技术。机械设备的发展与控制技术的进步密切相关，而计算机小型化和高性能化的飞跃发展，也提高了机械设备的性能。甚至可以说，目前的机械设备的性能直接取决于所采用的控制技术的优劣。

本章以有代表性的控制方法，即顺序控制、反馈控制方法为中心进行阐述。这是两种基本的自动控制方法，希望读者反复阅读、认真理解。

- 责任编辑  
山下省藏
- 执 笔  
天野一美

# 1 自动控制

**□ 要点** 所谓自动控制就是为了达到某种目标,利用控制器使机械设备或装置自动地进行操作的过程。

**□ 解释** ● **自动控制系统的基本构成**

可以说,人在操作机械设备时采用了这样的基本操作次序:通过眼睛和耳朵等感觉器官收集必要的信息,用头脑思考、判断,再用手或脚操作机械设备。为了代替人类完成这些功能,以“通过分析、判断输入信息进而发出操作指令的控制装置(控制器)”为中心,配合以“收集信息形成输入的传感器”和“进行操作驱动的执行装置”等构成了自动控制系统(参见图 10.1)。

自动控制系统

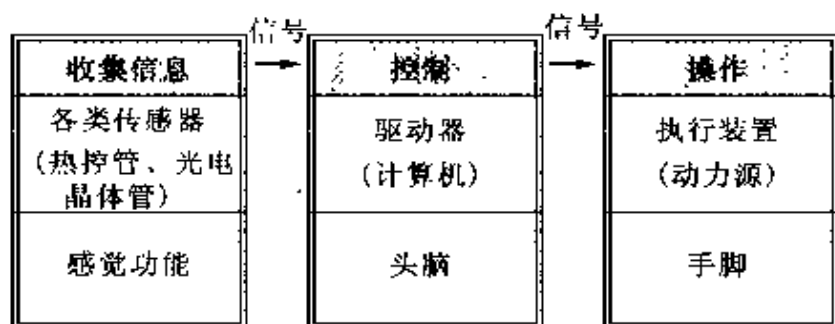


图 10.1 自动控制系统的构成

## ● 控制设备

控制设备

控制设备也称为驱动器,包括与机械设备进行连接的“信号输入、输出部分”和实施控制任务的“控制部分”。“控制部分”通常是计算机。由于计算机的使用使系统体现出了如下的特征。

① 控制设备小型化:由于使用微型计算机,可以将控制设备置于照相机等小型机械设备中,使整体机械设备小型化。

② 控制内容柔性化:用程序设置控制内容,也可以通过程序改变控制内容,从而形成柔性的控制。

## ● 传感器

传感器

传感器是将光或温度等的物理量或化学量转换成电信号的器件。在控制系统中,利用传感器将所需的信息通过信号处理电路转换为电信号并输入控制设备。由于传感器产生的信号通常为模

拟信号,要用计算机将其转换成数字信号后再输入给控制设备(参见图 10.2)。

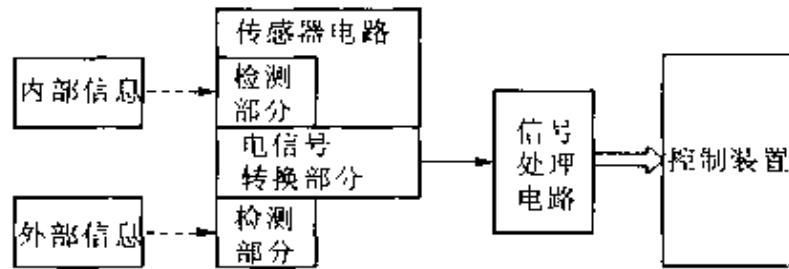


图 10.2 传感器的构成

传感器包括检测机器或设备内部信息的内传感器和检测外部信息的外传感器,而难点通常集中在外部信息的检测。在检测方法中,有直接检测对象的检测方法,如炉温检测等,也有间接检测方法,如用光电编码器通过光或磁作为介质来检测电动机的转速等。

● 执行装置

执行装置

执行装置是将电气等物理能量转换成旋转等机械动能的装置,其中的能源包括电和流体。图 10.3 中给出了自动控制中使用的执行装置的种类。

在控制系统中,执行装置经常是采用能将电能转换成旋转的动能的电动机,尤其是可以控制旋转速度的伺服电动机。

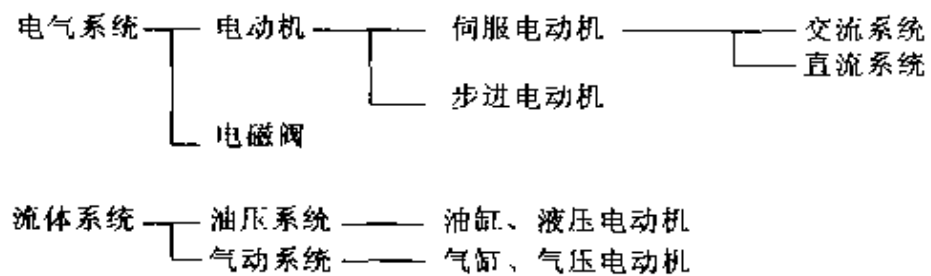


图 10.3 控制系统执行装置的分类

## 2 自动控制种类

**要 点** 自动控制大致可分为顺序控制和反馈控制两大类(参见图 10.4)。

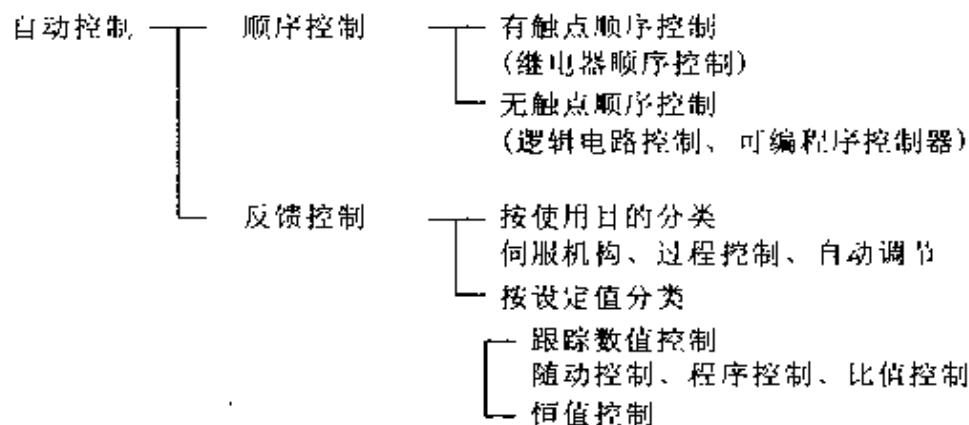


图 10.4 自动控制的分类

### 解 释 ● 顺序(程序)控制

顺序(程序)  
控制

所谓顺序(程序)控制,就是指“按照预先规定的顺序,依次地进行各种操作”,也称为程序控制。举一个简单的例子,如图 10.5 所示,有蓝、黄和红三种灯泡,设定其通电的时间,并根据设定的顺序反复开、关就实现了“交通信号机”的控制方法。通常,按着一定的顺序进行操作而使机械设备运转的场合很多,故顺序控制可以说是自动控制中最基本的控制方法。

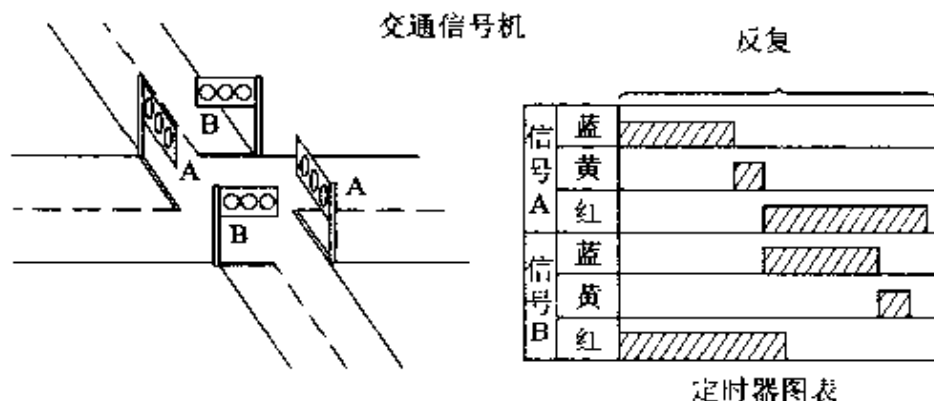


图 10.5 顺序控制示例(交通信号机)

● 反馈控制

反馈控制

所谓反馈控制,就是将反馈值与指定值进行比较,并通过校正使二者一致的控制方法。例如,为了控制电炉的温度,需要经常对电炉内的温度进行测量,并将测量值与指定炉温比较,且常常采用反馈法控制电炉加热以使二者一致(参见图 10.6)。

● 有触点顺序控制和无触点顺序控制

触点就是通过机械式的开关来随时控制有无电流通过的元件。表 10.1 中列出了有触点方式和无触点方式的优、缺点。

有触点顺序控制

有触点顺序控制 使用电磁继电器或时间继电器等器件控制机器的触点,构成控制电路的顺序控制,代表示例为图 10.7 所示的电磁继电器。

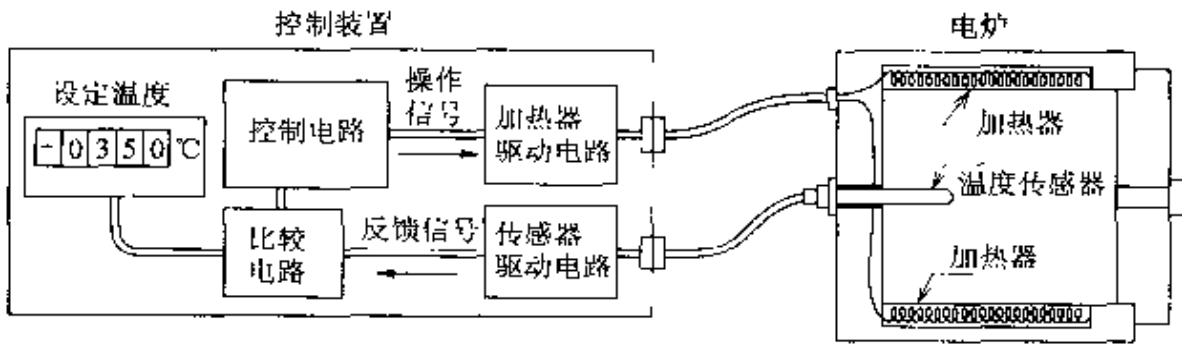


图 10.6 通过反馈控制方法控制电炉温度的例子

表 10.1 有触点和无触点方式的比较

比较项目	有触点	无触点
处理速度	比较慢	快
处理电功率	可以大容量	小容量
消耗电功率	比较多	少
装置	大	小
寿命	比较短	长
维修	需要	简单

无触点顺序控制

无触点顺序控制 这是指使用逻辑电路(IC)或微处理器的电子电路构成的控制电路,是没有触点的顺序控制,代表示例为图 10.8 所示的无触点继电器。

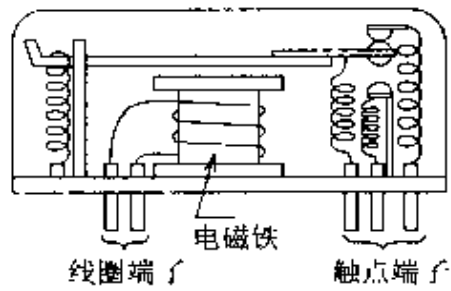


图 10.7 电磁继电器

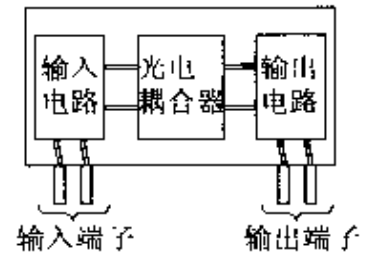


图 10.8 无触点继电器

# 3 顺序控制的表示方法

**要点** 可以使用顺序图、时间图表等来表示顺序控制的内容。

**解释** ● **顺序图**

顺序图

顺序图也称为展开接线图,是表示根据控制内容连接控制机器的配线图,其各符号的画法由 JIS 规定。

在顺序图中,有表示电源线的控制母线、连接触点和控制机械的连接线,且分为将连接线按纵向画法画出的纵向顺序图(参见图 10.9)和按横向画法画出的横向顺序图(参见图 10.10)。控制动作的顺序从左到右或者从上到下。

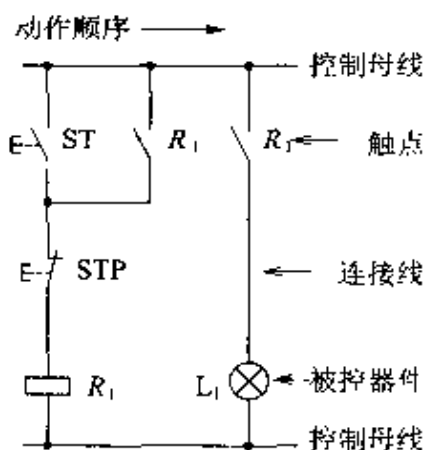


图 10.9 纵向顺序图

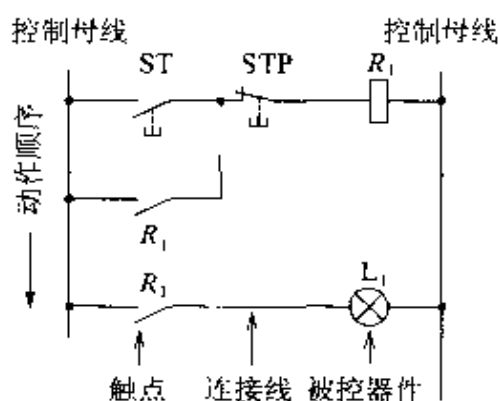


图 10.10 横向顺序图

● **图形符号**

图形符号

顺序图中采用的图形符号包括 JIS 中规定的电气用图形符号中的基本图形符号和触点以及控制用开关系列 1。为了表明位置等信息,附加相应的文字说明(参见图 10.11)。

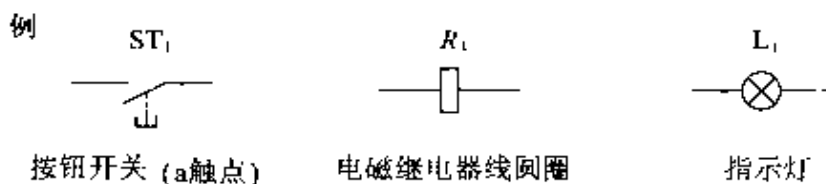


图 10.11 图形符号



## 时序图

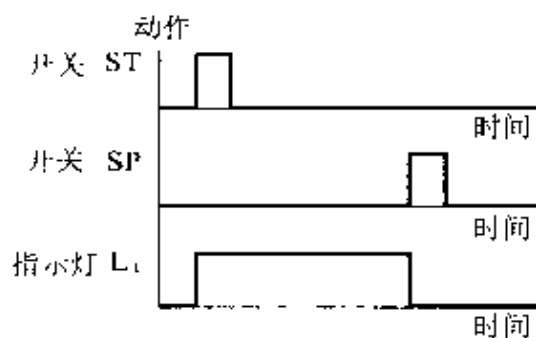


图 10.12 时序图

## ● 时序图

时序图是指表示每个时刻的触点和控制机械的动作情况的图。图中的横轴表示时间,纵轴表示启、停

图 10.12 所示为按下开关 ST 时,指示灯 L<sub>1</sub> 亮灯,接着按下开关 SP 时,指示灯熄灭的动作时序图

小例。

## ● 触点符号

## a 触点

**a 触点** 通常是常开的触点。使其动作就是指使触点闭合(参见图 10.13(a))。

## b 触点

**b 触点** 与 a 触点动作相反的触点。通常是常闭的,使其动作就是指使触点断开(参见图 10.13(b))。

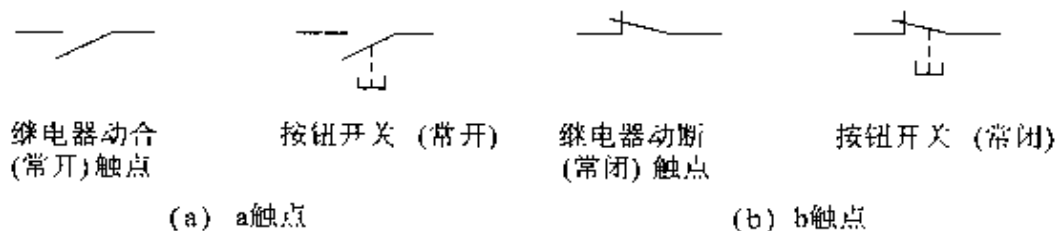


图 10.13 符号示例

## ● 简单的应用示例

图 10.14 显示了进行下述控制的顺序图和时序图。

控制:按下按钮开关 ST 时,指示灯 L<sub>1</sub> 亮在经过定时器 TM<sub>1</sub> 中所设置的时间后熄灭。

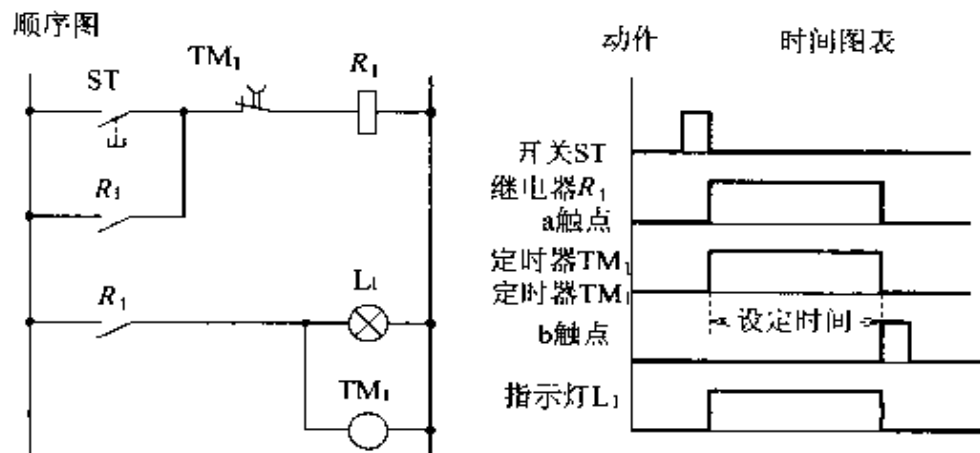


图 10.14 使用定时器(时间继电器)开关控制示例

## 4 有触点顺序控制

### 要 点

有触点顺序控制是根据控制内容,对具有机械触点的继电器或定时器等控制器件进行布线的控制电路,是以前沿用的顺序控制。由于有机械触点,所以在处理比较大电流的机械控制中使用,控制电路和驱动电路可以一起实现。

### 解 释

继电器

#### ● 主控制机械

**继电器** 有触点继电器利用电磁继电器或电磁接触器等电磁力开闭其触点。如图 10.15 所示,当继电器的电磁线圈中流过电流时,吸合被磁化的衔铁,使原来连接的触点开或闭。这种继电器有拍合式和插棒式两种,且以拍合式为主,使用在控制电路中。插棒式(接触器)继电器主要使用在驱动电路中。

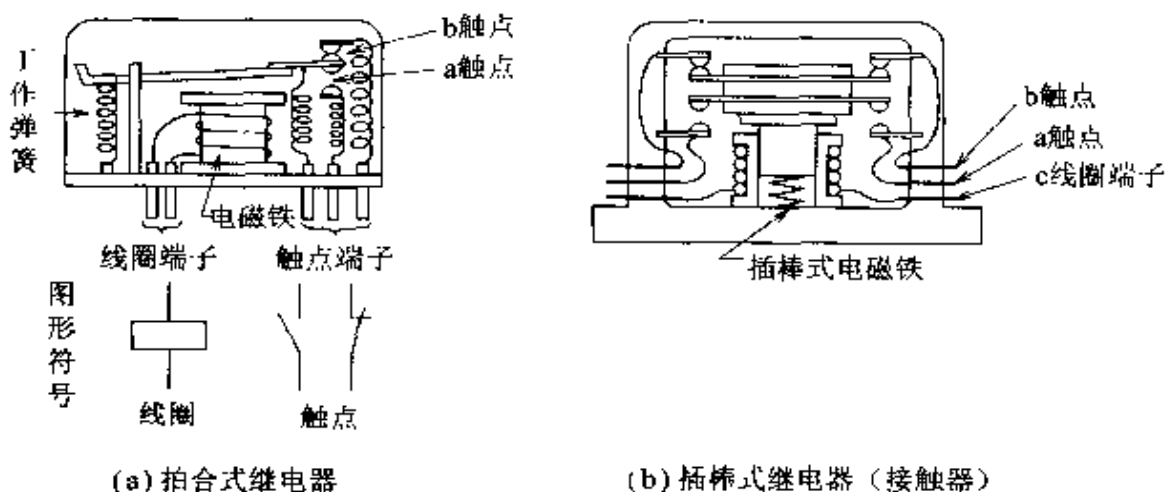


图 10.15 继电器

定时器

**定时器** 用时间控制实现触点动作的器件,有限时动作(ON形)和限复位动作(OFF形)(参见图 10.16)。

**限时动作:** 定时器通电并达到设定时间后,触点动作;电流停止时,触点复位。

**限制复位动作:** 定时器通电时,触点动作;断电并达到设定时间后,触点复位。

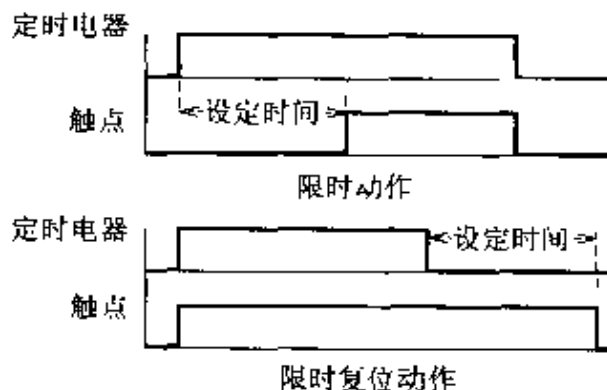


图 10.16 定时器的时间图表

## 相关知识 ● 简单电路例子

### 自保持电路

**自保持电路** 也称为记忆电路,利用开关等实现输入,即使输入停止也可保持输出结果的电路。

电路的示例如图 10.17 所示,当按下按钮开关 ST 时,指示灯 L<sub>1</sub> 亮。此时,即使断开开关,指示灯 L<sub>1</sub> 仍不会熄灭,直至按下按钮开关 STP 时,指示灯 L<sub>1</sub> 才熄灭。此为基本电路之一。

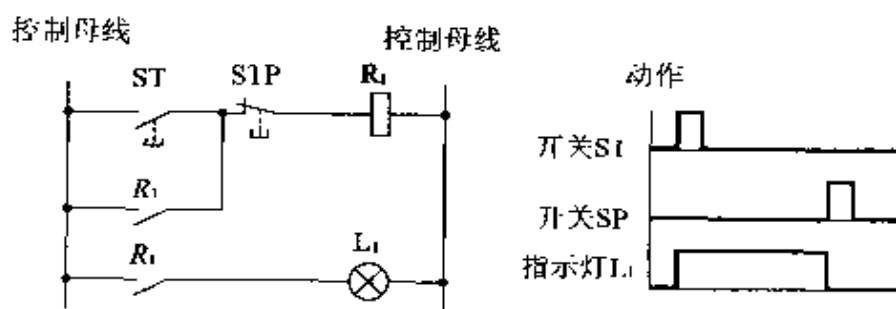


图 10.17 自保持电路的例子

### 开关电路

**开关电路** 如图 10.18 所示,当按下按钮开关 ST 时,指示灯 L<sub>1</sub> 和指示灯 L<sub>2</sub> 交替点亮。点亮的时间由定时器 T<sub>1</sub> 和定时器 T<sub>2</sub> 的设定时间决定。

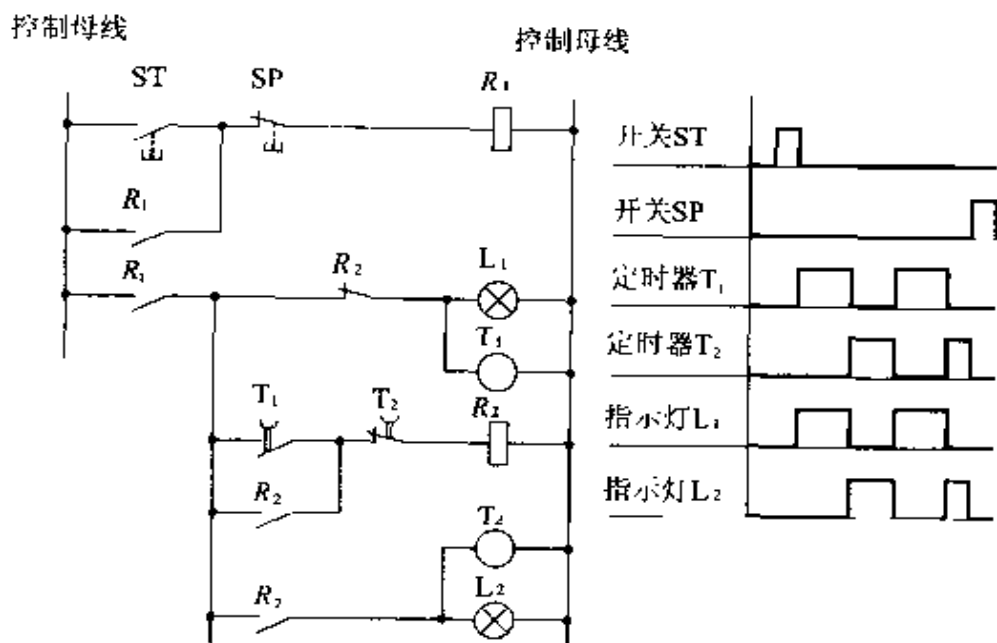


图 10.18 开关电路

## 5 无触点顺序控制

### 要 点

无触点顺序控制是一种没有机械触点,仅用逻辑电路等根据控制目标构成控制电路的控制方法。此方法利用计算机构成的可编程控制器能够达到用程序设置控制内容的目的。

### 解 释

#### 可编程控制器

#### ● 可编程控制器

可编程控制器是一种可用程序设定控制内容,具有通用性的控制装置,目前已普遍使用。由可编程序控制器构成的控制电路如图 10.19 所示。

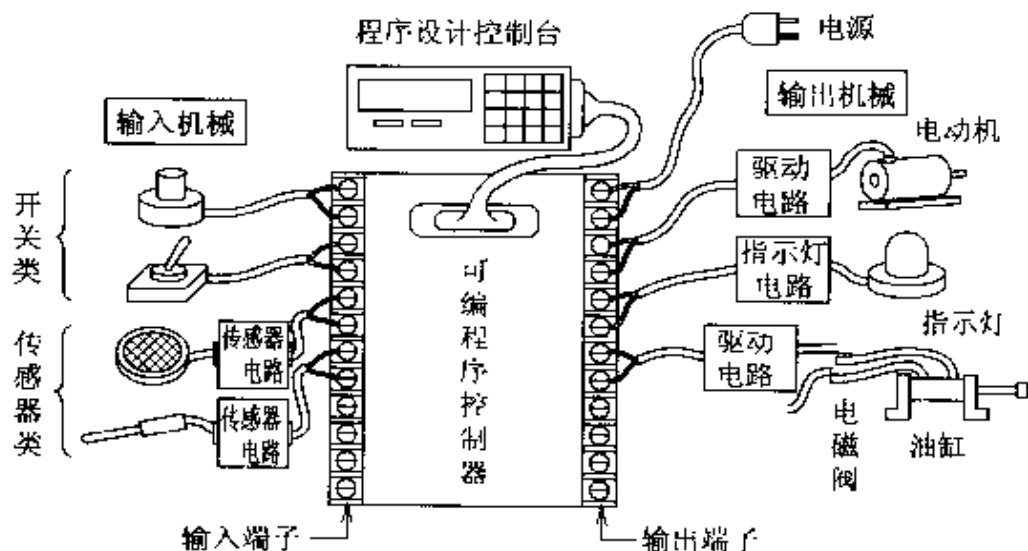


图 10.19 可编程序控制器的控制构成

**信号输入部分** 接收来自开关或传感器的输入信号的端口。

**信号输出部分** 向控制对象输出信号的端口。

**控制部分** 用计算机进行控制处理的主要部分。

**程序输入部分** 此为实现在控制程序的输入设备,包括连接附有键盘的控制台以实现输入的方法,以及用 ROM 写入器写入控制程序后的 ROM IC 的安装方法。

### 相关知识 ● 控制程序的设计

控制程序的设计方法包括由有触点的横向顺序图出发的“指针图表法”和由控制内容流程图出发的“流程图法”。其中,以指针图表法较为常用。所谓指针图表法就是将横向顺序图按阶梯形画

出的方法。根据控制器制造厂家的不同,控制程序也有差异,但基本内容是一致的。对于图 10.20 所示的指示灯控制装置,其开关控制的指针图表和程序示例由图 10.21 给出。

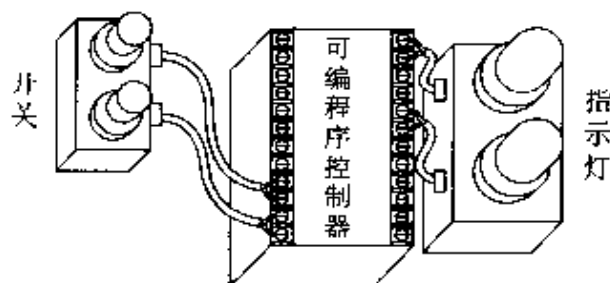
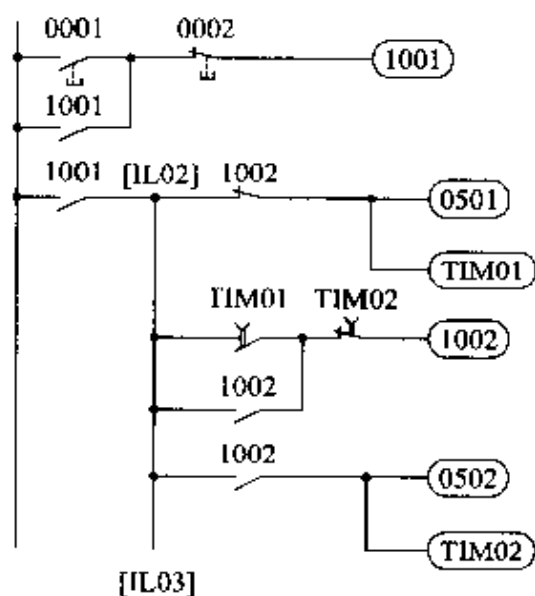


图 10.20 指示灯控制装置

横向顺序图



程序

地址	指令	数据
0000	LD	0001
0001	OR	1001
0002	ANDNOT	0002
0003	OUT	1001
0004	LD	1001
0005	FUN(02)	
0006	LD NOT	1002
0007	OUT	0501
0008	TIM	01 #0050
0009	LD	TIM01
0010	OR	1002
0011	ANDNOT	TIM02
0012	OUT	1002
0013	LD	1002
0014	OUT	0502
0015	TIM	02 #0050
0016	FUN(03)	
0017	FUN(01)	

图 10.21 顺序和程序

# 6 反馈控制的基础

□ 要

点

所谓反馈控制是指为了与指定(目标)值进行比较并达成一致而将控制量返回(反馈)控制部分并进行校正的控制方法。

□ 解

释

● 反馈控制的种类(参见图 10.22)

按照控制量的性质分类

① 伺服机构 以转速、位置或状态为控制量,可跟踪任意变化目标值的控制机构。伺服电动机即是其中一例。

② 过程控制 通过物理方法或化学方法处理,如石油炼制的原料等的产品加工过程称为工业过程。用于工业过程中的以温度或流量等状态量作为控制量的控制称为过程控制。

按照目标值性质分类

① 恒值控制 控制目标值恒定、不随时间变化的控制。

② 跟踪控制 控制目标值随时间变化的控制,包括:

• 随动控制 跟踪任意变化的目标值的控制,如汽车的驾驶盘和前车轮舵角的控制等。

• 顺序控制 目标值的变化预先设定的顺序化的控制,如热处理炉内温度的控制等。

伺服机构

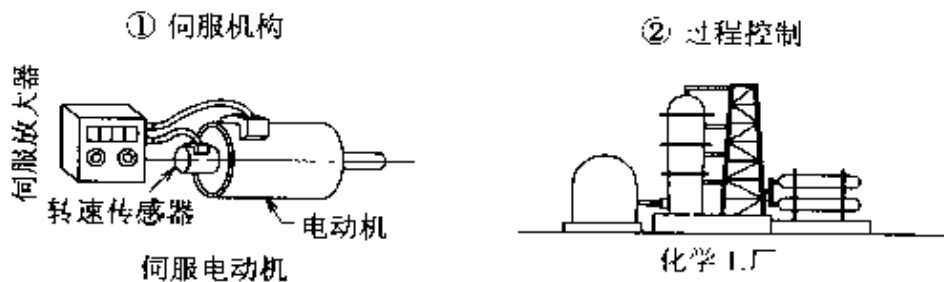
过程控制

恒值控制

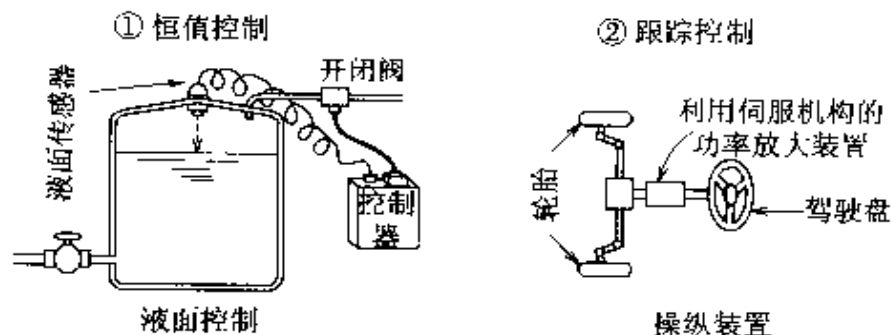
跟踪控制

随动控制

顺序控制



(a) 控制量的性质



(b) 目标值的性质

图 10.22 反馈控制的种类

## 相关知识 ● 控制的处理方法

反馈控制就是使目标值和控制量之间的偏差为零的目标控制。为了确定控制量,可以采用断续的开、关控制和连续的 PID 控制等处理方法。

### 开关控制

**开关控制** 例如,为了控制加热器温度,可以采用使加热器开、关来控制温度的控制方法(参见图 10.23)。这种方法简单,但不能实现高精度的控制。

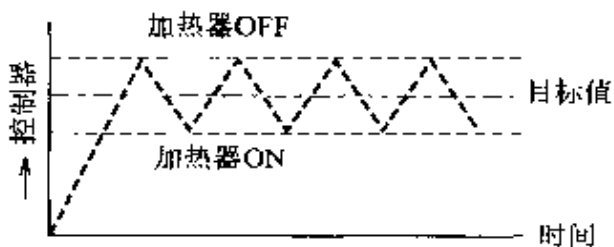


图 10.23 开关控制

### PID 控制

**PID 控制** 这里, P(proportion), I(integral) 和 D(differential) 分别表示比例、积分和微分,这是一种利用上述三者进行运算并以此确定控制量的控制方法(参见图 10.24)。使用 PID 控制加热器时并不是控制加热器的开关,而是采用控制加热量以逐渐接近目标值的控制方法。

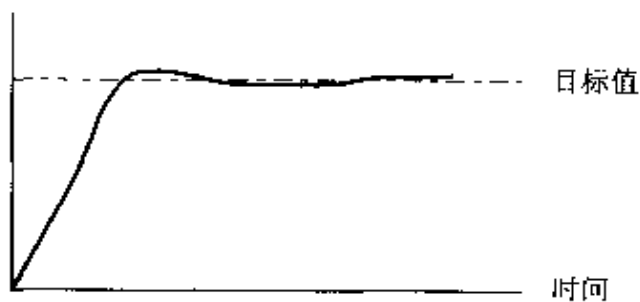


图 10.24 PID 控制

## 7 反馈控制的应用示例

**要 点** 伺服电动机是反馈控制中使用的有代表性的设备,具有控制转速或旋转量的功能。

**解 释** ● 伺服电动机的控制机构

如图 10.25 所示,由伺服电动机、转速传感器、控制电路、驱动电路和传感器电路等构成

伺服电动机

**伺服电动机** 包括直流和交流伺服电动机。直流伺服电动机的控制性能较好,可用于 OA 机器等要求小输出功率的场合。而由于交流伺服电动机很容易获得大输出功率,故可应用在数控机床或工业用机器人等大中型的机械设备中

**转速传感器** 安装在电机轴上的、检测转速或旋转量等的装置。有光电式和电磁式两种转速传感器,而多数情况下采用前者。来自传感器的信号经传感器电路放大、调整后通过信号电路转换成控制信号,并输入到控制电路。

**控制电路** 为了使控制量接近目标值,控制电路将设定的目标数据和从转速传感器测得的数据(反馈信号)进行比较,并将必需的驱动数据输出给驱动电路。

**驱动电路** 根据驱动数据使电机旋转,输出驱动电流。

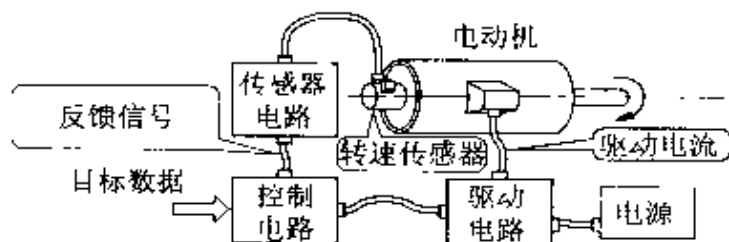


图 10.25 伺服电动机

**相关知识** ● 转速传感器

转速传感器  
光电式转速  
传感器

伺服电动机中使用的转速传感器有光电式和电磁式两种。

**光电式转速传感器(光电编码器)** 如图 10.26 所示,光电式传感器的原理为,当发光元件的光通过圆盘圆周上的槽输入给接受光的元件时变成光信号,通过传感器电路和信号电路形成电信号并输入给控制装置。光通过槽时的电信号为高(H)信号,光被



遮蔽时的电信号为低(L)信号,圆盘一旋转即转换成脉冲信号,且脉冲数的多少即为转速数据。

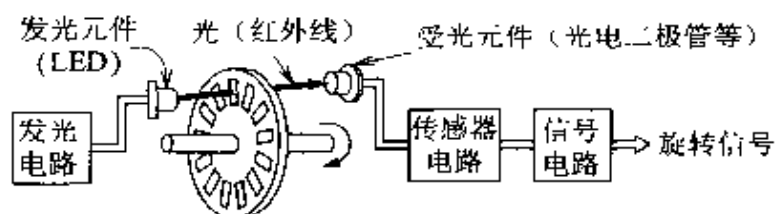


图 10.26 光电编码器的基本构成

**电磁式转速传感器** 包括使用电磁铁及磁性传感器的方法和使用发电机原理等构成的传感器。

### 电磁式转速传感器

① **电磁式转速传感器** 如图 10.27 所示,在转轴的圆周上交替嵌装 N、S 极电磁铁,用磁性传感器检测极性。旋转时,磁性传感器的信号形成脉冲信号,从而可以检测转速。

② **测速发电机传感器** 因为发电机的电压与转速成正比,所以,通过测定电压就能检测转速。将发电机的电信号通过传感器电路和信号电路形成转速数据,从而实现了对转速的测量。

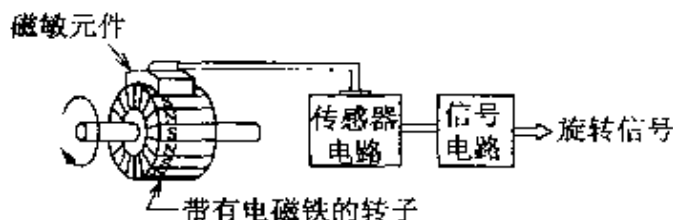


图 10.27 电磁式转速传感器

## 8 计算机控制基础

**要 点** 所谓计算机控制是指为了适应某种目标,将机械设备或装置用计算机来控制,以使其能够自动地进行操作。

**解 释** ● 计算机控制的概要

计算机控制

人使用眼睛、耳朵、手或脚等器官来操作机械设备,而计算机则是通过处理输入、输出信号来操作机械设备。计算机本身处理的信号为数字信号,而实际上处理的是类似“5V”、“0V”的电气信号。作为控制对象的机器要通过接口和计算机相连,用它进行信号的输入和输出。

此外,人和计算机要利用人机界面进行交互,包括显示信息用的显示器等输出设备和输入指令用的键盘等(参见图 10.28)。

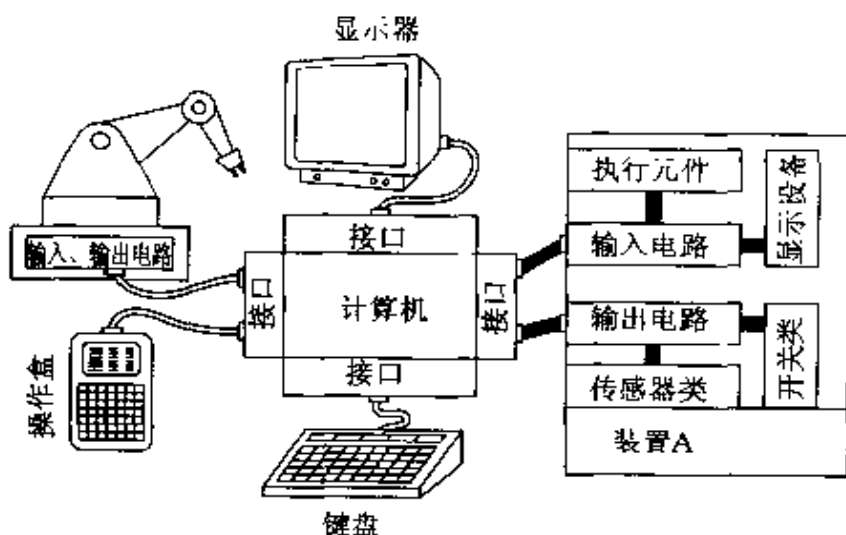


图 10.28 计算机控制构成

**相关知识** ● 控制中使用的计算机

在控制过程中使用计算机的方法有如下几种(参见图10.29)。

① 使用通用计算机 在工作站或个人电脑等计算机上增设输入、输出接口等控制过程中必需的构成设备。

控制程序一般使用 C 语言等计算机语言编制,用键盘等设备输入。

② 使用内置计算机的控制设备 数控机床用的 NC 控制装置、顺序控制用的可编程序控制器及工业机器人用控制设备等都

是通过内置计算机而构成的功能各异的控制设备。

用控制设备专用的软件编制控制程序,并使用专用的输入设备完成输入。

③ 在机械设备等的控制电路中使用内置微处理器 自动照相机、自动洗衣机等都使用微处理器,将控制电路集成化(IC化)并内置在机器中。

控制程序以机器语言形式固化在计算机的ROM内。

在制作控制设备的IC模块时,可以事先将控制程序写入IC的ROM内,也可以将ROM单独制成IC模块并将控制程序写入其中。

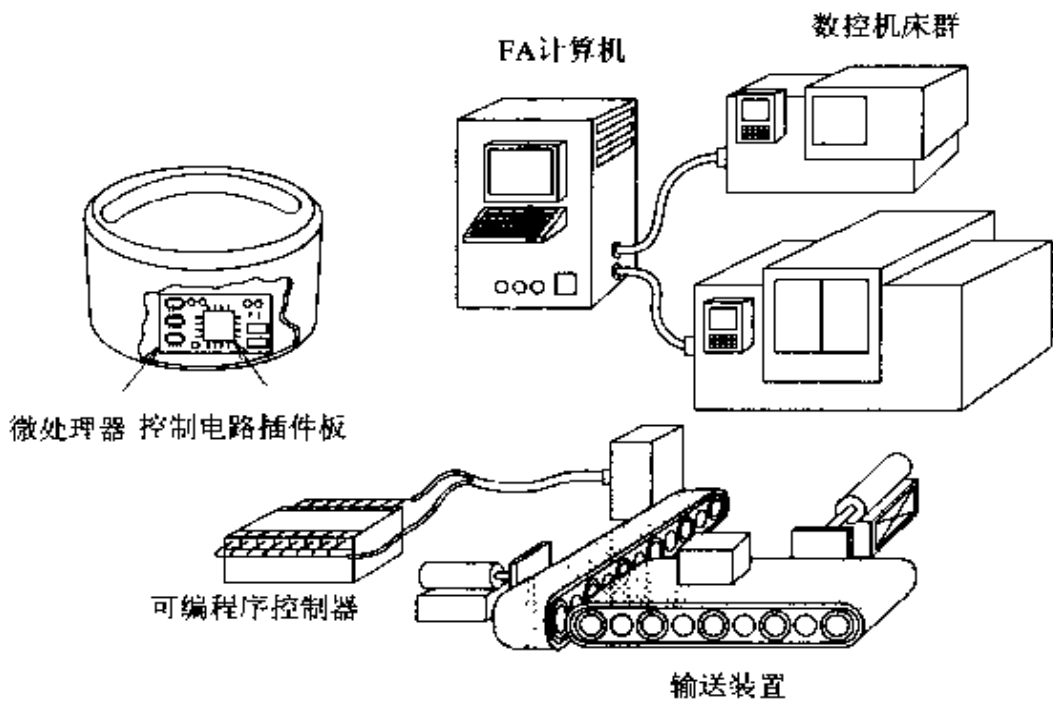


图 10.29 计算机控制示例

## 9 控制和信号

### 要 点

计算机中的信号包括数据信号、地址信号及控制信号,且所有信号都由“1”和“0”数码构成。在控制中也是利用与1和0相对应的动作实现对机械设备的控制。

### 解 释 ● 信号和功能

下面将对控制用信号的主要功能进行说明(参见图 10.30)。

#### 开关控制

① 开关控制 将1信号作为开、0信号作为关(或者两者相反)来实现对控制设备的操纵。将开关等的 ON, OFF 作为1和0的输入信号,将电动机等的 ON, OFF 作为1和0的输出信号,与计算机进行交互处理。

#### 功能表示

② 功能表示 将控制设备具有的功能用数字信号的1和0来表示。

#### 数据显示

③ 数据显示 将温度或转速等的模拟量作为多位的数据信号进行输入、输出。

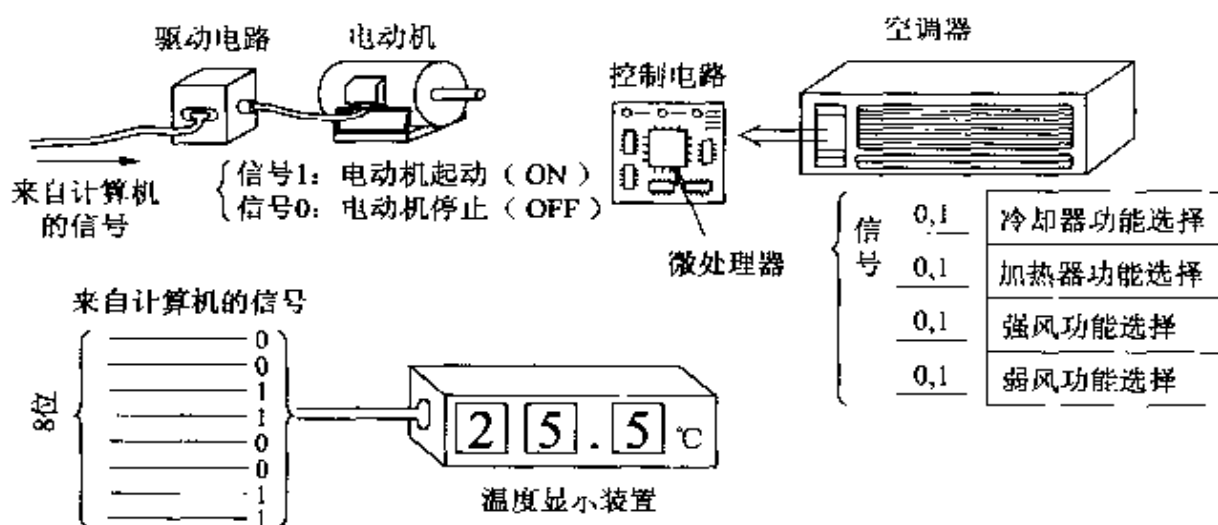


图 10.30 信号和功能

计算机可同时处理来自多个数据信号线的数据,包括8根或16根的信号线等,需根据控制的规模进行选择。对应地,数据也是由8位或16位的1,0(二进制数)组成的。在程序设计时,直接使用二进制数处理起来比较麻烦,故多采用将4位二进制数合并在一起而构成的十六进制数。

## 相关知识 ● 与计算机的连接

连接计算机和控制设备之间的接口有通用接口和控制设备专用接口。通用接口包括有并行输入、输出接口(8255, Z80IO)及centronics等)及串行输入输出接口(RS 232C等)等,都有固定的规格。图 10.31 为信号传输的接口示例。

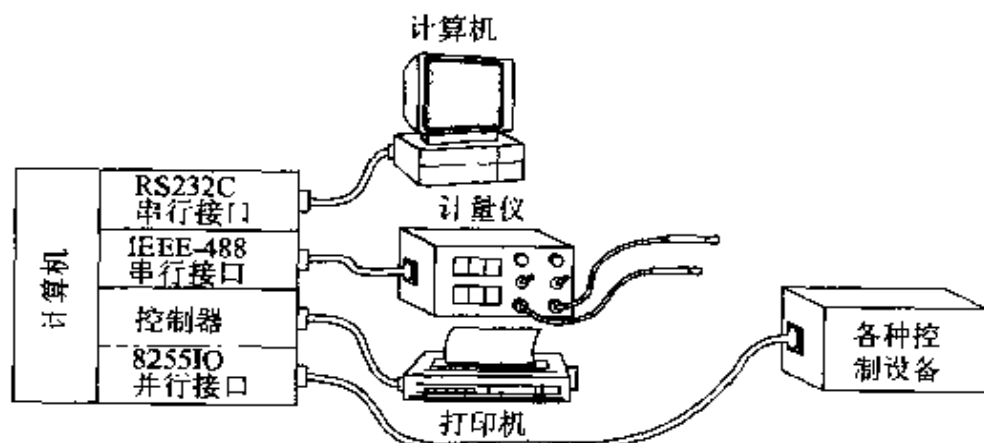


图 10.31 信号传送接口

## ● 接口功能

控制用接口主要包括以下功能(参见图 10.32);

- ① 电气条件的调整 调整和控制设备之间电气条件的功能。
- ② 输入、输出时间的调整 计算机处理速度非常快,所以必需调整它和控制设备之间的信号的输入、输出时间。
- ③ 连接端口的增设 将数据信号线并行配置,设置成多端口,利用地址信号进行选择使用。

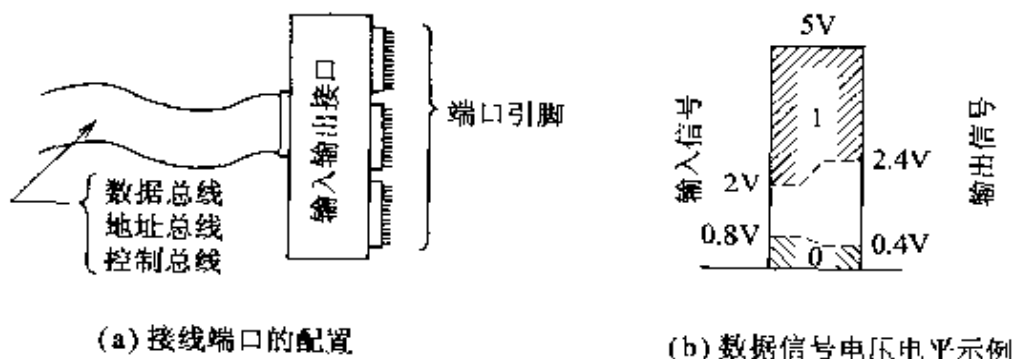


图 10.32 接口的功能

# 10 信号和控制程序

**要 点** 控制程序要对控制的内容进行设置,其中,为了操作控制设备而进行的信号输入、输出是最基本的。对控制系统输入必需的数据,并进行比较和判断等处理,得到输出数据并执行输出。

**解 释** ● 程序语言

控制中使用的编程语言有汇编语言、C语言及 BASIC 语言等。

**输入、输出指令** 通过输入输出端口,与外设进行数据交换。

**输入指令**

① **输入指令**  $x = \text{inp}(0xd0)$  将端口  $(d0)_{16}$  的数据读入变量  $x$ 。

**输出指令**

② **输出指令**  $\text{outp}(0xd2, 0xff)$  通过  $(d2)_{16}$  的输出端口向外部设备输出数据  $(ff)_{16}$ 。

**处理** 比较判断、循环控制及运算符等处理中必需的指令。

① **比较判断** 将输入数据和任意数据进行比较可使用 if 语句和 switch 语句。

② **循环控制** 反复处理同样的事务时可使用 for 语句、while 语句及 do~while 语句等。

③ **运算处理** 进行加、减、乘、除的算术运算及 AND, OR 等的逻辑运算等数据处理。

图 10.33 为程序处理的示例。

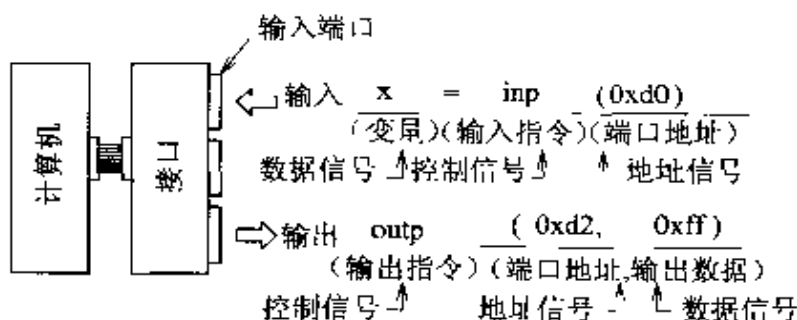


图 10.33 程序处理示例

## 相关知识 ● 简单的控制程序示例

### ① 控制动作

开关 I: 按下(A 端口第 0 位)时, 指示灯 A(B 端口第 4 位)亮。

开关 II: 按下(A 端口第 1 位)时, 指示灯 B(B 端口第 6 位)亮。

开关 III: 按下(A 端口第 2 位)时, 指示灯全部熄灭。

开关 IV: 按下(A 端口第 3 位)时, 程序结束。

② 连接图 如图 10.34 所示。

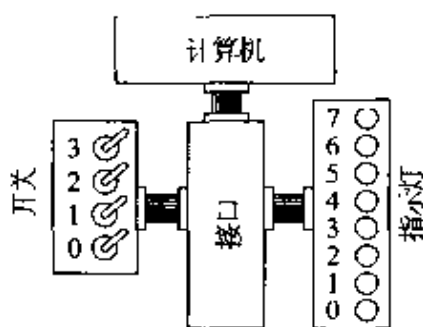


图 10.34 连接图

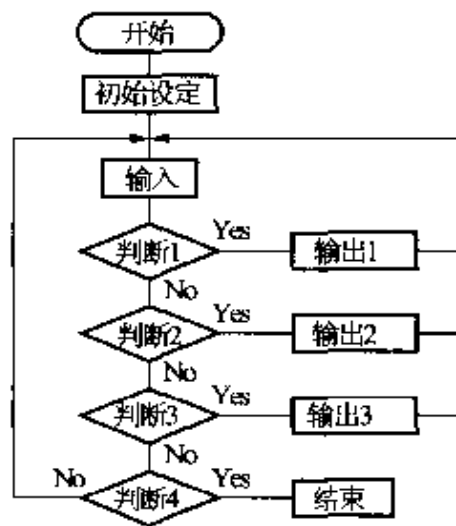


图 10.35 流程图

### ③ 程序

```

1: main()
2: {
3:     unsigned int sw;           /* 变量 sw 为无符号整型 */
4:     outp(0xd3, 0x90);         /* 端口的输入、输出设置 */
5:     do {                       /* sw 为 0x8 结束, 其他返回 6~15 */
6:         sw = inp(0xd0);        /* 将 A 端口开关数据输入给 sw */
7:         switch(sw)             /* 条件判断 */
8:         {
9:             case 0x1;          /* sw 为 0x1 时 */
10:                outp(0xd1, 0x10); /* 在 B 端口输出 0x10 */
11:             case 0x2;          /* sw 为 0x2 时 */
12:                outp(0xd1, 0x40); /* 在 B 端口输出 0x40 */
13:             case 0x4;          /* sw 为 0x4 时 */
14:                outp(0xd1, 0x0); /* 在 B 端口输出 0x0 */
15:         }
16:     } while(sw != 0x8);
17: }
  
```

## 第11章

# 机械电子 控制

由机械工程和电子工程相结合而形成的新技术称为机械电子工程(也称为机电一体化)技术。这项技术使机械智能化,可以在各种作业中由智能机械代替人类完成某些工作,使得操作更加精确,效率更高。

本章就前一章介绍的控制方法,以其在机床中的实际应用为例进行说明,此外还将介绍如何利用计算机实现加工控制。

- 责任编委  
深作贞男
- 执 笔  
大平典男



# 1 机床自动化

## 要 点

机床自动化的控制方法,以仿形控制、顺序控制、数字控制和适应控制等多个分支形式分别得到了快速发展。数控(NC)机床已成为加工机床的主流。

## 解 释

### ● 仿形控制

通过使用仿形靠模,采用传统的伺服机构进行自动控制的方法称为仿形控制(profile control),如图 11.1 所示。事先加工出与被加工件形状相同的靠模,让触头(也称为跟踪器)与靠模接触并按靠模的形状移动,同时控制刀具使之与触头做同样的运动,从而加工出与靠模形状相似的工件。仿形控制是利用连续变化的模拟信号进行控制的。

仿形控制  
靠模  
触头  
模拟信号

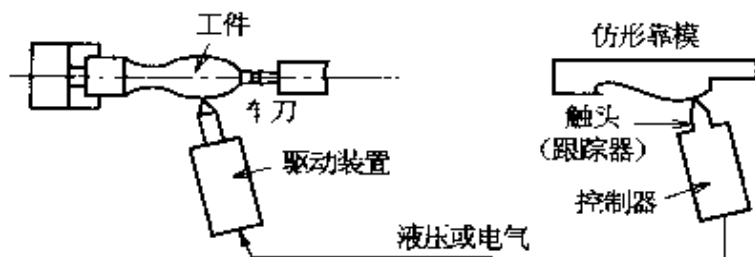


图 11.1 仿形控制系统的组成

### ● 顺序控制

在采用凸轮和齿轮的机械传动机构中,切削速度、进给量、主轴的启动和停止等动作都是事先确定的,按照已经确定的顺序进行加工等各项操作的控制方法称为顺序控制(sequence control)。顺序控制的典型功能有如下几种:

顺序控制

**顺序功能** 按照事先确定的动作顺序进行控制的功能。

**定时功能** 某一动作完成后,经过给定的时间进行下一个动作的控制功能。

**互锁功能** 在某一动作进行时,禁止其他动作的控制功能。自动线和自动车床中的一些动作控制都是互锁控制功能的典型例子。

### ● 数字控制

**数字控制**(numerical control, NC)是将所有加工信息进行数字

## 数字信号

化处理,编成程序,并存储在 NC 装置中,由 NC 装置进行运算处理,生成驱动伺服装置的控制信号,从而实现对机床进行控制的控制方式。虽然 NC 控制所采用的信号为不连续的数字信号,但通过计算机的处理,能够产生连续的动作来控制加工。

## NC 机床

采用 NC 方式实现自动控制的机床称为 NC 机床。

### ● 适应控制

适应控制(adaptive control)就是在加工条件变化时,由计算机自动选择加工条件,与条件的变化相适应,使加工过程一直保持在最佳状态的机床自动控制方式。

## □ 相关知识 ● NC 机床的特点

NC 机床与传统的通用机床相比,具有以下特点:

① 能够进行高精度、高质量的加工 由于刀具和机床的各部件的运动是由数控装置控制的,所以能够保证加工过程的稳定,从而容易保证加工精度和加工质量的稳定;

② 适用于复杂形状的加工 通过编程可以加工传统的手工操作无法加工的复杂形状。利用 5 轴联动控制的 NC 机床甚至可以加工形状十分复杂的涡轮发动机的叶片;

③ 适应性强 可以自由选择最佳的加工条件,只要手工修改部分加工数据就能够加工新的零件,具有很大的柔性。将加工数据以程序文件的形式进行存储,修改非常方便;

④ 操作方便 在较短的时间内就可以学会操作,只要经过一次准备,几乎不用手工操作就能够完成加工。由于没有手动操作,所以不必担心误动作,容易实现安全生产;

⑤ 加工效率高 由于一台机床上可以安装多把刀具,所以能够缩短准备时间。而且刀具从一个位置到另一个位置的移动速度很快,也能够提高实际的加工时间比。

## ■ 选修知识 自动化

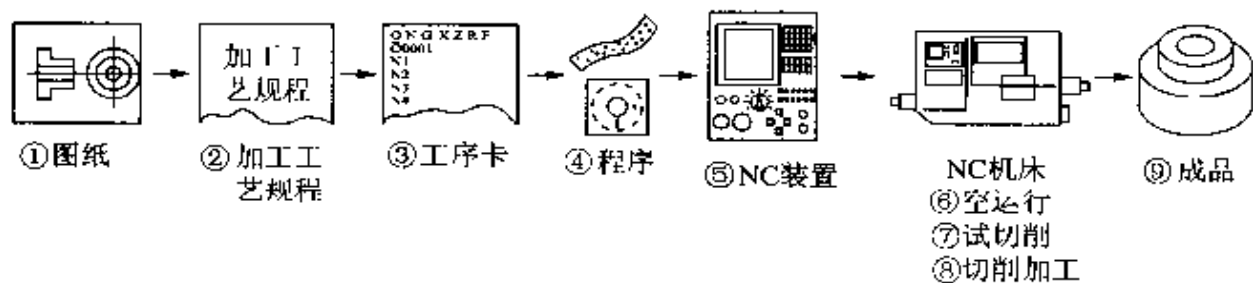
美国的福特公司首先在汽车生产中使用传送带,实现了流水作业,使汽车生产得到了快速发展,从而实现了汽车的大众化。据说,1948 年由福特公司的副总经理将 automatic operation(自动操作)简化成 automation(自动化)一词。从此,该词就以自动化的意思应用开来。

## 2 用数控机床加工

**要 点** 数控(NC)机床主要由 NC 装置、伺服装置和机床三部分组成。要进行数控加工,必须将所有信息转换为数字信息并输入 NC 装置。NC 装置产生伺服控制指令,伺服装置按照伺服指令来运动,以便驱动机床进行加工。

### 解 释 ● NC 机床加工的流程

如图 11.2 所示,从图纸上读取加工信息,经分析研究后编制出加工程序,再将加工程序输入 NC 装置,控制 NC 机床运动,就可以完成零件的加工。



- ① 图纸 : 从图纸上获取加工顺序、工件材料、加工刀具和切削条件等信息。
- ② 加工工艺规程 : 规划加工顺序和切削条件。
- ③ 工序卡 : 确定加工顺序,并按照规定用 NC 语言来表示。
- ④ 编制程序 : 编制可输入 NC 装置的 NC 程序。
- ⑤ 输入 NC 装置 : 将 NC 程序输入 NC 装置。
- ⑥ 空运行 : 通过空运行来检查所编制的 NC 程序是否正确。
- ⑦ 试切削 : 在实际切削的状态下进一步检查所编制的 NC 程序。
- ⑧ 切削加工 : 在实际加工中,对加工过程进行监测。
- ⑨ 加工出成品 : 对所加工的零件表面粗糙度、形状精度和尺寸精度等进行检查。

图 11.2 NC 加工的流程

### 相关知识 ● 加工精度与测量精度

在机床上进行加工时,了解所加工的工件的形状和已加工表面质量如何是非常重要的。一般 NC 机床的最小运动控制单位(NC 分辨率)为  $1\mu\text{m}$ ,但如果不对加工后的工件形状进行测量,是无法加工出高质量产品的。

提高尺寸测量精度,精确地测量出被加工工件的误差,改进机床和加工工艺,尽量减小加工误差,才能够使加工精度不断提高。因此,加工精度和测量精度是互相联系的,两者互相促进,使之向高精度方向发展。

## 3 数控装置的组成

**要 点** NC装置的内部配有计算机,是能够进行复杂运算处理的CNC(computerized numerical control)装置,因此能够实现复杂控制,已经具有较高的智能化程度。

**解 释** ● NC装置

运算处理

从NC纸带或者软盘输入到NC装置的加工信息,在控制器中按图11.3所示的方式进行运算处理,由此产生运动控制指令和顺序控制信号,并将这些指令和信号传给机床。运动控制指令通过伺服装置来驱动伺服电动机。伺服电动机带动滚珠丝杠旋转,从而驱动工作台或者刀具移动。

反馈信号

从安装在伺服电动机或者滚珠丝杠上的旋转传感器和位置传感器获得的信息作为反馈信号输入到控制器。在控制器中对驱动控制信号与反馈信号进行比较。如果存在误差,就输出修正信号,使机床达到正确的位置。

顺序控制信号通过机床的继电器电路,来控制机床主轴的旋转、切削液的开闭和刀具的更换等。

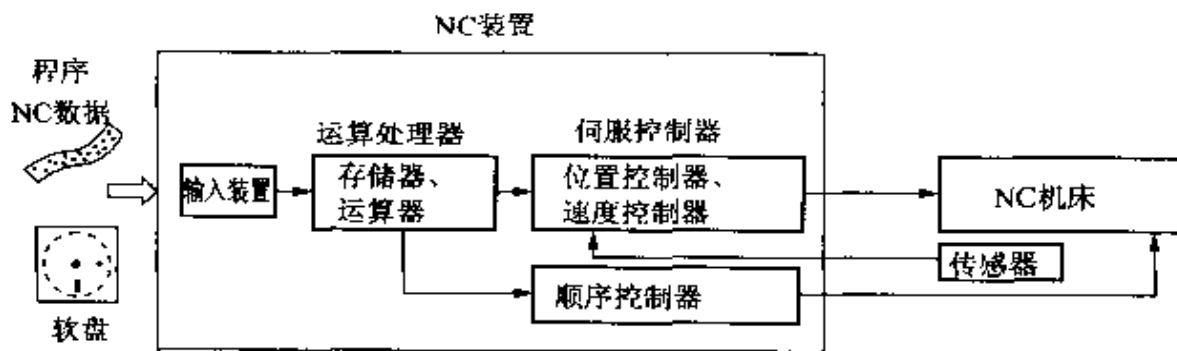


图 11.3 NC装置的组成

### 选修知识 数控技术的历史

1952年由美国J. T. 泊森兹公司提出了NC机床的方案,在麻省理工大学(MIT)的帮助下,研究成功了NC铣床,并将其控制方式称为数字控制(numerical control)。NC就是数字控制(numerical control)的英文缩写。现在的数字控制都是由计算机来实现的,因此确切地应该称其为CNC,但一般还经常称为NC。

## 4 数控机床的控制方式

**要 点** NC 机床的控制方式,按其用途可分为点位控制、直线控制和轮廓控制三种。

**解 释** ● **点位控制**

如果机床的控制目的与刀具运动的中间路径无关,只要求刀具能够精确地停止在指定的位置点上,那么,这种控制方式就称为点位控制(positioning control)。由于从某一点到下一点的移动过程中不进行切削,所以只要求能够快速移动到下一点。如图 11.4 所示,在钻孔加工时,从 A 点到 B 点的移动无论按图中箭头指示的哪一条路径移动都可以。

在钻孔、点焊和冲压等加工中一般都采用点位控制方式。

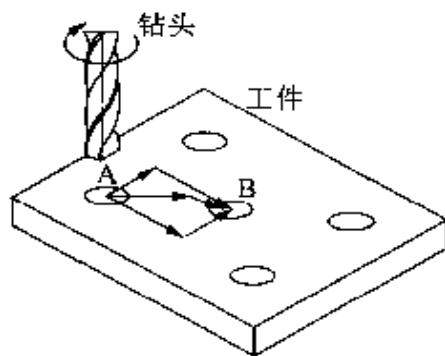


图 11.4 点位控制

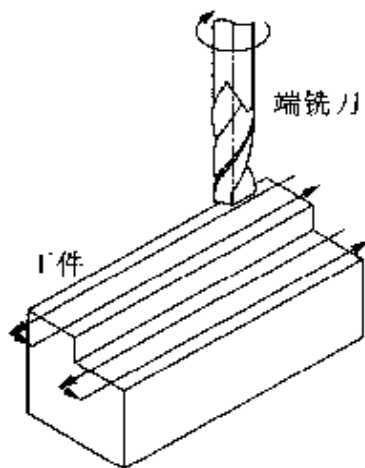


图 11.5 直线控制

● **直线控制**

刀具的移动路径不是由多轴联动控制的,而是只由单轴控制来实现的控制方式称为直线控制(straight control)。如图 11.5 所示,在加工过程中,刀具的进给运动由一个轴控制,实现直线切削加工运动。

直线控制方式常用于 NC 铣床和 NC 镗床的控制。

● **轮廓控制**

机床的刀具移动由 2 轴以上联动控制进行加工的控制方式称为轮廓控制(contouring control)。当刀具的直径不同时,即使加

工同样的圆弧,刀具的移动轨迹也不相同。因此,NC装置中必须具有运算处理电路。NC装置根据起始点和终止点的坐标来计算中间的刀具运动轨迹,按照图纸标注的工件尺寸实现加工。NC装置中实现的这一过程称为插补。

在如图 11.6 所示的轮廓切削加工中,圆弧部分采用了轮廓控制方式,用 2 轴联动来实现加工。

NC 车床、加工中心等大多数 NC 机床都能够实现轮廓控制方式。

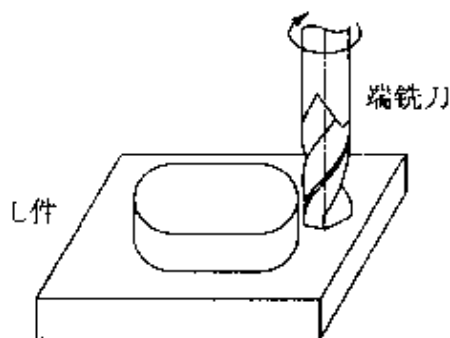


图 11.6 轮廓控制

插补

## 相关知识 ● 轴的联动控制

在 NC 机床伺服机构中,由脉冲信号控制伺服电动机旋转,驱动各轴运动,从而带动刀具或工件运动。在轴的控制中有单轴控制、双轴联动控制、三轴联动控制等多种控制方式。对于涡轮发动机叶轮等复杂零件的加工,要在 5 轴联动的 NC 机床上进行。

与各控制轴相联接的工作台或刀具,一般是每给一个脉冲信号就移动 0.001mm。在单轴控制中,各控制轴可如图 11.7(a)所示沿 4 个方向运动。在二轴联动控制中,如果二轴同时运动,刀具就可以如图 11.7(b)所示,沿 45°方向运动。因此,这种控制可以实现图 11.7(c)所示的 8 个方向运动。在数控机床的加工中,既可进行直线插补,也可以进行圆弧插补,通过直线和圆弧的组合,可以实现任意轨迹的运动。

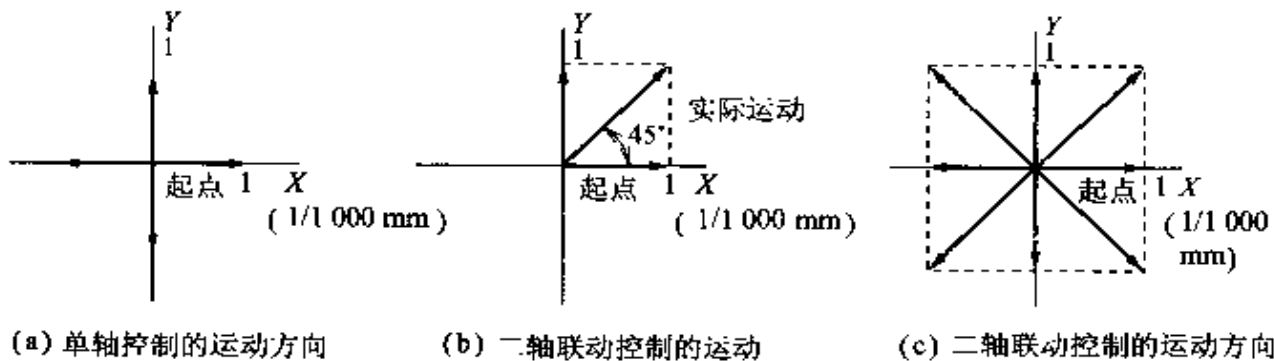


图 11.7 一个脉冲产生的运动

单轴控制

双轴联动控制

三轴联动控制

## 5 插 补

### 要 点

当给定加工轨迹为圆弧或直线时,由于机床的最小移动量和移动方向是一定的,所以不可能完全按照理论轨迹运动。因此,在 NC 装置的运算处理器中要进行近似逼近给定轨迹的运算处理。这一过程称为插补。一般的 NC 机床都具有直线插补和圆弧插补功能。

### 解 释

#### ● 直线插补和圆弧插补

使机床的运动轨迹尽可能逼近给定的直线或圆弧运动轨迹的处理过程分别称为直线插补或圆弧插补。在直线插补时,要给定当前位置坐标和终点位置坐标。在圆弧插补时,要给定当前位置坐标、旋向、终点坐标和圆弧半径。NC 装置向机床各轴发出控制脉冲,使刀具运动轨迹尽量逼近给定的理论轨迹,从而实现插补运动。

实际上,直线和圆弧都是按图 11.8 和图 11.9 所示的由直线组合成的折线轨迹进行加工的。

直线插补  
圆弧插补

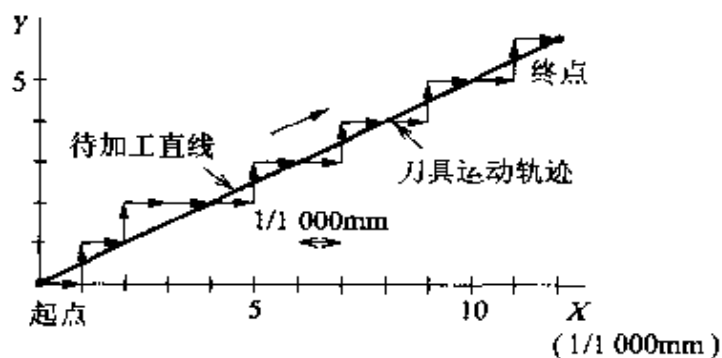


图 11.8 直线插补

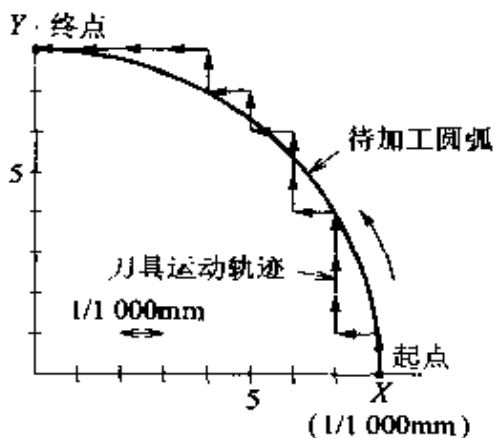


图 11.9 圆弧插补

虽然生成的直线和圆弧是由折线构成的,但由于每个直线段上的点到理论轨迹的距离都小于0.001mm,所以可极近似于所要求的直线或圆弧。对于产品来说,一般都不会存在精度问题。

### ● 插补方法

插补方式有 DDA 方式、代数运算方式等多种。

**DDA 方式** DDA(digital differential analyzer)方式利用数值微分原理,可以适用于 3 维直线的插补。以图 11.10 为例,如果让刀具沿直线从 A 点移动到 B 点,要在 X 方向上移动 0.007mm,在 Y 方向上移动 0.005mm。由于最小控制单位为每个脉冲 0.001mm,因此必须向 X 轴输出 7 个脉冲,向 Y 轴输出 5 个脉冲。将各

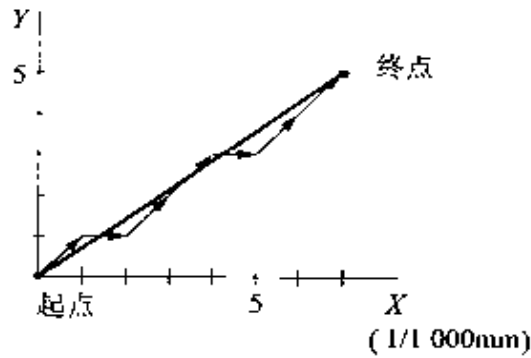


图 11.10 采用 DDA 方式的直线插补

轴的脉冲数先存储在寄存器中,按表 11.1 中所示的方式,分别对各轴的脉冲数反复进行加法运算,并以运算结果的溢出脉冲作为输出指令,就可以控制刀具按图 11.10 所示的轨迹运动。

表 11.1 DDA 方式的脉冲分配

加法运算 次数	X 方向		Y 方向	
	溢出次数	进位	溢出次数	进位
1	①	$\begin{array}{r} +)111 \\ \hline 110 \end{array}$	①	$\begin{array}{r} +)101 \\ \hline 010 \end{array}$
2	②	$\begin{array}{r} +)111 \\ \hline 101 \end{array}$		$\begin{array}{r} +)101 \\ \hline 111 \end{array}$
3	③	$\begin{array}{r} +)111 \\ \hline 100 \end{array}$	②	$\begin{array}{r} +)101 \\ \hline 100 \end{array}$
4	④	$\begin{array}{r} +)111 \\ \hline 011 \end{array}$	③	$\begin{array}{r} +)101 \\ \hline 001 \end{array}$
5	⑤	$\begin{array}{r} +)111 \\ \hline 010 \end{array}$		$\begin{array}{r} +)101 \\ \hline 110 \end{array}$
6	⑥	$\begin{array}{r} +)111 \\ \hline 001 \end{array}$	④	$\begin{array}{r} +)101 \\ \hline 011 \end{array}$
7	⑦	$\begin{array}{r} +)111 \\ \hline 000 \end{array}$	⑤	$\begin{array}{r} +)101 \\ \hline 000 \end{array}$



**代数运算方式** 代数运算方式是由日本研究开发的插补方式。以圆弧插补为例,若圆弧半径为 $r$ ,则圆弧方程为

$$x^2 + y^2 = r^2$$

设

$$f = x^2 + y^2 - r^2$$

则如图 11.11 所示,对于任意一点  $P(x, y)$ ,当  $f > 0$  时,该点在圆的外侧;当  $f = 0$  时,该点在圆上;当  $f < 0$  时,该点在圆的内侧。

NC 装置对当前所在位置进行计算,通过判断当前点在圆弧的哪一侧来确定机床的运动方向,刀具的实际运动轨迹为图 11.11 所示的近似圆弧。

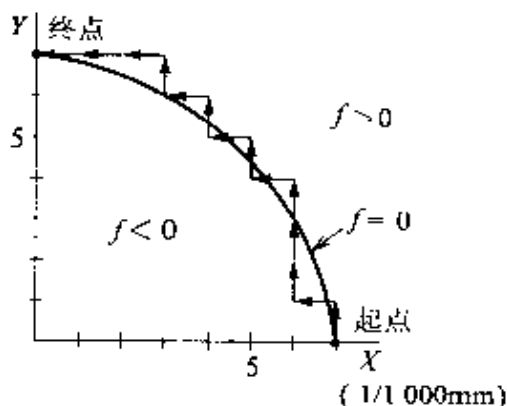


图 11.11 采用代数运算方式的圆弧插补

## 相关知识 ● 最小设定单位

在 NC 程序中可以指定的最小移动距离称为最小设定单位(也称为 NC 装置的分辨率)。大多数的 NC 机床的最小设定单位为  $0.001\text{mm}$ 。NC 机床的刀具和工件是按照控制脉冲信号运动,因此 1 个脉冲信号可使机床移动  $0.001\text{mm}$ ,这就是机床的最小移动量。

### 最小移动量

## 选修知识 交互式 NC 装置

在 NC 装置中,计算机集成在一个大规模集成电路(LSI)芯片中,由 32 位微处理器和 RAM 及 ROM 构成。因此,能够进行快速处理和复杂控制。

随着计算机技术的发展,内置自动编程设备的交互式 NC 装置越来越普及。只要输入工件的毛坯尺寸、加工尺寸和工件材料等数据,NC 装置就能够自动确定切削参数,生成加工程序。

## 6 伺服机构

### □ 要点

在 NC 机床中,利用 NC 装置的运算电路产生的脉冲信号控制伺服电机的驱动电路。由伺服电路驱动伺服电机带动机床工作台或刀具移动,使机床进行实际加工,这种机构称为伺服机构。

伺服机构的控制方式分为开环控制、半闭环控制和闭环控制。

### □ 解释

伺服  
伺服机构

#### ● 伺服机构

伺服(servo)在拉丁语中是奴隶的意思,也就是忠实地按照命令劳动的意思。NC 机床的伺服机构(servomechanism)就是以速度和位置为跟踪控制目标值的控制装置。伺服机构的功能就是使机床的工作台或刀具按照 NC 装置的控制信号精确地运动。如果将 NC 装置比作人的大脑,则伺服机构就相当于人的手和脚。

在 NC 机床的主轴和进给轴的驱动中常使用直流(DC)电动机或交流(AC)电动机。

#### ● 开环控制

如图 11.12 所示,采用步进电动机,由脉冲电压驱动,使工作台或刀具精确地按照给出的指令脉冲数运动,这种控制方式称为开环控制。

开环控制

开环控制方式没有传感器等反馈装置,伺服装置简单。

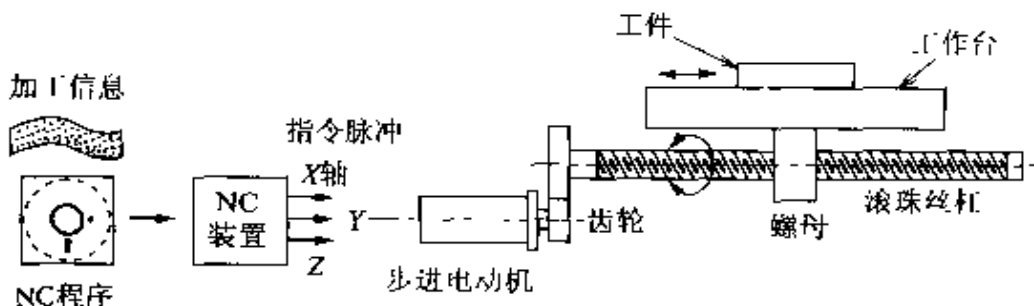


图 11.12 开环控制

#### ● 半闭环控制

如图 11.13 所示,利用安装在电动机轴上或者丝杠上的传感器检测旋转角度来检测移动位置,将位置信息反馈到 NC 装置中,与指令值进行比较,若有误差就输出修正脉冲信号。这种控制方式称为半闭环控制。

半闭环控制

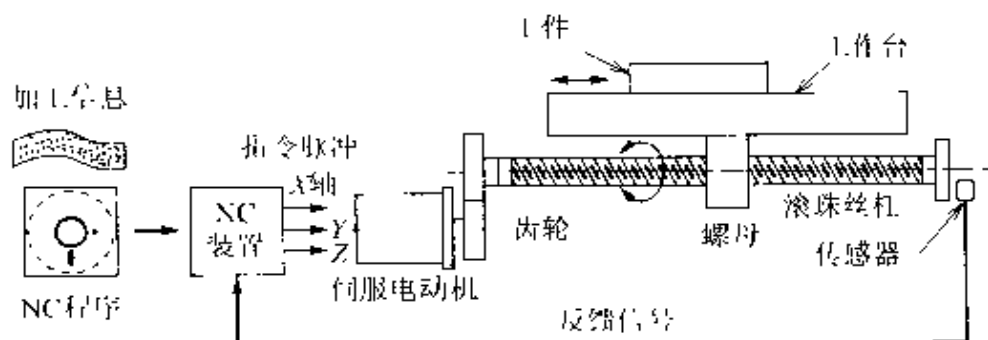


图 11.13 半闭环控制

### ● 闭环控制

如图 11.14 所示,在机床的工作台或床鞍的可移动部分安装光栅尺或磁栅尺等传感器,直接检测工件的移动位置并进行反馈,这种控制方式称为闭环控制。闭环控制方式不受滚珠丝杠精度的影响,可以实现高精度控制。

#### 闭环控制

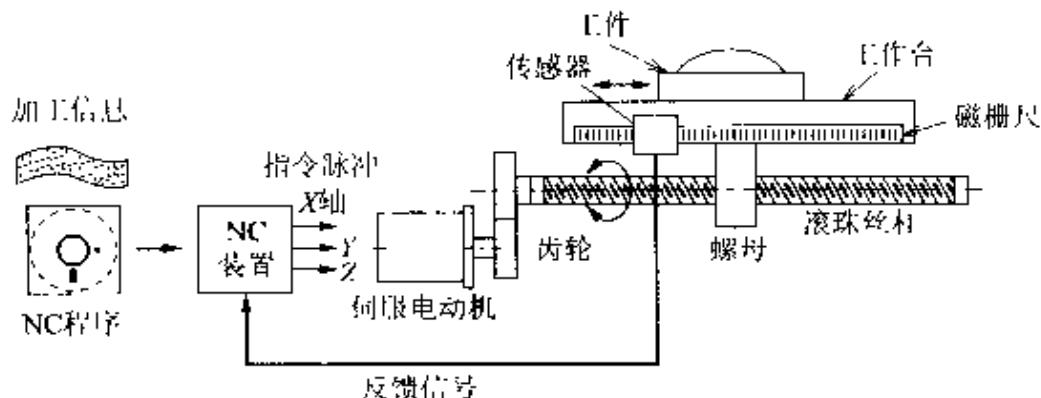


图 11.14 闭环控制

## □ 相关知识 ● 机床的适应控制

为了进一步提高 NC 机床的自动化程度,实现无人化加工,必须使机床具有在加工过程中对于不可预测的切削深度变化、刀具磨损而引起的加工尺寸变化等进行监测,并在状态发生变化时可利用计算机将加工恢复到最佳的切削条件的功能。这种功能称为机床的适应控制(adaptive control, AC)。

#### 适应控制

### ● 滚珠丝杠

机床的工作台和刀架的移动由进给轴通过梯形丝杠来驱动,由于丝杠与螺母的接触面上的摩擦力较大,所以需要较大的驱动

间隙 力矩。此外,丝杠与螺母之间必然存在间隙,这对加工精度也有一定的影响。

滚珠丝杠 在 NC 机床上,一般都采用图 11.15 所示的滚珠丝杠。在滚珠丝杠与螺母之间装有连续排列的滚珠,形成点接触滚动摩擦副,其摩擦力很小。因此,滚珠丝杠的驱动力矩很小。通过调整螺母或者用 NC 装置补偿,能够消除间隙等因素引起的误差。

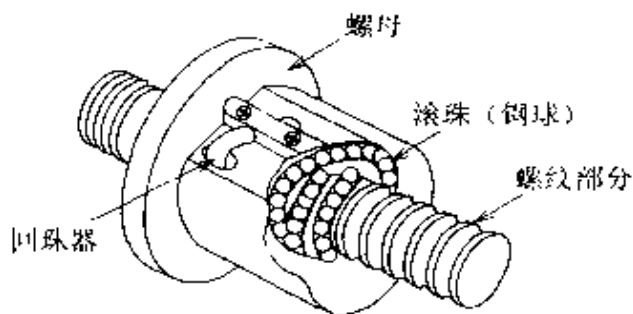


图 11.15 滚珠丝杠

### 应用知识 滚珠丝杠 丝杠间隙

在机床的进给丝杠和安装在工作台上的进给螺母之间存在如图 11.16 所示的间隙。这种间隙称为丝杠间隙。为了保证丝杠能够正常旋转,必须具有一定的丝杠间隙。但在有些情况下,丝杠间隙可能成为机床振动和产生运动误差的原因。

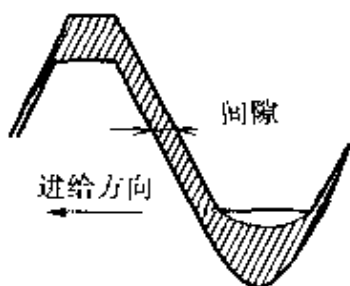


图 11.16 螺纹牙形之间的间隙

## 7 数控机床的种类

### □ 要 点

数控机床(NC)能够高精度地加工手工操作很难加工的、形状复杂的工件,对工厂的自动化和减轻人的劳动强度起到了重要作用。

目前,各种机床都已经实现了NC化,而且在生产数量和产值上,数控机床都已经占据了主导地位。典型的NC机床有NC车床、线切割加工机床、加工中心等。

### □ 解 释 ● NC 车床

NC车床( numerically controlled lathe)和加工中心一样,是一种典型的数控机床,如图11.17所示。NC车床总体结构与普通车床相同,不同的是NC车床具有NC装置和能够安装多把刀具的刀架,通过数字控制使机床能够适应更宽的加工范围。为了便于排除加工过程中的切屑,很多机床采用刀具切削刃向下的安装方式。

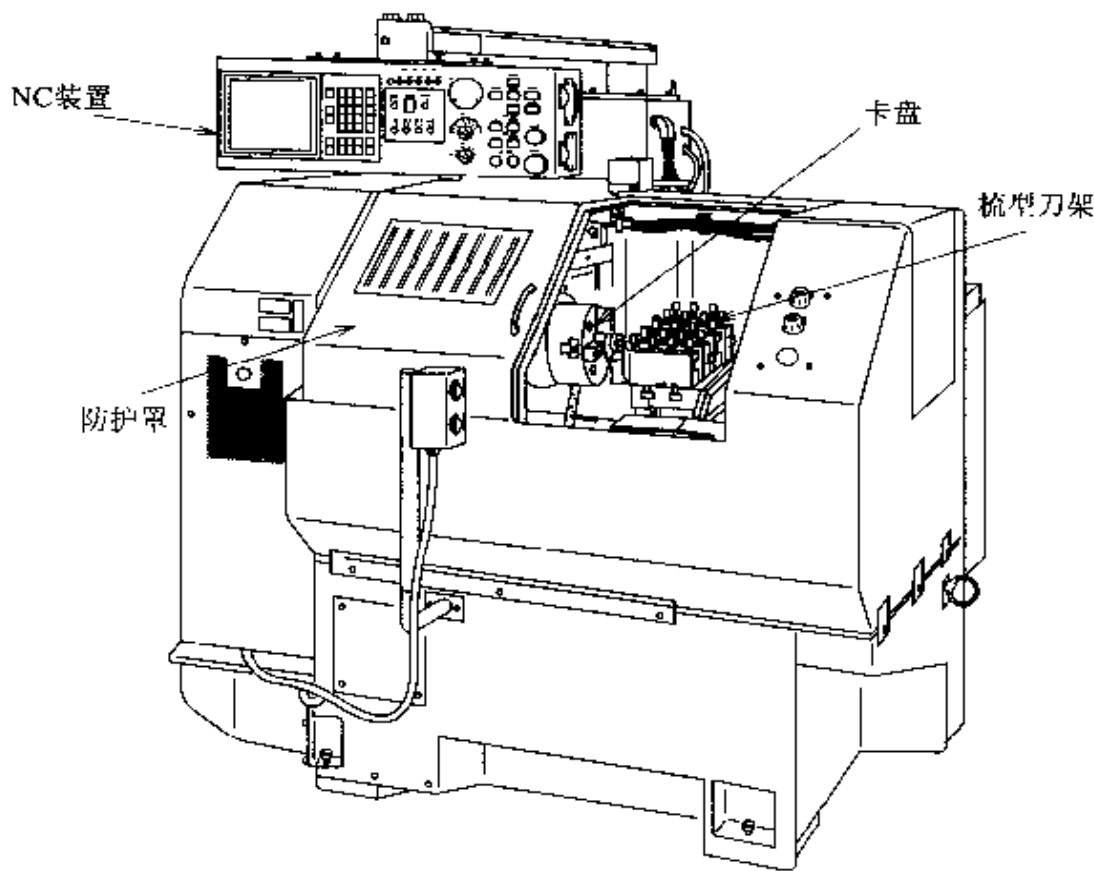


图 11.17 NC 车床

NC 车床的刀架有鼓型刀架、梳型刀架和星型刀架等多种类型。装夹工件的卡盘多数为液压式卡盘。有的机床上还装有用于定心装夹的液压式尾座。为了防止切削液和切屑飞溅,一般的 NC 机床上都装有防护罩。

作为 NC 车床的一种特殊功能,它能够在刀具沿 X 轴方向移动的过程中,自动改变主轴转速,实现圆周速度恒定控制。此外,还具有反复进行螺纹切削加工的螺纹车削循环功能和多次重复进刀的复合固定循环功能等。

### ● 车削加工中心

如图 11.18 所示,不需要重新装夹工件即能够完成加工中心功能的 NC 车床称为车削加工中心(turning center)。

车削加工中心的主要加工功能和 NC 车床一样,是车削加工。但在车削加工之后,还能够使主轴停止,进行圆周上的钻孔和攻丝加工、圆周部分的平面加工以及沟槽加工等,可以大大缩短装卸工件的时间,从而提高加工效率。

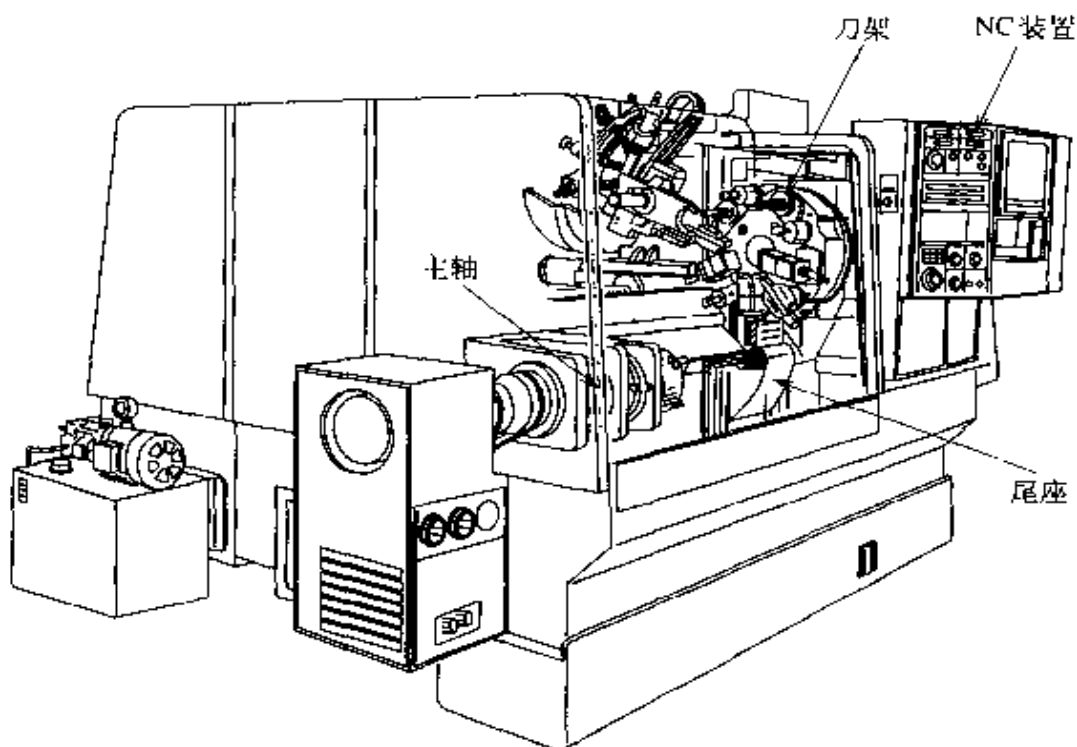


图 11.18 车削加工中心

### ● 线切割加工机床

线切割加工机床(electrical discharge machine)如图 11.19 所示,由床身、加工液处理槽、加工电源、送丝机构和工作台等部分构

圆周速度恒定  
控制  
螺纹车削循环  
复合固定循环

成。一般的线切割机采用直径为 $0.02\sim 0.3\text{mm}$ 的铜丝或者黄铜丝作为切割电极,将切割丝穿过工件上事先加工出的小孔,对安装工件的工作台进行NC控制来完成电火花加工。

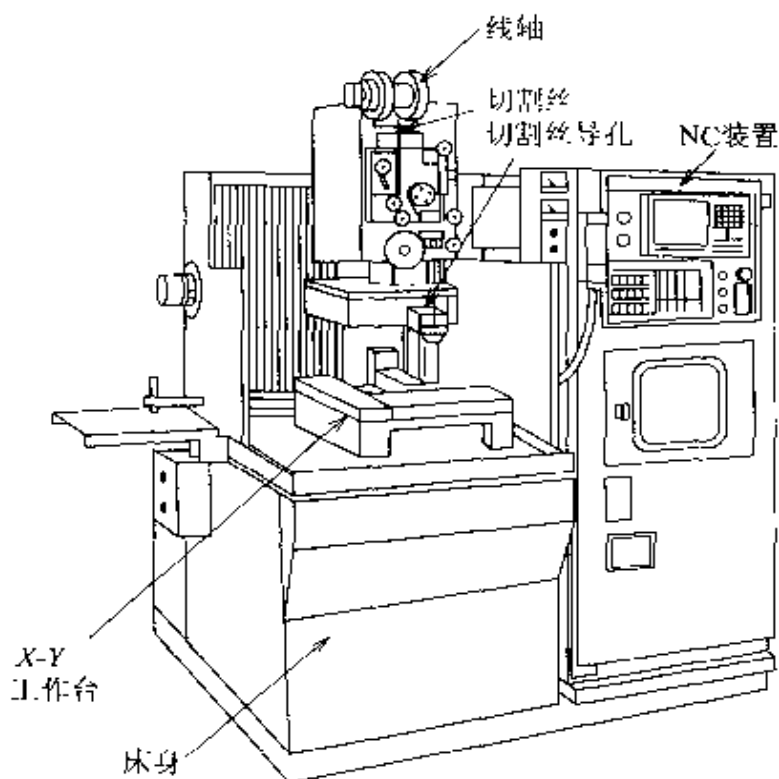


图 11.19 线切割加工机床

线切割加工的效率与工件硬度无关,而且能够进行复杂的微细加工。将切割丝倾斜,还可以加工锥面。

使用过的切割丝的表面会产生缺陷,容易拉断,所以用后就要废弃。线切割的加工速度与一般机床相比要慢得多,而且必须使用纯水或者接近于纯水的切削液。这些都是线切割加工的缺点。

### ● 加工中心

加工中心(machining center)可以在工件的一次安装状态下完成复杂表面铣削、钻孔、镗孔、攻丝等多种加工。因此,加工中心备有自动换刀装置(automatic tool changer, ATC),能够自动地用储备在刀库中的刀具更换安装在主轴上的刀具。为了提高生产率,加工中心上还装备有自动托板交换装置(automatic pallet changer),可以缩短装卸工件的时间。

加工中心的构造按主轴的安装方向可分为以卧式镗床为基础的卧式加工中心和以立式铣床为基础的立式加工中心。

自动换刀装置

自动托板交换  
装置

卧式加工中心

图 11.20 所示的卧式加工中心装配有分度工作台,能够加工多个表面,适合箱体类零件的加工。

立式加工中心

图 11.21 所示的立式加工中心适合板类零件的加工。

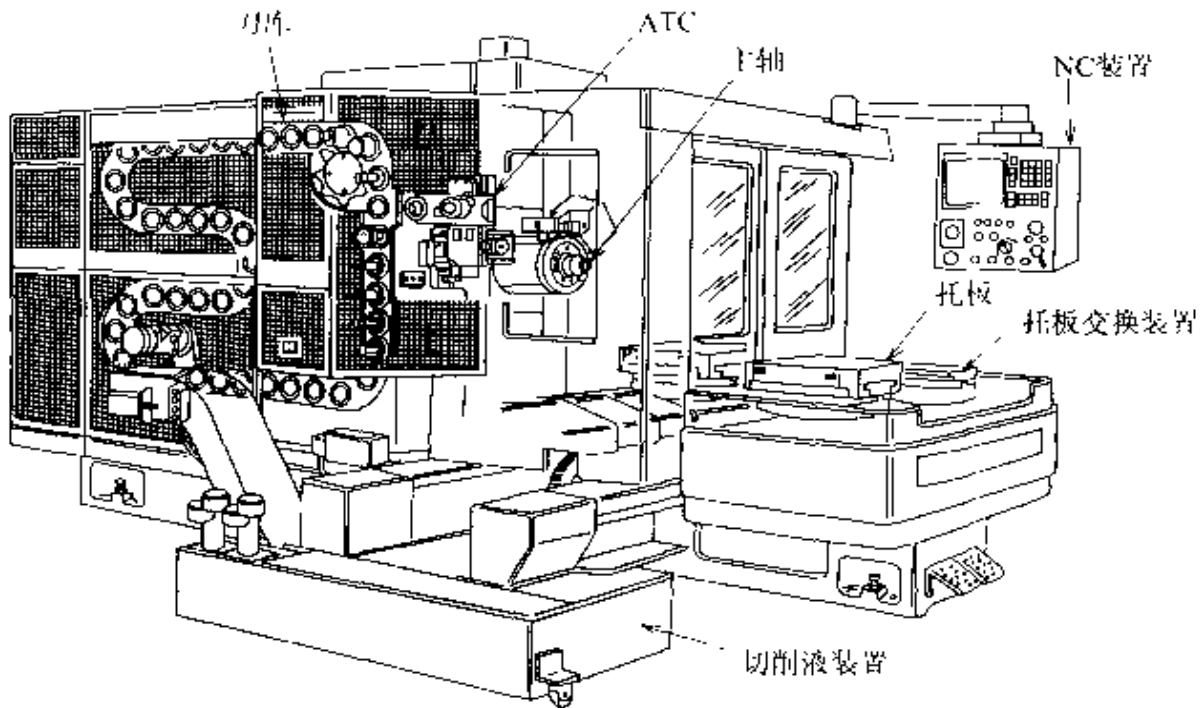


图 11.20 卧式加工中心

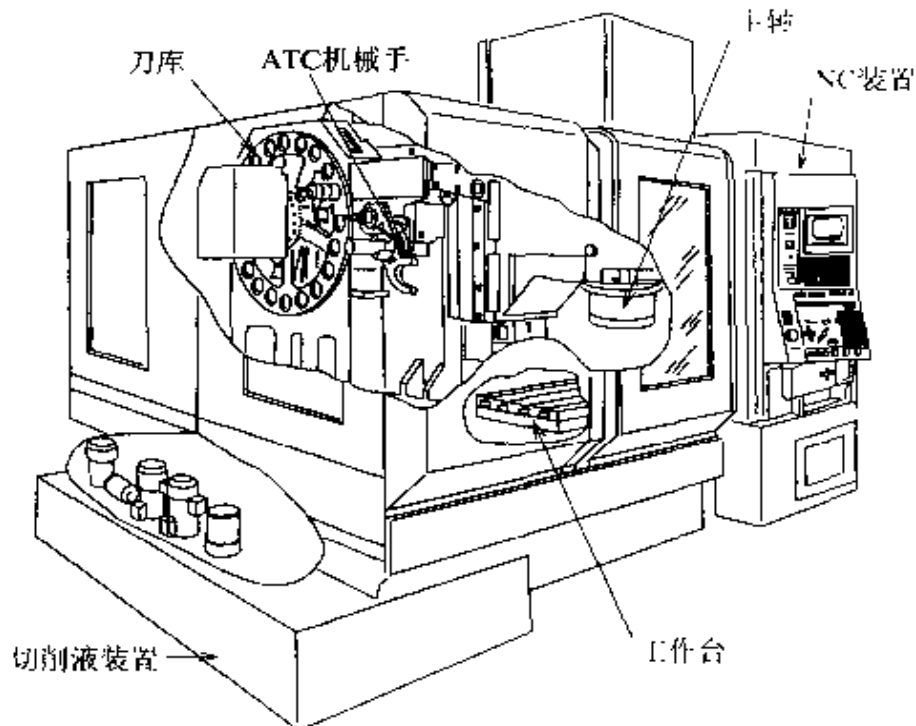


图 11.21 立式加工中心



## □ 相关知识 ● 自动换刀装置

自动换刀装置由图 11.22 所示的刀库和图 11.23 所示的自动换刀机械手组成,能够自动调出刀具并进行更换。

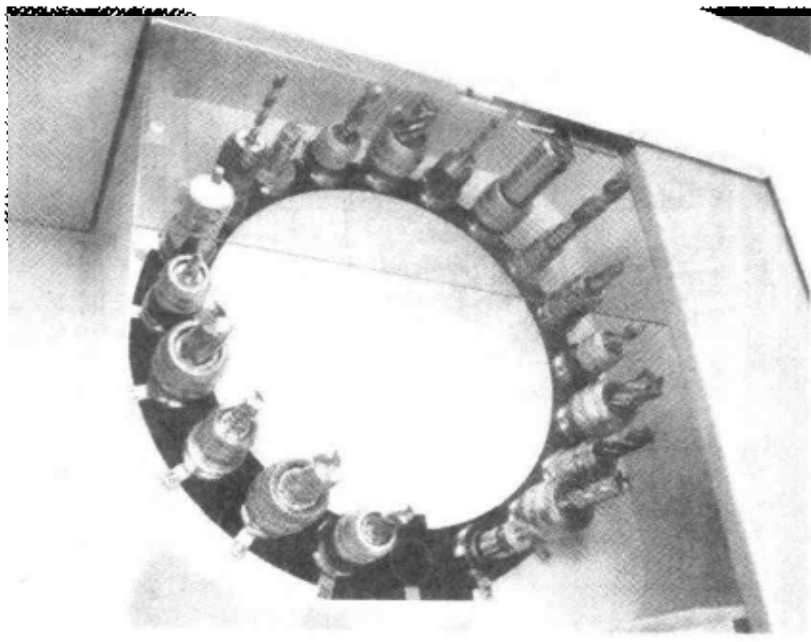


图 11.22 刀 库

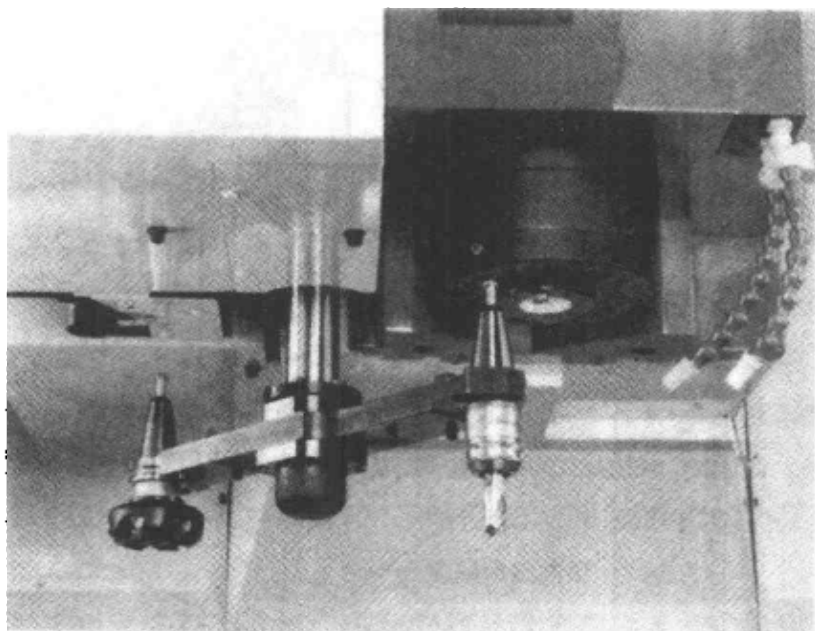


图 11.23 自动换刀装置

自动换刀装置的刀具选择方式有顺序选择方式和随机选择方式两种,后者的应用较多。这种选择方式是对刀库中的每一把刀具都进行编号,在需要使用刀具时,由 NC 装置调用刀具编号来选择刀具。

### ● 自动托板交换装置

在加工中心上进行大型工件加工的次数较多,更换工件时的劳动强度大,花费的时间也多,因此会导致较长的停机时间。采用图 11.24 所示的标准托板,将工件安装在托板上,通过托板将工件在加工中心的工作台上进行装卸,可以提高生产率。这种装置称为自动托板交换装置(automatic pallet changer, APC)

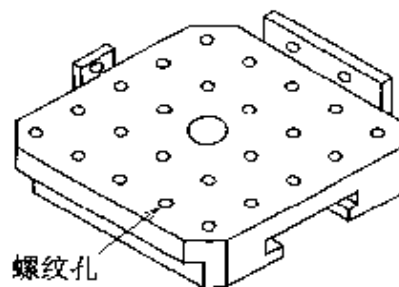


图 11.24 托板

为了安装和固定工件,托板上有事先加工好的螺纹孔和沟槽。托板的交换方式有图 11.25 所示的旋转交换方式和平行交换方式两种。

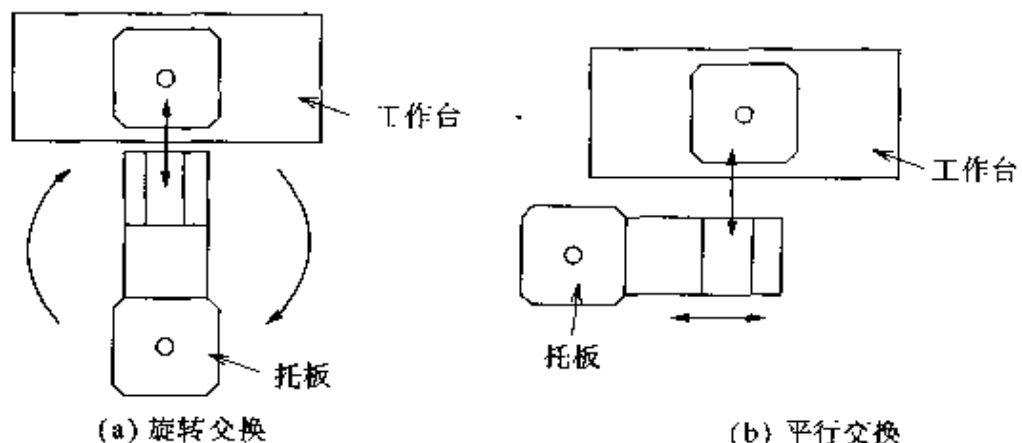


图 11.25 托板的交换方式

## 8 数控机床的系统化

### □ 要 点

工厂的自动化随着计算机技术的进步,已经由 NC 机床、机器人、自动输送系统和自动仓库等构成了自动化系统。现在正在由包括设计和生产管理的工厂生产系统向包括整个经营过程的企业系统发展。

### □ 解 释 ● 柔性生产系统

随着人类生活水平的提高,人们越来越追求个性化的产品,对以往千篇一律的大批量生产的产品需求开始减少。因此,产品的寿命越来越短,企业必须不断地向市场投放新的产品。

#### 自动生产线

在以往的大批量生产中所使用的生产系统是由专用机床连接起来的自动生产线。这种自动生产线用于多品种中等批量生产时,需要许多手工操作,会导致生产率下降。因此,必须有能够适合多品种、小批量生产的生产线。为了满足这种需求,出现了只要对生产线稍作调整就能够适应新产品生产的柔性生产系统(flexible manufacturing system, FMS)。

柔性生产线能够适应产品设计的变化和产量的调整,也能够很容易地用作其他生产线的设备,对产品加工顺序的变化和插入其他产品的加工等生产计划的调整也都能很简单地适应,是一种柔性功能很强的自动化生产系统。

图 11.26 所示为机床制造厂的 FMS,由加工中心、自动搬运车和自动仓库系统等组成。

### ● 自动搬运车

如图 11.27 所示,在自动化生产工厂内,由计算机控制、无人看管、能够自动地将毛坯和工件运送到厂内各个工位的搬运机械称为自动搬运车(automated guided vehicle, AGV)。

AGV 分为有轨和无轨两种行走方式。多数 AGV 的行走路线控制是采用电磁感应控制方式。在地面上铺设导线,使导线上流过微小电流,通过检测导线所产生的电磁场来引导 AGV 行走。

### ● FA

办公部门的自动化一般称为 OA(office automation),而能够使工厂等生产部门全面实现自动化,综合管理所有生产活动,提高生产效率的系统则称为 FA(factory automation)。

FA

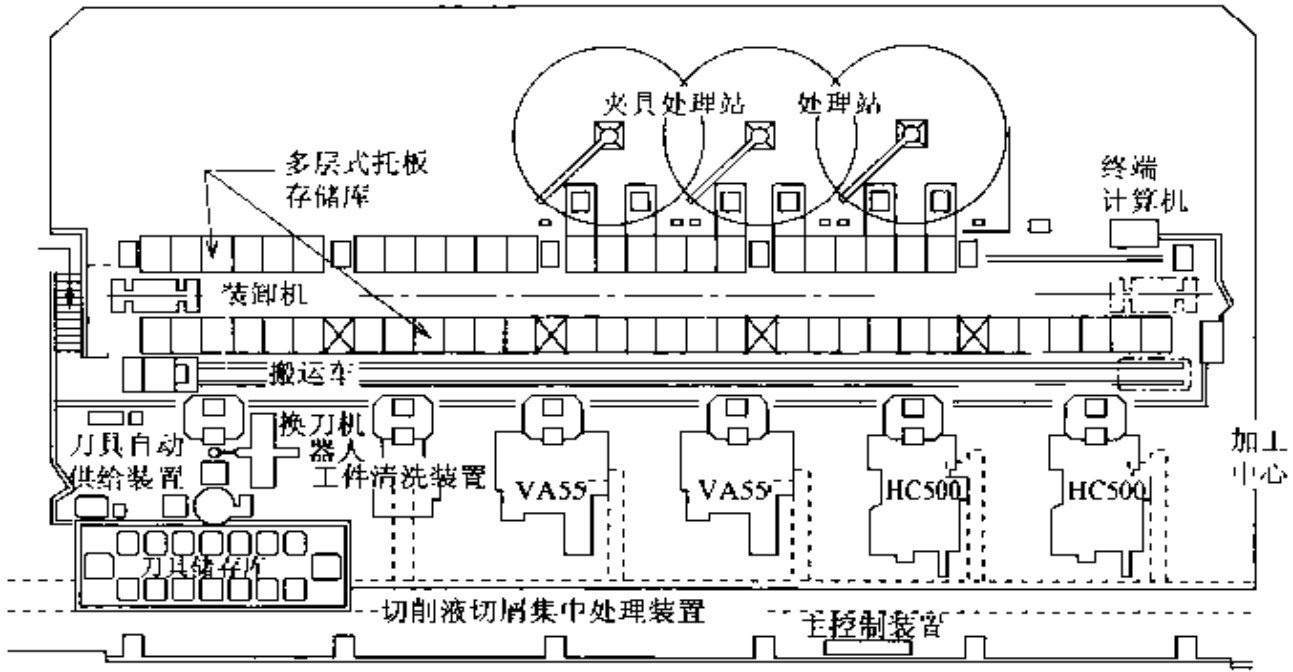


图 11.26 FMS 工厂的示例

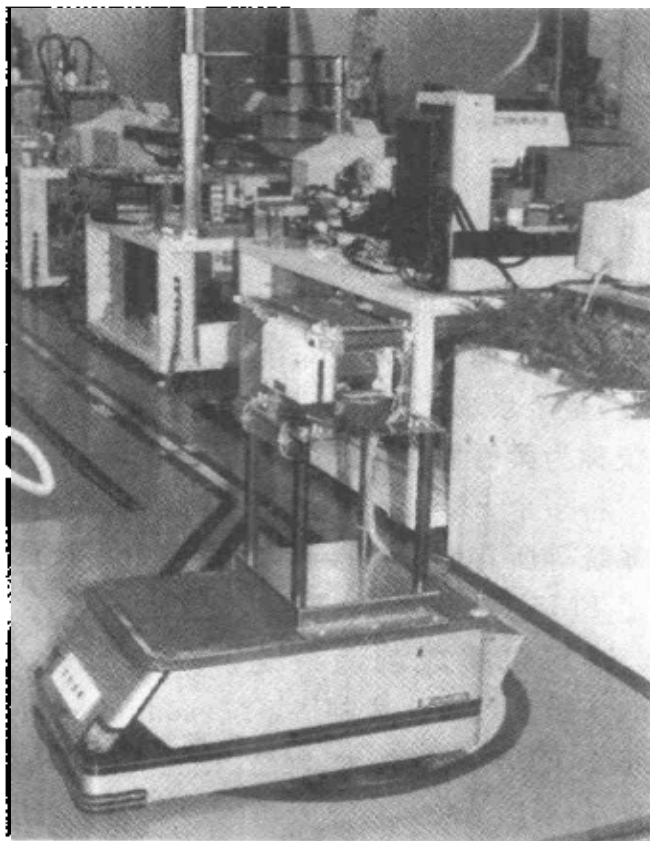


图 11.27 自动搬运车

也可以说,FA 是一种将 FMS 和 CAD/CAM 系统与生产管理计算机连接起来,可以用于实现无人化工厂的系统。

### ● 自动仓库系统

如图 11.28 所示,能够自动完成毛坯和工件的入库和出库的仓库系统称为自动仓库(automatic warehouse)。自动仓库由高层货架和自动行走取货车组成。

自动仓库

自动行走取货车

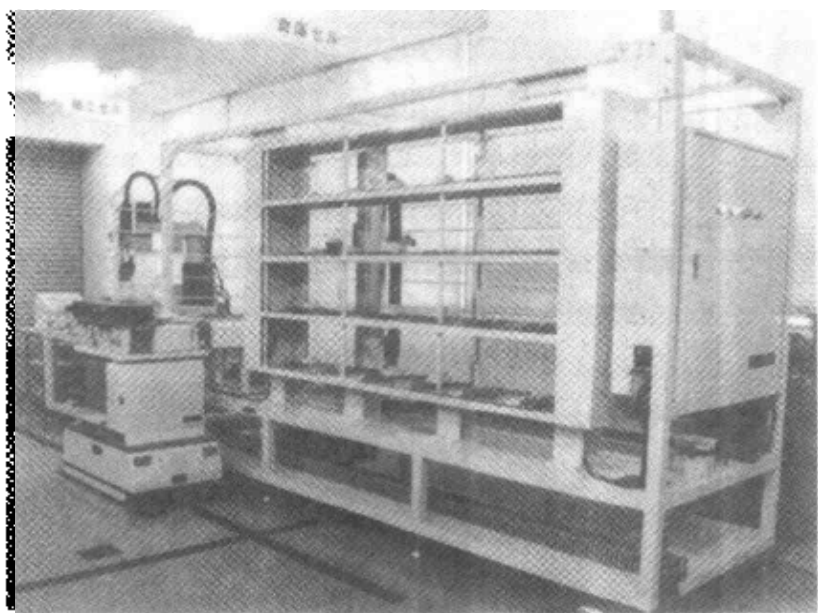


图 11.28 自动仓库和自动搬运车

### ● 柔性制造单元

在多个加工中心或车削加工中心上装备自动装卸装置和送料装置,整个系统用计算机控制,并能够在长时间内实现自动搬运的系统称为柔性制造单元(flexible manufacturing cell, FMC)

将多个 FMC 组合起来,用计算机网络将自动搬运车、自动仓库系统等所有设备连接起来,并用中央计算机进行综合管理就构成了 FMS。

### ● 计算机集成制造系统

所谓计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIM)是指技术、制造、销售、经营等完全一体化的系统,是用局域网络(LAN)将总公司的经营管理、销售管理部门与制造工厂的生产计划、材料计划等自动化管理部门以及设计、制造的技术管理部门连接起来,形成的整个企业生产系统一元化的集成生产系统。

## 9 CAD/CAM

□ **要点** 从设计到生产的一切作业都是由计算机辅助完成的自动化系统称为 CAD/CAM 系统。

□ **解释** ● **CAD**

CAD(computer aided design)系统如图 11.29 所示,能够利用计算机输入设计数据,进行设计结果和产品的图形数据处理,并能够自动绘制图纸或者在计算机显示器等外围设备上输出设计结果。在 CAD 系统上很容易实现产品的改进设计和图纸的修改。

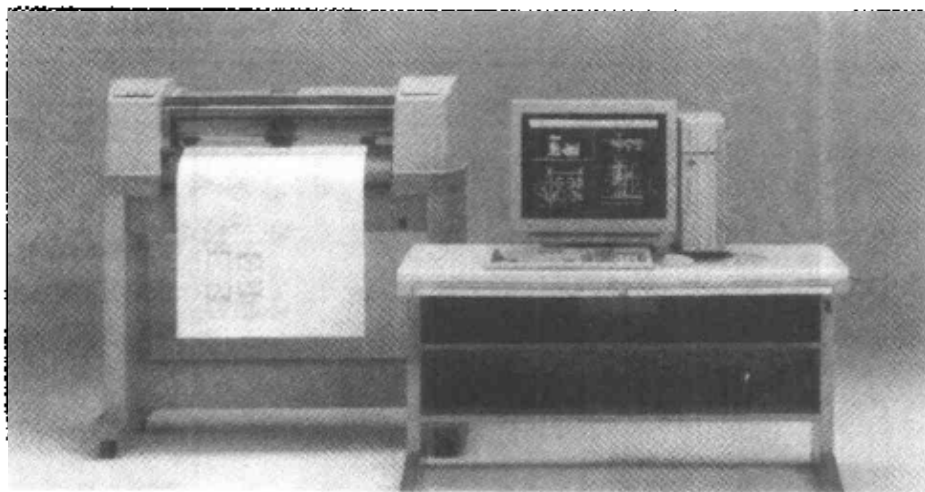


图 11.29 CAD

目前,已经有多种不同档次的 CAD 系统,都得到了广泛的应用。

① 以提高绘图效率,减轻劳动强度为目的,采用自动绘图系统制图的 CAD 系统;

② 能够从设计制图到制成 NC 程序纸带全部实现自动化的 CAD 系统;

③ 能够从设计到生产实现集成化处理的 CAD 系统。

● **CAM**

CAM(computer aided manufacturing)系统是从自动生成 NC 机床加工程序的自动编程系统发展起来的,是指能够按照 CAD 设计的图纸自动生成 NC 程序,并将 NC 程序输入 NC 机床进行自动加工的系统。

## 10 数控机床的传感器

**□ 要点** 要使机床自动运行,必须具有能够自动地完成更换刀具、控制伺服电机、装卸工件等功能。此外,还必须在加工过程中不断检测机床、刀具和工件的状态,通过传感器获得各种信息。各种传感器的开发成功,才使机床的 NC 化成为可能。

### □ 解释 ● 传感器

传感器在机床自动化的发展过程中,与计算机和伺服装置一样,起着非常重要的作用。表 11.2 中所列为 NC 机床中使用的传感器。

表 11.2 NC 机床中使用的传感器

检测项目	传感器种类	用途
位置 (接触) (非接触)	限位开关	极限位置、零点位置
	接触传感器(触头)	工件基准面、基准孔
	接近开关	刀架或者 ATC 的基准
	光电开关	检测工件的有无
	感应同步器	检测工作台的位置
温度	热敏电阻	检测机械各部件和电机等的发热
	热电偶	
液面	浮子开关	检测工作油和切削液的液面
	光电开关	
应变	应变片	检测机械的应变和变形
	压电晶体	
速度	测速发电机	检测伺服电机和主轴电机的转速
角度	旋转编码器	检测角位移
	旋转变压器	

### □ 相关知识 ● 旋转编码器

旋转编码器分为增量编码器和绝对编码器两种:

**增量编码器** 利用图 11.30(a)所示的旋转盘,由发光二极管发出的光通过旋转盘上的光栅,被光敏三极管接收到,产生与旋转盘转过的角度相对应的输出脉冲数。根据脉冲数量,可以检测出旋转盘转过的角度。

**绝对编码器** 利用图 11.30(b)所示的旋转盘,当编码旋转

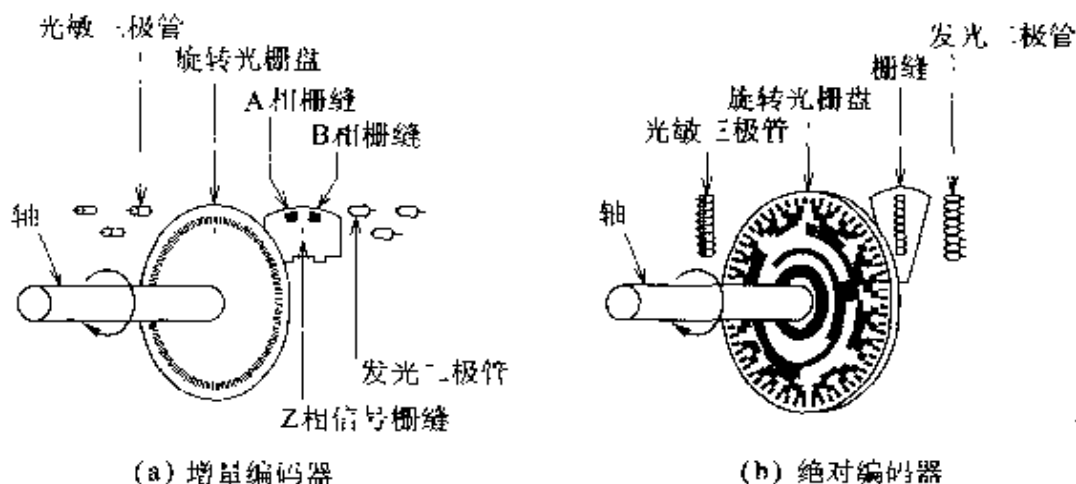


图 11.30 旋转编码器的结构

盘转动时,可以检测出与转过角度相对应的绝对位置。绝对位置信号为二进制编码信号。因此,这种编码器不需要计数器就可以检测旋转位置,常用作半闭环控制的位置传感器。

### ● 感应同步器

感应同步器是一种利用电磁感应原理检测移动位置的传感器,其构造如图 11.31 所示,将铜箔经过腐蚀加工制成矩形波形的线圈。

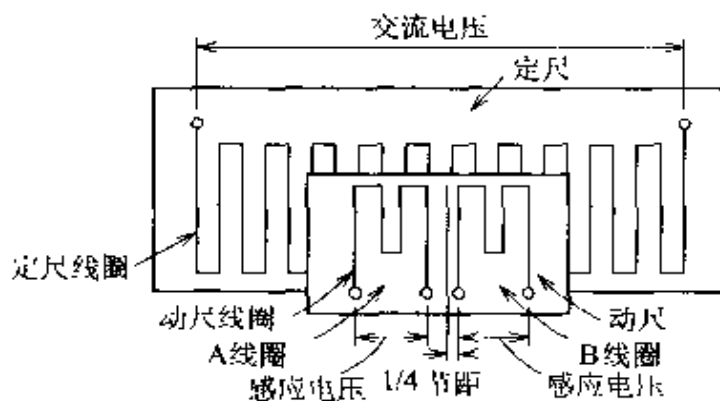


图 11.31 感应同步器的结构

### 直线感应同步器 旋转感应同步器

用于检测直线位移的感应同步器称为直线感应同步器;用于检测转角位移的感应同步器称为旋转感应同步器。

感应同步器的特点是工作状态为非接触式,无磨损,寿命长,可以直接安装在机床的工作台或者床鞍上,作为闭环控制传感器使用。



# 11 控制用伺服电动机

**要 点** 在 NC 机床上,为了使刀具或工件快速移动到指定位置,或者按一定的进给量进给,需要使用伺服电动机。

为了实现计算机控制,能够快速响应启动、停止、速度控制等输入信号,电动机的转子应尽量制成较细或者较薄的结构,以减小其转动惯量。

伺服电动机可分为直流伺服电动机和交流伺服电动机。

**解 释** ● 直流伺服电动机

直流伺服电动机

转子 定子

换向器 电刷

无刷直流电动机

用直流电源驱动的伺服电动机称为直流伺服电动机 (direct-current servomotor)。其结构如图 11.32 所示,由旋转轴的铁芯内绕上线圈制成的转子和永磁材料制成的定子加上传感器构成。

有换向器的直流电动机由于电刷的摩擦使之存在环境污染、产生火花和噪音等缺点,而无刷直流电动机则具有启动力矩大、速度控制简单、效率高等优点。

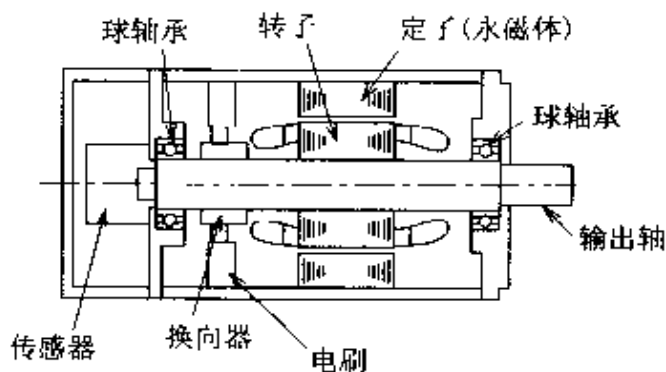


图 11.32 DC 伺服电动机的结构

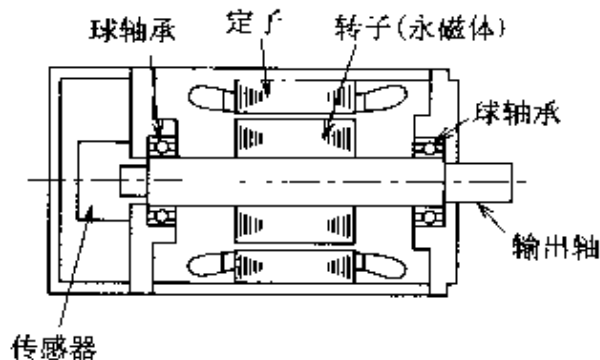


图 11.33 AC 伺服电动机的结构

## 交流伺服电动机

### ● 交流伺服电动机

用交流电源驱动的伺服电动机称为交流伺服电动机(alternating-current servomotor)。其结构如图 11.33 所示,由旋转轴上安装永磁材料制成的转子、在固定铁芯内绕上线圈制成的定子以及检测角度的传感器构成。

交流伺服电动机无电刷,体积小,重量轻,速度控制简单,可以实现恒扭矩输出,实用性能良好。

## 12 数控编程的规则

**要 点** 数控编程使用的语言(以下称为 NC 语言)必须具有 NC 装置能够处理的语言形式。NC 语言是一种具有规范格式的语言,即规定必须按一定的形式和顺序来填写与加工有关的所有信息。

**解 释** ● **格式化**

要将加工信息输入 NC 装置,必须对加工数据进行格式化处理。目前普遍采用“可变模块格式化”方式,有 ISO(国际标准化组织)和 EIA(美国电子工业协会)两种标准。

由于加工数据采用了标准化格式,所以,只要是同类数控机床,无论是哪个厂家生产的,都可以通用加工数据。

● **数控程序的形式**

**符号** NC 语言的符号可以使用英文字母(A~Z)、数字(0~9)和一些特殊符号(—, —., …, CR, SP 等)。

**地址字** 英文字母在 NC 语言中用于表示地址或者字,表 11.3 列出了 NC 语言的主要地址的功能和意义。

表 11.3 主要地址的功能和意义

地 址	功 能	意 义
O	程序号	指定程序序号或者程序名
N	顺序号	指定各程序段或者工艺的序号
G	准备功能	指定加工动作
X, Y, Z	坐标地址	连同后边的数字指定各轴的坐标位置
R		指定圆弧半径
F	进给功能	指定进给速度
S	主轴功能	指定主轴转速(r/min)
T	刀具功能	指定刀具序号或者刀具位置补偿
M	辅助功能	指定机械动作

**程序段** 数控程序如图 11.34 所示,是由字的集合构成的,每一行称为一个程序段,表示一个动作。程序段用“;”(分号)分开,其中“;”称为段结束符(EOB)。

**EOB** 字由英文字母加数字或者英文字母加符号组成。

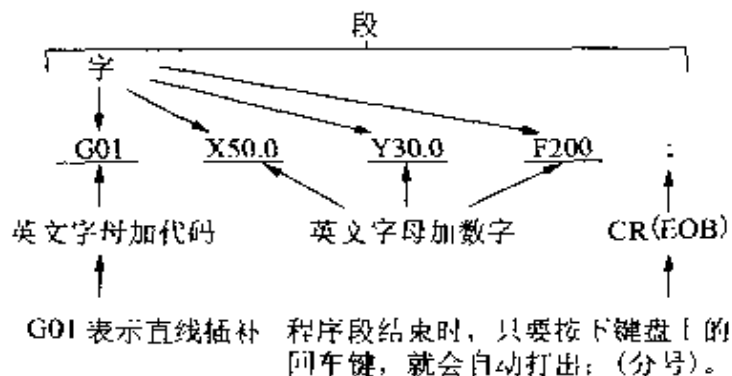


图 11.34 程序段的组成

● NC 纸带

NC 纸带(穿孔纸带)的尺寸采用 EIA 标准。如图 11.35 所示,在 1 英寸的宽度上,打上 8 列数据孔和 1 列送带孔,利用数据孔的组合来表示英文字母、数字和符号等。这些数据孔的每一列称为一个信道。数据孔的形式有 EIA 代码和 ISO 代码两种标准。

在 NC 系统的读带装置中,光线从 NC 纸带上方射入,系统对光的通过状态进行识别,并输入 NC 系统中进行存储。

现在,多数 NC 系统直接从计算机或者软盘输入数据,使用 NC 纸带的已经很少了。但纸带能够用眼睛检查,也有方便之处。

EIA 代码  
ISO 代码

1234567890NGXYZRSFT. +/SP

EIA 码



ISO 码



图 11.35 NC 纸带

## 13 数控编程

### □ 要 点

根据零件的加工图纸确定加工工序、切削条件和刀具运动路径等工艺参数,以数控系统能够处理的格式(比如纸带格式)填入程序单,将这些 NC 程序进行纸带穿孔或者存入软盘中,再将其输入到数控系统中,这一系列操作过程称为数控编程。数控编程方法有手工完成的手工编程和用计算机完成的自动编程两种。

### □ 解 释

#### ● 手工编程

对于直线加工和简单的圆弧加工,可以手工计算坐标值并确定刀具路径来完成数控编程。这种没有借助计算机,只靠手工完成的数控编程方法叫作手工编程。

#### ● 自动编程

当工件的形状比较复杂时,靠手工计算刀具轨迹并完成数控编程是非常困难的,有时甚至是不可能的。但是,若利用计算能力很强的计算机,就能够编制十分复杂数控程序。这种编程方法称为自动编程(automatic programming)。自动编程的 APT(automatically programmed tools)系统应用很广。

APT

**自动编程的流程** 将称为工件程序的自动编程语言输入计算机,经过主处理器运算处理,自动生成所谓刀位(tool location, CL)数据的刀位轨迹。然后,再经过与 NC 机床相适应的后处理器将 CL 数据翻译成 NC 语言,从而自动生成 NC 数据。

数控自动编程的流程如图 11.36 所示。

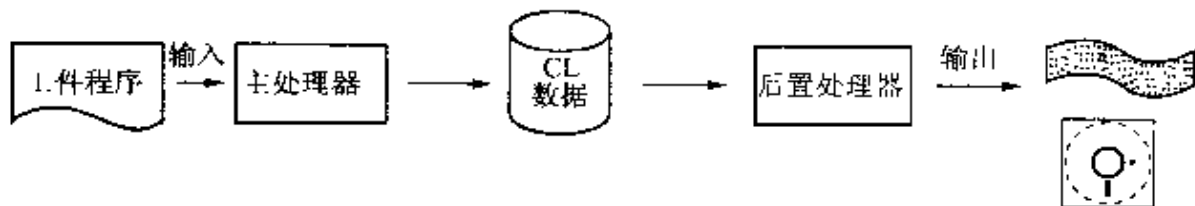


图 11.36 数控自动编程的流程

**工件程序** 表 11.4 中给出了用 APT 自动编程语言来描述定义语句的例子,这种描述方式称为工件程序(part program)。用定义语句来表达刀具、加工方法、加工面、加工形状的图形元素等,通过指定加工起始位置、加工信息、加工方法、加工面和运动指令等组成工件程序。

表 11.4 工件程序定义语句举例

定义的种类	定义语句的例子
点	P2-P L1,L2 (直线 L1 与直线 L2 交点的坐标)
线	L1=L P1,P2 (过 P1 和 P2 两点的直线)
圆	C1--C 0,20,25 (中心坐标(0,20),半径 25 的圆)
刀具移动	GL/L1,TO,L2 (沿直线 L1 左侧移动,到直线 L2 停止)

CL 数据

**主处理器** 读入工件程序,通过编译进行刀具轨迹计算,最后生成 CL(cutter location)数据的程序称为主处理器(main processor)。主处理器生成的刀具坐标值以绝对坐标来表示。

后处理器

**后处理器** 不同类型的 NC 机床所采用的 NC 数据的格式也有差异。因此,各种 NC 机床都要备有相应的后处理器(post processor)。由 CL 数据生成适应各种 NC 机床的 NC 数据的程序称为后处理器。

后处理器具有以下功能:

- ① 生成 NC 数据;
- ② 绘图功能;
- ③ 检查功能;
- ④ 修改功能;

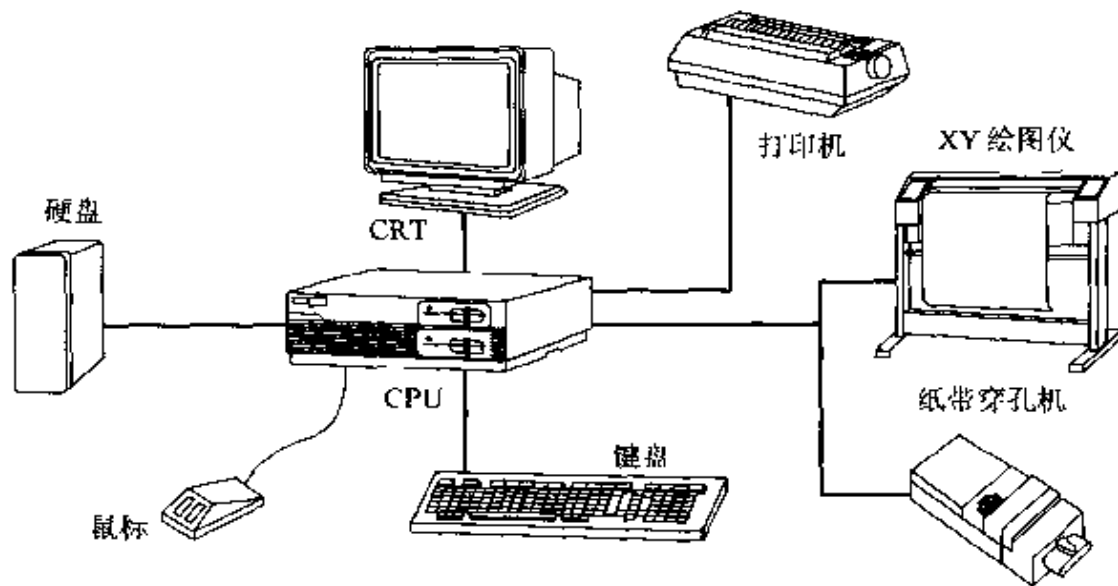


图 11.37 自动编程系统的构成

⑤ 注册功能；

⑥ 输出功能。

### ● 自动编程系统

自动编程系统如图 11.57 所示,由输入装置、输出装置和计算机组成。

在自动编程的软件中,对每种数控机床都设有后处理器,针对不同的加工形状,软件中还分别设有适用于 2 1/2 轴和 3 轴等 NC 机床的模块。

目前,自动编程系统已经发展为 CAD/CAM 系统。

## □ 相关知识 ● 工艺表

通过阅读工件图纸,研究工件的加工顺序和加工条件并将其填写在表格中,就形成了工艺表。

表 11.5 是工艺表的例子。

表 11.5 工艺表的例子

顺序号	准备功能	坐标值			进给功能	主轴功能	刀具功能	辅助功能
		X	Y	Z				
N	G	X	Y	Z	F	S	T	M
1	G54 G90	X10.0	Y50.0			S350		
	G43			Z100.0		H01		

## 应用知识 ● 刀具的插补运动方式

在 NC 机床上,刀具的基本插补运动方式有以下 4 种:

G00:快速定位,快速移动到指定的位置(移动速度由机床决定);

G01:直线插补,沿直线移动到指定位置(必须给定进给速度 F 值);

G02:顺时针圆弧插补,按顺时针方向沿圆弧移动到指定位置;

G03:逆时针圆弧插补,按逆时针方向沿圆弧移动到指定位置

对于 G02 和 G03 必须给出圆弧的半径。

# 14 刀具移动方式

**□ 要点** 给定刀具或者工件的移动位置的方式中有绝对坐标(ABS)方式和增量坐标(INC)方式两种。

**□ 解释** ● **绝对坐标方式**

先确定坐标系的原点(程序原点),通过给定在该坐标系中的位置来控制刀具或者工件移动的方式称为绝对坐标(absolute, ABS)方式。这种方式以坐标原点为(0,0)点,按给定位置到原点的坐标距离来确定刀具的运动轨迹。大多数 NC 程序都采用这种坐标方式。图 11.38 给出了用绝对坐标方式表示移动量的方法。

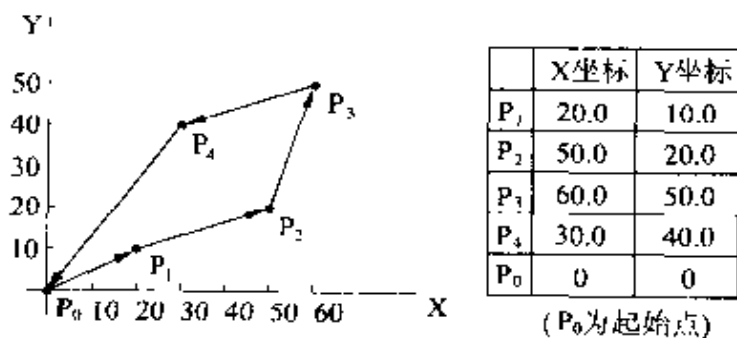


图 11.38 绝对坐标方式的表示方法

● **增量坐标方式**

以刀具或者工件的当前位置为基准,通过给定方向(+,-)和增量值来控制刀具或者工件移动的方式称为增量坐标(incremental, INC)方式。这种方式以当前位置为起始点,按给定的增量值来确定刀具的运动轨迹。图 11.39 给出了用增量坐标方式表示移

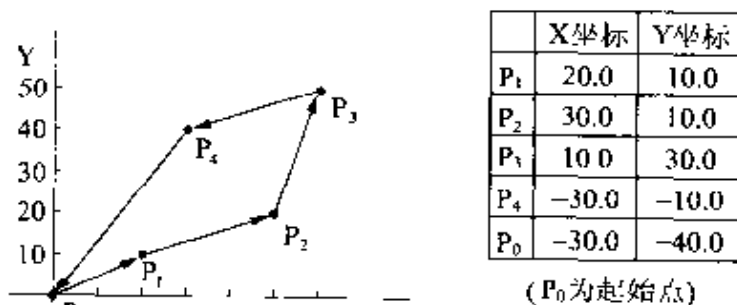


图 11.39 增量坐标的表示方法



动量的方法,其方向的规定如图 11.40 所示。

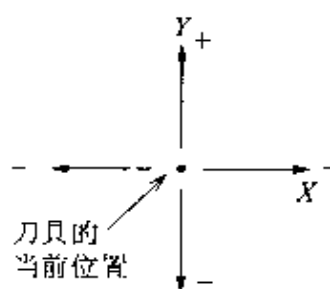


图 11.40 增量坐标方式的方向表示方法

# 15 刀具补偿功能

**要 点** 在更换刀具时,每个刀具的端部到主轴端的长度和刀具的直径都会发生变化。NC系统对这些变化的自动补偿功能分别称为刀具长度补偿和刀具半径补偿。这些功能对于安全精确地进行加工是十分必要的。

**解 释** ● 刀具长度补偿

NC机床的刀库中装有多把刀具,机床依次调用这些刀具进行加工,可以使机床具有更宽的加工适用范围。

不过,在刀具安装时,各刀具的端部到主轴端的长度不同(如图11.41所示)。因此,将各刀具相对于某一基准面的距离作为补偿量,使各刀具相当于具有同样的刀具长度,并将补偿量存储在NC系统中。在调用各刀具时,同时调用相应的补偿量,对其长度进行补偿。这种补偿功能称为刀具长度补偿功能。

刀具长度补偿

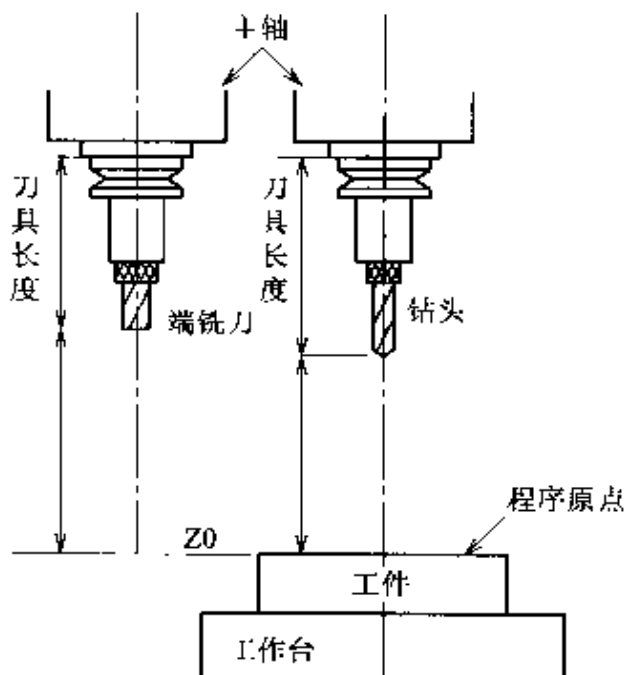


图 11.41 刀具长度补偿

● 刀具半径补偿

如图11.42所示,用半径为 $R$ 的刀具加工工件时,刀具的中心必须沿着工件表面廓形的等距线轨迹运动,运动轨迹到工件表面

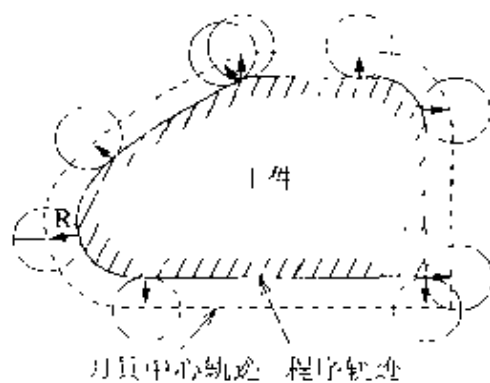


图 1.42 刀具半径补偿

廓形的距离保持为  $R$ 。对于简单的形状可以手工计算刀具有中心的轨迹,但对于圆弧等复杂形状,手工计算就比较困难。因此,NC 系统设计了自动补偿功能,只要给出刀具半径并指定刀具沿工件的哪一侧运动,机床就能够按着图纸设计的尺寸自动进行加工。NC 系统的这种补偿功能称为刀具半径补偿功能。

### 刀具半径补偿

# 16 坐标系的设定

## □ 要点

坐标系规定了各轴之间的位置关系,防止编程时产生混乱。坐标系分为各种 NC 机床自身的机床坐标系和以工件为中心的工件坐标系

## □ 解释

### ● 坐标系

在机床上,工作台和主轴沿各轴的方向运动。运动包括一般工作台的直线运动部分和旋转工作台的旋转运动部分。这些轴的位置关系已有规定的标准。

如图 11.43 所示,坐标系的 3 个正交直线轴规定为 X、Y、Z 轴,绕 X 轴的旋转运动规定为 A 轴,绕 Y 轴的旋转运动规定为 B 轴,绕 Z 轴的旋转运动规定为 C 轴。一般将与主轴平行的直线轴规定为 Z 轴,将右手的中指指向 Z 轴,食指指向 Y 轴,拇指指向 X 轴,构成所谓的右手直角坐标系。

右手直角坐标系

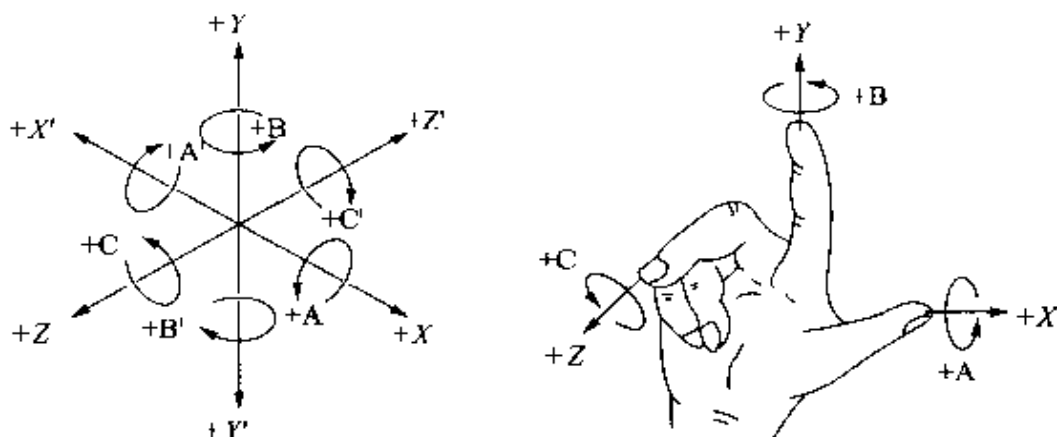


图 11.43 坐标轴表示方法

### ● 机床坐标系与工件坐标系

虽然 NC 机床的种类和大小不同,但各种机床都设有称为机床原点的基准点。以这些机床原点为基础形成了 NC 机床的坐标系,这种坐标系称为加工时的机床坐标系。

工件坐标系设在工件上。在加工时,必须以工件上的某个基准点为坐标原点来决定工件的运动。这种坐标系称为工件坐标系,在加工图上用符号  $\odot$  来表示工件坐标系的原点。

机床坐标系

工件坐标系

# 17 编程示例

## □ 解 释 ● NC 车床的编程示例(外圆车削)

如图 11.44 所示,设刀具位于 X 轴上,编制加工程序使刀具沿  $P_1 \rightarrow \dots \rightarrow P_6$  的轨迹运动加工。

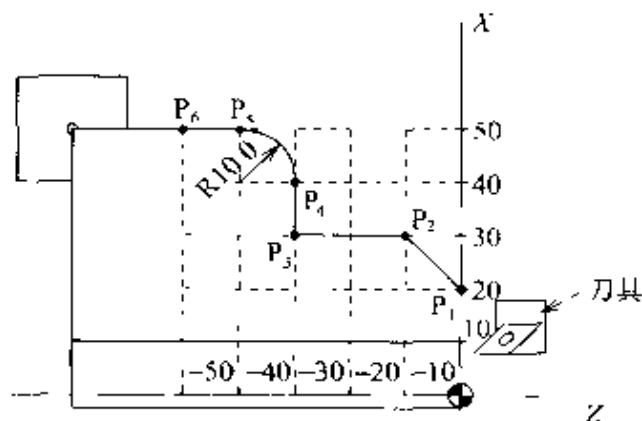


图 11.44

### [1] 计算坐标值

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$
X	20.0	30.0	30.0	40.0	50.0	50.0
Z	0	-10.0	-30.0	-30.0	-40.0	-50.0

### [2] 编 程

```

N101 G01 X40.0 Z0 F0.2 刀具运动到 P1 点,进给量 0.2mm/r
N102 X60.0 Z-10.0 刀具运动到 P2 点
N103 (X60.0) Z-30.0 刀具运动到 P3 点
N104 X80.0 (Z-30.0) 刀具运动到 P4 点
N105 G03 X100.0 Z-40.0 R100.0 刀具运动到 P5 点
N106 G01 (X100.0) Z-50.0 刀具运动到 P6 点
N107 X120.0 (Z-50.0) 沿 X 轴方向快速退刀

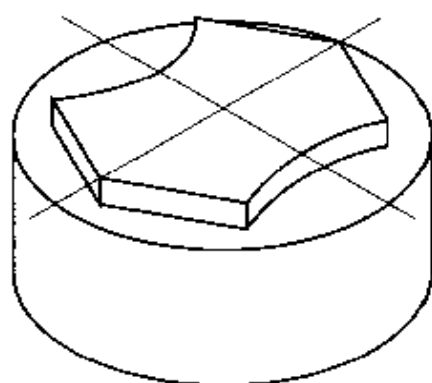
```

## ● 加工中心的编程示例(用端铣刀加工)

对图 11.45 所示的工作形状,编制加工程序使刀具沿  $P_1 \rightarrow \dots \rightarrow P_6 \rightarrow P_1$  的轨迹运动加工。

### [1] 计算坐标值

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
X	25.0	15.0	-15.0	-25.0	-15.0	15.0
Y	0	-20.0	-20.0	0	20.0	20.0



1. 件立体图

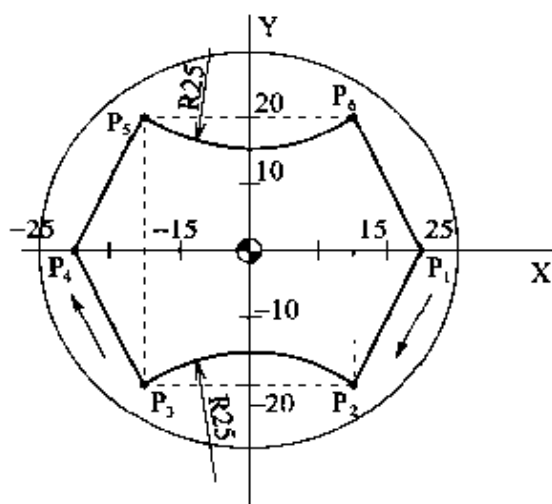


图 11.45

## ② 编 程

### 加工中心的编程

```

O1111
G90 G00 G54 X25.0 Y0 S1000

G43 Z100 H01
补偿序
M03
G00 Z3.0
G01 Z-1.0 F150
      X15.0 Y-20.0
G03 X-15.0(Y-20.0) R25.0
G01 X-25.0 Y0
      X-15.0 Y20.0
G03 X15.0 (Y20.0) R25.0
G01 X25.0 Y0
      Z5.0

```

程序号为 1111

绝对坐标编程,快速移动到 P<sub>1</sub> 点,设定  
主轴转速为 1000r/min

刀具长度补偿,移动到 Z100 位置,刀具  
号为 1

主轴启动

刀具移动到 Z3.0 位置

切入到 Z-1.0 点,进给速度 150mm/min

刀具沿直线运动到 P<sub>2</sub> 点

刀具沿逆时针圆弧运动到 P<sub>3</sub> 点

刀具沿直线运动到 P<sub>4</sub> 点

刀具沿直线运动到 P<sub>5</sub> 点

刀具沿顺时针圆弧运动到 P<sub>6</sub> 点

刀具沿直线运动到 P<sub>1</sub> 点

沿 Z 轴方向快速退刀至 Z5.0 位置

---

M05				主轴停止
G28	Z0			回 Z 轴的机床零点
G28	X0	Y0		回 X 轴和 Y 轴的机床零点
M30				程序结束,返回程序起点

## 第12章

# 流体力学

- 责任编辑  
深作贞男
- 执 笔  
天野一美

对于高速列车和飞机等高速运动的物体，都要考虑使其在运动中减小空气阻力的问题。为减小空气阻力而设计的形状是以流体力学的理论和实验为基础的。除了交通、运载机械以外，在其他机械中也要大量使用像泵等运用流体力学理论的设备。在机械设计过程中，流体力学是不可缺少的知识。

本章将介绍流体力学的基本理论和应用流体力学的机械原理。学习流体力学需要较深的数学知识，因此，希望读者要反复学习和理解本章的内容。



# 1 流体的概念

**□ 要点** 所谓流体就是像液体和气体那样具有流动性的物体。

**□ 解释** ● **流动性**

物体随着温度和压力的变化,其状态可在固体、液体和气体三种物态中变化,比如冰、水和水蒸汽就是水的三种物态。物态是由分子间的距离和分子运动决定的。固体的分子之间紧密结合,相互之间的距离很小,在分子紧密结合的状态下,物体不易变形,没有流动性。液体的分子间距离与固体几乎相同,但分子间的结合力很小,容易变形,可以随容器或通道的形状而变形流动。气体的分子间无相互结合,可以在空间自由运动,流动性非常好(参见图 12.1)。

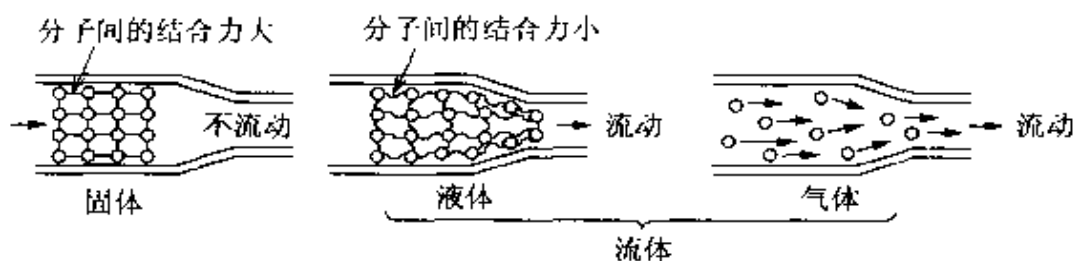


图 12.1 分子间的结构与流动性

● **可压缩性**

由于气体的分子可以在空间自由运动,所以当周围没有限制时体积就会膨胀。反之,若受到周围的压力作用,其体积就会缩小。因此,气体具有可压缩性(参见图 12.2)。

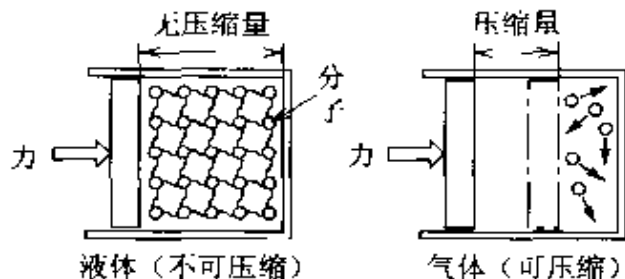


图 12.2 分子间的结构与可压缩性

由于流体的分子之间在力的作用下距离保持不变,即使受到周围力的作用体积也几乎不会缩小,所以说液体是不可压缩的,即不具有可压缩性。

在流体力学中,由于对可压缩流体的计算处理十分复杂,因此以不可压缩的流体为基础来推导其基本公式。

## □ 相关知识 ● 密度

任何物体都具有一定的质量和体积。质量相同的铁、水和空气的体积却不相同。表示质量  $m$  和体积  $V$  之间关系的物理量是密度  $\rho$  (参见图 12.3), 其关系可用下式表示:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

物体的体积随温度和压力变化时,其密度也发生变化。表示密度时要给出对应的温度和压力,但对于常温和大气压下的密度可以省略。液体是不可压缩的,所以其密度几乎不随压力变化。

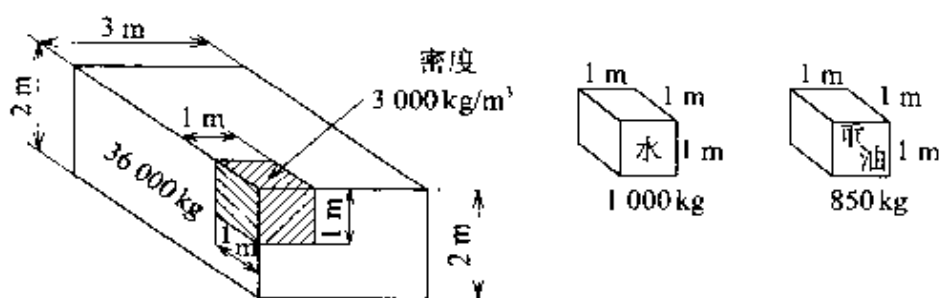


图 12.3 密度

## ● 黏度

有的流体呈黏稠状流动,有的流体则潺潺流动,这是由于分子之间力的大小不同,所产生的阻碍流体流动的力也不同。这种阻碍流体流动的性质称为黏性,黏性的数值表示称为黏度(是指流体在单位速度梯度下流动时单位面积上产生的内摩擦力),黏度值大的流体的流动性较差,黏度值小的流体的流动性较好(如图 12.4

黏度



图 12.4 黏性

所示)。流体的黏度与其密度的比值称为运动黏度。

### ● 安全标准

气体具有可压缩性,同时也具有膨胀性。装有压缩气体的容器和管路一旦破裂,气体就会急剧膨胀,容器的碎片就会向四周飞散,十分危险。日本的劳动安全卫生法中制定了关于大气压以上的高压气体使用的法规,在使用高压气体时必须认真遵照执行,保证作业安全。

## 2 流体静力学

### 要 点

在地面上静止的流体,受到大气压力和重力的作用。流体单位面积上所受到的法向力称为压力,

### 解 释

#### ● 重 力

#### 重力加速度

重力是地球对物体产生的引力,等于物体的质量  $m(\text{kg})$  与重力加速度  $(\text{m}/\text{s}^2)$  的乘积。因为质量等于体积  $V(\text{m}^3)$  与密度  $\rho$  的乘积,所以可以得到如下公式(参见图 12.5(a)):

$$F = mg = \rho Vg, \quad g = 9.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

#### ● 压 力

压力  $p$  等于流体所受的力  $F(\text{N})$  与受力面积  $A(\text{m}^2)$  的比值,单位为帕斯卡,简称帕,符号为 Pa。底面积为  $A$ ,高度为  $h$  的圆桶中装满密度为  $\rho$  的流体时,作用在桶底面上的力  $F$  就是由流体质量产生的重力,压力关系可用下式表示(参见图 12.5(a)):

$$F = mg = \rho Vg = \rho Ahg(\text{N})$$

$$P = F/A = \rho Ahg/A = \rho hg(\text{Pa})$$

那么,圆桶中间部分的压力如何变化呢?例如,考察从流体上表面向下  $h_b$  距离的点  $b$ 。由作用在包含  $b$  点的流体截面上的重力  $F_b$ ,除以面积  $A$  得到压力  $p_b$  为

$$p_b = F_b/A = \rho h_b Ag/A = \rho h_b g$$

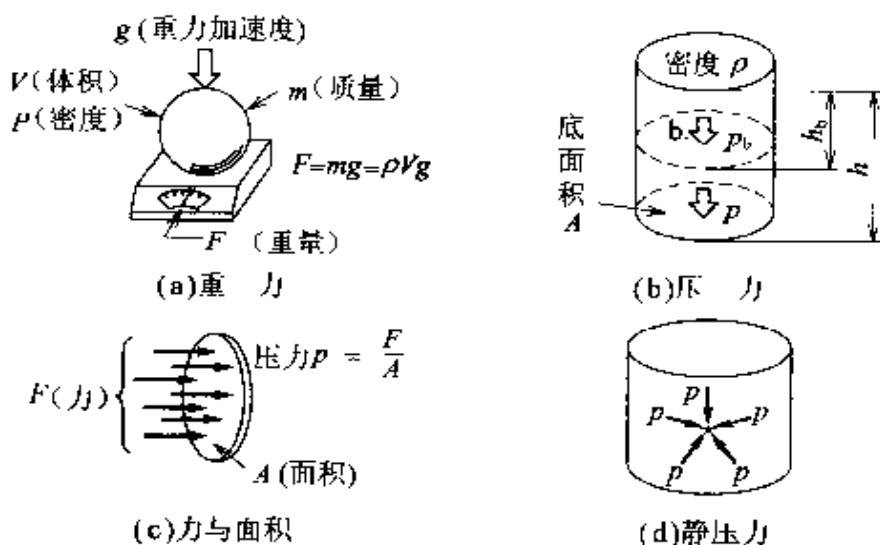


图 12.5 重力与压力

流体处于静止时,任意一点的各个方向受到同样的压力作用,处于力的平衡状态,这时流体上的压力称为静压力。

## □ 相关知识 ● 帕斯卡原理

如图 12.6 所示,在密闭容器内的静止流体受到外力  $F$  的作用时,由该力产生的压力将等值地传向流体内的各点。此原理是由帕斯卡首先发现的,所以称为帕斯卡原理。

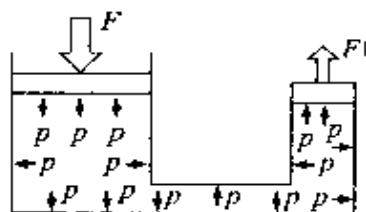


图 12.6 帕斯卡原理

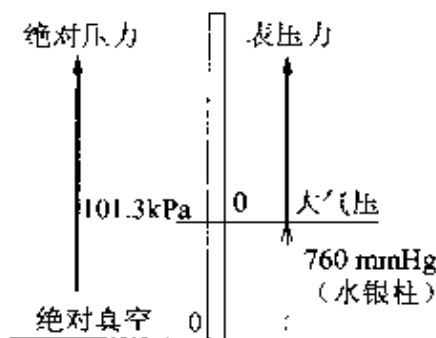


图 12.7 绝对压力与表压力

## ● 绝对压力与相对压力

压力的表示方法有两种,一种是以绝对真空作为基准 0 所表示的压力,称为绝对压力;另一种是以大气压力作为基准 0 所表示的压力称为相对压力。由于一般情况下都要受到大气压力的作用,所以大多数仪表所测得的压力都是相对压力,故相对压力也称为表压力。绝对压力  $p_0$  与表压力  $p_x$  之间的关系可用下式表示(参见图 12.7)

$$p_0 = p_x + 101.3 \text{ (kPa)}$$

## ● 压力的测量

测量压力并用数值表示的主要方法有图 12.8 所示的波顿管

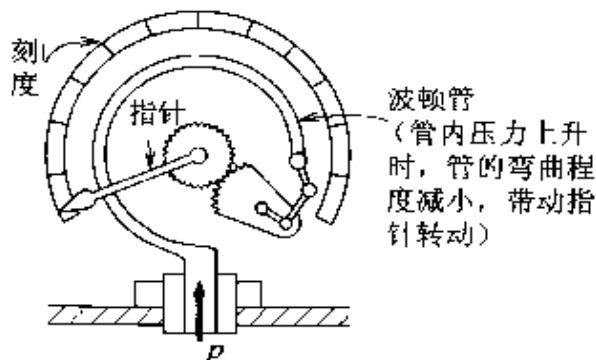


图 12.8 波顿管式压力表

绝对压力  
相对压力

式压力表和图 12.9 所示的液柱压力计。一般低于大气压的压力用水银柱高度(mmHg)来表示(参见图 12.7)。

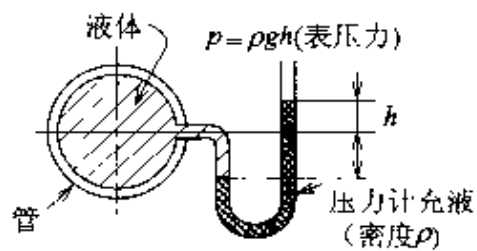


图 12.9 液柱压力计

### 3 流体作用于容器壁上的力

□ 要 点 装在水槽等容器内的静止流体对容器壁有压力作用。

□ 解 释 ● 对容器侧壁面的压力

如前所述,静止流体内任意一点的压力与从液面到该点的深度成正比。因为水槽等容器的侧壁面上的点也是任意点,所以容器侧壁面上的点的压力也与从液面到该点的深度成正比。此外,由于一点上任何方向的压力都相等,对于倾斜壁面上所受的压力也同样与到液面的深度成正比(参见图 12.10、图 12.11)。

作用在整个容器侧壁面上的平均压力  $p_0$  为流体 1/2 总深度处的压力,总压力的作用中心在液面向下的 2/3 总深度处。

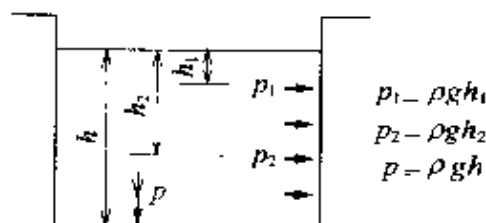


图 12.10 作用在侧壁面上的压力

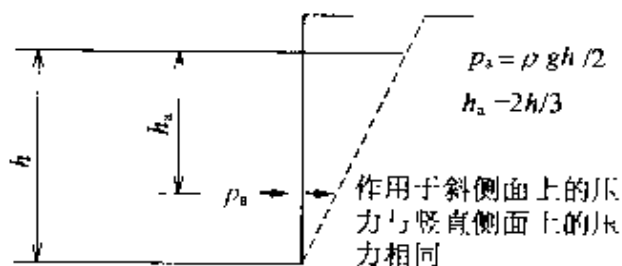


图 12.11 作用在侧壁面上的平均压力

□ 相关知识 ● 容器侧壁面上任意面积的作用力

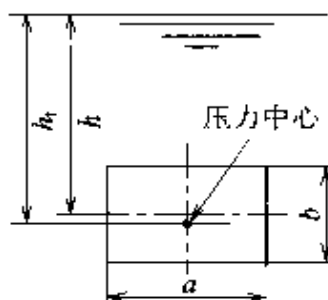
在水槽等容器的侧壁面上,有时需要设有清理用的出液口和入液口,装入液体时要盖上密封盖。作用在密封盖上的力可以用平均压力乘以密封盖的面积来计算。图 12.12 和图 12.13 中分别给出了计算四边形和圆形面积上的平均压力及压力中心的公式。

● 压力与流速

若在图 12.14 所示的水槽的  $h$ (m)深处开一个孔,水就会从孔

## 托里拆利定律

中流出。此时,水的流速  $v$  可以根据托里拆利定律按图中给出的公式计算。但由于出口处的压力损失,使实际的流速略低于计算值。



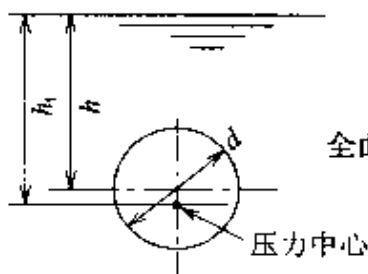
矩形

平均压力:  $p_a = \rho gh$

全面积上的作用力:  $F = p_a ab$

压力中心:  $h_c = h + b^2/12h$

图 12.12 矩形面积上的压力中心



圆形

平均压力:  $p_a = \rho gh$

全面积上的作用力:  $F = p_a \pi d^2/4$

压力中心:  $h_c = h + d^2/16h$

图 12.13 圆形面积上的压力中心

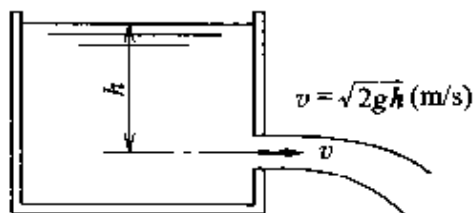


图 12.14 托里拆利定律

## 例 题

将密度为  $1000\text{kg/m}^3$  的水装入一个水箱中,水箱上有一个清理用的入水口密封盖,密封盖的中心位于从水面向下的  $3\text{m}$  深处,受到水压力的直径  $d$  为  $0.5\text{m}$ 。试求密封盖所受的力以及压力的作用中心位置  $h_c$ 。

**答** 作用力  $F$  和力的作用中心位置  $h_c$  的计算如下:

$$F = \pi d^2 \rho gh / 4 = 3.14 \times 0.5^2 \times 1000 \times 9.8 \times 3 / 4 = 5770\text{N}$$

$$h_c = h + d^2 / 16h = 3 + 0.5^2 / (16 \times 3) = 3.005\text{m}$$

即有  $5770\text{N}$  的力作用于密封盖中心向下  $0.005\text{m}$  处。



## 4 流体的连续性定律

**要 点** 在管路中连续流动的流体满足“质量守恒定律”和“能量守恒定律”。

**解 释** ● 质量守恒定律

流体在管路中连续流动时,管路中任意两点单位时间内流过的质量相等(参见图 12.15)。

管路内单位时间流过的流体质量  $M$  可按下列式计算:

$$M = \rho v A = \rho v \pi d^2 / 4 \quad (\text{kg/s})$$

其中,  $\rho$  为密度 ( $\text{kg/m}^3$ ),  $v$  为流速 ( $\text{m/s}$ ),  $A$  为管路的截面积 ( $\text{m}^2$ ),  $d$  为管路截面的直径, 单位 ( $\text{m}$ )。

因为单位时间内流过管路的任意截面 1 和截面 2 的流体质量相等, 所以

$$\rho v_1 \pi d_1^2 / 4 = \rho v_2 \pi d_2^2 / 4, \quad v_1 d_1^2 = v_2 d_2^2$$

则

$$v_1 / v_2 = (d_2 / d_1)^2$$

流速

即流速与截面直径的平方成反比。

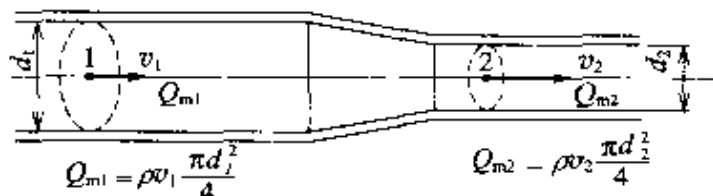


图 12.15 质量守恒

● 能量守恒定律

能量守恒定律

流体所具有的能量  $e$  包括位能  $e_h$ 、压力能  $e_p$  和动能  $e_v$ , 在没有热量传递时, 总能量保持不变。这种规律称为能量守恒定律(参见图 12.16)。因为流体为连续体, 所以常用单位质量的能量来表示。计算公式如下(参见图 12.17):

$$e = e_h + e_p + e_v = gh - p/\rho + v^2/2 = (\text{常量})$$

此外, 有时还将能量与重力加速度  $g$  的比值称为水头;  $h$  称为位置水头;  $p/\rho g$  称为压力水头;  $v^2/2g$  称为速度水头。

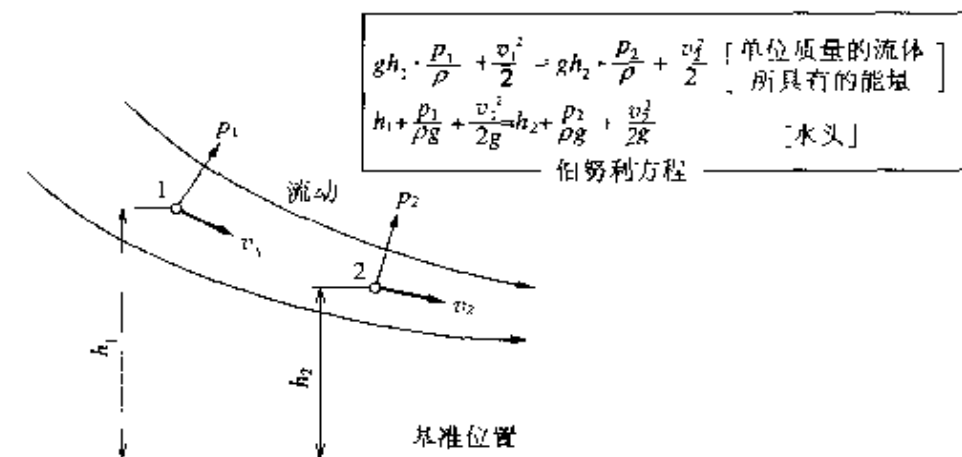


图 12.16 能量守恒定律

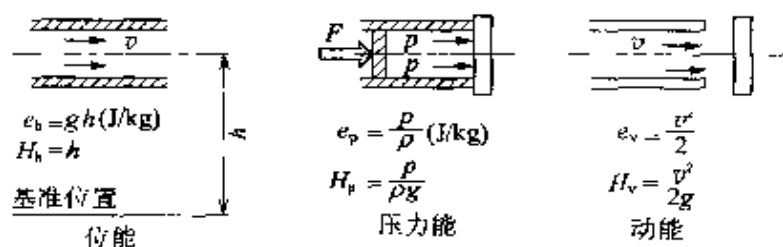


图 12.17 流体的能量

## 相关知识 ● 位能 $E_h$

位能是由重力加速度产生的相对能量。质量为  $m(\text{kg})$  的流体从基准面上方  $h(\text{m})$  下落时所具有的能量  $E_h$  可按下面的公式计算：

$$E_h = mgh$$

因此，单位质量所具有的能量  $e_h$  为

$$e_h = mgh/m = gh$$

即在基准面上方  $h$  高度处的流体所具有的位能与高度  $h$  成正比。

## ● 压力能 $E_p$

压力能是由压力产生的能量。管路内压力为  $p$  的流体通过  $A$  截面流动距离  $l$  时，所需要的能量  $E_p$  为

$$E_p = pAl$$

若用  $\rho Al$  来替换质量，则单位质量的流体所需要的能量  $e_p$  为

$$e_p = pAl/\rho Al = p/\rho$$

## ● 动能 $E_v$

质量为  $m$  的物体以速度  $v$  运动时，物体所具有的动能  $E_v$  为

$$E_v = mv^2/2$$

单位质量的流体所具有的动能  $e_v$  为

$$e_v = mv^2/2m = v^2/2$$

## 5 流动状态

**要 点** 流体的流动状态分为规则流动的层流状态和紊乱流动的紊流状态,流体的流动状态可以利用雷诺数来区分。

**解 释** ● 层流与紊流

层流

在流体的流动过程中,如果不存在干扰流动的因素,那么,流体就会在各层平行的状态下流动。流体的这种流动状态称为层流。

流体在管路中流动时,与管路内表面接触的流体层受到摩擦力和黏性的作用流速较低。这种影响由于黏性力的作用也会影响到中心层,使流动发生紊乱。流体的黏度越小,流动强度越大,产生紊乱的可能就越小。

紊流

如果管路内表面的粗糙度较大,或者有突起物等干扰流动的因素存在,就会引起流动状态的紊乱,产生紊流状态。如图 12.18 所示,在水管等管路中的流体流动几乎都是紊流状态。



图 12.18 层流与紊流

● 雷诺数

流体的流动状态是由流体的黏度和流动力(惯性力)决定的。一般用雷诺数对这种性质作数值表示,雷诺数  $Re$  的表达式如下:

$$Re = \rho v D / \mu = v D / \nu$$

其中,  $v$  表示流速(平均流速等)( $m/s$ ),  $D$  表示流体的长度尺寸(对于圆管就是管子的内径)( $m$ ),  $\rho$  为流体的密度( $kg/m^3$ ),  $\mu$  为流体的黏度( $Pa \cdot s$ ),  $\nu$  为运动黏度( $m^2/s$ )。

## □ 相关知识 ● 雷诺数与流动状态

雷诺数较小时,流动状态主要是受流动力(惯性力)的影响,产生规则的层流状态。相反,雷诺数较大时,流动状态主要是受黏性力的影响,产生紊乱的紊流状态。

雷诺数的数值从几百到几十万,受管路的形状的影响很大。流体从层流状态向紊流状态转变(或从紊流状态向层流状态转变)时的雷诺数称为**临界雷诺数**。一般(对于光滑的金属圆管)临界雷诺数为(参见图 12.19)

$$Re = 2\,320$$

当  $Re \leq 2\,320$  时,流体为层流状态;当  $Re > 2\,320$  时,流体处于紊流状态。

管路中处于层流状态的流体,如果受到管路内干扰因素的影响,流动状态就会发生紊乱。此时,如果流体的雷诺数大于临界雷诺数,流体的流动就会紊乱下去而不会转变回层流状态,如果流体的雷诺数小于临界雷诺数,则流体的流动从消除干扰后经过一段时间就会转变回层流状态。

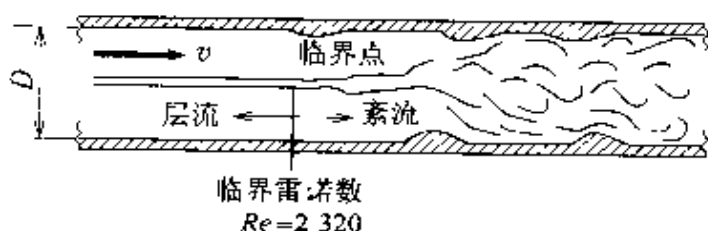


图 12.19 雷诺数与流动状态

## ● 雷诺数的计算示例

运动黏度为  $1 \times 10^{-6}$  的流体(水)在内径为 8cm 的管路中以 0.5 m/s 的速度流动时,判断其流动状态是层流还是紊流。

雷诺数的计算

$$Re = vD/\nu = 0.5 \times 0.08 / 0.000\,001 = 40\,000$$

因为雷诺数大于 2 320,所以判断流动状态为紊流。

## ● 公式与层流

能量守恒的伯努力方程式等基本公式都忽略了黏度、温度、压力变化的影响,并将流动状态作为层流状态来处理。要形成符合理论的流动状态,必须选择雷诺数小于 2 320 的流体和适当形状的管路,可是在现实中是比较困难的。

临界雷诺数

下面来分析一下形成层流状态的条件。雷诺数  $Re$  必须小于 2 320, 对于同样的流体来说, 能够变化的只有流速  $v$  和管路的内径  $D$ 。

若管路的内径  $D$  不变, 则流体的流速  $v$  计算如下:

$$\text{因为 } Re = vD/\nu, \text{ 所以, } 2\,320 > vD/\nu$$

$$\text{所以, } v < 2\,320\nu/D = 2\,320 \times 0.000001 \div 0.08$$

$$v < 0.029\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \cdots 29\text{mm/s 以下}$$

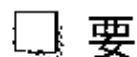
若流体的流速  $v$  不变, 则管路的内径  $D$  计算如下:

$$D < 2\,320\nu/v = 2\,320 \times 0.000001 \div 0.5$$

$$D < 0.0046\text{m} \cdots 4\text{mm 以下}$$

由此可见, 要使流动为层流状态, 就必须使流速  $v$  和管路的内径  $D$  都很小。

## 6 流体在管内的流动



要

点

通常要利用管路使流体沿一定方向流动。液体沿管路流动时,由于管路的摩擦和管路形状等原因,会导致管路中的能量损失,因而对流动产生影响。



解

释

### ● 管路摩擦

管路摩擦是由管路内表面的粗糙度和流体的黏性所引起的(见图 12.20)。管路内的摩擦损失能量和摩擦损失水头可以按下面的公式计算:

$$E_m = \lambda l v^2 / 2 D \text{ (J/kg)}, \quad h_m = \lambda l v^2 / 2 D g \text{ (m)}$$

其中,  $\lambda$  为管路内的摩擦系数,通常使用的钢管内的摩擦系数大约为 0.03,  $l$  为管路的长度(m),  $v$  为流速(m/s),  $D$  为管路的内径(m)。

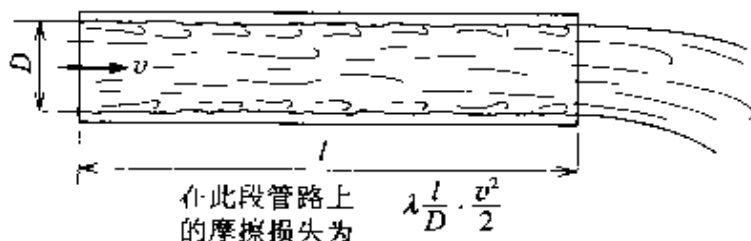


图 12.20 管路上的摩擦损失

### ● 管路形状引起的能量损失

管路形状引起的能量损失受流速的影响很大,可按下面的公式计算:

$$E_h = \zeta v^2 / 2 \text{ (J/kg)}, \quad h_h = \zeta v^2 / 2 g \text{ (m)}$$

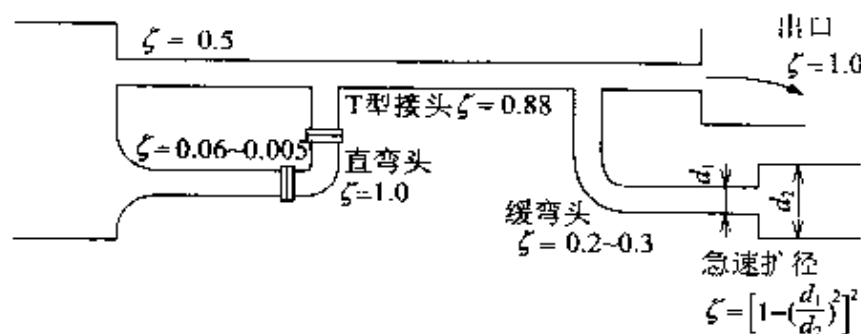


图 12.21 管路形状与能量损失系数示例

其中,  $\xi$  为损失系数,  $v$  为流速。

管路形状引起的能量损失与管路入口形状、管路内径变化、管路的急剧弯曲、各种阀门、管路出口形状等因素有关, 各种损失系数  $\xi$  如图 12.21 所示。

## 相关知识 ● 测流孔

测流孔是一种长度较短, 横截面形状尺寸较小的孔, 是使管路横截面积缩小的结构。可以利用在管路中安装测流孔的方法来测量管路的流量, 通过测量入口和出口处的静压力差, 按下式就可以计算管路的流量。

$$Q = C \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

其中,  $Q$  为管路的流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $D$  为测流孔的直径 ( $\text{m}$ ),  $\rho$  为流体的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $p_1$  为入口处的压力 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ),  $p_2$  为出口处的压力 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ),  $C$  为流量系数 (是管路横截面积与测流孔横截面积的比值和雷诺数的函数, 一般为  $0.6 \sim 0.8$ )。

## ● 文丘利管

如图 12.22 所示, 使管路的横截面积变小的缩径结构称为文丘利管, 通常在管路中安装文丘利管来测量管路的流量。由于缩径部分的流速较高, 所以管路部分和缩径部分存在静压差。测量出这种静压差, 就可以按下式计算管路中流体的流量。

$$Q = C \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{1-m}}$$

其中,  $C$  为流量系数 (一般为  $0.95 \sim 0.99$ ),  $d$  为缩径部分的管内径 ( $\text{m}$ ),  $h$  为静压差 (水头差) ( $\text{m}$ ),  $m = d^2/D^2$  为收缩比,  $D$  为管路部分的内径 ( $\text{m}$ )。

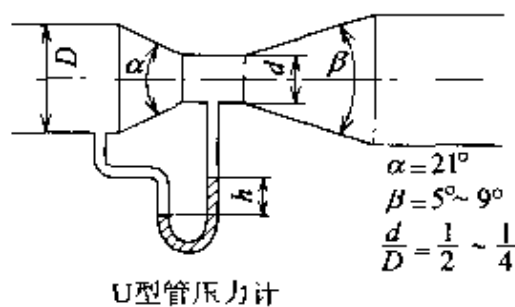


图 12.22 文丘利管

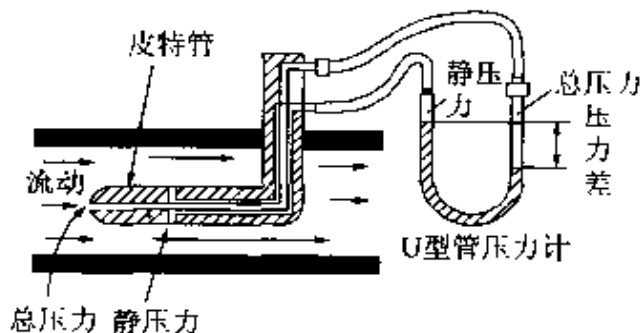


图 12.23 皮特管

### ● 皮特管

如图 12.23 所示,皮特管是一种安装在流动的流体中,通过测量流体中的总压力  $h$  和静压力  $h_s$  之差来测定流速的装置。总压力  $h$  是流体流动方向的迎面压力,静压力  $h_s$  是与流动方向垂直的方向上的压力。用 U 型管等压力计测量出这些压力的差值,可以按下式计算出流速:

$$V=C \sqrt{2g(h-h_s)} \quad (\text{m/s})$$



## 7 泵的种类与用途

**要 点** 泵的作用是向液体内输入能量,使液体的压力提高,将其输送到高处或者使其流动。通常向液体输入能量的方法有使叶轮旋转向液体输入能量或者压缩容积向液体输入能量两种方法。

**解 释** ● 泵的种类与用途

泵的种类如图 12.24 所示。图 12.25 所示是各种涡轮泵的应用范围。当要求扬程较高时,应使用涡旋泵;当要求大流量时,可以使用斜流泵或者轴流泵

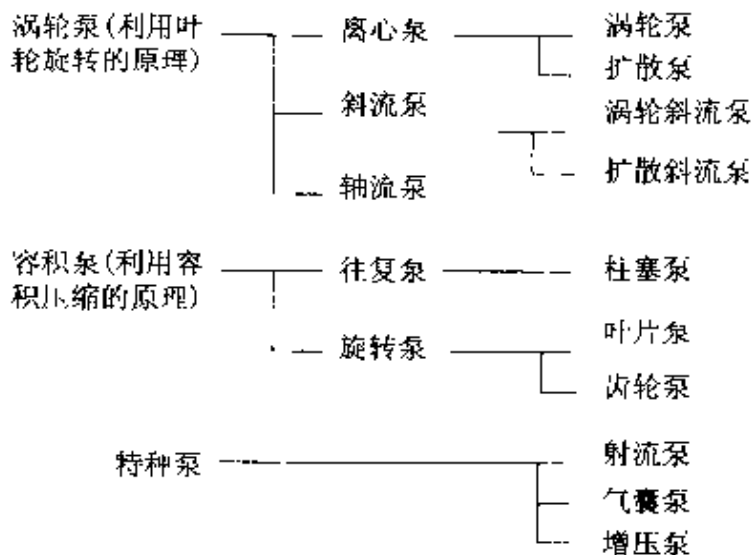


图 12.24 泵的种类

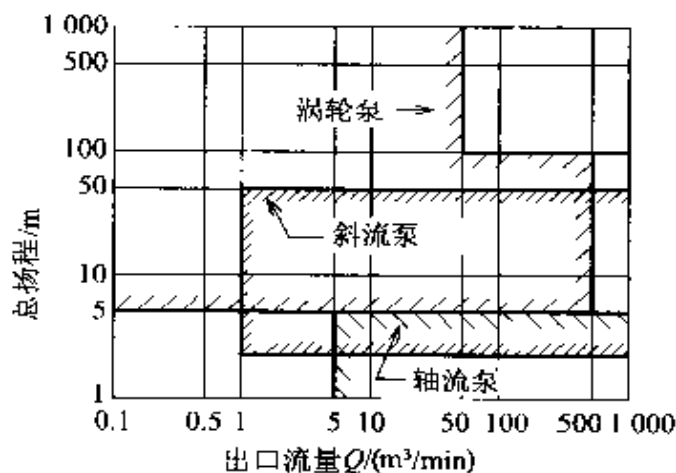


图 12.25 涡轮泵的应用范围

## 相关知识 ● 泵的提水系统

图 12.26 所示为用涡轮泵将下方水池中的水提升到上方水池中的提水系统。下面来说明系统中的主要构成部分。

**吸水管** 因为吸水部分的压力为负压,所以吸水管必须保证从下水池到泵之间应处于与大气密封的状态。

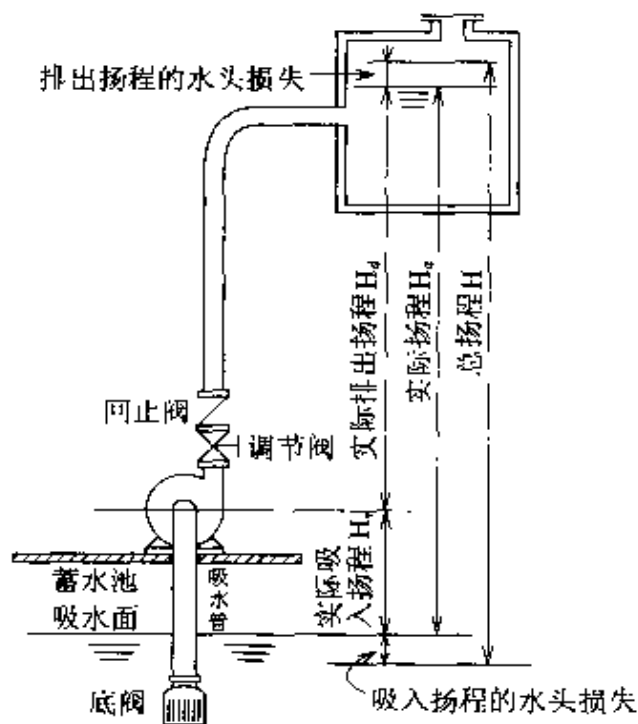


图 12.26 泵的提水系统

**回止阀** 当水泵停止时,防止水泵和管路中的水流回到下水池中(当水泵再次启动时,如果内部没有水,会因为空运转而导致叶轮烧损)。

**排水阀** 排水阀用于调整泵的排水量。当水泵停止时,关闭排水阀可以防止上方水池中的水压作用在水泵上。

### ● 扬程

扬程是指泵向液体输入能量时将液体提升的高度。

**实际扬程  $H$**  系统实际将液体提升的高度。

**吸入扬程  $H_s$**  从下水池的水面到水泵基准位置(涡轮的中心)之间的高度。由于吸入扬程靠大气压力来提升,所以吸入扬程是有限度的。

**排出扬程  $H_d$**  从水泵基准位置到上水池的水面之间的高度。

水头损失  $H_i$  管路损失和阀损失等,即除了提升液体所消耗的能量之外,系统多消耗的能量转换为水头的数值。

总扬程  $H$  将泵所消耗的全部能量转换为扬程(水头)的数值。

$$H = H_s - \sum H_i$$

### ● 泵的轴功率

泵一般用电动机来驱动。驱动泵所需要的功率称为泵的轴功率  $P$ ,可以用由扬程和泵的排量计算出的流体功率乘以泵效率来求得。这里的扬程为总扬程,泵的排量为额定排量。设  $P_w$  为流体功率(kw), $\rho$  为流体密度( $\text{kg} / \text{m}^3$ ), $g=9.8 \text{ m} / \text{s}^2$  为重力加速度, $Q$  为泵的排量( $\text{m}^3 / \text{min}$ ), $H$  为总扬程(m), $P$  为轴功率(kw), $\eta$  为泵的效率。则

$$P_w = \frac{\rho g Q H}{1000}$$

$$P = \eta \times P_w$$

## 8 泵的结构

□ 要

点

通常使用的涡轮泵的主要零件有蜗壳和涡轮。扬程和流量不同,涡轮的形状也不相同。

□ 解

释

### ● 涡轮的形状

涡轮

涡轮的作用是通过旋转向液体输入能量,使液体的压力升高,从而驱动液体流动。图 12.27 所示为按扬程和流量计算的不同比速度对应的涡轮形状。

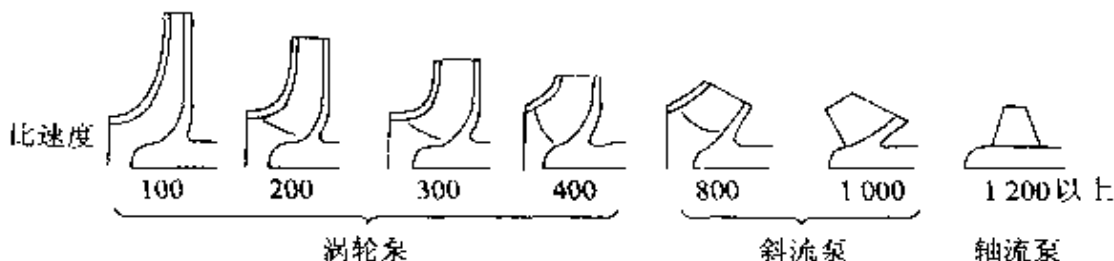


图 12.27 涡轮泵叶片的形状

① 比速度较小时,扬程大排量小,所以涡轮的排出口窄,叶片与轴向趋于垂直,利用离心力向液体输入能量。

② 比速度大时,扬程小排量大,所以涡轮的排出口宽,叶片与轴向趋于平行。

### ● 比速度 $n_s$

比速度是根据水利学的相似定理推导出的物理量。对于某种形状的涡轮,若扬程为 1m,流量为  $1\text{m}^3/\text{min}$ ,在最高效率点上,涡轮的旋转速度称为这种涡轮的比速度。比速度是表示涡轮形状的数值。在设计中,可以用下面的公式计算比速度,并利用比速度值来确定涡轮的形状。

$$n_s = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

其中, $n$  为旋转速度( $\text{r}/\text{min}$ ), $Q$  为流量( $\text{m}^3/\text{min}$ ), $H$  为扬程(m)。

### ● 蜗壳

蜗壳是泵的壳体,其作用是将从涡轮排出的液体引入泵的出口,同时还要保证泵的入口到出口之间与大气压隔离。

从图 12.28 所示涡旋泵的蜗壳结构可以看出,越接近出口,通

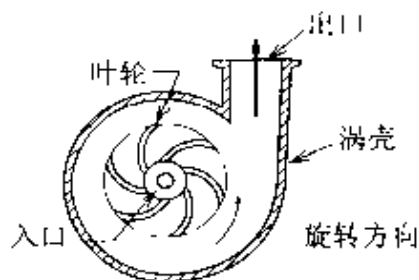


图 12.28 涡轮泵的涡壳

道的截面积越大,其作用是将动能逐渐转变为压力能。

### ● 涡旋泵的结构

涡旋泵的结构见图 12.29。

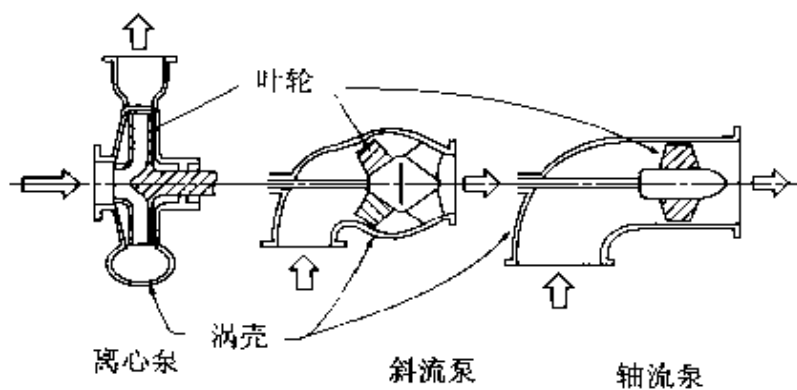


图 12.29 涡旋泵的结构

### ● 泵的性能曲线

泵的性能曲线如图 12.30 所示,横轴表示泵的排量,纵轴分别

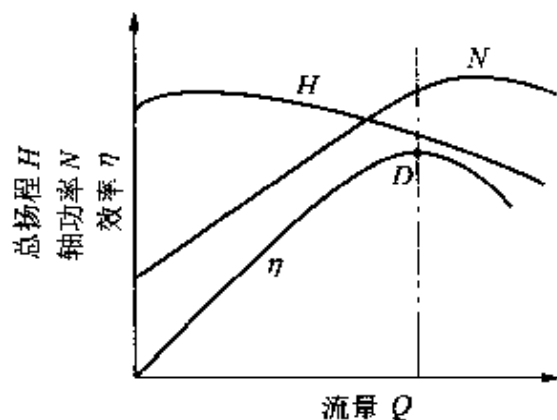


图 12.30 泵的性能曲线示例

表示总扬程、效率和轴功率 3 个量。对应于排量,可以画出表示总扬程  $H$ 、效率  $\eta$  和轴功率  $N$  共 3 条性能曲线。图中的  $D$  点为效率最高点,是设计时的目标点。使用泵时,也应该对应于  $D$  点的扬程和流量条件。

## 9 气动机械

### 要 点

所谓的气动机械是向气体输送能量和从气体接受能量的机械的总称。向气体输送能量的机械有气体压缩机和风机等,从气体接受能量并将其转换成机械运动能量的机械有气泵和汽动马达等。

### 解 释 ● 气体压缩机与风机

#### 气体压缩机

将气体压缩比大于 2 且出口压力大于  $100\text{kPa}(1\text{kgf}\cdot\text{cm}^2)$  的向气体输送能量的机械称为气体压缩机,气体压缩比小于 2 且出口压力在  $100\text{kPa}(1\text{kgf}\cdot\text{cm}^2)$  以下的向气体输送能量的机械称为鼓风机。其分类和应用分别如图 12.31 和图 12.32 所示。

#### 鼓风机

气体压缩机: 出口压力  $100\text{kPa}$  以上  
压缩比 2 以上

- 容积式气体压缩机
  - 离心式、轴流式气体压缩机等
- 容积式气体压缩机
  - 往复式、螺旋式、双叶式、叶片式气体压缩机等

#### 风机

- 风扇: 出口压力  $10\text{kPa}$  以下  
压缩比 约 1.1 以下
  - 离心式、轴流式风扇等
- 鼓风机: 出口压力  $10\sim 100\text{kPa}$   
压缩比 约 1.1~2
  - 涡轮式鼓风机: 离心式轴流式鼓风机等
  - 容积式鼓风机: 双叶式鼓风机

图 12.31 气体压缩机与风机

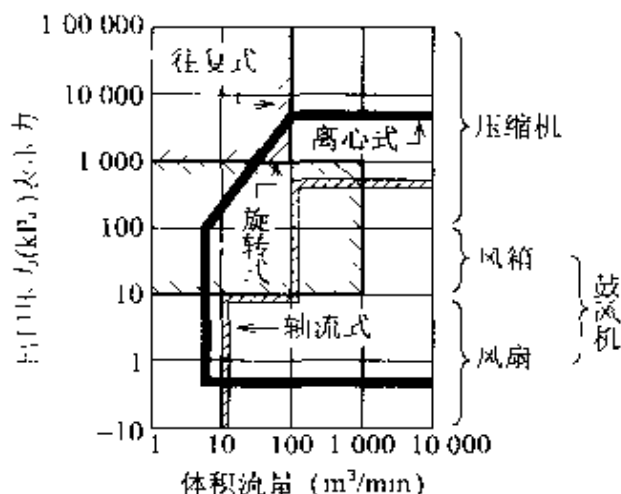


图 12.32 气体压缩机及风机的应用范围

**气体压缩机** 气体压缩机分为通过叶轮旋转向气体输送能量的涡旋式压缩机和通过压缩气体容积向气体输送能量的容积式压缩机。容积式压缩机又分为螺杆式、双叶式、叶片式、液封式等旋转式压缩机和活塞式、薄膜式等往复式压缩机。

**风机** 风机可分为风扇和鼓风机。气体压缩比小于 1.1, 出口压力小于  $10\text{kPa}$  的风机称为风扇; 气体压缩比大于 1.1, 小于 2, 出口压力大于  $10\text{kPa}$ , 小于  $100\text{kPa}$  的风机称为鼓风机。

### ● 油缸和气缸

油缸和气缸是将流体能量转换成直线往复运动能量的机械

(参见图 12.33)。油缸和气缸主要由缸体和活塞构成,活塞的端面在流体压力的作用下作往复直线运动。活塞杆的前端与被驱动件连接。只从活塞的一端供给压力,由弹簧等驱动回程运动的油缸(或气缸)称为单动式油缸(或气缸),从活塞的两端分别供给压力,驱动活塞往复运动的油缸(或气缸)称为双动式油缸(或气缸)。双动式油缸(或气缸)的流体流动方向由换向阀控制,以此来改变活塞的运动方向;单动式油缸(或气缸)由换向阀控制活塞的加压或卸压,从而改变活塞的运动方向。

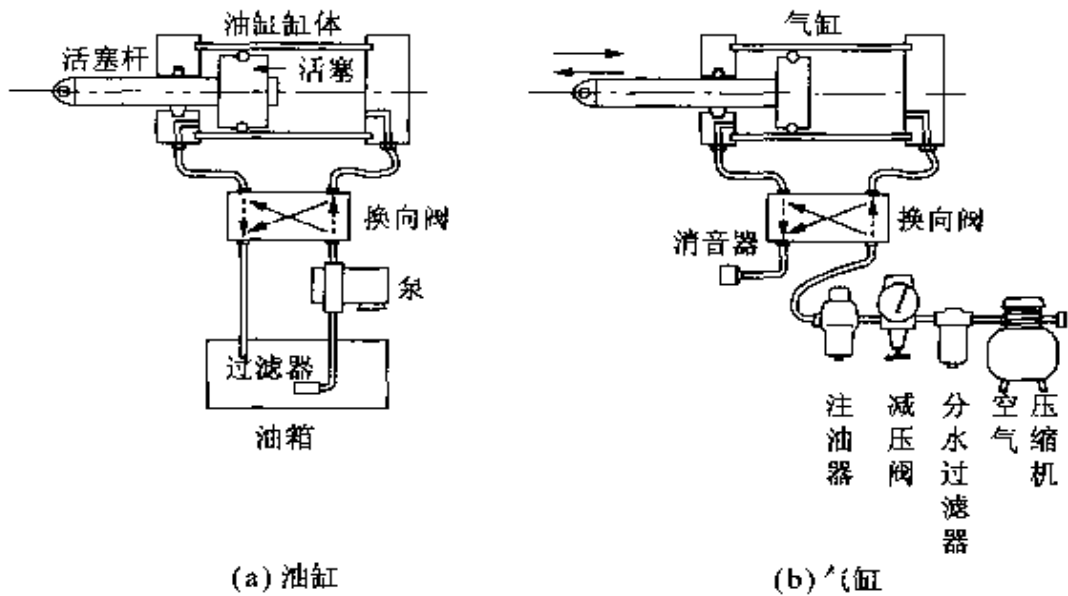


图 12.33 油缸和气缸

● 马 达

马达是将流体的能量转换为连续旋转运动能量的机械,可分为如下几种:

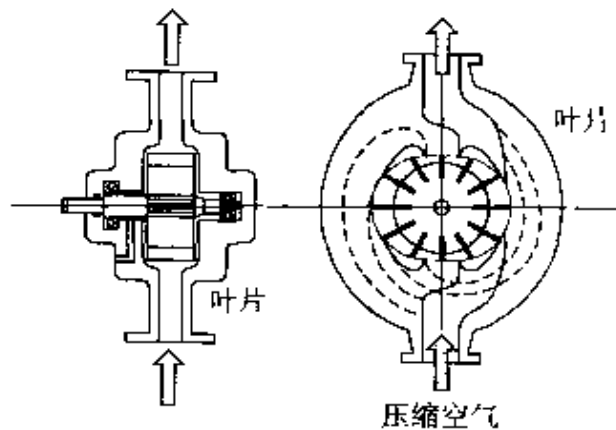


图 12.34 液压马达(叶片马达)



**齿轮马达** 使互相啮合的齿轮在流体的作用下实现旋转运动的马达称为齿轮马达：

**叶片马达** 如图 12.34 所示，马达转子的叶片在流体的作用下实现旋转运动，这种马达称为叶片马达：

**活塞式马达** 利用多个活塞的顺序运动来驱动斜面凸轮等机构实现旋转运动的马达。

# 10 液压与气动

## □ 要 点

“液压”和“气动”两个术语分别用于描述以加压油和压缩空气为能量传递媒介的机械系统。这些系统如图 12.35 所示,由压缩流体的泵或压缩机、储存压缩流体的蓄能器、引导压缩流体流动的管路、调节压力和流量的调节阀,以及输出机械能量的执行装置等组成。

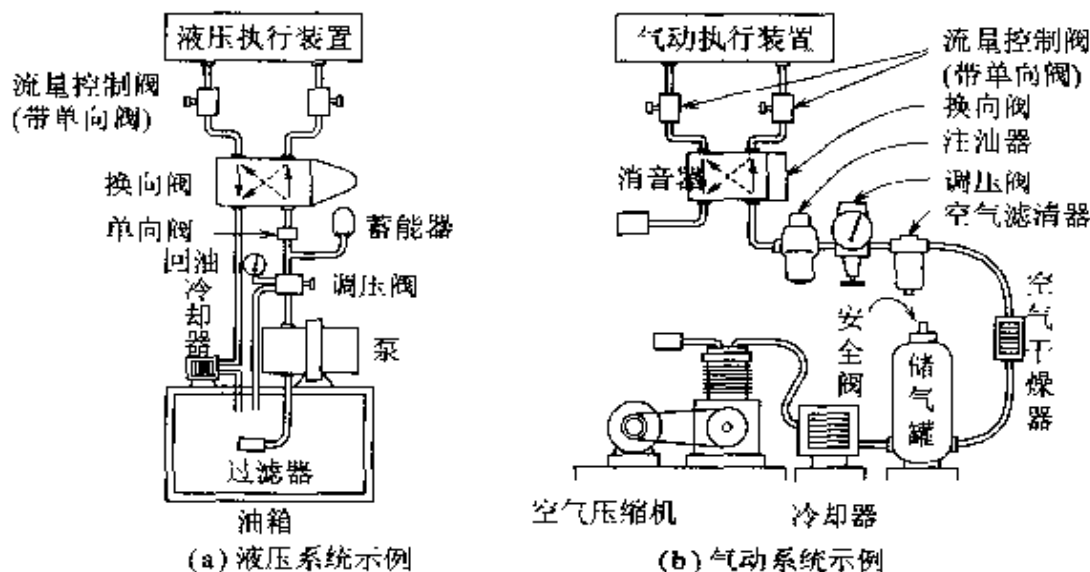


图 12.35 液压系统与气动系统的组成示例

## □ 解 释

### ● 液压油和空气的压缩

在液压系统中,工作油的压力最高可达 25MPa(约 250kg/cm<sup>2</sup>),因此要采用齿轮泵或叶片泵。在气动系统中,压缩空气的压力最高可达到 1.5MPa(约 15kg/cm<sup>2</sup>),因此一般采用往复式空气压缩机或涡旋式空气压缩机。

### ● 工作流体的冷却

液压系统中的工作油要压缩到非常高的压力,在加压过程中必然产生热量而使温度升高,由于工作油要循环使用,所以可能达到很高的温度,这样就会在工作油中产生气泡等,使工作油失去正常的工作性能。因此,有必要对循环返回的工作油进行冷却。压缩空气也会产生热量,但由于压缩空气不需要循环使用,所以一般不需要进行冷却。对于一些特殊的防止高温的应用场合,也可能需要相应的冷却措施。

### ● 工作流体的蓄能

在液压和气动系统中,执行装置的流体使用量增加可能导致压力的波动,为了维持压力的稳定,系统中需要装备蓄能器。

### ● 控制阀

控制阀用于控制工作流体的流量、压力和方向等(参见图 12.36)。控制阀包括利用电磁铁或电动机自动操作的自动控制阀。

**压力控制阀** 压力控制阀有使回路中的压力保持一定的溢流阀和防止回路中的压力超过允许的最高压力的安全阀等。

**流量控制阀** 流量控制阀有用于调节执行装置动作速度的调速阀和在压力不变的条件下使回路的流量保持在所确定的流量值的节流阀等。

**方向控制阀** 方向控制阀有通过切换流体的流动方向来控制执行装置动作方向的换向阀和只允许流体沿一个方向流动,阻止流体沿相反方向流动的单向阀等。

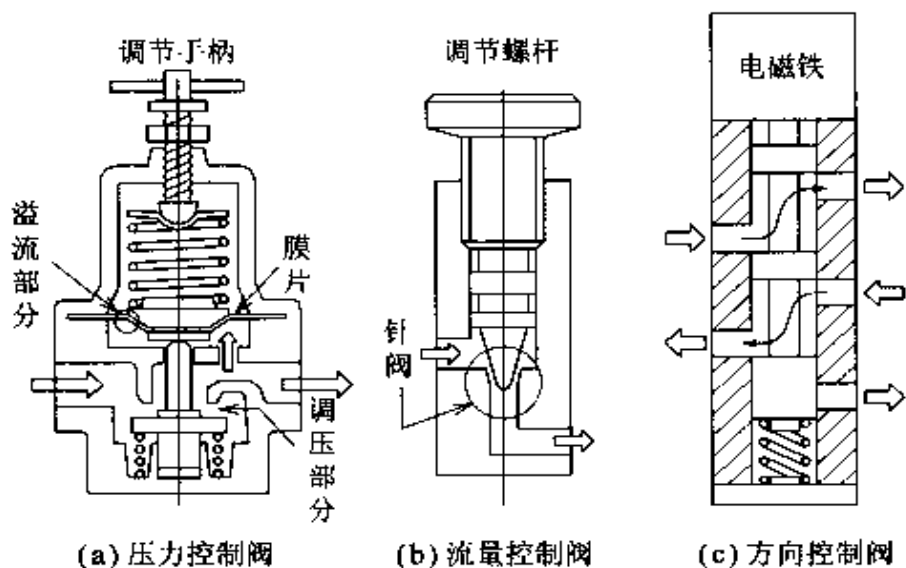


图 12.36 控制阀

### ● 其他装置

**滤油器** 通过过滤作用从液压油中清除固态杂质;

**空气滤清器** 利用过滤作用或离心力清除工作气体中的水分、油以及微小固态杂质(参见图 12.37(a));

**油雾器** 为了润滑各种阀和执行装置,将润滑油以雾状混入

工作气体中的气动装置(参见图 12.37(b));

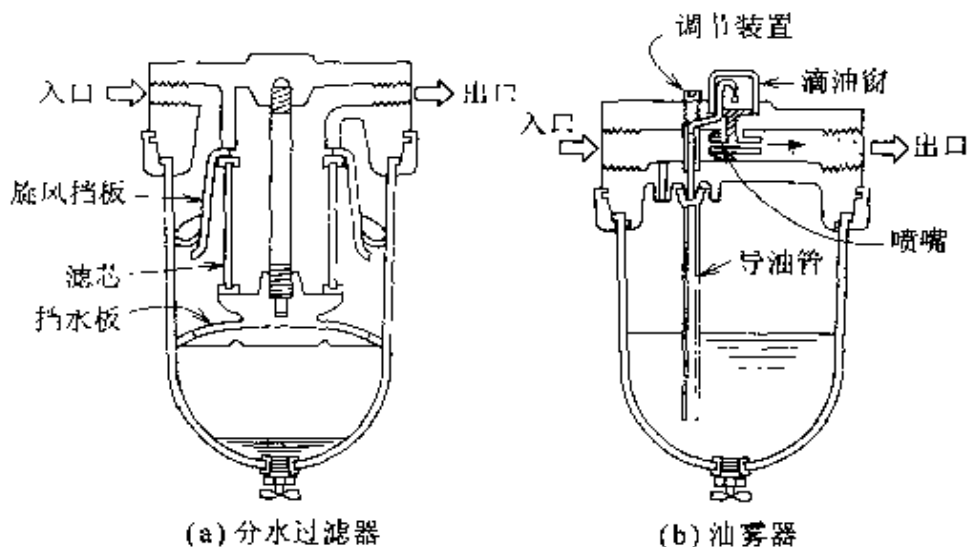


图 12.37 压缩空气调节元件

**空气调节装置单元** 由空气滤清器、带压力表的减压阀和油雾器三种元件组合在一起构成的组合元件,通过这种组合元件可以提供满足一定条件的压缩空气(参见图 12.38)。

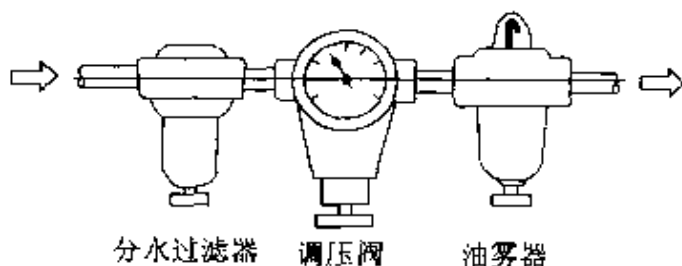


图 12.38 空气调节装置

● **液压系统和气动系统的主要特点**

表 12.1 中给出了液压和气动系统的一些特点。在设计时,要根据使用要求,分析液压和气动系统各自的优缺点来适当选用。

表 12.1 液压与气动特点

功 能	液 压	气 动
力的传递	液压油具有体积不可压缩性,力的传递精确	气体体积具有可压缩性,有时力的传递不稳定
过载	系统压力不会超过设定压力,不会发生超载	同左
振动	只要油路中不进入空气就不会产生振动	气体体积具有可压缩性,容易产生振动
力和速度的调节	流量和压力都可以调节,能够实现力和速度的无级调节	同左
使用的方便程度	需要设置油箱以防止漏油等,有使用不便的部分	以空气为介质,使用方便
动作速度	液压油都具有一定的黏度,动作速度相对较慢	空气的黏度非常低,能够实现很高的动作速度

## 第13章

# 热力学

18世纪，蒸汽机的出现引起了第一次产业革命。热能是一种容易得到的重要能源之一，但由于产生热量时存在效率较低和机械零部件容易损坏等问题，所以至今仍存在着令机械技术工作者伤脑筋的课题。

本章将归纳介绍热力学的基础知识，以及利用热能作为动力源的原理和应用。与流体力学一样，热力学部分也要应用许多数学知识，希望读者要很好理解其中数学公式的意义。

- 责任编辑

深作贞男

- 执 笔

深作贞男(1~2)

杉野荣一(3~10)

# 1 热量与功

## 要 点

蒸汽机和汽车是靠燃料燃烧来运动的。此时,利用燃料燃烧所产生的热量传入蒸汽或燃烧气体构成蒸汽机和汽车运动的动力。热量能够转换为功。这种将热量转换为物体实际运动的机械能的动力机械称为热机(参见图 13.1)。

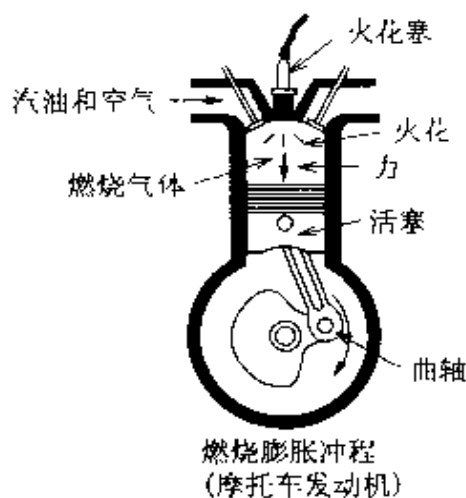


图 13.1 热机的示意图

## 解 释 ● 热量与温度

### 热平衡

### 热力学第 0 定律

如图 13.2 所示,在不受外界影响的条件下,使低温物体 A 与高温物体 B 互相接触,经过一定时间,两物体就会达到同样的温度。这时就说两物体达到了热平衡。再让物体 C 与物体 A 接触,当物体 C 与物体 A 温度相同时,物体 B 也与 C 达到热平衡。这就是热力学第 0 定律。这一定律给出了测量温度的基本原理,物体 C 就可以作为温度计。

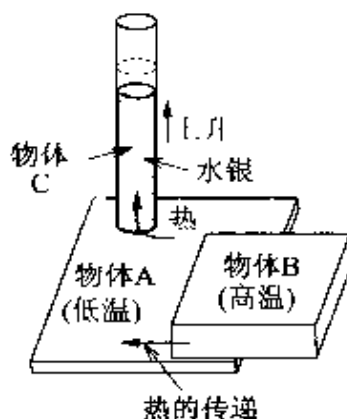


图 13.2 热平衡

### ● 卡(cal)与焦[耳](J)

在一个大气压下,将 1g 水的温度从 14.5℃ 上升到 15.5℃ 所需要的热量单位为 1 卡[路里](cal),可以与功的单位焦[耳](J)互相换算,换算关系为

$$1 \text{ 卡[路里]} \approx 4.1868 \text{ 焦[耳]}$$

这种关系也称为热功当量。

### ● 热量与功

在国际单位制中规定,将热量换算为能量,以焦[耳](J)为单位来表示。也就是说,热量与功没有本质区别,都是能量。

“热量与功都是能量,两者可以互相转换。”这就是热力学第一定律。这一定律说明,要使内燃机不断地输出动力做功,就必须不断地供给热量。

卡[路里]

焦[耳]

热功当量

热力学第一定律

## □ 相关知识

### ● 力、功和功率

在国际单位制中力的单位用牛[顿](N)来表示。1N 为使质量为 1kg 的物体产生  $1\text{m/s}^2$  加速度所需要的力。重力单位的 1kgf 是使质量为 1kg 的物体产生  $9.8\text{m/s}^2$  加速度所需要的重力。

因为,力 = 质量 × 加速度,所以

$$1\text{N} = 1\text{kg} \times 1\text{m/s}^2, \quad 1\text{kgf} = 1\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2$$

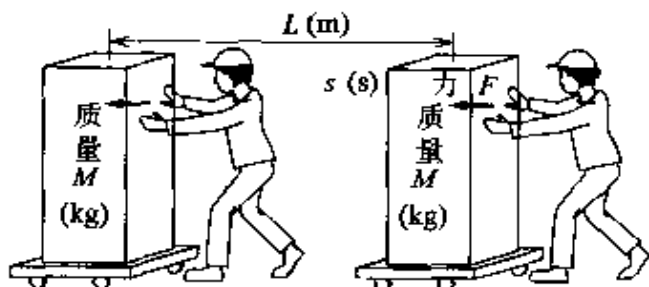
由此可以得到

$$9.8\text{N} = 1\text{kgf}, \quad 1\text{N} = 1/9.8\text{kgf} \approx 0.102\text{kgf}$$

力作用于具有一定质量的物体上,使物体移动一定的距离,就说力对物体作了功。功等于力 × 距离,无论所经历的时间长短,所作的功不变。但是,若所作的功相同,而经历的时间不同时,单位时间内所作的功就不相同。单位时间内所作的功,即功 ÷ 时间,称为功率。功的单位用焦[耳](J)来表示,功率的单位用瓦[特](W)来表示(参见图 13.3)。

功

功率



$$\text{功} = F \cdot L (\text{N} \cdot \text{m})$$

$$\text{功率} = F \cdot L/s (\text{N} \cdot \text{m/s})$$

图 13.3 功和功率



对于功的单位,  $1\text{N} \times 1\text{m} = 1\text{J}$ , 而对于功率的单位,  $1\text{N} \times 1\text{m} / \text{s} = 1\text{J} / \text{s} = 1\text{W}$ 。  $\text{m} / \text{s}$  表示(距离)/(时间), 为速度( $v$ )的单位, 因此

$$\text{功率} = \text{力} \times \text{速度}$$

表 13.1 中给出了国际单位制(SI)与重力单位制的换算关系。

表 13.1 国际单位制(SI)与重力单位制的换算

	功	功率
SI 单位制	J $1\text{J} = 1\text{N} \times 1\text{m}$	W $1\text{N} \times 1\text{m} / \text{s} = 1\text{W}$
重力单位制	$\text{kgf} \cdot \text{m}$ $1\text{kgf} \cdot \text{m} = 9.8\text{N} \cdot \text{m}$ $= 9.8\text{J}$	$\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}$ $1\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s} = 9.8\text{J} / \text{s}$ $= 9.8\text{W}$

### ● 功率单位的换算

在国际单位制(SI)中, 功率的单位用 W 来表示, 但汽车的功率有时用马力(PS)来表示。以前常用英制马力(HP)为单位, 现在通用 PS、CV 等的是米制马力( $\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}$ )。下面是各种单位的换算公式。

$$1\text{kW} = 1000\text{W} = 102(\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}) = 1.36\text{PS}$$

$$1\text{PS} = 75\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s} = 0.7355\text{kW}$$

$$1\text{英制马力} = 76\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s} = 0.7461\text{kW}$$

### ■ 例 题

用 kW 和  $\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}$  为单位来表示 100 马力的汽车功率。

**答** 因为 1 马力 =  $0.7355\text{kW}$ , 所以, 有

$$100\text{ 马力} = 100 \times 0.7355\text{kW} = 73.55\text{kW}$$

又因为 1 马力 =  $75\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}$ , 所以, 有

$$100\text{ 马力} = 100 \times 75\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s} = 7500\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{s}$$

PS  
HP

## 2 气体与功

**要 点** 汽油机通过燃烧汽油而产生动力的原因是汽油的燃烧气体急剧膨胀推动活塞运动而做功。各种气体的膨胀都可以做功并产生动力

**解 释** ● 气体的膨胀与功

燃烧气体的膨胀可以产生如同爆炸一样的压力。如图 13.4 (a) 所示,在这种压力的作用下,推动活塞运动,就可以做很多的功。压力与体积之间的关系如图 13.4(b) 所示。

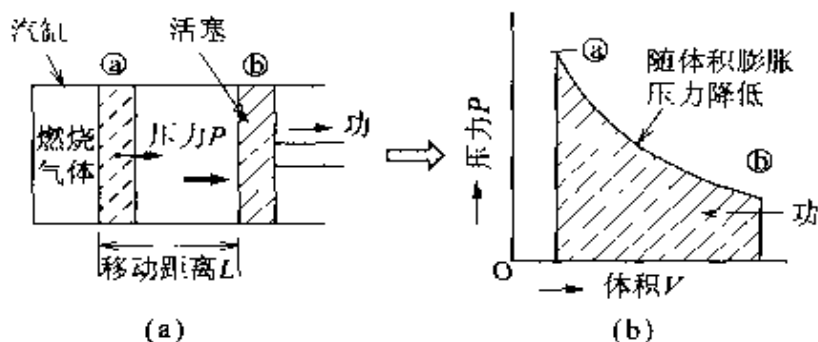


图 13.4 气体膨胀与做功

$$\begin{aligned}
 \text{功} &= \text{力} \times \text{移动距离} \\
 &= (\text{压力 } P \times \text{活塞端面积}) \times L \\
 &= (\text{压力 } P) \times (\text{活塞端面积 } L) \\
 &= (\text{压力 } P) \times (\text{体积变化 } V)
 \end{aligned}$$

即

$$W = P \cdot V$$

其中,压力为作用在单位面积上的力( $\text{N}/\text{m}^2$ )( $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ ),压力( $\text{N}/\text{m}^2$ ) $\times$ 活塞端面积( $\text{m}^2$ ) = 作用在活塞端面积上的合力( $\text{N}$ )。

● 循环与功

气体由燃料的燃烧获得热量,从而变为高温高压状态。当气体的体积膨胀时,就对外界物体做功。在气体的体积膨胀之后,若将热量传递到低温物体使自己温度降低,气体就会恢复到原来状态。重复这种过程,就可以连续做功。如图 13.5 所示,这种状态变化后再恢复原来状态的反复过程称为循环(cycle)。

循环(cycle)

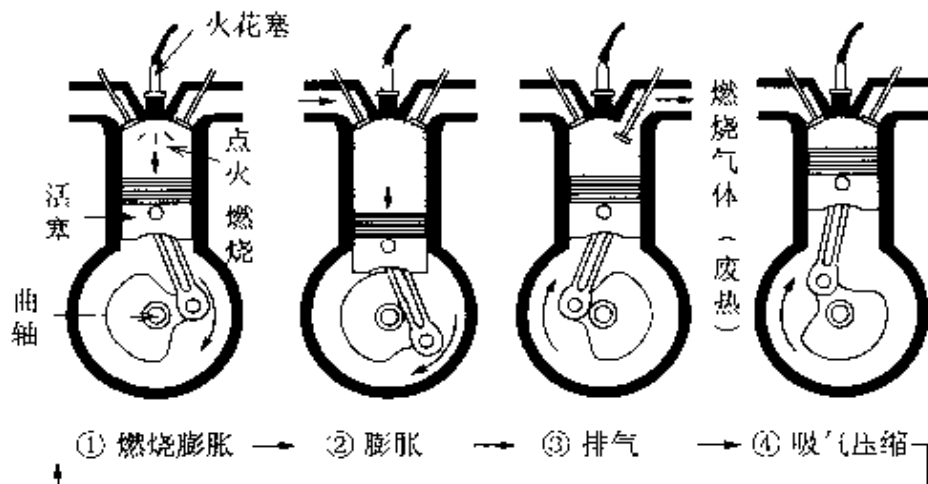


图 13.5 热机的循环

热机中的热量和功之间就存在这样的关系。总结上述规律可以得到这样的结论,即“在热功转换过程中,除了高温热源还必须有低温热源。热量不可能完全转变为功,必然有热量的损失”。这就是热力学第二定律(参见图 13.6)。

## 热力学第二定律

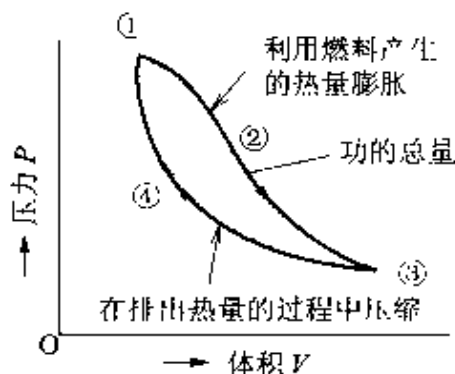


图 13.6 热循环过程中压力和体积的变化

### 相关知识 ● 气体的性质

气体的体积、压力和绝对温度之间存在一定的关系,即“一定质量的气体的体积  $V$  与压力  $P$  成反比,与绝对温度  $T$  成正比”。气体的这种性质称为玻意耳-查斯定律,可用如下方程来表示:

$$PV/T = C(\text{常量})$$

完全满足上述方程的气体叫做理想气体。

在标准状态下(温度为  $0^{\circ}\text{C}$ , 压力为 1 个大气压 ( $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ )), 1 摩[尔](mol)气体的体积为  $22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  (22.4 l)。

玻意耳-查斯  
定律  
理想气体

对于1摩[尔]气体,如果用  $R$  来表示上述方程中的常量,则  $R$  可计算如下:

$$R = \frac{1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{273 + 0} = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

其中,  $K$  为绝对温度单位(开),  $R$  称为普适气体常数。

在标准状态下,  $n(\text{mol})$  气体体积为 1(mol) 气体体积的  $n$  倍, 所以,

$$PV = nRT$$

这个式子称为气体的状态方程,可用于研究气体的状态。

### ● 卡诺循环

法国物理学家卡诺根据气体的性质,对等容变化、等压变化和绝热变化等进行了研究,提出了理想状态下热效率最高的理论热机(也称为卡诺热机),理论热机的热循环称为卡诺循环,如图 13.7 所示。

卡诺循环

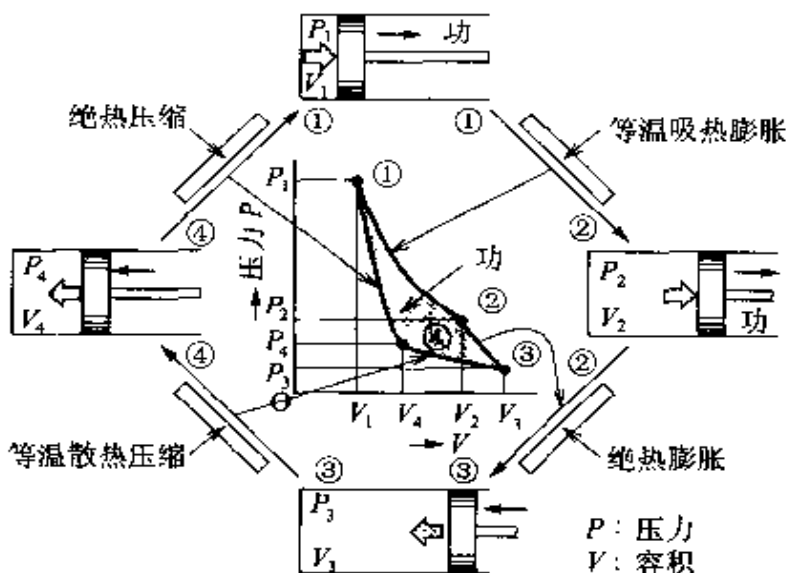


图 13.7 卡诺循环

卡诺循环由等温变化过程和绝热变化过程组成,其中的等温变化是指所有的热量都转变为功的等温受热膨胀和等温散热压缩等,而绝热变化是指绝热膨胀和绝热压缩等。热机通过不断地工作循环对外输出有效功,用压力( $P$ )和容积( $V$ )来表示所做功的图形称为  $PV$  线图。

$PV$  线图

## 热效率

热机的热效率<sup>1)</sup>是指由高温热源向热机供给的热量  $Q$  转变为有效功  $A$  的比例。设热机的热效率为  $\eta$ ，传入低温热源的热量为  $Q_2$ ，则热效率可用下式表示：

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

若高温热源和低温热源的溫度分别为  $T_1$ 、 $T_2$ ，则卡诺循环的热效率可以用下式表示：

$$\eta_c = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

由此可见，在卡诺循环中，高温热源与低温热源的溫度差越大，热机的热效率就越高，因此寻求高热量的热源成为提高热机效率的研究课题。

1) 此处原文为热机的热效率，是指由高温热源向热机供给的热量  $Q$  转变为有效功  $L$  的比例。设热机的热效率为  $\eta$ ，传入低温热源的热量为  $Q_2$ ，活塞的端面积为  $A$ ，则热效率可用下式表示：

$$\eta = \frac{AL}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

但译者认为  $AL$  的量纲不是能量，因此予以修正。下同。 译者注

## 3 内燃机

### □ 要点

将燃烧燃料产生的热量转变为机械功的装置统称为热机。热机可以分为内燃机和外燃机,如图 13.8 所示。内燃机是指燃料的燃烧部分在发动机内部的热机,如汽油机、柴油机等。外燃机是指燃料的燃烧部分在发动机外部,通过热传递将热量传入发动机的内部并将其转变为机械功的热机,如蒸汽机等。

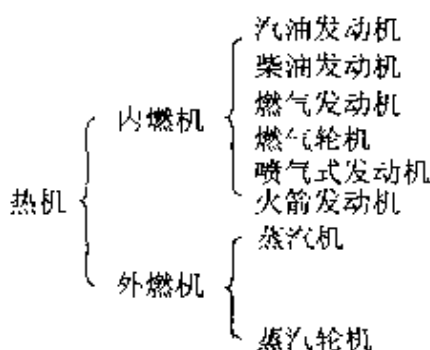


图 13.8 发动机的分类

### □ 解释 ● 发动机的性能

发动机的性能包括输出功率、输出转矩、燃料消耗率和热效率等指标。在这里对基本的循环过程和计算方法进行说明。

#### 总排气量

**总排气量** 总排气量是表示发动机大小的最基本的数据。总排气量等于一个汽缸的活塞的行程容积乘以汽缸的个数,单位为升( $\text{cm}^3$ )。设汽缸的内径为  $D$ (mm),行程为  $S$ (mm),汽缸的个数为  $z$ ,则单个汽缸的行程容积  $V_c$  和总排气量(总行程容积) $V_b$  可以分别用下式计算(参见图 13.9):

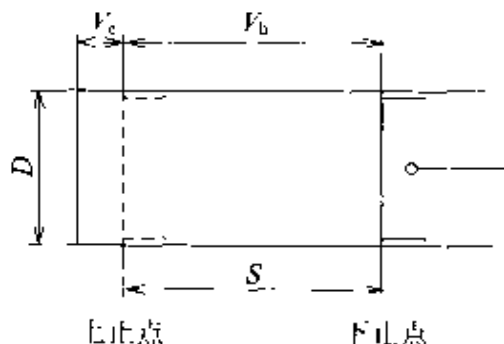


图 13.9 汽缸

$$V_1 = \pi D^2 S \delta$$

$$V_2 = z \pi D^2 S \delta$$

### 压缩比

**压缩比** 对于1个汽缸,活塞上止点位置的汽缸容积称为间隙容积 $V_c$ 。活塞移下下止点时的容积(即汽缸容积),与间隙容积的比值称为压缩比( $\epsilon$ )。一般汽油机的压缩比为8~11,柴油机的压缩比为16~22。

$$\epsilon = (V_h + V_c) / V_c$$

### 充气效率

**充气效率** 对于同样的发动机,由于运转状况(残留气体量和阀门开闭时间等)、工作环境(如海拔高度不同)、季节和天气的变化,吸入汽缸的混合气体的力量也会发生变化。因此,我们用充气效率来表示汽缸实际吸入混合气体的能力。

$$\text{充气效率} = \frac{\text{一个工作循环吸入干燥气体的质量}}{\text{冲程容积} \times \text{标准状态下的气体密度}}$$

### 热转换率

**热转换率** 设发动机内燃料燃烧所产生的全部热量为100%,我们用热转换率来表示所产生的热量转换为有用功和各种能量损失的百分比。图13.10为汽油发动机的热量测定的示例。

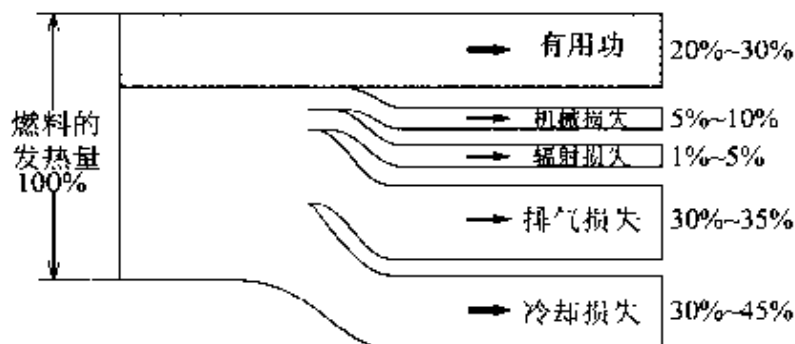


图 13.10 热转换率

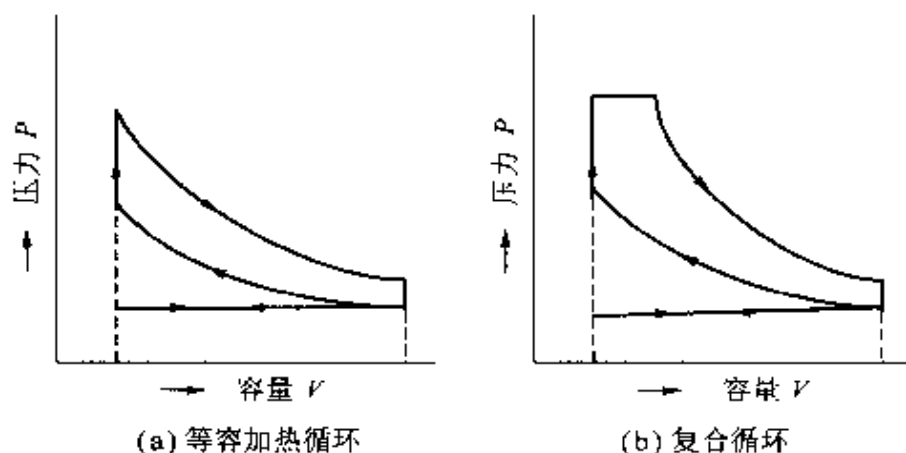


图 13.11 等容加热循环与复合循环

基本工作循环  
等容加热循环  
  
复合加热循环

**基本工作循环** 汽油发动机的工作循环如图 13.11(a)所示,其加热过程是在容积不变的条件下进行的,称为**等容加热循环**(或**奥托循环**)。柴油发动机的工作循环如图 13.11(b)所示,其加热过程的一部分是在容积不变的条件下进行的,另一部分则是在压力不变的条件下进行的,称为**复合加热循环**。



## 4 汽油发动机

### □ 要 点

汽油发动机的工作过程是通过吸入并压缩汽油与空气的混合气体,用电火花点燃混合气体使其燃烧产生压力。活塞在气体压力的作用下通过连杆驱动曲轴旋转,从而产生输出动力。汽油发动机由机体、润滑系统、冷却系统、燃料喷射装置、吸气和排气装置以及电气装置构成。

### □ 解 释

#### ● 汽油发动机的工作原理

汽油发动机的工作方式可分为4冲程方式和2冲程方式,所谓的冲程就是指活塞从上止点移动到下止点或者从下止点移动到上止点的过程。4冲程发动机在曲轴旋转2周,活塞上下运动1次的过程中完成一个吸气、压缩、燃烧、排气的工作循环。而2冲程发动机在曲轴旋转1周,活塞上下运动2次的过程中完成一个换气、压缩、燃烧、排气的工作循环。这里,对4冲程发动机的工作原理进行说明(参见图13.12)。

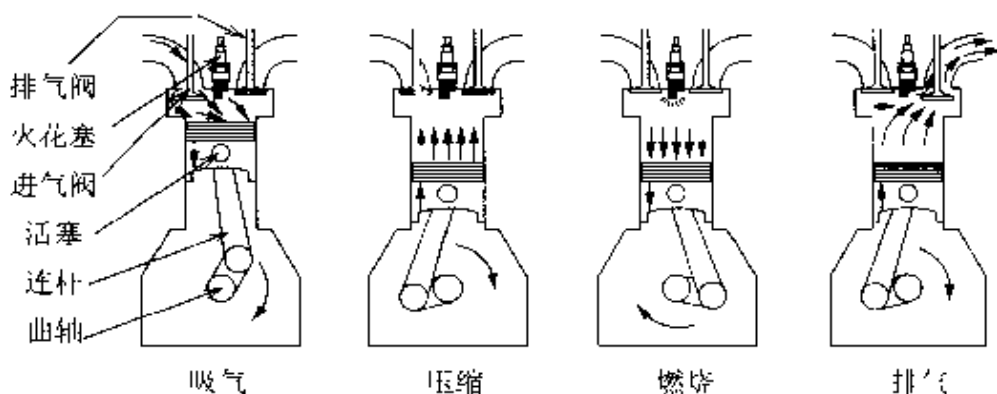


图 13.12 汽油发动机的工作原理

#### 吸气冲程

1] 吸气冲程 进气阀打开。当活塞向下运动时,汽缸内产生负压,燃料与空气的混合气体被吸入汽缸。此时,活塞完成第1个冲程,曲轴转过半周。

#### 压缩冲程

2] 压缩冲程 进气阀和排气阀关闭。当活塞向上运动时,混合气体在汽缸内被压缩而压力升高。至此,活塞完成第2个冲程(即1个往复运动),曲轴转过一周。

#### 燃烧冲程

3] 燃烧冲程 通过火花塞点火使混合气体燃烧,汽缸内的温度和压力急剧上升,燃烧气体膨胀推动活塞向下运动,从而带动曲

轴旋转。此时,活塞完成第3个冲程,曲轴转过一周半。只有这一个冲程才是产生动力的冲程。

#### 排气冲程

④ 排气冲程 排气阀打开。当活塞向上运动时,将燃烧后的气体排出汽缸。至此,活塞完成了第4个冲程(即两个往复运动),曲轴转过两周。

## □ 相关知识 ● 燃烧与理论空燃比

内燃机燃料的主要成分是碳(C)和氢(H<sub>2</sub>)的化合物。碳氢化合物与空气中的氧(O<sub>2</sub>)发生反应,生成二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和水(H<sub>2</sub>O),这种反应过程称为完全燃烧。当燃烧不充分时,燃烧后排出的气体中含有可燃成分,这种状态称为不完全燃烧。燃烧所必须的空气与燃料的混合比例称为空燃比(混合比),用质量比来表示。理论上,1g汽油完全燃烧大约需要14.7g空气,这种空气与燃料的比例称为理论空燃比。在实际的发动机上,要按运转状态采用不同的空燃比。比如,在正常运行状态下应采用经济空燃比,而在希望有较大输出动力时,则应采用高功率空燃比。因为在实际的发动机中很难做到完全均匀的混合,所以采用空气量大于理论空燃比10%的空燃比可以基本达到完全燃烧,这种空燃比称为经济空燃比。所谓的高功率空燃比是指能够获得最大输出功率的空燃比,此时的燃料量大于理论空燃比约20%。

### ● 汽油的性质

汽油是一种无色透明,具有特殊气味的液体。通常状态下的密度为783kg/m<sup>3</sup>,引燃温度为-35~-46℃,自燃温度为500℃。对于汽油发动机的汽车,在突然加速或爬陡坡等超负荷时,会发出刺耳的汽缸撞击声音。这种现象称为爆缸,对发动机影响很大。有的汽油容易产生爆缸现象,有的汽油则不易产生爆缸现象。汽油不易产生爆缸现象的性质称为抗爆性,表示抗爆性的指标是辛烷值,辛烷值越高的汽油越不容易引起爆缸现象。比如,一般汽油的辛烷值为90~91,而抗爆汽油的辛烷值为98~100。

#### 爆缸

#### 辛烷值

## 5 柴油发动机

### □ 要点

1892年,狄塞尔(Rudolf Diesel)发明了4冲程的柴油发动机。柴油发动机的工作过程是通过压缩汽缸内的空气产生热量,使汽缸内的温度升高,利用高压自燃室内喷射雾状燃料,使燃料自行燃烧。燃烧产生的压力作用于活塞,通过连杆驱动曲轴旋转,从而产生输出动力。

### □ 解释

#### ● 柴油发动机的工作原理(参见图 13.13)

#### 吸气冲程

① **吸气冲程** 排气阀关闭,进气阀打开。当活塞向下运动时,汽缸内产生负压,空气被吸入汽缸。此时,活塞完成第1个冲程,曲轴转过半周。

#### 压缩冲程

② **压缩冲程** 进气阀和排气阀关闭。当活塞向上运动时,空气在汽缸内被压缩而产生高温、高压。至此,活塞完成第2个冲程(即1个往复运动),曲轴转过一周。

#### 燃烧冲程

③ **燃烧冲程** 通过高压喷嘴以雾状向汽缸的燃烧室内喷射柴油等燃料,燃料在高温下自燃,汽缸内的温度和压力急剧上升,燃烧气体膨胀推动活塞向下运动,从而带动曲轴旋转。此时,活塞完成第3个冲程,曲轴转过一周半。只有这一个冲程才是产生动力的冲程。

#### 排气冲程

④ **排气冲程** 排气阀打开。当活塞向上运动时,将燃烧后的气体排出汽缸。至此,活塞完成了第4个冲程(即两个往复运动),曲轴转过两周。

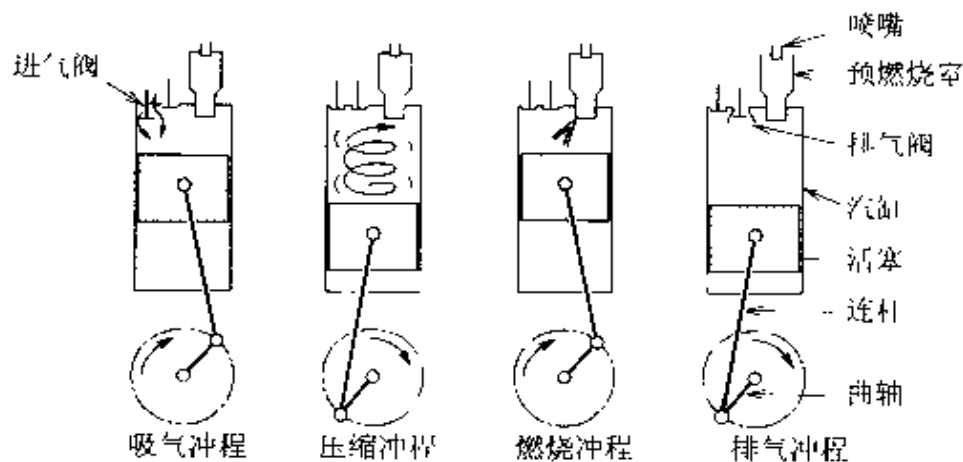


图 13.13 柴油发动机的工作原理

## □ 相关知识 ● 燃烧与压力变化

由于燃烧而使汽缸内产生的压力变化与曲轴转角之间的关系如图 13.14 所示。在 A 点开始向燃烧室内喷射燃料,但不会立即燃烧,燃料气化并达到自燃温度需要一定时间。在 B 点燃料开始自燃并迅速燃烧,在 C 点达到最高压力,至 D 点燃烧结束。A 点到 B 点的点火延迟时间越长,在此期间的燃料喷射量就越多,一旦燃烧会产生异常的过高压力,这种现象称为狄塞尔爆缸。点火延迟时间越长,狄塞尔爆缸就越强烈。为了缩短点火延迟时间,要求燃料柴油的自燃性要好。十六烷值是表示柴油自燃性的一个指标。正十六烷最易自燃,是自燃性好的标准,规定其十六烷值为 100。 $\alpha$ -甲基萘自燃性最差,规定其十六烷值为 0。柴油的十六烷值介于 0~100 之间,当被测柴油的自燃性与所配制的标准燃料自燃性相同时,则标准燃料混合液中所含正十六烷的容积浓度即规定为被测柴油的十六烷值。柴油是介于煤油和重油之间的燃料,带有浅黄色。一般柴油的引燃温度为  $45\sim 80^{\circ}\text{C}$ ,自燃温度为  $350^{\circ}\text{C}$  左右。要求具有较好的自燃性,黏度适中,含硫量要低。

狄塞尔爆缸

十六烷值

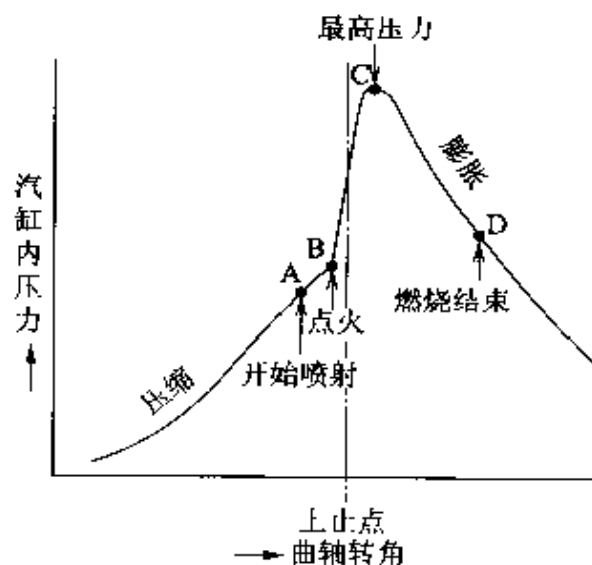


图 13.14 柴油发动机的燃烧过程

## 6 旋转发动机

### □ 要 点

旋转式发动机是由德国自由西德的菲·克斯·范奇尔发明的。其工作原理与往复式发动机基本相同，也是吸入混合气体并进行压缩，并由电火花点燃，以所产生的燃烧气体压力作为动力。不同的是在旋转式发动机中，利用燃烧气体压力所产生的旋转运动来带动输出轴转动。

### □ 解 释 ● 旋转发动机的结构

旋转发动机的结构如图 13.15 所示，发动机壳的两端用端盖密封，中间是椭圆柱形的工作腔。曲边三角形的转子（参见图 13.16）在工作腔内作偏心旋转运动，带动偏心输出轴旋转。

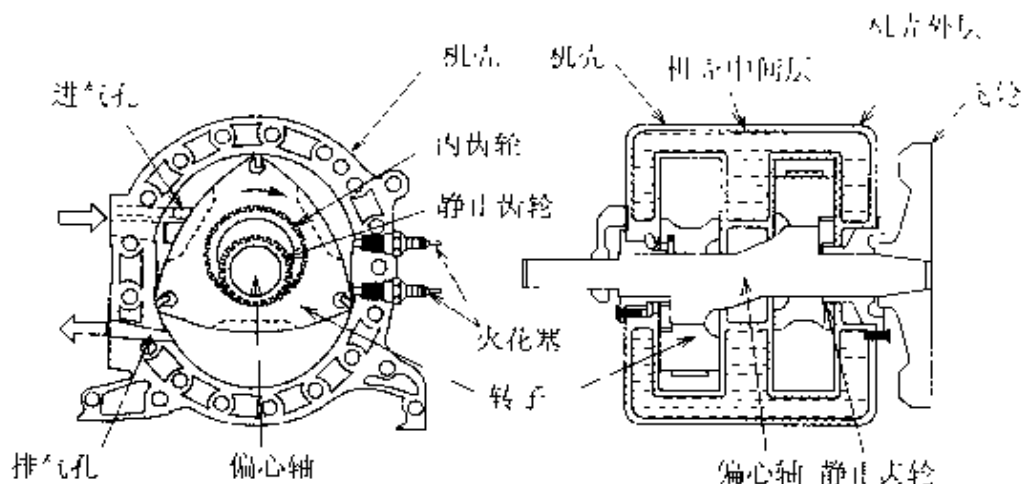


图 13.15 旋转发动机的结构

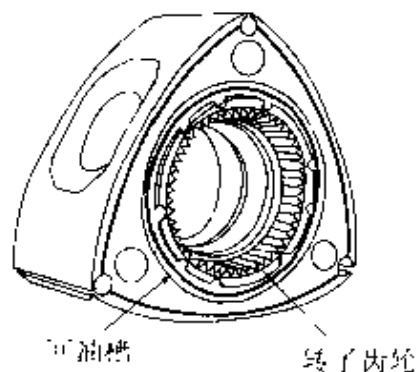


图 13.16 转子各部分的名称

## 1.1 相关知识 ● 旋转发动机的主要零部件

机壳是旋转发动机的最基本部件,如图 13.17 所示。机壳为铝合金铸件,内表面的端面廓形为椭圆形(2 节圆外次摆曲线),相当于往复式发动机的汽缸。转子相当于往复式发动机的活塞,用特殊铸铁制成。端面形状为曲边三角形,其曲线为圆外次摆曲线的 3 叶内包络线。

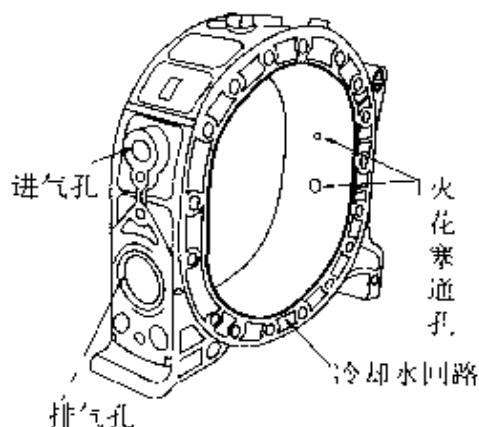
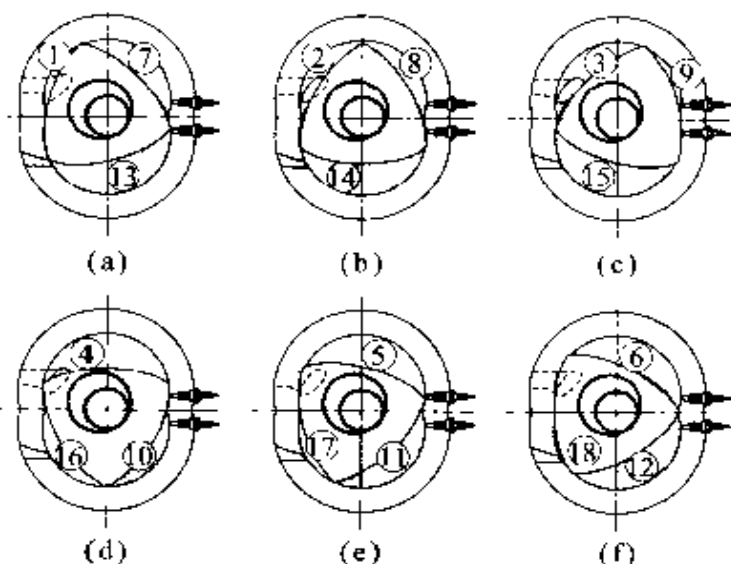


图 13.17 机壳结构示意图



①~④吸气冲程 ⑤~⑧压缩冲程 ⑨~⑫点火膨胀冲程 ⑬~⑱排气冲程  
 ① 进气孔打开, ②~④腔内容积逐渐增大, 并吸入混合气体。⑤ 进气孔关闭,  
 ⑥~⑧ 开始压缩, ⑨ 开始点火, ⑩~⑫ 开始膨胀, ⑬ 排气孔打开, 开始排气  
 ⑭ 排气结束 ⑮ 再返回初始状态, 进入下一个循环。  
 其他两个工作腔的工作原理与此相同。

图 13.18 旋转发动机的工作原理

### ● 旋转发动机的工作原理

旋转发动机的工作原理如图 13.18 所示,转子的三个边分别形成独立的工作腔。随着偏心转子的旋转,一个工作腔按图 13.18 所示的过程发生变化。若从燃烧气体状态转变过程来看,则旋转发动机与 4 冲程活塞式发动机完全相同。此外,转子旋转 1 周时,偏心输出轴旋转 3 周。由于转子旋转 1 周有 3 个燃烧冲程,所以偏心输出轴每旋转 1 周都对应 1 个燃烧冲程。

### ● 气体密封与油密封

旋转发动机工作腔的气体密封如图 13.19 所示,由装在转子上的轴向密封件、端面密封件和转角密封件来实现。这些密封件相当于往复发动机上的活塞环。由于旋转发动机的各个密封件是在立体空间组成密封腔的,所以保证各部分的气密性比较困难,需要在结构上采取各种措施。转子在不同的冲程中交替地受到加热和冷却,为了保持转子处于一定的温度范围,要利用润滑油对其进行冷却。因此,还要安装防止漏油的密封件。

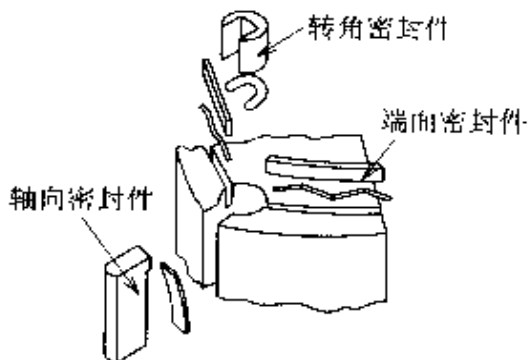


图 13.19 气体密封件的结构

### ● 点火装置

旋转发动机的点火装置如图 13.15 中所示,每个转子使用了两个火花塞,一个安装在机壳内腔的中间偏上(主动侧)位置,另一个安装在机壳内腔的中间偏下(从动侧)位置。根据对轴向密封件两侧的相邻工作腔的压力差的测试发现,在轴向密封件通过连通孔的瞬间会引起泄露。在上动侧这种压力差几乎为 0,越偏向从动侧压力差越大。因此,主动侧的连通孔要小,另一侧的连通孔可以稍大一些。

## 7 蒸汽机

### □ 要点

将蒸汽的热能转变为机械功的原动机有蒸汽机和汽轮机。蒸汽机是利用蒸汽静压力的往复式发动机,是最早发明的热机。汽轮机是利用蒸汽高速流动时的动能的旋转式发动机,主要用于大功率原动机。

### □ 解释

#### ● 蒸汽机概述

蒸汽机的结构如图 13.20 所示,由活塞、汽缸、控制向汽缸内供汽和排汽的阀机构、将活塞的往复运动转变为旋转运动的曲轴机构等构成。来自锅炉的高压蒸汽,经过输汽管和控制阀进入汽缸,随着蒸汽的膨胀,推动活塞向下运动,从而获得动力。膨胀后的低压蒸汽经排汽室和排汽管排出。过去,蒸汽机应用于许多领域,具有启动转矩大的特点。但是,蒸汽机的效率低,与其他发动机相比,单位输出功率的体积和重量较大。因此,随着汽轮机和内燃机的发展,蒸汽机的应用越来越少。

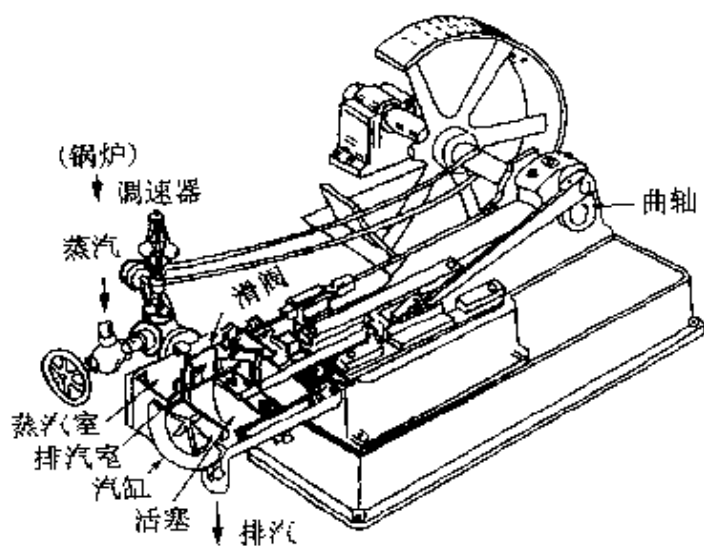


图 13.20 蒸汽机的结构

### □ 相关知识

#### ● 蒸汽机的工作循环

蒸汽机用换向阀控制分别向活塞的两端供给高压蒸汽,推动活塞往复运动。在活塞一端蒸汽的作用如图 13.21 所示。活塞移动到左端时,高压蒸汽开始进入汽缸。在 a~b 段,高压蒸汽推动活塞向右移动,为流入冲程。到达 b 点,停止供汽,蒸汽一边膨胀



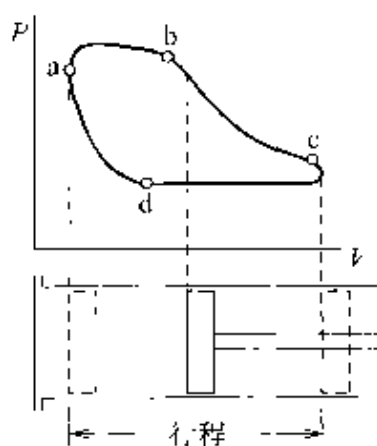


图 13.21 蒸汽机的热循环图

一边推动活塞继续向右移动,这一阶段为膨胀冲程。在c点,换向阀将汽缸与排汽室接通,随着活塞向左移动,将低压蒸汽排出汽缸。活塞到达d点时,排汽口关闭。在d~a段,活塞压缩残留蒸汽返回到a点。接着重复上述循环。

### ● 汽轮机简介

汽轮机的工作原理如图13.22所示,利用高速蒸汽流驱动叶轮旋转,从而获得动力。因此,能够使高压蒸汽发生绝热膨胀而产生高速蒸汽流的喷嘴和能够在蒸汽流的作用下实现旋转运动的叶轮是汽轮机的基本组成部分。由喷嘴和叶片构成的基本单元称为级。按能量转换方式这种级可分为冲动级和反动级。对于冲动级,蒸汽主要在喷嘴内进行膨胀,叶片上的压力不变,叶片只改变蒸汽流的方向,将其动量转换为叶轮旋转的动力。对于反动级,蒸汽在喷嘴内和叶片上都进行膨胀。一般的汽轮机都是由多级组成的。由冲动级构成的汽轮机称为冲动式汽轮机,由反动级构成的汽轮机称为反动式汽轮机。由冲动级和反动级构成的汽轮机称为混合式汽轮机。

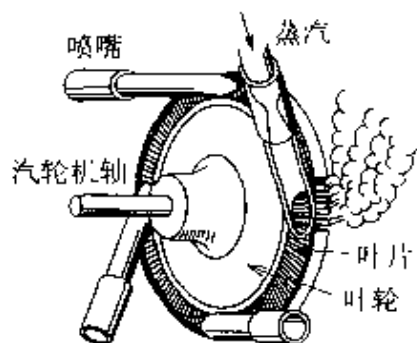


图 13.22 汽轮机的工作原理

图 13.23 所示为冲动式汽轮机的一个示例。汽轮机与蒸汽发动机不同,它能够实现旋转运动,所以汽轮机可达到很高的旋转速度,单位输出功率相对应的重量小。此外,由于汽轮机的工作过程是使大量的蒸汽连续地膨胀为低压气体,所以可以制成大功率的动力机械,热效率较高,被广泛用于热力发电厂和大型轮船的动力机械。

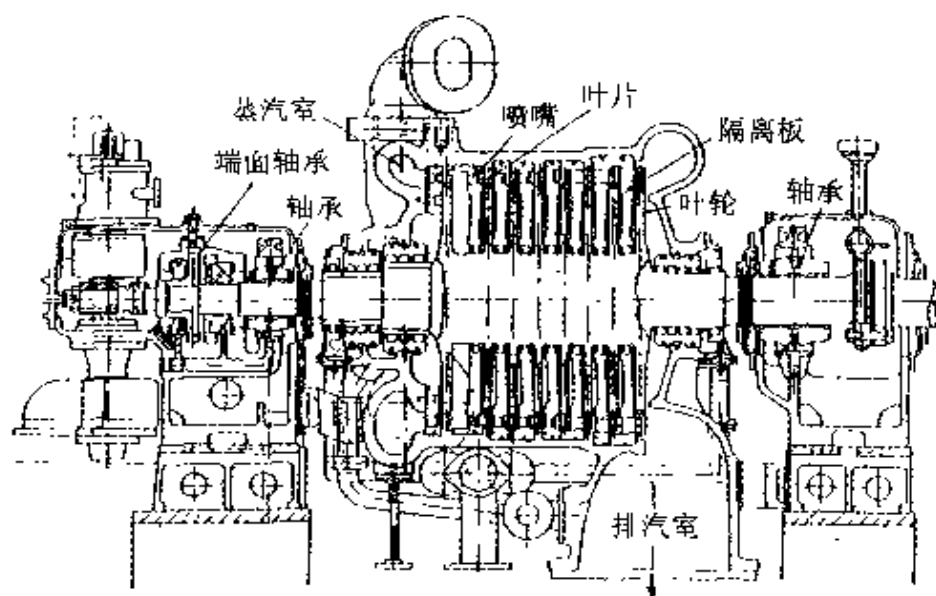


图 13.23 冲动式汽轮机的结构

### ● 汽轮机的性能

汽轮机在单位时间内向外部输出的有用功等于蒸汽在汽轮机内部所作的功(各级叶片上蒸汽所作功的总和)减去轴承的摩擦、调速装置和油泵驱动等各种功率损耗,这种输出功率称为有用功率。汽轮机的有用功率与其内部功率的比值称为机械效率。不同功率的汽轮机效率也不相同,输出功率越大汽轮机的效率越高。

### ■ 研究课题 汽轮机的使用

火力发电厂的汽轮机在容量小于 40 000~60 000kW 时,一般都使用再热循环式汽轮机。这种再热循环式汽轮机的高压部分的蒸汽量较大而低压部分的蒸汽量较小,所以循环水系统的体积较小。

对于利用地热发电和焚烧垃圾发电的汽轮机,由于地热和垃圾焚烧能够向汽轮机供给的蒸汽接近于饱和状态,所以,汽轮机的内部要设有蒸汽除湿和排水装置,同时在结构和材料上还要考虑防止排水引起的腐蚀问题。

## 8 斯特林发动机

### 要 点

斯特林发动机是1816年由苏格兰的罗伯特·斯特林发明的。这种发动机取消了蒸汽机中的锅炉,用不易爆炸的空气作为工作气体,是一种往复式空气发动机。

### 解 释

#### ● 斯特林发动机的工作原理

理想的斯特林发动机是能够使密闭的工作气体实现等容加热(压力上升)、等温膨胀、等容冷却(压力下降)和等温压缩工作循环的热机。下面对其工作原理进行说明(参见图13.24)。

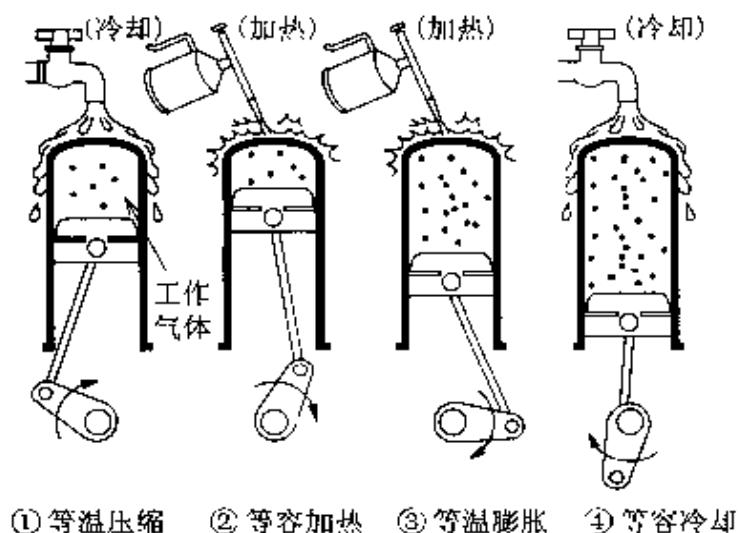


图 13.24 斯特林发动机工作原理

**等温压缩** ① 对低温工作气体进行压缩,为了防止温度上升,在压缩的过程中从外部对工作气体进行冷却(等温压缩);

**等容加热** ② 对压缩后的工作气体从外部进行加热,使其温度和压力上升(等容加热);

**等温膨胀** ③ 从外部继续对工作气体加热,在温度保持不变的条件下使工作气体膨胀,从而输出动力(等温膨胀);

**等容冷却** ④ 从外部对工作气体进行冷却,使其温度和压力下降,达到过程③开始时的状态(等容冷却)。其中等温膨胀所作的功和等温压缩所消耗的功之差就是发动机输出的有效功。

但是,实际工作过程不可能在极短的时间内使一个燃烧室的

温度发生很大的变化,因此采用了图 13.25 所示的结构。在换气活塞上下运动的同时,对连接上下两个工作腔的管子进行连续地加热和冷却。当工作气体从换气活塞的上方工作腔向下方工作腔移动时,其温度和压力下降;当工作气体从换气活塞的下方工作腔向上方工作腔移动时,其温度和压力上升。这样,就可以交替地产生高压和低压状态,使下方的动力活塞在不同压力的作用下输出动力。

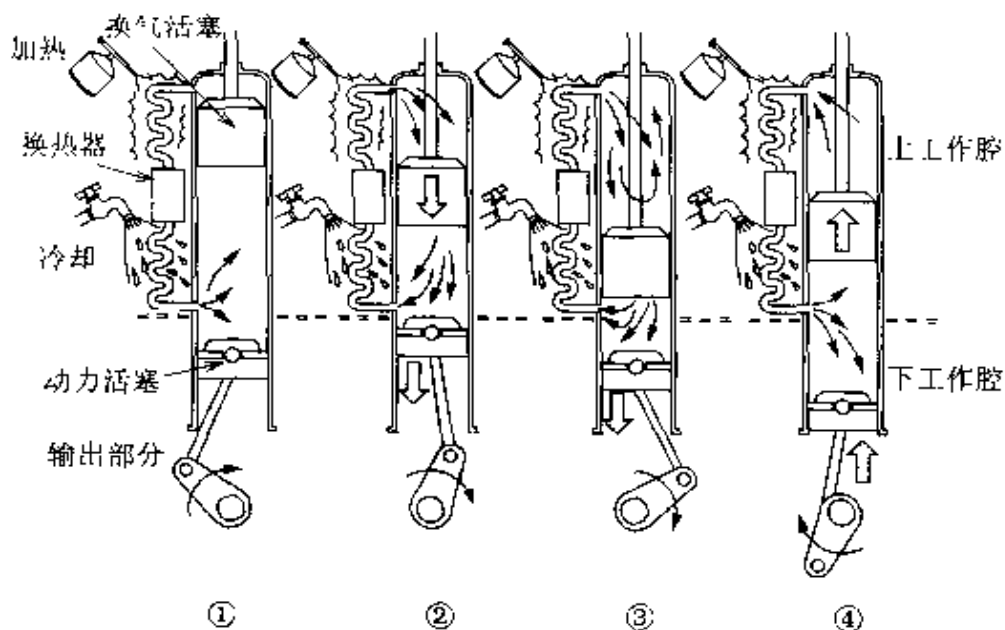


图 13.25 采用换气活塞的斯特林发动机工作原理

- ① 动力活塞对冷却过的气体进行压缩;
- ② 压缩后的工作气体随着换气活塞的下降而被加热,使其温度和压力上升;
- ③ 加热结束后,工作气体膨胀,推动动力活塞向下运动而做功;
- ④ 膨胀后的工作气体随着换气活塞的上升而被冷却,使其温度和压力下降。

## 相关知识 ● 斯特林发动机的特点

斯特林发动机属于外燃机,不仅可以用汽油和柴油等作燃料,而且可以用木柴、垃圾等任何可燃物作燃料。由于这些燃料可以在低压状态下慢慢地燃烧,因此,斯特林发动机比内燃机产生的有害物质少,是一种低污染的发动机。汽油发动机等内燃机的燃料是在压缩了的汽缸内爆炸式地迅速燃烧,必然产生振动和噪音。而斯特林发动机则是一种振动小、噪音低的安静型发动机。

## 9 制 冷

### □ 要 点

对物体进行冷却或制冷,使其温度下降的机械称为制冷机。通常使用的压缩式制冷机的工作原理是通过工质容易液化的制冷剂,使制冷剂变成液体并压缩,然后液化的制冷剂有一定的热量下汽化,从周围环境吸收热量,从而实现制冷。下面说明制冷的一般原理。

### □ 解 释 ● 制冷原理

制冷  
制冷循环

将物质的温度降低到大气温度以下的操作称为制冷。制冷过程的工作循环称为制冷循环。就像水要从高处流向低处一样,热量也具有从高温部分传向低温部分,最终整体趋于同样温度的性质。相反,如果要使热量从低温部分向高温部分流动,就要有能够从低温  $T_1$  (K) 部分(蒸发器)吸收热量  $Q_1$  (kW), 在高温  $T_2$  (K) 部分释放热量  $Q_2$  (kW) 的装置。这种装置称为制冷机(参见图 13.26)。制冷循环有很多种,其中由两个绝热变化过程和两个等温变化过程组成的卡诺制冷循环是高效率的理想制冷循环。

卡诺制冷循环

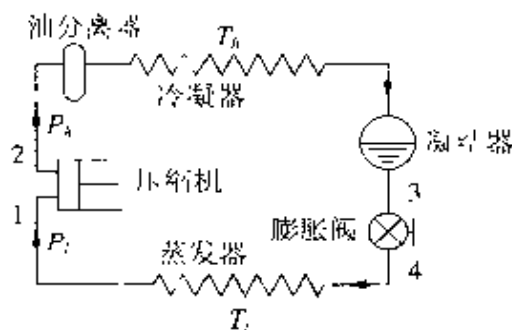


图 13.26 单级制冷机简图

### □ 相关知识 ● 制冷循环

图 13.27 所示的单级制冷循环是最基本的制冷循环。压缩机吸入饱和状态 1 或过热状态 1 的制冷剂气体,并将其压缩成高温高压的过热气体 2 或 2 的状态,再在冷凝器中由周围的空气或冷却水将制冷剂冷却成饱和液 3 或过冷却液 3 的状态。最后通过膨胀阀使这种液态制冷剂减压,变成低温低压的湿蒸汽 4 或 4 的状态进入蒸发器。在蒸发器内,制冷剂吸收周围空气或被冷却物体的热量,转变为 1' 或 1 的状态,再一次被吸入压缩机。这里所说的

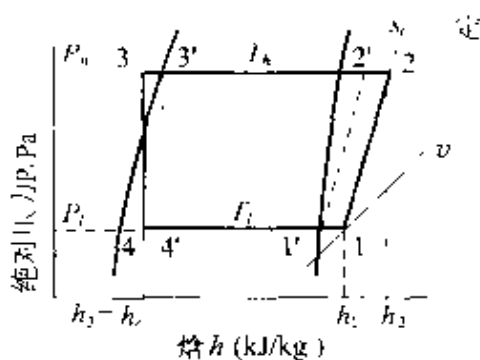


图 13.27  $P-h$  线图上的制冷循环

制冷剂就是制冷机或热泵等使用的工作流体及换热媒介物质。

### ● 温度控制

通常,制冷装置的制冷负荷是经常变化的,适应这种变化的直接控制装置就是膨胀阀。膨胀阀不仅能够起到控制制冷剂减压变成低温低压状态的作用,还能够调节蒸发器出口的制冷剂状态,使之保持适当的过热程度。

### ● 制冷剂

在制冷设备中,制冷剂蒸发时的压力就是制冷剂在蒸发温度下的饱和压力。一般要求制冷剂的蒸发压力高于大气压力,这样可以防止由于压缩机的吸气压力低于大气压而导致空气向制冷剂系统中渗漏,也可以防止因吸气压力低,使压缩比增大而导致压缩机的容积效率降低或者运行性能指标下降。沸点较低的制冷剂用于低温制冷设备(如冷冻设备),沸点较高的制冷剂则用于较高温度的制冷设备(如空调设备)。

## 研究课题 低温运输

如今,有大量的食品等商品要从产地运输到消费地区,常常要求在低温下进行运输。按温度要求可分为低温( $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ )运输、冷藏( $-2\sim -20^{\circ}\text{C}$ )运输和冷冻(低于 $-20^{\circ}\text{C}$ )运输。冷冻运输车利用制冷剂进行内部制冷,冷藏运输车安装制冷机进行制冷,也有的冷藏运输车只有保温设施。此外,还有装有制冷设备的冷藏运输船等。

## 10 环境与汽车尾气

### □ 要点

现在对汽油发动机尾气中有害气体的排放量有一些规定。被限制的尾气有一氧化碳(CO)、碳化氢(HC)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)等。针对柴油发动机,日本于1993年12月1日颁布了汽车NO<sub>x</sub>法,即在特定地区降低由汽车尾气造成的NO<sub>x</sub>总量的措施。于是在各大城市的特定范围内使用氮氧化物排放量较少的车辆,以达到降低氮氧化物总量的目的。

### □ 解释 ● 尾气与环境问题

涉及到环境问题的汽车尾气,会造成地球的温室效应、臭氧层的破坏、酸雨和大气污染。造成地球温室效应的重要原因,是由于二氧化碳吸收太阳光能使地球变暖,当二氧化碳的浓度过高,地球的温度势必升高。

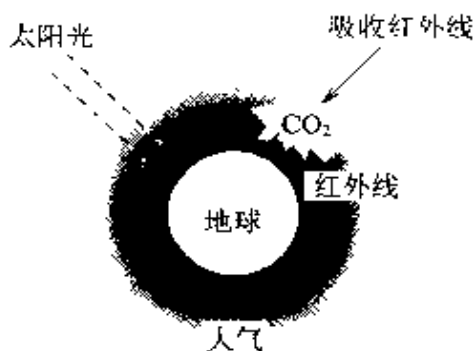


图 13.28 地球温室效应的结构图

臭氧层被破坏是由于作为空调制冷剂的氟里昂等物质到达平流层而引起的(正在开发能够使用不破坏臭氧层的新制冷剂的机器)。臭氧层变薄后,有害的紫外线就会增加,导致白内障、皮肤癌等多种疾病。酸雨的产生和大气污染是密不可分的,大气中的有害气体(二氧化硫和氮氧化物)在漂浮过程中遇到水蒸气生成硫酸和硝酸,这些很容易溶解在水中,最终形成酸雨降落在大地上,致使动植物受到伤害。

与汽车有关的环境改善,不仅涉及到汽车本身的改善和开发、引进、普及节能型低公害汽车,而且汽车驾驶员良好的驾驶技术也是不可忽视的。

## 第14章

# 运载机械

长期以来人们一直致力于如何将更多的人安全、快速地运送到目的地的研究，并创造出了种类繁多的运载工具，促进了不同地区之间的人文交流，带动了经济和文化的发展，使人类社会进入了日新月异的现代社会。

本章将较系统地介绍各种运载工具的有关知识，希望读者能掌握其原理及特点，并付诸于自己未来的实践中去。

- 责任编委  
深作贞男
- 执 笔  
杉野英一



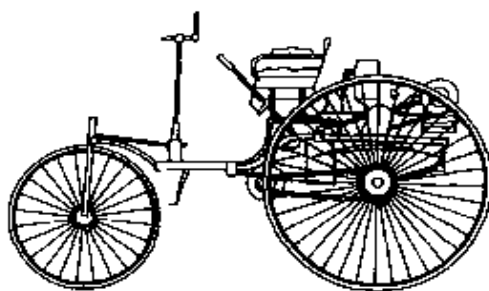


图 14.2 本茨的三轮汽油车  
(摘自:自動車工学 1, 实教出版)

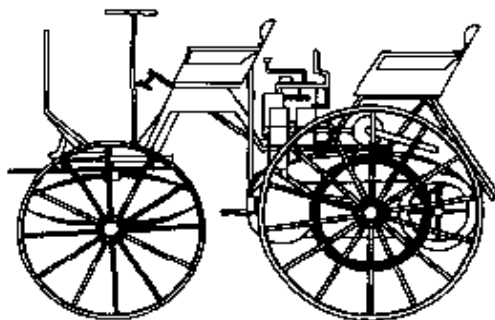


图 14.3 戴姆勒的四轮汽油车  
(摘自:自動車工学 1, 实教出版)

相关知识 ● 汽车的性能

汽车的性能应包括动力性能、制动性能、空气动力特性、操纵

汽车性能曲线图

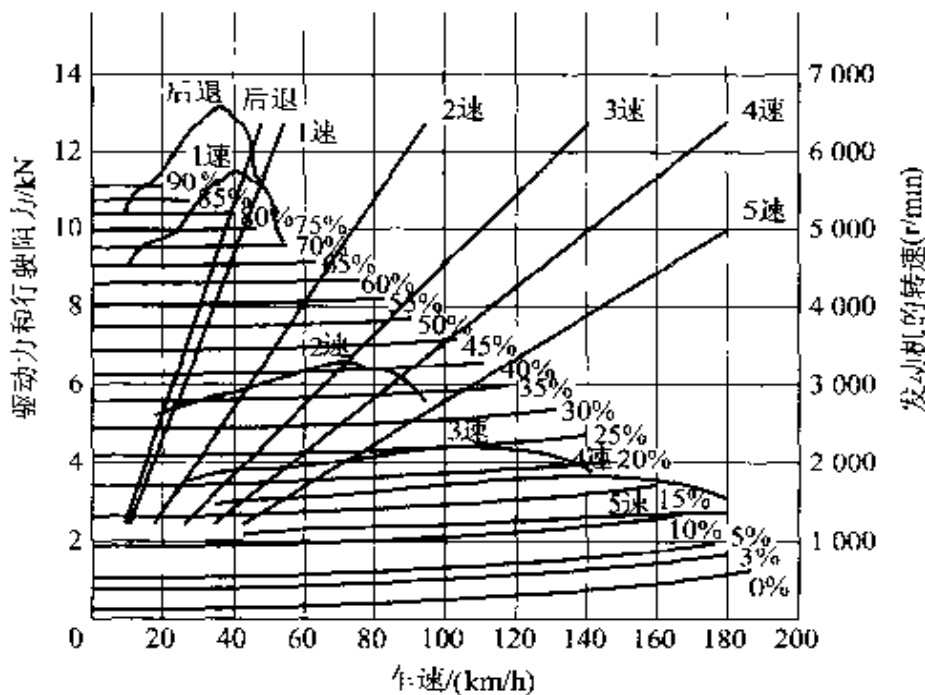


图 14.4 汽车性能曲线图

运转阻力曲线  
驱动力曲线  
车速线图

的稳定性以及乘坐的舒适性等。其中,动力性能是指与汽车的行走阻力和发动机有关的性能。汽车性能曲线图是描述速度和运行阻力以及发动机的转速之间的关系图,由运行阻力曲线、驱动力曲线与车速线图组成,参见图 14.4。运转阻力曲线是一条反映行驶速度与运行阻力关系的斜线。驱动力曲线反映了在不同变速比下的车速与驱动力的关系。车速线图表示车速与发动机转速之间的关系。

$$V = 0.2\pi r N_n \cdot i$$

其中, $V$  为车速(km/h); $r$  为驱动轮的有效半径(m); $N$  为驱动轴的转速(r/min); $i$  为变速比。

## 2 汽车的种类和结构

### □ 要 点

汽车是运载人或货物的交通工具。根据分类方法不同,可以将汽车划分为多种类型。此处是从用途、原动机的种类、发动机的位置和驱动方式等几个方面来分类的。

### □ 解 释

#### ● 汽车的种类

按用途分 有轿车、公共汽车、卡车及特殊车等。

按发动机分 有汽油车、柴油车、液化汽车及电动车等。

按发动机的位置和驱动方式分类(参见图 14.5)

① FF 车(前置发动机的前轮驱动方式):发动机安装在车体的前部,用前轮作为驱动轮的汽车。通常轿车都采用这种结构。

② FR 车(前置发动机的后轮驱动方式):发动机安放在车体的前部,但用后轮作为驱动轮的汽车。卡车和部分轿车使用这种结构。

③ RR 车(后置发动机的后轮驱动方式):发动机安放在车体的后部,用后轮作为驱动轮的汽车。现在这种驱动方式很少使用。

④ 4WD 车(四轮驱动方式):与发动机安装的位置无关,前后 4 个轮同时作为驱动轮的汽车。

⑤ MR 车(中央发动机的后轮驱动方式):发动机安装在前轮与后轮之间,用后轮作为驱动轮的汽车。

前置发动机的  
前轮驱动方式

前置发动机的  
后轮驱动方式

后置发动机的  
后轮驱动方式

四轮驱动方式

中央发动机的  
后轮驱动方式

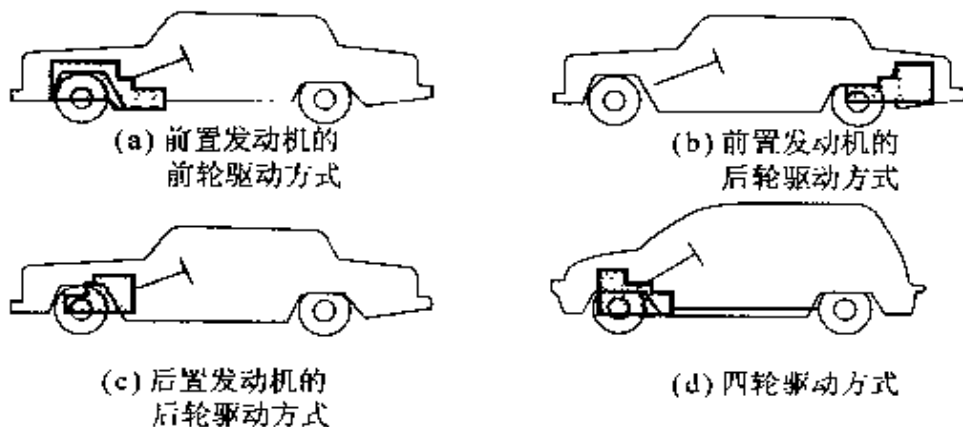


图 14.5 发动机的位置和驱动轮

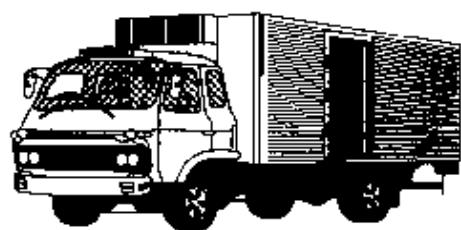
## □ 相关知识 ● 特殊车

特殊车厢车

特种车

特种装备车

为了完好高效地将货物等运送到目的地,要使用符合用途的特殊车,如特殊车厢车、特种车、特殊装备车等(参见图14.6)。特殊车厢车将车厢设计成特殊形式,目的是为了提高运送货物的效率,如桶式车厢、保温及冷冻车厢等。特种车是为了满足特定作业而在车上设置了特殊结构和装置的汽车,如挖掘机和推土机等,多数是工程机械。特种装备车是安装了特殊用途的车体和装置的汽车,如利用发动机和变速箱提供动力的翻斗车和混凝土搅拌车等。



(a) 冷藏车



(b) 混凝土搅拌车

图 14.6 特殊车

## ● 生产线

流水线方式

在早期的汽车生产中,主要是依赖人来进行手工制作汽车,生产效率很低。后来,美国人亨利·福特创建了汽车公司,采用流水线方式进行加工和组装作业,从而使汽车进入大批量生产阶段。使用传送带在流水线上组装汽车等产品是汽车大批量生产的基础。现在,使用计算机管理的生产线可以更高效率地生产不同颜色、款式的汽车。

在目前的汽车生产中,发动机和车身分别有各自的生产线,最后再组装到一起。生产汽车的工艺流程大致为:冲压钢板、制作车身的各部分,由机器人等焊接车体、组装车体,车体经过涂装后进入装备生产线,安装灯具及座席等。然后,组装发动机并安装剩余的零部件,至此整个装配结束。最后,经过打压和排气量、速度及车灯等项目检查,合格后的汽车方可出厂。

### 3 汽车发动机

#### □ 要点

汽车用的发动机要求小型化和轻量化,而且输出功率大且无故障,故目前主要使用汽油发动机。汽车用发动机除了发动机主体外,还包括一些辅助装置。如燃料供给装置、喷射混合气体和排出尾气的进排气装置、为点火装置和启动发动机等提供电能的电气装置,防止过热的冷却装置、润滑各部分的润滑装置,以及防止空气污染物的排气净化装置等。

#### □ 解释 ● 发动机的结构

汽缸体是发动机的主体,是安装汽缸等零部件的支撑骨架。汽缸盖上有燃烧室和阀门机构。活塞在燃烧气体产生的压力推动下,在汽缸内作上下往复运动,通过连杆将运动传递给曲轴,使活塞的往复直线运动转变为回转运动。阀门机构的作用是吸入混合气体并排出燃烧后的废气,阀门可分为 OHC 和 DOHC 等多种。飞轮的作用是将发动机的旋转动能作为惯性能暂时蓄存起来。油盘蓄存发动机油,带有排油管。点火线圈由粗细不同的两组线圈组成,通过相互感应产生高压电。配电器将点火线圈产生的高压电按点火程序分配给火花塞,火花塞则利用分配来的高压电在燃

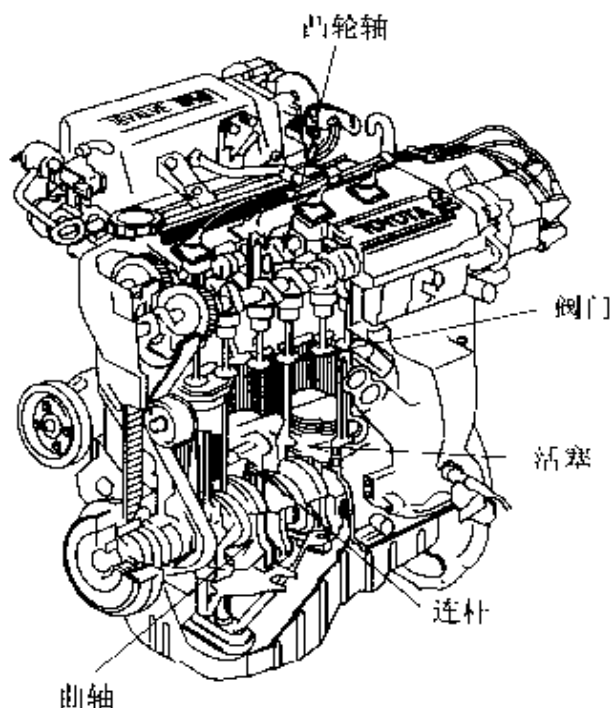


图 14.7 汽油发动机的结构

烧室内放电产生火花,点燃混合气体。启动装置通过直流电机带动飞轮的内齿轮,使发动机运转。交流发电机产生的三相交流电,经二极管整流成直流,为蓄电池充电并为各种电气装置提供电能(参见图 14.7)。

### ● 发动机的种类

活塞式发动机

转子发动机

活塞式发动机是将活塞的往复直线运动通过曲柄机构转换成回转运动而产生动力的发动机。按所使用的燃料可分为汽油发动机和柴油发动机等。转子发动机是曲边三角形的转子在椭圆形的壳体内作回转运动而产生动力的发动机。活塞式发动机可按照汽缸的排列型式分类。汽缸排成一系列的是直列式,由于结构较简单,使用最多。汽缸组按“V”字形排列,能使发动机的总高度和总长度缩小,称为V型发动机。而以曲轴为中心,汽缸在水平方向左右对称布置的发动机称为水平对置式发动机。

### □ 相关知识 ● 发动机的性能曲线图

发动机的性能  
曲线图

图14.8为发动机的性能曲线图,表示随着发动机转速的变

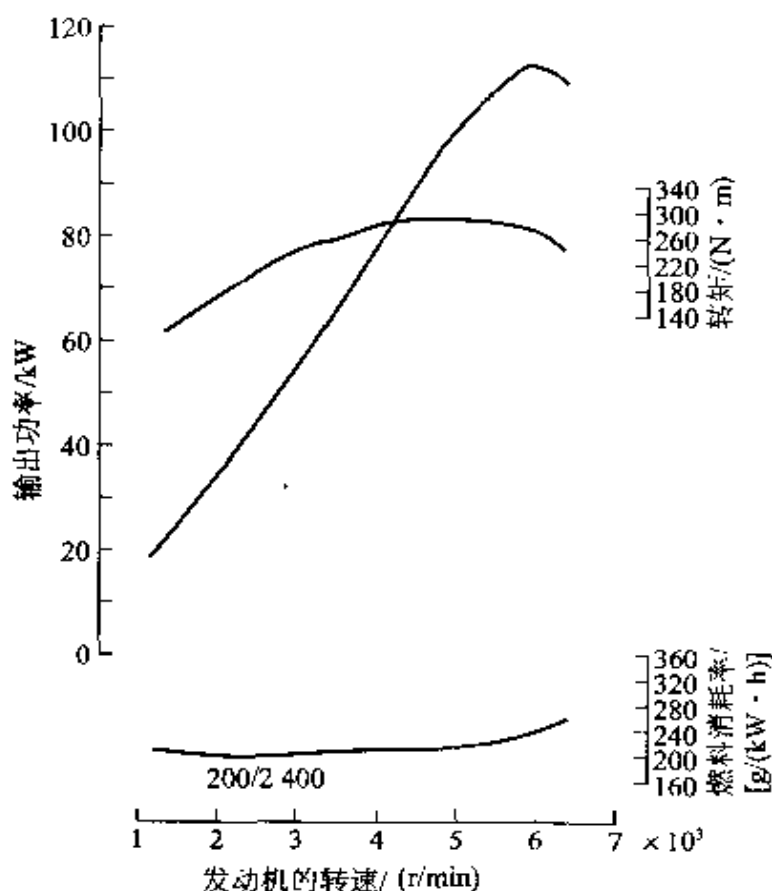


图 14.8 发动机的性能曲线

化,输出功率、转矩和燃料消耗率三者之间的关系。它反映了在整个转速范围内的所有输出状态。

SI单位换算关系为

$$1\text{N}=9.8\text{kgf}, \quad 1\text{PS}=0.7355\text{kW}$$

由图可见有如下关系:

① 发动机转速与输出功率的关系:发动机的转速为4000r/min时,输出功率为82kW。

② 发动机的转速与转矩的关系:发动机的转速为4000r/min时,转矩为280Nm。

③ 发动机的转速与燃料消耗率的关系:发动机的转速为4000r/min时,燃料消耗率为200g/kW·h。燃料消耗率与通常所说的燃料费(消耗1升汽油可以行走的公里数)不同,燃料消耗率表示在发动机的转速一定时,每千瓦小时所消耗燃料的重量。

## 4 太阳能动力车

### □ 要 点

以汽油、轻油为燃料的汽车存在许多问题,如燃料短缺,尾气使地球温暖化、产生酸雨、破坏臭氧层等。作为替代燃油的能源之一的太阳能却是取之不尽的能量,由此诞生了利用太阳能的太阳能动力车。

### □ 解 释 ● 太阳能动力车

太阳能的优点是对环境无污染,是绿色环保型的能源,既不会枯竭,也不会像石油那样存在地域差别。缺点是电量会随昼夜和季节变化,与普通电力相比价格高,单位面积的输出功率少且能量转换率低等。太阳能动力车是以太阳能电池作为电源,将产生的电能供给电动机运转,驱动车辆行驶,是一种电动车和太阳能电池组合的机动车(参见图 14.9,图 14.10)。目前,由于性能问题,太阳能动力车尚不能普及。但由于它使用绿色能源,对人类极具吸引力。所以,人们一直致力于如何提高太阳能电池性能的研究,以使其成为今后的主要能源。

#### 太阳能动力车

太阳能动力车按能源的供给方式可分为两种。一种是只使用太阳能电池的太阳能动力车,其太阳能电池安装在车体外表面。有时这种车也配有蓄电池,以补充太阳能电池的不足。另一种是太阳能电池不安放在车上,用从太阳能电池得到的电能给安装在车体上的蓄电池充电,所以,使用这种能源的太阳能动力车亦称为太阳能蓄电池车。有时这种车上还安装太阳能电池板。

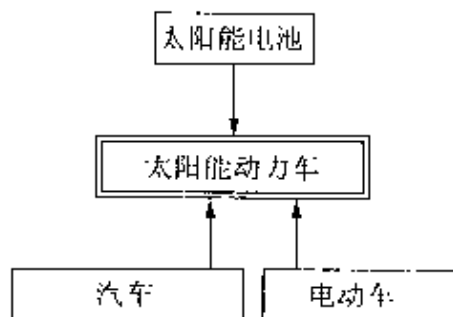


图 14.9 太阳能动力车的技术来源  
(摘自:《自动车工学 1》,文教出版)

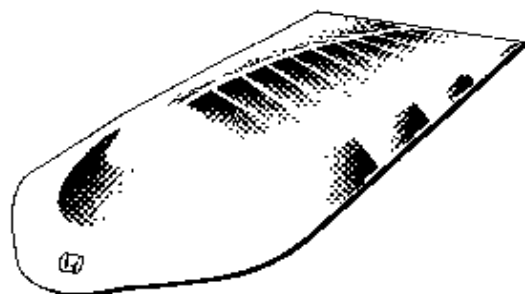


图 14.10 太阳能动力车



☐ 相关知识 ● 太阳能电池

光电效应

太阳能电池多使用硅系导体材料,当这种材料被太阳光照射时会产生光电效应,是一种将光能转化为电能的转换器,其发电原理见图 14.11。当阳光照射太阳能电池时,在电池的外表和内部两个电极间产生电势。接上负载,回路中就会有电流流过,同时在负载的两端产生电压。太阳能电池的输出功率为电流与电压的乘积。

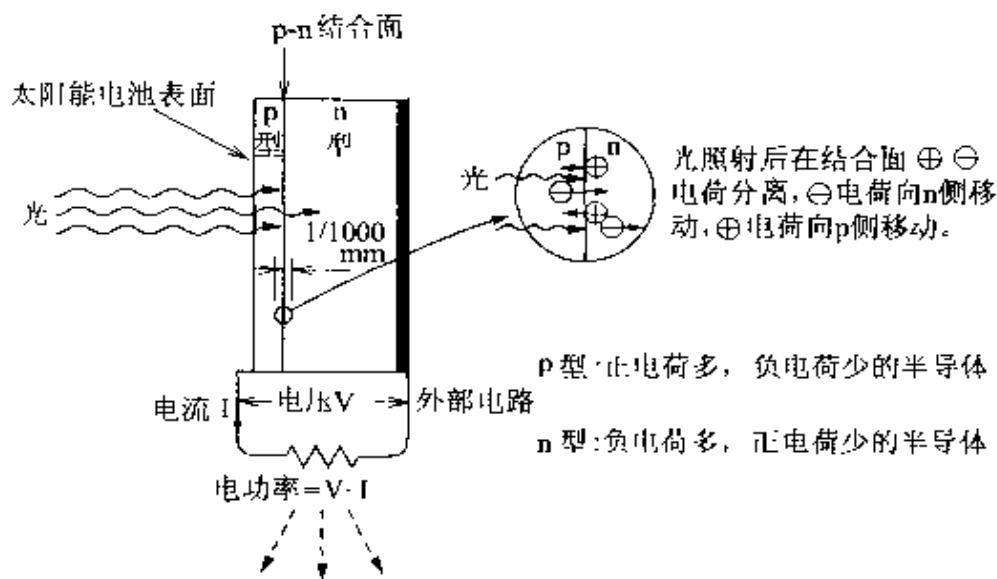


图 14.11 太阳能电池的原理图  
(摘自:藤中正治:地球にやさしいソーラカー 東京電機大学出版社)

● 太阳能电池的性能

电气特性有释放电压、短路电源、工作点及最大功率等。释放电压是阳光照射时在太阳能电池两端产生的电压。短路电流是在两极间没接负载,处于短路状态时流过的电流量。工作点是指太阳能电池受到光照工作时,实际产生电能的位置。最大功率是指在晴好天气,照度达 10 万勒以上时,太阳能电池能产生的电流和电压。

● 太阳能动力车用电动机

太阳能动力车的驱动电动机有直流电动机和交流电动机两种,因直流电动机容易控制而使用较多。直流电动机又分为直流电刷电动机和无刷电动机。电刷电动机控制简单并且价格低,但寿命短。无刷电动机在保留电刷电动机优点的同时,解决了寿命短的问题。

直流电刷电动机  
无刷电动机

## 5 铁路的历史和发展

### □ 要 点

建设铁路主要干线的历史也是日本土木技术发展的历史,铁路的土木技术在修建隧道、桥梁上发挥了极大作用。铁路的历史也是高速化的历史,从蒸汽机车到电力机车,直至发展到现在的柴油机车。

1787年,詹姆斯·瓦特改进了蒸汽机并使之实用化。但将蒸汽机应用到铁路上的人是特里维西克,他在1804年试制成功了蒸汽机车。1825年,斯蒂芬森开通了第一条铁路运输线(参见图14.12),使铁路商业化。在出现电力机车和柴油机车之前,铁路车辆一直以蒸汽机车为动力机车。

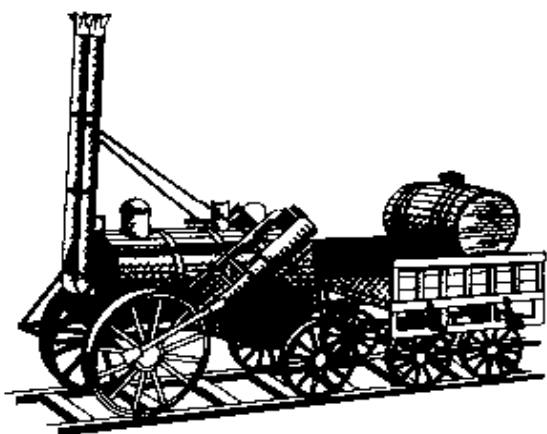


图 14.12 斯蒂芬森的蒸汽机车

### □ 解 释 ● 铁路的历史

日本最早的铁路是1872年修建的,使用从英国进口的蒸汽机车运行在新桥—横滨之间。此后,全国各地都相继修建了铁路。1881年,最早的私有铁路企业——日本铁道公司正式成立,揭开了日本私有铁路的历史。至1890年,经济危机削弱了私有铁路经营的根基。1892年国家颁布了铁道铺设法,宗旨是要扩展以国家为主导的铁路网。1906年国家收买了17个主要公司的私有铁路,实现了铁路国有化。当时,国有铁路营运公里数达到了7200km。在车辆方面,1912年实现了蒸汽机车100%国产化,并在信越线(横川—轻井)实现了电气化。1927年,日本的第一条地下铁路正式开通,由东京的上野到浅草。1964年,开通了集各种

先进技术为一体的东海道新干线。1987年,国营铁路转人民营化。

## □ 相关知识 ● 柴油机的性能(参见表 14.1)

### 柴油机

牵引铁路车辆的动力机有蒸汽机和柴油机。在此仅就柴油机的性能加以说明。柴油机的使用特点是在车站之间运行时可以频繁进行满负荷或空转的交替工作,而且还可以在恶劣条件下工作,如在坡度大的线路上连续作最大功率输出。发动机除提供动力外,还要为室内照明等提供电源,通常使用同一个柴油发动机。驱动用的柴油发动机一般是吊在地板下,为了降低发动机的高度,常使用卧式发动机,另外还有V型、水平对面配置型等型式。出于提高单位质量功率的目的,许多发动机都配备了排气涡轮增压装置。从节省燃烧费的角度出发,燃烧室也由从前的分开式燃烧室向直接喷射式燃烧室发展。

表 14.1 内燃机车用柴油机的主要参数

柴油机的型号	DMF 13 HZ	DML 30 HZ	DML 61 Z	DML 6J ZB	
型 式	顶置气门、 卧式、水冷	顶置气门、水 平对置、水冷	顶置气门、 V型、水冷	顶置气门、 V型、水冷	
燃 烧 方 式	直接喷射式、 增压、中间冷却	直接喷射式、增 压、中间冷却	预燃室式、 增压、	预燃室式、增 压、中间冷却	
汽缸数—直径 ×行程, mm	6—130×160	12—140×160	12—180×200	12—180×200	
汽缸总 容积 /L	12.7	29.6	61.1	61.1	
压 缩 比	15.7	14.3	11.8	14.1	
连续 运转 额定 值	功率, kW	210	180	800	1000
	转速(r/min)	2000	2000	1500	1550
	平均有效 压力/MPa	1.1	1.0	1.05	1.2
	活塞速度 (m/s)	10.67	10.67	10.00	10.34
干燥重量/kgf	1580	3100	5600	6200	

### ● 柴油发动机的动力传递装置

对于铁路用车辆的动力传递装置而言,希望启动时的驱动力较大,而速度高时驱动力较小,故需采用流体变速装置。流体变速装置是使用液力变矩器传递由发动机输出转矩的装置,其特点是输入与输出成比例,且转矩在转速低时较大,随着转速提高而逐渐变小。实际上,一个机车可以安装一个或几个液力变矩器,根据发动机的转速和列车的行驶速度之比自动调整转矩。

### □ 研究课题 ● 高速化(最高速度)

蒸汽机车的最高速度记录是 32.8km/h,而东海道新干线的“希望号”最高时速达 300 km/h。

## 6 蒸汽机车的构造

### 要 点

1803年,英国的理查德·特里维雪克首先制造出在轨道上行驶的蒸汽机车,第二年试运行。但这种机车重量为5t,并且锅炉的性能差,在当时还不能普及。

### 解 释

#### ● 工作原理和构造

蒸汽机车的工作原理见图14.13。通过煤炭燃烧使锅炉中的水变成蒸汽并送入汽缸,水蒸汽推动活塞作往复运动,再由主连杆将往复运动转变为回转运动,传递给驱动轮。机车可以分为客运机车和货运机车。客运机车的前部设有2轴或1轴转向架,驱动轮直径较大。货运机车从增大牵引力的角度考虑,驱动轮直径较小且数量多,并兼顾运行安全,在机车前部安装普通的1轴转向架。

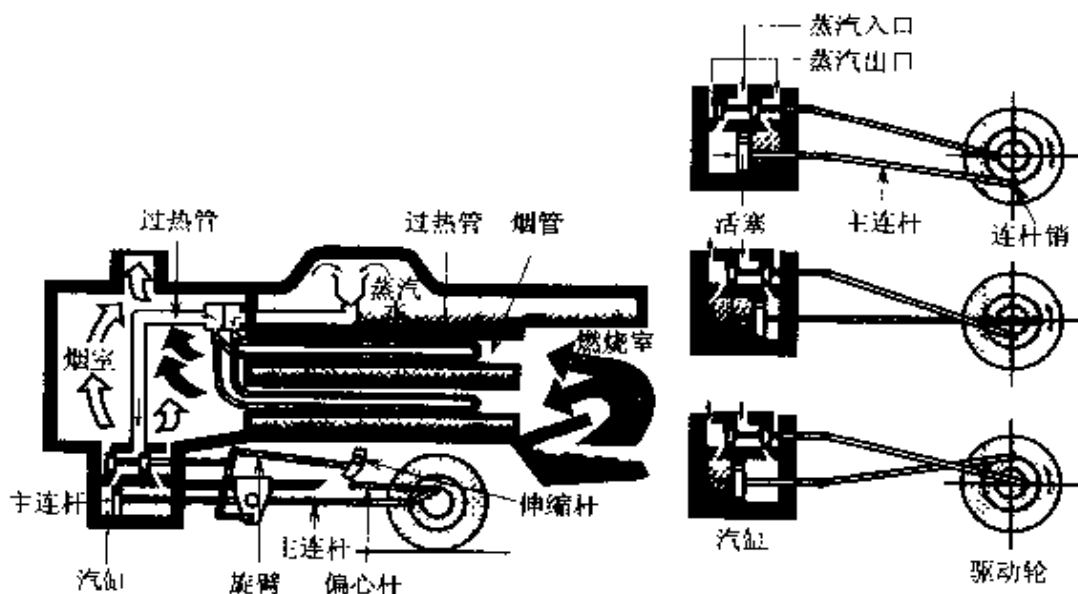


图 14.13 蒸汽机车的工作原理

### 相关知识

#### ● 水柜式机车和煤水机车

##### 水柜式机车

水柜式机车特点是水和煤均由自己牵引,故该机车载重量受到车轴最大许用轴重的限制,不能作长距离的运行。另外,随着煤和水的消耗,轴重发生变化,会产生黏着力降低等问题。但因为这种机车前进或后退自如,所以,常用于短区间往返运行。

##### 煤水机车

煤水机车指装煤和水的车辆,用其他机车牵引,其特点与水柜式机车相反。大型机车几乎都是煤水机车。

### ● 机车的分类

蒸汽机车根据车轮配置不同而有各自的特殊性,其主要用途参见表 14.2。此处的机车分类综合考虑了机车的用途及线路的状况等情况。

表 14.2 按车辆配置分类

车轮配置	Whyte 式	日本国铁式	美国式	主要用途	日本国铁例
←○○○	2-6-0	1C	Mogul	旅客·货物	8520, C50
←○○○○	1-6-2	2C1	Pacific	旅客	C51, C59
←○○○○○	4-6-2	2C2	Hudson	旅客	C61, C62
←○○○○○	2-8-2	1D1	Mikado	货物	D51, D62
←○○○+○○○	2-6-6-2	1C+1C1	Mallet		

注: ← 前方, ○ 驱动轮或从动轮, + 前后转向架无连接。

### ● 黏着和黏着系数

在保证车轮不打滑的摩擦力范围内,通过给予车轮回转力或用制动器制动可以使铁路车辆在轨道上加速或减速。车轮与轨道间的摩擦力(系数)称为黏着或黏着力(系数)。摩擦(黏着)系数与作用力之间必须保证以下关系(参见图 14.14):

$$F < \mu W$$

式中,  $F$  为牵引力或制动力,  $W$  为作用在车轮上的重量,  $\mu$  为车轮与轨道间的摩擦(黏着)系数。

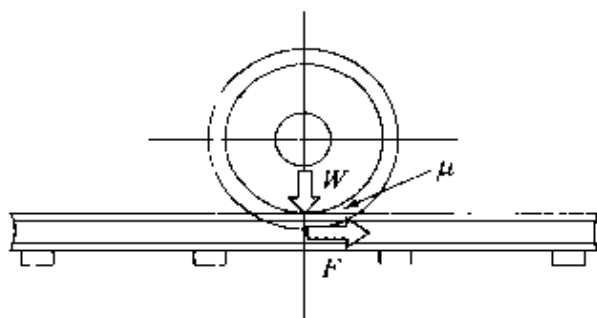


图 14.14 车轮所受的重力、牵引力及黏着系数的关系

通常,在干燥的轨道上运行时,  $\mu$  值取 0.25~0.30,而对于潮湿的轨道  $\mu$  取 0.10。电力机车、柴油机车的  $\mu$  取 0.03。

# 7 电力机车的构造

## □ 要 点

电力机车由机械和电气两部分构成，机械部分包括车体、转向架、联接装置、传动装置、空气压缩机及车门开关装置等；电气部分包括主电机、控制装置、配电装置及安全装置等。

电力机车按供电方式可分为直流电力机车、交流电力机车及交直流电力机车。直流电力机车的主要器件有导电弓、断路器、主电阻、电阻转换开关、主电机及换向器等主电路器件，以及各种电动机、空气制动器等使用的电动空气压缩机等辅助器件。

交流电力机车的主要器件包括直流电力机车的各种器件、主变压器、分接头转换开关等电压控制装置以及将交流变直流的主整流器等主电路器件。在交直流电力机车上，除直流电力机车所需的器件外，还等要配备交直流转换器、主变压器及主整流装置等。

## □ 解 释 ● 电力机车的控制方法

直流电力机车依靠将串联的电阻依次短路来使主电机的电压升高达到提高速度的目的，所以电阻短路开关的触头越多，加速时速度变化就越平滑。高速运转时，常使用励磁控制的方法调节速度，即通过使主电机磁场的磁通量降低来提高速度（参见图 14.15）。

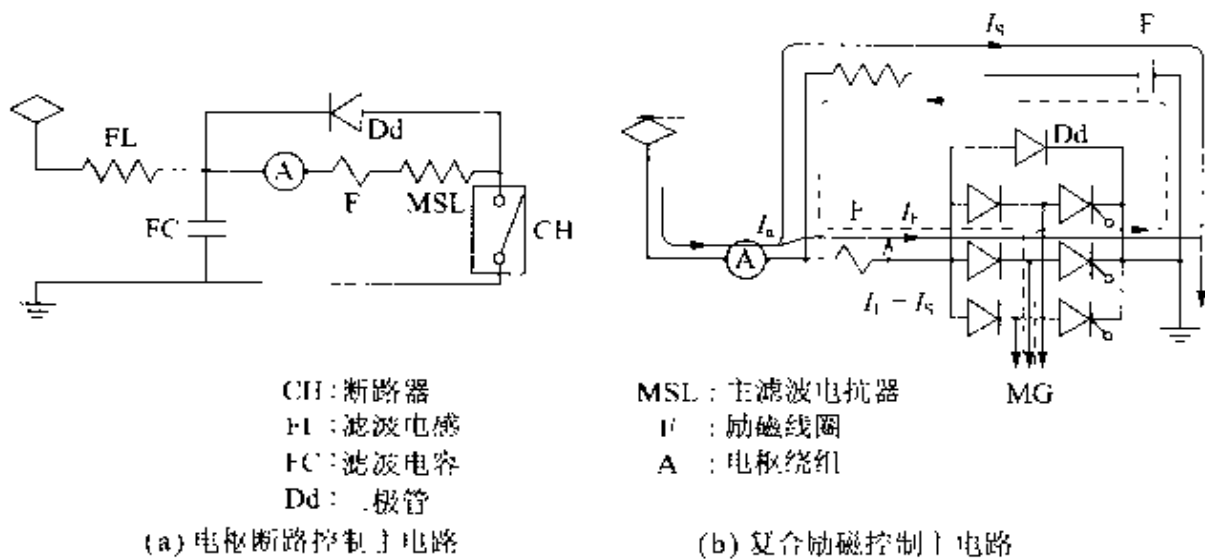


图 14.15 控制主电路

(摘自: 机械工学便覧, 日本機械学会)

对于交流电力机车,使用主变压器使输电线路上的电压降低。主变压器的输出端有许多触头,通过依次切换触头改变加在主电机上的电压来控制机车的行驶速度。

关于交直流电力机车的控制,在直流部分可以用直流电力机车的控制方法,在交流部分则要通过主变压器和整流装置来控制。

电力机车的性能用额定功率、额定牵引力和额定速度来衡量。额定功率是各主电机的额定功率乘以动力传递效率之和。额定牵引力是当主电机达到额定功率时,各主动轮上牵引力之和。

## □ 相关知识 ● 能量转换

导电弓将高架线上的电能引入电力机车。通过电阻器将电压调整到与列车速度对应的电压,并将电能转换为热能消耗。牵引时,直流电机通过齿轮带动车轮来驱动车辆运行。制动过程则恰好相反,必须将牵引电机改接成发电机,将列车行驶的动能转变为电能并消耗到电阻上,起到减速作用。

## ● 运行性能

列车运行时的加速性能和制动性能与列车阻力有关。影响列车阻力的因素包括列车的牵引力、制动、车辆结构等。列车阻力有运转阻力及斜坡阻力等。运转阻力是指列车在轨道上行驶时产生的阻力,主要包括车轮在轨道上的滚动阻力和空气阻力。运转阻力与速度的关系见图 14.16。斜坡阻力是指列车在坡路上行驶时车体重力的分力。当列车下坡时,斜坡阻力为加速力;上坡时,斜坡阻力为减速力。

运转阻力

斜坡阻力

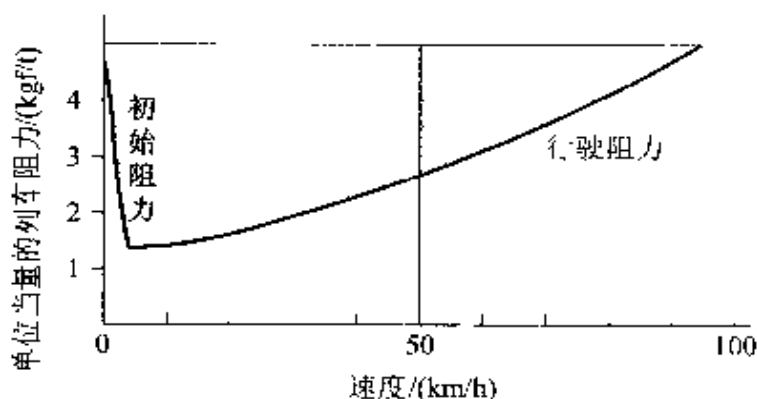


图 14.16 运转阻力与速度的关系

(摘自:佐久间武,小野纯朗:ビジュアル版日本の技術 100 年  
「第 3 卷 造船 鉄道」,筑摩书房)



# 8 高速铁路机车及其控制

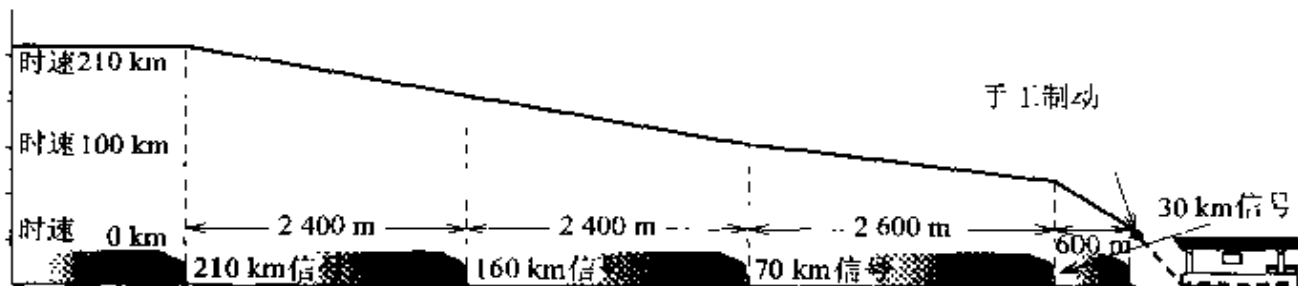
## 要 点

1964年,在东京召开奥林匹克运动会之际,东京—新大阪间开通了新干线,机车最高时速达220km/h。经过多年研制成功的新干线机车具有空气阻力小、高速、稳定及体轻的特点。新干线使用小型轻量化的导电弓,且具有较高的稳定性;此外还配有一套能保证安全运行的系统(ATC、CTC)。

## 解 释 ● 安全运行系统

### 列车自动控制装置

**列车自动控制装置(ATC)** 这种系统能将列车运行的速度直接在驾驶室显示出来,并监视由地面传来的速度信号,能够按照速度信号自动调整列车的速度(参见图14.17)。



停在车站的  
电车

当列车距停车位置还有5600m时,接收到时速为160km的信号,系统就会自动将列车速度降到160km/h以下

当列车以160km/h的速度向前行驶2400m时,接收到时速为70km的信号,系统自动将速度降到70km/h以下

列车以70km/h的速度再向前行驶2600m,距发出停车信号地点600m时,收到时速为30km的信号,列车速度自动降到30km/h以下

当列车时速在30km以下时就可以采用手动方式制动,将列车停在位置上。如果列车超过停车位置,系统就会根据停车信号紧急制动,保证在50m内停车

图 14.17 ATC 的作用

### 列车集中控制装置

**列车集中控制装置(CTC)** 装置设在东京的总调度室。在总调度室就可以掌握东京~博多间不同车次列车的位置,而且集中管理信号机和测点的操作,确保列车运行的安全。

### 列车自动运行装置

**列车自动运行装置(ATO)** 新干线没有采用这种装置。这是一种应用模糊理论的控制系统。所谓模糊就是“含糊”的意思,模糊控制是将一些不能用数值表示的量,如人的感觉、直觉等程序化,利用计算机进行自动控制。列车自动运行装置使用了模糊控制技术,充分考虑到乘坐的舒适性、停车精度及运行时间精度等之

### 模糊理论 模糊控制

后得出的运行条件,可以使列车运行平稳,很少有紧急停车。

## □ 相关知识 ● 新干线的构造

速度控制方法与交流电力机车相同,使用触头切换。因为是高速运行,所以制动控制采用散热性能良好的气动盘式制动器,并可以实现电力再生。另外,速度切换时,根据车轮与轨道间的黏着特性,系统能自动转换到适应列车速度的制动率。新干线采用标准轨道,提高了运行的稳定性。此外,为了减小运行阻力,高速列车的车厢下部均安装护裙,窗户也使用了安全性较高的双层玻璃。

## ● 其他的安全行驶辅助系统

### 列车自动停车装置

列车自动停车装置(ATS) 为防止撞车事故而专门设计的,是预警装置和制动装置的组合。当列车接近停止信号机时,预警装置自动发出警报,提醒驾驶员。

## ● 动力传递装置

动力传递装置是通过减速齿轮装置将主电机的回转力传递给驱动轮。以下是两种典型的动力传递装置参见(图 14.18)

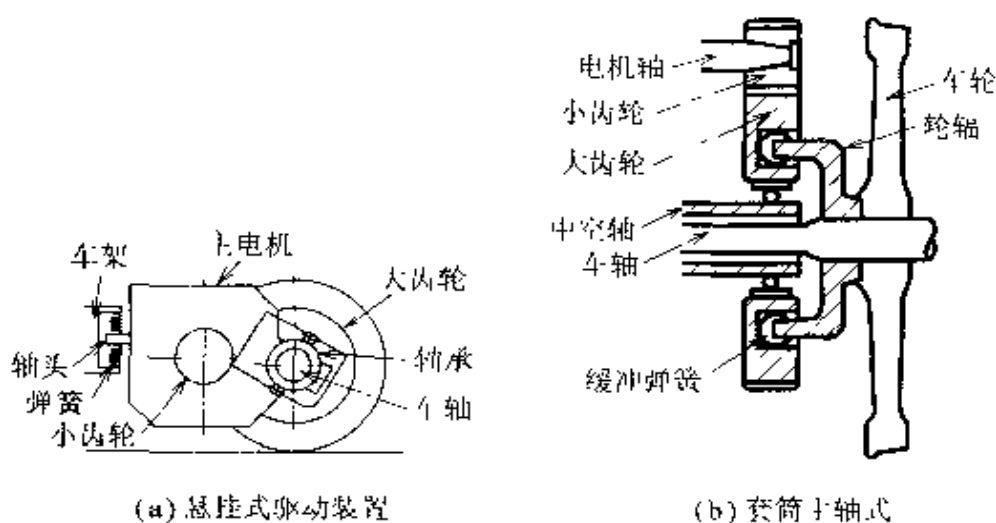


图 14.18 动力传递装置

(摘自:机械工学使用,日本机械学会)

### 悬挂式

**悬挂式** 将主电机悬挂在转向架的横梁和车轴上,小齿轮和大齿轮则分别安装在电机轴和车轴上,依靠齿轮来传递动力。这种方式结构简单,维护方便,但主电机不能太大。另外,弹簧所受的重力较大,不适合于高速运行。

### 套筒主轴式

**套筒主轴式** 该方式中的大齿轮不直接与车轴连接,而是依靠在大齿轮与车轴间设置的缓冲装置来传递动力。这种方式结构复杂,但弹簧所受重力较小

## 9 铁路的行驶和性能

**□ 要点** 影响列车行驶的主要因素是轨道和车轮。下面将介绍列车行驶方面的特点和性能。

**□ 解释** ● 轨道

轨道是铁路的象征,日本早期生产的铁轨长度由于受制造和输送上的限制只有10m左右。因为轨道的接头过多,不仅使乘客缺乏舒适感,也影响其强度和寿命。目前,新干线长轨道的长度已达1500m。

● 轨道的轨距(间隔)

轨道是按每延长米的重量(kg)分类的。材质为高碳钢(含碳0.60%~0.75%),弯道等磨损严重部位的轨道上部要淬火。轨距是两根轨道内侧的距离,在同一车辆行驶区间的轨距必须统一。由于最初日本铁路使用的轨距是1067mm,所以,现在大部分铁道仍采用这种轨距。列车在新干线上行驶时要求高速、平稳,轨距要宽些,故采用的是标准轨距1435mm。比标准轨距宽的轨道称为宽轨,窄的称为窄轨。日本普遍使用窄轨,因此习惯将标准轨距的轨道称为宽轨。

● 弯道行驶的对策

弯道上行驶时,列车由于离心作用会产生向外的力,所以,外侧的轨道要比内侧的轨道稍高一些,称此高度差为超高。另外,轨距加宽是为了方便转弯,而将弯道处轨道的宽度加宽(参见图14.19)。下面是不同轨距的超高最大值。

标准轨距

超高

轨距加宽

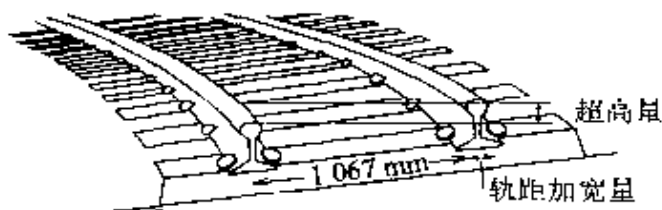


图 14.19 超高与轨距加宽

① 1067mm 的轨距:105mm;

② 1435mm 的轨距:150mm;

③ 新干线:180mm。

为了更好地适应弯道,车轮要设计成如图14.20所示的结构。

## 凸缘

即车轮与轨道的接触面略带有斜度(轮缘角度),而且两个车轮的直径不等。另外,为防止曲线运行时列车脱轨,轮对上要有凸缘。普通车辆的轮缘角度多为 $60^\circ$ ,为了更安全,在新干线上运行的车辆的轮缘角度为 $70^\circ$ 。

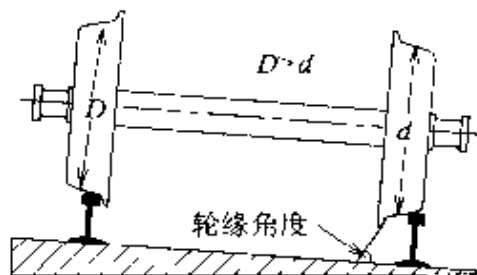


图 14.20 车轮

### ● 导电弓

电力机车利用集电装置将外部的电力引入车内。通常使用导电弓将高架线上的电力引入,如图 14.21 所示。导电弓是由与高架线接触的滑板、绝缘子、弹簧及支架等组成。另外,有部分地铁车辆利用集电靴引入来自第三轨道上的电力。

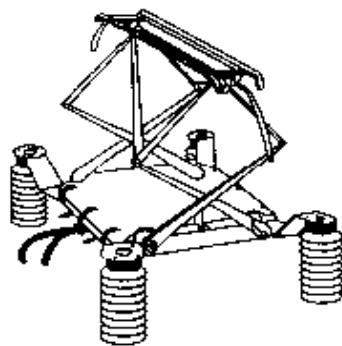


图 14.21 新干线的导电弓

### ● 电力机车的行走性能

电力机车要在规定的线路上按规定的运行模式行驶(参见图 14.22)。运行曲线是表示电力机车从 A 站经 B 站到达 C 站的运行状态的曲线,由三种模式组成。

#### 动力运行模式 主控制器

□ 动力运行模式(power 模式,用 P 表示) 将主控制器置于动力运行时,电机中有电流流过,电力机车是加速状态,速度不断上升。主控制器是通过操纵杆控制加速和制动的装置。

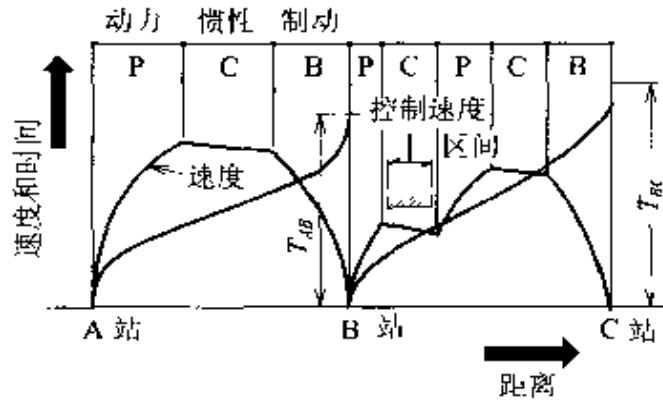


图 14.22 运行曲线

**惯性模式**

② 惯性模式 (coast 模式, 用 C 表示) 操纵杆处于中间位置时, 电机中无电流, 机车靠惯性行驶。

**制动模式**

③ 制动模式 (brake 模式, 用 B 表示) 操纵杆置于制动位置时, 电力机车的速度下降。

## 10 船舶的历史和发展

### □ 要 点

1853年贝利率领的美国舰队访问日本时,日本才了解到美国先进的造船技术。当时的日本主要以江户幕府留下的横须贺造船所为主,制造木船的技术是在英、法等外国人指导下完成的。直到后来,制造钢铁船的技术也都是以民间造船技术为基础。当时只有木船,按船的推进方式分为帆船、外轮船和螺旋桨船三种,建造的主要是军舰和沿海商用船。以后,随着船舶的大型化和造船材料的不足而逐渐转向制造钢铁船。船的动力也由桨或叶片(搅水棒)向利用风的帆转化。但利用风力作动力有一定的局限性,为得到连续的推动力将蒸汽机用于船舶,产生了蒸汽机动力船。

### □ 解 释 ● 船用动力系统

船用发动机由锅炉、主机、辅机、动力传递装置及轴系构成。主机是推动船体前进的原动机。根据主机种类可将机动船分为汽轮机船和柴油机船。选择发动机要综合考虑船舶的大小、种类及航线等多方面因素。

#### ● 船用锅炉

船用锅炉有圆筒形锅炉和水管锅炉。汽轮机动船的主锅炉采用水管锅炉,圆筒形锅炉常用作柴油机动船的辅助锅炉,且最近已很少使用,大多代之以水管锅炉。通常船以C重油为燃料。

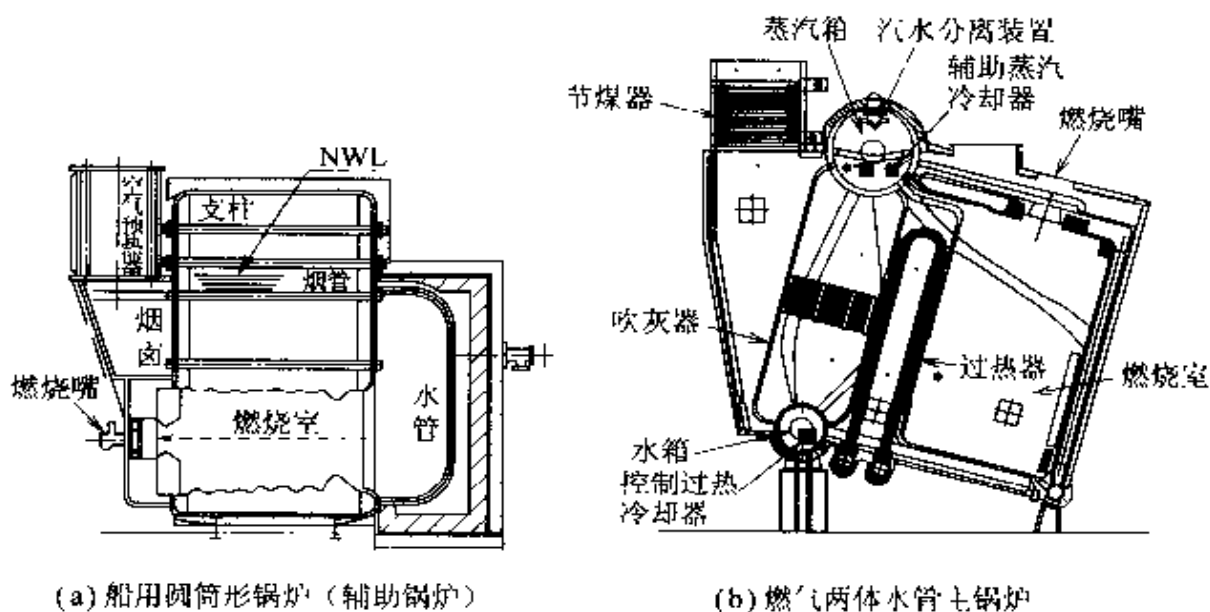


图 14.23 船用锅炉的种类

(摘自:机械工学便覧,日本机械学会)

**圆筒形锅炉**

圆筒形锅炉一般作为拖船或小型船的主锅炉或柴油机动船的辅助锅炉,但目前已很少使用。其特点是操作容易但效率较低,与蒸发量相比重量大,并且不耐高压,所以蒸汽压力在 1.6MPa 以下,蒸汽温度为 330℃,蒸发量在 10t/h 以下(参见图 14.23(a))。

**水管锅炉**

水管锅炉的重量轻,且耐高压,具有较高的效率,所以被用作汽轮机动船的主锅炉或柴油机动船的辅助锅炉。其蒸汽压力可达 4~6 MPa,蒸汽温度为 450~500℃,蒸发量在 30~70t/h 范围(参见图 14.23(b))。

船用锅炉的性能见表 14.3。

表 14.3 船用锅炉的性能

锅炉种类	锅炉效率	蒸发当量的重量
圆筒形锅炉	75~80	8~12
水管锅炉	82~90	2~6

## □ 相关知识 ● 帆船、外轮船和螺旋桨船

帆船常用作长距离的远洋航行,但不适合在无风的内海或江河中航行。

外轮船适合在风小的江河中航行,由于抗风浪能力差,所以不适合于远洋。

螺旋桨船在长距离航行时,携带燃料多,比帆船的载重量小,但在沿海或近海航行时,比外轮船的燃料消费率低。

## 11 船舶的种类与构造

### □ 要 点

船舶根据其大小、形状可分为多种。按用途可以分为客船(客轮、货运船、油轮等)、舰艇(航空母舰、巡洋舰、潜水艇等)、渔船(拖网渔船等)、特殊船(航海训练船、水翼船、气垫船)四种。以运送货物的商船为主,根据运送的货物,还可制成具有特殊结构的专用船。

### □ 解 释

#### ● 船舶的结构和款式

船舶的结构大致可以分为三种,即横式结构、纵式结构和纵横混合式结构(参见图 14.24)。横式结构是将梁、肋板、外板等按一定间隔排列并与横骨架相结合的形式。纵式结构中将纵梁按一定间隔摆放,横肋骨很少,其他部分由特设肋骨构成。纵横混合式将横式结构与纵式结构按一定方式混合使用,如在船头和船尾等处采用横式结构,船体中央采用纵式结构等。油轮多用纵式结构,客轮、货轮多用横式结构,但随着焊接技术的进步,也转向纵式结构,如船底等。构架所使用的材料主要是船用轧制钢材,但游艇等也使用玻璃纤维或碳纤维强化的 FRP 等复合材料。

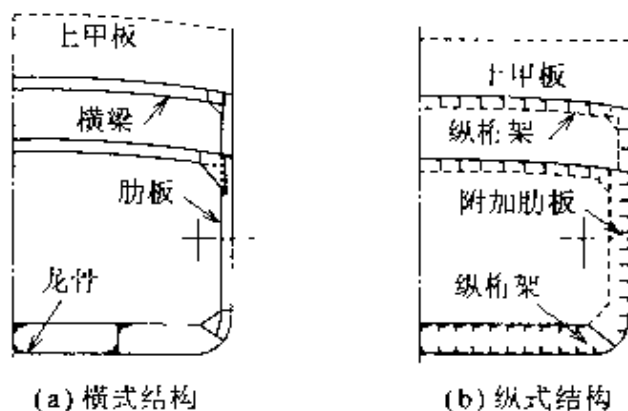
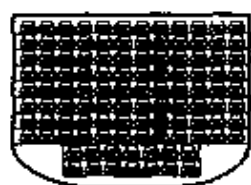


图 14.24 船体的结构

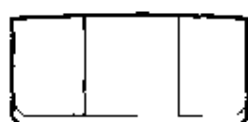
由于油轮的运送物为液体,为防止在突发事件时石油外泄,要采用双底或双层外板结构。滚装船是专门运送汽车的船只,为便于汽车能直接开上船,在出入口处要有翻板式的船桥和停放汽车的大型空间(参见图 14.25)。



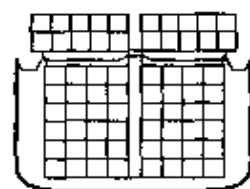


能装载约6500台

(a) 滚装船

为防止石油泄漏,  
采用双底或双层外  
板结构

(b) 油轮

增加了罐式集装箱  
和冷冰箱等种类

(c) 集装箱船

图 14.25 专用船的断面图

(摘自:佐久間武,小野純朗;ビジュアル版日本の技術 100年  
「第3卷 造船 鉄道」,筑摩书房)

## 相关知识 ● 船舶大小的表示

### 总吨数

① **总吨数** 将船体的所有容积都按  $2.83\text{m}^3$  (100 立方英尺) 换算成 1t 所得的吨数。

### 净吨位

② **净吨位** 从总吨数中将船员室、机械仓等规定部分的吨数扣除,只计算能装载旅客或货物的容积时的吨数。

以上两数据是计算各种手续费和税金的基础。

### 排水吨位 排水量

③ **排水吨位或排水量** 表示全船重量的数据,是使船舶浮起时排出海水的容积乘以海水的比重得到的海水重量,即为船的重量。军舰用排水量表示,达到满载吃水深度时的排水量称为满载排水量。

### 固定载荷

④ **固定载荷** 从满载排水量中扣除船体的自身重量,用于表示能装载的货物及燃料等的总合。

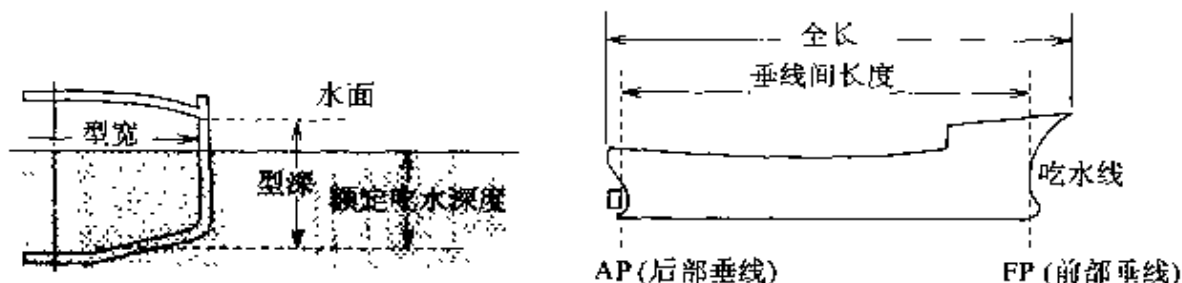


图 14.26 船的尺寸

(摘自:佐久間武,小野純朗;ビジュアル版日本の技術 100年  
「第3卷 造船 鉄道」,筑摩书房)

### ● 船舶设计的要点

造船的要点包括不漏水(保证浮力),不易坏(船的强度),不能翻沉(船的恢复性),容易操作(航行的稳定性等)及乘坐舒适(不摇动、振动)等。

## 12 船用发动机

**要 点** 通常,中小型船舶使用中小型柴油发动机,大型船舶则使用大型柴油发动机或汽轮机。主机的功率包括常用功率、额定功率及倒车功率。常用功率是指使船舶航行时常用的经济功率,额定功率是指发动机在允许范围内的最大功率。常用功率是额定功率的85%~95%,倒车功率则为额定功率的40%~60%。

**解 释** ● 船用发动机的种类和形式

大型发动机几乎都是二冲程柴油发动机,气缸数为4~12,转速为100~200r/min,功率为4000~40000kW(参见图14.27)。中型发动机一般为二冲程或四冲程的柴油发动机,气缸数为4~16,转速为200~600r/min,功率为1300~6800kW。小型发动机多采用四冲程,气缸数为1~8,转速为400~1000r/min,功率为15~1500kW。

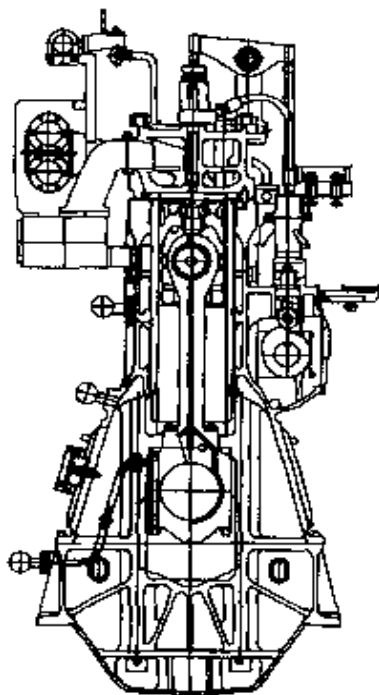


图 14.27 船用发动机

(摘自:机械大工学便覧,日本機械学会)

船用汽轮机分为冲动式和反动式两种。采用电力推进法或可变螺距螺旋桨推动时,可以使用单向旋转的汽轮机,通过齿轮减速装置连接高速旋转或低速旋转的螺旋桨。

目前,以燃煤蒸汽船为主的时代已经过去了,船用发动机的发展方向是欧洲生产的柴油发动机。柴油发动机的特点是对燃料的

要求低,使用低质油中的C重油,通过增压器可大幅度提高输出功率。柴油发动机无论是二冲程还是四冲程,都使用废气涡轮增压器增大汽缸的输出功率。与其他发动机相比,柴油发动机的热效率高,重量和体积小,启动、反转、停止等操作容易,另外,燃料的存储及搬运也比较方便。

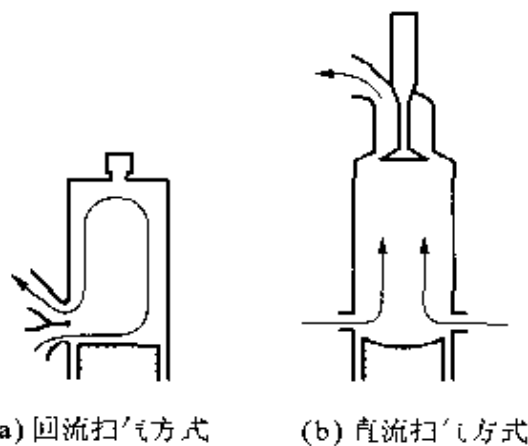
## □ 相关事项 ● 螺旋桨

螺旋桨以四个叶片的为主,渔船或小型船用三个叶片,摩托艇用两个叶片,大型船只或高速货轮采用五个或六个叶片。对叶片材质的要求是耐水腐蚀,常使用锰黄铜及铝青铜等合金,特殊情况下使用不锈钢或铸铁等,小型螺旋桨也可以使用强化塑料。

## ● 提高功率的方法

虽然降低螺旋桨的转速能提高推进效率,但发动机转速降低会导致输出功率降低,所以要采用其他措施改进柴油发动机,如通过提高活塞行程等来增加排气量。二冲程柴油机的扫气方式有回流方式和单流方式两种型式,由于采用废气涡轮增压器等原因,通常使用回流扫气方式(参见图 14.28)。

回流方式  
单流方式



(a) 回流扫气方式 (b) 直流扫气方式

图 14.28 二冲程柴油机的扫气方式

一般可考虑从两个方面提高功率,一是增加排气量,二是提高发动机的转速。增加排气量的途径有增加气缸数或加大气缸内径及活塞行程等。提高转速必须增加零件的壁厚或用加强筋等方法增加强度,带来的副作用是发动机的重量增加。轴的输出功率用下式计算:

$$P = TN/9554(\text{kW})$$

式中, $P$  为轴的输出功率(kW), $T$  为发动机的转矩(N), $N$  为发动机的转速(r/min)。

# 13 船舶的行走与控制

## □ 要点

船在水面航行时受到两方面的阻力,一是水面下的船体所受的阻力,其次是水面上部船体所受的空气阻力,其中绝大部分来自于水的阻力。水的阻力包括摩擦阻力和兴波阻力。摩擦阻力是由于船体表面和水之间的相对运动产生的,而兴波阻力则是在船航行时产生的波浪对船体的作用力。兴波阻力会随航速的增加而急剧增加,在船高速行驶时要占总阻力的半成以上。近年来,船舶的航行也采用了计算机控制。

## □ 解释 ● 船的复位性

如图 14.29 所示,船的复位性与重心  $G$  和稳定中心  $M$  的相对位置有关。图中的  $B, C$  分别为船直立时和倾斜时的浮力中心。当  $M$  位于  $G$  的上方时,作用在  $G$  上的重力和作用在  $C$  上的浮力就会产生一个使船直立的复位力矩。船体的稳定与否取决于能否产生复位力矩。当  $M$  位于  $G$  的下方时,见图 14.29(c),船处于不稳定状态可能导致翻沉。浮力中心与重心的连线称为浮举轴线。当物体稍微倾斜时,新的浮力作用线与浮举轴线的交点  $M$  就是稳定中心。从重心到稳定中心的高度  $GM$  称为稳定中心的高度。

### 稳定中心

设复位力矩为  $M$ ,则有

$$M = WGC = WGM \sin \theta = WGM\phi$$

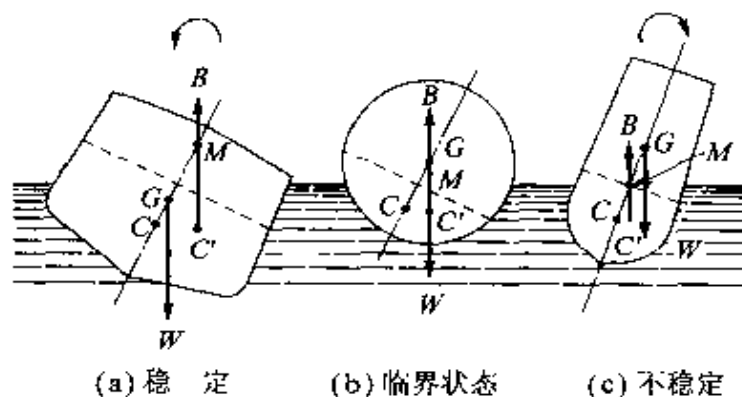


图 14.29 浮体的平衡

## ● 船的控制

船舶的操纵性能与旋转舵时的旋转性和航行中航向的稳定性有关。舵的旋转性可以由旋转半径来大致推断,试航时要作旋转

实验。航向的稳定性也称为保向性。当船舶航行中突遇风浪等瞬间产生的外力时,仍然能够基本保持原有的航向,就可以认为船的保向性较好。旋转性和保向性与船体和舵的形状有关,这两种性能互相排斥,而最终要确保哪一性能,应根据船的种类和目的决定。

### ● 舵

对于单轴船,舵的位置在螺旋桨的后方,这是因为螺旋桨向后排水,舵能有效地控制方向。双轴船的舵的位置有两种,一种是只设置在船体中央的称为双轴单舵船,另一种则是船体中央和螺旋桨后方各备一舵的双轴双舵船。尽管与单轴船的原理相同,但双轴双舵船的性能好,且由舵的平面图形来看,纵横比越大性能越好。为减小阻力,舵的水平断面应设计成流线型。

## □ 相关知识 ● 浮力

假设水中有一个如图 14.30 所示断面的水柱,现分析它在水中的受力情况。如果只考虑作用在水柱表面上的总压力的垂直分力,则作用在面 CED 上的压力与以 CED 为底面的水柱的重量相等,方向向下。作用在面 CFD 上的压力与以它为底面的水柱重量相等,方向向上。即物体所受的力等于与物体体积相等的水的重量,方向向上,称为浮力。如果浮力用  $B$  表示,物体的体积用  $V$  表示,水的密度用  $\gamma$  表示,则  $B = \gamma V$ ,即水中的物体所受的浮力等于它所排开的水的重量,这就是阿基米德定律

阿基米德定律

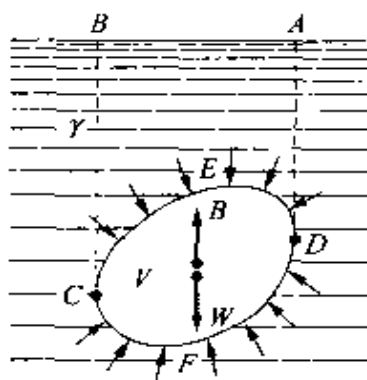


图 14.30 阿基米德定律

### ● 航海仪器

在控制船舶航行时,要使用船舶专用的航海仪器。如测定方位用的罗盘,测定速度及航程用的计程仪,测定水深用的声波测深

仪,探测海上漂浮物的雷达,确定自身位置的劳兰远程导航系统,通过固定电台了解方位的测向仪以及连续记录加速度,了解自己方位、速度、距离等的自动导航装置等。

如果将这些仪器与计算机连接,就可以组成确保安全、准确航行的控制系统。

# 14 应用新技术的船舶

**□ 要点** 水翼船和气垫船是为满足高速且灵活的运输目的而设计的。水翼船是一种以螺旋桨为动力,使用水翼的高速船,1906年首创于意大利。气垫船是利用气垫以螺旋桨发动机为动力的高速船。

**□ 解释** ● **水翼船的结构**

在船体下方的前部和尾部分别有两个和一个足状结构,在足的下端安装有飞机翼状的小水翼。当航速增加时,在水中的小翼上会产生向上的力,使船体除足和水翼外的其余部分都浮到空气中,以减小船体与水面的摩擦阻力,使水翼船能以更快的速度航行。通常水翼船是用螺旋桨推进的,但也可用发动机带动泵,采用从船尾向后喷水的推动方式。

● **水翼船的种类**

水翼船大致可分为以下四种:(参见图 14.31)

**梯形翼板式**

① **梯形翼板式** 水翼船的早期形式,随着航速的增加,翼板向水面浮起。



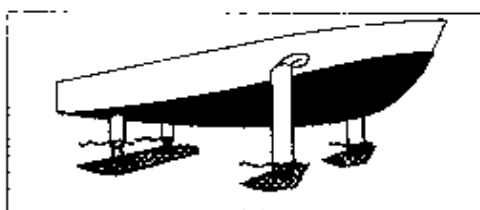
(a) 梯形翼板



(b) V型翼板



(c) 深度效应翼板



(d) 潜没翼板

图 14.31 水翼船的种类

(摘自:丸善エンサイクロパディア大百科)

**V型翼板**

② **V型翼板** 目前水翼船中使用最多的形式,由于能抵抗船体的倾斜和风浪,所以客运水翼船多使用这种形式。

**深度效应翼板式**

③ **深度效应翼板式** 通常仅在浪小的浅海水域中使用,不适合在波涛汹涌的海域中航行。



## 潜没翼板式

[1] 潜没翼板式 在深度效应翼板式的基础上开发的形式,可以在波涛汹涌的海域中航行。

## ● 气垫船

虽然水翼船是在水上航行,但低速航行时也要求一定的水深。使用螺旋桨推进的高速气垫船的最大速度比水翼船要高。船体下部有用围裙密封的气垫,使船体浮在水面上。气垫船不但能在水面航行,也可在沼泽或砂地上自由行走。围裙是用耐磨损的强度较高的胶状纤维制成,从内侧的通道中吹入空气,使内壁和外壁膨胀形成气垫。

## ● 气垫船的种类

各种气垫船的中心都有向下鼓风的风扇(参见图 14.32),可分为有三种,全浮式的结构简单,但吹入的空气能从底边逸出;侧吹喷气式采用从围裙的四周向里吹空气的方式;围裙式的船体能在水面或障碍物上浮起。

全浮式  
侧吹喷气式  
围裙式

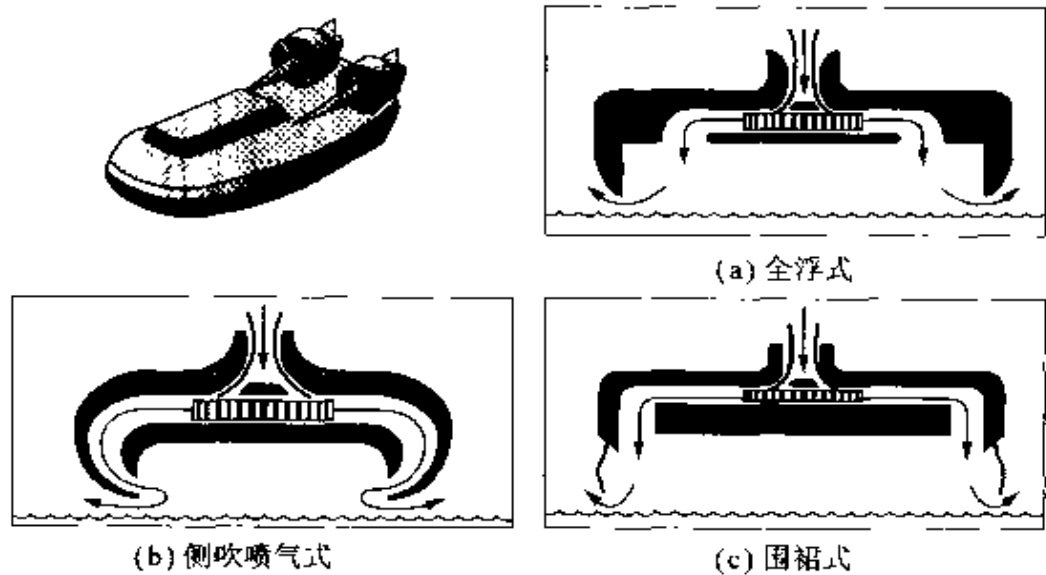


图 14.32 气垫船的种类

(摘自:丸善エンサイクロパディア大百科)

## 15 飞机的历史和发展

### □ 要点

1783年,法国的蒙哥菲尔兄弟首次乘坐热气球飞行成功,实现了人类能像鸟儿一样在天空中飞行的愿望。1903年,人类历史上的第一个飞行器在美国诞生,它是由莱特兄弟发明的以汽油为燃料的8.8千瓦活塞发动机驱动的螺旋桨飞机。莱特兄弟乘坐这架飞机成功地飞行59秒,航程260米。最初,飞机的机身是由木质骨架上粘着羽毛制成的,为保持强度制作成双层翼或三层翼结构,两翼间用支杆和金属丝连接,但很快就改进成单层翼。

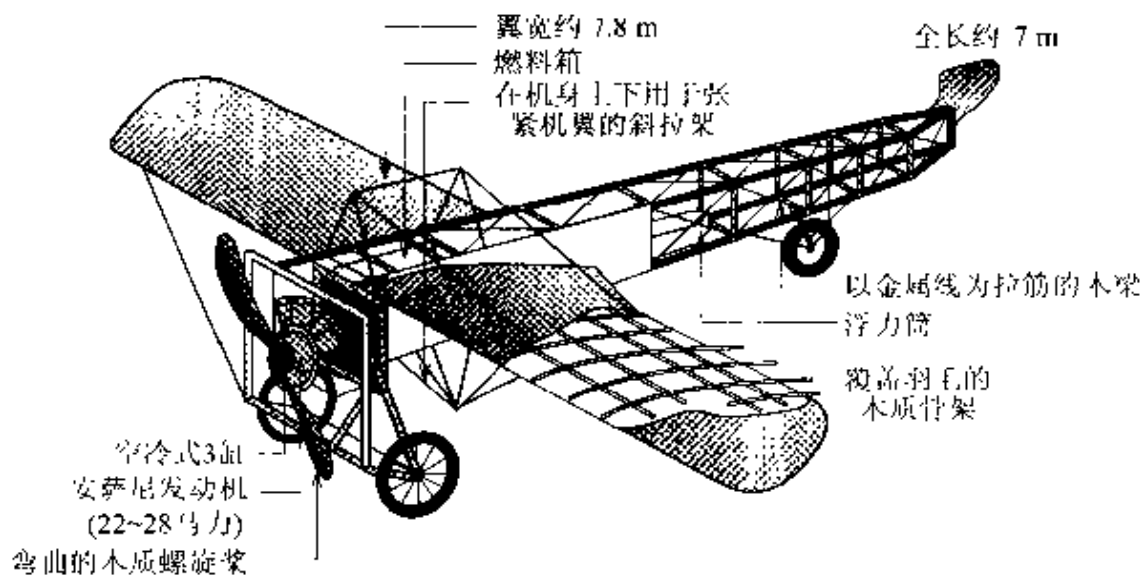


图 14.33 早期的飞机

(摘自:丸善エンサイクロペディア大百科)

### □ 解释 ● 飞机用发动机的历史

活塞发动机  
转子发动机

最初,飞机用活塞发动机是水冷单列式,1909年法国开发出空冷转子发动机。转子发动机是安装螺旋桨的气缸旋转的发动机,在第一次世界大战前后使用。第一次世界大战后,飞机一直在国防中占有重要地位。

活塞螺旋桨

飞机按用途可分为军用机和民用机两大类。在第一次世界大战爆发前,飞机的动力机构多为活塞螺旋桨,即用活塞发动机驱动螺旋桨。此后,德国、意大利又研制成功了使用喷气式发动机的飞机。1943~1945年的第二次世界大战末期,英国和德国两军的喷气式战斗机及德国的火箭式战斗机已用于战争。美国开发出的飞机用涡轮增压器,使飞机的性能产生了一次质的飞跃。

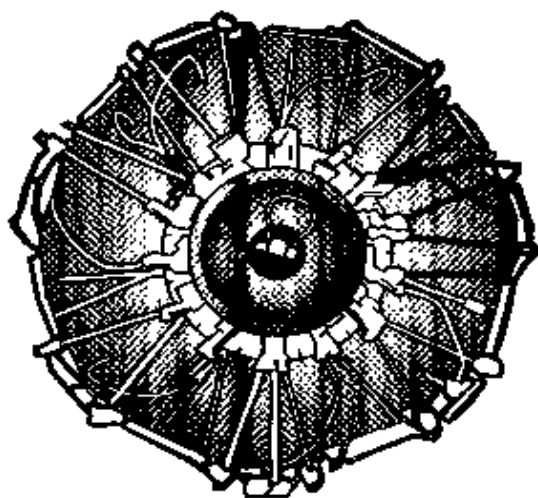
## ● 客机的发展

进入 20 世纪 50 年代后,客机向喷气式方向发展。首先是在英国,喷气式客机首航成功,此后的法国、美国等国家也开发了喷气式客机,使航空运输进入了客机喷气化的新时代。到了 70 年代,为适应旅客和货物大量及快速的国际间运输,开发出了宽体的大型货机,使飞机成为国内旅行的普通交通工具。

使用回转翼的直升飞机应用也非常广泛。它能垂直着陆,不需要专用飞机场。随着直升飞机的高速化和大型化,其用途将更加广泛。

## ● 日本发动机技术的历史

日本发动机技术是 1910 年由欧美引进的,由于实行许可证生产,使发动机技术得以提高。此后,日本开始生产自主设计的发动机,有空冷星型 9 气缸的“寿”,空冷双层 14 气缸的“瑞星”、“金星”、“火星”等品种,参见图 14.34。活塞发动机有两个分支,即水冷单列式和空冷星型。由于水冷比空冷重量大,冷却系统故障多,而使以空冷星型逐渐成为主流型式,日本航空发动机从第二次世界大战开始到大战结束主要采用空冷星型。与此同时,许多民间飞机研究所和制造厂相继成立。1917 年,中岛知久平与川西清兵卫一起在成立了日本飞机研究所后,又成立了中岛飞机制作所(现在的富士重工);1919 年川崎造船所设立了飞机科(现在的川崎重工),三菱造船成立三菱内燃机制造所(现在的三菱重工);1920 年川西机械制作所(现在的新明和工业)和 1924 年石川岛飞机制作所(后来的立川飞机)等也都开始生产飞机。



零式运输机等使用的双层星型发动机,约1000马力

图 14.34 星型发动机

## 16 飞机的构造

### □ 要 点

飞机利用空气动力飞行,即利用使周围空气流动产生的力飞行。空气动力可分为三种,即作用于机体、方向向上的升力、方向向后的空气阻力和作用于侧方向的横向力。为了使飞机连续飞行,发动机必须给飞机提供大于空气阻力的向前推动力

### □ 解 释

#### ● 推力装置

飞机利用作用在机翼上的升力在空中飞行。机翼固定在机身上的飞机称为固定翼飞机,而机翼旋转的飞机称为旋翼飞机。从飞机推动装置来分,有活塞螺旋桨机、涡轮螺旋桨机、涡轮风扇机和涡轮喷气机。涡轮螺旋桨机是将涡轮发动机的输出轴与螺旋桨组合,比活塞螺旋桨机的重量更轻。涡轮风扇机是用叶轮取代螺旋桨驱动的飞机,直升飞机均采用这种形式。

#### ● 升 力

提高速度或增大迎角可以增加升力。迎角是机身中心线与飞机前进方向所构成的角,一般为十几度。迎角过大就会造成失速,参见图 14.35。

固定翼飞机  
旋翼飞机

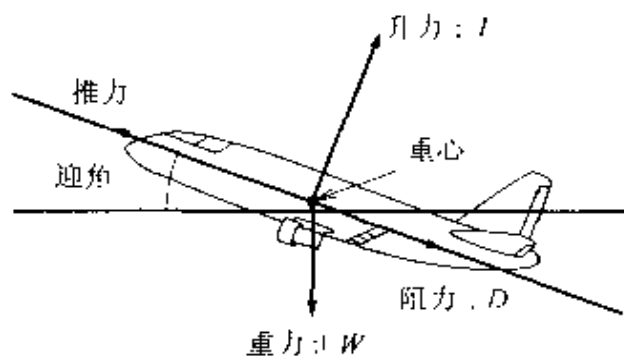


图 14.35 飞机受力分析

作用在飞机上的升力  $L$ 、阻力  $D$  和俯仰力矩  $M$  在空气动力学中可以用下式表示:

$$L = (1/2 \times \rho V^2 S) C_L$$

$$D = (1/2 \times \rho V^2 S) C_D$$

$$M = (1/2 \times \rho V^2 S) C_m$$

式中,  $\rho$  为空气密度,  $V$  为速度,  $S$  为主翼面积,  $C$  为平均翼弦长,  $C_L$  为升力系数,  $C_D$  为阻力系数,  $C_m$  为俯仰力矩系数。

## ● 机体的结构

飞机的机体由机身、产生升力的主翼及起稳定和控制作用的尾翼组成。要求主翼结构能将升力通过接合部传递给机身,而机身结构则要能将机身内的载荷通过接合部传递给主翼。主翼和机身可以看作是受剪切、弯曲及扭转力的梁,应根据飞机强度标准设计。载荷方面,应综合考虑在一般的飞行状态下的空气动力、惯性力及地球的引力等计算最大载荷,将最大载荷乘以安全系数得到极限载荷。安全系数取 1.5。在设计时,应要求机体在极限载荷作用下不发生永久应变,并要求能承受极限载荷 3 秒以上。

## ● 螺旋桨

螺旋桨起到的是推动飞机前进的回转翼作用。对于飞行马赫数为 0.5 以下的中低速飞机,螺旋桨的推进效率较高。但由于螺旋桨的振动及噪音大,除小型客机外,其他客机几乎不使用。固定螺距螺旋桨的螺距角(叶片的安装角)在飞行中不能改变,而可变螺距螺旋桨的螺距角在飞行中则可以改变(参见图 14.36)。

固定螺距螺旋  
桨  
可变螺距螺旋  
桨

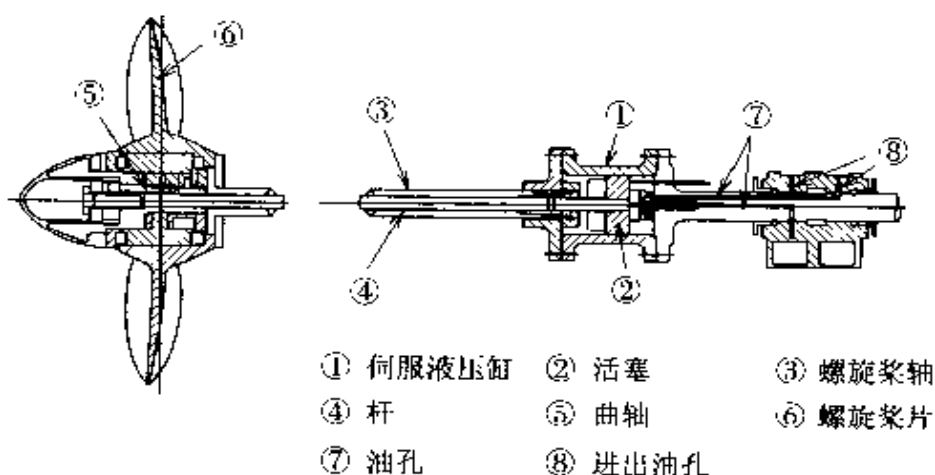


图 14.36 可变螺距螺旋桨简图

(摘自:机械工学便覧,日本机械学会)

当载荷发生变化时,可以自动调整螺距角,使螺旋桨的速度保持不变的称为恒速螺旋桨,是多数螺旋桨飞机采用的螺旋桨。恒速螺旋桨可自动调整以满足从低速到高速飞行时最合理的螺距角,故推进效率高。现在使用的螺旋桨飞机都带有可顺桨机构和可反螺距机构。可顺桨机构的作用是:当发动机在空中停止时,螺旋桨可以空转,无阻力的停止;可反螺距机构可以在飞机着陆时输出制动力。

## 17 飞机的发动机

**要 点** 飞机用发动机的性能要求是小型轻量化、输出功率高且燃料消耗率低。以汽油为燃料的活塞发动机最先用于飞机。

**解 释** ● 发动机的发展

早期飞机使用的活塞发动机均采用水冷单列式。由于活塞发动机提高功率困难、螺旋桨推动方式在高速时效率低等原因,促使人们开展对涡轮发动机的开发研制,涡轮发动机具有重量轻等许多特点。在涡轮发动机的基础上发展起来的涡轮喷气发动机首先在德国得到应用,后来英国也开发出涡轮喷气发动机。涡轮喷气发动机从喷嘴喷出的气体速度高,但低速时推进效率低,燃料消耗大。改进后的涡轮螺旋桨飞机适合连续航行,且经济性好,主要用于军用运输机和民用机,而相继开发出的涡轮风扇发动机具有燃料消耗少和噪音低等优点,逐步取代了涡轮喷气发动机。图 14.37 给出了各种发动机的飞行速度范围。

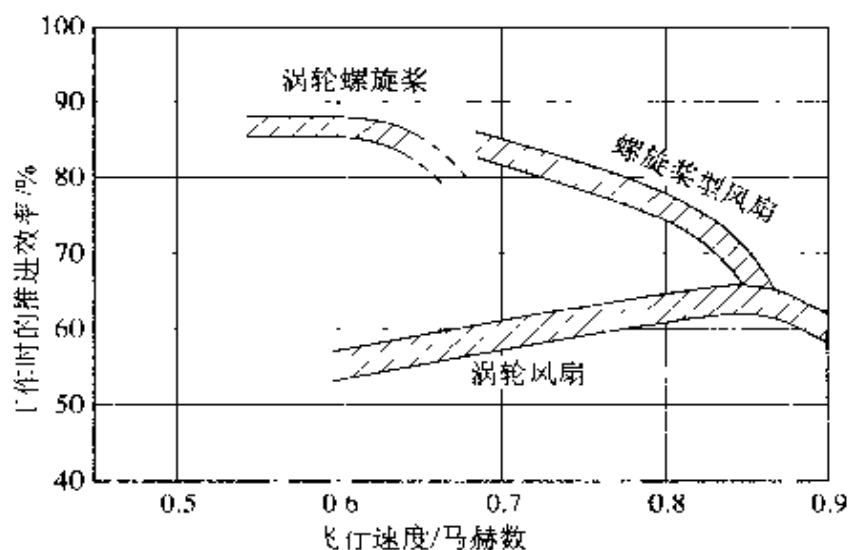


图 14.37 喷气发动机的飞行速度范围

(摘自:机械工学便覧,日本機械学会)

● 发动机的种类

目前飞机发动机中,涡轮发动机占主流,故飞机的燃料也主要是煤油系列中的涡轮燃料。燃料箱多数是安装在上翼上的整体油箱。

## 燃气涡轮发动机

燃气涡轮发动机是将气体经空压机压缩后加热,使产生的高温高压气体在涡轮中膨胀而输出回转力的原动机。

## 涡轮喷气发动机

涡轮喷气发动机是从吸气口吸入的空气经空压机压缩后,吹入燃料并使其燃烧,用涡轮旋转的动力驱动风扇。推力是喷气的反作用力。

## 涡轮风扇发动机

涡轮风扇发动机如图 14.38 所示,在涡轮喷气机的末端连接着低压涡轮  $T_3$ ,前端连接低压风扇  $F_2$ 。在  $F_2$  处,一部分压缩空气向后方加速喷出,其余部分压缩空气经过  $T_1$  和  $T_2$  由  $N$  喷出,可见,推力是有两部分构成的。前者的流量与后者的流量之比称为旁路比。

## 旁路比

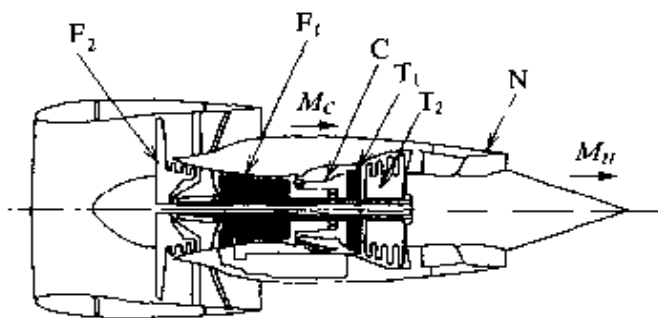


图 14.38 涡轮风扇发动机的原理  
(摘自:机械工学便覧,日本机械学会)

通常,要求低燃料费的机种,如客机等,旁路比取 5~8,而要求输出功率高的战斗机的旁路比取 1。

## □ 相关知识 ● 性能

涡轮螺旋桨发动机的输出功率除轴功率外,其中的 10% 用于排气产生推力,其性能用等效轴功率表示。飞行时的等效轴功率等于轴功率与由推力简单折算后的功率之和:

$$\text{飞行时的等效轴功率}(W) = \text{轴功率}(W) + \frac{\text{推力}(N) \times \text{速度}(m/s)}{\eta_p}$$

其中,  $\eta_p$  为螺旋桨的效率,取 0.8。

## 18 飞机的飞行与控制

### □ 要点

飞机飞行时,确定飞机的位置并引导飞机按预定航线飞行的方法称为导航。导航方法有推测导航法和天文导航等。推测导航是利用起飞后的时间、风速及风向等来推测飞机位置,使飞机能安全、准确地飞达目的地的导航方法。天文导航则利用飞机与月亮、太阳、星辰等的相对位置引导飞机飞行。现在使用的无线电导航是通过地面上的无线电设施来传递飞行数据的方法。

### □ 解释 ● 飞机的导航

最古老的导航法是地标定位,是一种利用地面上的参照物与地图对照来确定自身位置的方法。此后又开发出了许多导航法,此处只介绍惯性导航法。将出发地到目的地的数据输入到飞机的计算机中,通过安装在飞机上的加速度计求出机体沿3个坐标轴方向上的加速度,利用罗盘算出机体的角速度,进而计算出飞机位置和姿态,即可自动控制到达目的地。惯性导航法随时间的增加会产生误差,所以要与图14.39所示的GPS(global positioning

惯性导航法

GPS

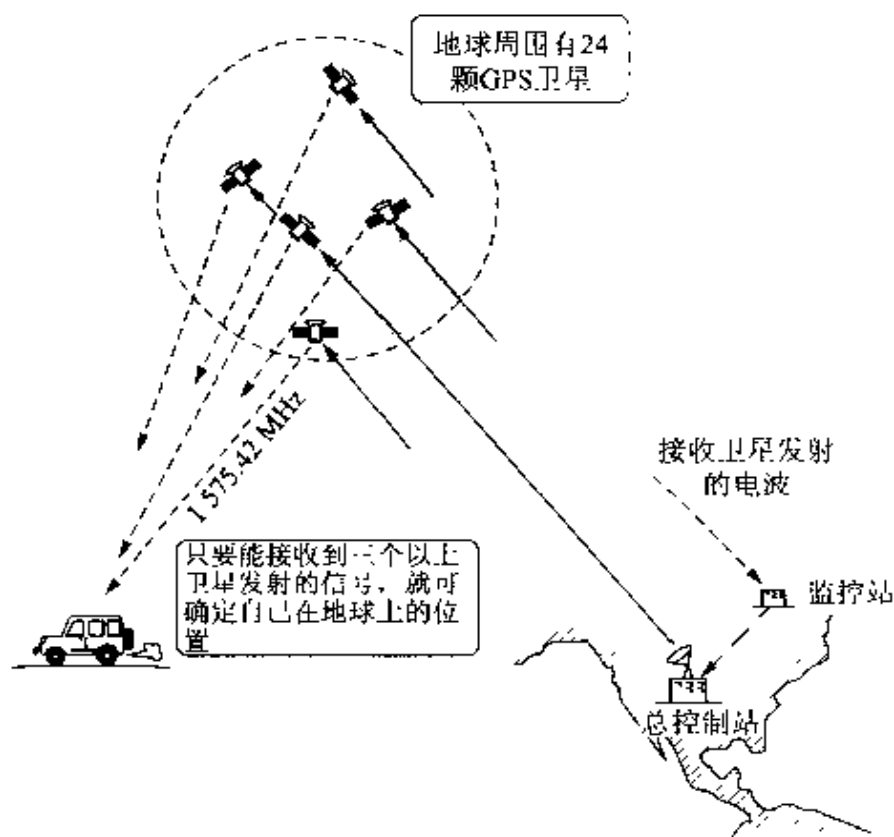


图 14.39 GPS系统(汽车定位)

(摘自:电子工学ポケットブック(第3版),オーム社)



system,全球定位系统)并用。

### ● GPS

GPS是美国空军使用的全球定位系统,该系统使用3~4个卫星,利用微波测定与卫星之间的距离,就可以非常精确地得出地面物体的位置。

### ● 飞行方法

飞行员由飞机的总重量及机场的海拔等可得到滑行速度,由此滑行速度产生的最大升力要比飞机的重量大。要提高升力就要展开襟翼,机翼断面的变化会使气流增加,从而使机翼上下的压差增大。为达到飞机所需的速度,要利用控制杆操纵水平尾翼转动,使空气在尾部向下压,当达到使飞机向上的升力大于飞机重量的机翼角度时,飞机就会起飞。着陆时轮子与跑道接触时,要利用可动机翼控制速度。着陆后,竖立起阻流板以利用气流制动。飞行安全是至关重要的,所以操纵装置上要配有各种自动保险功能。

### ● 飞行自动控制系统

为使飞机能更多地运送旅客,所以需要确保航运时间、提高安全性能的自动化、数字化的操纵系统及导航系统等。自动控制装置是可以检测飞机的机体姿态、高度、速度、飞行方位及路径等参数,并自动修正到设定值的装置。自动着陆装置是为保证航运的时间,提高全天候着陆性能的装置,在能见度为零的情况下也能安全着陆。自动飞行控制装置从起飞、上升、巡航,到下降、进入着陆、着陆、重复着陆等,对所有的飞行过程均可进行自动控制。

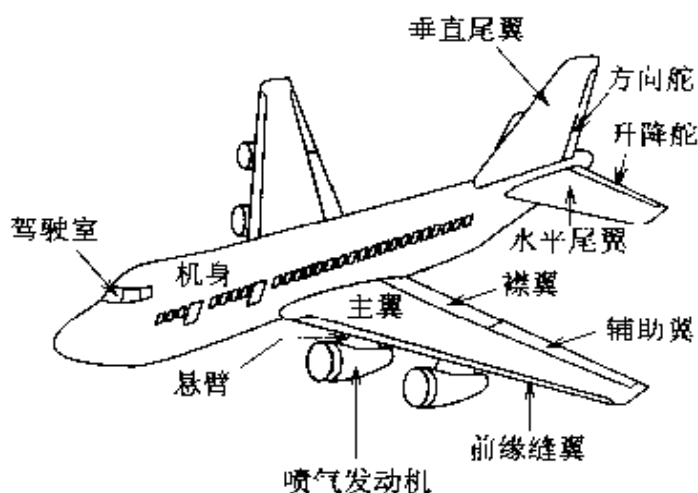


图 14.40 飞机各部分的名称

## 19 火箭的历史和发展

**□ 要点** 火箭发动机可分为利用燃烧等化学反应的化学火箭和利用电能等的非化学火箭。化学火箭又分为液体燃料火箭和固体燃料火箭。从使用方法上还可将火箭分为一次性使用火箭和多次使用火箭。

**□ 解释** ● 火箭的历史

火箭发动机是将燃料与氧化剂燃烧产生的化学反应能量转变为运动能量高速排出,用其反作用力作为火箭的推力。初期阶段的火箭主要是液体火箭,也有少量固体火箭。1950年末开始利用人造卫星进行科学观测,发射人造卫星用的火箭也主要使用液体火箭。继1957年前苏联发射的第一颗人造卫星“卫星-1号”后,1958年美国也将名为“探险者-1号”的人造卫星送上太空,开始了美苏两国间的宇宙竞争。人造卫星的发射过程是用火箭将人造卫星送入静止轨道或太阳同步轨道,并且要精密地控制卫星的姿态。1969年美国的载人宇宙飞船“阿波罗”飞向月球,开始了对宇宙的开发。自航天飞机1981年初次飞行以来,已进行了多次载人宇宙飞行。

● 火箭的种类

**固体燃料火箭**

固体燃料火箭是使固体推进剂燃烧而得到推力的火箭,结构简单,价格低,但不能多次启动。推进剂由燃料和助燃剂等组成。

**液体燃料火箭**

液体燃料火箭的主要部件包括使推进剂燃烧的燃烧室、使燃烧气体膨胀后加速产生推力作用的喷嘴和将推进剂送入燃烧器的推进剂供给系统。燃烧室和喷嘴统称为推进室或推进器。与固体燃料火箭相比,液体燃料火箭的结构复杂,但可以得到较大的推力,且推力方向、大小、停止及启动等操作均能精确控制。所以,发射人造卫星用的火箭几乎都使用液体燃料火箭。推进剂由燃料和氧化剂构成,燃料有一甲基肼、煤油及液态氢等,氧化剂则使用硝酸、液态氧及四氧化二氮等。

**离子火箭**

离子火箭是利用强电场将水银和氙等离子化而得到推进力的火箭,配有太阳能电池控制板,以用于静止卫星的轨道控制等。

图14.41所示的H-II火箭是日本宇宙开发事业团自主开发的火箭,于1994年在鹿儿岛县的种子岛宇宙中心发射成功。H-II火箭是由二级液体燃料火箭与两个辅助固体燃料火箭捆绑到一起的(参见表14.4)。

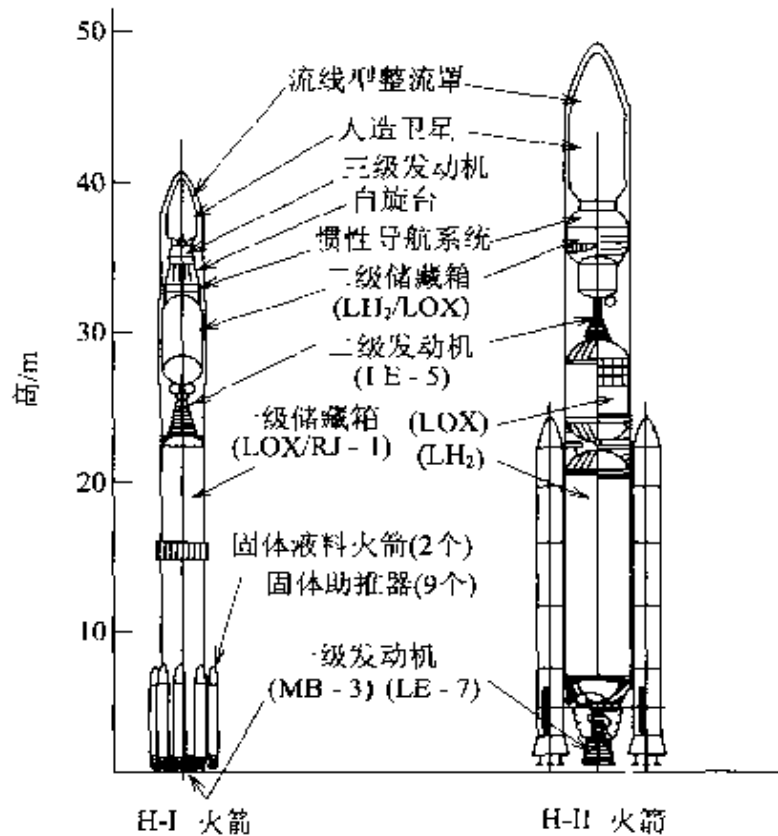


图 14.41 日本火箭的结构

(摘自:机械工学便覧,日本機械学会)

表 14.4 H-I 火箭的二级发动机的主要参数

发 动 机	推力(真空中)	10.5t	液氧涡轮泵	
	比推力(真空中)	149s	转速	50 600 r/min
	混合比	5.5	输出压力	61.5kgf/cm <sup>2</sup> a
	(二次点火)	5.65)	(液氧涡轮泵)	
	重量	255kg	转速	16 500 r/min
	最大直径	1.65m	输出压力	53kgf/cm <sup>2</sup> a
	全长	2.7m	(气体发生器)	
	喷嘴开口比	140	燃烧压力	26kgf/cm <sup>2</sup> a
	燃烧压力	37kgf/cm <sup>2</sup> a	混合比	0.85
	储 藏 箱	储藏容量	(液氧)6.8m <sup>3</sup>	液氧
储藏容量		(液氧)3.2kgf/cm <sup>2</sup> a, (液氢)2.5kgf/cm <sup>2</sup> a		
重量		1 100kg		
直径		2.5m		
长度		5.7m	筒体部分	

## 相关知识 ● 人造卫星的轨道

在地球周围飞行的人造卫星的轨道是一个以地球中心为焦点

的椭圆。人造卫星的运行周期  $T$  取决于轨道的半长轴  $a$ 、轨道平面与赤道平面的夹角——轨道倾角  $i$ 、确定轨道形状的离心率  $e$  和升交点赤径  $\Omega$ 。在距地面 300~1000km 高度飞行的卫星可用作天文观测和地球观测等。周期与地球自转周期一致,在高度为 3000km 静止卫星轨道上运转的卫星可用作通信和气象观测等。

$$T = 2\pi[a^3 / (GM)]^{1/2} (\text{s})$$

式中,  $T$  为周期,  $G$  为万有引力常数,  $M$  为地球质量,  $a$  为轨道半长轴

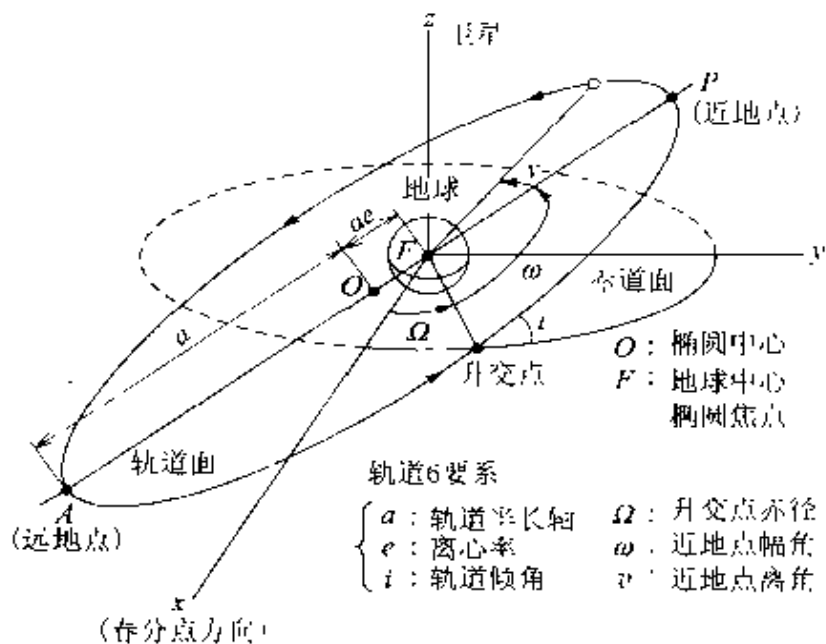


图 14.42 卫星轨道 6 要素

(摘自:机械工学便覧,日本機械学会)

## 20 火箭的飞行和控制

### □ 要点

单级火箭的速度有限,为了提高速度使发射的卫星达到预定轨道,需要使用多级火箭。使用多级火箭发射卫星时,用完的火箭被逐级抛弃,使火箭的总重量不断降低,速度不断提高。火箭的控制系统包括导航系统和姿态控制系统等,用来控制火箭到达预定的轨道。导航系统的功能是控制火箭按照预定的线路从发射地点飞向轨道,姿态控制系统则用来控制火箭以正确的姿态飞行。火箭导航多使用自律型惯性导航系统,该系统可以通过加速度器测出火箭加速度,再考虑重力加速度等阻力计算出总加速度,进而得出火箭的速度和位置。

### □ 解释 ● 航天飞机

由于航天飞机(参见图 14.43)可以返回地球,重复使用,故比一次性使用的航天器的发射成本低。在航天飞机上,可以利用宇宙中的真空或无电力状态进行各种科学实验,并能获得在地球环境中得不到的新材料及医药品等。

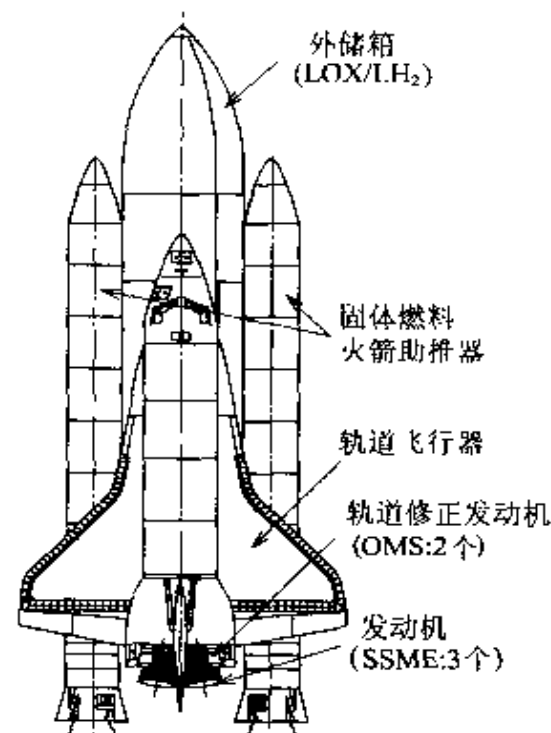


图 14.43 航天飞机的结构

(摘自:机械工学便覧,日本机械学会)

航天飞机是由轨道飞行器、外挂燃料箱和固体燃料火箭助推器三大部分组成。轨道飞行器实际上是宇航员乘坐的到达太空轨道的客货两用宇宙飞船。固体燃料火箭助推器固定在外挂燃料箱的左右两侧。在宇宙飞船的尾翼有3个以液氧和液氢为推进剂的主发动机和2个以四氧化二氮和一甲基肼为推进剂的轨道修正发动机。另外,在机首和尾部还安装了44个控制姿态的喷气推进器。机体表面贴有2万多张二氧化硅隔热瓦及防热罩以防止机体与空气剧烈摩擦而被烧毁

## □ 相关知识 ● 人造卫星

人造卫星利用航天飞机或火箭等发射后,在以地球为焦点的椭圆形轨道上运行时,以太阳能电池等为能源,与地面或卫星间通信和传送数据,参见图 14.14。第一颗人造卫星是前苏联于 1957 年发射的“人造卫星一号”,1970 年日本也发射了第一颗人造卫星。静止卫星根据用途可分为通信卫星、数据中转卫星及节目转播卫星等。目前地球周围约有 4 千多颗人造卫星。

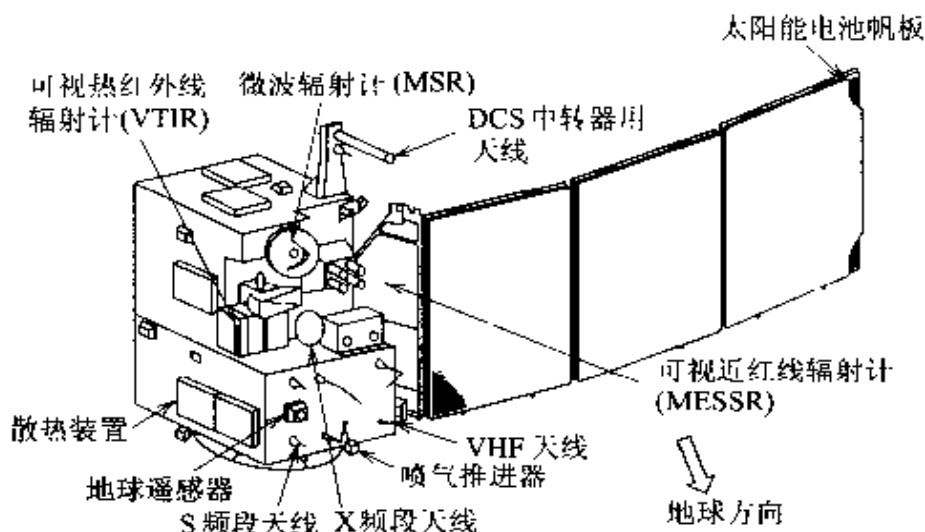


图 14.44 海洋观测卫星 1 号(MOS-1)简图

(摘自:机械工学便览,日本机械学会)

## ● 雷 达

雷达装置是由发出超短波信号的信号发生部分、接收并处理反射信号的接收部分和显示情报的显示部分组成,用于测定目标物的位置、方向和距离。雷达天线的形状,根据使用的目的不同而异,可以在垂直或水平方向上作任意角度的回转扫描目标。飞机

的雷达可作垂直和水平方向的圆弧扫描,而船舶的雷达发射波可作水平面扫描。无论哪种情况,雷达天线都能水平旋转,时刻监视着周围的情况。

.



## 第15章

# 生产机械

产业革命以蒸汽机的发明和纺织机械革命为导火索，使生产机械在各领域中广泛应用，推动现代社会向前发展。

本章介绍在不同领域中应用的典型机械。请读者注意理解第8章和第9章中学习的电气、电子技术及信息技术是如何在生产机械上应用的。

- 责任编委  
山下省藏
- 执 笔  
天野一美(1~5)  
山下省藏(6~11)

# 1 工业机器人

**□ 要点** 工业机器人主要用于工厂等生产现场,具有能自动控制的手臂和移动功能,是以实现自动化为目的,代替人进行各种工作的机械。所以,工业机器人应具有适应性,即可以通过改变机械手的操作功能完成各种工作。

**□ 解释** ● 工业机器人的组成

如图 15.1 所示,工业机器人由机器人主体、控制装置、操作装置以及与作业有关的装置等构成。

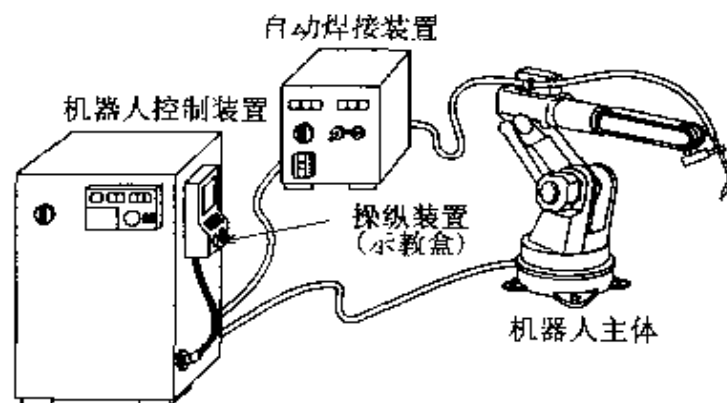


图 15.1 机器人的组成(焊接机器人)

● 机器人主体

参见图 15.2,机器人主体由手、作直线运动或回转运动的机构(关节和臂)以及支架等组成。

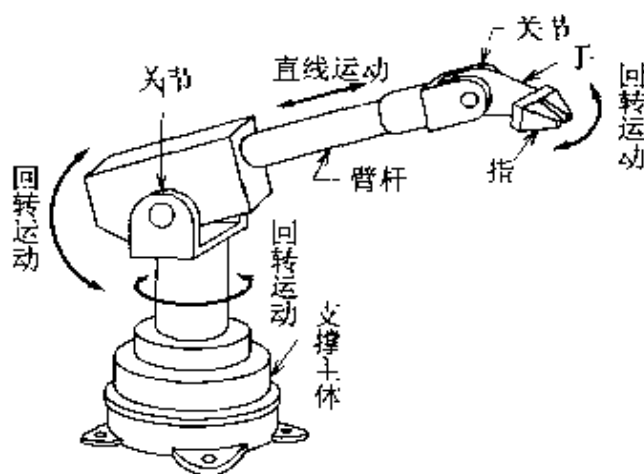


图 15.2 机器人主体

### ● 控制装置

控制机器人工作的装置,主要功能如下(参见图 15.3):

操作控制功能  
示教功能  
操作功能  
通信功能

- ①操作控制功能 对工作中必须的运动等进行控制的功能;
- ②示教功能 能记忆手臂的运动轨迹等操作需要的信息;
- ③操作功能 由操作者直接进行操作的功
- ④通信功能 为了协调工作而与其他控制装置进行数据交换的功能。

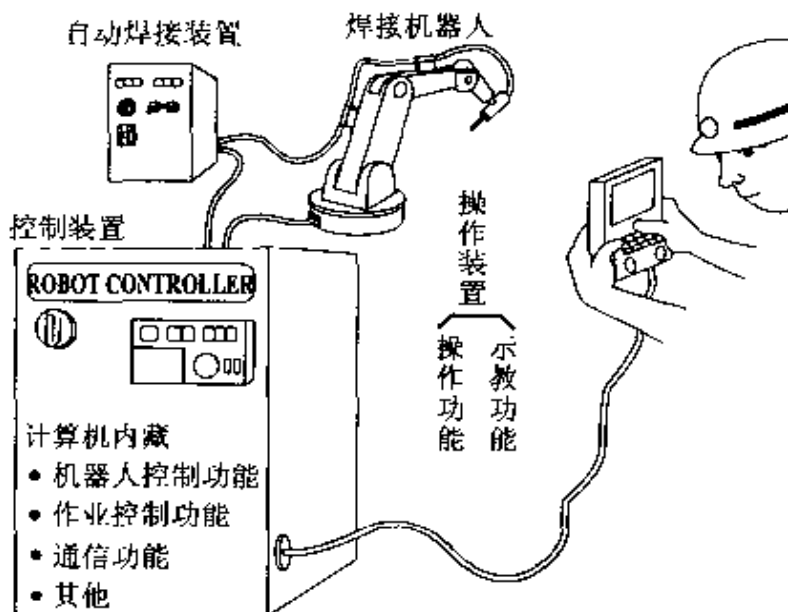


图 15.3 机器人的各种功能

### ● 操作装置

操作装置是在控制装置上附带的人与机器人对话的装置,可以进行动作等的示教、程序输入及直接操作等。

### ● 与作业有关的装置

这是机器人进行实际操作时需要的装置,根据从事的具体作业不同而异。

- 焊接机器人 = 焊接装置;
- 涂装机器人 = 涂装装置;
- 装卸机器人 = 装卸装置。

## 2 工业机器人的种类

□ 要 点 工业机器人可以根据基本动作机构和控制操作两方面分类。

□ 解 释 ● 按动作机构分类

按基本动作机构分类时,机器人的实际机构组成应根据作业内容适当的增减(参见图 15.4)。

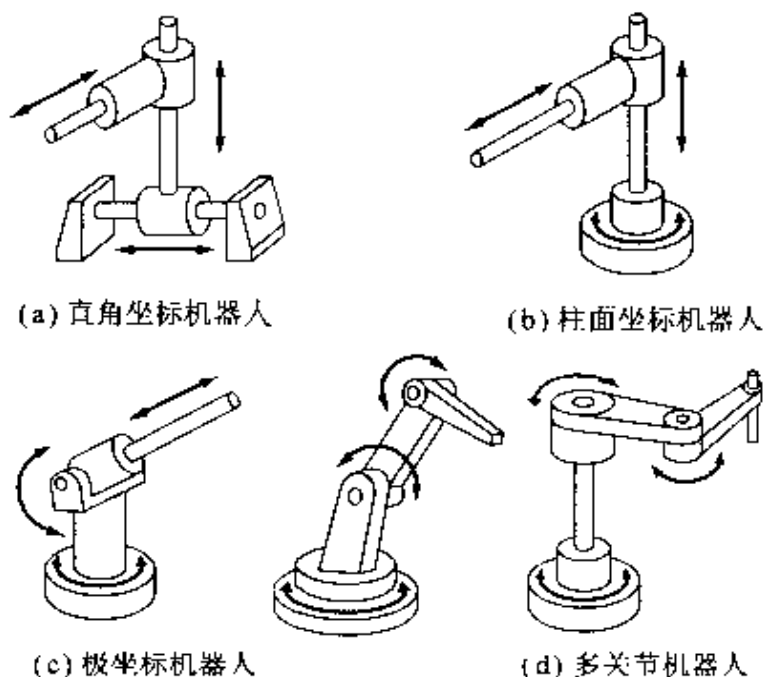


图 15.4 按基本动作机构分类的机器人

直角坐标机器人

**直角坐标机器人** 按三个坐标轴方向作平移或合成运动的机器人。主要以平面运动为主,容易实现。常用作搬运机器人、在印刷电路板上插配元器件的机器人及装配机器人。

柱面坐标机器人

**柱面坐标机器人** 可以在水平面上作回转运动和 2 轴平移的机器人。主要用作搬运机器人和装卸机器人等。

极坐标机器人

**极坐标机器人** 具有水平和垂直的两个回转轴,且臂杆能伸缩的机器人。通常用作焊接机器人和装卸机器人。

关节机器人

**关节机器人** 具有多个关节和臂的机器人,由于可以做与人手臂相似的动作,所以,常用于焊接或装配等需要作复杂动作的机器人。能够独立控制的一个回转轴称为单自由度动作。人类手臂的自由度为 6~7 个,所以要作与人手臂相似的动作,至少需要

6~7 个轴。

### ● 按控制和操作分类

按基本控制和操作分类时,实际机器人的功能可以是各基本功能的重复,参见图 15.5。

#### 遥控机器人

**遥控机器人** 这是由操作者控制进行作业的机器人。适合用在核反应堆和原子炉等需要判断炉内情况的恶劣环境中进行作业的机器人。操作者可利用监视器等进行监视,并可实现进行远距离控制。

#### 程序控制机器人

**程序控制机器人** 这是一种采用顺序控制方式的机器人,通常是直角坐标结构,主要用于单一、重复性作业。控制装置使用可编程控制器,是一种比较经济的机器人。

#### 示教机器人

**示教机器人** 这是一种常用的操作机器人,可重复所教授的作业内容。

#### 数值控制机器人

**数值控制机器人** 这是一种将各种作业所需要的动作、位置、条件等用数值或符号来表示,通过编制的程序实现控制的机器人。

#### 智能机器人

**智能机器人** 这种机器人可以根据传感器等输入的信息和设定的作业条件,利用人工智能技术决定自己的行为。当然,尽管智能机器人已在实际中部分应用,但目前仍处于研究阶段。

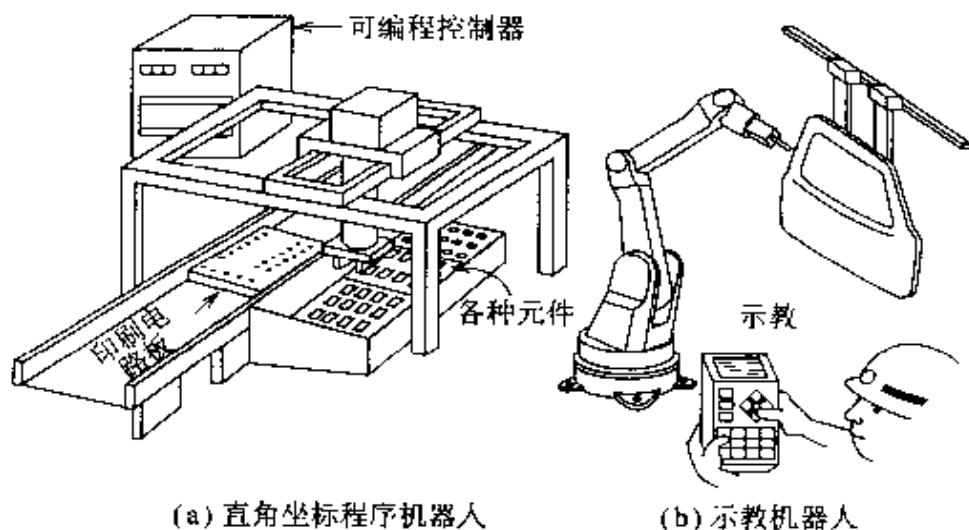


图 15.5 按控制和操作分类的机器人

### 3 工业机器人的控制和构造

#### □ 要 点

理想的机器人除了在动作执行的速度、精度和力量等方面具备要求的能力以外,还要能代替人完成人类难以胜任的工作。机器人由执行元件、传感器及计算机等组成。执行元件可实现人的肌肉的动作。传感器负责收集信息,等同于人的感觉器官。计算机则起着人脑一样的综合控制作用。当然,就目前的技术而言,机器人还代替不了人类(参见图 15.6)。

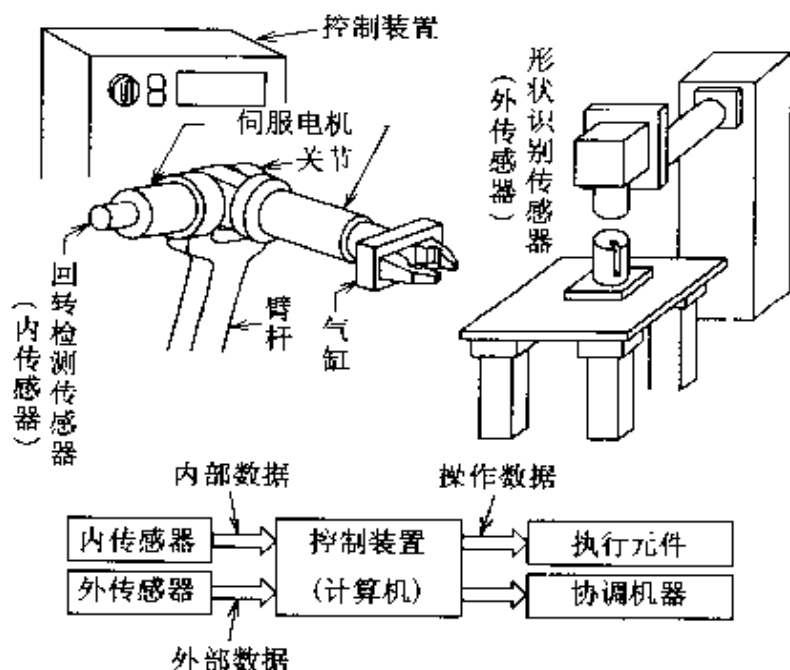


图 15.6 机器人的控制

#### □ 解 释 ● 执行装置

驱动手臂等动作的动力源有电动机、气缸及液压缸等。电动机应使用可以控制移动量和速度的伺服电动机,包括直流伺服电动机和交流伺服电动机。直流(DC)伺服电动机容易控制,但输出功率较小,主要用于小型机器人。相比之下,大中型机器人要使用功率较大的交流(AC)伺服电动机。油压缸与伺服阀配合可实现直线运动,气缸则常用于驱动机械手的开合等(参见图 15.7)。

#### ● 传感器

机器人的传感器相当于人的感觉器官,分为内传感器和外传

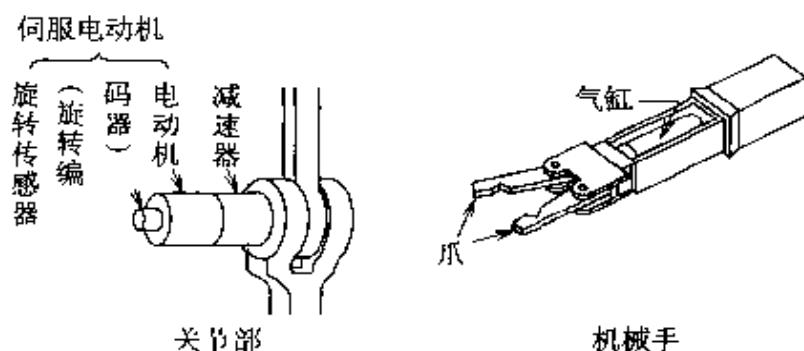


图 15.7 机器人执行装置

感器。内传感器用来检测机器人自身的数据,外传感器用来检测作业时需要的数据(参见图 15.8)。

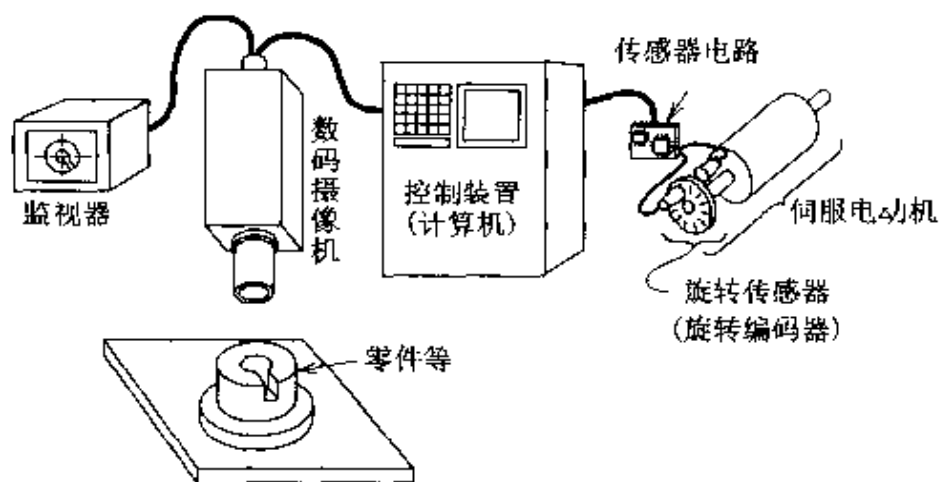


图 15.8 机器人传感器

### 内传感器

**内传感器** 机器人内部使用的传感器,包括伺服电动机使用的回转传感器、电流传感器、检测控制装置或电动机等过热的温度传感器以及检测臂杆弯曲等的应力传感器等。

### 外传感器

**外传感器** 包括用光学方法测量目标物的形状和位置等的视觉传感器;通过接触收集物体信息的触觉传感器,以及使用超声波等检测物体存在或异常等的听觉传感器等。外传感器是根据需要设置在机器人外围的装置。

### ● 控制装置

虽然机器人的控制方法很多(参见机器人的分类),但几乎所有的控制装置都依赖计算机。各种功能通过计算机可以快速、准确的实现,使机器人更接近于人。

## 4 工业机器人的应用

### □ 要点

为实现生产自动化,需要使用大量的工业机器人。机器人的特点是具有能够像人一样应付各种工作的可塑性。目前使用的工业机器人主要是模仿人类一只手臂的功能,并附加有进行作业所必须的机器或装置。

### □ 解释 ● 主要应用实例

#### 焊接机器人

**焊接机器人** 有点焊机器人和电弧焊机器人等。焊接机器人都配备有自动焊机,将焊枪等工具安装在机器人手臂上进行焊接。其中,电弧焊接时要求必须能控制焊枪的位置和姿势,所以,电弧焊机器人要有能像人类手臂一样动作的6轴以上的多个关节(参见图15.9)。

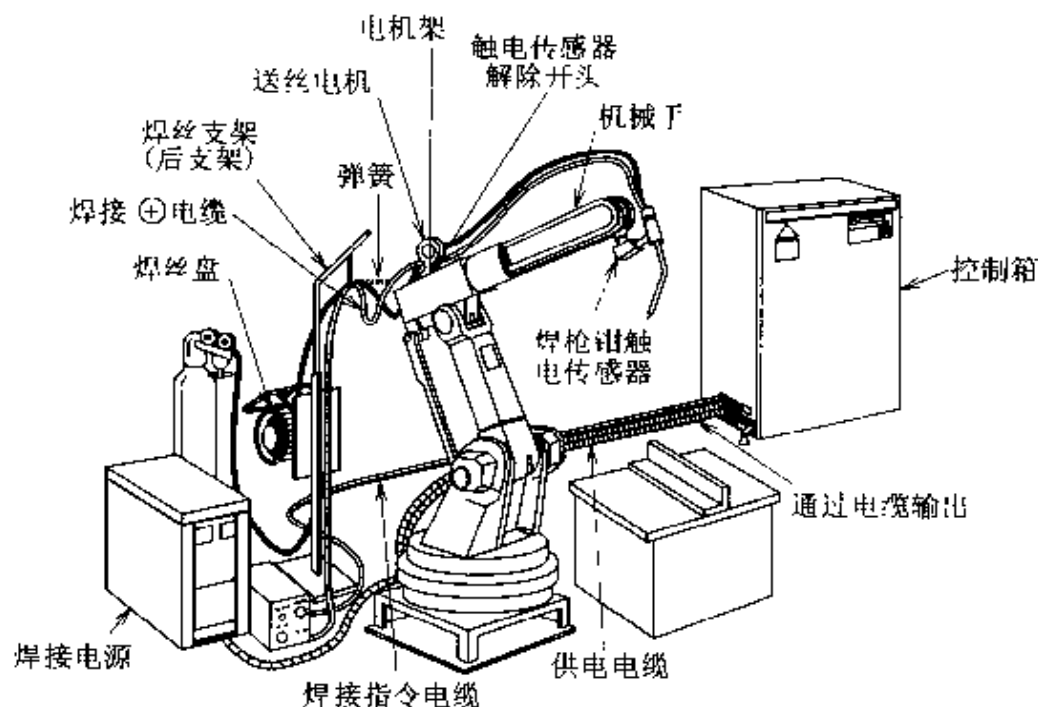


图 15.9 焊接机器人

#### 装配机器人

**装配机器人** 装配机器人多用于电气零部件的组装等。在电路板生产线上装配电子零件时,需要使用多个装配机器人。

#### 装卸机器人

**装卸机器人** 从事将工件安装和卸下等工作。这种机器人需要携带工件移动,反复作简单的工作。



## ● 系统化的机器人

目前,一台工业机器人最多只能实现人类的一只手所能完成的工作。系统化的机器人通过计算机协调控制多台机器人和各种传感器等装置来模仿人类两只手臂的功能。

下面以焊接机器人系统为例说明系统化的机器人。

- 假定是一个制作碎煤机固定锥的焊接系统。
- 组成

焊接机器人:动作自由度为6的多关节机器人、检测焊缝位置的焊接传感器。

自动焊机:惰性气体保护电焊机、焊丝自动进给装置。

自动夹具装置:旋转和上下运动的2轴驱动。

系统控制装置:能统一控制上述装置的部分。

- 动作

### ① 准备工作

在机器人动作的区域外将材料安装到自动夹具装置安装材料(与机器人相比,人的工作效率高)。

### ② 加工循环开始

① 将自动夹具装置移动到机器人的动作区域中。

② 开始焊接

两台焊接机器人协调动作,以焊接应力最小的焊接顺序进行焊接;自动夹具装置配合动作,能消除焊接死角;通过焊接传感器修正偏离正确位置的焊缝。

③ 焊接结束

使自动夹具装置自动离开机器人动作区,卸下产品。

③ 加工循环结束。

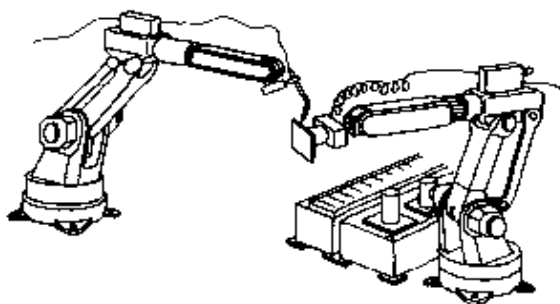


图 15.10 焊接机器人系统

## 5 工业机器人的安全

### □ 要 点

由于工业机器人多数不是由人直接控制,而是自动完成动作的,所以使用时必须有安全保护措施。劳动安全卫生法规等已对工业机器人的安全作出了规定,使用机器人时必须严格遵守这些规定。为确保作业安全,工厂等场所要建立安全管理制度,制定出具体安全管理制度。

### □ 解 释

在安全制度中要有针对设备和操作者两方面的措施。

#### ● 设备方面(参见图 15.11)

① 禁止进入正在运行着的机器设备的工作区域内 在工作区设置栅栏或围墙,并且出入口有联锁装置,门打开时机器停止运转。栅栏等的设置范围应比工作区域大些,留出紧急避让的场所。

② 栅栏内应设有正在作业的标志 为了使机器能在任何时候、任何位置停止,应在适当的位置设置几个紧急停止按钮。

③ 紧急停止状态时应切断电源 如果操作者不重新启动机器,机器人不能自动工作。

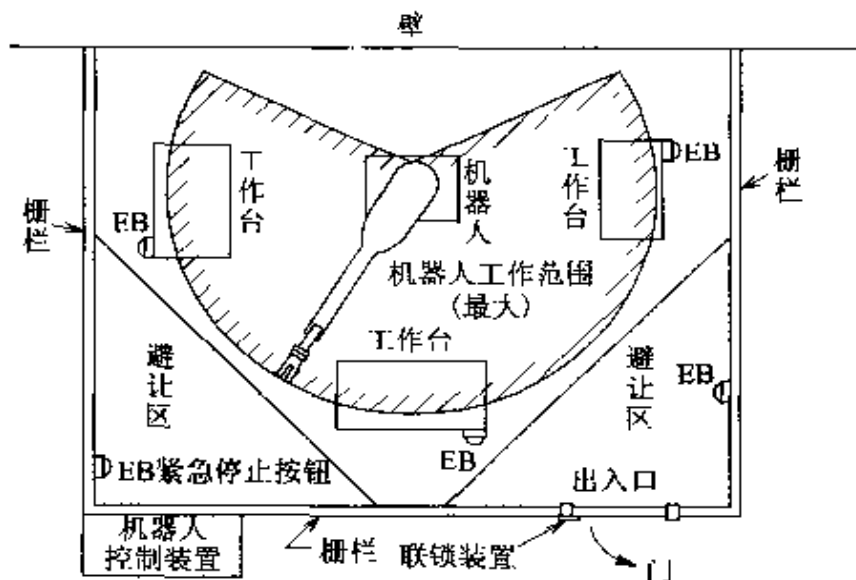


图 15.11 设备方面的安全措施

#### ● 操作者方面

① 特殊教育:对使用工业机器人的操作者进行使用方法、操作技术及安全作业等方面的特殊教育。

② 操作者的劳动保护:操作者应正确穿用工作服、劳保鞋、保护镜及安全帽等劳动保护用具。

③ 安全检查:工作开始之前,必须先进行安全检查,排除异常现象后方可进入栅栏内工作。

④ 操作规程:制定操作规程并按照规程进行操作,确保栅栏内的示教和检查等操作的安全。

⑤ 示教及保护等:基本操作应由 1 人专职负责。多人操作时,应由负责人统一指挥。另外,机器人工作时不能有第三者接近。

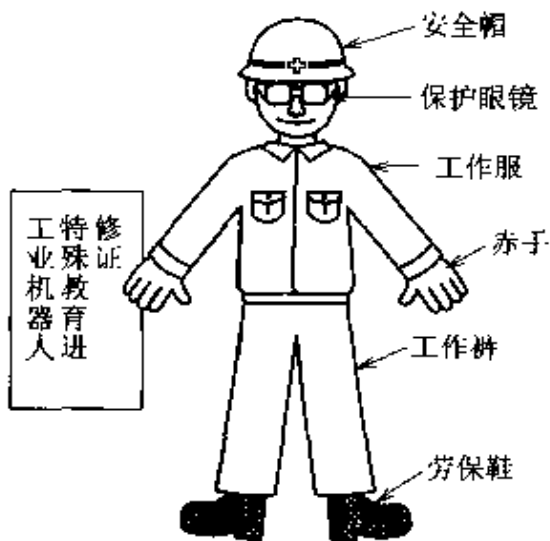


图 15.12 操作者的安全措施

## 6 挖掘机

### 要 点

原始的土木施工主要依靠人力工作,通常是手工挖掘后,砂土用簸箕或独轮车运走。现在的土木施工已实现机械化,将人从繁重的体力劳动中解放出来,施工效率也大幅度提高。挖掘施工的典型机械是挖土机,整地、搬运、装载用的典型施工机械是推土机。除此以外,施工机械还有地基施工、压实施工及拆卸施工等各种机械。

### 解 释 ● 施工机械的种类

劳动安全卫生法  
土地平整  
搬运  
装载用机械  
挖掘用机械  
地基施工用机械  
压实用机械  
上岗许可证  
施工技能学习  
结业证

在劳动安全卫生法实施的条例中规定的施工机械有土地平整、搬运和装载用机械(推土机、索引式挖掘机、铲运机等)、挖掘用机械(挖土机、起重挖土机等)、地基施工用机械(打桩机等)、压实用机械(压路机等)以及混凝土浇筑机械、拆卸机械等。

劳动卫生法及其实施条例中规定了使用施工机械的场所,并且规定必须要持有省市县级劳动标准局颁发的上岗许可证或施工技能学习结业证的人员才有资格操作施工机械。

图 15.13 为车式施工机械的实例。车式施工机械是使用机械动力,可以在任何场地行走的施工机械。

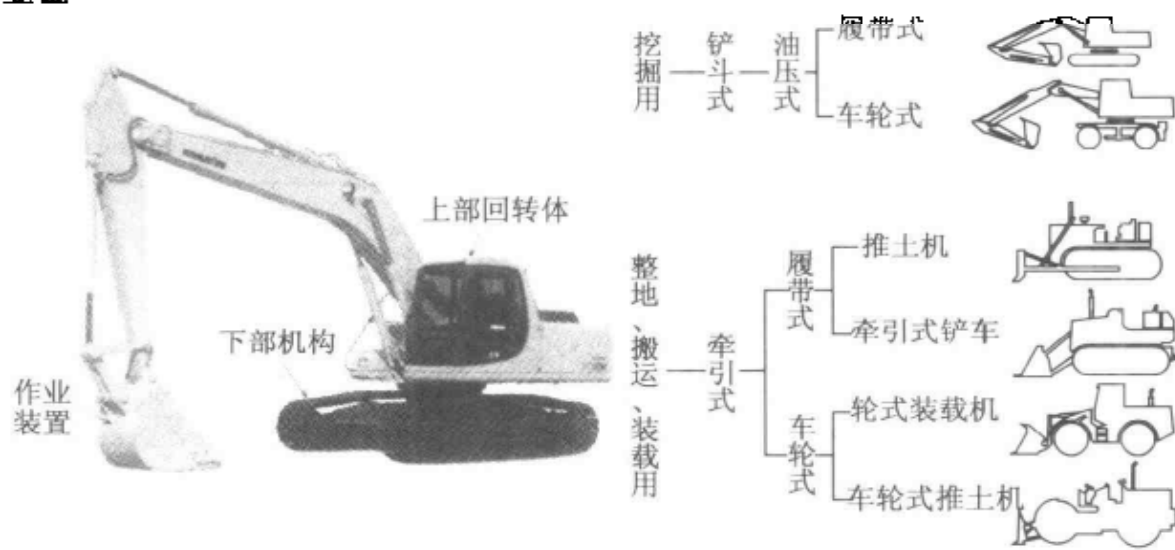


图 15.13 典型的施工机械车

(摘自:コマツ建設車両カタログおよび小松建設機械講習テキスト)

履带式  
车轮式

### ● 挖掘机

主体的上部是带有操作室的回转部分,在其前方的臂杆上装有铲斗。从地面向下挖掘时,铲斗向下安装(也叫索引式挖掘机)。当挖掘高于地面的砂土时,铲斗就要向上安装。铲斗的操作是在操作室中扳动手柄,通过压力油控制机构完成动作。

移动方式有履带式(见图 15.14)和车轮式(见图 15.15)两种。

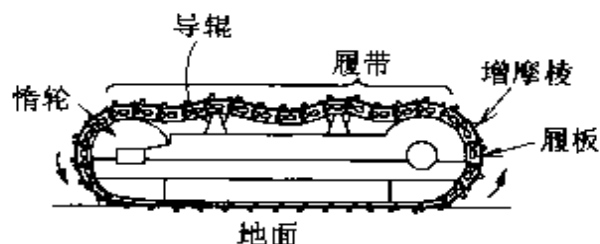


图 15.14 履带式移动机构



图 15.15 轮式挖掘机

(摘自:コマツ建設車両カタログ)

履带板  
履带  
突起(轮爪)

履带是由多个履带板通过连杆和销钉连接。履带配置在主体的左右两侧,由驱动轮带动履带。在履带与地面接触一侧带有突起(轮爪),使挖掘机移动时能抓住地面。

履带的优点是与地面的接触压力小,驱动力大,适合于在松软或不平整的地面上施工,缺点是会损坏铺装的路面。最近出现的小型机采用橡胶履带,故振动和噪音小,对铺装的路面也无损伤。

车轮式挖掘机与履带式挖掘机的施工功能相同,但主体移动机构不同,是由车轮驱动的。车轮式挖掘机的优点是行走速度快且灵活,适用于施工时频繁移动或在铺装的路面上行驶。缺点是在松软地面施工时,轮胎容易打滑,导致施工效率低。

## 相关知识 ● 挖掘机的连杆机构

起重臂  
臂杆  
连杆  
铲斗

控制机械主体进行实际挖掘等工作的部分叫做工作机,相当于人的手臂。图 15.16 为挖掘机的工作机,主要部件有起重臂、臂杆、连杆和铲斗。起重臂可以使工作机整体上下运动,臂杆可使安装在其前端的铲斗前后运动,连杆能控制铲斗的动作角度(铲斗从上向下挖时,需将铲斗转  $160^\circ$  以带出砂土)。这些动作分别由各自的油缸驱动。

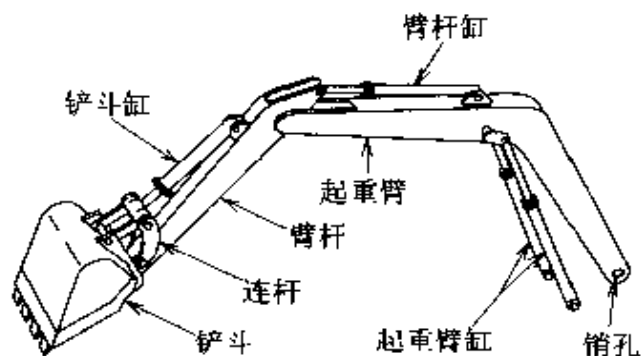


图 15.16 挖掘机的工作机  
(摘自:小松建設機械講習テキスト)

## ● 施工机械的重量

分为机体重量、机械重量和机械总重量三种。机体重量是指机械主体的重量;机械重量包括工作时所需装置的重、燃料、冷却水及油等的重量;机械总重量是包括操作者在内,铲斗能够装载最多砂土时的机械重量的总和(参见图 15.17)。

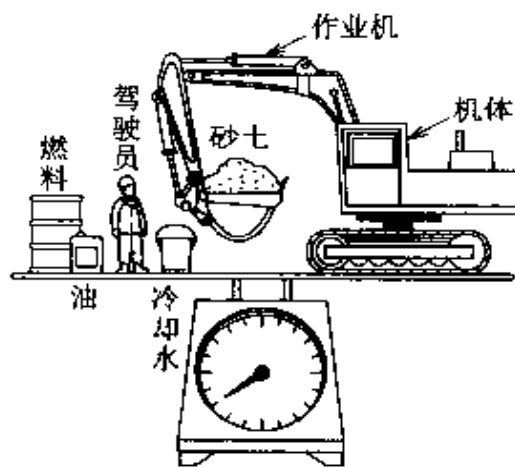


图 15.17 施工机械的总重量  
(摘自:小松建設機械講習テキスト)

### 例 题

挖掘机如图 15.18 所示,车体重量为  $W$ ,重心为  $G$ 。铲斗装载砂土时的重量作用在  $X$  点,它们到倾倒支点的距离分别为  $L$  和  $l$ ,给出挖掘机不翻倒的条件表达式。

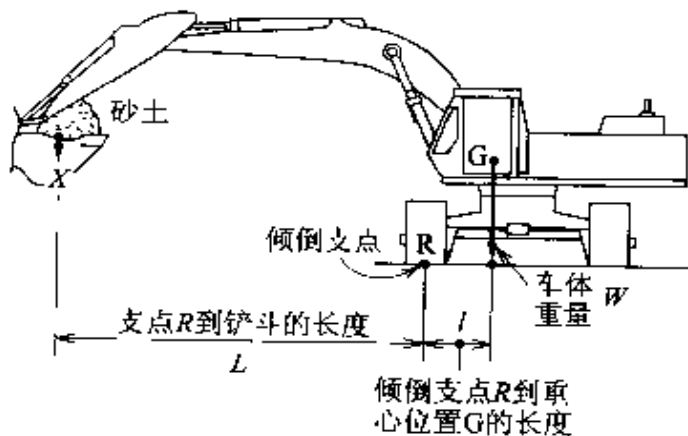


图 15.18

(摘自:小松建設機械講習テキスト)

答  $W \times L > X \times L$

## 7 推土机

### 要 点

推土机是典型的整地、搬运和装载用施工机械,一般是履带式的,但也有使用四轮驱动的装载机(牵引式的推土机)。推土机的主体前端安装有刮板,可以推砂土、平整地面、向翻斗车等车辆内装砂土等。

### 解 释

刮板

#### ● 推土机的工作机构

工作时起主要作用的推土机刮板(推土用的板)由支承臂和支架支撑。当刮板工作时,由安装在车体和刮板背面的油缸控制其上下或倾斜来完成推土及预定的工作(参见图 15.19)。

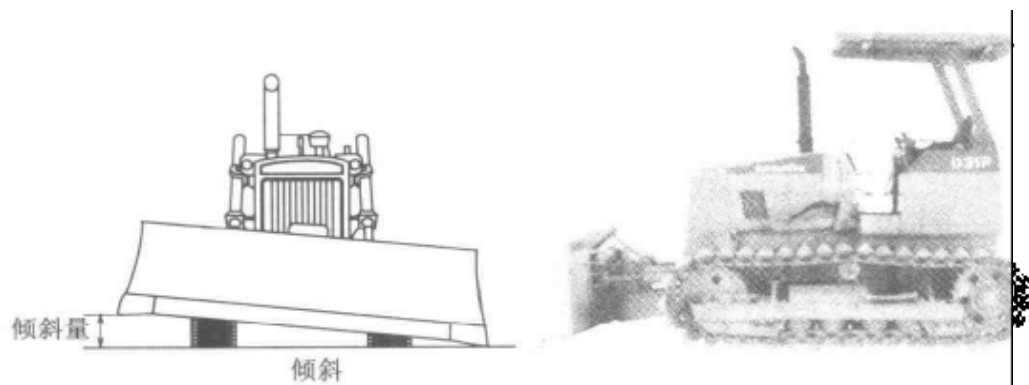


图 15.19 推土机

(摘自:コマツ建設車両カタログ)

倾斜

推土机的种类有斜角推土机和直流式推土机。斜角推土机可将刮板在左右方向上作稍微倾斜,故能将砂土推到一侧,通常在填埋沟壑时使用。直流式推土机的刮板不倾斜,能产生较大的推力。

推土机与挖掘机最大的不同之处在于推土机刮板的工作装置相对于主体不能旋转。

推土机适用于近距离搬运砂土,常用于建筑施工现场或新开道路及开集岩石、砂土等。

### 例 题

试叙述施工机械的机体重量、机械重量和机械总重量的不同之处。

**答** 机体重量只是机械主体的重量,机械重量是工作时所需要的装置及燃料、冷却水及油等的重量。机械总重量是包括驾驶员在内铲斗实际能装载最多砂土时的机械重量的总和。



# 8 移动式起重机

## □ 要 点

移动式起重机是用动力将载荷吊起,然后进行水平搬运的机械装置,自带原动机,可以在非特定场地移动。移动式起重机的种类包括起重汽车、轮式起重机、履带式起重机以及浮游式起重机(船用)等。

高层建筑施工现场使用固定式起重机,大型固定式起重机都要安装在铁塔上。

## □ 解 释

### ● 移动式起重机简介

#### 装载式起重汽车

移动式起重机广泛用于建筑施工现场、工厂及仓库等地,作用是移动和装卸重物。最近,装载式起重汽车呈增加趋势,其中,起重重量在1~5吨的小型移动式起重机较为普及。为防止发生事故,起重机的操作者必须获得移动式起重机操作许可证或经过技能培训结业(参见图15.20)。



装载式起重汽车



轮式起重机

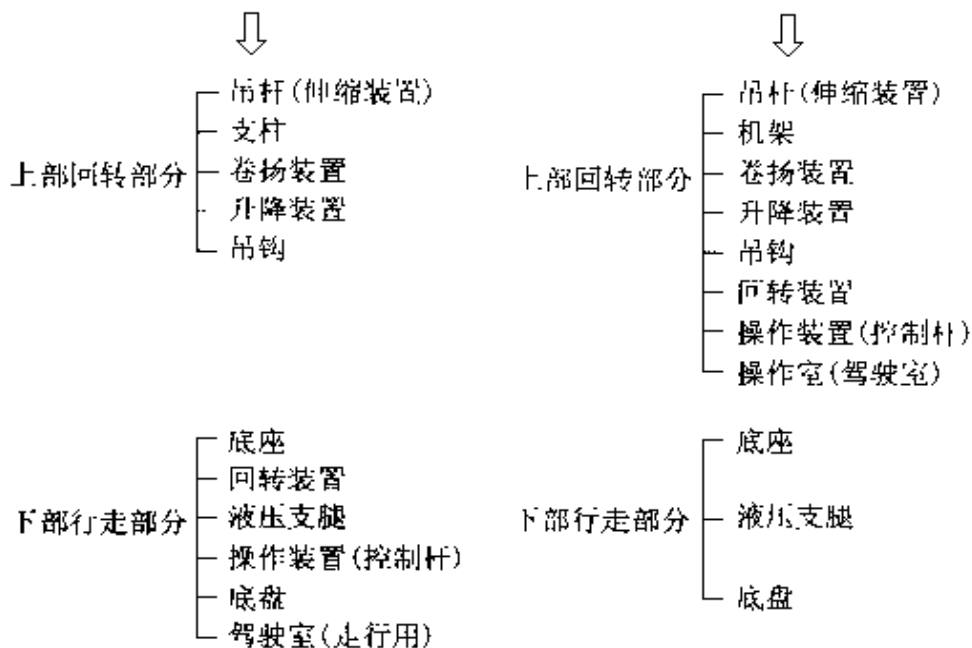


图 15.20 移动式起重机主要部件的名称

## 起重机性能

起重机的性能用额定总重量、工作半径和扬程表示。从安全角度出发,移动式起重机不允许在吊起重物时行走。

● 移动式起重机的主要部分

行走部分  
回旋部分

移动式起重机通常是在载重汽车等车辆上装备的起重机。即,移动式起重机是由下部可移动的行走部分和上部含有起重装置的回转部分构成。起重机的工作是提升载荷、落下载荷、吊杆的升降、伸缩及旋转等基本动作的组合。

上部的回转部分包括:可旋转的底盘、驱动钢丝绳的卷取装置、前部安装吊杆的托架和驾驶室。

轮式起重机

图 15.21 为轮式起重机的概貌,图 15.22 是其动作结构的说明。

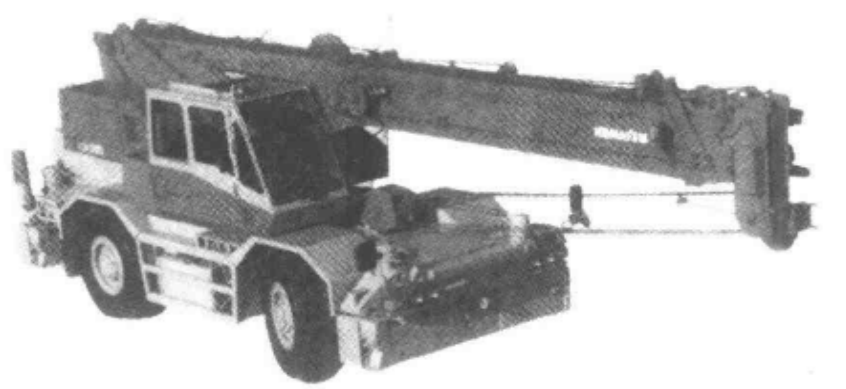


图 15.21 轮式起重机的概貌  
(摘自:コマツ建設市商カタログ)

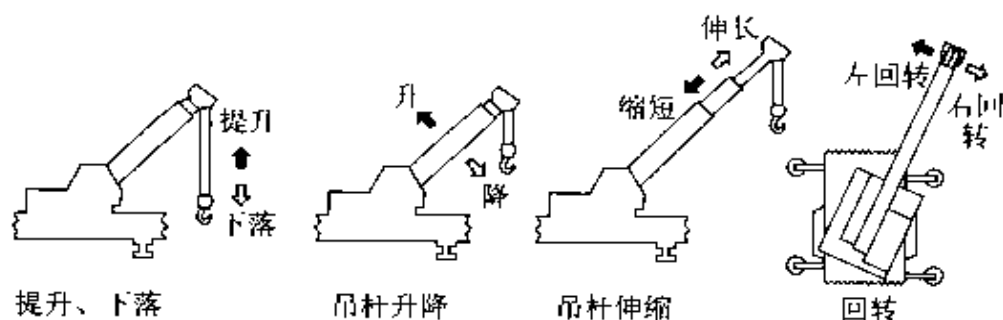


图 15.22 轮式起重机的动作结构

装载式起重汽车的卷取装置安装在起加强底盘作用的操作室和货箱之间的支柱内,其上部安装吊杆,在卷取装置的后方配有保持平衡的配重(平衡重物)。操纵起重机时,操作者在车体的左右两侧均可。

下部的行走部分除移动功能外,还要配有支撑结构,保证起重

脚(液压支腿)

机工作时载荷重量不能直接作用到车体上。它是通过一个副车架连在旋转台上,左右各有两个脚(液压支腿)能够支撑起重机的全部重量,依靠油压调整高度和支撑重量,使负载不能直接作用到轮胎上(参见图 15.23)

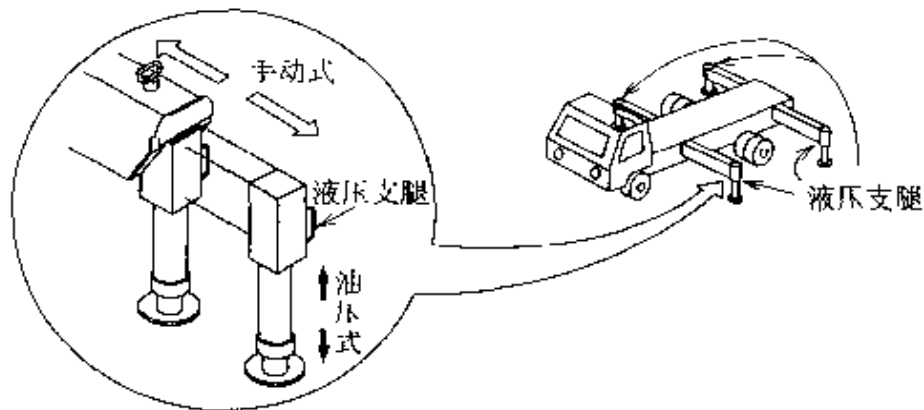


图 15.23 液压支腿的结构和配置

● 工作机构

油压泵  
油压马达  
油压缸

工作机构将汽车发动机的动力通过 PTO(power take off)输出,驱动油压泵工作,再通过压力油驱动油压马达和油压缸完成各种动作(参见图 15.24)。

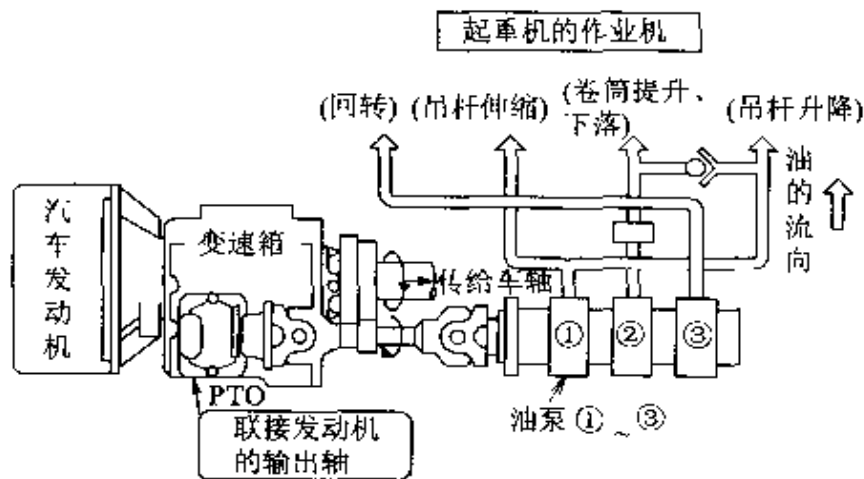


图 15.24 起重机的油压机构

● 卷取装置

卷取装置由油压马达、减速机、卷筒及离合器、制动器组成,钢丝绳的动作由卷筒的正反转完成。

### 卷扬机 棘轮机构

动力下降时用油压马达控制。卷扬机的棘轮机构和制动器是防止载荷自由下降的机构。

### ● 吊 杆

在吊杆的前端通过钢丝绳悬挂吊钩,油压缸控制吊钩的伸缩和升降。伸缩部分多数为3节。

### ● 安全装置

当起重机的负载超过许用重量或违章操作时,安全装置发出警报并自动停机(参见图15.25)。

### 过载保护装置

3吨以上的起重机均应安装过载保护装置。

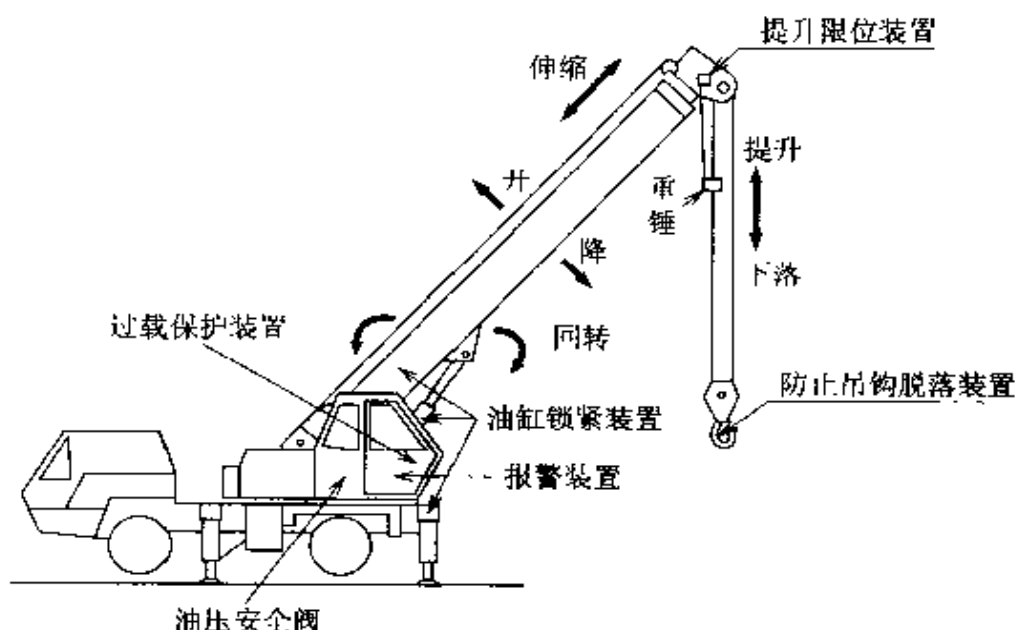


图 15.25 起重汽车的安全装置

## ■ 例 题

如图15.26所示,当起重机吊起载荷工作时,如果突然加速旋转或停止会产生较大的力,非常危险。试分析旋转时的受力情况。

缓慢地旋转

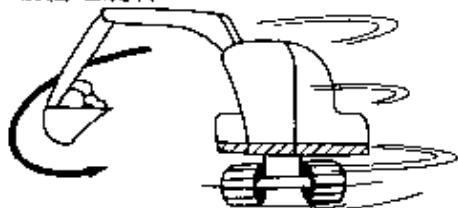


图 15.26

- ① 旋转时,载荷上作用着与旋转方向相反的力。而当停止旋转时,载荷会受旋转方向上的力,这个力叫什么?

答] 惯性(惯性力)。

- ② 当起重机吊着载荷快速旋转时,载荷就会沿着比旋转半径大的半径旋转。这是因为在载荷上作用着向外侧的力。这个力叫什么?

答] 离心力。

## 9 高层建筑的自动化机构

### □ 要 点

建筑业的生产效率较一般制造业低。普通住宅的建筑多采用先在工厂加工预制构件,然后在施工现场组装的方法,以缩短工期。作为建筑业的代表——高层建筑施工,一改原有施工方法,节省了大量劳动力。所以,各企业均致力于研制开发并实际应用高层建筑自动化系统。

### □ 解 释

#### ● 建筑施工的自动化

计算机和信息通信技术已引入建筑业,并应用于超高层建筑和大规模建筑物等的设计及施工技术中,由于使用了CAD/CAM系统,使设计和生产技术集成化,实现了远距离控制施工。现在,由于建筑材料已部件化,并且是在工厂中组织生产,实现了工厂与施工现场的集成化,使得现场施工的工作量降低,依赖熟练技术的工作逐渐减少,提高了施工质量。

#### ● 楼房自动建筑系统

楼房自动建筑系统的主要思想是将楼房建筑现场作为一个普通的制造工厂来组织和经营。

这个系统的特点如下:

①各种建筑施工由于采用了机械化和自动化,可以节省工时,提高质量和安全性;

②由于采用机械化和自动化的施工方法,施工操作简单;

③计算机不但提高了现场施工的管理效率,也使生产信息集成化和高度化;

④作业环境不受风雨的影响,可以确保施工环境稳定。

#### ● 施工方法

如图 15.27 所示,首先在地面上组装相当于楼房最高两层的结构框架和利用结构框架搭建的施工厂房。这种施工厂房有可以遮蔽风雨的屋顶和侧壁,厂房内配备自动化的起重机和焊接机器人,相当于一个工厂。施工厂房可以通过接长立柱使其整体上升,待预制板、外墙板等安装完后,按顺序从下面的一层开始向上组装楼房,并不断上升。施工时一直作为施工厂房使用的结构框架是楼房的最顶层。下部主体完成后,先将它的附属设备卸下,与下部的主体结合后,拆除附属部分,楼房主体即告完工。

CAD/CAM

机械化

自动化

节省工时

质量

安全性

施工厂房

起重机

焊接机器人

结构框架

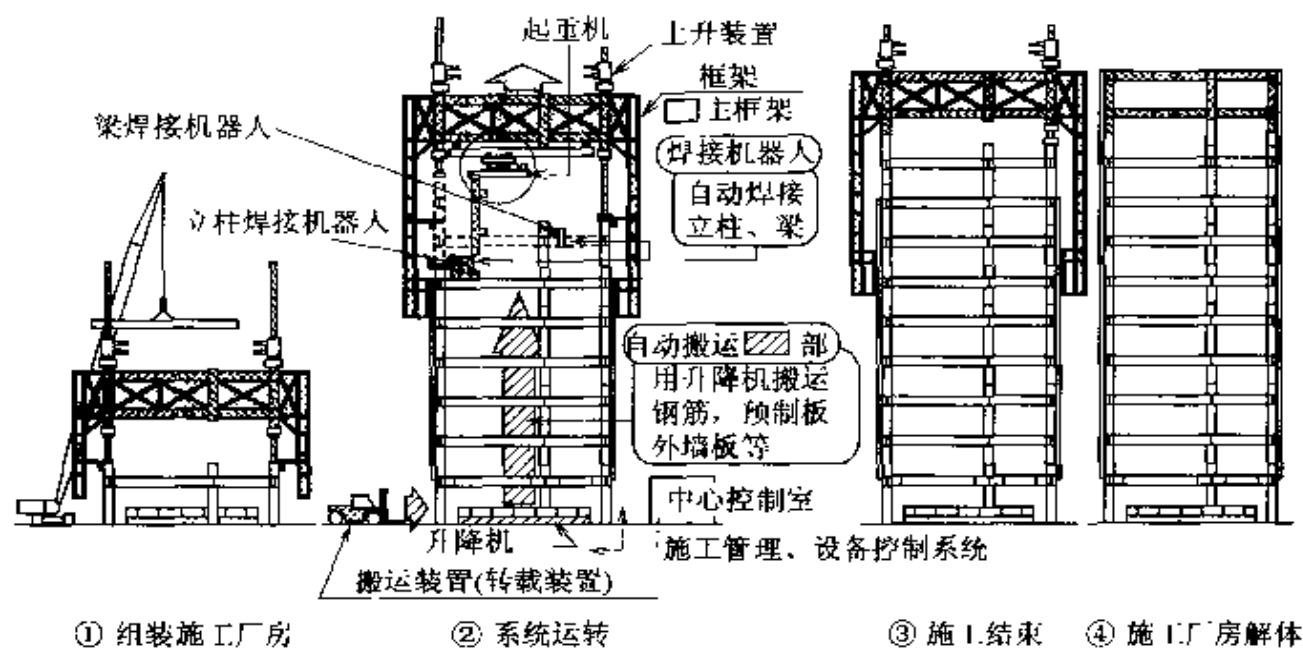


图 15.27 楼房自动建筑系统

(摘自:全自动ビル建設システムの開発,大林組)

建筑施工厂房与普通工厂一样,许多施工都可以实现自动化,从管理上也可以实现安全、高效率地组织施工。

施工厂房的上升机构:在一层的主支柱上设有支撑施工厂房的临时支柱,临时支柱的上部作成齿条,当一层施工结束后,旋转齿轮,就可以使施工厂房上升。另外,利用油压千斤顶原理升高的方式也是常用的一种上升机构。支柱采用隔根伸缩的方法,由于支柱很多,需要使用计算机控制多个齿轮同时动作,保证施工厂房水平上升。

施工中的各种管理都要通过指令室中的计算机控制。利用激光检测器等检测柱、板、壁的水平或垂直,并将检测数据传送给计算机,由计算机来协调和控制作业,使施工安全、快捷地进行。

齿条  
齿轮

## 相关知识 ● 建筑系统自动化的课题

楼房建筑自动化主要用于立柱、横梁、墙板及外装板等的组装。设备施工及内部装修目前还不能实现自动化。

由于建筑是单件生产,所以,当设计的建筑物需要引人注目的个性化时,就会与自动化所需的规格化及装置化施工产生矛盾。

规格化  
装置化

## 10 农用机械

### □ 要点

以拖拉机为代表的农用机械可分为动力部分和农业作业用机械两部分。动力部分配有行走装置,农业作业用机械部分由行走装置牵引,可以直接从事各种作业。

小型农用机械,如插秧机和联合收割机是原动机与农业作业用机械一体化的专用机,不需要拖拉机牵引,应用范围广。

农业机械还包括贮藏谷物及谷物上市所必须的干燥机、脱粒机及磨米机等机械设备。

### □ 解释 ● 拖拉机

两轮驱动  
四轮驱动

拖拉机通常是四个车轮,可分为用直径大的后轮驱动的两轮驱动拖拉机和四个直径相等车轮的四轮驱动拖拉机。由于日本大规模的农耕地很少,所以两轮驱动的小型专用机非常普及,直径大的后轮和直径小的前轮同时驱动的四轮驱动方式也多有应用。其优点是在松软地面的行走性能好,无论是水田还是田间小路都可以行走自如,而且爬坡能力强(参见图 15.28)。



图 15.28 拖拉机  
(摘自:三菱農機カタログ)

柴油发动机  
汽油发动机  
作业机  
旋转式耕耘机  
原动机

拖拉机的发动机 大型机种多采用柴油发动机,小型拖拉机采用空冷汽油发动机。

农用机械的关键问题是要保证载荷变化时发动机的稳定性。

由拖拉机牵引的作业机种类很多,其中,旋转式耕耘机应用最多。它是利用原动机输出的动力带动旋转刃将土壤挖起、翻转、破碎整地,完成播种前的耕地准备。

当拖拉机牵引作业机工作时,重心会发生变化,并且作业时还要受到反作用力。所以,在凸凹不平的地面或斜坡上作业时,保证行走和转弯的稳定性就非常重要。

为此,要求拖拉机的重心低,车轮间隔尽可能大,各车轮分担负载。为了保持平衡还需要加配重。

### ● 插秧机

插秧机是将在苗床上培育的水稻苗连同根上的土一起一株一株地移植到水田的机械。利用插秧机插秧时,需先将在苗床上育好的地毯苗倾斜放置在插秧机的后侧,由插秧爪抓住秧苗,模仿人手插秧的动作将秧苗插到水田里。秧苗的供给机构将地毯苗依次横向传送,不断地提供给插秧爪。地毯苗横向移动,当秧苗到达端头时,秧苗就会被整体向下传送,然后反方向横送即可实现连续插秧。插秧机的插秧爪有多个,甚至还有六排同时插秧的机种。插秧棵数、深度及株间距的调整也很容易(参见图 15.29)。

地毯苗  
插秧爪

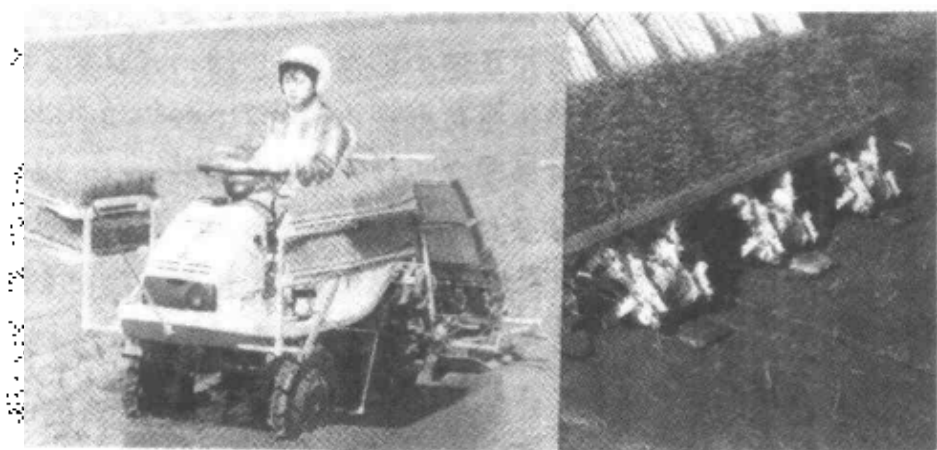


图 15.29 插秧机

(摘自:三菱農機カタログ)

### ● 联合收割机

联合收割机是边行走边收割作物,并将收割的谷穗脱粒,剩下的稻秸也可同时处理的机械。目前的联合收割机只能用于水稻,今后应向能收获麦、大豆、荞麦等多种谷物,适用面宽的机种发展,参见图 15.30。

切割部分

切割部分由顶刀片与割刀组成,在距离地面 5cm 左右处割刀往复运动收割作物。将收割的作物集中,由运送装置传送给脱粒机。脱粒滚筒是四周有很多高度为 7cm 突起齿的圆筒,脱粒机通过脱粒滚筒高速旋转将经过滚筒的谷穗脱粒,吹走稻秸碎屑选出谷粒,并送至上部,装袋后放到储藏部分储藏。

脱粒机





图 15.30 联合收割机  
(摘自:三菱農機カタログ)

稻秸的处理方式因机构不同而异,包括按一定量捆成捆和切碎等方式。

由于联合收割机的操作复杂,所以使用计算机控制可以实现自动化。如割刀高度可以不使用机械的方法,而改由超声波传感器来控制,发动机的转速也可以根据负载的大小来控制以及根据谷穗的长度控制传送位置等。

超声传感器

### ■ 例 题

试叙述四轮驱动拖拉机的优点。

# 11 纺织机械

## □ 要 点

纺织机械是利用以棉和丝等天然纤维及以尼龙等人造纤维生产针纺织品的机械,主要机械有生产纱锭的纺纱机械和由纱织成织物的织机等。

## □ 解 释

混打棉机

并条机  
精纺机

## ● 纺纱机械简介

此处以天然纤维棉为例,说明纺纱过程。首先用混打棉机除去原棉中的棉籽和枝叶等杂物,将棉花整理成毡状,送到梳棉机中彻底去除杂物。将洁净的棉花用并条机处理成粗细均匀、纤维排列整齐的棉条。棉条经粗纺机纺成粗纱并卷到线轴上,再用精纺机将线轴上的粗纱纺成细纱。根据需要将几根棉纱合到一起卷到线轴上,成品棉纱经过绕线机缠绕成均匀的圆锥状纱锭。

最后在棉纱上挂浆料,目的是便于织机加工,提高织物的质量。

## ● 织机的工作原理

织机是用纱线织成织物的机械。织机的工作原理如图 15.31 所示,在上下的经纱中穿过纬线并压住,通过上方和下方的经纱不断换位,反复插入纬线织成布匹。

经纱  
纬线

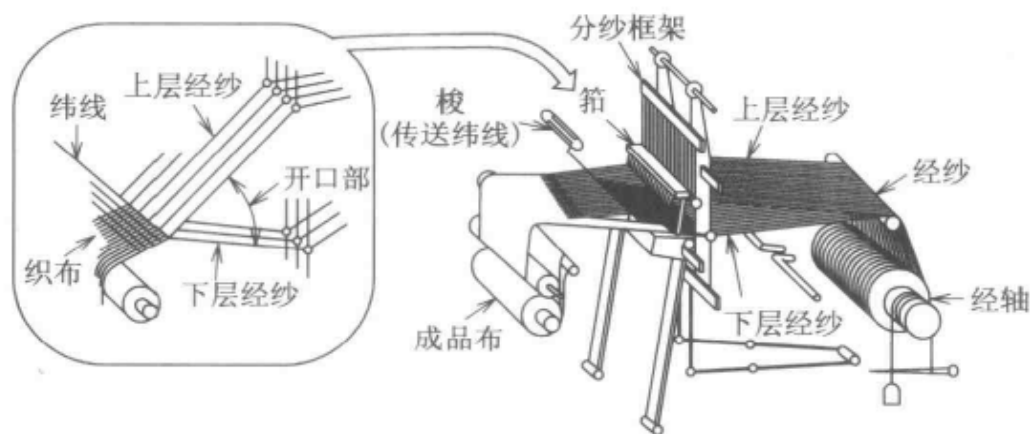


图 15.31 织机的工作原理

织机是根据纬线的插入方式来分类的。梭织机(参见图 15.32)是用内藏的梭将纬线向左右两个方向传送的织机,喷气织机是用喷气的方法喷射纬线的织机。

梭

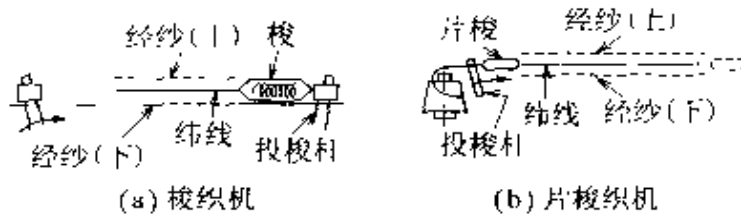


图 15.32 穿梭机构

□ 相关知识 ● 织物的组织

经纱和纬线的组合形式决定了织物的组织。如图 15.33 所示,根据经纱和纬线的重叠方式可分为平纹、斜纹和缎纹。

平纹

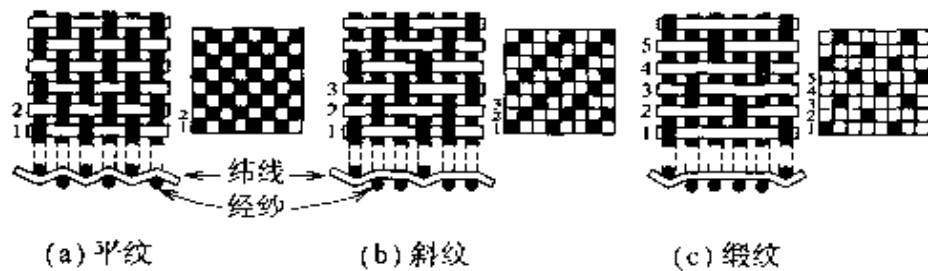


图 15.33 织物的组织

(摘自:家庭科教科书·实教出版)

● 编织机的原理

编织机是使用以羊毛等为主要原料的毛线加工编织物的机器,其编织原理为用一根或数根相当于织物经纱或纬线的毛线作成线环,将这个线环与其他的线环连接到一起形成编织物。编织机可分为横机和经编机两种。横机用一根线编织成编织物;而经编机则用多根线编织成编织物。编织机的编织部分由织针、弯纱片及压片等组成,编织物又称为针织品。

织针  
弯纱片

图 15.34 为用 1 个针钩一个网眼的原理。在前端钩上有一个

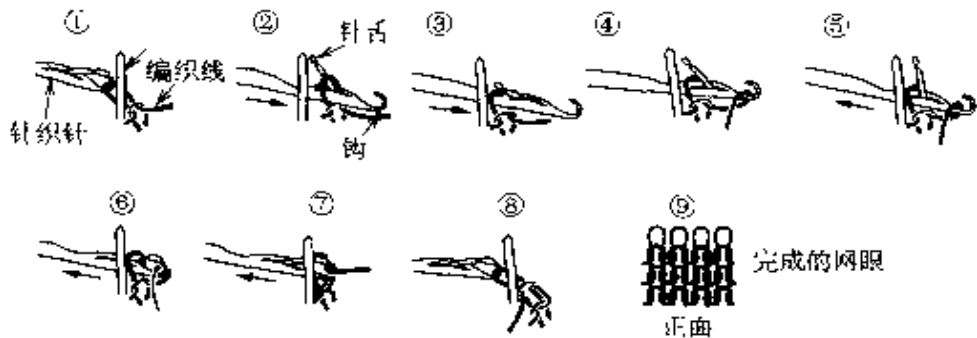


图 15.34 钩一个网眼的过程

线环,当镶条带动针穿过弯纱片时,线环推开针舌,使下一网眼的线自动挂到针的钩上。针后退时前一线环将针舌关闭,当针退回原位时前一线环便从针上脱落,形成一新网眼。同时,由弯纱片整理脱落的网眼。这样,一个新线环挂在针的钩上,开始下一循环。

编织机是以上百个针为一组,通过滑架的左右运动,可以同时编织出上百个网眼。最新的编织机配有计算机和多个滑架,可以编织出多彩的图案,而且操作简单,效率也很高(参见图 15.35)。



图 15.35 最新的编织机  
(摘自:岛精機カタログ)

## 第16章

# 生产管理 技术

对于一个工厂来说，如果不能将其人力、物资和机械设备有机地结合，那么无论将这些设备配备得如何优良，它的生产能力和产品质量都不可能提高。

本章介绍如何协调材料、设备、作业环境及其他条件来提高产品质量和生产效率的方法，从基本方法到最新动向依次说明。

- 责任编委  
山下省藏
- 执 笔  
泷泽隆司(1~6)  
天野一美(7)

# 1 工厂的组织和经营的方法与功能

## □ 要点

工厂按照生产经营的指挥系统可分为直线制组织、职能制组织和直线职能制组织这三种基本的组织机构。

工厂应根据生产的产品、种类、规模及生产方式等建立高效率的组织机构来运作。

## □ 解释

### ● 组织原则

组织的基本原则包括指挥系统统一的原则、责任和权限明确的原则、分工原则、监督范围原则以及转计的原则等。企业要根据以上各原则来组织机构。

### ● 企业组织机构基本形式的特点(参见图 16.1)

#### 直线制组织

**直线制组织** 这种组织是管理者与下级成直线的指挥系统,要求管理者通晓部下的所有工作,适用于小规模企业。

#### 职能制组织

**职能制组织** 具有专业技术的管理者分别管理各专业机构,他们可以在自己的业务范围内下达命令和指示。因为管理业务专业化,所以管理者可以是单能人才。

#### 直线职能制组织

**直线职能制组织** 这是将直线制和职能制的优点结合在一起的组织。这种组织的每个指挥系统相对独立,而有专业优势的间接管理部门只能提供建议和指导,现在大多数的工厂都采用这种组织形式。

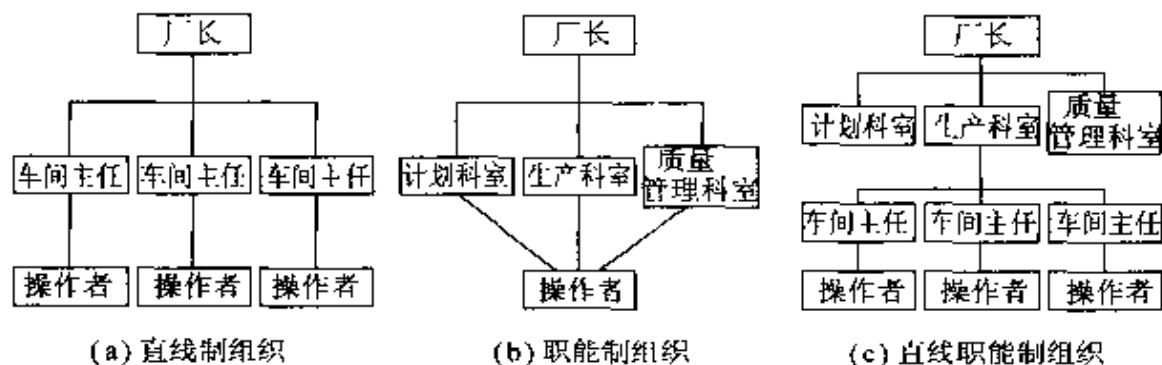


图 16.1 工厂的组织

## □ 相关知识

### ● 在企业组织领导下的工厂

资金、设备  
劳动力

工厂是制造企业为获得利润而生产产品的场所。如图 16.2 所示,根据企业的经营方针,需要向生产厂投入资金、设备和劳动

## 经营的三个资源

力,三者被称为经营的三个资源。工厂的所有活动都与企业的经营方针有关,关系到企业的生存和信誉。

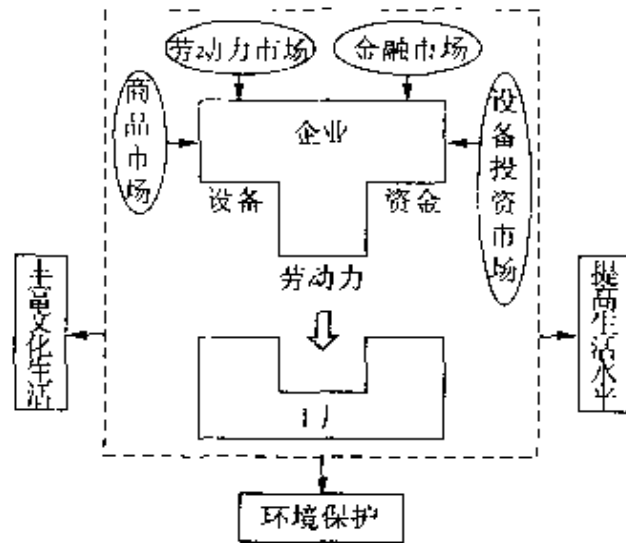


图 16.2 企业和社会

工厂的经营,包括从工厂的建设到日常业务活动,都要考虑周边环境和情况,不允许只追求企业的利润而不顾及其他,应对社会负责。

### ● 工厂的经营

工厂必须通过分析市场需求,将满足顾客需求的产品以合理的适当成本制造出来,并在适当的时间推向市场。为此,必须进行生产管理。(参见图 16.3)

## 适当成本 生产管理

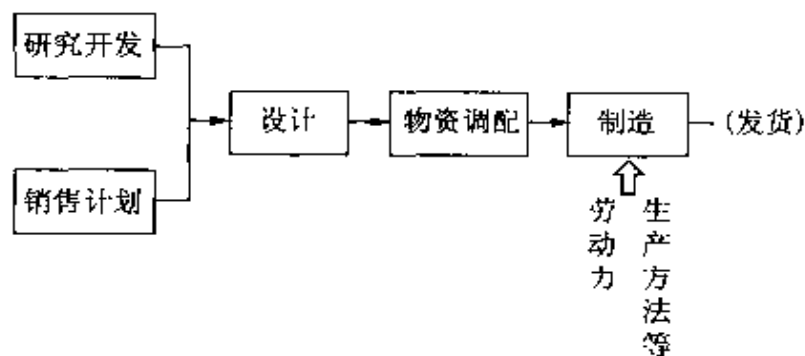


图 16.3 工厂的功能

生产管理是为了获得最大的生产力而进行的涉及到工厂各部门(设计、研究、检查、采购、外协、搬运以及仓库等)的综合调整活动。

## 2 生产计划和管理的功能及其构成

**要 点** 生产活动的目的是,将消费者需要的商品,在必要的时期,以必要的数量和低廉的价格,在短期内提供给消费者。为此,需要反复进行计划、执行、检查和修正。同时还要使用各种生产管理手段,而与生产方式相适当的生产计划也是必不可少的。

**解 释** ● 生产计划

生产计划包括产品规划、调配计划和工艺计划。生产活动始于设计,当物资调配完成后就会进入生产阶段。产品规划应使产品能引起消费者的购买欲且安全可靠,并能够开拓新的市场。调配计划是为了保证生产活动不间断而在物资和人员方面的准备和管理。工艺计划是为了提高效率而合理地配置机械设备和加工顺序。这三个计划之间必须协调。

功能设计

① 产品规划 产品的设计首先要保证能实现预期的功能(功能设计),然后要根据产品的技术要求设计出可以用于生产的图纸(生产设计)。

生产设计

② 调配计划 包括必要的机械和操作者的配置计划(设备、人员计划),购买和管理原材料或零部件的计划(材料计划)。

设备,人员计划

材料计划

③ 工艺计划 为了保证在交货期前顺利完成产品,合理安排加工顺序和生产方法的计划与管理(参见图 16.1)。

工序表		年 月 日			
产品名称	_____	图纸编号	_____	使用材料	_____
产品编号	_____	使用机械	_____	生产编号	_____
加工形状、尺寸	工序	作业内容	使用夹具	备注	
	①				
	②				
	③				

图 16.4 工序表



订货生产方式  
预测生产方式

● 生产计划的确定方式

生产计划的确定方式可分为订货生产方式和预测生产方式(参见表 16.1)。要根据产品的种类、数量和尺寸等性质选择生产方式。对于订货生产方式,在产品的设计阶段,订货方要将所订购的产品纳入本单位的生产计划,而接受订货方要将订货方需要的产品投入的技术、设备和资金等纳入生产计划。

表 16.1 订货生产方式和预测生产方式的特点

订货生产	预测生产
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 关心产品特点</li> <li>• 标准由客户决定</li> <li>• 根据订货生产</li> <li>• 设计变化大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 关心产品价格</li> <li>• 标准由生产者决定</li> <li>• 是根据需要</li> <li>• 设计变化较少</li> </ul>

预测生产需要不断地关注和预测需求及市场动态,并且分析与其他公司的价格竞争等情况,再制定进入市场的生产计划。

● 生产类型

单件生产  
批量生产  
连续生产

如图 16.5 所示,根据销售预测量或需求量的多少,生产类型有单件生产和批量生产及连续生产。单件生产是指按订货个别制作;批量生产是将同一产品或零件按一定的数量集中,然后分类定期的反复进行连续生产;连续生产是生产数量非常大时所进行的连续大量的生产。

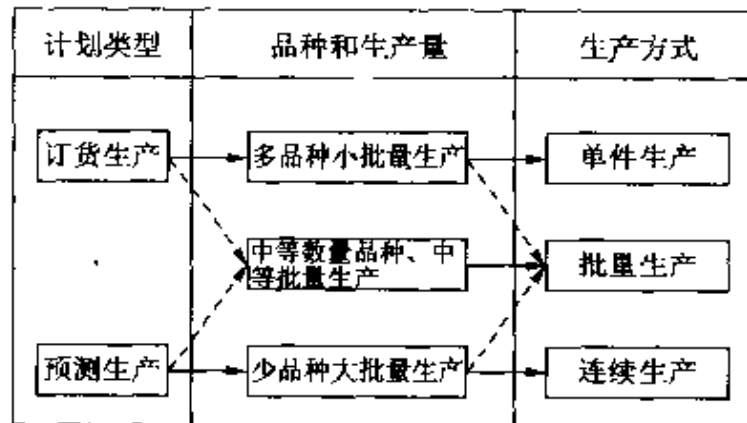


图 16.5 生产类型

## □ 相关知识 ● PL 法

### 制造者责任法

消费者购买到产品后,因产品没能达到设计功能或因质量问题而发生人或物质方面的损失时,要追究制造者的责任,称为**制造者责任法**(productive liability, PL)。所以,在规划设计阶段必须要考虑说明书的写法。

## 3 生产管理的构成与功能

### □ 要点

为了使产品满足消费者的需求,必须按照需求的三要素(质量、价格、交货期)来制定生产计划,并在实施计划的过程中对作业日程和生产进行管理,即必须保证(或提高)质量,维持(或降低)成本,并按规定的交货期完成任务。

另外,要进行生产统制管理。所谓生产统制管理就是在按计划组织生产时,要根据具体情况对各部门之间进行调整。

### □ 解释 ● 生产管理的内容

按设计图和说明书实际加工产品时要经过许多环节,必须保证各生产环节之间具有良好的衔接关系。各生产环节间的平衡与调整体系可参见图 16.6。

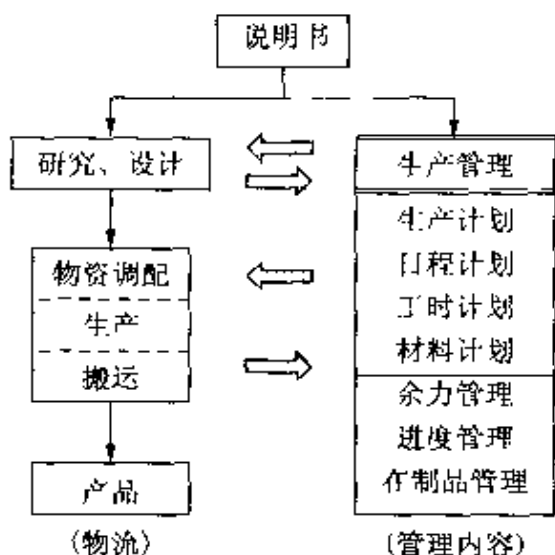


图 16.6 生产管理体系

### 生产计划

**生产计划** 计划是指根据图纸的要求,在考虑到工厂的生产能力及使用材料等基础上,制定出来的合理高效的加工顺序和方法。可按下面几方面来考虑和制定具体的生产计划。

- ① 加工生产的顺序;
- ② 需要的人数和技能要求;
- ③ 需要的机械设备、夹具、工具;
- ④ 材料的品种、形状和数量;

- 生产周期** ⑤ 制造时间(生产周期:由设计到加工出成品的时间)等。
- 日程计划** 日程计划 生产计划的内容为“何时、何人、使用何种机械、加工何种零件及件数”。只有制定出最合理的日程,才能保证在交货期之前按上述生产计划完成产品。具体的日程计划分为大日程计划、中日程计划和小日程计划。
- 大日程计划**
- 中日程计划**
- 小日程计划**
- 工时计划** 工时计划 由产品的交货期和生产量计算出工作量,结合现有的生产设备和人员能力(工时),合理地组织生产。
- 工时**
- 工作日** 工时的单位是操作者一人一天的工作量,称为工作日。

表 16.2 生产计划的范围、时间、单位

	大日程计划	中日程计划	小日程计划
所需时间	全工厂	按机械线	
	有关工厂	按车间	
	有关部门	按部门	按工作者
计划期间	半年~1年	1~3个月	1~6H
时间单位	周~月	1日~1周	1小时~半天

- 材料计划** 材料计划 计算出产品所需的材料种类、数量和时间并进行汇总。由材料计划和日程计划可计算出生产量所对应的材料。材料计划是物资管理的资料。物资管理能保证材料的保管和购入顺利地进行。
- 物资管理**

### ● 生产统制

生产活动开始后,要有一个适时监控系统,以保证按计划完成任务。适时监控系统在适当的时间将现场情况与计划对比,判断是否有出入。当发现问题时,马上修正实施方法或计划,进行综合调整,使现场生产能按生产计划进行。

- 进度管理** 进度管理 这是指对现场生产在时间上进行管理,以保证现场生产能按日程计划进行,其目的是确保交货期和减少半成品量(等待下一工序的零件数量)。

- 余力管理** 余力管理 将工作量与现有能力进行比较,保证生产活动均衡进行。如出现工作量不足或超负荷(机械事故、紧急订货、操作者缺勤等)时,要将工作量重新分配。

- 在制品管理** 在制品管理 为保证生产流程不出问题,必须掌握正在加工的产品的具体情况,如在某一工序某种零件有多少等。当生产数量过少时,必须有相应的对策。

● 生产统制的七种工具

利用如图 16.7 所示的方法进行统一管理。

工具名称	图表	内容																
工程进度表	<table border="1"> <tr> <td>项目</td> <td>7月</td> <td>8月</td> <td>9月</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>-----</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td>-----</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td></td> <td></td> <td>-----</td> </tr> </table>	项目	7月	8月	9月	A	-----			B		-----		C			-----	<p>预定工作项目为纵轴,日期为横轴,表内填写实际完成和预定工作的对比。可进行进度管理和余力管理</p>
项目	7月	8月	9月															
A	-----																	
B		-----																
C			-----															
生产作业显示板	<table border="1"> <tr> <td>操作者</td> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>作业中</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>作业</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>准备中</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	操作者	A	B	作业中			作业			准备中			<p>显示板按操作者和设备分类,使现场情况一目了然。作业显示板的版面设计要能提高作业效率</p>				
操作者	A	B																
作业中																		
作业																		
准备中																		
生产进度图 (制造三角图)		<p>累计生产数为纵轴,日期为横轴。将实际完成与计划对比就可掌握某一时点的迟误和生产数量不足的情况</p>																
流程曲线		<p>与生产进度图基本相同,可以同时了解多项生产进度。由横轴可以掌握在生产期间内实际生产数量与订货量的差,纵轴可了解半成品的数量</p>																
进度管理箱		<p>将每个月的进度管理箱都划分成每天一个格,按照日程计划的时间顺序装入作业表,并按日期取出进行作业和进度管理</p>																
效率体系		<p>将一次记账法(多张重复的票)作成的票单按生产计划或交货日期的先后排列,进行进度和交货期管理</p>																
传票制度	<table border="1"> <tr> <td colspan="4">作业指示书</td> </tr> <tr> <td>品名</td> <td>规格</td> <td>个数</td> <td>备注</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>%</td> <td>□</td> <td></td> </tr> </table> <p>次记账法的票单</p>	作业指示书				品名	规格	个数	备注	A	%	□		<p>利用作业票、出入库票、搬运票等票单从生产计划到生产统制进行合理且高效的管理。票单使用一次记账法系统</p>				
作业指示书																		
品名	规格	个数	备注															
A	%	□																

图 16.7 生产统制的七种工具

## □ 相关知识 ● 看板生产方式

看板生产是大批量生产中管理零部件的方式,其主要思想是在各工序中明确“在什么时候,什么产品,只在需要的时候生产多少”。

避免浪费

自动化

看板

看板生产方式可彻底避免浪费(加工过多、现货、库存),相当于一个不会出现废品的“以人为本的自动化系统”。当出现废品或物流出错时,由安装在设备上的判断和停止装置将其全部清除。

看板分为生产指示看板和搬运指示看板两种。现场使用的看板按图 16.8 所示的方式管理,可将生产的微调整(余力管理、进度管理)传达到整个生产过程中。由于所有的零件都有“看板”卡片,可实现在制品管理和生产统制。

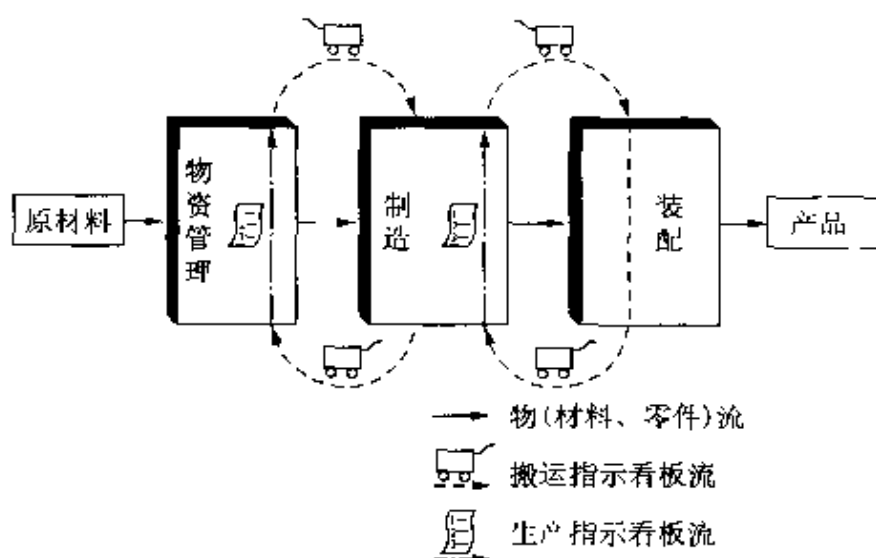


图 16.8 看板生产方式

# 4 质量管理的构成与功能

## □ 要 点

所谓质量管理就是最经济地制造出满足顾客需求的产品,进而在生产制造过程中保证并改善质量和功能等的管理活动。

不仅与制造有关的部门参加,而且与企业管理有关的所有部门都要参加的质量管理称为全面(或综合)质量管理(total quality control, TQC)。

质量管理有被称为 QC 的七种工具管理方法,是通过收集数据来实现对产品质量的管理。

## □ 解 释

### ● 质量和质量管理

衡量产品质量的标准有很多,如能满足顾客的使用要求、安全可靠、使用寿命长、使用方便及款式宜人等,称这些性能为判别产品质量高低的质量特性。只有综合均衡考虑质量特性,才能获得高质量的产品。

现在的质量管理(quality control, QC)已不只限于产品的功能,还要包括售后的质量保证。

质量管理的目的在于提高产品的质量。图 16.9 所示的 PD-CA 工作循环是按照计划(plan)→实施(do)→检查(check)→改善、处理(action)这样的顺序来进行质量管理工作的。

质量特性  
高质量  
质量管理  
质量保证

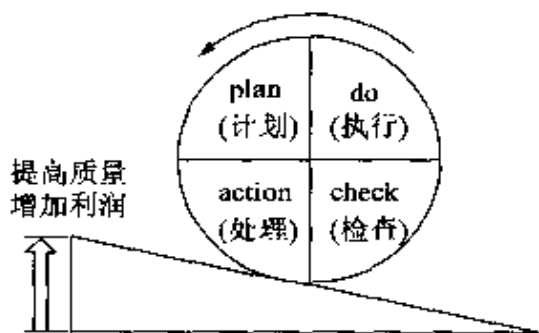


图 16.9 质量管理的 PDCA 循环

### ● 质量标准和管理图

高质量的产品是根据设计要求,通过不断控制制造成本,提高质量特性得到的。在产品的设计阶段,设计质量(质量目标)是设计图上要求的质量。在实际制造阶段由于生产条件(操作方法、管理方法、材料、操作者)的原因,或多或少会与设计质量有些出入,称

设计质量

制造质量  
质量标准  
偏差

为制造质量(实际制作的质量)。在每一个阶段都有具体的质量标准,是根据已有的质量标准制定的。

生产过程开始后,要观察产品的质量特性是否在质量标准允许范围内等偏差(设计质量与质量标准的差)的变化进行管理。

### ● 质量管理的七种工具

利用图 16.10 所示的工具进行质量管理。

种类	图 表	目 的	使用和制作方法																								
调查表法	<table border="1"> <thead> <tr> <th>项目</th> <th>检查</th> <th>合计</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>污染</td> <td>///</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>损伤</td> <td>/// ///</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>不合格</td> <td>///</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>其他</td> <td>///</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	项目	检查	合计	污染	///	5	损伤	/// ///	8	不合格	///	3	其他	///	4	<p><b>防止疏漏</b> 是掌握现状、分析和 管理产品质量的有效方法</p>	<p>(1) 由统计数据和检查项目决定; (2) 核对调查表上的数据</p>									
项目	检查	合计																									
污染	///	5																									
损伤	/// ///	8																									
不合格	///	3																									
其他	///	4																									
分层法	<table border="1"> <thead> <tr> <th>项目</th> <th>A工程</th> <th>B工程</th> <th>合计</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>污染</td> <td>//</td> <td>///</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>损伤</td> <td>///</td> <td>///</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>不合格</td> <td>/</td> <td>//</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>其他</td> <td>/</td> <td>///</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>合计</td> <td>7</td> <td>13</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	项目	A工程	B工程	合计	污染	//	///	5	损伤	///	///	8	不合格	/	//	3	其他	/	///	4	合计	7	13	20	<p><b>分层管理</b> 将产生不合格产品的 原因按材料或机械 等标记分类,以便找 出问题所在</p>	<p>按时间分 (时刻、日、星期、周、月和季度) 按原材料分 (批次、成分和等级) 按作业条件分 (温度、湿度、气候、切削条件) 等等</p>
项目	A工程	B工程	合计																								
污染	//	///	5																								
损伤	///	///	8																								
不合格	/	//	3																								
其他	/	///	4																								
合计	7	13	20																								
直方图法		<p><b>标准偏差管理</b> 能找出标准偏差的 规律</p>	<p>(1) 收集数据; (2) 求最大值和最小值; (3) 确定组距(直方的宽度); (4) 确定各组的边界值和平均值; (5) 制作频数表</p>																								
排列图法		<p><b>重点管理</b> 在影响产品质量的 许多原因中找出其主 要原因的一种有效方 法</p>	<p>(1) 利用帕累特法则,即大多数的 残次品都是由少数原因或 现象产生; (2) 排列图是根据废品等的数量 绘制出矩形图和累计百分数 的线图</p>																								
散布图法		<p><b>相关因素分析</b> 找出两种相关因素 的数据之间的关系</p>	<p>(1) 将两种数据收集 30 组以上; (2) 纵轴表示结果,横轴表示原 因,将 一 对应的数据用适 当的符号在图中标出。 (3) 记录收集数据时的条件</p>																								



续表

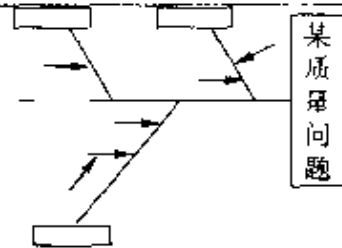
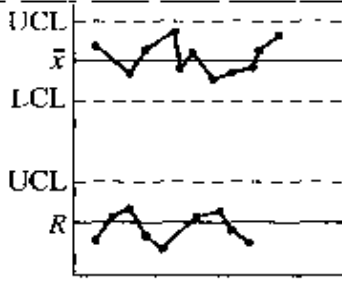
种类	图 表	目 的	使用和制作方法
因果图法		原因系统化 寻找造成质量问题的众多原因之间的因果关系	(1) 在管理和改善的各阶段均可使用; (2) 也可由因果图判断现行的作业标准是否正确
控制图法		管理图 其作用是发现或区分生产中的异常和偶然发生的偏差	种类 测量值(长度等能精密测量的值) (1) $\bar{x}$ -R 控制图(平均值和极差); (2) $\bar{x}$ -R 控制图(中位值和极差); (3) $\bar{x}$ 控制图(测量值)。计数值(不合格品等整数) (4) P 控制图(不合格品率) (5) Pn 控制图(不合格品数) (6) C 控制图(缺陷数) (7) u 控制图(单位缺陷数)

图 16.10 质量管理的七种工具

相关知识 ●  $\bar{x}$ -R 控制图

$\bar{x}$ -R 控制图是用生产现场取样的数据绘制的,由图可以判别标准偏差是否在控制界限内,其目的是保证产品质量。将长度、时间、重量等测量值的平均值  $\bar{x}$  和标准偏差的变化 R 分别作成线图, $\bar{x}$ -R 控制图是  $\bar{x}$  控制图与 R 控制图联用的一种形式。

由表 16.3 的数据绘制  $\bar{x}$ -R 控制图的方法如下:

表 16.3  $\bar{x}$ -R 控制图的数据表

$\bar{x}$ -R 管理图的数据表					No. _____		
产品名称	××形×轴		制造编号	△△ △△△	期间		
质量特点	外径(与 6.4mm 的差)		车间	△△	设备编号	□□□	
测量单位	1/1 000mm		日产量	△△△△	操作者	○○○○	
规格	最大	6.470mm	抽样	个数	5	检查员	○○○○○
	最小	6.400mm		间隔	1 小时		
规格号	×××		测量测器号	□□ □□□			

续表 16.3

日期														
序号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
测量值	$x_1$	47	19	19	29	28	40	5	35	27	23	28	31	22
	$x_2$	32	37	11	29	12	35	30	14	37	45	44	25	37
	$x_3$	14	31	16	42	45	11	12	32	26	26	40	21	19
	$x_4$	35	25	11	59	36	38	53	11	20	37	31	32	17
	$x_5$	20	34	44	38	25	33	26	38	35	32	18	27	14
合计		178	116	101	197	146	157	116	160	145	163	161	134	139
平均值 $\bar{x}$		35.6	29.2	20.2	39.4	29.2	31.4	23.2	32.0	29.0	32.6	32.2	26.8	27.8
极差 $R$		27	18	33	30	33	29	21	33	17	22	26	10	33
日期														
序号		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
测量值	$x_1$	37	25	7	38	35	31	12	52	20	29	28	42	
	$x_2$	32	40	31	0	12	20	27	42	31	17	27	34	
	$x_3$	12	24	23	41	29	35	38	52	15	41	22	15	
	$x_4$	38	50	18	40	48	24	10	24	3	32	32	29	
	$x_5$	30	19	32	37	20	47	31	25	28	22	54	21	
合计		149	158	111	156	144	157	148	195	97	171	163	141	
平均值 $\bar{x}$		29.8	31.6	22.2	31.2	28.8	31.4	29.6	39.0	19.4	34.2	32.6	28.2	
极差 $R$		26	31	25	41	36	27	28	28	28	25	32	27	
$n$	$A_2$	$D_4$	$D_3$	$\bar{x}$ 管理图						$\bar{R}$ 管理图				
4	0.73	2.28	—	$\Sigma \bar{x} = 746.6 \quad \bar{\bar{x}} = 29.9$						$\Sigma R = 686 \quad \bar{R} = 27.4$				
5	0.58	2.11	—	$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 45.8$						$UCL = D_4 \bar{R} = 57.8$				
				$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 14.0$						$LCL = D_3 \bar{R} = -$				

注：数据为实际测量值与 6.4mm 之差放大 1000 倍

- ① 收集数据；
- ② 将测量值与基本尺寸 6.4mm 之差放大 1000 倍；
- ③ 计算每组的平均值  $\bar{x}$ ；
- ④ 计算每组的极差  $R, R = x_{\max} - x_{\min}$ ；
- ⑤ 计算各组平均值  $\bar{x}$  的总平均值  $\bar{\bar{x}}$  和极差  $R$  的总平均值  $\bar{R}$ ；
- ⑥ 用公式分别求出控制图的上、下控制界限；
- ⑦ 用坐标纸等绘制出控制图(参见图 16.11)。

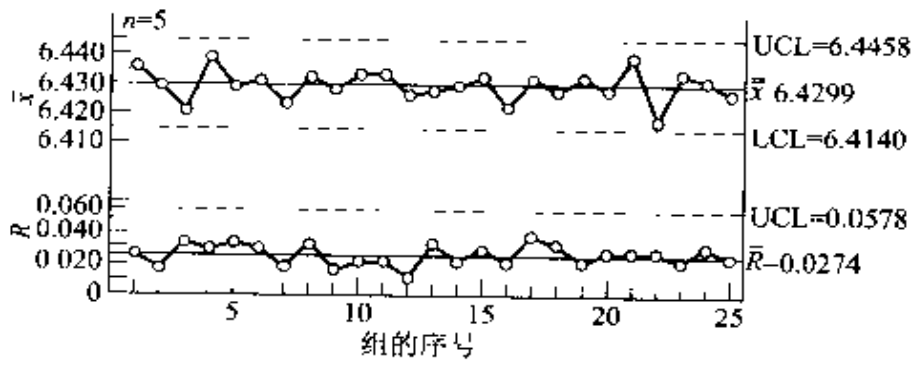


图 16.11  $\bar{x}$   $R$  控制图

## 5 安全管理的构成与功能

### 要 点

安全管理是综合考虑“物”的生产管理功能和“人”的管理,目的是生产更好的产品。它如同车的两个车轮,是保证生产顺利进行的重要管理工作。

安全管理可以保证操作者在工作时的安全或提供便于工作的生产环境。现在的工厂已将产品的质量、安全保证、以较高的生产效率进行生产作为经营上的重要课题进行研究。

随着生产活动的进行,排除的有害气体及废弃物已形成对环境的破坏。因此,保护环境是企业必须解决的课题。

### 解 释

工伤

#### ● 工伤及其防止

所谓工伤是指劳动者因与工作有关事故死亡或受伤,因工作引发疾病等。工伤有的是因设施或设备不良引起的,有的则是操作者自己不注意安全而发生的伤亡(参见图 16.12)。

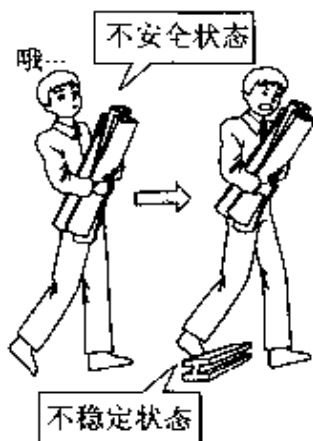


图 16.12

安全管理

安全管理活动是指为了消除上述安全隐患,防止伤亡发生而进行的管理活动。

#### ● 安全管理活动

为了防止工伤亡发生,首先要对操作者进行全面的安全教育,消除潜在的危险因素,其措施要具体化。为此要组织一些安全管理活动(参见图 16.13),必须进行“眼睛看得着的管理”。

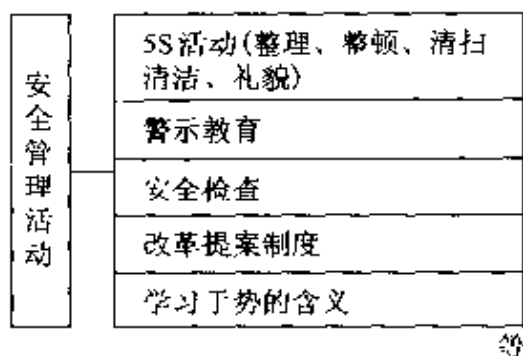


图 16.13 各种安全管理活动

● 环境保护

工业公害

图 16.14 列出了几种工业公害,这是职业病或工伤的根源,同时也对周围环境带来了恶劣影响,必须彻底根除这些公害。

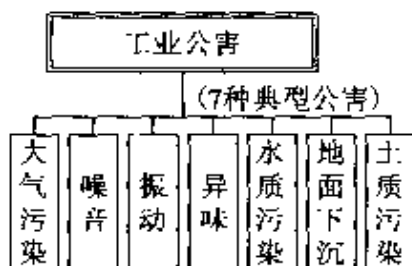


图 16.14 主要的工业公害

环境基本法

防止公害,首先必须遵守环境基本法及其相关法规。因公害已涉及到整个地球,所以要从全球的角度出发保护环境。为了提高人类健康和改善生活环境,要求企业在制造对生活有利的产品的同时,必须以积极的态度致力于环境保护。

相关知识 ● 海茵理法则

1930年,海茵理对5万件工伤案进行研究发现,通常在发生一起重伤事故的工厂里,会有因相同的原因而受轻伤的事故29件,还有约300件事件中,虽然没有身体受伤者,但受到了惊吓等潜在的伤害(参见图16.15)。

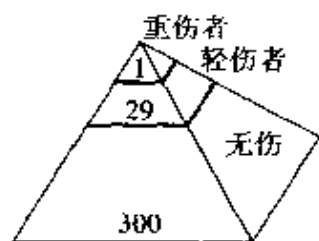


图 16.15 海茵理的金塔

由此说明,如果不注意安全,在330次事故当中就可能会出现1次大的事故。

## 6 工厂经营

### □ 要 点

工厂经营要根据自己的经营方针“生产什么产品、生产多少”来决定工厂的规模及机构组成,然后决定具体的实施方法(销售计划、研制开发、生产管理、物资管理、人事劳动管理等)。

工厂在生产时要努力保证或降低生产成本,同时也要使生产管理与市场营销协调,并且具有柔性,以便在开发新事业和新产品时,生产系统有应变的能力。

### □ 解 释 ● 经营计划与生产活动

工厂建设和运作时,必须遵守相关法规,参见图 16.16。企业必须认识到其社会责任的重要性,工厂与当地居民、自治体是共存的,只有充分认识到自己的责任,才能为创造文化和保护自然作出贡献。

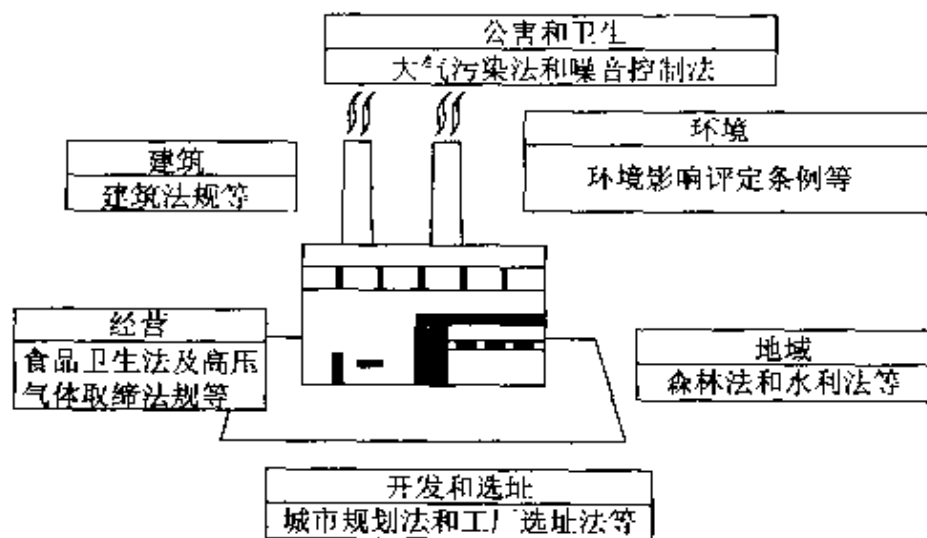


图 16.16 与工厂有关的法规

### 生产周期

生产活动必须按照图 16.17 所示的生产周期运作,优质的产品是与快速、高效及低成本紧密相连的。

### ● 经营管理的项目

### 经营管理

工厂在进行经营管理时,要以表 16.4 所列的管理项目作为目标。在确定管理项目和应用时则要注意下面几点:

### 目的明确化

① 目的明确化 针对目标重点管理;

### 责任明确化

② 责任明确化 责任关系明确;

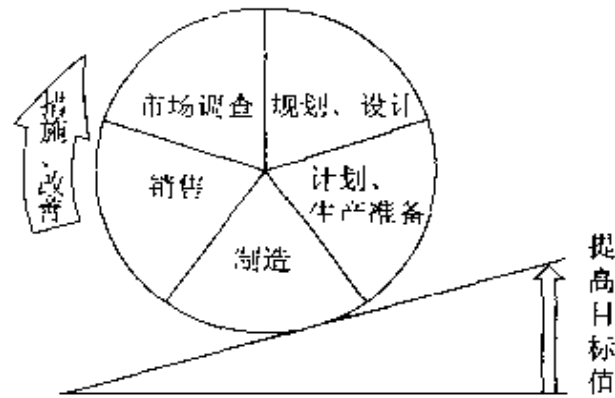


图 16.17 生产循环

“三现”主义  
管理周期短期  
化

- ③ “三现”主义 立足“现场”，分析“现货”，注重“现实”；
- ④ 管理周期短期化 收效快，经过调整的项目能在较短的时间内收到效果。

表 16.4 经营管理的主要项目

生 产	成本	生产效率 经费 设备使用率	劳 务	教育 赔偿制度 出勤率 技能资格
	质量	废品率 QC 循环		购 买 销 售
	交货期	生产完成率 库存量 生产期间		
综合(利润)				
盈亏临界点	$\frac{\text{固定费用}}{\left(1 - \frac{\text{可变费用}}{\text{销售额}}\right)}$			
最大利润	$\text{销售额} - \text{可变费用}$			

## 7 综合生产系统

**□ 要点** 综合生产系统是“将从订货到发货这段生产活动综合且有效的管理和运作”的系统。FAS是计算机自动管理系统。

**□ 解释** ● **计划和管理**

- ① 根据订货和销售计划制定总体的生产计划；
- ② 对产品的规划、设计也要进行管理(概念设计、基本设计、详细设计等)；
- ③ 要制定材料及外购零件计划,便于购买和管理；
- ④ 根据所有机器和装备情况制定生产计划；
- ⑤ 按照生产计划进行制造活动,组织生产管理,使之能按计划进行；
- ⑥ 完成产品后,按计划发货。

按以上程序,通过计划、执行、管理这样的模式来组织生产活动。随着计算机的发展,各部门已经可以配备价格低且小型化的计算机,将这些计算机与通信有机地结合,就可以使制定的计划和执行的生产活动等所有的管理全部用计算机控制,这就是综合生产系统(参图 16.18)。

销售管理系统	规划和设计系统	生产管理系统
<计划> 销售计划 预算计划 <执行> 销售、出厂和发送 市场预测调查 <管理> 销售和库存管理 出厂及发送管理	<计划> 产品规划 综合生产计划 <执行> 产品设计 制造设计 <管理> 设计和制造信息管理 设计管理	<计划> 生产执行计划 外购及外协计划 <执行> 制造 订货和购买 <管理> 购买和库存管理 生产管理和质量管理

图 16.18 综合生产系统

### ● 销售管理系统

从销售到产品管理部门都属于该系统的范畴。宗旨是根据订货或市场预测制定出产品销售计划,对产品从发货到销售进行管理。



用计算机处理的工作：

- ① 市场预测和调查的统计、分析、预测→设计产品及价格预测；
- ② 订货、库存及发货等管理。

### ● 规划、设计系统

该系统包括规划和设计满足顾客需求(款式、功能、价格等)的产品的整个过程、根据所有设备的状况制定自制件、外购件及外协件等的制造计划(参见图 16.19)。

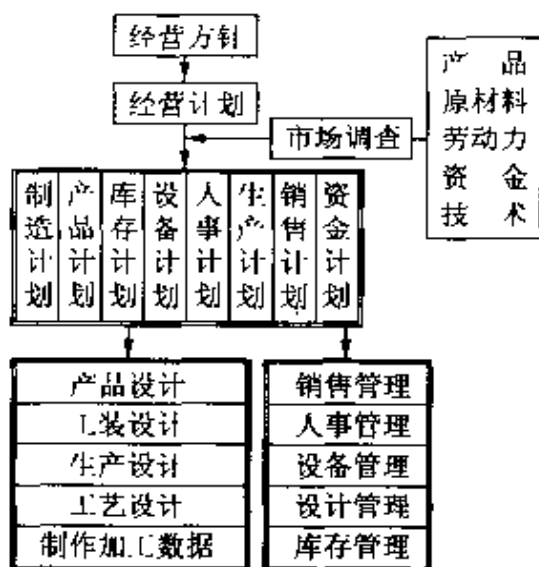


图 16.19 规划和设计

使用计算机处理的主要工作：

- ① 使用仿真软件仿真；
- ② 使用 CAD/CAM 软件完成设计、制图和数据加工；
- ③ 其他内容，如成本预算和销售价格等。

### ● 生产管理系统

生产管理系统控制着整个制造过程，从零部件的加工到组装、检查，直至产品完成(参见图 16.20)。

制造实施计划

① 制造实施计划 分配加工各零件所需要的生产设备和制定日程表。

外购和外协计划

② 外购和外协计划 制定计划时，要注意外购件和外协件的订货和交货时间应与组装时间吻合。

制造的实施和管理

③ 制造的实施和管理 使生产设备(FMS、NC 机床、工业机器人等)运转，进行生产活动。通过计算机控制，使生产按计划进行，保证交货期。另外，要在生产过程中进行质量管理，以消除不

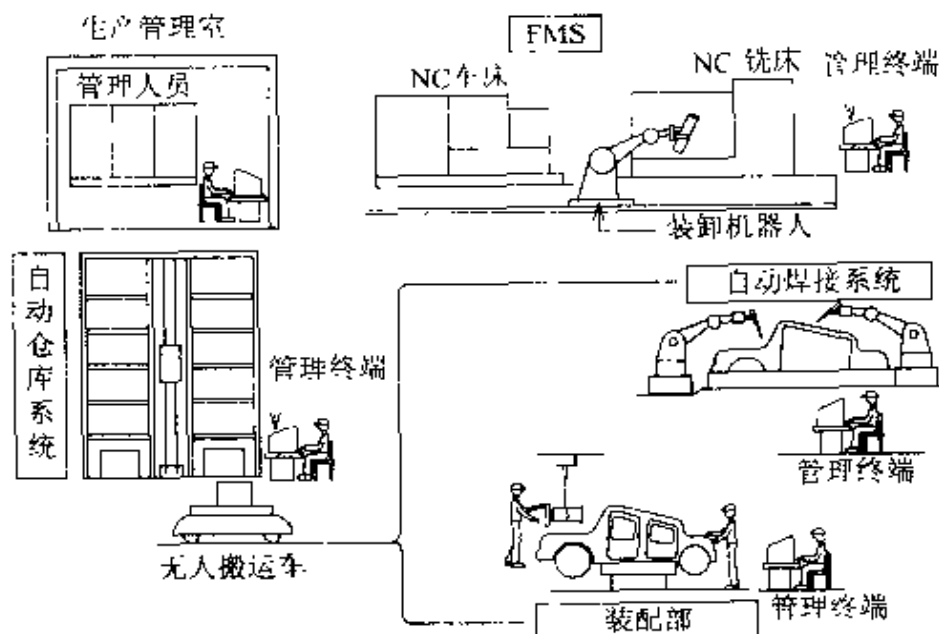


图 16.20 生产线

合格品。

#### 工厂内的物流管理

④ 工厂内的物流管理 在自动仓库,生产设备和各生产设备间使用自动搬运车搬运零件和制成品,使生产活动不间断。物流管理不仅是对生产中的物流进行管理,还要对自动仓库等库存物资进行管理。

#### 生产信息管理

⑤ 生产信息管理 收集和管理生产活动需要的信息。如生产进展的信息、自动仓库的库存信息、零件和成品的物流信息等。

### ● 生产系统中的物流和信息流

生产管理系统使用计算机的目的是实现自动化。如自动仓库与各生产部门间使用无人搬运车搬运材料和零件等都由生产管理室的计算机统一控制。通常,各生产部门的计算机通过工厂内的通信网(网络)进行连接。若在工厂内建立了生产管理系统,就可以达到物流与信息流的一体化(参见图 16.21)。

## □ 相关知识

### ● 词语解释

生产管理中常用的词语如下:

- FA** (factory automation): 工厂自动化,也可以理解为用计算机系统控制的生产系统。主要用于实现多品种小批量生产。
- FMS** (flexible manufacturing system): 将多台 NC 机床和机器人等组成的由计算机控制进行加工的系统。可以加工多品种的零件。
- CAD** (computer aided design): 使用计算机设计和制图的系统。

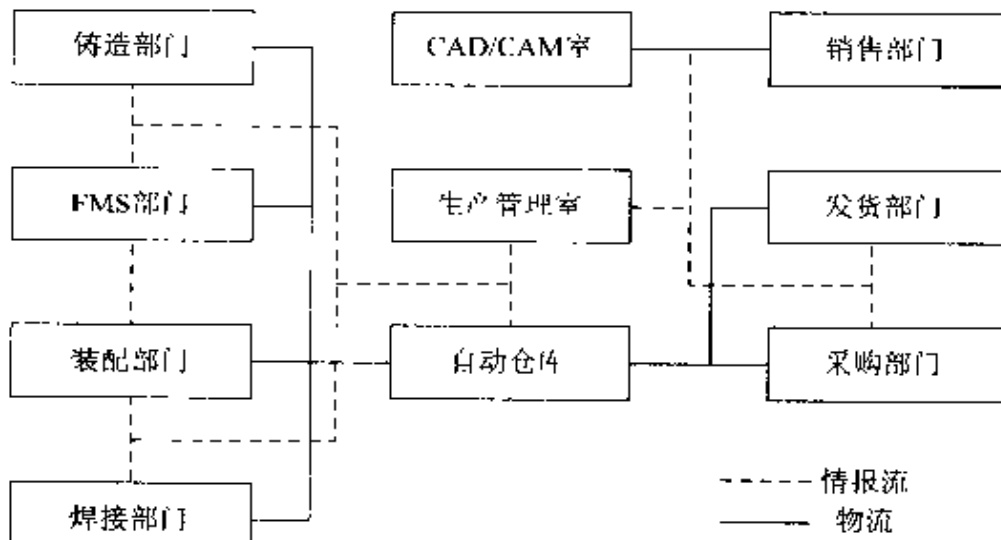


图 16.21 物流和信息流

## CAM

CAM(computer aided manufacturing):使用计算机将加工计划转换成制造数据的系统。



## 第17章

# 公式集

要进行机械设计和制造，除了必须了解其原理和结构之外，还必须掌握材料的性质、使用各种公式进行计算，并利用各种量测仪器对机械及其零件进行测量。

与机械工程有关的公式很多，受篇幅的限制，在此不可能全部编录。本章主要归纳了各种单位的分析方法、单位换算、三角函数、微分、积分等部分的数学基础内容。现在，计算器的功能越来越强，可以简便地进行函数计算，因此这里没有编录函数表。

- 责任编委  
高桥日吉
- 执 笔  
高桥日吉

# 1 SI 单位

## □ 要 点

“SI 单位”中的 SI 是国际单位制一词的缩写,是法语 *systeme international d'Unités* 中前两个单词的第一个字母的组合。

## □ 解 释

### ● 单位统一的意义

由于国际化进程不断发展,超越国界的人员、商品、技术、文化等各方面的交流越来越广泛。很多人在海外旅行时不知如何兑换货币,这时人们就会想到,如果有世界通用货币就不会有这样的麻烦。对科学技术中使用的单位也是如此,因而提出了采用统一标准的要求。

1961年,国际度量衡委员会在以米、千克、秒为基本单位的 MKS 单位制的基础上,制定了国际统一的单位体系。从此以后,许多国家都采用了 SI 单位制,日本从 1992 年开始推行 SI 单位制。

### ● SI 基本单位与 SI 辅助单位

SI 基本单位参见表 17.1, SI 辅助单位参见表 17.2。

SI 基本单位

SI 辅助单位

表 17.1 SI 基本单位

量	名称	符号	备注
长度	米	m	
质量	千克	kg	
时间	秒	s	
电流	安[培]	A	
热力学温度	开[尔文]	K	$K = ^\circ C + 273.15$
物质的量	摩[尔]	mol	
发光强度	坎[德拉]	cd	

表 17.2 SI 辅助单位

量	名称	符号
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

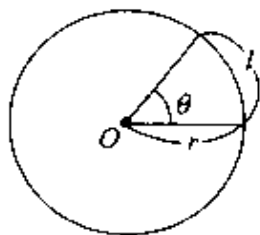


图 17.1 弧度的意义

其中,平面角的单位弧度所表示的是图 17.1 所示的圆弧  $l$  除以半径  $r$  所得到的角度值的单位。 $2\pi(\text{rad}) = 360^\circ$

● SI 组合单位(参见表 17.3)

表 17.3 SI 组合单位

量	名称	符号	SI 量纲	定义
频率	赫[兹]	Hz	$s^{-1}$	$s^{-1}$
力	牛[顿]	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	$kg \cdot m/s^2$
压力、应力	帕[斯卡]	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	$N/m^2$
能量、功、热[量]	焦[耳]	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	$N \cdot m$
功率、电功率	瓦[特]	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	$J/s$
电荷[量]	库[仑]	C	$s \cdot A$	$a \cdot s$
电位、电压、电动势	伏[特]	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	$W/A$
电容	法[拉]	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	$C/V$
电阻	欧[姆]	$\Omega$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	$V/A$
电导	西[门子]	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	$A/V$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$V \cdot s$
磁感应强度	特[斯拉]	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$Wb/m^2$
电感	亨[利]	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	$Wb/A$
摄氏温度	摄氏	$^{\circ}C$	K	K
光通量	流[明]	lm	$cd \cdot sr$	$cd \cdot sr$
光照度	勒[克斯]	lx	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$	$lm/m^2$

□ 相关知识 ● 日本使用度量单位的历史

日本自明治时期以后,根据度量衡法同时采用日制、公制和英制作为度量衡单位。昭和 33 年(公元 1959 年)制定了使用统一的公制单位的法规,规定在交易和证件中不得使用非公制单位。从昭和 61 年(公元 1987 年)开始,JIS 标准中规定优先使用国际单位制的 SI 单位。平成 4 年(公元 1992 年)通过修正计量法,使 SI 单位制成为主流。

“一寸之先不可知”、“寸虫也有五分魂”是日本自古以来用日制单位作比喻的谚语,可能今后的人们就无法理解这些谚语了。

**■ 例 题**

光通量与光照度的比值表示什么？

答]  $\frac{\text{光通量}}{\text{光照度}} = \frac{\text{cd} \cdot \text{sr}}{\text{m}^2 \cdot \text{cd} \cdot \text{sr}} \quad \text{m}^2 \cdots \cdots \text{面积}$

所以，光通量与光照度的比值表示光束照射的光斑的面积。



## 2 单位与单位的换算

### □ 要点

日本的货币单位是日元,若将10日元、100日元、1000日元合成为新的单位来表达,则在数字表达上就会更方便。1个100日元硬币与100个1日元硬币当然是等价的。这样对某一个量用不同的单位来表达就叫做单位换算。在货币兑换市场上,经常会出现货币价值的变化,但在此要说明的是那些通用的、相对不变的单位之间的换算。

### □ 解释

在进行单位的等价换算时,常常是用于基本单位的前面改变单位符号的方法来表示,这些单位之间一般都是10的倍数关系。但有一些外来单位和日本传统的单位之间并不满足10的倍数关系。

#### ● 公制长度单位(参见表17.4)

表 17.4 公制长度单位

单 位	符 号	换 算
1 微米	$\mu\text{m}$	0.000001m
1 毫米	mm	0.001m
1 厘米	cm	0.01m
1 分米	dm	0.1m
1 米	m	1m
1 千米	km	1 000m
1 海里(nautical mile)		1 852m

#### ● 公制面积单位(参见表17.5)

表 17.5 公制面积单位

单 位	符 号	换 算
1 平方毫米	$\text{mm}^2$	0.000001 $\text{m}^2$
1 平方厘米	$\text{cm}^2$	0.0001 $\text{m}^2$
1 平方分米	$\text{dm}^2$	0.01 $\text{m}^2$
1 平方米	$\text{m}^2$	1 $\text{m}^2$
1 平方千米	$\text{km}^2$	1 000 000 $\text{m}^2$

● 公制体积单位(参见表 17.6)

表 17.6 公制体积单位

单 位	符 号	换 算
1 立方厘米	cm <sup>3</sup>	0.000001m <sup>3</sup>
1 立方分米	dm <sup>3</sup>	0.001m <sup>3</sup>
1 立方米	m <sup>3</sup>	1m <sup>3</sup>
1 毫升	mL	0.001L
1 分升	dL	0.1L
1 升	L	1L
1 千升	kL	1000L

● 英制单位(参见表 17.7)

英制单位是以美国、英国为主的一些国家一直采用的单位制,其中长度用码来表示,重量单位用磅来表示。日本在明治 42 年(公元 1910 年)修改的度量衡法规定英制单位和明治 24 年(公元 1892 年)规定的公制单位都可以使用。现在,英国和爱尔兰等国家都在逐渐向使用公制单位过渡。

表 17.7 英制单位

单 位	符 号	换 算	单 位	符 号	换 算
1 英尺	in	2.5400cm	1 盎司	oz	28.350g
1 英寸	ft	0.30480m	1 磅	lb	0.45359kg
1 码	yd	0.91440m	1 液量盎司	fl oz	28.412ml
1 英里	mile	1.6093km	1 加仑	gal	4.5460L

● 量纲(dimension)

量纲表示某个单位是由那些基本单位构成的,其核心是由长度  $L$ 、质量  $M$ 、时间  $T$  组成。由两个单位构成一个新的单位时,可以利用量纲对其进行检查。例如,由体积和密度构成的量纲为  $L^3 \times L^3 M = M$ ,所表示的是质量单位(参见表 17.8)。

表 17.8 量纲

长度	$L$	流量	$L^3T^{-3}$
质量	$M$	压力	$L^{-1}MT^{-2}$
频率	$T^{-1}$	时间	$T$
功率	$L^2MT^{-3}$	加速度	$LT^{-2}$
线动量	$LMT^{-1}$	弹性模量	$L^{-1}MT^{-2}$
角动量	$L^2MT^{-1}$	膨胀率	$L^2T^{-1}$
力矩	$L^2MT^{-2}$	角速度	$T^{-1}$
能量、功、热量	$L^2MT^{-2}$	角加速度	$T^{-2}$
角速度	$T^{-1}$	惯性矩	$L^2M$
面积	$L^2$	收缩率	$LM^{-1}T^2$
密度	$L^{-3}M$	表面张力	$MT^{-2}$
速度	$LT^{-1}$	绝对黏性系数	$L^{-1}MT^{-1}$
体积	$L^3$		

### ● 词头符号

对于用一定的单位表达的量,其数值可能从无限趋近于0的非常小的数字到十分大的数字,在非常大的范围内变化。因此,按10的整数倍规定进位制比较方便。可以在基本单位前加上一些符号来表示进位的情况,这些符号就称为词头。从 $10^{-8}$ 到 $10^{18}$ 分成16级,每一级分别有一个词头。表17.9中给出了一些主要的词头。

例如,1000m为 $10^3$ m,如果在单位前面加上词头k,就可以表示为1km。

表 17.9 主要的词头

倍数	指数	名称	符号
1 000 000 000 000	$10^{12}$	太[拉]	T
1 000 000 000	$10^9$	吉[咖]	G
1 000 000	$10^6$	兆	M
1 000	$10^3$	千	k
100	$10^2$	百	h
10	$10^1$	一	da
0.1	$10^{-1}$	分	d
0.01	$10^{-2}$	厘	c
0.001	$10^{-3}$	毫	m
0.000001	$10^{-6}$	微	$\mu$
0.000000001	$10^{-9}$	纳[诺]	n

● 功、功率和热流量之间的单位换算(参见表 17.10)

表 17.10 功、功率和热流量之间的单位换算

PS	kW	kcal/h
1	0.7355	632.53
1.3596	1	860

■ 例 题

① 将速度 60km/h 换算为英制单位。

**答**  $60 \times 1.609 = 96.5$  (mile/h)

② 距离 100m 等于多少码?

**答**  $\frac{100}{0.914} = 109$  (yd)

③ 假定一个人每天消耗的热量为 2500 kcal, 计算一个人的平均功率为多少千瓦?

**答**  $\frac{2500}{860} = 2.9$  (kWh),  $\frac{2.9}{24} = 0.121$  (kW)

④ 将距离 42 195 m 用带词头的单位来表示。

**答**  $42\ 195 = 42.195 \times 10^4 = 42.195$  (km)

⑤ 50 坪的土地可换算为多少平方米。

**答**  $50 \times 3.3057 = 1\ 655$  (m<sup>2</sup>)

# 3 三角函数

**要 点** 为了表示在直角坐标系内按一定半径作圆周运动的点的位置, 可以用点的横坐标值和纵坐标值来表示。此时, 点的纵横坐标值的变化与圆轨迹上的点构成的直角三角形之间存在一定的函数关系。

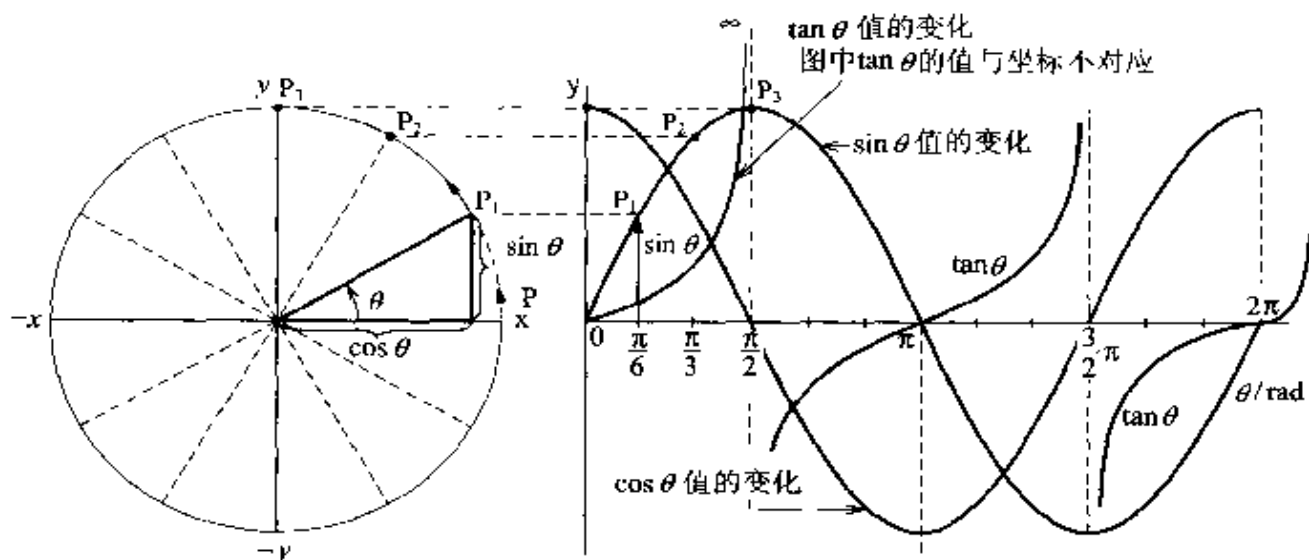


图 17.2

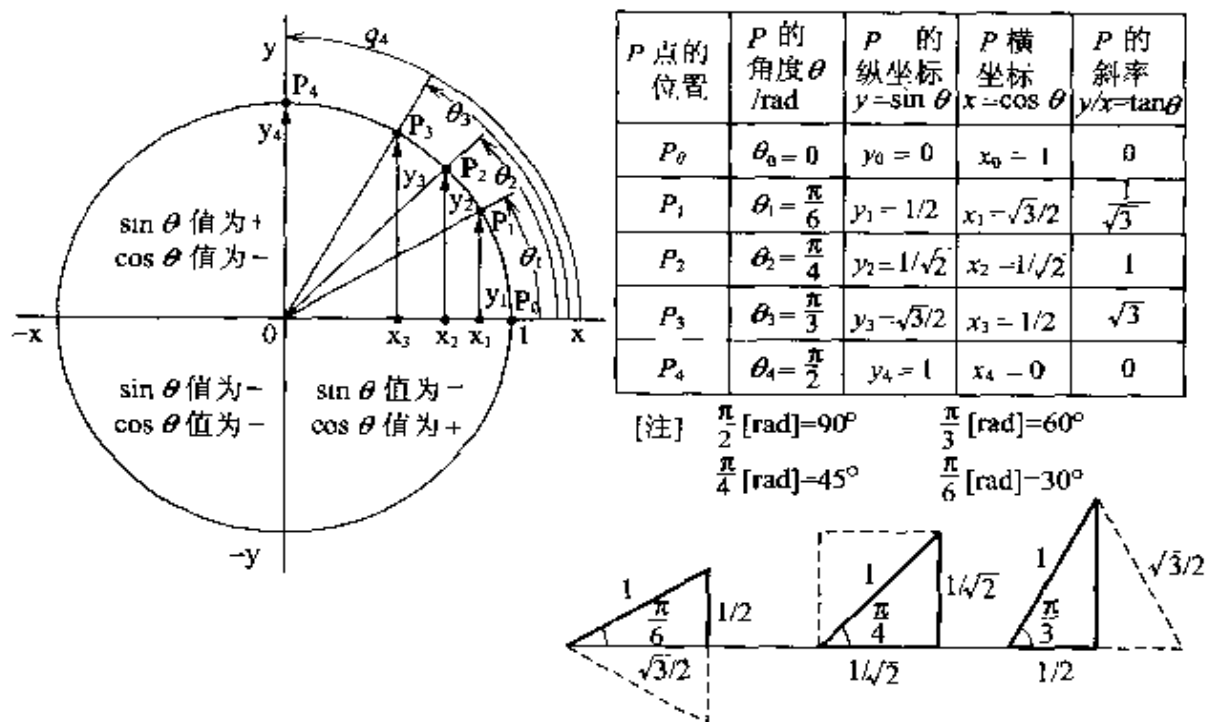


图 17.3



解

### 释 ● 三角函数的分析方法

从作圆周运动的点向下作垂线,与横轴相交,再从该交点向圆心引一水平线段,这两条互相垂直的线段与过运动点的半径构成一个直角三角形。这个三角形的垂直边与斜边的比值用  $\sin \theta$  ( $\theta$  为三角形的斜角,即斜边与横轴正方向之间的夹角)来表示,底边与斜边的比值用  $\cos \theta$  来表示,垂直边与底边的比值用  $\tan \theta$  来表示(参见图 17.1 和图 17.2)。

### ● 三角函数公式(参见表 17.11)

表 17.11 三角函数公式

$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$
$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$
$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$
$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$
$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \cdot \tan \beta}$
$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$
$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$
$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$
$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$
$\tan \alpha \pm \tan \beta = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}$
$\sin^2 \alpha - \sin^2 \beta = \cos^2 \beta - \cos^2 \alpha = \sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \beta)$
$\cos^2 \alpha - \sin^2 \beta = \cos^2 \beta - \sin^2 \alpha = \cos(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta)$
$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta)$
$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta)$
$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \sin(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} \sin(\alpha + \beta)$
$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$
$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$
$\tan 2\alpha = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha}$

**例 题**

计算图 17.4 所示三角形的底边长度  $x$ 。

**答**  $x = \sqrt{2} \cos \frac{\pi}{4} + 2 \cos \frac{\pi}{6}$   
 $= \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} + 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1 + \sqrt{3} = 2.73$

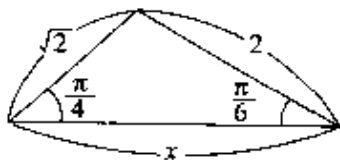


图 17.4

## 4 导数与积分

### □ 要点

所谓求导数就是从某一曲线上取出一个微小部分,求该微小部分的切线的斜率。就如交通工具的速度与时间的关系那样,当有两个变量之间存在一定的函数关系时,这两个量之间的关系就可以用曲线来表示。计算和表达该曲线的切线的倾斜程度的方法就叫做导数。

所谓求积分,可以认为是对某一物体的面积或体积等进行细分后再求和的计算方法。求导数和求积分之间存在互逆的关系。

### □ 解释 ● 导数和积分公式

主要的导数公式和积分公式分别如表 17.12 和表 17.13 所示。

表 17.12 导数公式

函 数	微 分
$y=c$	$y'=0$
$y=x$	$y'=1$
$y=x^n$	$y'=nx^{n-1}$
$y=a^x$	$y'=a^x \log a (a>0)$
$y=e^x$	$y'=e^x$
$y=\log x$	$y'=\frac{1}{x}$
$y=\log_a x$	$y'=\frac{1}{\log a} \cdot \frac{1}{x}$ ( $a>0, a \neq 1$ )
$y=\sin x$	$y'=\cos x$
$y=\cos x$	$y'=-\sin x$
$y=\tan x$	$y'=\sec^2 x$

表 17.13 积分公式

函 数	积 分
$y=1$	$\int 1 dx = x$
$y=x$	$\int x dx = \frac{1}{2}x^2$
$y=x^n$	$\int x^n dx = \frac{1}{n+1}x^{n+1}$
$y=\frac{1}{x}$	$\int \frac{1}{x} dx = \log  x $
$y=a^x$	$\int a^x dx = \frac{a^x}{\log a}$
$y=e^x$	$\int e^x dx = e^x$
$y=\sin x$	$\int \sin x dx = -\cos x$
$y=\cos x$	$\int \cos x dx = \sin x$
$y=\tan x$	$\int \tan x dx = -\log  \cos x $

### ● 导数和积分

图17.5所示为某电车从A站到B站的运行过程中,运行仪表



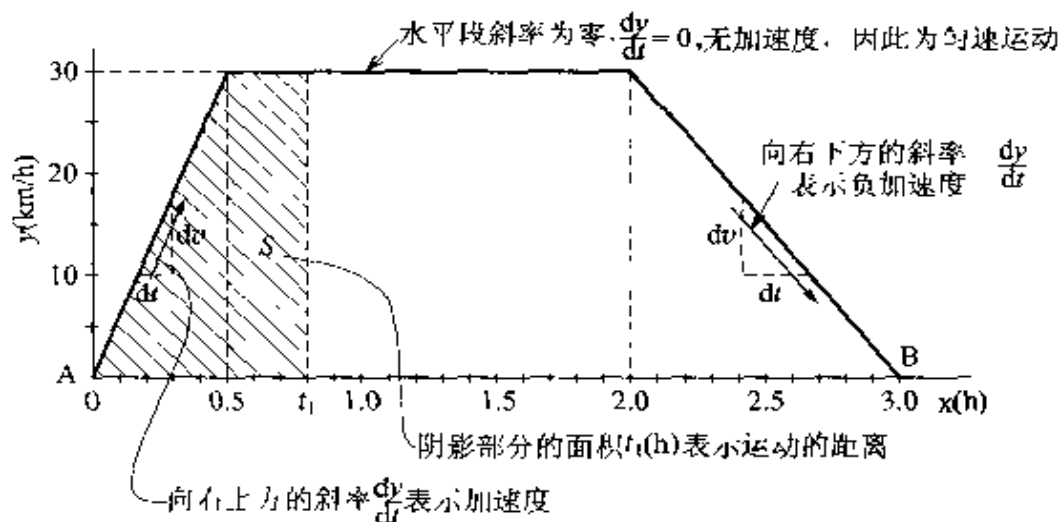


图 17.5

显示的数据, 横轴  $x$  表示时间, 纵轴  $y$  表示速度。该曲线的倾斜程度表示速度对于时间的变化率。计算出某一时刻曲线的倾斜程度(导数), 就可以求得在该时刻的加速度。

另一方面, 若计算出某一时刻以前曲线所包围的面积(积分), 就可以求得到该时刻为止所经过的总距离。

### 相关知识 ● 积分的思想

先将某种形状的面积或体积进行细分, 再求面积或体积大小的方法就是积分的方法。如图 17.6 所示, 要计算已经卷成钢板卷

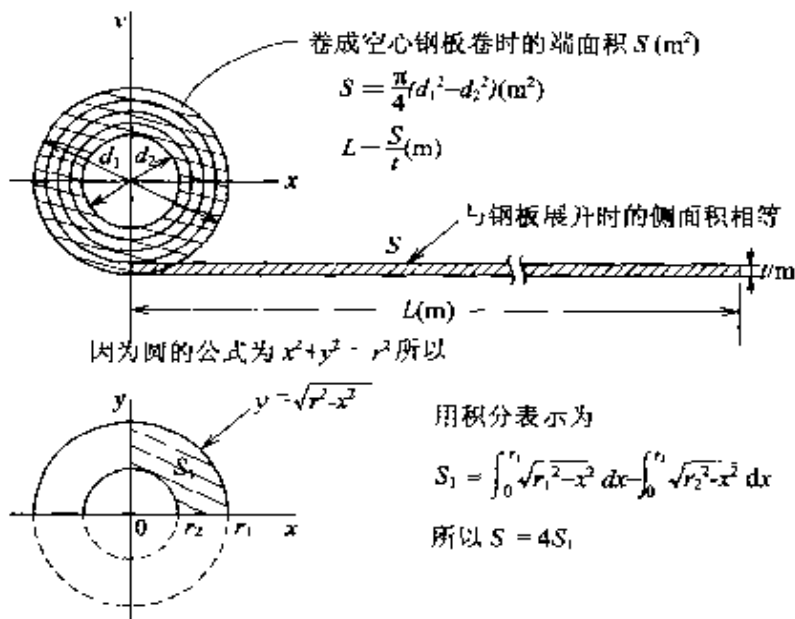


图 17.6 积分的思想

的钢板长度时,不可能再将钢板卷展开来测量,可以先计算出钢板卷的中空截面的面积,再将面积除以钢板的厚度,就可以计算钢板的长度了。可以说,积分的思想就是将所要求的量划分为可以计算的微小单元,再将微小的单元进行求和的计算方法。

### 例 题

① 按图 17.5 中所示的曲线,电车从 A 站出发时的加速度有多大?

$$\text{答} \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{30}{0.5} = 60 \text{ km/h} (= 4.63 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2)$$

② 按图 17.5 中所示的曲线,电车到达 B 站时的加速度有多大?

$$\text{答} \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{30}{3-2} = 30 \text{ km/h}^2 (= 2.315 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2)$$

③ 按图 17.5 中所示的曲线,从 A 站到 B 站的距离有多远?

$$\text{答} \quad (1.5 + 3.0) \times \frac{30}{2} = 67.5 (\text{km})$$

④ 设有一物体从某一高度下落,初速度为  $0 \text{ m/s}$ ,经过时间  $t(\text{s})$  后物体下降的距离为  $y$ ,重力加速度  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ,则下降距离可以表示为  $y = \frac{1}{2}gt^2 (\text{m})$ 。试利用求导数和求积分的方法分别计算  $3\text{s}$  时物体的下落速度  $v(\text{m/s})$  和下降的距离  $s(\text{m})$ 。

$$\text{答} \quad a = \frac{dy}{dt} = \left( \frac{g}{2} t^2 \right) = 2 \times \frac{g}{2} t = gt = 9.8 \times 3 = 29.4 (\text{m/s}^2)$$

$$s = \int_0^3 y dy = \int_0^3 \frac{g}{2} t^2 dt = \left[ \frac{g}{2} \times \frac{t^3}{3} \right]_0^3 = \frac{9.8}{2} \times \frac{3^3}{3} = 44.1 (\text{m})$$

## 5 金属的物理性质

**要 点** 金属的种类很多,具有各种各样的性质。了解金属的质量、导热性能、硬度等性质,可以利用金属的各种物理常数。

**解 释** ● 物理性质

在机械中要使用各种各样的材料。在了解这些材料性质的基础上灵活运用这些材料,是设计制造高性能产品的关键。

表 17.14 各种金属的物理性质

金属	符号	原子量	熔点/℃	沸点/℃	比重	比热	热膨胀系数
锌	Zn	65.37	419.4	930	7.0	0.0935	29.18
铝	Al	27.1	658.7	1 800	2.56	0.2089	23.13
铋	Sb	120.2	630.0	1 440	6.70	0.1152	11.52
钨	W	184.0	3 400	4 000	18.77	0.0336	4.44
镉	Cd	112.4	320.9	778	8.7	0.0548	30.69
金	Au	197.2	1 063.0	2 530	19.3	0.0316	14.43
银	Ag	107.88	960.5	1 935	10.55	0.0556	19.21
铬	Cr	52.0	1 615	2 200	7.0	0.1039	6.8
钴	Co	58.97	1 480	3 000	8.74	0.1030	12.36
锡	Sn	118.7	238.9	2 270	7.3	0.0559	22.34
钛	Ti	48.1	1 800	3 000	3.59	0.1125	—
铁	Fe	55.84	1 530	2 450	7.86	0.1138	11.84
铜	Cu	63.57	1 083	2 310	8.65	0.0939	16.78
铅	Pb	207.2	327.4	1 725	11.4	0.0315	29.24
镍	Ni	58.68	1 452	2 900	8.5	0.1034	12.79
铂	Pt	195.2	1 755	4 300	21.5	0.0323	8.99
锰	Mg	54.9	1 230	1 900	8.0	0.1072	23.30
钼	Mo	96.0	2 550	3 700	8.62	0.0659	5.01

### 例 题

① 从表 17.14 中找出两种容易受热融化的金属材料。

**答** 锡、镉

② 从表 17.14 中找出一种质量轻而且耐热的金属材料。

答] 钛

③ 从表 17.14 中找出一种适合制造灯泡中灯丝的金属材料

答] 钨

# 6 机械工程方面的公式

**要 点**

本节介绍的公式与数学公式不同,是一些从机械工程方面必要的关系式和物理定义等推导出的使用方便的公式。利用这些公式可以对本书各章的内容进行必要的定量计算。

**解 释**

● 力学基础

① 向量的加减运算(参见图 17.7)

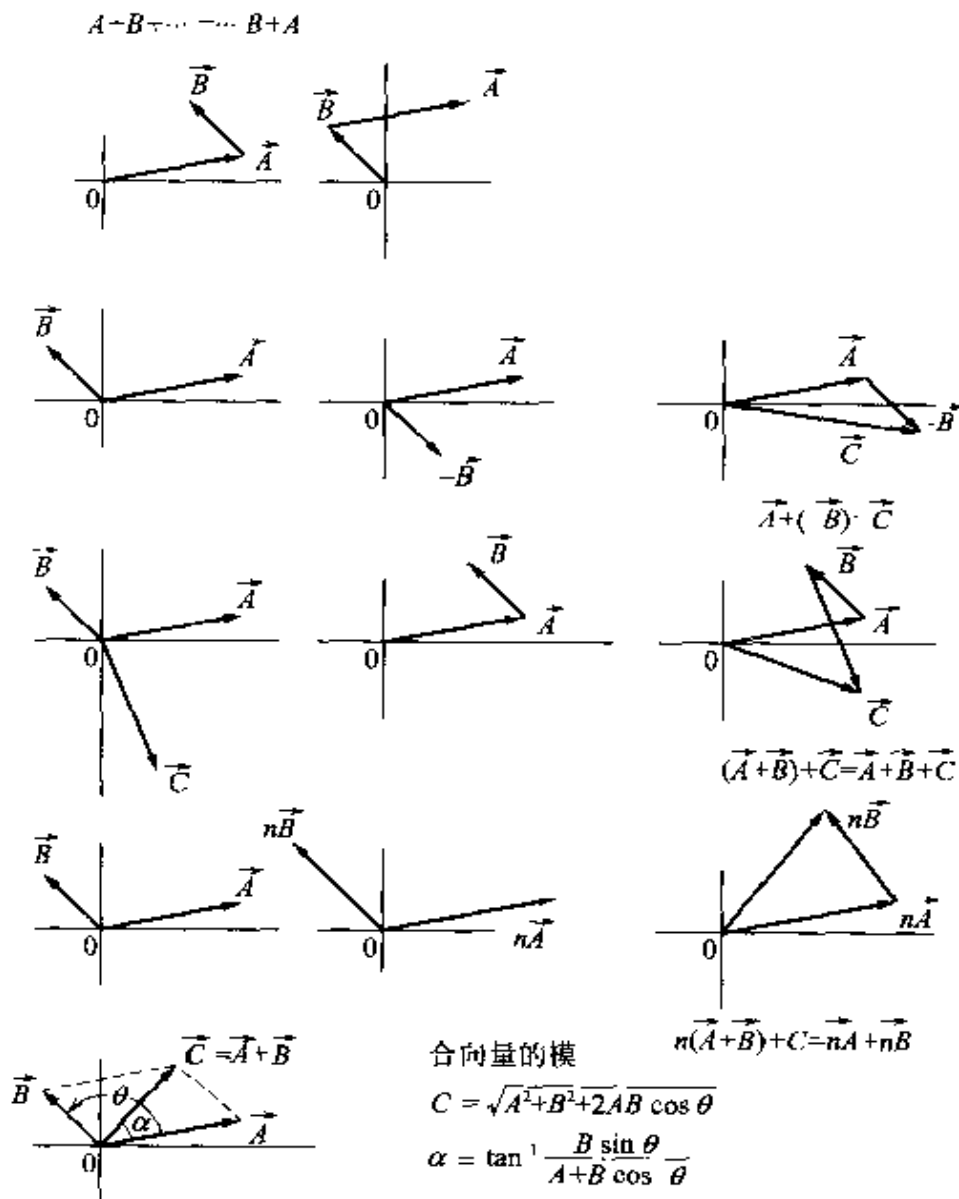


图 17.7 向量的合成

$$A + B = B + A$$

$$A - B = B - A$$

$$(A + B) + C = A + B + C$$

$$n(A + B) = nA + nB$$

② 功  $E$  与功率  $P$  (参见图 17.8)

$$E = F \cos \theta \cdot L$$

$$P = \frac{E}{t}$$

其中,  $F$  为使物体运动的力,  $\theta$  为力的作用方向与物体运动方向之间的夹角,  $L$  为运动的距离,  $P$  为单位时间内所做的功(功率),  $t$  为时间。

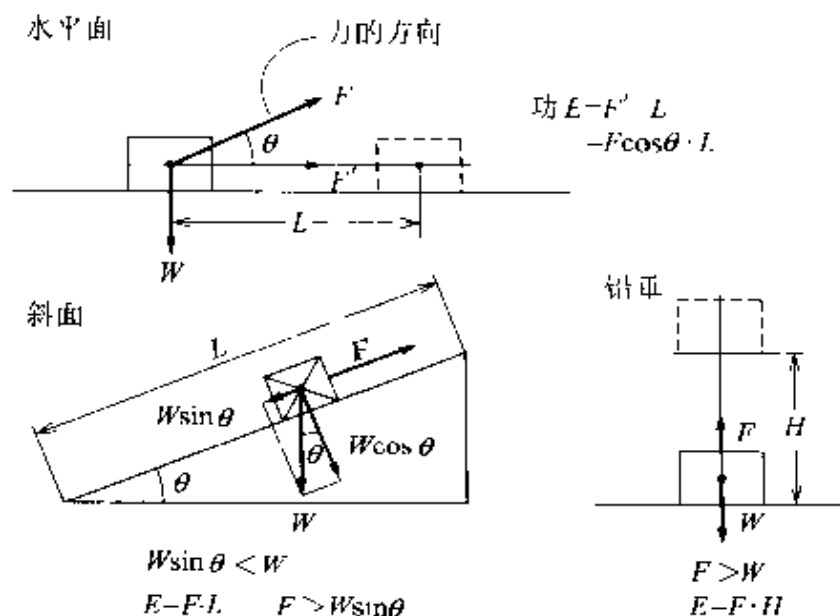
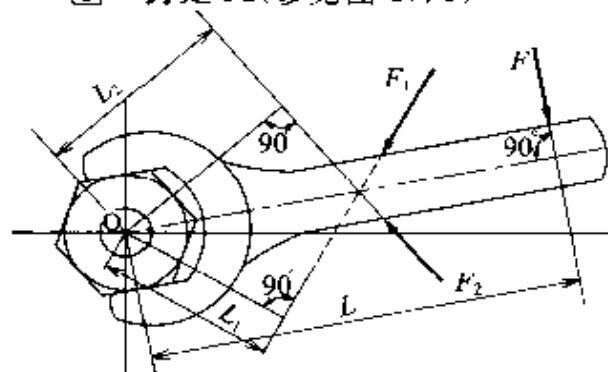


图 17.8 力和功

## ● 材料力学

① 力矩  $M$  (参见图 17.9)



作用于螺栓中心的力矩

$$① M = F \cdot L$$

$$② M_1 = F_1 \cdot L_1$$

$$③ M_2 = F_2 \cdot L_2$$

$M_1$  与  $M_2$  的方向相反

$$④ F, F_1, F_2 \text{ 同时作用下}$$

$$\Sigma M = M + M_1 - M_2$$

图 17.9 力的作用下产生的力矩

$$M = F \cdot L$$

其中,  $F$  为作用于物体的集中载荷,  $L$  为从某支点到力作用线的垂直距离。

② 应力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

其中,  $W$  为作用于物体的外力,  $A$  为受外力作用的物体的横截面积。如果外力为压力, 则产生的应力为压应力; 如果外力为拉力, 则产生的应力为拉应力。

③ 弯曲应力  $\sigma_b$

$$\sigma_b = M \frac{Y}{I}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{Z}$$

其中,  $M$  为梁的截面弯矩,  $Y$  为应力点到中性轴的距离,  $I$  为截面的惯性矩,  $Z$  为截面系数。

④ 应变  $\epsilon$

$$\epsilon = \frac{\delta}{l}$$

其中,  $\delta$  为物体受外力拉伸(或压缩)而产生的变形量,  $l$  为物体受外力作用之前的长度。

⑤ 欧拉公式(梁的屈服载荷  $W$  的计算公式)

$$W = \frac{n\pi^2 EI}{l^2}$$

其中,  $n$  为由梁的支撑条件决定的系数,  $E$  为梁的纵向弹性系数,  $I$  为梁的最小截面惯性矩,  $l$  为梁的长度。

⑥ 纵向弹性系数(杨氏模量)  $E$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{WL}{A\delta}$$

其中,  $\sigma$  为纵向应力,  $\epsilon$  为该方向的应变,  $W$  为纵向载荷,  $L$  为材料受外力作用前的长度,  $A$  为材料的横截面积,  $\delta$  为材料的伸长量。

⑦ 横向弹性系数  $G$

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

其中,  $\tau$  为剪应力,  $\gamma$  为剪应变。

⑧ 体积弹性系数  $K$

$$K = \frac{p}{\epsilon_v}$$

其中,  $p$  为材料整个表面上作用的应力,  $\epsilon_v$  为体积的变化率。

⑨ 线膨胀系数  $\alpha$

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)}$$

其中,  $L_1$  为物体在温度  $t_1$  下的长度,  $L_2$  为物体在温度  $t_2$  下的长度,  $t_1$  为物体在某一时刻的温度,  $t_2$  为物体温度变化后的温度。

⑩ 泊松比  $\nu$

$$\nu = \frac{\epsilon'}{\epsilon}$$

其中,  $\epsilon'$  为物体受纵向外力作用而产生的横向应变,  $\epsilon$  为物体受纵向外力作用而产生的纵向应变。

● 机械设计

① 齿轮的模数  $m$

$$m = \frac{d}{z}$$

其中,  $d$  为齿轮的分度圆直径,  $z$  为齿轮的齿数。

② 互相啮合的齿轮之间的中心距  $a$

$$a = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$$

其中,  $m$  为模数,  $z_1$  为齿轮 1 的齿数,  $z_2$  为齿轮 2 的齿数。

③ 互相啮合的齿轮之间的传动比  $i$

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

其中,  $n_1$  为齿轮 1 的转速,  $n_2$  为齿轮 2 的转速,  $d_1$  为齿轮 1 的分度圆直径,  $d_2$  为齿轮 2 的分度圆直径,  $z_1$  为齿轮 1 的齿数,  $z_2$  为齿轮 2 的齿数。

④ 受弯矩载荷轴的直径  $d$  的计算

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M}{\pi\sigma_a}}$$

其中,  $M$  为弯矩,  $\sigma_a$  为材料的弯曲许用应力。

⑤ 受扭矩载荷轴的直径  $d$  的计算

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_a}}$$

其中,  $T$  为扭矩,  $\tau_a$  为材料的许用剪应力。

⑥ 受弯曲力载荷轴的直径  $d$  的计算

$$d = \sqrt[3]{\frac{16Wl}{\pi\sigma_a}}$$

其中,  $W$  为轴颈上的载荷,  $l$  为轴颈的长度,  $\sigma_a$  为材料的弯曲许用



应力。

● 流体力学

① 伯努利定理

管内各处的位置水头、压力水头及速度水头三者之和不变：

$$h + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = H$$

其中， $h$  为位置水头， $p$  为压力， $\gamma$  为流体的单位密度， $v$  为流速， $g$  为重力加速度， $H$  为常数。

② 节流孔的流量  $Q$

$$Q = C_v A \sqrt{2gh}$$

其中， $C_v$  为速度系数， $A$  为节流孔的截面积， $g$  为重力加速度， $h$  为水头。

● 热力学

① 内燃机的指示功率  $N$

$$N = \frac{P_m \pi D^2 L z n a}{75 \times 60}$$

其中， $P_m$  为平均有效指示压力， $D$  为汽缸直径， $L$  为活塞冲程， $z$  为汽缸数， $n$  为曲轴转速 (r/min)， $a$  为常数 (对于双缸发动机  $a = 1$ ，对于 4 缸发动机  $a = 1/2$ )。

② 旋转轴的功率  $P$

$$P = \frac{2\pi N \tau}{75 \times 60}$$

其中， $N$  为旋转轴的转速 (r/min)， $\tau$  为扭矩。

③ 机械效率  $\eta$

$$\eta = \frac{P}{P + P_0}$$

其中， $P$  为有功功率， $P_0$  为无功功率。

④ 锅炉的效率  $\eta$

$$\eta = \frac{539G_c}{BH_t}$$

其中， $G_c$  为换算蒸发量， $B$  为每小时燃料消耗量， $H_t$  为单位质量燃料的发热量。



# 索引

## 数字及英文字母词汇

"三现"主义 .....	607	ISO 代码 .....	443
13 不锈钢 .....	106	LAN .....	388
18-8 不锈钢 .....	106	LSI .....	375
1 位 .....	371	MIG 焊接 .....	247
1 字节 .....	371	NAND 单元 .....	374
AI .....	383	NC 机床 .....	417
ALU .....	376	NOR 单元 .....	374
AND .....	373	NOT .....	373
APT .....	444	npn 型晶体管 .....	362
ASCII 码 .....	370	n 型半导体 .....	362
a 触点 .....	400	OR .....	373
BBS .....	391	OSI .....	392
BCD 码 .....	370	pH 不锈钢 .....	106
b 触点 .....	400	PID 控制 .....	406
CAD .....	610	pnp 型晶体管 .....	362
CAD/CAM .....	209	pn 结 .....	362
CAD/CAM .....	581	PS .....	488
CAM .....	611	PV 线图 .....	491
CD .....	229	p 型半导体 .....	362
CL 数据 .....	445	RAM .....	365
DCE .....	386	RAM .....	377
DSU .....	386	ROM .....	365
DTE .....	386	ROM .....	377
EIA .....	442	SI 辅助单位 .....	614
EIA 代码 .....	443	SI 基本单位 .....	614
EOB .....	442	SK 值 .....	133
FA .....	434	TOP/IP .....	381
FA .....	610	TOP/IP .....	392
FMS .....	610	TIG 焊接 .....	246
GPS .....	552	TSS .....	380
HP .....	488	TTL 电平 .....	375
ISDN .....	386	URL .....	391
ISO .....	442	VLSI .....	375
		V 型翼板 .....	544
		WAN .....	388
		WWW .....	391

WWW 浏览器 .....	397	标准轨距 .....	531
YAG 激光 .....	254	表 漆 .....	131
Y 合金 .....	114	丙 酮 .....	240

## 汉字词汇

### A

阿基米德定律 .....	542
安全管理 .....	604
安全性 .....	581
凹 模 .....	232
奥氏体 .....	92

### B

白铁皮 .....	120
拜尔制铝工艺 .....	113
半闭环控制 .....	425
半加器 .....	374
保护焊 .....	248
爆 缸 .....	497
本征层 .....	362
崩碎切屑 .....	263
比较测长仪 .....	314
比例极限 .....	236
闭环控制 .....	426
避免浪费 .....	598
臂 杆 .....	574
边缘应力 .....	61
编 译 .....	383
编码器 .....	374
编译器 .....	383
编译性语言 .....	382
变 钝 .....	278
变位置 .....	193
变位系数 .....	193

井条机 .....	586
并行处理 .....	380
玻璃纤维 .....	228
玻意耳-查斯定律 .....	490
泊松比 .....	46
泊松系数 .....	46
补 码 .....	370
不等角轴侧图 .....	204
不平度最大高度 .....	321
布尔代数 .....	373

### C

材料计划 .....	592
材料计划 .....	596
操作功能 .....	563
操作控制功能 .....	563
侧吹喷气式 .....	545
侧面刃铣刀 .....	260
侧视图 .....	204
测 钻 .....	305
测量值 .....	317
测微螺杆 .....	305
测微显微镜 .....	314
层 流 .....	466
插 补 .....	421
插秧爪 .....	584
柴油发动机 .....	583
柴油机 .....	523
铲 斗 .....	574
长 杆 .....	72
超 高 .....	531
超精密加工 .....	280
超精密加工机床 .....	280
超声传感器 .....	585

- |         |     |          |     |
|---------|-----|----------|-----|
| 超文本结构   | 391 | 弹簧钢      | 105 |
| 车 床     | 259 | 弹簧指数     | 169 |
| 车 刀     | 259 | 弹性极限     | 236 |
| 车 削     | 259 | 弹性极限     | 44  |
| 车板模型    | 214 | 刀具半径补偿   | 450 |
| 车轮式     | 573 | 刀具长度补偿   | 449 |
| 车速线图    | 514 | 导 轮      | 273 |
| 成膜物质    | 290 | 导热性      | 246 |
| 程序存储方式  | 377 | 等加速运动    | 28  |
| 程序段     | 442 | 等角轴侧图    | 204 |
| 程序控制机器人 | 565 | 等容加热     | 506 |
| 程序流程图   | 384 | 等容加热循环   | 495 |
| 齿 轮     | 582 | 等容冷却     | 506 |
| 齿 条     | 200 | 等温膨胀     | 506 |
| 齿 条     | 582 | 等温压缩     | 506 |
| 齿厚千分尺   | 304 | 低破钢用药皮   | 244 |
| 充气效率    | 494 | 狄塞尔爆缸    | 499 |
| 冲击试验    | 85  | 底 漆      | 131 |
| 处理设备    | 376 | 地 址      | 377 |
| 触 头     | 416 | 地 址      | 442 |
| 传感器     | 394 | 地基施工用机械  | 572 |
| 传感器     | 407 | 地毯苗      | 584 |
| 淬 火     | 88  | 地址寄存器    | 378 |
| 淬火硬化    | 106 | 地址总线     | 377 |
| 淬透性     | 90  | 第二运动定律   | 29  |
|         |     | 第三运动定律   | 29  |
|         |     | 第一运动定律   | 29  |
|         |     | 电 弧      | 243 |
|         |     | 电 弧      | 246 |
|         |     | 电 炉      | 95  |
|         |     | 电 刷      | 440 |
|         |     | 电磁感应     | 346 |
|         |     | 电磁钢板     | 105 |
|         |     | 电磁力      | 345 |
|         |     | 电磁式转速传感器 | 408 |
|         |     | 电动测微仪    | 314 |
|         |     | 电焊条      | 244 |
|         |     | 电弧放电     | 251 |

## D

- |       |     |
|-------|-----|
| 大批量生产 | 221 |
| 大日程计划 | 596 |
| 带状切屑  | 263 |
| 单边卡钳  | 298 |
| 单件生产  | 593 |
| 单晶氯化硼 | 268 |
| 单晶金刚石 | 268 |
| 单流方式  | 540 |
| 单限量规  | 329 |
| 弹 性   | 235 |

- |           |     |          |     |
|-----------|-----|----------|-----|
| 电火花加工     | 251 | 法兰连接器    | 155 |
| 电解加工      | 284 | 翻 边      | 235 |
| 电泳涂装      | 290 | 反 接      | 247 |
| 电子函件      | 391 | 反馈控制     | 397 |
| 电子束       | 255 | 反馈信号     | 419 |
| 电子束加工     | 255 | 反相器      | 367 |
| 电子天平      | 332 | 反向电压     | 362 |
| 顶卡加工      | 259 | 万螺纹      | 325 |
| 订货生产方式    | 593 | 仿形控制     | 416 |
| 定 子       | 440 | 放 热      | 241 |
| 定滑轮       | 37  | 放大作用     | 363 |
| 定时器       | 401 | 放电管      | 253 |
| 动 能       | 32  | 非破坏性检测   | 87  |
| 动滑轮       | 37  | 沸腾钢      | 95  |
| 动力运行模式    | 532 | 分        | 207 |
| 堵 塞       | 278 | 分 力      | 18  |
| 度         | 207 | 酚醛塑料     | 122 |
| 镀锡铁板      | 121 | 服务器      | 390 |
| 端面千分表     | 308 | 服务商      | 392 |
| 端铣刀       | 260 | 浮法工艺     | 136 |
| 端轴颈       | 165 | 符 号      | 442 |
| 短 杆       | 72  | 俯视图      | 204 |
| 多级程序设计    | 380 | 腐蚀性      | 155 |
| 多媒体       | 387 | 复 制      | 251 |
| 多任务处理     | 380 | 复合固定循环   | 429 |
| 惰性气体      | 246 | 复合加热循环   | 495 |
|           |     | 副标尺      | 301 |
| <b>E</b>  |     |          |     |
| 额定寿命      | 167 | <b>G</b> |     |
| 二等角轴侧图    | 204 | 干式抛光     | 282 |
| 二进制数      | 370 | 感应电动势    | 346 |
| 二力平衡      | 14  | 刚 玉      | 274 |
| 二氧化碳激光    | 253 | 钢 锉      | 261 |
| 二氧化碳气体    | 248 | 钢筋混凝土    | 132 |
| <b>F</b>  |     |          |     |
| 发动机的性能曲线图 | 518 | 杠 杆      | 36  |
|           |     | 杠杆式比较仪   | 314 |
|           |     | 杠杆式千分表   | 308 |

- 高 炉 ..... 93
- 高导磁镍铁合金 ..... 112
- 高频淬火 ..... 89
- 高强度钢 ..... 103
- 高韧性钢 ..... 103
- 高熔点材料 ..... 227
- 高速钢 ..... 104
- 高速钢 ..... 261
- 高质量 ..... 599
- 格式化处理 ..... 442
- 跟踪控制 ..... 405
- 工 具 ..... 5
- 工 伤 ..... 604
- 工 时 ..... 596
- 工厂内的物流管理 ..... 610
- 工件坐标系 ..... 451
- 工时计划 ..... 596
- 工业公害 ..... 605
- 工作日 ..... 596
- 工作图 ..... 204
- 公 差 ..... 207
- 公法线齿厚测量法 ..... 328
- 功 ..... 30
- 功 ..... 487
- 功 率 ..... 31
- 功 率 ..... 487
- 功能表示 ..... 411
- 功能设计 ..... 592
- 构 件 ..... 5
- 鼓风机 ..... 478
- 固定螺距螺旋桨 ..... 549
- 固定套管刻度 ..... 305
- 固定弦齿厚测量法 ..... 328
- 固定翼飞机 ..... 548
- 固定载荷 ..... 537
- 固体燃料火箭 ..... 554
- 固相烧结 ..... 227
- 刮 板 ..... 576
- 关节机器人 ..... 564
- 管理周期短期化 ..... 607
- 惯 性 ..... 29
- 惯性导航法 ..... 552
- 惯性定律 ..... 29
- 惯性矩 ..... 34
- 惯性模式 ..... 533
- 光 纤 ..... 388
- 光电式转速 ..... 407
- 光电效应 ..... 521
- 规格化 ..... 582
- 硅 砂 ..... 213
- 轨距加宽 ..... 531
- 滚 动 ..... 282
- 滚珠丝杠 ..... 325
- 滚珠丝杠 ..... 427
- 滚柱测量法 ..... 328
- 国际标准重量原器 ..... 333
- 过 盈 ..... 208
- 过程控制 ..... 405
- 过冷处理 ..... 90
- 过盈配合 ..... 208
- 过载保护装置 ..... 580

## H

- 海绵状钛 ..... 116
- 含油轴承 ..... 225
- 焊 剂 ..... 244
- 焊 锡 ..... 121
- 焊接机器人 ..... 568
- 焊接机器人 ..... 581
- 合 金 ..... 91
- 合 力 ..... 15
- 合成树脂 ..... 221
- 合金工具钢 ..... 261
- 盒式卷尺 ..... 296
- 恒值控制 ..... 405

- 珩 磨 ..... 279
- 珩磨床 ..... 279
- 珩磨头 ..... 279
- 横磨法 ..... 271
- 横向应变 ..... 45
- 轰击作用 ..... 247
- 后 角 ..... 260
- 后处理器 ..... 445
- 后置发动机的后轮驱动方式 ..... 515
- 滑 动 ..... 282
- 滑 轮 ..... 37
- 环境基本法 ..... 605
- 缓冲器 ..... 367
- 换向器 ..... 440
- 黄 钢 ..... 109
- 灰 泥 ..... 132
- 回 弹 ..... 236
- 回 火 ..... 88
- 回流方式 ..... 540
- 回旋部分 ..... 578
- 汇 编 ..... 382
- 混打棉机 ..... 586
- 混凝土 ..... 132
- 活塞发动机 ..... 546
- 活塞螺旋桨 ..... 546
- 活塞式发动机 ..... 518
- 霍尔-埃鲁铝电解预焙法 ..... 113
- J**
- 机 构 ..... 5
- 机床坐标系 ..... 451
- 机械化 ..... 581
- 机械设计 ..... 209
- 积屑瘤 ..... 263
- 基本额定动载荷 ..... 167
- 基本额定静载荷 ..... 167
- 基本工作循环 ..... 495
- 基本公差 ..... 208
- 基带信号 ..... 386
- 激 光 ..... 229
- 激 光 ..... 253
- 激光斑 ..... 254
- 激光束 ..... 253
- 激光元激光 ..... 254
- 极限拉伸系数 ..... 238
- 极限量规 ..... 329
- 极限速度 ..... 168
- 极坐标机器人 ..... 564
- 棘轮保险器 ..... 305
- 棘轮机构 ..... 580
- 计数器 ..... 374
- 计数器 ..... 376
- 计算机控制 ..... 409
- 继电器 ..... 401
- 寄存器 ..... 374
- 寄存器 ..... 376
- 寄存器 ..... 423
- 加工硬化 ..... 223
- 加工硬化 ..... 237
- 加速度 ..... 28
- 尖端材料 ..... 142
- 间 隙 ..... 208
- 间 隙 ..... 232
- 间 隙 ..... 427
- 间隙配合 ..... 208
- 剪 切 ..... 231
- 剪切角 ..... 231
- 剪应变 ..... 41
- 筒形容器 ..... 239
- 交换线路 ..... 386
- 交流伺服电动机 ..... 441
- 焦[耳] ..... 487
- 角频率 ..... 348
- 脚(液压支腿) ..... 579
- 较 仪 ..... 314







磨料	274	抛光	282
磨削加工	270	刨削	259
磨削力	277	配合	208
磨削裂纹	278	喷涂	290
磨削热	277	批料	136
磨削砂轮	270	批处理	380
磨削烧伤	278	批量生产	593
磨削液	278	镀青铜	110
莫氏(碳硅)组织图	100	皮带轮	176
目标程序	383	疲劳极限	50
目的明确化	606	疲劳试验	85
		疲劳限度	50

N

耐腐蚀钢	107
耐热钢	105
耐蚀镍基合金	112
内存	377
内传感器	567
内径千分尺	304
内卡钳	298
内圆磨削	271
能量守恒定律	32
能量守恒定律	464
逆铣	259
黏度	457
镍电解精炼法	111
牛[顿]	12
牛头刨床	259

P

排除切屑	274
排气冲程	497
排气冲程	498
排水吨位	537
排水量	537
旁路比	551

偏差	600
频率	348
平纹	587
平衡放射线法	139
平均算术偏差	320
平面磨削	270
平皮带	176
坡口	152
剖视图	205

Q

气孔	274
气动测微仪	314
气体渗镀	287
气体渗碳	89
气体压缩机	478
汽车性能曲线图	513
汽油发动机	583
起模斜度	215
起重臂	574
起重机	581
起重机性能	578
钎焊	249
钎剂	249
铅字材料	120

前角 .....	260	热平衡 .....	486
前置发动机的后轮驱动方式 .....	515	热塑性塑料 .....	230
前置发动机的前轮驱动方式 .....	515	热效率 .....	492
钳 .....	301	热转换率 .....	494
潜没翼板式 .....	545	任务 .....	380
强磁性材料永磁材料 .....	145	韧铜 .....	108
切割部分 .....	584	日本标准重量原器 .....	333
切深分力 .....	277	日程计划 .....	596
切削量 .....	264	溶剂 .....	291
切削面积 .....	264	熔化极电弧焊 .....	243
切削速度 .....	264	蠕变极限 .....	50
切削液 .....	266	软钎焊 .....	249
青铜 .....	110	润湿角 .....	249
倾斜 .....	576	润湿性 .....	249
清漆 .....	129		
曲柄连杆机构 .....	36	<b>S</b>	
驱动力曲线 .....	514	三角螺纹 .....	323
屈服 .....	44	三力平衡 .....	14
屈服点 .....	44	三氧化二铝 .....	221
屈服强度、极限强度 .....	50	三针法 .....	324
全浮式 .....	545	砂轮的三要素 .....	274
全加器 .....	374	山砂 .....	213
全加器 .....	378	上岗许可证 .....	572
全周焊接 .....	153	上光漆 .....	131
		烧结 .....	226
<b>R</b>		烧结体 .....	226
燃气涡轮发动机 .....	551	设备,人员计划 .....	592
燃烧冲程 .....	496	设定值干扰 .....	426
燃烧冲程 .....	498	设计步骤 .....	209
热电偶 .....	337	设计质量 .....	599
热锻造 .....	222	深度千分尺 .....	304
热功当量 .....	487	深度效应翼板式 .....	544
热固性塑料 .....	230	深度游标卡尺 .....	300
热力学第 0 定律 .....	486	渗氮 .....	89
热力学第二定律 .....	490	渗碳 .....	89
热力学第一定律 .....	487	生胶 .....	124
热炼油 .....	131	生铁 .....	94



陶瓷粉 .....	228	弯纱片 .....	587
陶瓷结合剂 .....	275	弯头刨刀 .....	260
套筒主轴式 .....	530	网 络 .....	386
特殊车厢车 .....	516	网 页 .....	391
特种车 .....	516	网络账号 .....	392
特种装备车 .....	516	网上冲浪 .....	392
梯形螺紋 .....	325	威尔洛威斯之说 .....	2
梯形翼板式 .....	544	微分筒刻度 .....	305
体积应变 .....	45	微型测微仪 .....	314
调 质 .....	88	围裙式 .....	545
调压阀 .....	240	位 移 .....	28
调制解调器 .....	386	纬 线 .....	586
铁素体 .....	92	文件传输 .....	391
通信功能 .....	563	文件夹 .....	391
通信协议 .....	381	紊 流 .....	466
同步转速 .....	353	稳定中心 .....	541
投影式光学比 .....	314	涡 轮 .....	475
凸 模 .....	232	涡轮风扇发动机 .....	551
凸 缘 .....	532	涡轮喷气发动机 .....	551
突起(轮爪) .....	573	卧式加工中心 .....	431
图形符号 .....	389	无触点顺序控制 .....	397
涂 料 .....	290	无刷电动机 .....	521
土地平整搬运 .....	572	无刷直流电动机 .....	440
退 火 .....	88	无心磨床 .....	273
托 板 .....	273	五大要素 .....	274
托 板 .....	433	物资管理 .....	596
托里拆利定律 .....	463		
脱粒机 .....	584		

X

		吸气冲程 .....	496
		吸气冲程 .....	498
		锡 焊 .....	249
		铣 床 .....	259
		铣 刀 .....	259
		铣 削 .....	259
		系统流程图 .....	384
		线 路 .....	388
		线切割加工 .....	252
<b>W</b>			
挖掘用机械 .....	572		
外传感器 .....	567		
外购和外协计划 .....	609		
外径千分尺 .....	304		
外卡钳 .....	298		
外围设备 .....	376		
外圆磨削 .....	271		

- 相对压力 ..... 460  
 相干性 ..... 253  
 消除间隙机构 ..... 260  
 消耗功率 ..... 351  
 小齿轮 ..... 200  
 小日程计划 ..... 596  
 协议转换 ..... 387  
 协议转换 ..... 390  
 斜楔阻力 ..... 528  
 斜线交叉法 ..... 139  
 心 盒 ..... 214  
 辛烷值 ..... 497  
 锌基压铸合金 ..... 121  
 新材料 ..... 142  
 新闻组 ..... 391  
 行走部分 ..... 578  
 形状效应 ..... 90  
 修整液轮 ..... 278  
 虚拟存储 ..... 381  
 虚拟存储方式 ..... 377  
 虚拟存储方式 ..... 380  
 许用接触面拉力 ..... 148  
 悬挂式 ..... 530  
 旋压成形 ..... 239  
 旋翼飞机 ..... 548  
 旋转半径 ..... 35  
 旋转感应同步器 ..... 439  
 旋转式耕耘机 ..... 583  
 选择结构 ..... 385  
 循环(cycle) ..... 489  
 循环结构 ..... 385
- Y**
- 压 铸 ..... 218  
 压 铸 ..... 220  
 压实用机械 ..... 572  
 压缩比 ..... 494  
 压缩成型 ..... 222  
 压缩成型 ..... 225  
 压缩成型 ..... 226  
 压缩成型体 ..... 226  
 压缩冲程 ..... 496  
 压缩冲程 ..... 498  
 压缩热应力 ..... 47  
 压应力 ..... 41  
 延伸率 ..... 86  
 研 具 ..... 282  
 研磨用砂布 ..... 133  
 颜 料 ..... 291  
 氧-乙炔焊 ..... 240  
 氧化反应 ..... 242  
 氧化铝膜处理法 ..... 113  
 遥控机器人 ..... 565  
 药皮电焊条 ..... 244  
 页方式 ..... 381  
 液化乙炔 ..... 240  
 液体燃料火箭 ..... 554  
 液相烧结 ..... 227  
 以 太 ..... 388  
 以太网 ..... 389  
 译码器 ..... 374  
 易切削钢 ..... 104  
 应 变 ..... 236  
 应 力 ..... 236  
 硬 度 ..... 275  
 硬度试验 ..... 85  
 硬钎焊 ..... 249  
 硬质合金 ..... 261  
 油压泵 ..... 579  
 油压缸 ..... 579  
 油压马达 ..... 579  
 有触点顺序控制 ..... 397  
 有功功率 ..... 351  
 有色油漆 ..... 129  
 有效扭矩 ..... 158

- 有效弯矩 ..... 158
- 有效值 ..... 348
- 右手直角坐标系 ..... 451
- 余力管理 ..... 596
- 预测生产方式 ..... 593
- 原 型 ..... 212
- 原动机 ..... 583
- 圆弧插补 ..... 422
- 圆螺纹 ..... 325
- 圆筒形锅炉 ..... 535
- 圆周速度恒定控制 ..... 429
- 圆柱铣刀 ..... 260
- 源程序 ..... 382
- 远程登录 ..... 391
- 匀速直线运动 ..... 28
- 运算处理 ..... 419
- 运转阻力 ..... 528
- 运转阻力曲线 ..... 514
- Z**
- 匝数比 ..... 354
- 着色剂 ..... 129
- 再次拉伸加工 ..... 237
- 再结晶 ..... 223
- 再结晶温度 ..... 223
- 在制品管理 ..... 596
- 责任明确化 ..... 606
- 泽伊辛格之说 ..... 2
- 针盘式游标卡尺 ..... 300
- 真空蒸镀 ..... 287
- 真实值 ..... 317
- 镇静钢 ..... 95
- 整流作用 ..... 362
- 正 火 ..... 89
- 正 接 ..... 247
- 正向电压 ..... 362
- 正应变 ..... 41
- 织 针 ..... 587
- 执行装置 ..... 395
- 直角坐标机器人 ..... 564
- 直流电刷电动机 ..... 521
- 直流伺服电动机 ..... 440
- 直通线路 ..... 386
- 直线插补 ..... 422
- 直线感应同步器 ..... 439
- 直线职能制组织 ..... 590
- 直线制组织 ..... 590
- 职能制组织 ..... 590
- 指令计数器 ..... 378
- 指令寄存器 ..... 378
- 指令译码器 ..... 378
- 指针测微计 ..... 314
- 指针寄存器 ..... 378
- 制 冷 ..... 508
- 制动力 ..... 172
- 制动力矩 ..... 172
- 制动模式 ..... 533
- 制动片 ..... 173
- 制动容量 ..... 173
- 制冷循环 ..... 508
- 制造的实施和管理 ..... 609
- 制造实施计划 ..... 609
- 制造者责任法 ..... 594
- 制造质量 ..... 600
- 质 量 ..... 581
- 质量保证 ..... 599
- 质量标准 ..... 600
- 质量管理 ..... 599
- 质量特性 ..... 599
- 质量效应 ..... 90
- 智能机器人 ..... 565
- 中间轴颈 ..... 165
- 中日程计划 ..... 596
- 中性面 ..... 63
- 中性轴 ..... 63