

# 机械设计基础

主 编 宋宝玉

副主编 朱东华 郑大字 张锋

主 审 王连明

2-43

哈尔滨工业大学出版社

## 内 容 提 要

本书以培养学生机械设计能力为主线,将机械原理和机械设计的内容有机整合,并根据教学的需要增加了机械工程材料、公差与配合基础知识等内容。

全书共十八章:第一章 绪论;第二章为机械设计概论;第三、四、八、九、十七章主要讲述常用机构及机械动力学基本知识;第五~七、十~十五章主要讲述常用联接、机械传动、轴系零部件和弹簧的结构及工作能力设计的知识;第十六章为箱体及机架零件;第十八章为机械传动系统方案设计。

本书为高等工科大学非机类、近机类专业本科学生的“机械设计基础”课程的教材,也可供有关专业师生和相关领域工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/宋宝玉主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.8

ISBN 7 - 5603 - 1750 - 2

I .机… II .宋… III .机械设计 - 高等学校 - 教材  
IV .TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 059156 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006  
传 真 0451 - 6414749  
印 刷 地矿部黑龙江测绘印制中心印刷厂  
开 本 787×1092 1/16 印张 18.75 字数 453 千字  
版 次 2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 7 - 5603 - 1750 - 2/TH·104  
印 数 1 ~ 3 000  
定 价 19.80 元

# 前 言

本书是根据高等工科学校近机类、非机类专业“机械设计基础”课程教学基本要求和 21 世纪教学内容和课程体系改革的需要,结合参编高校多年的教学实践经验编写而成的。全书从整机设计出发,将机械原理与机械设计的内容有机整合,精选教学内容,并适度增加适应科技发展的新知识、新技术和新理论。本书为了适合不同专业,不同学时要求,采用可拆可减的结构,有的可整节删除,有的甚至可以整章删除。各章均采用国际单位制和最新颁布的国家标准。另外,从培养学生的设计能力和有利于学生复习的角度出发,编写了较多的习题和思考题。

参加本书编写的有:哈尔滨工业大学宋宝玉(第一、二章),哈尔滨工业大学威海分校朱东华(第六、七、十六章),哈尔滨商业大学郑大宇(第五、十一、十五章),哈尔滨工业大学张锋(第十、十四章),东北林业大学任长清(第十二、十三章),齐齐哈尔大学王世刚(第八、九、十七章),大庆石油学院梁宏宝(第三、四、十八章)。本书由宋宝玉主编,朱东华、郑大宇、张锋任副主编,全书由哈尔滨工业大学王连明教授主审。

由于编者水平有限,难免有疏漏或不当之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2002 年 6 月

# 目 录

## 第一章 绪论

- 1.1 机械的组成及本课程研究的对象 ..... (1)
- 1.2 本课程的性质和任务 ..... (2)
- 1.3 本课程的特点及学习方法 ..... (3)

## 第二章 机械设计概论

- 2.1 机械设计的基本要求、一般程序及标准化 ..... (4)
- 2.2 机械零件设计概述 ..... (6)
- 2.3 常用机械工程材料及钢的热处理 ..... (9)
- 2.4 公差与配合 ..... (21)
- 2.5 机构运动简图及平面机构自由度 ..... (37)
- 2.6 现代设计方法简介 ..... (43)

## 第三章 平面连杆机构

- 3.1 平面连杆机构的基本知识 ..... (49)
- 3.2 平面连杆机构的设计 ..... (58)
- 3.3 速度瞬心在平面机构速度分析中的应用 ..... (60)

## 第四章 凸轮机构

- 4.1 凸轮机构的应用和类型 ..... (65)
- 4.2 推杆的运动规律 ..... (67)
- 4.3 凸轮轮廓曲线的设计 ..... (70)
- 4.4 凸轮机构的压力角和基圆半径 ..... (74)
- 4.5 凸轮机构的强度计算及结构设计 ..... (77)

## 第五章 带传动与链传动

- 5.1 带传动概述 ..... (80)
- 5.2 带传动的工作原理和工作能力分析 ..... (81)
- 5.3 V带传动的设计计算 ..... (84)
- 5.4 链传动 ..... (92)

## 第六章 齿轮传动

- 6.1 齿轮传动的特点和类型 ..... (100)
- 6.2 齿廓实现定角速比的条件 ..... (101)
- 6.3 渐开线齿廓 ..... (102)
- 6.4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸 ..... (104)
- 6.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动 ..... (106)
- 6.6 渐开线齿轮的切齿原理及根切与变位 ..... (108)
- 6.7 齿轮传动的精度 ..... (111)

6.8	齿轮的失效形式和设计准则 .....	(112)
6.9	齿轮材料和热处理方法 .....	(113)
6.10	直齿圆柱齿轮的强度计算 .....	(115)
6.11	斜齿圆柱齿轮传动 .....	(122)
6.12	圆锥齿轮传动 .....	(125)
6.13	齿轮的结构设计 .....	(128)
6.14	齿轮传动的润滑 .....	(130)
<b>第七章 蜗杆传动</b>		
7.1	蜗杆传动的特点和类型 .....	(132)
7.2	普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸 .....	(133)
7.3	蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料选择 .....	(136)
7.4	普通圆柱蜗杆的强度计算 .....	(137)
7.5	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算 .....	(139)
7.6	蜗杆和蜗轮的结构 .....	(142)
<b>第八章 轮系</b>		
8.1	轮系的分类及应用 .....	(146)
8.2	定轴轮系传动比 .....	(148)
8.3	周转轮系传动比 .....	(150)
8.4	混合轮系的传动比 .....	(152)
8.5	特殊行星传动简介 .....	(153)
<b>第九章 间歇运动机构</b>		
9.1	棘轮机构 .....	(157)
9.2	槽轮机构 .....	(160)
9.3	不完全齿轮机构 .....	(163)
<b>第十章 螺纹联接与螺旋传动</b>		
10.1	螺纹 .....	(165)
10.2	螺纹联接的基本类型和标准螺纹联接件 .....	(168)
10.3	螺纹联接的预紧和防松 .....	(169)
10.4	螺栓联接的强度计算 .....	(171)
10.5	螺栓组联接的结构设计 .....	(178)
10.6	螺旋传动 .....	(181)
<b>第十一章 轴</b>		
11.1	概述 .....	(189)
11.2	轴的结构设计 .....	(191)
11.3	轴的计算 .....	(195)
11.4	轴毂联接 .....	(202)
<b>第十二章 滚动轴承</b>		
12.1	滚动轴承的构造、类型和代号 .....	(208)
12.2	滚动轴承的失效形式及其选择计算 .....	(214)

---

12.3 滚动轴承部件的组合设计 .....	(221)
<b>第十三章 滑动轴承</b>	
13.1 摩擦、磨损及润滑基本知识 .....	(227)
13.2 滑动轴承的结构形式 .....	(232)
13.3 轴承材料和轴瓦结构 .....	(234)
13.4 非液体摩擦滑动轴承的设计计算 .....	(239)
13.5 液体动压润滑原理简介 .....	(240)
13.6 液体静压润滑原理简介 .....	(242)
<b>第十四章 联轴器、离合器和制动器</b>	
14.1 概述 .....	(244)
14.2 联轴器 .....	(244)
14.3 离合器 .....	(249)
14.4 制动器 .....	(251)
<b>第十五章 弹簧</b>	
15.1 弹簧的功用和类型 .....	(253)
15.2 圆柱螺旋弹簧的材料、制造和许用应力 .....	(254)
15.3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧设计 .....	(255)
<b>第十六章 机架零件</b>	
16.1 机架的分类与基本要求 .....	(261)
16.2 机架零件的计算载荷及截面形状 .....	(262)
16.3 机架零件的结构设计 .....	(263)
<b>第十七章 机械动力学</b>	
17.1 机械速度波动的调节 .....	(267)
17.2 回转件的平衡 .....	(271)
<b>第十八章 机械传动系统方案设计</b>	
18.1 机械传动系统方案设计的一般原则 .....	(277)
18.2 机械传动系统方案的拟定及创新设计 .....	(281)
18.3 方案的评价与决策 .....	(285)
18.4 机械传动系统方案设计实例 .....	(289)
<b>参考文献</b> .....	(292)

# 第一章 绪 论

人类在生产劳动中,创造出了各种各样的机械设备,如机床、汽车、起重机、运输机、自动化生产线、机器人和航天器等。机械既能承担人力所不能或不便进行的工作,又能较人工生产大大提高劳动生产率和产品质量,同时还便于集中进行社会化大生产。因此生产的机械化和自动化已成为反映当今社会生产力发展水平的重要标志。改革开放以来,我国社会主义现代化建设在各个方面都取得了长足的发展,国民经济的各个生产部门正迫切要求实现机械化和自动化,特别是随着科学技术的飞速发展,对机械的自动化、智能化要求越来越迫切、越来越多,我国的机械产品正面临着更新换代的局面。这一切都对机械工业和机械设计工作者提出了更新、更高的要求,而本课程就是为培养掌握机械设计基本理论和基本能力的工程技术人员而设置的。随着国民经济的进一步发展,本课程在社会主义建设中的地位和作用将日益显得更加重要。

## 1.1 机械的组成及本课程研究的对象

### 1.1.1 机械的组成

生产和生活中各种各样的机械设备,尽管它们的构造、用途和性能千差万别,但它们的组成却有共同之处。下面以两个简单的机械为例,阐述机械的基本组成。

图 1.1 为捆钞机传动简图,工作原理如下:电动机 1 的转速和动力,通过 V 带传动 2、蜗杆减速器 3 和螺旋传动 4,传递给活动压头 5,压紧纸币 6。要求将 10 扎纸币(每扎 100 张)压实,然后用手工按规定形式捆结。

图 1.2 为热处理加热炉工件运送机的结构和运动简图。电动机 1 的转速和动力通过连轴器 2、蜗杆 3 与蜗轮 4、开式齿轮 5 和 6,传递给大齿轮 6 的轴 A,使轴 A 以较低的转速回转。通过联接在大齿轮 6 和摇杆 8 上的连杆 7,使摇杆 8 绕机架 11 上的轴作往复摆动,再通过联接在摇杆 8 和推块 10 上的连杆 9,使推块 10 在机架 11 的轨道上往复移动,向右移动时完成输送工件的功能。

通过上述两个例子,我们可得出以下几点共识:

(1) 任何一台完整的机械系统通常都有原动机、传动装置和工作机三大基本组成部分。例如,捆钞机和热处理加热炉工件运送机中的电动机就是原动机,原动机是机械设备完成其工作任务的动力来源,最常用的是各类电动机;捆钞机中的压头、加热炉工件运送机中的推

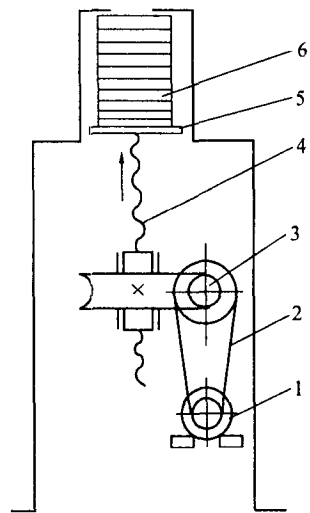


图 1.1 捆钞机

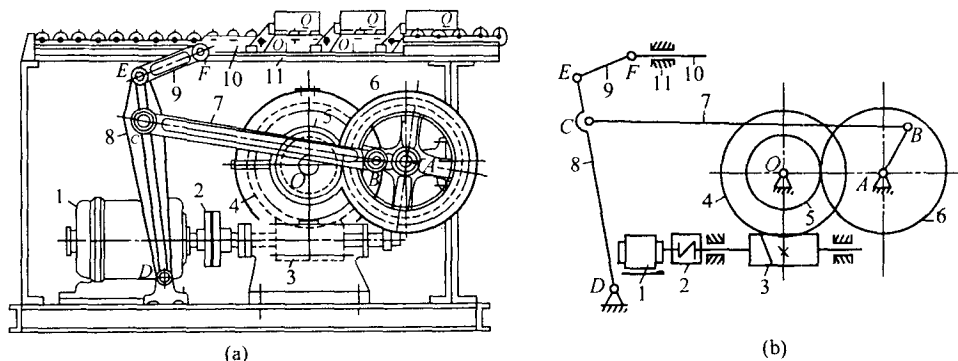


图 1.2 热处理加热炉工件运送机

块就是工作机,工作机是直接完成生产任务的执行装置,其结构形式取决于机械设备本身的用途;而捆钞机和加热炉工件运送机中的其他装置如V带传动、蜗轮、蜗杆、螺旋、连轴器等就是传动装置。传动装置的作用是将原动机的运动和动力转变为工作机所需要的运动和动力并传递之。传动装置是机械的主要组成部分,在很大程度上决定着整台机械的工作性能和成本,因此不断提高传动装置的设计和制造水平就具有极其重大的意义。

(2) 任何机械设备都是由许多机械零部件组成的。例如,在捆钞机中就有V带、带轮、蜗杆、蜗轮、轴、螺旋、滚动轴承等机械零部件。机械零件是机械制造过程中不可分拆的最小单元,而机械部件则是机械制造过程中为完成同一目的而由若干协同工作的零件组合在一起的组合体,如联轴器、滚动轴承等。凡是在各类机械中都用到的零部件称为通用零部件,例如,螺栓、齿轮、轴、滚动轴承、联轴器、减速器等。而只在特定类型的机械中才能用到的零部件称为专用零部件,例如涡轮机上的叶片、往复式活塞内燃机的曲轴、飞机的起落架、机床的变速箱等。

(3) 在机械设备中,有些零件是作为一个独立的运动单元体而运动,而有些零件则刚性地联接在一起,共同组成了一个独立的运动单元体而运动,如加热炉工件运送机中的齿轮6通过键联接与轴A固联成一个独立的运动单元体。机械中的每一个独立的运动单元体称为构件。因此,从运动的观点看,任何机械都是由构件组成的。一个具有确定相对运动的构件组合体称为机构,例如,图1.2中齿轮5、6构成的齿轮机构,摇杆8、连杆9与推块10组成的摇杆滑块机构等。任何机器中必包含一个或一个以上的机构。在各种机械中普遍使用的机构称为常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构等。

### 1.1.2 本课程研究的对象

本课程主要从整机设计要求出发,研究机械中的常用机构和通用零部件的工作原理,结构特点,基本的设计理论和计算方法。

## 1.2 本课程的性质和任务

本课程是一门设计性的技术基础课。它综合运用机械制图、工程力学、金属工艺学、机械工程材料与热处理、互换性与测量技术基础(对教学计划中未安排这两门先修课的专业,



本教材补充了相应的教学内容)等先修课程的知识 and 生产实践经验,解决常用机构和通用零部件的设计问题。通过本课程的学习和课程设计实践,使学生在设计一般机械传动装置或其他简单的机械方面得到初步训练,为学生进一步学习专业课程和今后从事机械设计工作打下基础。因此本课程在非机械类或近机械类专业教学计划中具有承前启后的重要作用,是一门主干课程。

本课程的主要任务是培养学生:

- (1) 初步树立正确的设计思想。
- (2) 掌握常用机构和通用机械零部件的设计或选用理论与方法,了解机械设计的一般规律,具有设计机械系统方案、机械传动装置和简单机械的能力。
- (3) 具有计算能力、绘图能力和运用标准、规范、手册、图册及查阅有关技术资料的能力。
- (4) 掌握本课程实验的基本知识,获得实验技能的基本训练。
- (5) 对机械设计的新发展有所了解。

### 1.3 本课程的特点及学习方法

本课程和基础理论课程相比较,是一门综合性、实践性很强的设计性课程。因此学生在学习时必须掌握本课程的特点,在学习方法中尽快完成由单科向综合、由抽象向具体、由理论到实践的思维方式的转变。通常在学习本课程时应注意以下几点:

(1) 要理论联系实际。本课程研究的对象是各种机械设备中的机构和机械零部件,与工程实际联系紧密,因此,在学习时应利用各种机会深入生产现场、实验室,注意观察实物和模型,增加对常用机构和通用机械零部件的感性认识。了解机械的工作条件和要求,然后从整台机械设备分析入手,确定出合理的设计方案、设计参数和结构。

(2) 要抓住设计这条主线,掌握常用机构及机械零部件的设计规律。本课程的内容看似“杂乱无章”,但是无论常用机构,还是通用机械零部件,在设计时都遵循着共同的设计规律,只要抓住设计这条主线,就能把本课程的各章内容贯穿起来。

(3) 要努力培养解决工程实际问题的能力。多因素的分析、设计参数多方案的选择、经验公式或经验数据的选用及结构设计,是解决工程实际问题中经常遇到的问题,也是学生在学习本课程中的难点。因此在学习本课程时一定要尽快适应这种情况,按解决工程实际问题的思维方法,努力培养自己的机械设计能力,特别是机械系统方案设计能力和结构设计能力。

(4) 要综合运用先修课程的知识解决机械设计问题。本课程研究的各种机构和各种机械零部件的设计,从分析研究、设计计算,直至完成零部件工作图,要用到多门先修课的知识,因此在学习本课程时必须及时复习先修课的有关内容,做到融会贯通,综合运用。

### 习题与思考题

- 1.1 指出下列机器的动力部分、传动部分和执行部分:(1)汽车;(2)自行车;(3)车床;(4)电风扇。
- 1.2 本课程的任务是什么?
- 1.3 学习本课程应注意哪些问题?

## 第二章 机械设计概论

### 2.1 机械设计的基本要求、一般程序及标准化

#### 2.1.1 机械设计的基本要求

机械设计就是根据生产及生活上的某种需要,规划和设计出能实现预期功能的新机械或对原有机械进行改进的创造性工作过程。机械设计是机械生产的第一步,是影响机械产品制造过程和产品性能的重要环节。因此,尽管设计的机械种类繁多,但设计时都应满足下列基本要求。

##### 1. 使用功能要求

要求所设计的机械应具有预期的使用功能,既能保证执行机构实现所需的运动(包括运动形式、速度、运动精度和平稳性等),又能保证组成机械的零部件工作可靠,有足够的强度和使用寿命,而且使用、维护方便。这是机械设计的基本出发点。

##### 2. 工艺性要求

所设计的机械无论总体方案还是各部分结构方案,在满足使用功能要求的前提下,应尽量简单、实用,在毛坯制造、机械加工与热处理、装配与维修诸方面都具有良好的工艺性。

##### 3. 经济性要求

设计机械时一定要反对单纯追求技术指标而不顾经济成本的倾向。经济性要求是一个综合指标,它体现于机械的设计、制造和使用的全过程中,因此,设计机械时应全面综合地进行考虑。

提高设计、制造经济性的措施主要有:运用现代设计方法,使设计参数最优化;推广标准化、通用化和系列化;采用新工艺、新材料、新结构;改善零部件的结构工艺性;合理地规定制造精度和表面粗糙度等。

提高使用经济性的措施主要有:选用效率高的传动系统和支承装置,以降低能源消耗;提高机械的自动化程度,以提高生产率;采用适当的防护及润滑,以延长机械的使用寿命等。

##### 4. 其他要求

例如,劳动保护的要求,应使机械的操作方便、安全;还有便于装拆和运输的要求等。

#### 2.1.2 机械设计的一般程序

设计机械时应按实际情况确定设计方法和步骤,但是通常都按下述一般程序进行。

### 1. 确定设计任务书

根据生产或市场的需求,在调查研究的基础上,确定设计任务书,对所设计机械的功能要求、性能指标、结构形式、主要技术参数、工作条件、生产批量等作出明确的规定。设计任务书是进行设计、调试和验收机械的主要依据。

### 2. 总体方案设计

根据设计任务书的规定,本着技术先进、使用可靠、经济合理的原则,拟定出一种能够实现机械功能要求的总体方案。其主要内容有:对机械功能进行设计研究,确定工作机的运动和阻力,拟定从原动机到工作机的传动系统,选择原动机,绘制整机的运动简图,并判断其是否有确定的运动,初步进行运动学和动力学分析,确定各级传动比和各轴的运动和动力参数,合理安排各部件间的相互位置等。

总体方案设计是最能体现机械设计具有多个解(方案)的特点和创新精神的设计阶段,设计时常需作出几个方案,然后就功能、尺寸、寿命、工艺性、成本、使用与维护等方面进行分析比较,择优选定。

### 3. 技术设计

根据总体设计方案的要求,对其主要零部件进行工作能力计算,或与同类相近机械进行类比,并考虑结构设计上的需要,确定主要零部件的几何参数和基本尺寸。然后,根据已确定的结构方案和主要零部件的基本尺寸,绘制机械的装配图、部件装配图和零件工作图。在这一阶段中,设计者既要重视理论设计计算,更要注重结构设计。

### 4. 编制技术文件

在完成技术设计后,应编制技术文件,主要有:设计计算说明书、使用说明书、标准件明细表等,这是对机械进行生产、检验、安装、调试、运行和维护的依据。

### 5. 技术审定和产品鉴定

组织专家和有关部门对设计资料进行审定,认可后即可进行样机试制,并对样机进行技术审定。技术审定通过后可投入小批量生产,经过一段时间的使用实践再作产品鉴定,鉴定通过后即可根据市场需求组织生产。至此,机械设计工作才告完成。

## 2.1.3 机械设计中的标准化

标准化是组织现代化大生产的重要手段,也是实行科学管理的重要措施之一。标准化是指对机械零件的种类、尺寸、结构要素、材料性能、检验方法、设计方法、公差与配合、制图规范等制订出大家共同遵守的标准。它的基本特征是统一、简化。它的意义在于:

- (1) 能以最先进的方法在专门化工厂中对那些用途最广泛的零部件进行大量的、集中的制造,以提高质量,降低成本。
- (2) 能统一材料和零部件的性能指标,使其能够进行比较,提高零部件性能的可靠性。
- (3) 采用了标准结构和标准零部件,可以简化设计工作,缩短设计周期,有利于设计者

把主要精力用在关键零部件的设计上,从而提高设计质量。

(4) 零部件的标准化,便于互换,便于机械的维修。

由此可见,标准化是一项重要的设计指标和一项必须贯彻执行的技术经济法规。一个国家的标准化制订和执行程度反映了这个国家的技术发展水平。在我国现行的标准中,有国家标准、行业标准(如 JB、YB 等)和企业标准。在进行机械设计时必须自觉地贯彻执行标准。

## 2.2 机械零件设计概述

### 2.2.1 机械零件的主要失效形式和设计准则

当机械零件不能正常工作、失去所需的工作效能时,称该零件失效了。其主要失效形式有:断裂及塑性变形、过大的弹性变形、表面失效——如磨损、疲劳点蚀、胶合、塑性流动、压溃和腐蚀等,以及破坏正常条件引起的失效——如带传动中的打滑、受压杆件的失稳等。应该指出:同一种零件可能有多种失效形式,以轴为例,它可能发生疲劳断裂,也可能发生过大的弹性变形,还可能发生共振。在各种失效形式中,到底以哪一种为主要失效形式,这应该根据零件的材料、具体结构和工作条件等因素来确定。仍以轴为例,对于载荷稳定、一般用途的转轴,疲劳断裂是其主要失效形式;对于精密主轴,弹性变形量超过其许用值是其失效形式;而对于高速转动的轴,发生共振、丧失振动稳定性是其失效形式。

设计机械零件时,保证零件不产生失效所依据的基本准则,称为设计计算准则。主要有:强度准则、刚度准则、寿命准则、振动稳定性准则和可靠性准则等。其中强度准则是设计机械零件首先要满足的一个基本要求。为了保证零件工作时有足够的强度,设计计算时应使其危险截面上或工作表面上的工作应力(或计算应力) $\sigma$ (或 $\tau$ )不超过零件的许用应力 $[\sigma]$ (或 $[\tau]$ ),其表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (2.1)$$

$$\tau \leq [\tau]$$

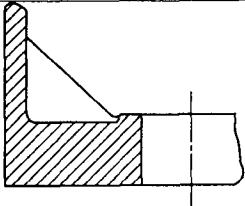
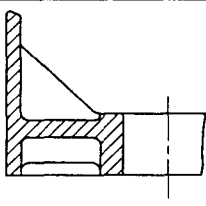
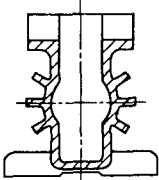
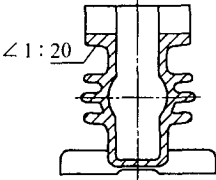
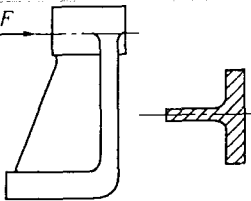
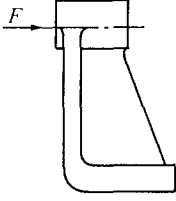
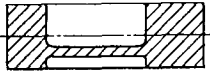
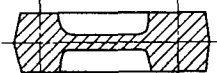
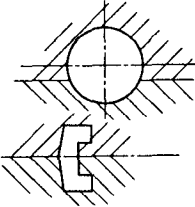
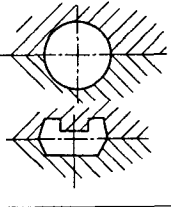
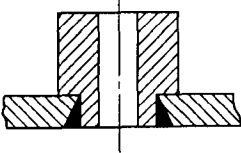
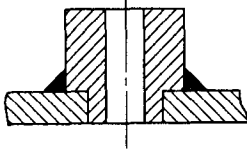
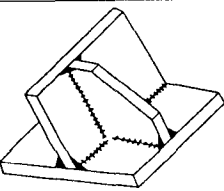
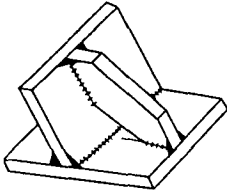
亦可表达为危险截面上或工作表面上的安全系数  $S$  大于或等于其许用安全系数 $[S]$ ,即

$$S \geq [S] \quad (2.2)$$



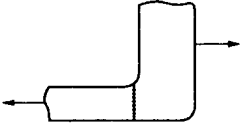
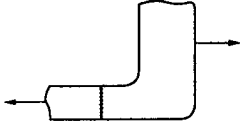
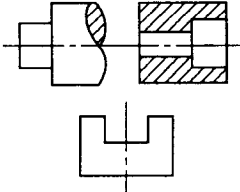
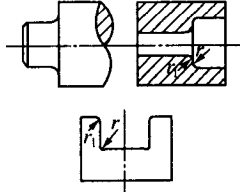
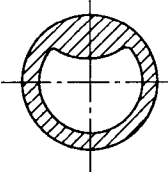
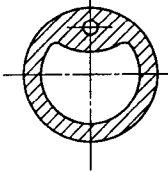
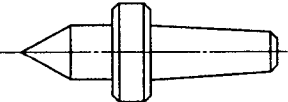
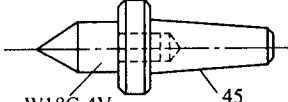
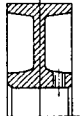
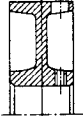
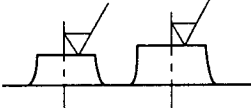
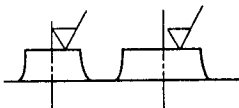
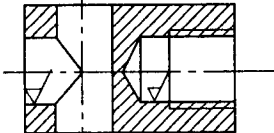
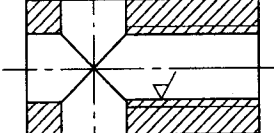
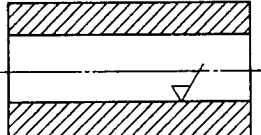
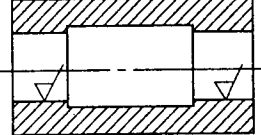
### 2.2.2 机械零件的结构工艺性

结构工艺性良好是指在既定的生产条件下,能方便而经济地生产出满足使用功能要求的零件,并且便于装配成机械。因此,零件的结构工艺性应从毛坯制造、热处理、机械加工和装配等几个生产环节加以综合考虑,其示例见表 2.1。

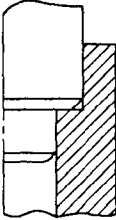
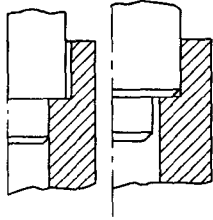
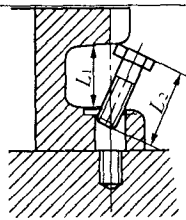
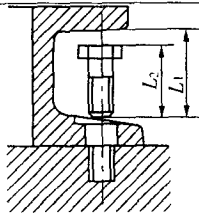
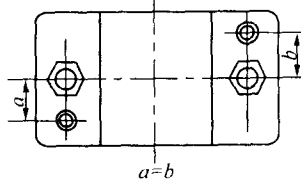
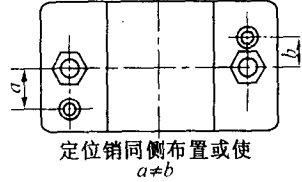
表 2.1 机械零件的结构工艺性示例

	不合理的结构	改进后的结构	改进后结构的优点
铸造工艺性			避免缩孔, 减轻质量, 增加强度和刚度
			容易造型, 便于拔模
			将加强筋布置在受力对面, 充分利用铸铁的抗压强度高的特点
模锻工艺性			形状对称, 有拔模斜度, 便于锻造
			正确选定分模线, 便于锻造
焊接工艺性			不开坡口, 工艺简单
			切去焊缝交叉处筋板的角, 可减小内应力

续表 2.1

	不合理的结构	改进后的结构	改进后结构的优点
焊接工艺性			未焊的一侧不受拉应力, 焊缝受力好
			焊缝不在应力集中处, 焊缝应力小, 强度高
热处理工艺性			将尖角、棱角倒圆或倒角, 可减小应力集中, 避免淬火时开裂
			加开工艺孔, 减轻剖面厚薄不均匀的程度, 使淬火变形小
			采用组合结构, 可避免整体淬火时发生开裂, 又可节省 W18Cr4V
切削加工工艺性			轮缘上开工艺孔后, 便能加工螺纹孔
			只需一次走刀, 并可同时加工几个零件, 生产效率高
			只需一次装卡, 并易保证孔的同轴度
			减少精车长度, 提高生产效率

续表 2.1

	不合理的结构	改进后的结构	改进后结构的优点
			避免两平面(或圆柱面)同时接触,既可降低非配合面的加工精度,又便于拆装
装 配 工 艺 性			保证了必要的安装拆卸紧固件的空间,便于拆装
			将定位销同侧布置或使 $a \neq b$ , 可保证装配精度

## 2.3 常用机械工程材料及钢的热处理

材料是人类社会发展的重要物质基础,是现代科学技术和生产发展的重要支柱之一。工程材料通常可分为金属材料、非金属材料两大类。在现代工业中,特别是在各种机械设备中,目前应用最多、最广的仍然是金属材料,约占整个用材的 80%~90%。

材料的使用性能与其成分、组织及加工工艺密切相关,尤其是金属材料,可通过不同的热处理方法来改变金属的表面成分和内部组织结构,以获得不同的性能,从而满足不同的使用要求。因此,机械设计和制造的重要任务之一,就是合理地选用材料和正确制定材料的加工工艺。

### 2.3.1 金属材料的机械性能及工艺性能

工业上使用的金属材料主要是合金,而纯金属应用较少(价贵且强度较低)。所谓合金,是指由两种或两种以上的元素(其中至少有一种是金属元素)所组成的具有金属性质的物质。如碳钢是由铁和碳组成的合金;黄铜是铜和锌组成的合金等。金属与合金统称为金属材料。

#### 1. 金属材料的机械性能

金属材料的机械性能是指其在外力作用下表现出来的特性,如弹性、塑性、刚度、强度、硬度等。

(1) 强度。强度是指材料抵抗塑性变形和断裂的能力。屈服极限  $\sigma_s$  和强度极限  $\sigma_b$  是

表征强度的主要指标。屈服极限  $\sigma_s$  是材料发生塑性变形时的应力, 强度极限  $\sigma_b$  是材料发生断裂时的应力。对于低碳钢这样的塑性较好的材料, 产生塑性变形后就会影响其正常工作, 故通常取其屈服极限  $\sigma_s$  作为破坏的极限应力。而铸铁等脆性材料直到断裂时不会产生明显的塑性变形, 只有在断裂时才丧失工作能力, 所以对脆性材料通常取其强度极限  $\sigma_b$  作为破坏的极限应力。

(2) 刚度。刚度是指材料抵抗弹性变形的能力。在弹性变形范围内应力与应变的比值是常数  $E$ , 即弹性模量。弹性模量  $E$  是引起单位应变所需的应力, 故  $E$  是表征材料刚度的主要指标。

(3) 塑性。金属的塑性是指在外力作用下金属产生塑性变形而不产生断裂的能力。工程上通常用试件拉断后所留下的残余变形来表示材料的塑性, 一般用两个指标表征塑性。

① 延伸率。试件拉断后单位长度内产生残余伸长的百分数称为延伸率, 用  $\delta$  表示, 即

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\% \quad (2.3)$$

式中  $l_1$ ——拉断后的长度;

$l$ ——拉伸前的长度。

② 收缩率。试件拉断后截面面积相对收缩的百分数称为收缩率, 用  $\psi$  表示, 即

$$\psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\% \quad (2.4)$$

式中  $A_1$ ——拉断后颈缩处的截面积;

$A$ ——拉伸前的截面积。

通常塑性材料的  $\delta$  或  $\psi$  较大, 而脆性材料的  $\delta$  或  $\psi$  较小。塑性指标在工程技术中具有重要的意义, 良好的塑性可使零件完成某些成型工艺, 如冷冲压、冷拔等。

(4) 硬度。硬度是指材料抵抗压入物压陷的能力, 也可以说是材料对局部塑性变形的抵抗能力。其硬度值的物理意义随测量方法的不同而不同。工程上常用的洛氏硬度和布氏硬度分别用 HRC 和 HBS 表示。

(5) 韧性和疲劳强度。以上讨论的是静载荷下的力学性能指标, 但机械设备中有很多零件要承受冲击载荷或周期性有规律的变载荷。这些载荷比静载荷的破坏能力要大得多, 所以不能用金属材料在静载荷下的性能来衡量材料抵抗冲击和变化载荷的能力。因此, 常用韧性和疲劳强度分别表示材料抵抗冲击载荷和变化载荷的能力。

① 韧性。在冲击载荷作用下, 金属材料抵抗破坏的能力。常用试样破坏时所消耗的功来表示。

图 2.1 是冲击韧性测定方法原理图。将待测材料制成标准缺口试样(图 2.1(a))。把试样放入试验机支座  $c$  处(图 2.1(b)), 使一质量为  $m$  的摆锤自高度  $h_1$  自由落下, 若冲断试样后摆锤升到的高度为  $h_2$ , 则冲断试样所消耗的冲击功为  $W_k = mg(h_1 - h_2)$ 。这可由冲击试验机的刻度盘指示出来。

常用的冲击韧性值  $a_k$  是试样缺口处单位面积  $A$  所消耗的冲击功, 即

$$a_k = W_k / A \quad (2.5)$$

$a_k$  值越大, 表示材料的韧性越好, 在受到冲击时越不容易断裂。

② 疲劳强度。金属材料受到交变载荷作用时会产生交变应力, 即使其应力未超过  $\sigma_s$ ,



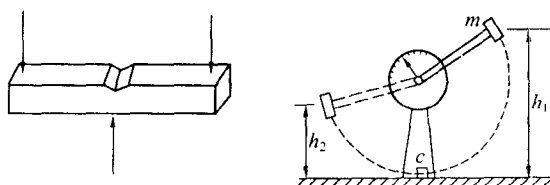


图 2.1 冲击试验原理图

但当应力循环次数增加到某一数值  $N$  后,材料也会产生断裂,这种现象叫做金属的疲劳。实践证明,材料承受交变或重复应力的能力与其断裂前的应力循环次数  $N$  有关,图 2.2 所示为  $\sigma$  与  $N$  的关系曲线,该曲线称为疲劳曲线。可以看出,应力最大值  $\sigma$  的数值越小,断裂前的循环次数  $N$  越大。应力  $\sigma$  降到某一定值后,疲劳曲线与横坐标平行,表明材料可以经受无限次应力循环而不产生疲劳断裂。此时的应力值称为疲劳极限。当应力循环对称时,用符号  $\sigma_{-1}$  表示。对钢材来说,若  $N$  达到  $10^6 \sim 10^7$  次仍不产生疲劳断裂,就可以认为不会出现疲劳了。因此可采用  $N = 10^7$  为基数确定钢材的疲劳极限。

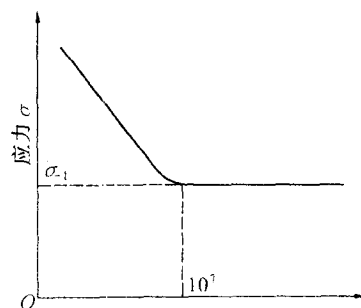


图 2.2 疲劳曲线

表 2.2、2.3 分别列出了常用金属材料的弹性模量及其他主要机械性能数值。

表 2.2 金属材料的弹性模量

材料名称	$E/\text{MPa}$	材料名称	$E/\text{MPa}$
灰口铸铁	$(7.85 \sim 14.7) \times 10^4$	冷拔黄铜	$(8.82 \sim 9.8) \times 10^4$
碳素钢	$(19.6 \sim 21.6) \times 10^4$	铸铝青铜	$10.3 \times 10^4$
合金钢	$(18.6 \sim 21.6) \times 10^4$	硬铝合金	$7.05 \times 10^4$
轧制磷青铜	$11.25 \times 10^4$	轧制铝	$6.25 \times 10^4$

表 2.3 几种常用材料的主要机械性能

材料名称	牌 号	$\sigma_s/\text{MPa}$	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\delta/\%$
普通碳素结构钢	Q215	195 ~ 215	335 ~ 410	30 ~ 32
	Q235	215 ~ 235	375 ~ 460	25 ~ 27
	Q275	255 ~ 275	490 ~ 610	19 ~ 21
优质碳素结构钢	20	245	410	25
	35	315	530	20
	45	355	600	16
碳素铸钢	ZG200 ~ 400	200	400	25
	ZG270 ~ 500	270	500	18
合金结构钢	20Cr	540	835	10
	40Cr	785	980	9
	40Mn2	735	885	12