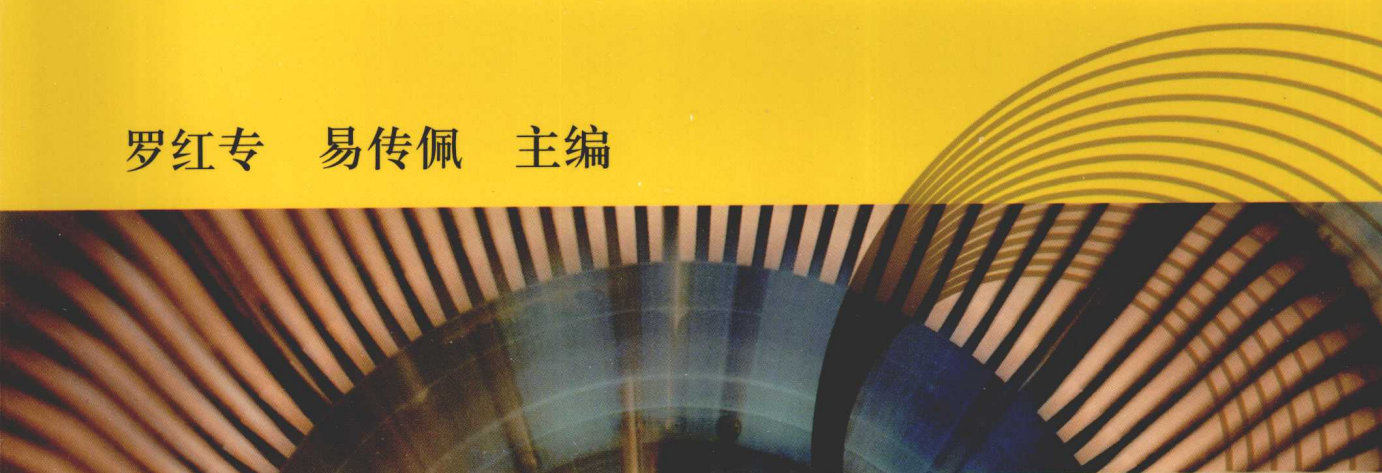


高等职业教育机电类专业教学改革规划教材
湖南省高职高专精品课程配套教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

罗红专 易传佩 主编



本书体现理论与实践一体化教学方式,将原有的理论力学、工程力学按照机械设计的要求改为平面机构的静力分析、机械零件的工作能力分析以及基本机构和机械零部件的原理、设计和校核等内容。内容包括概论、平面机构的静力分析、机械零件的工作能力分析、常用机构、螺纹联接和螺旋传动、齿轮传动、轮系、其他机械传动、轴、轴承、联接、其他常用零部件和机械创新设计等共13章。本书综合机械设计知识、技能、能力的培养,着重培养学习者的职业素质和能力。本书不仅可以满足机电一体化专业、机械制造与控制专业、数控技术专业、模具设计与制造专业的教学需要,同时也可以作为机械工程技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/罗红专 易传佩 主编. —北京:机械工业出版社, 2010.8
高等职业教育机电类专业教学改革规划教材
湖南省高职高专精品课程配套教材
ISBN 978-7-111-31211-6

I. ①机… II. ①罗… III. ①机械设计—高等学校:技术学校—教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第126804号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:边 萌 责任编辑:宋林静 版式设计:霍永明
责任校对:李秋荣 封面设计:鞠 杨 责任印制:乔 宇
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2010年9月第1版第1次印刷
184mm×260mm·24.5印张·605千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-31211-6
定价:42.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821 封面无防伪标均为盗版

高等职业教育机电类专业教学改革规划教材
湖南省高职高专精品课程配套教材
编写委员会

主任委员：成立平

副主任委员：董建国

委 员：汤忠义

欧阳波仪

皮智谋

钟 波

谭 锋

刘茂福

张若锋

阳 祎

欧仕荣

何 瑛

陈朝晖

谭海林

张海筹

李付亮

钟振龙

何恒波

谢圣权

张秀玲

罗正斌

黄新民

龚文杨

蔡 毅

皮 杰

前 言

近年来, 高职教育蓬勃发展, 为我国的职业教育事业带来了勃勃生机。鉴于高职教育急需具有高职特色教材的实际情况, 湖南省高职教育机电类专业教学改革规划教材编写委员会组织力量编写了这本教材。

本书按照高职高专院校机械设计基础课程教学的要求, 采用最新的国家标准, 结合高职院校近年来教学改革的经验与成果进行编写。本书体现理论与实践一体化的教学方式, 将原有的理论力学、工程力学按照机械设计的要求改为平面机构的静力分析、机械零件的工作能力分析以及常用机构和基本机械零部件的原理、设计、校核等内容。打破了原课程的界限和体系, 避免了各原课程内容的相互独立而造成的相关知识点重复和知识盲区, 突出了机械设计与工程力学的紧密联系。本书将实训项目与教学内容有机地融合在一起, 并配备了大量的拓展练习。

本书由罗红专、易传佩主编。参加本书编写的有: 娄底职业技术学院张卓慧(第1章概论、第4章常用机构), 湖南机电职业技术学院李宏策(第2章平面机构的静力分析), 湖南机电职业技术学院李丽云(第3章机械零件的工作能力分析), 娄底职业技术学院龙育才(第5章螺纹联接和螺旋传动), 湖南机电职业技术学院易传佩(第6章齿轮传动), 娄底职业技术学院罗红专(第7章轮系、第8章其他机械传动、第11章联接), 湖南生物机电职业技术学院廉良冲(第9章轴), 湖南信息职业技术学院陈朝晖(第10章轴承), 株洲职业技术学院王伟平(第12章其他常用零部件), 娄底职业技术学院罗正斌(第13章机械创新设计)。益阳职业技术学院曾庆军、娄底职业技术学院付芝芳参与编写了部分拓展练习。本书由阳尧端主审。本书配有免费的电子教学课件。

编 者

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 课程概述	1
1.2 机械设计的基本要求和一般过程	4
1.3 机械零件的失效形式和设计计算准则	5
1.4 机械零件的常用材料及其选择	6
1.5 机械零件结构的工艺性及标准化	15
1.6 机械中的摩擦、磨损与润滑	19
1.7 拓展练习	22
第 2 章 平面机构的静力分析	25
2.1 机械工程中的力学问题	25
2.2 平面机构的静力分析	26
2.3 平面力系的平衡	38
2.4 基本技能训练——桁架受力平衡实验	51
2.5 拓展练习	54
第 3 章 机械零件的工作能力分析	59
3.1 零件轴向拉伸（压缩）变形时的工作能力分析	59
3.2 零件剪切与挤压变形时的工作能力分析	72
3.3 零件扭转变形时的工作能力分析	76
3.4 零件弯曲变形时的工作能力分析	82
3.5 零件组合变形时的工作能力分析	92
3.6 基本技能训练——材料轴向拉伸（压缩）时的力学性能实验	98
3.7 拓展练习	103
第 4 章 常用机构	108
4.1 概述	108
4.2 平面连杆机构	118
4.3 凸轮机构	127
4.4 其他常用机构	136
4.5 基本技能训练	142

4.6 拓展练习	144
第 5 章 螺纹联接和螺旋传动	148
5.1 螺纹的应用和螺纹的形成	148
5.2 螺纹的类型和螺纹的参数	150
5.3 螺纹联接	152
5.4 螺纹的预紧与防松	157
5.5 螺栓的强度计算	159
5.6 螺栓联接的结构设计	164
5.7 螺旋传动	167
5.8 拓展练习	171
第 6 章 齿轮传动	173
6.1 概述	173
6.2 标准直齿圆柱齿轮传动	176
6.3 标准斜齿圆柱齿轮传动	202
6.4 直齿锥齿轮传动	209
6.5 蜗杆传动	214
6.6 基本技能训练	226
6.7 拓展练习	231
第 7 章 轮系	235
7.1 定轴轮系传动比的计算	235
7.2 行星轮系传动比的计算	237
7.3 轮系的应用	240
7.4 其他新型齿轮传动装置简介	243
7.5 减速器	244
7.6 基本技能训练——减速器拆装	247
7.7 拓展练习	251
第 8 章 其他机械传动	253
8.1 CA6140 车床电动机—主轴之间 V 带传动的拆卸及安装	253
8.2 带的类型	254
8.3 带轮的结构	256
8.4 带传动机构	257
8.5 普通 V 带传动设计	260
8.6 摩擦轮传动	264
8.7 链传动	268
8.8 基本技能训练——普通 V 带	

传动试验	274	11.2 铆接 焊接 胶接	339
8.9 拓展练习	276	11.3 拓展练习	341
第9章 轴	280	第12章 其他常用零部件	343
9.1 轴的类型与材料	280	12.1 概述	343
9.2 轴的结构设计	282	12.2 联轴器	344
9.3 轴的强度计算	286	12.3 离合器	347
9.4 轴的设计实例	291	12.4 制动器	349
9.5 拓展练习	295	12.5 弹簧	350
第10章 轴承	297	12.6 基本技能训练——圆柱螺旋 压缩弹簧的设计	358
10.1 滚动轴承	298	12.7 拓展练习	361
10.2 滑动轴承	318	第13章 机械创新设计	362
10.3 滚动轴承与滑动轴承的比 较及选用	326	13.1 机械创新原理	362
10.4 基本技能训练——减速器 轴承组件拆装	327	13.2 机构的组合、演化与改进	367
10.5 拓展练习	328	13.3 机械创新设计案例	371
第11章 联接	331	13.4 计算机辅助机械设计简介	377
11.1 轴一般的联接	331	参考文献	384

第1章 概 论

知识目标

✧ 了解机械的组成，掌握机械、机器、机构、零件、构件等基本概念及它们之间的区别与联系。

✧ 掌握机械零件的失效形式，熟悉其设计计算准则。

✧ 了解金属材料的力学性能指标、钢的普通热处理方法及其之间的区别。

✧ 了解摩擦、磨损的类型，减少摩擦、磨损的方法以及润滑油的选择原则。

能力目标

✧ 具备常见机器和机构的观察、分析和识别能力。

✧ 具备通过查阅参考书自我提升的能力。

1.1 课程概述

在我们的日常生活和工作中，见到或接触过许多机器，如图 1-1 所示：从家庭用的缝纫机、洗衣机到工业生产中使用的各种机床；从汽车、火车、轮船、飞机到宇宙飞船；从推土机、挖掘机、压路机、起重机到机器人等。机器的种类繁多，结构、用途和性能也各不相同，那么机器是怎么组成的，具有什么共同特征呢？

图 1-2 所示为一传动带运输机。在这个运输系统中，电动机 1 通电获得能量，主轴高速旋转，将电能转换成机械能，然后通过由小带轮 2、传动带 3、大带轮 4 组成的带传动系统；小齿轮 5、大齿轮 6 及箱体 7 组成的减速器及联轴器 8，将运动传递到滚筒 9，再带动输送带 10 运动，将其上的物料输送到需要的地方。

在上例中，电动机是整个机器的能量来源，我们称之为原动机；带传动、减速器、联轴器则是将原动机的能量以运动和动力方式进行传递的装置，我们称之为传动装置；滚筒和输送带是具体完成将物料从一个地方输送到另一个地方的装置，我们称之为工作装置；在整个工作的过程中，运输机什么时候动、什么时候停止、运动速度达到什么程度等都必须是可以控制、调整的，所以还需要有控制装置。因此，一台完整的机器一般由原动机、工作装置、传动装置及控制装置四部分组成。

图 1-3 所示为一单缸内燃机。燃气推动活塞 2 作往复移动，经连杆 3 转变为曲轴 4 的连续转动。凸轮 6（10）和进气阀顶杆 5、排气阀顶杆 11 是用来启闭进气阀和排气阀的。齿轮 7、8、9 可以保证进、排气阀和凸轮协调动作，加上汽化、点火等装置的配合，就把热能转换为曲轴 4 转动的机械能，实现能量的转换。

从以上两例可以看出，机器的主体部分都是由许多运动实体组成，用来传递运动和动力。如图 1-2 中的箱体、齿轮、联轴器组成的实体系统，将电动机通过带轮、带传递过来的

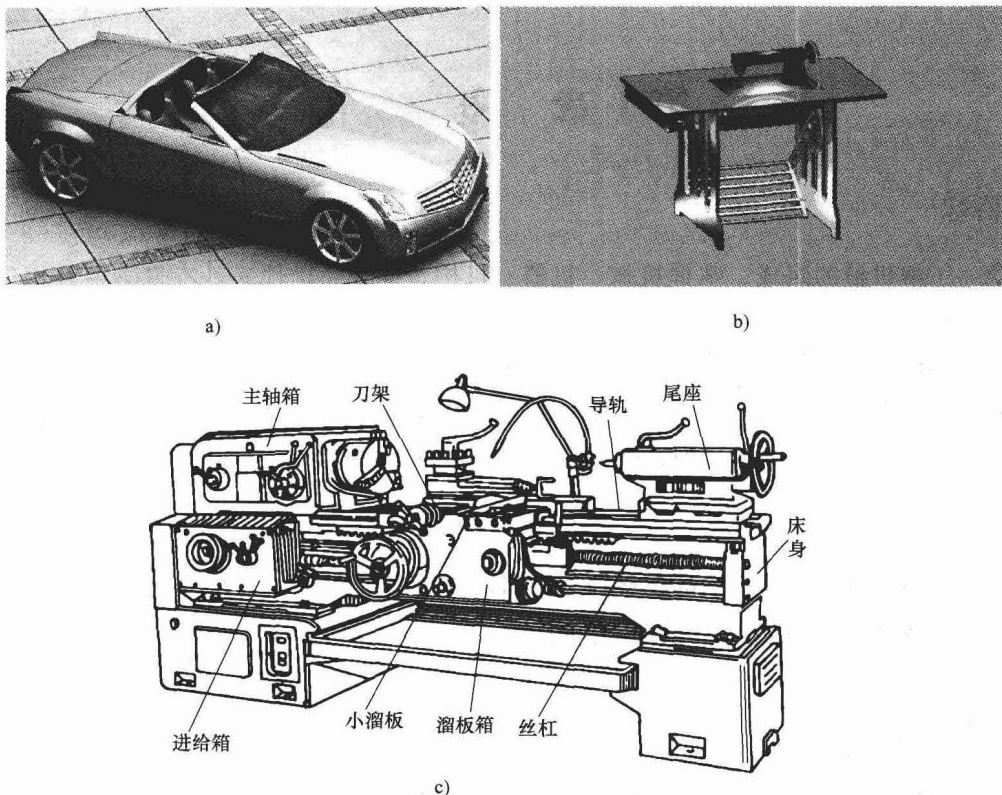


图 1-1 机器实物

a) 汽车 b) 缝纫机 c) 车床

运动与力又传递给滚筒；图 1-3 中的活塞、连杆、气缸、曲轴等组成的实体系统将活塞的往复运动转换成曲柄的连续回转运动等，这种各实体之间具有确定的相对运动的构件系统，我们称之为机构。

通过上述分析，我们知道，机构是机器的组成部分，机器的主要特征是：①它是多种人为的实物组合；②各实物间具有确定的相对运动；③能代替或减轻人类的劳动去完成有效的机械功（如机床）或转换机械能以及实现信息传递和变换的功能。机构与机器的区别在于：机构不能代替或减轻人的劳动而作功，即不具备机器的第三个特征。如图 1-2 中的齿轮机构、图 1-3 中的活塞、连杆、气缸、曲轴组成的曲柄滑块机构等。

根据机器功能的不同，可以将机器分为能量变换的动力机械（如内燃机、电动机、发电机等），工作机械（如金属切削机床、飞机、汽车、包装机、运输机和机械手等），信息

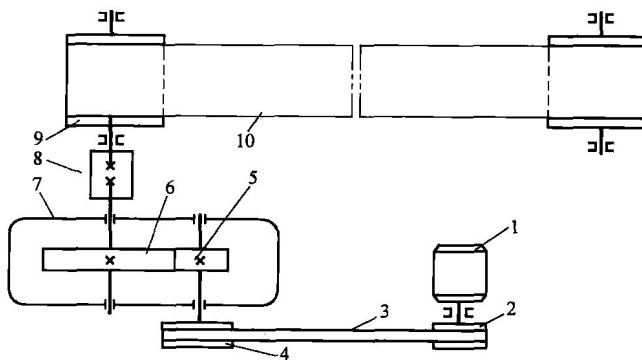


图 1-2 传动带运输机

1—电动机 2—小带轮 3—传动带 4—大带轮 5—小齿轮
6—大齿轮 7—箱体 8—联轴器 9—滚筒 10—输送带

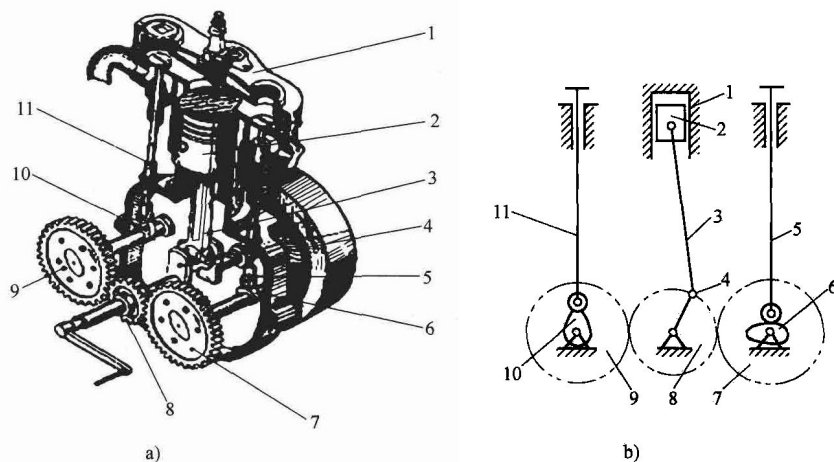


图 1-3 单缸内燃机

a) 模型 b) 简图

传递和变换的信息机械（如打印机、绘图机、复印机、照相机和放映机等）三类。

机械是机器和机构的总称。机器是由各种机构组成的机械系统。

1.1.1 机械中的构件和零件

1. 机械零件

机器的主要特征之一：它是各种实物人为的组合。组成机器的这些实物，我们称之为零件。也就是说，机械是由机械零件组成的。机械零件是组成机器的最小单元，也是机器中不可拆分的制造单元体，例如图 1-2 所示的齿轮、箱体，图 1-3 中的曲轴等。

机械零件分为两类：一类是通用零件，是各种机器中经常使用的零件，如齿轮、螺栓、轴承等；另一类是专用零件，是只在特殊类型的机器中使用的零件，如曲轴、机床刀具、枪栓等。

此外，为了完成同一功能、在结构上紧密联系在一起的一套协同工作的零件组合，称为部件，例如减速器、联轴器、离合器等。

2. 构件

机器的主要特征之二：组成机器的各实体间具有确定的相对运动，具有独立运动的最小运动实体，我们称之为构件。构件可以是单一的机械零件（图 1-3 中的曲轴），也可以是若干机械零件的刚性组合。如图 1-4 所示的连杆，它是由连杆体、连杆盖、螺栓和螺母等零件组合而成的。这些零件之间没有相对运动，是一个运动整体，故属一个构件。构件是最小的运动单元，零件是制造单元。

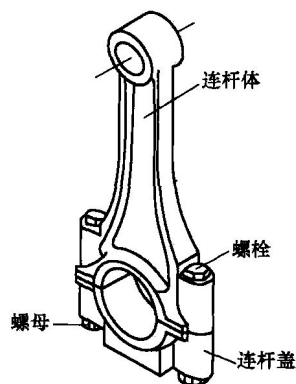


图 1-4 连杆

1.1.2 本课程在教学中的地位

随着机械化生产规模的日益扩大，几乎没有一个领域不使用机械。不但在机械制造部

门,而且在动力、采矿、冶金、石油、化工、建筑、轻纺、食品工业等部门工作的工程技术人员,都将经常接触各种各样的机械,因此,他们都应该具备一定的机械基础知识。虽然每一种机械都有一些专门的问题,会有专门的课程来研究,但各种机械有其共性问题,“机械设计基础”课程就是研究这些共性问题的。本课程的研究对象为机械中常用机构及一般工作条件下和常用参数范围内的通用零部件,研究其工作原理、结构特点、基本设计理论、计算方法及一些零部件的选用和维护。所以,“机械设计基础”与机械制图、计算机应用技术一样,是高职高专工科有关专业一门重要的专业技术基础课。

通过本课程的学习,将为学生学习有关专业机械设备课程提供必要的基础知识;为学生将来从事机械产品设计、开发、工艺、运行、管理工作时,提供必要的理论基础,使其能对所使用机械的传动原理有正确的了解,能正确地选购、使用、维护设备,具有故障分析及排除能力;通过本课程的学习和课程实践,使学生具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力,具有设计简单机械传动装置及编写设计说明书的能力,为日后进行技术改造革新打下基础。

“机械设计基础”本身是许多理论和实践知识综合运用的课程,在整个课程体系中具有从理论性课程过渡到结合工程实际的设计课程,从基础课程过渡到专业课程的承前启后的桥梁作用。

1.2 机械设计的基本要求和一般过程

机械设计是指规划和设计实现预期功能的新机械或对原有机械进行改造革新,改进其性能。机械设计应满足下列基本要求:

(1) 满足使用要求 能实现产品预期的功能,并使产品的功能最优;同时,保证在规定的工作条件下、规定的工作期限内能正常运行。

(2) 操作方便,工作安全 操作系统要简便可靠,操作方式符合操作者的心理和习惯,同时有利于减轻操作人员的劳动强度;易造成人身伤害的部位,必须具有保险装置以消除由于误操作而引起的危险,还应设置过载保护装置及警示装置,避免人身及设备事故的发生。

(3) 可靠、耐用 在规定的使用期限内,极少或不发生故障。机械的可靠性,取决于零件的可靠性,零件越多,设备发生故障的概率越高。

(4) 使产品有良好的社会效益和经济效益 既要使产品得到社会的认可,又要使产品的成本低、效率高。必须合理地选择材料,保证良好的工艺性,以降低制造费用;零部件尽量采用标准化、通用化设计,以简化设计过程,降低设计成本。

(5) 符合环保要求 尽可能降低噪声,使用中,无泄漏,达标排放,减轻对环境的污染,同时,还要使产品造型美观,富有时代特点,增强市场竞争力。

机械设计是一个复杂的过程,可以大致分为四个阶段,即计划设计阶段、方案设计阶段、技术设计阶段和试制鉴定阶段。计划设计阶段包括:对社会需求的调查;对问题的全面综合分析,制定设计技术任务书;方案设计阶段包括:构思、提出多种设计方案并且进行比较,选择最优者,或者多种方案进行综合;技术设计阶段包括:完成机械产品的总体设计、部件设计、零件设计等,并以工程图及计算书的形式将结果表达出来;试制鉴定阶段包括:制造样机,解决制造中发现的问题,对样机进行试运行,并向设计人员反馈制造和运行信

息，以完善设计，改进使用性能，通过鉴定，再投入批量生产。图 1-5 为机械设计一般过程示意图。

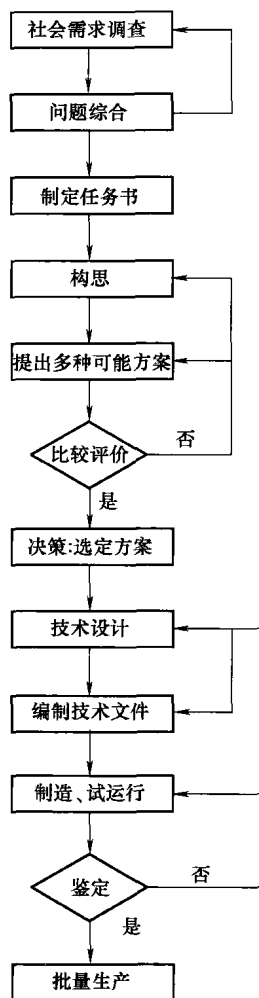


图 1-5 机械设计的一般过程

设计是一个动态过程。在全过程中，要不断地调查研究、征求意见，发现问题及时修改，以期取得最佳效果。即使在机械产品投入市场后，也要进行跟踪调查，根据从用户中反馈的信息，对产品不断改进完善。

1.3 机械零件的失效形式和设计计算准则

机械零件丧失工作能力或达不到设计要求的性能称为失效。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，因此也称承载能力。零件常见的失效形式有断裂，过量变形（过大的弹性变形或塑性变形），表面失效（包括摩擦表面的过度磨损、打滑、过热、压溃、点蚀等），联接松动，运动精度达不到要求等。

机械零件的失效形式虽然有多种，归纳起来，最主要的是强度、刚度、耐磨性、稳定性

和温度影响等几个方面。针对各种不同的失效形式,建立判定零件工作能力的条件,称为工作能力计算准则。下面举出几种常用的计算准则。

1.3.1 强度准则

强度是指零部件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形及表面失效的能力。强度分为整体强度和表面接触强度。

整体强度的判断准则为:零件在危险截面处的最大工作应力不超过许用应力

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad (1-1)$$

或
$$\tau \leq [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{S} \quad (1-2)$$

式中 σ, τ ——构件的工作正应力,工作切应力;

$[\sigma], [\tau]$ ——许用应力;

$\sigma_{\text{lim}}, \tau_{\text{lim}}$ ——材料的极限应力(对塑性材料取它的屈服极限,对脆性材料取它的强度极限);

S ——安全系数。

表面接触强度的判断准则为:在反复的接触应力作用下,零件在接触处的接触应力 σ_{H} 不大于许用的接触应力值 $[\sigma_{\text{H}}]$, 即

$$\sigma_{\text{H}} \leq [\sigma_{\text{H}}] \quad (1-3)$$

1.3.2 刚度准则

刚度是指机械零件在载荷作用下,抵抗弹性变形的能力。某些零件如机床主轴、蜗杆轴等零件,刚度不足将产生过大的弹性变形,影响机器的正常工作。

刚度设计准则为:零件在载荷作用下产生和弹性变形量小于或等于机器工作性能允许的极限值,即

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

式中 y ——零件工作时的弹性变形量,按各种求变形量的理论或实验方法来确定;

$[y]$ ——许用变形量。根据理论或经验来确定其合理的数值。

1.3.3 耐磨性准则

磨损是由于表面的相对运动使零件工作表面的物质不断损失的现象,它是机械设备失效的重要原因。耐磨性是指零件抵抗磨损的能力。耐磨性准则的实质是控制摩擦表面的压强(或接触应力)不超过许用值,即

$$p \leq [p] \quad (1-5)$$

1.4 机械零件的常用材料及其选择

机械零件所用的材料是多种多样的,常用的材料有:钢铁材料(钢、铸铁)、非铁金属、非金属材料(塑料、橡胶等)等。从各种各样的材料中选择出合适的材料和热处理方

式,是机械设计中的一个重要问题,也是一个受到多方面因素制约的问题。要想合理地选择零件材料,必须对材料的性能及其影响因素有所了解。因为在机械工程中使用的材料是钢铁材料,因此我们重点介绍钢铁材料及其热处理。

1.4.1 金属材料及其热处理常识

1. 金属材料的力学性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能,其中使用性能是指材料在使用过程中所表现的性能,有力学性能、物理性能(如熔点、热膨胀性、热导性、电导性、磁性、密度等)和化学性能(如耐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是指材料在加工过程中所表现的性能,包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削性能等,对零件或工具制造的难易程度有影响,工艺性能好,则容易加工。

因影响金属材料使用性能的主要方面是其力学性能,金属的物理性能和化学性能在有关课程中也已介绍过,故在此主要分析金属材料的力学性能。

金属材料的力学性能是指金属材料在载荷作用下所表现出来的特性,主要有强度、塑性、硬度、韧性等。

(1) 强度 强度是指材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力,包括弹性极限 σ_e 、屈服极限 σ_s 、抗拉强度 σ_b 等。测定强度通常采用试验法,其中拉伸试验应用最普遍。

作拉伸试验要使用拉伸试验机和试样。为了保证在不同的试验机上试验相同的材料能得到同一结果,应对试样的形状和尺寸等做出统一规定。最常用的试样如图 1-6 所示,其中 S_0 表示原始横截面积, L_0 表示原始标距长度。作拉伸试验时,先将试样按要求装夹在试验机上,然后对试样缓慢施加轴向拉力(又称为拉伸力),试样会随着拉伸力的增加而逐渐变长最后被拉断。在整个试验中,可以通过自动记录装置将拉伸力 F 与试样伸长量 ΔL 之间的关系记录下来并据此分析金属材料的强度。如果以纵坐标表示拉伸力 F ,以横坐标表示试样的伸长量 ΔL ,按试验全过程绘制出的曲线称为拉伸曲线。图 1-6 即为某低碳钢的拉伸曲线图。在图中的曲线上, Oe 段表示试样在拉伸力作用下均匀伸长,伸长量与拉伸力的大小成正比。在此阶段的任何时刻,如果撤去外力(拉伸力),试样仍能完全恢复到原来的

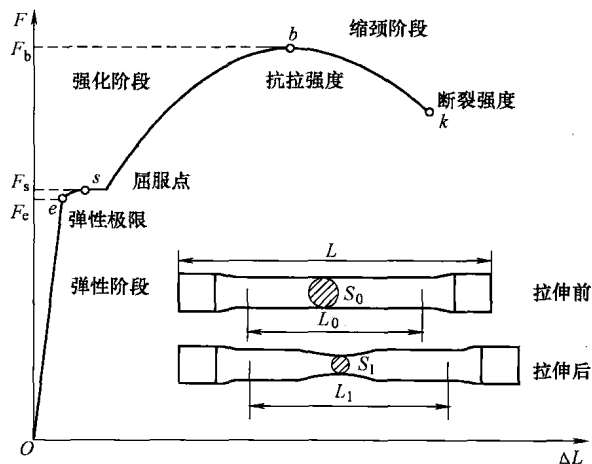


图 1-6 某低碳钢拉伸曲线图

形状和尺寸。在这一阶段中,试样的变形为弹性变形,称为弹性变形阶段。当拉伸力继续增大超过 e 点所对应的值 F_e 以后,试样除了产生弹性变形外,还开始出现微量的塑性变形,此时如果撤去外力(拉伸力),试样就不能完全复原了,会有一小部分永久变形。继续增大拉伸力至 F_s 时,图上出现近似水平的直线段或小锯齿形线段。这表明此阶段当外力(拉伸力) F_s 保持不变时,试样的变形(伸长)仍在继续,这种现象称为屈服。过了此阶段后,如果继续增加外力(拉伸力),则试样的伸长量又会增加,此阶段为强化变形阶段,到达 b 点后,试样开始在某处出现缩颈(即直径变小),抗拉能力下降,到 k 点时,试样在颈缩处被拉断。

为了便于比较,消除试件尺寸对结果的影响,强度判据(即表征和判定强度所用的指标和依据)采用应力来度量。应力是单位面积上的内力。内力则是指材料受到外力作用后,其内部产生的相互作用力。作拉伸试验时,试样没有断裂前处于平衡状态,可以认为内力与外力(即拉伸力)相等,则应力 = 拉伸力/截面积,即

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中 σ ——应力(Pa 或 MPa), $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$, $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$;

F ——拉伸力(N);

S ——试件的横截面积(m^2)。

$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$, 称为弹性极限,是材料不发生微量变形的最大极限值,是精密弹性元件设计和

选材的依据; $\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$, 称为屈服极限,是材料发生微量塑性变形时的应力值,是一般塑性材

料零件设计和选材的依据; $\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$ 称为抗拉强度,是材料断裂前所承受的最大应力值,是脆性材料零件设计和选材的依据。

(2) 塑性 塑性是指材料受力破坏前可承受最大塑性变形的能力。用断后伸长率 A 或断面收缩率 Z 来衡量。

$$\text{断后伸长率} \quad A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

$$\text{断面收缩率} \quad Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 L_u ——试件拉断后的标距长度;

L_0 ——试件拉伸前的原始标距长度;

S_0 ——试件原始截面积;

S_u ——试件拉断后测得的最小截面积。

工程中,通常将 $A > 5\%$ 的材料称为塑性材料,如钢、铜、铝等;而将 $A < 5\%$ 的材料称为脆性材料,如铸铁、玻璃、陶瓷等。

(3) 硬度 硬度指材料抵抗表面局部塑性变形的能力,反映了材料的软硬性能。硬度有布氏硬度、洛氏硬度以及维氏硬度,最常用的为布氏硬度和洛氏硬度。

1) 布氏硬度 HBW。用直径为 D 的硬质合金球做压头,在试验力 F 的作用下压入被测金

属表面,保持规定的时间后卸除试验力,在金属表面留下一压坑(压痕),用读数显微镜测量其压痕直径 d ,求出压痕表面积,用试验力 F 除以压痕表面积 S 所得的商作为被测金属的布氏硬度值,用符号 HBW 表示,如图 1-7 所示。布氏硬度用符号 HBW 表示,其表示方法为:

硬度值 + 压头直径/试验力/保持时间 (10 ~ 15s 可不标注)

例如 120HBW 10/1000/30 表示用直径为 10mm 的硬质合金球在 9.807kN 试验力的作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

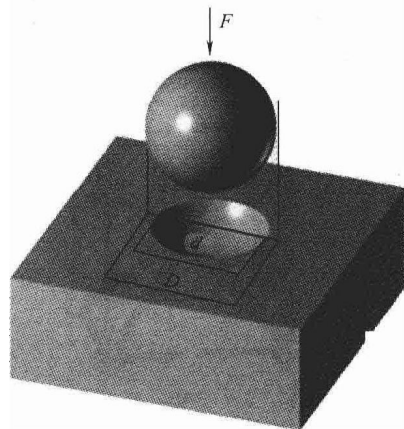


图 1-7 布氏硬度测量示意图

2) 洛氏硬度。用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的钢球作为压头,在规定载荷作用下压入被测金属表面,由压头在金属表面所形成的压痕深度来衡量硬度高低,用符号 HR 表示,符号 HR 前面的数字为硬度值。

根据压头类型和主载荷不同,分为 HRA、HRB、HRC 三种标尺。其中 HRC 应用最多。

(4) 冲击韧性。冲击韧性指材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。指标为冲击韧性值 α_K (通过冲击实验测得)。冲击韧性值是在大能量一次冲断试样条件下测得的性能指标。

2. 影响金属材料性能的因素

不同的金属材料具有不同的力学性能,即使是同一种金属材料在不同的条件下其力学性能也是不相同的。这是因为金属的力学性能除了与化学成分有关外,还受到内部组织结构的影响。

(1) 金属的晶体结构 常态下金属以原子呈规则排列的晶体形式存在。当原子以不同的规律排列,则形成了不同的晶体结构。为了便于描述晶体内部排列的规律,将每个原子抽象为几何质点,用一些假想的几何线条将各质点连接起来,形成一个三维空间格架,称为晶格,如图 1-8b 所示。

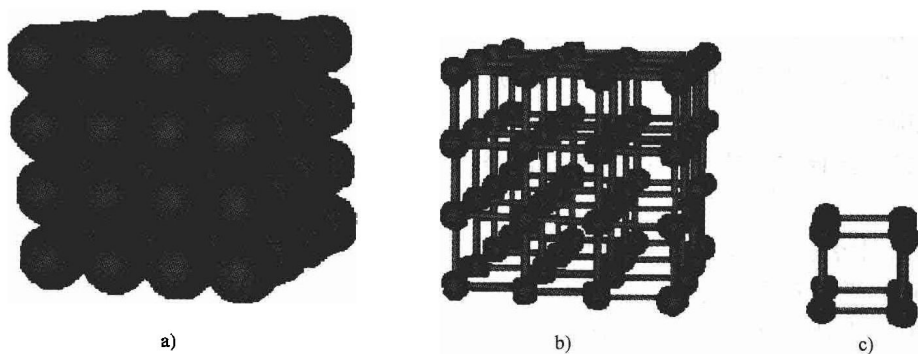


图 1-8 晶体、晶格与晶胞

a) 晶体 b) 晶格 c) 晶胞

晶体中的原子是周期性规则排列的,因此可在晶格内取一个能代表晶格特征的最小几何单元表示晶格,称为晶胞。

常见纯金属的晶格类型有体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格，其结构形式如图 1-9 所示。

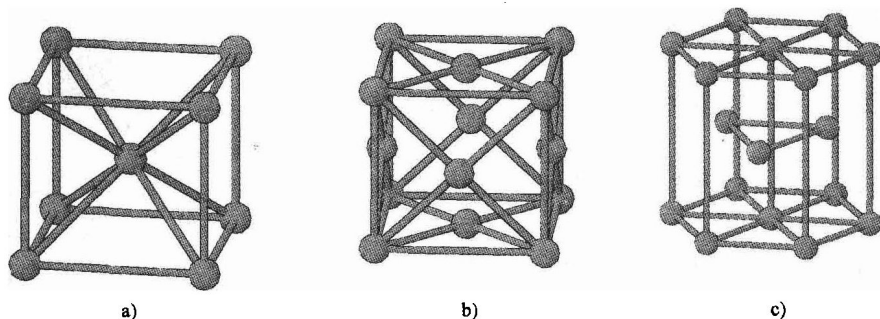


图 1-9 常见晶格类型

a) 体心立方晶格 b) 面心立方晶格 c) 密排六方晶格

金属的晶格类型不同，其性能也不同。

(2) 合金 纯金属很难得到，而且纯金属的强度较低，物理性能、化学性能及工艺性能较差，不能满足工业要求，因此很少直接使用，而多采用合金。

所谓合金是指由两种或两种以上的金属元素（或金属与非金属元素）组成的具有金属特性的物质。例如，碳钢是铁和碳组成的合金；普通黄铜是由铜和锌组成的合金。

组成合金的最基本的、独立的物质称为组元。例如，普通黄铜的组元是铜和锌。组元可以是纯的元素或稳定的化合物。

金属或合金中相同成分、相同晶格和相同性能的均匀组成部分称为相，合金中相与相之间有明显的界线分隔。

固态下，由一个固相组成的合金称为单相合金，两个或两个以上固相组成的合金称为多相合金。

(3) 合金的结构 合金在固态时，有固溶体、化合物以及机械混合物三种不同的组织结构。

1) 固溶体。一组元均匀地溶解在另一组元中而形成的新相称为固溶体。固溶体中占主要地位的组元称为溶剂，而被溶的组元称为溶质。固溶体是单相，其晶体结构与溶剂组元的晶格类型相同。固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体两类。

① 置换固溶体。溶质原子占据溶剂晶格某些结点位置所形成的固溶体，如图 1-10a 所示。

② 间隙固溶体。当溶质元素的原子半径远小于溶剂元素的原子半径时，溶质原子嵌入溶剂晶格间隙所形成的固溶体，如图 1-10b 所示。

形成固溶体时，由于溶质原子的溶入，将使固溶体的晶格产生畸变（图 1-11）。从而增加了抵抗塑性变形的能力，使固溶体的强度、硬度提高。这种通过溶入溶质原子，使固溶体强度、硬度提高的现象称为固溶强化。

固溶强化是提高金属材料力学性能的重要途径之一。实际使用的金属材料大多都是单相固溶体合金或以固溶体为基体的多相合金。

2) 金属化合物。金属化合物是指合金组元间发生相互作用而形成的具有金属特性的一

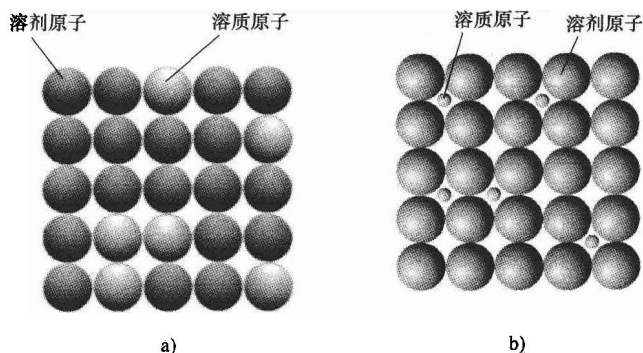


图 1-10 固溶体

a) 置换固溶体 b) 间隙固溶体

种新相。其晶格类型和性能完全不同于任一组元，一般可用分子式来表示。例如钢中的渗碳体是铁和碳形成的金属化合物，用分子式 Fe_3C 表示。金属化合物一般熔点高，具有较高的强度和硬度，较低的塑性和韧性。通常金属化合物是作为强化相分布在固溶体基体上，用以提高合金的强度、硬度和耐磨性。

3) 机械混合物。合金中由两相或两相以上组成的多相组织，称为机械混合物。机械混合物性能不仅取决于组成它的各个相的性能，而且与各个相的数量、形状、大小及分布状况有很大的关系。

(4) 细晶强化 通过前面的介绍，我们知道固体金属都是以晶体的形式存在的，而液体金属都是非晶体。金属从液体到固体的凝固形成晶体的过程，我们称为结晶。在金属结晶的过程中，由于冷却温度、冷却速度、金属中的杂质含量等不同，造成晶粒的大小不一样。晶粒的大小对金属的力学、物理、化学性能等均有很大的影响，细晶粒金属强度高、塑性和韧性好；粗晶粒金属耐腐蚀性好。

通过细化晶粒的方法可以提高金属的强度，强化金属力学性能，这种方法称为细晶强化。细晶强化也是强化金属材料的基本途径之一。

3. 钢的热处理

通过固溶强化、细晶强化等手段提高基体的力学性能，再采取适当的工艺方法，使一定数量的金属化合物呈细粒、弥散状，均匀、稳定地分布于基体上，整个组织的性能就会得到进一步的提高，这就是合金化处理和热处理的主要目的之一。

钢的热处理是将钢在固态下进行加热、保温和冷却，以改变其内部组织，从而获得所需要性能的一种工艺方法。热处理工艺方法较多，但其过程都是由加热、保温、冷却三个阶段组成的。热处理工艺路线示意图如图 1-12 所示。

热处理是机械零件及工具制造过程中的重要工序。它可改善工件的组织 and 性能，充分发挥材料潜力，从而提高工件使用寿命。热处理在机械制造业中占有十分重要的地位。

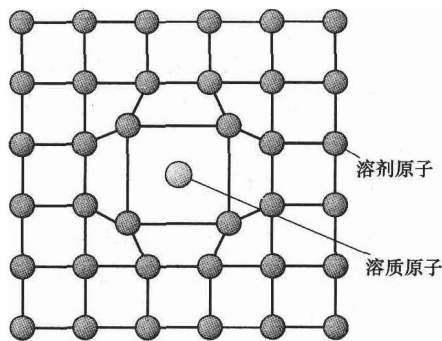


图 1-11 晶格畸变，固溶强化