

## 声 明

本电子书由中国轻工业出版社出版,相关权利归中国轻工业出版社所有。读者、著作权人和(或)依法可以行使著作权的权利人如有疑问,请与中国轻工业出版社联系:

地址:北京市东长安街6号

邮编:100740

电话:85119838

Email: [xnxtm@yahoo.com.cn](mailto:xnxtm@yahoo.com.cn)

中国轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

# 轻工机械设计基础

尚久浩 主编

中国轻工业出版社

## 内 容 提 要

本书共十六章,包括机械原理、机械零件及机械设计的基本内容,如平面连杆、凸轮、螺旋等各种机构,带、链、齿轮、蜗杆等各种传动,以及轴承、联轴器、减速器、离合器、机械式无级变速器等元部件。主要介绍它们的类型、结构原理、工作特性、受力分析及设计计算。

本书简明易懂,图表数据准确、实用,各章均附有结合轻工机械实际的习题,除可供高等学校轻工专业作教材外,也便于自学参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

轻工机械设计基础/尚久浩主编.-北京:中国轻工业出版社,  
1996.12 重印

高等学校轻工专业试用教材

ISBN 7-5019-1637-3

I. 轻… II. 尚… III. 轻工业-机械-机械设计-高等学校-教材 IV. TS04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 21480 号

责任编辑 孟寿萱

\*

中国轻工业出版社出版  
(北京市东长安街6号)  
北京市顺新印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售

\*

787×1092 毫米 1/16 印张: 23 字数: 529 千字

1994 年 10 月 第 1 版第 1 次印刷

1996 年 12 月 第 1 版第 2 次印刷

印数: 5,001—8,000 定价: 34.50 元

# 前 言

本书作为轻工高等学校**非机械专业**65学时左右“机械设计基础”的试用教材，是根据轻工业机械专业教材委员会第二次会议讨论审定的轻工机械“八五”专业教材规划编写的。

全书共十六章，包括机械原理和机械设计的一些基本内容及其在轻工机械中的应用，还简要介绍了本课程的新发展。在编写中力求简明易懂，图表数据确切实用。章末附有一定数量习题，供教学中选用。

本书采用国际单位制，并尽量采用国际通用符号和脚注。

由于轻工机械与其他机械有许多不同，加之非机械专业面广，要求不同，因此本书除反映通用性外，在内容取舍、例题及习题选择上，力求体现轻工机械的特点，并尽量照顾专业要求。本书内容是按80学时要求编写的，为便于教学，还部分地摘录了国家标准和规范。在使用时，可根据专业要求和教学时数进行取舍与调整。必要时，还可在教学中作些补充。

1991年4月在北京轻工业学院召开了审稿会，对书稿进行了初审。担任主审的，无锡轻工业学院吕庸厚、西北轻工业学院詹启贤对全稿进行了认真、细致的审阅。根据审稿意见，主编又作了修改。许多兄弟院校和单位的同志对本书提出了有益的意见或提供了方便，在此一并致谢。

参加本书编写的有：西北轻工业学院尚久浩（第一章）、杨耀峰、梁治国（第十四章），上海轻工业专科学校沈瑞祥（第二章），大连轻工业学院刘学光（第三章）、穆传金（第七、十五、十六章），天津轻工业学院黄文贵（第四章），山东轻工业学院李林（第五、六章），郑州轻工业学院王春萱（第八章），北京轻工业学院贺传贤（第九章）、龚启洪、刘季颖（第十二章）、程皋士、毕瑞涵（附录），景德镇陶瓷学院陈坤毓（第十章），无锡轻工业学院周煜熙（第十一、十三章）。本书由尚久浩主编。

由于编者水平所限，缺点错误在所难免，诚望使用本书的同志批评指正。

编 者

## 基本符号表

$a$ ——中心距、加速度、齿顶的、轴向的	$Q$ ——力
$A$ ——面积、平面、转臂	$r$ ——半径
$b, B$ ——宽度、齿宽、轮宽、弯曲的、高径比	$R$ ——力、半径
$c$ ——系数、轮齿径向间隙	$S$ ——力、安全系数、位移
$C$ ——滚动轴承的额定动载荷、弹簧指数、节点	$t$ ——时间、温度
$d, D$ ——直径	$T$ ——转矩
$e$ ——偏心距、齿槽宽	$u$ ——齿轮的齿数比
$E$ ——材料拉压弹性模量	$U$ ——机械能
$f$ ——摩擦系数、齿根的、变形	$v$ ——速度
$F$ ——力	$V$ ——体积
$g$ ——重力加速度	$W$ ——抗弯剖面系数、机械功
$G$ ——重力、剪切弹性模量	$W_T$ ——抗扭剖面系数
$h$ ——高度、厚度	$X, Y, Z$ ——系数、坐标轴符号
$H$ ——高度	$z$ ——齿数
HB——布氏硬度	$\alpha$ ——角度、压力角
HRC——洛氏硬度	$\beta$ ——角度、螺旋角
$i$ ——传动比	$\theta$ ——角度、极位夹角
$I$ ——转动惯量	$\gamma$ ——角度、传动角、比重
$K$ ——系数	$\delta$ ——角度、系数
$l$ ——长度	$\epsilon$ ——轮齿重合度、角加速度
$L$ ——长度、滚动轴承寿命、锥距	$\eta$ ——效率
$m$ ——齿轮模数、中点的	$\rho$ ——摩擦角、曲率半径
$M$ ——弯矩	$\Sigma$ ——轴交角
$n$ ——转速、弹簧圈数	$\sigma$ ——正应力
$p$ ——节距、单位压力(比压)	$\sigma_s$ ——屈服限
$P$ ——力、功率、滚动轴承的当量载荷	$\sigma_B$ ——强度限
$q$ ——蜗杆特性系数	$\tau$ ——剪应力
	$\varphi, \psi$ ——角度、系数
	$\omega$ ——角速度
	[ ]——许用的

# 目 录

<b>第一章 总论</b> .....	1
第一节 “轻工机械设计基础”课程研究的对象和内容.....	1
第二节 机械设计的基本要求和一般步骤.....	3
第三节 机械零件的常用材料及钢的热处理概念.....	5
第四节 机械零件的强度.....	11
<b>第二章 平面机构的运动简图及其自由度</b> .....	18
第一节 运动副及其分类.....	18
第二节 平面机构的组成及其运动简图.....	20
第三节 平面机构的自由度及其具有确定运动的条件.....	25
<b>第三章 平面连杆机构</b> .....	31
第一节 铰链四杆机构的基本型式及性质.....	31
第二节 铰链四杆机构具有曲柄的条件.....	36
第三节 铰链四杆机构的演化.....	37
第四节 平面四杆机构的运动设计.....	39
第五节 平面多杆机构简介.....	48
第六节 连杆机构在轻工机械中的应用.....	51
<b>第四章 凸轮机构及间歇运动机构</b> .....	58
第一节 凸轮机构的类型.....	58
第二节 从动件的常用运动规律.....	59
第三节 按给定运动规律设计盘形凸轮轮廓.....	62
第四节 设计凸轮机构应注意的问题.....	66
第五节 间歇运动机构.....	69
第六节 凸轮机构及间歇运动机构在轻工机械中的应用.....	76
<b>第五章 螺纹联接及螺旋机构</b> .....	81
第一节 螺纹的主要参数及常用类型.....	81
第二节 螺旋副的受力分析、效率和自锁.....	83
第三节 螺纹联接和螺纹联接件.....	85
第四节 螺纹联接的预紧和防松.....	87
第五节 螺栓联接的强度计算.....	90
第六节 螺旋机构.....	96
<b>第六章 带传动</b> .....	102
第一节 带传动的类型、结构和应用.....	102
第二节 带传动的工作原理和工作特性.....	103
第三节 普通 V 带的型号及单根普通 V 带所能传递的功率.....	107

第四节	普通V带传动的设计计算	112
第五节	普通V带带轮的结构及带传动的张紧和维护	116
第六节	同步齿形带传动的特点和应用	118
第七节	同步齿形带的种类、规格及主要参数	120
第八节	同步齿形带传动的设计计算	126
<b>第七章</b>	<b>链传动</b>	<b>132</b>
第一节	链传动的类型及应用	132
第二节	套筒滚子链及链轮	134
第三节	链传动的运动特性	138
第四节	链传动的失效形式、参数选择及功率曲线	139
第五节	链传动的设计计算	143
第六节	链传动的布置及润滑	146
<b>第八章</b>	<b>齿轮传动</b>	<b>150</b>
第一节	齿轮传动的特点和分类	150
第二节	齿廓啮合基本定律	152
第三节	渐开线和渐开线齿廓的啮合性质	153
第四节	渐开线直齿圆柱齿轮各部分名称及标准直齿圆柱齿轮的基本尺寸	154
第五节	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	157
第六节	渐开线齿轮的切削原理	160
第七节	根切现象、最少齿数及变位齿轮的概念	162
第八节	轮齿失效形式及设计计算准则	163
第九节	齿轮常用材料及其热处理	164
第十节	直齿圆柱齿轮的强度计算	166
第十一节	斜齿圆柱齿轮传动	175
第十二节	直齿圆锥齿轮传动	182
第十三节	交错轴斜齿轮传动	188
第十四节	齿轮的结构、润滑及效率	191
<b>第九章</b>	<b>蜗杆传动</b>	<b>196</b>
第一节	蜗杆传动的类型和特点	196
第二节	蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算	197
第三节	蜗杆传动的失效形式及计算准则	201
第四节	蜗杆传动的常用材料及蜗杆和蜗轮的结构	202
第五节	蜗杆传动的受力分析、效率及润滑	203
第六节	蜗杆传动的强度计算	206
<b>第十章</b>	<b>轮系</b>	<b>211</b>
第一节	轮系的分类	211
第二节	定轴轮系传动比计算	212
第三节	周转轮系传动比计算	215

第四节	混合轮系传动比计算	218
第五节	轮系在轻工机械中的应用	220
<b>第十一章</b>	<b>机械传动系统分析</b>	<b>227</b>
第一节	概述	227
第二节	机械传动型式的选择	228
第三节	多级传动	230
<b>第十二章</b>	<b>减速器、机械式无级变速器</b>	<b>234</b>
第一节	减速器的类型、结构、润滑及传动比的分配	234
第二节	普通减速器的选用	239
第三节	机械无级变速器的基本性能及主要类型	244
第四节	宽V带无级变速器	256
<b>第十三章</b>	<b>轴和轴毂联接</b>	<b>261</b>
第一节	轴的类型和材料	261
第二节	轴的结构设计	264
第三节	轴的计算	270
第四节	轴毂联接	277
<b>第十四章</b>	<b>轴承</b>	<b>284</b>
第一节	轴承的分类	284
第二节	滑动轴承的典型结构	284
第三节	滑动轴承材料和轴瓦结构	288
第四节	非液体摩擦滑动轴承的校核计算	291
第五节	液体摩擦滑动轴承及其他滑动轴承简介	293
第六节	滚动轴承的类型、代号及其选择	296
第七节	滚动轴承的寿命及尺寸选择	300
第八节	滚动轴承的组合设计	306
第九节	滚动轴承的润滑与密封	314
<b>第十五章</b>	<b>联轴器与离合器</b>	<b>318</b>
第一节	联轴器	318
第二节	离合器	323
第三节	联轴器和离合器的选用	327
<b>第十六章</b>	<b>回转件的平衡及机械速度波动的调节</b>	<b>330</b>
第一节	回转件的平衡	330
第二节	平面机构的平衡简介	333
第三节	机械速度波动的调节	335
<b>附录 I</b>	<b>互换性及公差配合</b>	<b>342</b>
<b>附录 II</b>	<b>常用标准</b>	<b>353</b>
<b>主要参考书目</b>		<b>356</b>

# 第一章 总 论

## 第一节 “轻工机械设计基础”课程研究的对象和内容

机器是人类在长期生产实践中创造的具有某种用途的设备，用来节省或代替人力、畜力以完成各种体力工作并提高生产率。在社会生产活动和日常生活中见到的汽车、拖拉机、缝纫机、洗衣机、灌装机、包装机、各种机床等都是机器。

轻工业机械种类繁多，就其构造、用途和性能来说是各不相同的，但它们都有一些共同的特征。

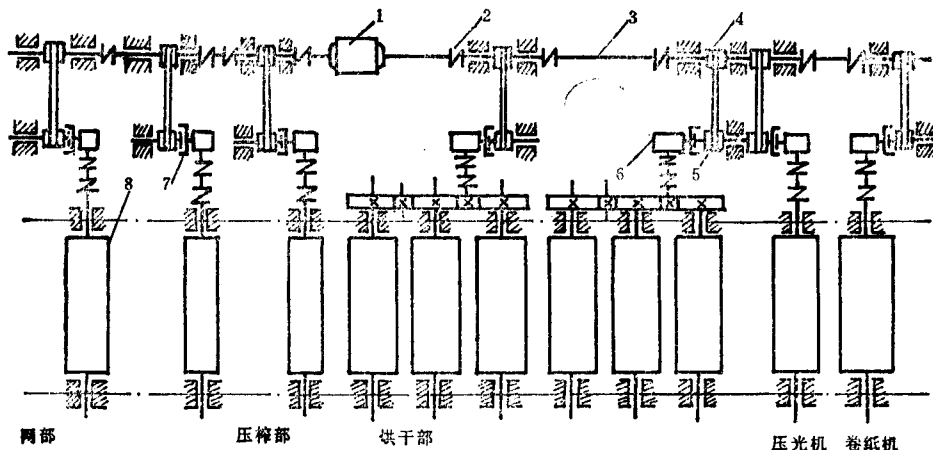


图 1-1 造纸机简图

1—电动机 2—联轴器 3—传动轴 4—无级变速器主动锥轮 5—从动锥轮 6—减速器 7—摩擦离合器 8—辊子

图 1-1 所示为一台造纸机的简图。电动机 1 为整台机械的发动机，带动传动轴 3，经无级变速器锥轮 4、5，减速器 6 等机构分别使运动传给造纸机各部分，完成预定的工艺要求：使配合适量浓度的浆料通过网部脱水形成纸幅，然后进入压榨部分用机械的方法继续脱水；通过烘干部加热烘干和压光机使纸张增加光泽度和紧度，然后进入卷纸机，将纸张连续卷成一定大小的卷筒纸。这台机械的网部、压榨部、烘干部、压光机、卷纸机，是按照造纸工艺的需要而设置的，我们称它为工作机部分；介于电动机和工作机之间的传动装置我们称它为传动部分。

又如图 1-2 所示的真空螺旋挤泥机，是在陶瓷制品的可塑法成型过程中应用极为广泛的成型机械。它利用螺旋叶片对塑性泥料进行连续挤压，使其经过挤泥机机嘴的规定形状断面后，成为紧密连续的长条出来，然后将其切断，即成为成型后的产品。为了使成型后的产品更加紧密均匀，尽量减少其中所含的气孔，在挤压过程中同时进行抽吸真空的操

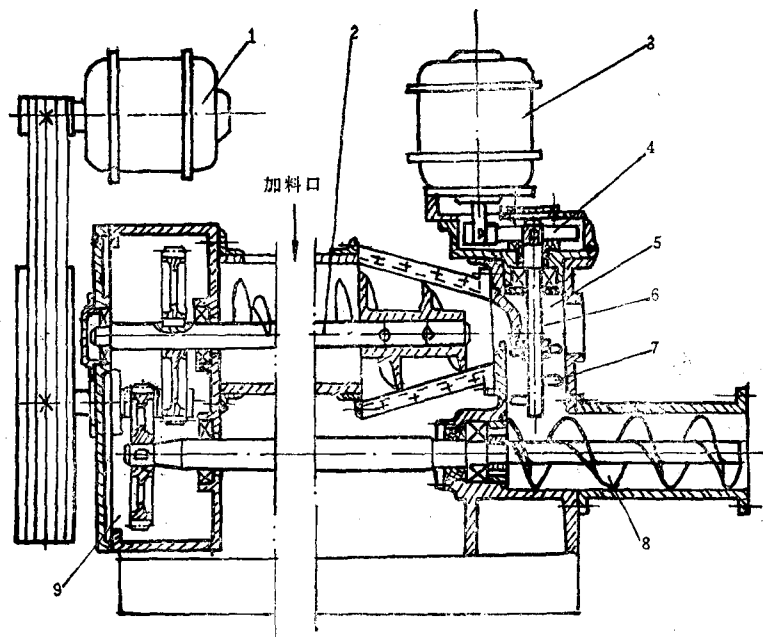


图 1-2 真空螺旋挤泥机

1、3—电动机 2—螺轴 4—齿轮 5—真空室  
6、7—切割器 8—螺旋叶片 9—减速器

作。在图 1-2 中，泥料从加料口送入，被螺旋叶片 2 推至真空室 5，切割器 6 把泥料切割成片状，封存在泥料中的空气就被真空泵不断地抽去。泥料最后由 7 及螺旋叶片 8 经机头的机嘴挤压后送出。螺轴 2 和螺旋叶片 8 由电动机 1 经过皮带装置及减速器 9 带动，而切割器则由另一电动机 3 经过齿轮 4 带动。真空室由真空泵抽真空(图中未示出)。电动机 1 和 3 就是这台机器的原动机，而皮带装置、减速器 9 就是传动机构，螺旋叶片、机嘴和切割器等就是工作机部分。

由上述可知，一部完整的机器都是由三个本质不同的部分——发动机、传动机构和工作机构组成。其组成部分之间的关系如图 1-3 所示。

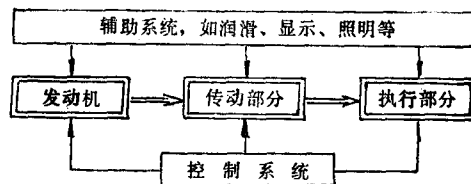


图 1-3 机器的组成

机器除上述三个基本部分外,还会根据需要增加其他部分,例如控制系统和辅助系统(润滑、显示、照明…)等。

从上述两个例子还可得知,机器具有以下共同特征:

- (1) 它们都是一种人为的实体的组合。
- (2) 各实体之间具有确定的相对运动。
- (3) 在工作时能转换机械能(如内燃机、发电机等)或做有效的机械功(如洗衣机、缝纫机、金属切削机床等)。

仅具有前两个特征的称为机构。若仅从结构和运动的观点来看,机器与机构两者之间并无区别。所以,通常用“机械”一词作为机器和机构的总称。

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体，也可以是由几个零件组成的刚性结构。如图 1-4 所示包缝机的连杆就是由连杆体 1、连杆盖 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5、螺母 6 及开口销 7 等零件组成的刚性构件。由此，构件与零件的区别在于：构件是运动的单元，零件是制造的单元。

机械中的零件按其用途可分为两类：凡各种机械中都经常使用的零件，例如齿轮、轴、螺钉、键、弹簧等，称为通用零件；只在某些机械中使用的零件，例如缝纫机中的曲轴、连杆，灌装机中的凸轮，纺织机械中的纺锭、织梭，汽轮机的叶片等，称为专用零件。

另外，还常把一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合物称为部件，如减速器、离合器等。

本课程主要阐述一般机械中的常用机构和一般参数的通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。

本书前半部分着重研究机械中常用机构，如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构，后半部分着重研究常用的联接(如螺纹、键、销联接等)，主要的机械传动(如齿轮传动、蜗轮蜗杆传动、螺旋传动、挠性件传动)及轴系零、部件(如轴、轴承、联轴器、离合器等)。同时还扼要地介绍与本课程有关的国家标准和规范，以及某些标准零件的选用原则和方法。

为了学好本课程，首先要求学生必须掌握机械制图、工程力学、金属工艺学等先修课程有关的基础知识。通过本课程的教学，可使学生获得认识、使用和维护机械设备的一些基本知识，并能培养学生初步掌握运用有关机械设计方面的手册，设计简单机械传动装置的方法，为学习有关专业机械设备课程及以后参与技术革新奠定必要的基础。

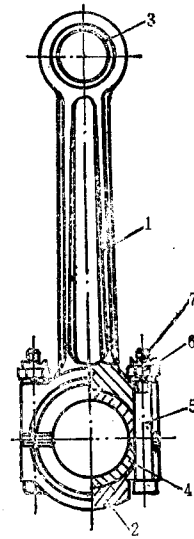


图 1-4 连杆

- 1—连杆体 2—盖 3—轴套
- 4—轴瓦 5—螺栓 6—螺母
- 7—开口销

## 第二节 机械设计的基本要求和一般步骤

### 一、 机械设计的基本要求

机械的种类虽然很多，但设计时所考虑的基本要求却往往是相同的。这些基本要求如下。

#### 1. 运动和动力性能的要求

根据预定的使用要求确定机械的工作原理，并据此选择机构类型和机械传动方式，达到以合理的机构组合来协调运动，实现预定动作。在运动分析的基础上，对机构进行动力分析，从而确定作用在各零件上的功率、扭矩和作用力。

#### 2. 工作可靠性要求

为了使机械在预定的工作期限内可靠地工作，防止因零件失效而影响正常运行，零件应满足下列要求：

(1) 强度 强度是衡量零件抵抗破坏的能力,是保证零件工作能力的最基本要求。零件强度不足时,就会发生不允许的塑性变形,甚至造成断裂破坏,轻则使机械停止工作,重则发生严重事故。为保证零件有足够的强度,零件的工作应力不得超过许用应力,这就是零件的强度计算准则。

(2) 刚度 刚度是衡量零件抵抗弹性变形的能力。零件的刚度不足时,就会产生不允许的弹性变形,形成载荷集中,影响机械的正常工作。例如造纸机的辊子,缝纫机的主轴,如果没有足够的刚度,就会导致产品质量的严重恶化。刚度计算准则要求零件工作时的弹性变形量(弯曲挠度或扭转角)不超过机械工作性能所允许的极限值(即许用变形量)。

(3) 耐磨性 耐磨性是指零件抵抗磨损的能力。例如齿轮的轮齿表面磨损量超过一定限度后,轮齿齿形有较大的改变,使齿轮转速不均匀、产生噪音和动载荷,严重时因齿根厚度减薄而导致轮齿折断。因此在磨损严重的条件下,以限制与磨损有关的参数(如零件接触表面间的压强和相对滑动速度)作为磨损计算的准则。

(4) 耐热性 耐热性包括抗氧化、抗热变形和抗蠕变的能力。零件在高温(一般钢件在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 以上,轻合金和塑料件在 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 以上)下工作时,将会因强度削弱而降低承载能力,同时会出现蠕变,增加塑性变形甚至发生氧化现象,从而大大影响机械的精度甚至使零件失效。另外,高温下润滑油膜容易破裂,润滑能力降低甚至完全丧失。为保证零件在高温下能正常工作,除采用耐热材料外,还可采用水冷或汽化冷却等降温措施,以达到将机器的工作温度限制在正常的运行温度,使发热与散热相平衡,即热平衡准则。

(5) 振动稳定性 机器中存在着许多周期性变化的激振源,如轴上零件的偏心载荷、滚动轴承中的振动、齿轮的啮合等。如果零件本身的固有频率与激振源的频率相同或为其整数倍时,零件就会发生共振,振幅将急剧增大,能在短期内使零件或整部机械造成破坏。所以,对于高速机械及其零件应进行相应的振动计算并采取措施以防机械及其零件因振动而失效。

### 3. 经济性要求

经济性是用设计、制造和使用三个方面的综合指标来衡量的。设计机械时应最大限度地考虑经济性:选择或设计的机械在使用性能上应具有最大的经济效益;在满足使用要求的前提下应力求结构简单、加工容易;材料价廉且市场供应充分;维修方便和能源消耗较低等。应该指出,在机械中采用标准零件,不仅可简化设计,保证互换性,便于机械的修配,而且有利于保证零件的质量并降低其成本。

### 4. 劳动保护要求

在设计机械时,必须考虑操作简便省力,力求改善使用条件和减轻劳动强度,同时还应注意安全,加强劳动保护。例如:简单重复的劳动要利用机械本身的机构来完成;尽可能减少操作手柄的数量及手柄和按钮等应放置在便于操作位置;合理规定操作时的驱动力;设置完善的安全防护及保安装置;尽量减少机械的噪音;防止有毒、有害介质的渗漏,对废水、废气、废液进行治理等。

### 5. 其他特殊要求

对于不同用途的机械还可能提出一些特殊要求，例如：对机床要求能长期保持其精度；流动使用的机械（如钻探机、塔式起重机等）要便于安装、拆卸和运输；医药、食品、印刷、纺织和造纸等机械要求能保持清洁，不得污染产品。

## 二、机械设计的一般步骤

机械设计一般可分为以下几个阶段：

### 1. 提出设计要求

设计任务的提出，主要是根据社会和市场的需要，一定要有明确的目的。无论是设计新的机械产品还是进行技术改造，总是要达到某种技术经济目的，如提高劳动生产率、提高产品质量与使用寿命、节约原材料、降低能耗或减轻劳动强度等。

### 2. 调查研究、分析对比、确定设计模型与方案

设计者要了解所设计的对象的工作条件、环境、预计的生产能力、技术经济指标以及是否具有特殊的技术要求等，例如耐高温，耐腐蚀，材料、尺寸及重量的限制等，以作为设计的依据。同时要根据国家的标准、规范做到产品系列化、部件通用化，零件标准化。

根据调查、分析与研究，拟定所设计的机器方案，这是设计中的重要阶段，应力求做到所设计的方案技术先进、使用可靠、经济、合理。

### 3. 结构设计

在方案确定以后，需经过必要的计算与分析来确定数学模型与计算公式，在进行校验之后，即可着手进行结构设计，绘制装配草图、装配图和部装图，最后根据装配图与结构设计绘制零件工作图。

### 4. 试验分析

图纸设计完成后，需要编制必要的技术文件，进行产品试制，经过试车获得预期的结果，否则需要反复进行修改，直至完善。

### 5. 使用与考核

产品在成批制造与投放市场后，需广泛征求用户意见，以求不断地提高和完善。

## 第三节 机械零件的常用材料及钢的热处理概念

### 一、机械零件的常用材料

机械零件的常用材料主要是钢和铸铁，其次是有色金属合金。有些机械零件也采用非金属材料。

#### 1. 钢

钢和铸铁都是由铁和碳两种元素为主所构成的合金，在工业上统称为黑色金属。它们在化学成分上的主要区别是含碳量不同。含碳量小于2%的铁碳合金称为钢。

钢可分为碳素钢和合金钢两大类。碳素钢的性能主要取决于含碳量。当含碳量小于1%时，随着含碳量的增加，钢的强度和硬度增加，塑性和韧性降低；当含碳量大于1%时，

随着含碳量的增加，钢的强度开始降低。为了保证钢有一定的塑性和韧性，一般钢的含碳量均不超过1.4%。根据含碳量，钢可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。

低碳钢的含碳量小于0.25%，强度极限和屈服极限都较低，塑性、可焊性好，适用于冲压、焊接加工，用作螺栓、螺母、垫圈和焊接构件的材料。经渗碳淬火，可获得表面硬、芯部软的良好性能，用于齿轮、链轮和凸轮等零件。

中碳钢的含碳量为0.25~0.6%，综合机械性能好。经调质后，兼有较高的强度和韧性，经表面淬火后，表面硬度高，耐磨性能好。常用作受力较大的螺栓、螺母、键、齿轮和轴的材料，应用范围最广。

高碳钢的含碳量大于0.6%，具有高强度和高弹性，但韧性较差。因此，淬火后还要高温或中温回火，以增加材料的韧性。它常用作弹簧等高强度的零件材料。

实际使用的碳钢中，除含碳元素外，都或多或少地还含有一些杂质，如硅、锰、磷、硫等。硫使钢在高温时产生脆性，磷使钢在低温时产生脆性；硅、锰含量不多，仅作为杂质存在时，对钢的性能影响并不显著。此外，锰还可以减少硫对钢的危害性，因此，钢中保持一定的含锰量是有益的。

为了使钢具有某些特定的性能，需要专门加入一些元素，如铬、钼、钨、钒、钛等，则称为合金钢。由于合金钢价格较贵，往往用于制造重要的和具有特殊性能的机械零件。

钢的品种繁多，下面仅简略介绍机械零件常用的钢种。

(1) 普通碳素钢 这是主要根据钢中含有害杂质硫、磷的多少而划分的钢种。这种钢中硫、磷含量分别不大于0.055%和0.045%；按照所保证的技术条件分甲、乙、特（或A、B、C）三类。其中甲类钢按保证机械性能供应，应用最广。其牌号有甲0、甲1、甲2……甲7（或A0、A1、A2……A7），随着其牌号中数字的增加，钢的强度增加，塑性降低。甲类钢多用于制造一般要求的机械零件。

(2) 优质碳素结构钢<sup>①</sup> 优质碳素结构钢的划分根据同于普通碳素钢，其硫、磷含量分别不大于0.045%和0.040%。由于硫、磷含量较少，塑性和韧性都比较好，所以用于制造较重要的机械零件，是机械制造中广泛采用的钢种。根据钢中含锰量不同，优质碳素结构钢又分为普通含锰量钢和较高含锰量钢两类。这种钢的牌号用两位数字表示，这两位数字代表钢中的平均含碳量，以0.01%为单位。例如钢号45，表示平均含碳量为0.45%的优质碳素结构钢。如果是较高含锰量钢，则在两位数字后面附以“Mn”如40Mn等。

(3) 合金结构钢 合金结构钢是在碳素钢的基础上适当地加入一种或数种合金元素，其牌号采用“数字+化学元素+数字”的表示方法，前面的数字表示钢中平均含碳量，以万分之几表示；合金元素直接用化学符号（或汉字）表示，后面的数字表示合金元素的平均含量，以百分之几表示。当合金元素的含量小于1.5%时，只标明元素，不标含量，当平均含量等于或大于1.5%、2.5%、3.5%……时，则相应地以2、3、4……等表示。例如60Si2Mn表示平均含碳量为0.6%、平均含硅量为2.0%、平均含锰量小于1.5%的硅锰钢。

若为含硫、磷量较低（ $S \leq 0.02\%$ ， $P \leq 0.03\%$ ）的高级优质钢，则在钢号的最后加以符号“A”，例如20Cr2Ni4A。

<sup>①</sup> 工业上凡是用于制造各种机械零件以及用于建筑工程结构的钢都称为结构钢。

为了表示钢的用途，往往在钢号的前面再附以字母，例如：滚珠轴承钢在钢号前面加“G”（“滚”字汉语拼音的第一个字母），后面的数字表示铬的平均含量，以千分之几表示，如GCr9、GCr15等。

采用合金结构钢来制造各类机械零件，除了它们有较高的强度和较好的韧性外，另一重要原因还在于合金元素的加入增大了钢的淬透能力，这就有可能使零件在整个截面上得到均匀的良好综合机械性能。

(4) 铸钢 对于形状复杂、尺寸较大、机械性能要求较高的机械零件，象重载大型齿轮、轧钢机机架等，往往由于受到锻造设备吨位的限制，难以锻出形状复杂的毛坯，便可用铸钢制造。铸钢也分为碳素铸钢和合金铸钢两类，其牌号的表示方法与优质碳素结构钢、合金结构钢的表示方法基本相同，所不同的仅在牌号前冠以“ZG”（即“铸钢”两字汉语拼音的第一个字母），例如ZG45表示平均含碳量为0.45%的碳素铸钢。

## 2. 铸铁

含碳量大于2.06%的铁碳合金称为铸铁，工业上常用的铸铁一般含碳量在2.5~4.0%的范围内。铸铁的抗拉强度、塑性、韧性较差，无法进行锻造和压延，但它的抗压强度较高，具有良好的铸造性、切削加工性和减摩性等，加之价格低廉、生产设备简单等特点，因此，它在机械制造中是用得最多的金属材料，常用于制造承受压力的基础零件或形状复杂、对机械性能要求不高的机械零件。常用的铸铁有灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁三种。

(1) 灰铸铁 灰铸铁中的碳主要以片状石墨形式存在，因断口呈灰色而得名。它有一定的机械强度和良好的切削加工性，是制造机械零件的主要铸造材料，常用于制造带轮、轻载低速大齿轮、机座和箱体等。灰铸铁的牌号由“HT”（“灰铁”两字汉语拼音的第一个字母）和一组数字组成，如HT150，数字表示平均抗拉强度。

(2) 球墨铸铁 球墨铸铁中的碳主要以自由状态的球状石墨形式存在。石墨呈球状，对铸铁基本组织的割裂作用较片状大为减轻，从而提高了铸铁的强度，并具有较好的塑性。球墨铸铁常被用于代替铸钢和锻钢制造某些机械零件，如曲轴、连杆和凸轮轴等。球墨铸铁的牌号由“QT”（球铁两字汉语拼音的第一个字母）和两组数字组成，如QT40-17，前一组数字表示最低抗拉强度，后一组数字表示最低延伸率。

(3) 可锻铸铁 可锻铸铁中的碳主要以团絮状石墨形式存在。“可锻”仅说明它比灰铸铁有较好的塑性和韧性，实际上并不能锻造，仍然只能用于铸造。可锻铸铁的强度比灰铸铁高，又比钢具有更优良的铸造性能，因此生产上用得较多，适用于制造一些截面较薄而形状较复杂、工作中受到振动而强度要求又较高的零件，如汽车、拖拉机的后桥壳、轮壳、管子接头等。可锻铸铁的牌号由“KT”或“KTZ”及两组数字组成，其中“KT”是“可铁”二字汉语拼音的第一个字母，“Z”代表珠光体基体。如KT300-06，前一组数字表示最低抗拉强度，后一组数字表示最低延伸率。

## 3. 有色金属合金

在工业上，把铁以外的金属统称为有色金属，如铝、镁、铜、锡、铅、锌等。有色金属通常均以其合金用于制造机械零件，极少应用纯有色金属。有色金属合金具有一些特殊性能，如高的导电性、导热性、耐腐蚀性和减摩性等，因而成为现代工业技术中不

可缺少的材料。但有色金属合金稀少，价格昂贵，只有需要满足特殊要求时才采用。

常用的有色金属合金有：

(1) 铜合金 铜和锌(有时还加入其他元素)组成的合金称为黄铜；铜和锡(有时还加入其他元素)组成的合金称为青铜；铜和铅、镍、锰、硅、铝、铍(二元或多元)组成的合金称为无锡青铜。黄铜主要用于制造弹簧、垫片、衬套及耐蚀零件等；青铜主要用于制造轴瓦、蜗轮及要求耐磨、耐蚀的零件。

(2) 铝合金 根据铝合金的成分及生产工艺特点，可将铝合金分为形变铝合金和铸造铝合金两类。形变铝合金以硬铝和锻铝在机械零件中应用较广，硬铝通常以型材供应；锻铝以棒料供应，以锻造法制成毛坯；铸造铝合金主要用于制造活塞、汽缸体等。

铝合金的优异特性是具有高的强重比，在同样的强度条件下，用铝合金制成的零件的质量要比钢的小得多。因此，对于减小质量具有重大意义的零件(如飞机零件、内燃机活塞等)，使用铝合金制造是很恰当的。

#### 4. 非金属材料

非金属材料如工程塑料、橡胶、皮革、陶瓷、木材和纸板等。工程塑料具有相对密度小、强度高、减摩、耐磨、绝缘、绝热、成型简单及成本低等优点，在一定条件下可用来代替金属材料，用于制造罩壳、支架和轴瓦等。橡胶的弹性好，常用作弹性元件和挠性件(胶带)等。

## 二、材料的选择

设计机械零件时，从各种各样的材料中选择出合用的材料，是一项复杂的技术经济工作。在以后各有关章节中，将分别介绍所推荐的适用材料。以下仅提出选择材料应考虑的主要问题。

(1) 使用要求 首先应保证机械零件不失效，如满足强度和刚度等方面的一般使用要求，其次还应满足重量轻、绝缘(导电)、防腐蚀等特殊使用要求。

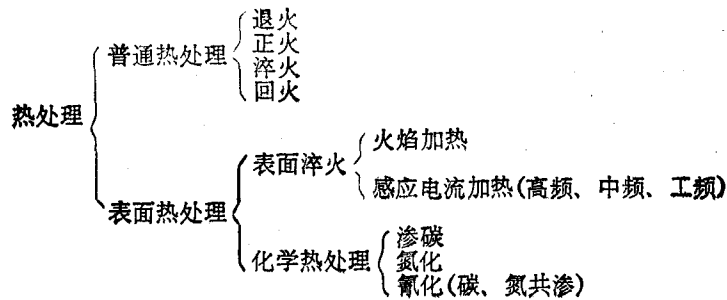
(2) 制造工艺要求 铸造应考虑材料在液态时的流动性，产生缩孔或偏析的可能性等；锻造应考虑材料的延展性，热脆性和变形能力等；焊接应考虑材料的可焊性和产生裂纹的倾向等；热处理应考虑材料的可溶性、淬透性及淬火变形倾向等；切削加工应考虑材料的易切削性、切削后能达到的表面粗糙度和表面性质的变化等。

(3) 经济性要求 在满足使用要求的前提下，尽可能选用价格低廉和我国资源丰富及本地区市场供应充分的材料。

## 三、钢的热处理概念

热处理是将钢在固态下施以不同的加热、保温和冷却速度来控制 and 改变钢的组织结构，从而得到不同性能的工艺方法。热处理不仅可以改进钢的加工工艺性能，更重要的是它会显著提高钢的机械性能，增加机械零件的强度，延长机械的使用寿命，所以热处理在机械制造中具有重要的作用。目前机械中大多数零件都要进行热处理。

根据加热和冷却的方法不同，热处理可按以下分类：



### 1. 退火

退火是将钢加热到一定温度，保温一段时间，然后随炉冷却的热处理方法。钢的退火是一种时间较长的热处理工艺，通过退火可以消除内应力和降低硬度，以利于切削加工，提高塑性和韧性，改善组织，为进一步热处理(如淬火等)作好准备。

### 2. 正火

正火的方法与退火相似，所不同的是用正火时钢是在空气中冷却。由于正火的冷却速度比退火快，钢的硬度和强度较高，但消除内应力不如退火彻底，所以从切削加工性方面考虑，中、低碳结构钢以正火作为预先热处理比较合适。从经济方面考虑，正火钢在炉外冷却，不占用设备，生产周期短，耗热量少，生产率高，且操作方便，故在可能条件下，应优先考虑以正火代替退火。对于普通结构的零件，正火常作为最终热处理，用以提高其机械性能。

### 3. 淬火与回火

淬火是将钢加热到一定温度，保温一段时间，然后在水或油中快速冷却的热处理方法。

钢件淬火后，硬度急剧增加，但存在很大的内应力和脆性。为了减小内应力和脆性，避免发生变形甚至开裂，以获得良好的机械性能，淬火后一般均需回火。

回火是将淬火钢重新加热到某一低于临界点的温度，保温一段时间，然后冷却下来的热处理方法。回火钢的硬度随加热温度的升高而降低。

根据加热温度不同，回火可分为低温、中温、高温回火三种。低温回火温度范围为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。淬火钢经低温回火后，可以减小内应力和脆性，仍能保持淬火钢的高硬度(HRC55~62)和耐磨性，故适用于各类高碳钢的工具、模具、量具、滚动轴承和渗碳或表面淬火的零件等。中温回火温度范围为 $350\sim 450^{\circ}\text{C}$ 左右，回火后大致硬度范围为HRC35~45。淬火钢经中温回火后，提高了弹性，但硬度有所降低，故适用于各种弹簧、弹簧夹头及某些要求较高强度的零件，如刀杆、轴套等。高温回火温度范围为 $500\sim 680^{\circ}\text{C}$ ，硬度范围为HRC23~35。钢在这种温度范围回火后，可得到强度、塑性和韧性等都较好的综合机械性能。生产上习惯把淬火后高温回火的热处理方法称为调质处理。调质处理广泛地用于各种重要的结构零件，特别是那些在交变负荷下工作的连杆、螺栓、齿轮及轴类零件等。调质不但可作为这些重要零件的最终热处理，而且还常作为某些精密零件如丝杆、量具、模具的预先热处理。

淬火与回火是生产上应用最广泛的两种热处理工艺，这两种工艺经常是不可分割而紧密衔接的两道生产工序。