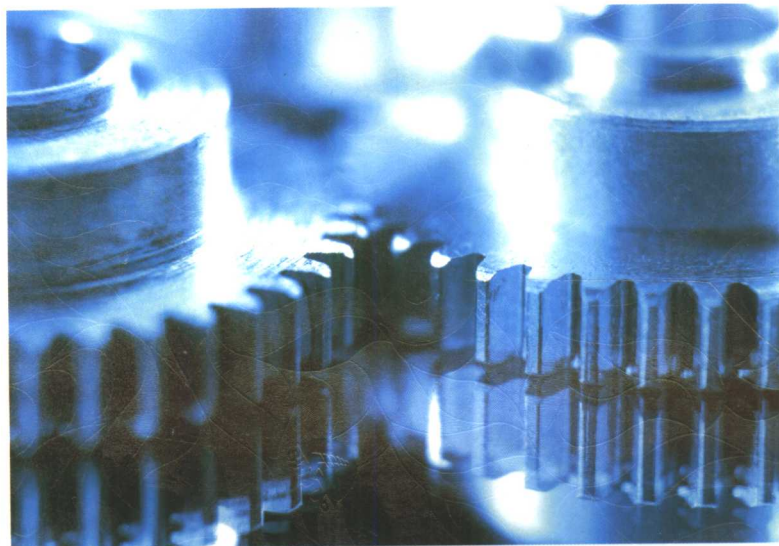
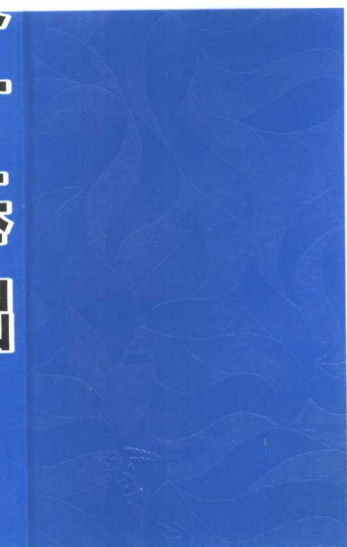


机械设计基础

Jixie Sheji Jichu



主编 ◆ 徐汇音 祖国庆 主审 ◆ 庄 智



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——机电类

机械设计基础

主编 徐汇音 祖国庆

主审 庄 智

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书为“21 世纪高等职业技术教育规划教材——机电类”的系列教材之一,内容包括工程力学、机械工程材料、机械原理与零件的基本知识。本书注重能力的培养和实际应用,引入了实训教学的内容,有助于项目教学的实施和学生综合能力的培养。此外,还介绍了最新的设计方法,体现了先进性、科学性和实用性。

本书可作为高职高专机电类的专业教材,同时可供相关的职业培训使用,并可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 徐汇音, 祖国庆主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2006.8

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 机电类
ISBN 7-81104-352-1

I. 机... II. ①徐...②祖... III. 机械设计—高等学校: 技术学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 092050 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——机电类

机 械 设 计 基 础

主 编 徐 汇 音 祖 国 庆

责任编辑	唐元宁
责任校对	李 梅
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	22.5
字 数	557 千字
版 次	2006 年 8 月第 1 版
印 次	2006 年 8 月第 1 次印刷
印 数	1—3 000 册
书 号	ISBN 7-81104-352-1
定 价	35.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

21 世纪高等职业技术教育规划教材——机电类

编 委 会

主 任 张 雪

副主任 郭晋荣

成 员 （按姓氏笔画为序）

张 龙 张爱民 李益民 李雪芳

连苏宁 邵剑平 武可庚 祖国庆

赵建英 徐汇音 陶若冰

前 言

本书属于“21世纪高等职业技术教育规划教材——机电类”的系列教材之一，内容包括工程力学、机械工程材料、机械原理与零件的基本知识。为适合高等职业教育的教学特点，突出学生的能力培养，并充分考虑学生实际情况，在教材内容的取舍上，力求实用、够用。在编写中注重实际应用，引入了生活中的应用实例，引入了实训教学内容，符合高职高专的教学特点和学生的认知能力。在表现形式和陈述方法上，力求理论与实践相结合，并引导学生利用已有的知识去探索和学习新知识、新技术，以有利于项目教学的实施和学生综合能力的培养。书中还介绍了现代设计方法，以体现先进性、科学性和实用性。

本书分十二章，由徐汇音、祖国庆主编，庄智主审。各章编写人员分别为：徐汇音（绪论、第五、八、九章）、梁新平（第一、五、七章）、李培虎（第二、三、四章）、杨成美（第四、十一章）、祖国庆（第六、十、十二章）。

由于编者水平有限，书中难免存在错误与不足，恳请读者批评指正。

编 者

2006年6月

目 录

绪 论	1
第一章 机械工程材料	7
第一节 金属材料的主要性能	7
第二节 钢的常用热处理	11
第三节 机械工程常用材料	14
实 训 硬度及冲击实验	18
习 题	23
第二章 物体的受力分析	24
第一节 静力学基本概念与静力学公理	24
第二节 约束与约束力	27
第三节 物体的受力分析 受力图	29
习 题	31
第三章 物体的平衡问题	33
第一节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	33
第二节 力矩 平面力偶系	36
第三节 平面任意力系	41
第四节 物体系统的平衡问题	47
第五节 摩 擦	50
第六节 空间力系基本知识	59
习 题	62
第四章 材料力学基础	66
第一节 概 述	66
第二节 轴向拉伸与压缩	68
第三节 剪切与挤压	83
第四节 圆轴扭转	88
第五节 直梁弯曲	96
第六节 组合变形概述	112
第七节 压杆稳定	114
第八节 动荷应力与交变应力	118
习 题	122
第五章 常用机构	126
第一节 平面机构运动简图	126

第二节 平面连杆机构·····	130
第三节 平面四杆机构的其他形式·····	133
第四节 平面四杆机构的特性和设计·····	135
第五节 凸轮机构·····	139
第六节 其他常用机构·····	148
习 题·····	151
第六章 连 接 ·····	155
第一节 概 述·····	155
第二节 键与销连接·····	157
第三节 螺纹连接与螺旋传动·····	163
第四节 轴间连接·····	174
习 题·····	182
第七章 带传动及链传动 ·····	184
第一节 带传动概述·····	184
第二节 V 带传动分析·····	189
第三节 V 带传动的选用计算·····	193
第四节 链传动概述·····	201
习 题·····	204
第八章 齿轮传动 ·····	206
第一节 概 述·····	206
第二节 渐开线齿轮各部分的名称及尺寸计算·····	209
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动·····	212
第四节 渐开线齿轮的加工原理和变位齿轮·····	213
第五节 齿轮传动的失效、材料、精度及结构·····	217
第六节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算·····	224
第七节 标准斜齿圆柱齿轮传动·····	232
第八节 直齿圆锥齿轮传动·····	237
第九节 蜗杆传动·····	241
第十节 蜗杆、蜗轮的结构·····	248
习 题·····	249
第九章 轮 系 ·····	251
第一节 定轴轮系及其传动比·····	251
第二节 行星轮系及其传动比·····	253
第三节 混合轮系的传动比·····	256
第四节 减速器·····	257
习 题·····	262

第十章 支承零部件	264
第一节 轴	264
第二节 滑动轴承	283
第三节 滚动轴承	290
习 题	311
第十一章 现代设计方法	314
习 题	318
第十二章 实训与社会实践指导	319
实训一 绘制平面机构运动简图与平面机构组装	319
实训二 自行车的拆装	323
实训三 渐开线直齿圆柱齿轮参数测定	326
实训四 减速器的拆装及其轴系的结构分析	331
实践一 机构应用调研报告	333
实践二 连接应用调研报告	334
实践三 常用机械材料应用调研报告	335
实践四 滚动轴承市场调研报告	336
附表 1 深沟球轴承 (GB/T 276—93)	338
附表 2 角接触球轴承 (GB/T 292—93)	341
附表 3 圆锥滚子轴承 (GB/T297—93)	344
附表 4 TL 型弹性套柱销联轴器 (GB4323—84)	346
附表 5 HL 型弹性柱销联轴器 (GB5014—85)	348
参考文献	350

绪 论

一、机器与机构

1. 机器及基本组成

人类在长期的生产和生活实践中创造和发展了机械，其目的是为了减轻或替代人的劳动，提高劳动生产率。在我国，机械的创造、发展及使用有着悠久的历史。早在公元 31 年的东汉时期，发明的水排为当时的炼铁业提供了带动风箱鼓风的机械装置，如图 1 所示，它应用了水力学原理和复杂的连杆机构。图 2 所示用于舂米的连机碓则采用了凸轮机构。汉代以后的指南车（图 3）及记里鼓车（图 4）中利用了齿轮和轮系传动，当时对齿轮及齿轮系的应用已达到了一个相当高的水平。而现代的汽车、飞机、洗衣机、数控机床、机器人等机器的发明和使用，则给我们的生产和生活带来了极大的方便。

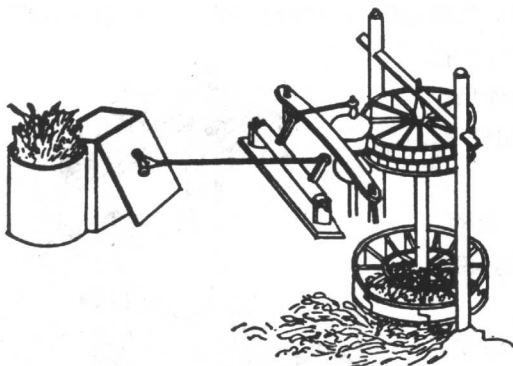


图 1 东汉时期的水排

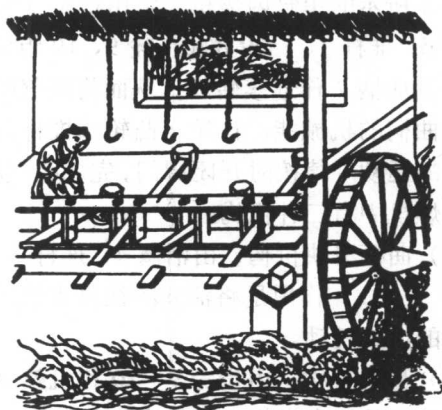


图 2 古代舂米的连机碓

机器的种类繁多，各类机器的功用不同，并由此产生的工作原理和结构特点也不相同，但是各类机器都具有以下共同的特征：

- (1) 都是人为的实物组合。
- (2) 组成机器的各实物之间具有确定的相对运动。
- (3) 能实现能量转换或完成有用的机械功。

凡具备上述三个特征的实物组合就称为机器，它可用来传递运动和变换运动形式。所有机器的作用无非是进行能量转换或完成特定的机械功能，用以减轻人或代替人的劳动。不同

之处在于，随着生产和科学技术的发展，机器的种类、形式更加多样化，而功能则愈来愈贴近人们的生活。但无论机器如何变化，按其基本组成都可以分为动力源、传动机构、执行机构、控制器四部分。毫无疑问，传动机构和执行机构在实现机器的各种功能中担当着最重要的角色。

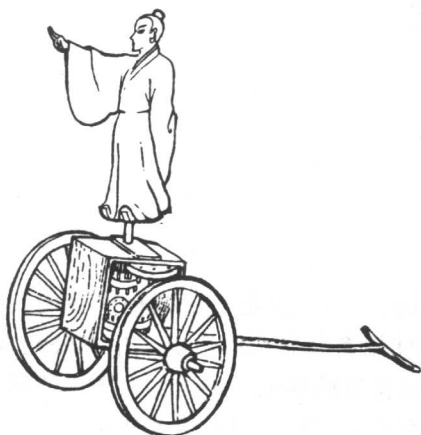


图3 汉代的指南针



图4 记里鼓车

2. 在机器中常见的机构类型及其功能

图5所示的单缸内燃机，它由机架（气缸体）1、曲柄2、连杆3、活塞4、进气阀5、排气阀6、推杆7、凸轮8和齿轮9、10组成。当燃烧的气体推动活塞4作往复运动时，通过连杆3使曲柄2作连续转动，从而将燃气的压力能转换为曲柄的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时开闭阀门，完成吸气和排气。这种内燃机中有三种机构：

（1）曲柄滑块机构，由活塞4、连杆3、曲柄2和机架1构成，作用是将活塞的往复直线运动转换成曲柄的连续转动。

（2）齿轮机构，由齿轮9、10和机架1构成，作用是改变单缸内燃机转速的大小和方向。

（3）凸轮机构，由凸轮8、推杆7和机架1构成，作用是将凸轮的连续转动变为推杆的往复移动，完成有规律地启闭阀门的工作。

机构只有机器的前两个特征，若仅从结构和运动观点来看，机器与机构之间并无区别。因此，习惯上常用机械一词作为机器和机构的总称。

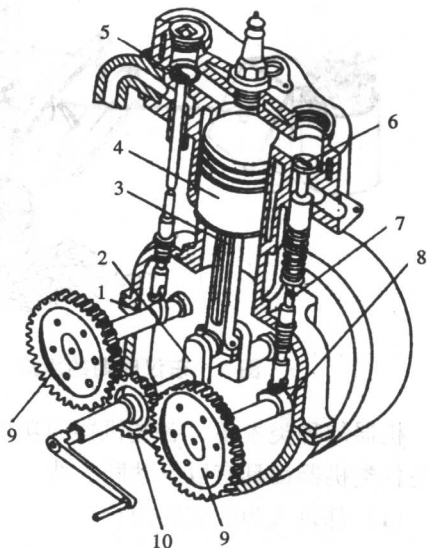


图5 单缸内燃机

3. 零件、部件和构件

如何区别零件、部件和构件呢？从制造角度看，若干个零件组成了机构，若干个机构组

成了机器,零件是制造单元,是机器的基本组成要素。概括地讲,机械零件可分为两大类:一类是在各种机器中都能用到的零件,称为通用零件,如齿轮、螺栓、轴承、带、带轮等;另一类是在特定类型的机器中才能用到的零件,称为专用零件,如曲轴、吊钩、叶片、叶轮等。此外,常把由一组协同工作的零件组成的独立制造装配的组合件称为部件,如减速器、离合器、制动器等,部件是装配单元。从机械实现预期运动和功能的角度看,机构中形成相对运动的各个运动单元称为构件。构件可以是单一的零件,也可以是由若干零件组成的运动单元。像单缸内燃机中的连杆就是由多个零件组成的构件。

机器中的齿轮机构、凸轮机构、棘轮机构、带传动机构、曲柄滑块机构、曲柄导杆机构等,在各种机器中使用广泛,故称为常用机构。

二、本课程的性质、任务和学习方法

1. 本课程的性质及任务

《机械设计基础》是一门综合性技术基础课,其任务是使学生掌握通用零部件和常用机械传动的基本知识、基本理论和基本技能。它包括工程力学、机械工程材料、机械原理与零件的基本知识。它主要研究各类机械所具有的共性问题,在机电类专业课程体系中有重要地位。具体要求是:

(1) 能熟练地运用力系平衡条件求解简单力系的平衡问题。

(2) 掌握零部件的受力分析和强度计算方法。

(3) 熟悉常用机构、常用机械传动及通用零部件的工作原理、特点、应用、结构和标准,掌握常用机构、常用机械传动和通用零部件的选用和基本设计方法,具备正确分析、使用和维护机械的能力,初步具有设计简单机械传动装置的能力。

(4) 具有与本课程有关的解题、运算、绘图能力和应用标准、手册、图册等有关技术资料的能力。

2. 学习方法

本课程是从理论性、系统性很强的基础课和专业基础课向实践性较强的专业课过渡的一个重要转折点。在学习过程中,要注意学习方法的培养,体现在以下方面:

(1) 学会综合运用知识。综合运用本课程和其他课程所学知识解决机械设计问题是本课程的教学目标,也是设计能力的重要标志。

(2) 学会知识技能的实际应用。本课程是一门应用于工程实际的设计性课程,除认真完成课程教学的实验、实训、设计训练外,还应注意设计公式的应用条件,公式中系数的选择范围,设计结果的处理,特别是结构设计和工艺性问题。

(3) 学会总结归纳。本课程的研究对象多,内容繁杂,所以必须对每一个研究对象的基本知识、基本原理、基本设计思路与方法进行归纳总结,并与其他研究对象进行比较,掌握其共性与个性,只有这样才能有效提高分析和解决设计问题的能力。

(4) 学会创新。学习机械设计不仅在于继承,更重要的是应用创新,机械科学产生与发展的历程,就是不断创新的历程。只有学会创新,才能把知识变为分析问题与解决问题的能力。

三、机械零件的材料及选用原则

机械零件所使用的材料很多,但以金属材料,尤其是黑色金属材料应用得最多、最广。此外,各种新技术材料,如纳米材料等,在机械中的应用也将逐渐增多。

一般选择材料的原则,可遵循以下原则:

1. 载荷的大小、性质,应力的大小、性质及分布状况

这主要从强度的观点来考虑,应充分了解材料的机械性能。

脆性材料原则上适用于制造在静载荷下工作的零件。在有冲击的情况下,应选择塑性材料。

金属材料的性能一般可以通过热处理加以提高和改善,因此,要充分利用热处理手段来发挥材料的潜力。对于常用的调质钢,由于其回火温度的不同,可得到力学性能不同的毛坯。

2. 零件的工作情况

零件的工作情况是指零件所处的环境特点、工作温度、摩擦磨损的程度等。

在湿热环境下工作的零件,其材料应有良好的防锈和耐腐蚀的能力,例如选用不锈钢、铜合金等。

工作温度对材料选择的影响,一要考虑互相配合的两零件的材料的线膨胀系数不能相差过大,以免在温度变化时产生过大的热应力,或者使配合松动;二要考虑材料的机械性能随温度而变化的情况。

零件在工作中有可能发生磨损之处,要提高其表面硬度,以增加耐磨性。因此,应选择适于进行表面处理的淬火钢、渗碳钢、氮化钢等材料。

3. 零件的尺寸及质量

零件的尺寸及质量的大小与材料的品种及毛坯制取方法有关。用铸造材料制造毛坯时,一般可以不受尺寸及质量大小的限制;而用锻造材料制造毛坯时,则需注意锻压机械及设备的生产能力。此外,零件尺寸和质量的大小还和材料的强重比有关,应尽可能选用强重比大的材料,以便减小零件的尺寸和质量

4. 零件结构的复杂程度及材料的加工可能性

结构复杂的零件宜选用铸造毛坯,或用板材冲压出元件后,再经焊接而成。结构简单的零件可用锻造法制取毛坯。

对材料工艺性的了解,在判断加工可能性方面起着重要的作用。铸造材料的工艺性是指材料的液态流动性、收缩率、偏析程度及产生缩孔的倾向性等。锻造材料的工艺性是指材料的延展性、热脆性及冷态和热态下塑性变形的能力等。焊接材料的工艺性是指材料的焊接性及焊缝产生裂纹的倾向性等。材料的热处理工艺性是指材料的可淬性、淬火变形倾向性及热处理介质对它的渗透能力等。冷加工工艺性是指材料的硬度、易切削性、冷作硬化程度及切削后可能达到的表面粗糙度等。

5. 材料的经济性

材料的经济性主要表现在材料本身的相对价格、材料的加工费用、材料的利用率、采用

组合结构、节约稀有材料、材料的供应状况等方面。

选材时还应考虑到当时当地材料的供应状况。为了简化供应和储存的材料品种，对于小批量制造的零件，应尽可能地减少同一部机器上使用的材料品种和规格。

四、机械设计的基本要求、原则和一般程序

（一）设计机械零件的基本要求

设计机械零件，应满足以下两点基本要求：

- （1）使用要求。设计的零件应在预定的使用寿命周期内按规定的工作条件可靠地工作。
- （2）经济性要求。经济性要求贯穿于零件设计的全过程，要零件成本低廉，关键要注意以下几点：

- ① 在满足强度条件时，合理选择材料；
- ② 合理确定精度等级；
- ③ 赋予零件良好的工艺性，降低装配费用；
- ④ 尽可能采用标准化的零部件。

（二）机械零件设计的一般方法

通用机械零件设计的一般方法可概括为：

- （1）根据零件的功能及使用要求，选择零件类型并拟定计算简图。
- （2）分析零件的受力状况，考虑各种因素对载荷的影响，确定计算载荷。
- （3）根据零件的工作条件，合理选择材料及热处理方法，并确定许用应力。
- （4）分析零件可能的失效形式，确定设计准则，确定零件的基本尺寸。
- （5）确定零件的主要参数和几何尺寸，确定零件结构。
- （6）绘制零件工作图，拟定技术要求。

（三）机械零件的失效分析及设计计算准则

1. 机械零件的失效分析

机械零件丧失预定功能或预定功能指标降低至许用值以下的现象，称为机械零件的失效。强度不够所引起的破坏是最常见的零件失效形式，但不是零件失效的唯一形式。零件的失效形式有磨损、表面压溃、塑性变形、打滑、过量弹性变形、疲劳点蚀、胶合、断裂、振动失效等。要根据零件具体的工作情况才能正确分析。

设计零件所依据的计算准则，是与零件的失效形式紧密联系在一起，针对不同的失效形式，提出不同的计算准则。

2. 设计计算准则

零件抵抗失效的安全工作限度称为零件的工作能力。在实际工作中，同一种零件可能有几种不同的失效形式，对应于各种失效形式，就会有不同的工作能力。根据不同失效原因建立起来的工作能力判定条件，称为零件的设计计算准则。主要有强度准则、刚度准则、耐

磨准则、振动稳定性准则、散热性准则、可靠性准则。

五、机械设计常用的设计方法

常用的设计方法分为两大类，常规设计方法和现代设计方法。

1. 常规设计方法

(1) 理论设计。根据设计理论和实验数据所进行的设计。

(2) 经验设计。根据对某类机器或零部件已有的设计与使用实践总结出来的经验数据和公式进行的设计，或与类似的机器或零部件相类比进行的设计。

(3) 模拟实验设计。对一些尺寸巨大而结构复杂的重要机器和零部件，在初步设计时，将其制成小模型或小尺寸样机，通过实验，对其各方面特性加以检验，并根据实验结果对设计进行修改，最终获得完善的设计。

2. 现代设计方法

随着科技的发展和计算机技术的普及，传统的机械设计理论和方法发生了重大的变化，其特征是从经验走向理论、宏观走向微观、静态走向动态、单目标走向多目标、粗略走向精细、长周期走向快节奏，从而使机械设计进入了现代设计阶段。常见的现代设计方法有：

(1) 计算机辅助设计（简称 CAD）。它是一种采用计算机软硬件系统辅助设计者对产品或工程进行设计的方法与技术。

(2) 优化设计。它将最优化理论应用于工程设计，在所有可行的设计方案中寻求最优设计方案，是一种现代设计方法。

(3) 可靠性设计。它是将概率统计理论、失效理论和机械设计理论结合起来的综合性工程技术。与常规设计方法不同，可靠性设计不是以安全系数来判断零部件的安全性，而是用可靠度来说明零部件的安全概率有多大。

第一章 机械工程材料

机械工程材料是指机械工程中常用的材料，按化学组成的不同有金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类。本章主要讲述金属材料的性能、热处理和选用。

第一节 金属材料的主要性能

金属材料是工程材料中应用最广泛的材料。金属材料的选择都是围绕着性能进行的，熟悉它们的主要性能是合理选用材料的基础。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两个方面。使用性能是材料在使用时所表现出来的特性，如力学性能、物理性能和化学性能。材料的使用性能影响零件或工具的工作能力。工艺性能是指材料加工时所表现出来的特性，如热处理性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削性能等。材料的工艺性能影响零件或工具制造的难易程度。

金属材料在载荷作用下所表现出来的特性，称为力学性能。金属材料的力学性能主要有强度、塑性、硬度和韧性等。本节主要介绍金属材料的力学性能。

一、强度和塑性

（一）强 度

强度是指材料在静载荷作用下，抵抗变形和断裂的能力。材料在受载荷过程中一般会出现三个过程，即弹性变形、塑性变形和断裂。弹性变形是指材料在载荷卸除后能恢复到原形的变形，而塑性变形是载荷卸除后永久保留下来的变形。对于不同类型的载荷，这三个过程的发生和发展是不同的。使用中一般多用静拉伸试验法来测定金属材料的强度和塑性指标。低碳钢试棒的拉伸过程具有典型意义。将拉伸试棒按 GB/T6397—86 的规定，制成如图 1.1 所示的试棒，在拉伸试验机上缓慢增加载荷，记录载荷与变形量的数值，直至试样拉断为止，便可获得如图 1.2 所示的载荷与变形量之间的关系曲线，即拉伸曲线。

拉伸试验可以测定出的强度指标有比例极限 σ_p 、屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 等。不同的零件设计和选材所依据的强度指标是不一样的。其中，比例极限是工作时不允许有微量变形的零件设计和选材的主要依据；屈服点是一般塑性材料零件设计和选材的主要依据；对于脆性

材料的零件,设计时用抗拉强度为主要依据。

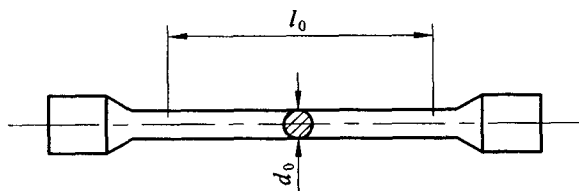


图 1.1 钢的拉伸试样

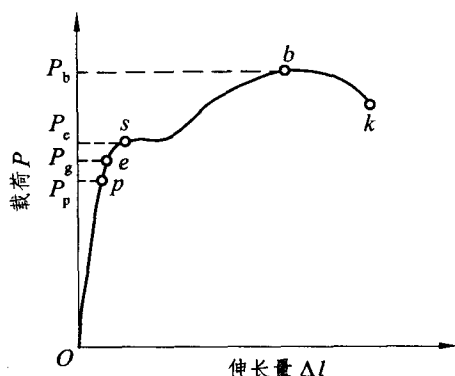


图 1.2 退火低碳钢的拉伸曲线

（二）塑 性

金属材料在载荷作用下,在断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 两种。

1. 伸长率

伸长率是试样被拉断时的标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比,用符号 δ 表示。即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1.1)$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度 (mm);

L_1 ——试样拉断时的标距长度 (mm)。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样被拉断时,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号 ψ 表示。即

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中 A_k ——试样被拉断时缩颈处最小横截面积 (mm^2);

A_0 ——原始截面面积 (mm^2)。

工程中通常将断面收缩率大的材料称为塑性材料,如钢、铜、铝等;将断面收缩率小的材料称为脆性材料,如铸铁、玻璃、陶瓷等。虽然塑性指标不直接用于工程设计计算,但零件材料具有一定的塑性,可以缓和应力集中、避免偶然过载时突然折断。此外,各种成形加工都是在材料塑性基础上进行的。

二、硬 度

硬度是材料表面抵抗局部塑性变形的能力,是反映材料软硬程度的力学性能指标。由于

硬度试验的方法简单方便，不损害零件，因此，在工程中得到普遍应用。常用的硬度试验方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 1.3 所示。

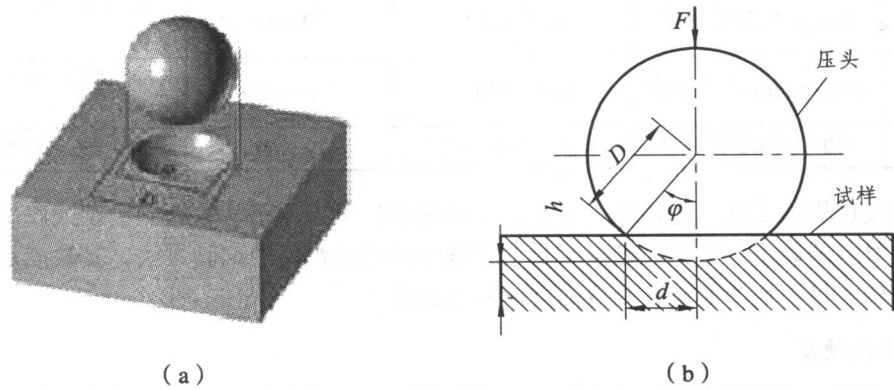


图 1.3 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度试验法的原理是用一规定直径 (D 为 10.5 mm 和 2.5 mm) 的淬火钢球或硬质合金球以一定的试验力压入所测表面，保持一定时间后卸除试验力，随即在金属表面出现一个压痕（压坑）。以压痕单位面积上所承受试验力的大小确定被测材料的硬度值，用符号 HBS（淬火钢球压头）或 HBW（硬质合金钢球压头）表示，如 45 钢调质后，其硬度为 220~240 HBS。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验法采用金刚石圆锥体或淬火钢球压入金属表面，如图 1.4 所示。用一定直径 (D) 的淬火钢球或硬质合金球在初载荷与初、主载荷的先后作用下，将压头压入试件表面。经规定的保持时间后卸除主载荷，根据压痕深度确定金属硬度值。

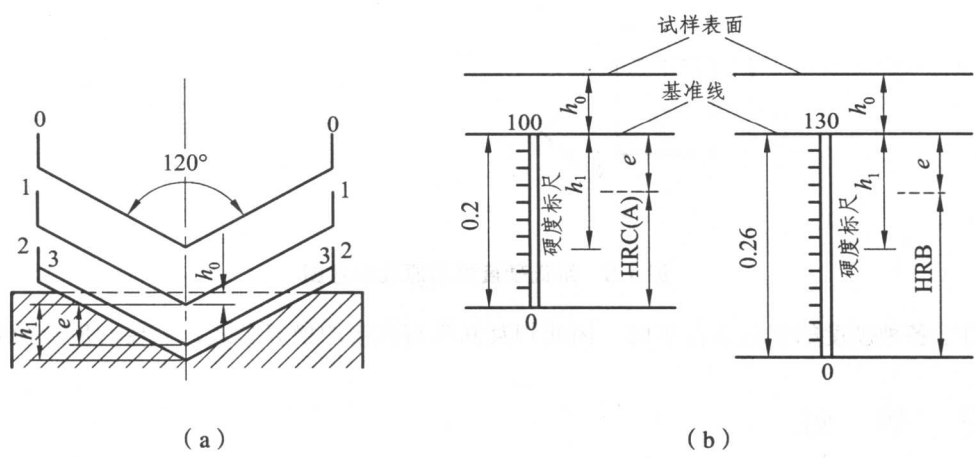


图 1.4 洛氏硬度试验原理示意图