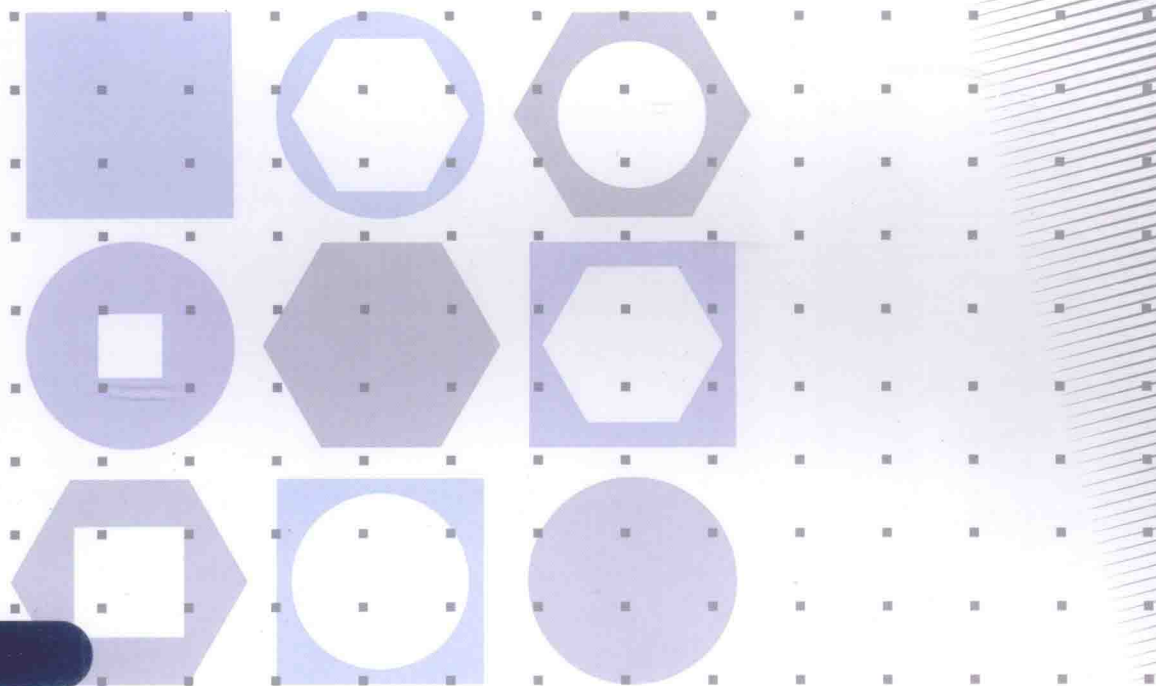


高 等 学 校 教 材

机械设计基础

第二版

贾艳辉 主编



高等教育出版社

高等学校教材

机械设计基础

Jixie Sheji Jichu

第二版

贾艳辉 主编

谭庆昌 审阅

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会最新制订的《机械设计基础课程教学基本要求》在第一版的基础上修订而成的,可作为理工科非机类(测控技术与仪器、自动化、电气工程、管理科学与工程、食品工程、物流工程等)专业 60 学时左右的机械设计基础课程教材,也可供近机类专业参考和选用。

全书共 14 章,主要介绍了机械设计的基础知识(机械零件的材料及热处理、极限与配合、制造方法等)和常用机构与通用零部件的结构、工作原理、工程应用及设计方法,包括平面机构运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构与间歇运动机构、齿轮传动、轮系、带传动和链传动、轴及轴毂连接、轴承、螺纹连接、联轴器、离合器、制动器、弹簧、机械的调速及平衡等。本书努力做到简化理论,突出重点,力求实用。本书除绪论外,每章都附有适量的思考题及设计题目,书后附录给出了常用的标准和规范。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/贾艳辉主编.--2 版.--北京:
高等教育出版社,2015.7
ISBN 978-7-04-043370-8

I. ①机… II. ①贾… III. ①机械设计—高等学校—
教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 2015 年第 15473 号

策划编辑 卢广
插图绘制 杜晓丹

责任编辑
责任校对 陈旭



张志奇
责任印制 张泽业

版式设计 王艳红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 三河市华骏印务包装有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 17
字 数 410 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2008 年 5 月第 1 版
2015 年 7 月第 2 版
印 次 2015 年 7 月第 1 次印刷
定 价 26.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 43370-00

第二版前言

本书是吉林大学国家工科机械基础教学基地组织编写的机械基础系列课程教材之一,是在第一版基础上并参考教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会制订的《机械设计基础课程教学基本要求》编写的,可作为高等学校理工科非机械类(测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、管理科学与工程、食品科学与工程、物流工程等)专业 60 学时左右的机械设计基础课程教材,也可供近机械类专业参考和选用。

本书借鉴国外先进教材体系,在内容的安排和取舍上减少理论推导,增强工程知识,适度扩展知识领域,体现少而精的原则。

除绪论外,每章都附有适量的思考题及设计题目,书后附录给出了常用的标准和规范。

鉴于非机械类专业大多不独立开设工程材料、公差与配合、机械制造基础课程,本书简要介绍了有关方面的基本知识。本课程的先修课程应该有工程图学、工程力学等,它们与本课程一起构成了理工科非机械类专业机械工程基础知识体系。

本书由贾艳辉主编,参加本书编写的有:贾艳辉(第 1、7、8 章,第 2 章 2.1、2.3),卢秀泉(第 3、4、5 章),李晓韬(第 6 章),罗彦茹(第 9、10、11、12 章),张起勋(第 13、14 章,第 2 章 2.2)。

吉林省教学名师、吉林大学博士生导师谭庆昌教授认真审阅了本书,对本书的编写体系和内容提出了许多宝贵的建议,编者在此表示衷心的感谢。

欢迎读者对书中不妥之处批评指正。

编 者

2014 年 5 月于吉林大学

目 录

第1章 绪论	1	6.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	67
1.1 本课程的研究对象和内容	1	6.4 渐开线齿轮的切齿原理及变位齿轮的概念	70
1.2 机械设计的基本要求和一般程序	2	6.5 渐开线圆柱齿轮的精度	74
第2章 机械零件设计的基础知识	6	6.6 齿轮传动的失效形式及齿轮材料	78
2.1 机械设计中的常用材料及热处理	6	6.7 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	81
2.2 机械零件的极限与配合	13	6.8 齿轮的结构和润滑	86
2.3 机械零件的常用加工方法	22	6.9 斜齿圆柱齿轮传动	91
习题	27	6.10 直齿锥齿轮传动	98
第3章 平面机构运动简图及其自由度	28	6.11 蜗杆传动	103
3.1 平面机构的组成	28	习题	114
3.2 平面机构运动简图	30	第7章 轮系	116
3.3 平面机构的自由度	32	7.1 轮系的分类	116
习题	35	7.2 定轴轮系的传动比	117
第4章 平面连杆机构	37	7.3 周转轮系的传动比	119
4.1 铰链四杆机构的基本类型及其演化	37	7.4 轮系的应用	122
4.2 铰链四杆机构的传动特性	43	习题	127
4.3 铰链四杆机构的设计	45	第8章 带传动和链传动	129
习题	48	8.1 概述	129
第5章 凸轮机构与间歇运动机构	50	8.2 普通V带的型号和结构	130
5.1 凸轮机构的应用及分类	50	8.3 带传动的受力及弹性滑动	131
5.2 从动件的常用运动规律	51	8.4 V带传动的设计	133
5.3 凸轮机构设计	55	8.5 滚子链链条与链轮	143
5.4 间歇运动机构	59	8.6 滚子链传动的设计计算	145
习题	61	习题	151
第6章 齿轮传动	62	第9章 轴及轴毂连接	153
6.1 齿轮传动的类型	62	9.1 概述	153
6.2 渐开线齿轮	63		

9.2 轴的结构设计	155	附表 2 孔的极限偏差值(摘自 GB/T 1800.2—2009)	251
9.3 轴的计算	159	附表 3 轴的极限偏差值(摘自 GB/T 1800.2—2009)	252
9.4 轴毂连接	165	附表 4 配合的应用	253
习题	169	附表 5 直线度、平面度公差值 (摘自 GB/T 1184— 1996)	253
第 10 章 轴承	170	附表 6 圆度、圆柱度公差值 (摘自 GB/T 1184—1996)	254
10.1 滚动轴承的类型、代号及其 选择	170	附表 7 平行度、垂直度公差值 (摘自 GB/T 1184— 1996)	254
10.2 滚动轴承的计算	175	附表 8 同轴度、对称度、圆跳动 公差值(摘自 GB/T 1184—1996)	255
10.3 滚动轴承的组合设计	183	附表 9 齿轮齿距累积总偏差 F_p 、 单个齿距偏差 $\pm f_{pt}$ 和齿廓总 偏差 F_α 值(摘自 GB/T 10095.1—2008)	256
10.4 滑动轴承的类型、结构和 材料	190	附表 10 齿轮螺旋线总偏差 F_β 和 径向跳动 F_r 值(摘自 GB/T 10095.1~2—2008)	256
10.5 滑动轴承的润滑	193	附表 11 齿轮切齿时的径向进刀 公差 b_r	257
10.6 非液体摩擦滑动轴承的 设计计算	196	附表 12 深沟球轴承(摘自 GB/T 276—2013)	257
10.7 液体动压径向滑动轴承简介	197	附表 13 角接触球轴承(摘自 GB/T 292—2007)	258
习题	199	附表 14 圆锥滚子轴承(摘自 GB/T 297—1994)	260
第 11 章 联轴器、离合器和制动器	201	附表 15 六角头螺栓(摘自 GB/T 5780~5783—2000)	261
11.1 联轴器	201	附表 16 普通平键、键槽的尺寸(摘自 GB/T 1095—2003、 GB/T 1096—2003)	262
11.2 离合器和制动器	205	参考文献	264
习题	208		
第 12 章 机械的调速与平衡	210		
12.1 机械速度波动的调节	210		
12.2 回转构件的平衡	214		
习题	218		
第 13 章 螺纹连接	220		
13.1 螺纹	220		
13.2 螺纹连接的类型及应用	223		
13.3 螺纹连接的设计	224		
习题	238		
第 14 章 弹簧	239		
14.1 弹簧的类型、结构和材料	239		
14.2 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的 设计计算	243		
习题	249		
附录	251		
附表 1 标准公差数值(摘自 GB/T 1800.3—2008)	251		

第 1 章

绪 论

1.1 本课程的研究对象和内容

人类通过长期的生产实践逐渐创造了类型繁多、功能各异的机器,如缝纫机、洗衣机、自行车、汽车、机床、机器人等。

图 1-1 所示为单缸内燃机,它由气缸体 1、曲轴 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、顶杆 7、凸轮 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气推动活塞往复移动,经过连杆转变为曲轴的连续转动,将燃气的热能转变成机械能。

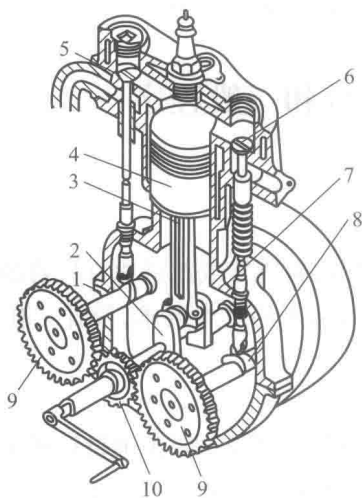


图 1-1 单缸内燃机

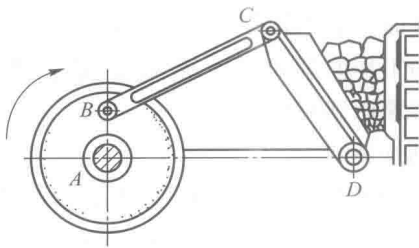


图 1-2 颚式矿石破碎机

图 1-2 所示为颚式矿石破碎机,当电动机驱动轮子绕固定轴 A 转动时,通过轮子上的偏心销 B 和连杆 BC 使动颚板绕 D 点往复摆动,改变与固定颚板之间的空间,轧碎两板之间的矿石。

从以上两例可以看出,尽管机器的构造、用途和性能各不相同,但都有以下一些共同的特征:

- (1) 都是许多人为实物的组合;
- (2) 各实物之间具有确定的相对运动;
- (3) 能完成有用的机械功或转换机械能。

具有以上三个特征的实物组合体称为机器,仅有前两个特征的称为机构。一部机器可以包含几个机构,如内燃机中曲轴、连杆、活塞和气缸体组成曲柄滑块机构,曲轴称为曲柄,活塞即是

滑块,将活塞的往复移动转变为曲轴的连续转动;凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构,将凸轮的连续转动转变为顶杆的往复移动;齿轮机构用来保证曲轴与凸轮之间的传动比。机器也可能只含一个机构,如颚式矿石破碎机就只含一个曲柄摇杆机构。机构在机器中起着改变运动形式、改变速度大小或改变运动方向的作用。若撇开机器在作功和能量转换方面起的作用,仅从结构和运动的观点来看,机器和机构并无区别。习惯上用“机械”作为机器和机构的总称。

机器中普遍使用的机构称常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等。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,也可以是几个零件的刚性组合,如内燃机中的连杆,它是由连杆体、连杆盖、螺栓等几个零件组成的刚性结构,是一个构件。由此可知,构件是运动单元,零件是制造单元。另外,通常把为完成共同任务而结合起来的一组零件称为部件,部件是装配单元,如滚动轴承、联轴器等。

机器中的零件可分两大类,凡是在各种机械中都经常使用的零件称为通用零件,如螺栓、轴、齿轮、滚动轴承、弹簧等。只出现在某些专用机械中的零件称为专用零件,如农机中的犁铧、装载机的铲斗等。

机械设计基础课程主要研究机械中常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法。这些常用机构和通用零部件构成了机器的主体。通过本课程的学习,学生可以掌握常用机构的工作原理和运动、动力特性,掌握通用零、部件选用和设计的基本知识,具有分析一般机器的组成、工作原理和设计机械传动装置、简单机械的基本能力。

1.2 机械设计的基本要求和一般程序

1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计的核心工作是创造和设计出实现预期功能的新机器或改进原有机器的性能。不论机器的类型和工作原理如何,一般来说,总会对机器提出以下的基本要求,设计工作也是围绕如何保证这些要求而展开的。

1. 使用功能要求

机器应具有预期的使用功能,这主要靠正确选择机器的工作原理,正确设计或选用能够实现功能要求的执行机构、传动机构和原动机,以及合理配置必要的辅助系统来实现。

2. 工作可靠性要求

为使机器在预定的使用寿命内可靠地工作,就要求组成机器的各个零、部件都能在使用期限内正常工作,由此对零、部件设计提出了工作能力要求。机器工作的可靠性还与制造、管理、维护等有关。

3. 经济性要求

机器的经济性体现在设计、制造和使用的全过程中。提高设计和制造经济性指标的主要途径有:采用先进的现代设计方法,使设计参数最优化,加快设计进度,降低设计成本;最大限度地采用标准化、系列化的零、部件;尽可能采用新技术、新工艺、新结构和新材料;降低管理、维护费用。

4. 劳动保护要求

劳动保护要求有两层含义:

(1) 机器的操作方便和安全。因此,应尽可能减少操作手柄的数量,操作手柄及按钮等都应放置在便于操作的位置;合理地规定操作时的驱动力,操作方式要符合人们的心理和习惯;设置完善的安全防护装置、报警装置、显示装置等。

(2) 改善操作者及机器的工作环境。所设计的机器应符合劳动保护法规的要求,要降低机器运转时的噪声,防止有毒、有害介质的渗漏,对废水、废气和废液进行治理,美化机器的外形及外部色彩等。

5. 其他专用要求

对不同的机器,还要满足一些特有的要求。例如:对流动使用的机器(如钻探机械)要便于安装和拆卸;对大型机器要便于运输;对食品、医药机械要防止污染产品等。

机器各项要求的满足,是以组成机器的零件的设计和制造为前提的。因此,对机构和零件的设计也要提出相应的要求。

1.2.2 机构和零件设计的基本要求

1. 机构设计时的基本要求

(1) 运动要求 机构应实现机器使用功能所提出的运动形式、运动特性等。

(2) 动力要求 机构的动力参数应与机器的工作要求相匹配,具有效率高、速度波动小、平衡精度高、冲击振动小等良好的动力特性。

(3) 可调性要求 为适应机器工作环境的变化,机构的运动参数、动力参数等要易于调节。

2. 零件设计的基本要求

零件是机器的制造单元。机构设计完成后只是得到机器的运动简图,只有通过零件设计方可获得用于加工制造的零件工作图及机械装配图。零件设计应满足的基本要求主要有以下几点。

(1) 工作能力要求

机械零件由于某些原因不能正常工作称为失效。在不发生失效的条件下,零件所能安全工作的限度称为工作能力。通常此限度是对载荷而言,所以习惯上又称为承载能力。机械零件种类繁多,工作条件各异,失效形式多样化,常见的有:断裂,如轴、轮齿的断裂;过大的变形,如机床主轴的弹性变形、齿轮轮齿的塑性变形等;表面失效,相对运动的表面磨损(如滑动轴承的磨损)、点或线接触处的表面疲劳(如滚动轴承的疲劳点蚀)、面接触处的表面压溃(如键连接中键槽的压溃)等。除了有明显的破坏以致零件失效外,有时还因为破坏了正常工作条件而引起失效,如带传动因张紧不足出现的打滑、回转构件不平衡引起的振动或振动频率接近其固有频率产生共振等。为防止零件失效,设计时保证其工作能力所依据的基本原则称设计准则,当对应具有具体计算式时,也称计算准则。机械零件设计的主要计算准则有:

1) 强度准则 强度是指零件抵抗断裂、过大的塑性变形或表面疲劳破坏的能力。强度准则就是要求零件在预期的设计寿命内不发生上述的失效。其广义的表达式为

$$\sigma \leq [\sigma]$$

式中: σ 为零件的工作应力; $[\sigma]$ 为零件材料的许用应力, $[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S}$ 。极限应力 σ_{lim} 取决于零件的材料和应力的种类, 安全系数 S 按零件设计要求选定。

在静应力下, 对于塑性材料, σ_{lim} 取材料的屈服极限 σ_s ; 对于脆性材料, σ_{lim} 取材料的强度极限 σ_b 。在变应力下, 零件多为疲劳失效, σ_{lim} 取材料的疲劳极限 σ_{rN} 。 σ_{rN} 由以下疲劳曲线方程确定:

$$\sigma_{rN} = \sigma_r \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \quad (1-1)$$

式中: σ_r 、 N_0 、 m 分别为零件材料的持久疲劳极限、循环基数和与应力状态有关的实验指数; N 是零件在使用期限内应力循环次数。当 $N \leq N_0$ 时, 可由式 (1-1) 求得对应于 N 的疲劳极限 σ_{rN} , 可得零件有限寿命下的许用应力; 当 $N > N_0$ 时, 对绝大多数黑色金属材料可以认为在无限次应力循环下都不会断裂, 即疲劳极限 $\sigma_{rN} = \sigma_r$ 。用 σ_r 求得的许用应力进行零件的设计也称无限寿命设计。本书中的大部分零件按无限寿命设计。

2) 刚度准则 刚度是指零件抵抗弹性变形的能力。机械零件在工作时所产生的弹性变形不超过允许的限度, 就称满足刚度准则。当零件的弹性变形过大影响机器的工作性能时 (例如机床主轴、导轨等), 必须验算刚度准则。其广义的表达式为

$$y \leq [y] \quad (1-2)$$

式中: y 为零件的弹性变形; $[y]$ 为零件允许的弹性变形。

3) 耐磨性准则 耐磨性是指相互接触并有相对运动的零件工作表面抵抗磨损的能力。当零件的磨损量超过许用值后, 使零件的尺寸和形状改变而不能正常工作, 如齿轮的磨损、滑动轴承的磨损等。耐磨性准则就是要求零件在预期设计寿命内磨损量不应超过允许值。但由于有关磨损的计算尚无简单可靠的理论公式, 故一般采用条件性计算。一是验算接触面压强 p , 以保证工作表面不产生过度磨损; 二是对滑动速度 v 较大的摩擦表面, 要验算 pv 值, 以限制摩擦功耗, 避免胶合。其表达式为

$$p \leq [p] \quad (1-3)$$

$$pv \leq [pv] \quad (1-4)$$

式中: $[p]$ 、 $[pv]$ 分别为零件材料的许用压强和许用 pv 值。

4) 振动稳定性准则 轴系由于不平衡引起的振动, 或在转速接近轴系临界转速时引起的共振, 都会影响机器的正常工作。

轴和轴上零件的材质不均、加工和装配误差、零件形状的非对称性等, 形成了轴系质量偏心, 回转时产生离心惯性力。因此, 高速回转的轴系零件 (也称转子), 应进行转子平衡。为避免共振, 轴系的固有频率 f 要错开外界激振频率 f_p , 通常应满足下列条件:

$$1.15f < f_p \quad \text{或} \quad 0.85f > f_p \quad (1-5)$$

设计时, 根据零件的工作条件、载荷及应力状态、材料和结构等多种因素, 分析其主要失效形式, 确定计算准则, 设计出零件的主要尺寸或参数。具体应用见后面各零件设计章节。

(2) 结构工艺性要求

在满足使用功能的前提下, 设计者应力求所设计的机械结构在既定的生产条件下, 能够方便而经济地生产出来, 并便于装配。所以, 零件的结构工艺性应从毛坯成形、机械加工及装配等几

个生产环节综合考虑。这方面已总结了大量的资料和实例可参考,后面各章零件设计时也适量体现。

(3) 经济性要求

每个零件的经济性构成了机器的经济性。零件的材料、结构、毛坯形式、精度等因素都影响零件的经济性。采用轻型的零件结构以降低材料消耗,采用廉价而供应充足的材料来代替贵重材料,采用少余量或无余量的毛坯以减少加工费用,大型零件采用组合结构来代替整体结构,选用适合的精度,尽可能采用标准化的零、部件来取代特殊加工的零、部件等,对提高零件的经济性都有效果。

1.2.3 机械设计的一般程序

机器的设计既是一个创造性的工作过程,同时也尽可能多地利用已有的成功经验。要把继承与创新结合起来才能设计出高质量的机器。一部完整的机器是一个复杂的技术系统,它的设计过程涉及许多方面。根据人们设计机器的长期经验,一部机器的设计程序基本上如表 1-1 所示。

表 1-1 机械设计的一般程序

设计的阶段	内 容	应完成的工作
计划	1. 根据市场需求或受用户委托,提出设计任务; 2. 进行可行性研究; 3. 编制设计任务书	提交可行性研究报告和设计任务书
方案设计	1. 进行机器方案设计; 2. 方案评价	提出最佳设计方案——原理图或机器运动简图
技术设计	1. 设计装配草图和部件装配草图; 2. 设计、绘制零件图; 3. 设计、绘制控制系统图和润滑系统图; 4. 完善装配图和部件装配图; 5. 编制计算说明书、使用说明书、工艺文件、外购件明细表等	提交机器总体设计图、机器装配图及部件装配图、零件图、技术资料
试制试验	通过试制、试验发现问题,加以改进	提出试制、试验报告,提交改进措施
投产以后	产品投产后,根据用户的意见、使用中遇到的问题以及市场的变化,做相应的改进和更新设计	市场调查,发现问题,更新设计

第 2 章

机械零件设计的基础知识

如前所述,若抛开机器功能和原理,从机械结构的角度来看,机器、机构都是由各种零件组装而成的,零件是设计、制造和装配单元。本章将对与其相关的基础知识作简要的论述。

2.1 机械设计中的常用材料及热处理

2.1.1 金属材料的性能

组成机器的零、部件大多都由金属材料制造而成,材料的性能直接影响机器的性能或使用寿命。金属材料的性能包括力学性能、物理性能(密度、导电性、导热性等)、化学性能(耐酸、耐碱、抗氧化性等)和工艺性能(热处理性能、切削性能等)。下面简单介绍设计中涉及最多的力学性能。

1. 强度指标

强度是指在外力作用下材料抵抗变形和断裂的能力。在工程上用来表示金属材料强度指标的有强度极限 σ_b 和屈服极限 σ_s 。对有些金属,工程上规定产生 0.2% 塑性变形时的应力称为条件屈服极限,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。在变应力下,材料不产生疲劳断裂的最大应力称疲劳极限 σ_r ,工程上常用的是对称循环疲劳极限 σ_{-1} 和脉动循环疲劳极限 σ_0 。这些强度指标在选定材料后都可以在材料手册中查取,从而可以按 1.2.2 节所述确定零件的强度准则。

2. 刚度指标

材料在受力时抵抗弹性变形的能力称刚度。在材料的弹性范围内,应力 σ 和应变 ε 的关系为 $\sigma = E\varepsilon$ 。 E 称弹性模量,表示材料抵抗弹性变形的能力。

3. 硬度指标

硬度是金属材料抵抗硬物压入其表面的能力。硬度值用硬度试验机测定,常用的硬度有布氏硬度 HBW 和洛氏硬度 HRC。

图 2-1 所示为布氏硬度*测试原理,采用直径为 D 的硬质合金球,以一定的压力 F 将其压入被测金属表面,经规定时间后,卸除压力,在被测表面留下压痕,量出压痕直径 d ,按其查表即得布氏硬度值。很明显,压痕直径 d 越大,材料的硬度越低。对于布氏硬度值大于 650 HBW 的

* 国家标准 GB/T 231.1—2002《金属布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》中规定布氏硬度只用 HBW 表示,但是其他标准中许多材料仍按照旧标准的试验方法采用 HBS 和 HBW 表示布氏硬度,所以本书中还会出现 HBS。

金属材料,上述测试方法不适用。

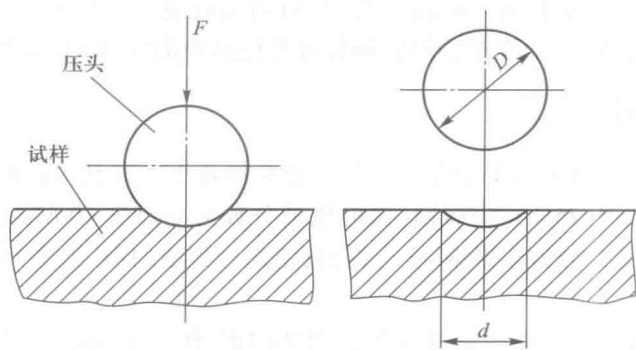


图 2-1 布氏硬度测试原理

洛氏硬度试验采用顶角为 120°的金刚石圆锥压头,如图 2-2 所示,以试样被测点的压痕深度 h 确定其洛氏硬度值。压痕越深,硬度越低。洛氏硬度法适用于测定较硬材料的硬度,如淬火钢。

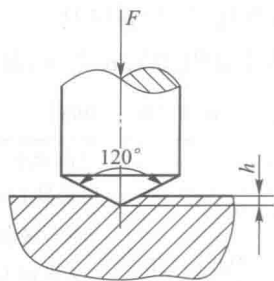


图 2-2 洛氏硬度测试原理

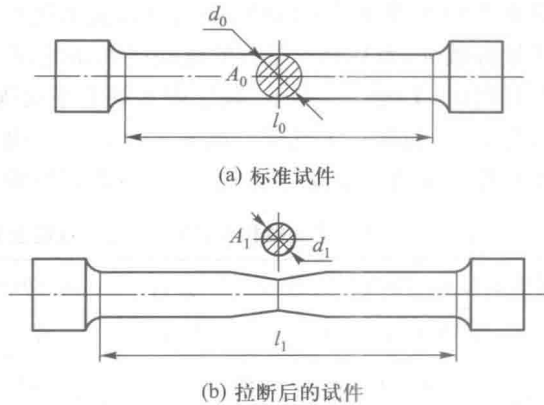


图 2-3 拉伸试件

4. 塑性指标

塑性是指在外力作用下材料产生永久变形(或称塑性变形)而不断裂的能力。常用的塑性指标有断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

断后伸长率
$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中: l_0 为试件的初始长度,mm; l_1 为试件拉断后的长度,mm,如图 2-3 所示。

断面收缩率
$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中: A_0 为试件的初始截面积,mm²; A_1 为试件的拉断后的截面积,mm²,如图 2-3 所示。 δ 和 ψ 越大,材料的塑性越好。金属压力加工就是利用金属材料的塑性而实现的。

5. 韧性指标

在冲击载荷作用下,材料抵抗破坏的能力称为韧性。金属材料的韧性大小,用冲击韧度 a_k

(单位 J/cm^2) 表示,工程上常用一次摆锤冲击试验测定。材料受冲击载荷破坏时,单位横截面上消耗的能量数值称为冲击韧度 a_k 。 a_k 值越大,材料的韧性越好,在受到冲击时越不容易断裂。在设计受冲击载荷的零件时,如锻锤、冲床、铆钉枪等机械中的零件,必须考虑材料的冲击韧性。

2.1.2 常用金属材料

机械设计中应用的金属材料分为钢、铸铁、有色金属几大类。其中钢按碳的质量分数分为低碳钢(碳的质量分数 $w_c < 0.25\%$)、中碳钢(碳的质量分数为 $0.25\% \sim 0.6\%$)、高碳钢(碳的质量分数 $w_c > 0.6\%$);按化学成分分为碳素钢、合金钢;按用途分为结构钢、工具钢。

1. 碳素钢

结合材料的用途和质量,碳素钢可分为碳素结构钢、优质碳素结构钢和碳素工具钢。

碳素结构钢的牌号由字母 Q、屈服极限 σ_s 、质量等级符号(A、B、C、D)及脱氧方法符号(F、Z、TZ)等四部分按顺序组成。质量等级 A 级最低, D 级最高; F 表示沸腾钢; Z、TZ 分别表示镇静钢和特殊镇静钢,是完全脱氧钢(Z、TZ 可以省略不写)。如 Q235AF,表示 $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$ 的 A 级沸腾钢。

优质碳素结构钢的牌号由两位数字表示,表示钢中平均碳的质量分数的万分之几,如 45 钢表示碳的质量分数 w_c 为 0.45% 左右的优质碳素结构钢。

碳素工具钢由“T+数字”表示,数字表示钢中平均碳的质量分数的千分之几,如 T8 钢表示碳的质量分数为 0.8% 的碳素工具钢。碳素工具钢主要用来制造刀具、量具和模具。

机械零件设计中常用的碳素结构钢、优质碳素结构钢的牌号及用途见表 2-1、表 2-2。

表 2-1 常用碳素结构钢的牌号、力学性能及用途 (摘自 GB/T 700—2006)

牌号	等级	屈服强度 $\sigma_s/(N/mm^2)$, 不小于						抗拉强度 ^① $\sigma_b/(N/mm^2)$	断后伸长率 $A/\%$, 不小于					冲击试验 (V形缺口)		应用举例
		厚度(或直径)/mm							厚度(或直径)/mm					温度 /℃	冲击吸收功 (纵向)/J 不小于	
		≤16	>16 ~40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150 ~200		≤40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150 ~200			
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335~450	31	30	29	27	26	—	—	金属 结构件、 拉杆、心 轴、垫 圈等
	B													+20	27	
Q235	A													—	—	金属 结构件、 吊钩、拉 杆、套、 螺栓、螺 母、楔、 盖、焊接 件等
	B													+20	27 ^②	
	C	235	225	215	215	195	185	370~500	26	25	24	22	21	0		
	D													-20		

续表

牌号	等级	屈服强度 $\sigma_s/(N/mm^2)$, 不小于						抗拉强度 ^① $\sigma_b/(N/mm^2)$	断后伸长率 $A/\%$, 不小于					冲击试验 (V形缺口)		应用举例	
		厚度(或直径)/mm							厚度(或直径)/mm					温度 /℃	冲击吸收功 (纵向)/J 不小于		
		≤ 16	>16 ~40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150 ~200		≤ 40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150 ~200				
Q275	A							410~540							—	—	轴、轴销、螺栓等
	B	275	265	255	245	225	215		22	21	20	18	17	+20	27		
	C													0			
	D													-20			

注:① 厚度大于 100 mm 的钢材,抗拉强度下限允许降低 20 N/mm²。宽带钢(包括剪切钢板)抗拉强度上限不作交货条件。

② 厚度小于 25 mm 的 Q235 B 级钢材,如供方能保证冲击吸收功值合格,经需方同意,可不作检验。

表 2-2 常用优质碳素结构钢的牌号、力学性能及用途(摘自 GB/T 699—1999)

牌号	硬度 /HBS		σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ /%	ψ /%	a_k /(J/cm ²)	应用举例
	未经处理	退火钢	不小于					
35	197		530	315	20	45	55	轴、圆盘、销轴、螺栓
40	217	187	570	335	19	45	47	轴、齿轮、链轮、键
45	229	197	600	355	16	40	39	
50	241	207	630	375	14	40	31	弹簧、凸轮、轴、轧辊
55	255	217	645	380	13	35	—	

2. 合金钢

合金钢是在碳素钢中有目的地加入一定量的其他合金元素,如铬、钼、锰、镍、钨、钛等形成的。这些元素的加入,增大了钢的淬透性,提高了合金钢的力学性能,增加了耐磨性。但合金钢冶炼工艺复杂,价格较高,另外也不是所有性能都优于碳素钢,如铸造性能、焊接性能都不如碳素钢,对应力集中也非常敏感。常用合金钢的牌号、力学性能及用途见表 2-3。

表 2-3 常用合金钢的牌号、力学性能及用途

类别	牌号	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ /%	ψ /%	a_k /(J/cm ²)	回火硬度 /HBS	表面淬火硬度 /HRC	应用举例
渗碳钢	20CrMnTi	1 080	835	10	45	55	217	渗碳 56~62	要求强度、韧性 均高的重要齿轮
调质钢	35SiMn	885	735	15	45	47	229	45~50	韧性高,可代 替 40Cr,用于轴、 齿轮、紧固件等
	35CrMo	980	835	12	45	63	229	40~45	较大截面齿 轮、重载传动轴
	40Cr	980	785	9	45	47	207	48~55	受变载的重要 零件,如齿 轮、 轴、连杆等
	42SiMn	885	735	15	40	47	229	48~55	与 35SiMn 同

3. 铸铁

铸铁是碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金。虽然铸铁的抗拉强度、塑性和韧性不如钢,无法进行锻造,但它有良好的铸造性、减振性和切削加工性能,所以在工业中得到广泛应用。根据铸铁中碳的存在形态不同,分为灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁等。

灰铸铁中的碳主要以片状石墨的形式存在,铸造性能好,并具有良好的减摩、耐磨性,常用来制造机床床身、带轮、箱体等,是使用最多的一种铸铁。灰铸铁的牌号由“HT+数字”表示。“数字”表示最低抗拉强度,如 HT250 表示最低抗拉强度为 250 MPa 的灰铸铁。

可锻铸铁中的碳主要以团絮状石墨的形式存在,因此材料的力学性能有所改善,其强度、韧性都比灰铸铁高,但并不能锻造。可锻铸铁的牌号,如 KTH300-06、KTZ650-02,其中:KTH 表示黑心可锻铸铁、KTZ 表示珠光体可锻铸铁;前一组数字表示最低抗拉强度,即分别表示 $\sigma_{bmin} = 300$ MPa、 $\sigma_{bmin} = 650$ MPa;后一组数字表示最低伸长率,06 表示最低伸长率为 6%,02 表示最低伸长率为 2%。

球墨铸铁中的碳主要以球状石墨的形式存在。球墨铸铁有良好的力学性能,有些指标接近于钢,韧性、耐磨性都比灰铸铁高。球墨铸铁的牌号与可锻铸铁相似,如 QT600-03,QT 表示球墨铸铁,其最低抗拉强度 $\sigma_{bmin} = 600$ MPa,最低伸长率为 3%。

常用铸铁的牌号、力学性能及用途见表 2-4。

表 2-4 常用铸铁的牌号、力学性能及用途

类别	牌号	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	回火硬度 /HBS	应用举例
灰铸铁	HT150	150			132~197	端盖、轴承座、手轮等
	HT200	200			151~229	机架、机体、中压阀体
	HT300	300			207~313	机体、轴承座、缸体、联轴器、齿轮等
可锻铸铁	KTH330-08	330		8	150≤	农机车轮、犁道、犁柱
	KTH350-10	350		10		减速机箱体、汽车拖拉机轮壳、制动器壳
球墨铸铁	QT600-03	600	370	3	190~270	曲轴、缸体、车轮等
	QT500-07	500	320	7	170~230	阀体、气缸、轴瓦等

4. 有色金属及其合金

通常将钢铁材料称黑色金属,而其他金属则称有色金属。在机械零件设计中最常用的有色金属是各种铜合金,如锡青铜、铝青铜、铅青铜等。由于铜合金具有较好的减摩性和耐磨性,在设计滑动速度较高的零件,如蜗轮齿圈、滑动轴承轴瓦等时,都要首选减摩材料。有关这类材料的性能见相关的章节。

2.1.3 钢的热处理

钢的热处理是将固态下的钢铁经过加热、保温、冷却,使其组织结构发生变化,从而获得所需性能的工艺方法。与铸、锻、焊及机械加工方法不同,热处理只改变材料的内部组织和性能,不改变工件的尺寸和形状。热处理不仅用于强化钢材,提高零件的使用性能,延长零件的使用寿命,而且还可以改善钢的加工性能,减少刀具磨损,提高零件的加工质量。

各种热处理工艺过程都可以包括加热、保温、冷却三个阶段,图 2-4 所示为热处理工艺曲线示意图。

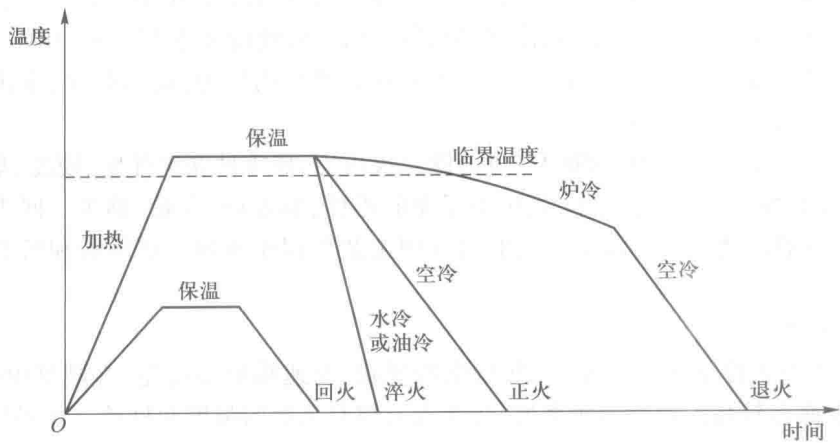


图 2-4 热处理工艺曲线示意图