



中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 机械基础

(机械类)

第二版

主编 李世维

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 机械基础

Jixie Jichu

(机械类)

第二版

主 编 李世维  
责任主审 张 策



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材修订版。本书的修订是在第一版的基础上根据新形势下的教学需求、课程改革成果和相关新技术、新国标等进行的。

本书修订时沿用第一版的内容框架结构,为适应近年来中职生源情况的变化,突出“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的职业教育办学理念,坚持以学生为本,降低难度。本书主要内容包括机械概述、构件的静力分析、杆件的基本变形、机械工程材料、机械零件、常用机构、机械传动、液压与气压传动等。

本书附学习卡/防伪标一张,凭借学习卡号和密码登录 <http://sve.hep.com.cn> 教学资源网站,可陆续获得包括网络课程、电子教案、教学案例、学习指导与强化练习、模拟试题、多媒体素材等教学资源。

本书可作为中等职业学校工程技术类相关专业教材,也可作为有关技术人员、管理人员和技术工人的培训教材和参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械基础(机械类)/李世维主编.--2版.--北京:  
高等教育出版社,2006.7(2015.9重印)  
ISBN 978-7-04-019810-2

I. 机... II. 李... III. 机械学-专业学校-教材  
IV. TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第057837号

策划编辑 陈大力                      责任编辑 张春英                      封面设计 于涛  
版式设计 马静如                      责任校对 刘丽娴                      责任印制 田甜

出版发行	高等教育出版社	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
社 址	北京市西城区德外大街4号		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
邮政编码	100120	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京天顺鸿彩印有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
开 本	787mm×1092mm 1/16	版 次	2001年7月第1版
印 张	11.75		2013年8月第2版
字 数	280千字	印 次	2015年9月第33次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	18.90元
咨询电话	400-810-0598		

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 19810-B0

# 中等职业教育国家规划教材出版说明

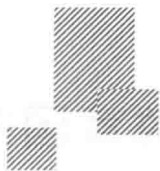
为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1号）的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从2001年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为学校选用教材提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的学校的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001年5月



## 第二版前言

本书是中等职业教育国家规划教材，第一版自2001年出版以来，经过5年教学实践以及新的相关国家标准的陆续发布，需进行修订，以适应教学的需要。

本次修订是在广泛征求意见的基础上进行的。修订仍然保持了第一版教材的体系和特点，内容与国家职业分类大典中相关国家职业标准中的基础知识相一致；文字表述在准确的前提下力求简明易懂。

本书主要在以下方面进行了修订：

- (1) 全面贯彻2005年前发布并执行的国家标准。
- (2) 精选插图，并增加了立体和平面计算机仿真润饰图。
- (3) 删除了齿轮强度计算等内容。
- (4) 在第5章5-4节中增加了螺旋传动的内容(选学)。
- (5) 第8章液压传动改为“液压与气压传动”。
- (6) 更正了第一版文图中的错误或不够严谨之处。

为构建“多元化教学资源”，本次修订对机械基础课程的系列教学资源进行了整体设计和规划。与本书同时出版的还有《机械基础练习册》(吴联兴主编)配套教学用书。此外，还开发了与本书配套使用的网络教学资源，包括网络课程、电子教案、多媒体课件、多媒体素材、习题参考答案等。使用本教材封三上所附学习卡的学习卡号和密码登录：<http://sev.hep.com.cn> 教学资源网站，可获得上述网络教学资源及相关的多项增值服务。与本书配套使用的《机械基础教学指导》及多种助学光盘和助教光盘也将陆续出版，供选用。

参加修订工作的除原作者外，张雪梅(第8章)、李祥兰(第2、3章)也参加了本书修订。

高等教育出版社聘请天津冶金职业技术学院吴联兴审阅了本书，并提出了很多宝贵意见。使用本书第一版的许多教师对修订提出了宝贵意见，山东省职业教育教学研究室和重庆市教育科学研究院职教室为本书修订组织了相关任课教师的座谈会，吉林工业职业技术学院对本书修订工作提供了帮助。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2006年2月



# 第一版前言

本教材是根据教育部于2000年8月颁发的中等职业学校《机械基础教学大纲(试行)》编写的。本书是中等职业教育国家规划教材。

本书融工程力学、机械工程材料、机械零件与传动等内容为一体,意在探索建立以“全面素质为基础、能力为本位”的适合职业教育的课程体系。为此,在编写时,特别注意了以下几点:

1. 在教材内容体系上,从培养目标出发,以机械职业岗位能力需要为基点,并参考有关部颁工人技术等级标准和职业技能鉴定规范,打破传统学科界限,力图将相关知识进行有机结合。

2. 在教材内容上,拓宽知识面,减少理论推导,删除不必要的理论(例如金属结晶理论等),突出实用性。

3. 兼顾不同学制、不同地区,书内编入了选学内容(加\*号部分),增加了教材的适用性。为了便于教学,每章附有一定数量的习题。

本书采用我国法定计量单位和现行的最新国家标准。

本课程共需110学时,各章必学内容参考学时(包括实践)如下:

章 次	内 容	学 时 数
	绪论	1
第1章	机械概述	4
第2章	构件的静力分析	7
第3章	杆件的基本变形	11
第4章	机械工程材料	7
第5章	机械零件	16
第6章	常用机构	6
第7章	机械传动	12
第8章	液压与气压传动	16
机 动		30

本书由李忠凯(第2、3章)、杨鸥(第5、6章)、马彦(第7章)、张舒中(第8章)、李世维(绪论,第1、4章)共同编写,并由李世维担任主编。

本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定,由天津大学张策教授任责任主审,杨建明、唐力伟副教授审稿。高等教育出版社聘请徐州建筑职业技术学院张天熙高级讲师审阅了全书。他们对本书给予充分肯定,认为本书突出了职业教育特色,将学历教育与职业资格培训相结合,具有较强的职业导向性;内容先进,深浅适中,通俗易懂,编排合理,使用灵活,符合中等职业教育教学及学生心理结构构建规律和学习特点。此外,他们还还对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

本书的编写是为建立职业教育新课程体系的初步探索,更兼编者水平有限,衷心希望使用本书的教师和读者对本书存在的缺点、错误和不当之处提出宝贵的意见。

编 者

2000年1月

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

## 短信防伪说明

本图书采用出版物短信防伪系统，用户购书后刮开封底防伪密码涂层，将16位防伪密码发送短信至106695881280，免费查询所购图书真伪。

## 反盗版短信举报

编辑短信“JB,图书名称,出版社,购买地点”发送至10669588128

## 短信防伪客服电话

(010)58582300

## 学习卡账号使用说明：

本书所附防伪标兼有学习卡功能，登录“<http://sve.hep.com.cn>”或“<http://sv.hep.com.cn>”进入高等教育出版社中职网站，可了解中职教学动态、教材信息等；按如下方法注册后，可进行网上学习及教学资源下载：

(1) 在中职网站首页选择相关专业课程教学资源网，点击后进入。

(2) 在专业课程教学资源网页面上“我的学习中心”中，使用个人邮箱注册账号，并完成注册验证。

(3) 注册成功后，邮箱地址即为登录账号。

学生：登录后点击“学生充值”，用本书封底上的防伪明码和密码进行充值，可在一定时间内获得相应课程学习权限与积分。学生可上网学习、下载资源和提问等。

中职教师：通过收集5个防伪明码和密码，登录后点击“申请教师”→“升级成为中职计算机课程教师”，填写相关信息，升级成为教师会员，可在一定时间内获得授课教案、教学演示文稿、教学素材等相关教学资源。

使用本学习卡账号如有任何问题，请发邮件至：“4a\_admin\_zz@pub.hep.cn”。



# 目 录

绪论 .....	1	§ 5-2 轴承 .....	72
第 1 章 机械概述 .....	2	§ 5-3 键连接 .....	82
§ 1-1 机器的组成 .....	2	§ 5-4 螺纹连接与螺旋传动 .....	84
§ 1-2 金属材料的性能 .....	3	§ 5-5 联轴器、离合器、制动器 .....	95
§ 1-3 机械零件的强度 .....	6	§ 5-6 机械的润滑和密封 .....	102
§ 1-4 摩擦和磨损 .....	7	*§ 5-7 弹簧 .....	108
第 2 章 构件的静力分析 .....	11	第 6 章 常用机构 .....	112
§ 2-1 力的基本性质 .....	11	§ 6-1 平面连杆机构 .....	112
§ 2-2 力矩和力偶 .....	15	§ 6-2 凸轮机构 .....	119
§ 2-3 平衡方程及其应用 .....	19	*§ 6-3 间歇运动机构 .....	122
第 3 章 杆件的基本变形 .....	25	第 7 章 机械传动 .....	126
§ 3-1 拉伸和压缩 .....	25	§ 7-1 带传动 .....	126
§ 3-2 剪切和挤压 .....	31	*§ 7-2 链传动 .....	132
§ 3-3 圆轴扭转 .....	34	§ 7-3 齿轮传动 .....	134
§ 3-4 直梁弯曲 .....	38	*§ 7-4 蜗杆传动 .....	141
§ 3-5 组合变形简介 .....	44	§ 7-5 轮系和减速器 .....	145
第 4 章 机械工程材料 .....	45	第 8 章 液压与气压传动 .....	150
§ 4-1 钢铁材料 .....	45	§ 8-1 液压传动概述 .....	150
§ 4-2 钢的热处理 .....	55	§ 8-2 液压传动元件 .....	154
§ 4-3 有色金属材料 .....	58	§ 8-3 液压传动系统 .....	165
§ 4-4 非金属材料 .....	61	§ 8-4 气压传动概述 .....	169
第 5 章 机械零件 .....	65	§ 8-5 气压传动元件 .....	171
§ 5-1 轴 .....	65	§ 8-6 气压传动系统 .....	177



## 绪 论

机械基础是中等职业学校机械专业的一门综合性基础课。所谓综合性，是因为这门课程包括工程力学、机械工程材料、机械零件与传动等多方面的内容；所谓基础，是因为无论从事机械制造或维修，还是使用、研究机械或机器，都要运用这些基本知识。

生产实践中常用的机械设备和工程部件都是由许多构件组成的，当它们承受载荷或传递运动时，每个构件必须具有足够的承载能力以保证工作安全可靠。要安全可靠地工作，构件必须具有足够的强度、刚度和稳定性。在实际工作中，为了安全则要求选用较好的材料或采用较大的截面尺寸；为了经济则要求选用价廉的材料或采用较小的截面尺寸。显然，这两个要求是相互矛盾的，工程力学为分析构件的强度、刚度与选择合理的结构提供了基本理论与方法。

构件是由材料制成的。机械零件的质量好坏和使用寿命的长短都与它的材料直接相关，机械工程材料的基本知识为合理地选择材料，充分发挥材料本身的潜在性能提供了基础。

为了正确使用机器，必须了解机器的组成。从运动上看，机器由若干传动机构组成；从结构上看，机器由若干零件组成。要了解机器，就要了解机构的工作原理、特点及应用和通用零件的类型、结构、材料、标准及选择方法。

综上所述，制造、维修、使用常用的机械设备和工程结构，必须具备力学、材料、机构与机械零件的相关知识，这些正是本课程的主要内容，因而本门课程是一门综合介绍机械或机器的基本课程。

通过本课程的学习，可以了解机器的组成；了解构件的受力分析、基本变形形式和强度计算方法；了解常用机械工程材料的种类、牌号、性能和应用，明确热处理的目的；熟悉通用机械零件的工作特性和常用机构、机械传动的工作原理及运动特点；了解液压和气压传动工作原理、特点、结构及应用；初步具有使用和维护一般机械的能力；学会使用标准、规范手册和图表等有关技术资料的方法。从而为学习职业岗位技术，形成职业能力打下基础。

学习本课程要贯彻理论联系实际的原则，注意在实验、实习、生产劳动中积累经验，观察思考问题，运用知识，深化知识，拓宽知识，提高专业素质和能力。



# 第 1 章

## 机械概述

### § 1-1 机器的组成

机器是现代社会生产劳动的主要工具之一，是社会生产力发展水平的重要标志。

#### 一、机器和机构

##### 1. 机器

机器的种类繁多，如摩托车、汽车、机床、机器人等。它们的结构形式和用途虽各不相同，但从其组成、运动和功能角度看，都具有下列共同特征：

- ① 机器是人为的实体组合；
- ② 各部分(实体)之间具有确定的相对运动；
- ③ 能够转换或传递能量，代替或减轻人类的劳动。

同时具有上述三个特征的实体组合称为机器。

##### 2. 机构

机构是由构件组合而成的，各构件之间具有确定的相对运动。

机器与机构的区别主要是：机器能完成有用的机械功或转换机械能，而机构只是完成传递运动、力或改变运动形式的实体组合。机器包含着机构，机构是机器的主要组成部分。一部机器可以只含有一个机构或有多个机构。

##### 3. 机械

机械是机器和机构的总称。

##### 4. 构件、零件

图 1-1 所示为带轮传动，它是由 V 带和两个带轮组成，而 V 带轮是由轴、键和带轮三个零件所组成的运动基本单元。在机械中，称这些具有独立运动的基本单元为构件。

构件通常由多个零件组成但也可以由一个零件组成。这些零件间没有相对的运动。零件是机械制造的基本单元，而



图 1-1

构件是机械运动的基本单元。机器由机构组合而成，而机构是由构件组合。

## 二、机器的组成

机器的功能需要多种机构配合才能完成。按照各部分实体的不同功能，一台完整的机器通常由以下四个部分组成。

### 1. 原动机部分

原动机部分也称动力装置，其作用是把其他形式的能量转变成机械能，以驱动机器各部分运动。它是机器完成预定功能的动力源，常用的有电动机和内燃机等。

### 2. 执行部分

执行部分也称工作部分(装置)。它是机器直接完成具体工作任务的部分，例如汽车的车轮、冲床的冲头等。

### 3. 传动部分

这部分是原动机到工作机构之间的传动机构，用以完成运动和动力的传递和转换。利用它可以减速、增速，改变转矩以及运动形式等，满足工作机构的各种要求，如汽车的变速箱、自行车的链传动与飞轮等。传动机构在各种机器中占有重要地位，对机器的结构和外形都有重大影响。

### 4. 操纵或控制部分

这部分的作用是显示和反映机器的运行位置和状态，控制机器正常运行和工作。控制装置可是机械装置、电子装置、电气装置等。

简单的机器一般由上述的前三部分组成，有的甚至只有原动机部分和执行部分，如水泵、排风扇等。而现代新型的自动化机器，如数控机床、加工中心等，控制部分(包括检测)的作用愈来愈重要。

## § 1-2 金属材料的性能

材料是机器的物质基础。金属材料的性能是选择材料的主要依据。金属材料的性能一般分为工艺性能和使用性能。工艺性能是指金属材料从冶炼到成品的生产过程中，在各种加工条件下表现出来的性能；使用性能是指金属零件在使用条件下金属材料表现出来的性能。金属材料的使用性能决定了它的使用范围。使用性能包括物理性能、化学性能和力学性能。

### 一、金属材料的物理性能

金属的物理性能是金属所固有的属性，包括密度、熔点、导热性、热膨胀性、导电性和磁性等。

#### 1. 密度

金属的密度即是单位体积金属的质量，其单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

根据密度的大小，金属材料可分为轻金属和重金属。密度小于  $4.5 \text{ g}/\text{cm}^3$  的金属叫做轻金属，如铝、钛等。

密度是金属材料的一个重要物理性能，与材料的使用和检测等都有关系。例如，在航空工

业和汽车工业中,为了增加有效载重量,密度是需要考虑的重要因素。

## 2. 熔点

金属从固体状态向液体状态转变时的温度称为熔点。熔点一般用摄氏温度( $^{\circ}\text{C}$ )表示。各种金属都有其固定熔点。如铅的熔点为 $323^{\circ}\text{C}$ ,钢的熔点为 $1538^{\circ}\text{C}$ 。

熔点对于冶炼、铸造、焊接和配制合金等都很重要。易熔金属及合金可用来制造熔断器和防火安全阀等零件;难熔金属及合金则用来制造要求耐高温的零件,广泛用于飞船外壳、火箭、导弹、燃气轮机和喷气飞机等耐高温零件。

熔点低于 $1000^{\circ}\text{C}$ 的金属称为低熔点金属,熔点在 $1000\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 的金属称为中熔点金属,熔点高于 $2000^{\circ}\text{C}$ 的金属称为高熔点金属。

## 3. 导热性

金属材料传导热量的能力称为导热性。一般用热导率(导热系数) $\lambda$ 表示金属材料导热性能的优劣。热导率大的金属材料的导热性好。在一般情况下,金属材料的导热性比非金属材料好。金属的导热性以银为最好,铜、铝次之。

导热性好的金属散热也好,可用来制造散热器零件,如冰箱、空调的散热片。

## 4. 热膨胀性

金属材料在受热时体积会增大,冷却时则收缩,这种现象称为热膨胀性。各种金属的热膨胀性能不同。常用线[膨]胀系数 $\alpha_l$ 表示热膨胀性。如铁在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 时 $\alpha_l = 11.76 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,即温度升高 $1^{\circ}\text{C}$ 铁增加 $11.76\ \mu\text{m}/\text{m}$ 。

在实际工作中有时必须考虑热膨胀的影响。例如,一些精密测量工具就要选用膨胀系数较小的金属材料来制造;铺设铁轨、架设桥梁、金属工件加工过程中测量尺寸等都要考虑到热膨胀的因素。

## 5. 导电性

金属材料传导电流的性能称为导电性。但各种金属材料的导电性各不相同,其中以银为最好,铜、铝次之,工业上用铜、铝做导电的材料。导电性差的高电阻金属材料,如铁铬合金、镍铬铝、康铜和锰铜等用于制造仪表零件或电热元件,如电炉丝。

## 6. 磁性

金属导磁的性能称为磁性。具有导磁能力的金属材料都能被磁铁吸引。铁、钴等为铁磁性材料,锰、铬、铜、锌为无磁性或顺磁性材料。但对某些金属来说,磁性也不是固定不变的,如铁在 $768^{\circ}\text{C}$ 以上就表现为没有磁性或顺磁性。

铁磁性材料可用于制作变压器、电机的铁心和测量仪表零件等;无(顺)磁性材料可用做要求避免磁场干扰的零件。

# 二、金属材料的化学性能

金属材料的化学性能是指金属在化学作用下所表现的性能,如耐腐蚀性、抗氧化性和化学稳定性等。

## 1. 耐腐蚀性

金属材料在常温下抵抗氧、水蒸气及其他化学介质腐蚀作用的能力,称为耐腐蚀性。常见的钢铁生锈,就是腐蚀现象。

腐蚀对金属材料危害很大，每年都有大量的钢铁被锈蚀。严重时还会使金属构件遭到破坏而引发重大恶性事故，特别是在腐蚀介质中工作的金属材料制件(如制药、制酸、制碱等化工设备)，必须考虑金属材料的耐腐蚀性能。

## 2. 抗氧化性

金属材料抵抗氧化作用的能力，称为抗氧化性。

金属材料在加热时，氧化作用加速，如钢材在锻造、热处理、焊接等加热作业时，会发生氧化和脱碳，造成材料的损耗和各种缺陷。因此，在加热坯件或材料时，常在其周围形成一种还原气体或保护气体，以避免金属材料的氧化。

## 3. 化学稳定性

化学稳定性是金属材料的耐腐蚀性和抗氧化性的总称。金属材料在高温下的化学稳定性叫做热稳定性。用于制造在高温下工作的零件的金属材料，要有良好的热稳定性。

# 三、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力作用下所表现出来的性能。力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

## 1. 强度

强度是金属材料在静载荷作用下抵抗变形和破坏的能力。抵抗能力越大，则强度越高；强度越高的材料越能承受较大的外力而不变形和破坏。

由于材料承受载荷的方式不同，其变形形式也不同，所以材料的强度又分为抗拉、抗压、抗扭、抗弯、抗剪等的强度，其中最常用的强度是抗拉强度或强度极限 $\sigma_b$ 。

强度极限 $\sigma_b$ 可以通过拉伸试验测定。 $\sigma_b$ 表示材料在拉伸条件下所能承受的最大应力，是机械设计和选材的主要依据之一。

## 2. 塑性

塑性是金属材料在静载荷作用下产生永久变形而不破坏的能力。塑性指标用伸长率 $\delta$ 和断面收缩率 $\psi$ 来表示。

$\delta$ 、 $\psi$ 值越大，表示材料的塑性越好。材料具有塑性才能进行压力加工，如汽车外壳、不锈钢用品等。塑性好的材料制成的零件在使用时也较安全。

## 3. 硬度

硬度是衡量金属材料软硬的一个指标。一般认为，硬度是指金属材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力，是金属材料表面抵抗变形或破坏的能力。它是材料塑性、强度等性能的综合体现。在生产上最常用的硬度有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC、HRB、HRA)和维氏硬度(HV)。

布氏硬度用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢以及结构钢调质件的硬度；洛氏硬度应用最广，常用于测定工件的表面硬度，如淬火钢；维氏硬度由于测试手续较繁、应用较少。三种硬度之间没有换算关系，但有对照表可参考。

## 4. 韧性

金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力，称为韧性。材料的冲击韧性一般在摆锤冲击试验机上进行测试，测得试样在冲断时断口单位面积所消耗的冲击吸收功，称为冲击韧度或冲

击值,常用 $a_k$ 表示<sup>①</sup>,其单位为 $J/cm^2$ 。 $a_k$ 值越大,冲击韧度越高。

#### 5. 疲劳强度

金属材料在无限多次交变载荷作用下而不破坏的最大应力称为疲劳强度或疲劳极限。实际上,金属材料并不可能作无限多次交变载荷试验,一般试验时规定,钢在经受 $10^7$ 次、有色金属经受 $10^8$ 次交变载荷作用时不产生断裂的最大应力称为疲劳强度。当施加的交变应力是对称循环变化时,所得的疲劳强度用 $\sigma_{-1}$ 表示。

由于疲劳断裂是突然发生的,具有很大的危险性,所以要选择抗疲劳强度较好的材料来制造承受交变载荷的机器零件,如轴、齿轮、弹簧等。

### 四、金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指在各种加工条件下表现出来的适应能力,包括铸造性、锻压性、焊接性和可加工性等。

#### 1. 铸造性

金属材料能否用铸造方法制成优良铸件的性能,称为铸造性或可铸性。铸造性能主要决定于金属材料熔化后金属液体的流动性、冷却时的收缩率等。不同的金属材料,其铸造性差异较大。常用金属材料中,灰铸铁具有优良的铸造性能,铸钢的铸造性低于铸铁。铸造铝合金和铸造铜合金的铸造性也较好。

#### 2. 锻压性

金属材料能否用锻压方法制成锻压件的性能,称为锻压性或可锻性。锻压性一般与材料的塑性及其塑性变形抗力有关。在一般情况下,材料塑性好,变形抗力小,则锻压性也好。低碳钢的锻压性最好,中碳钢次之,高碳钢则较次。低合金钢的锻压性近似于中碳钢,高合金钢的锻压性比碳钢差。

#### 3. 焊接性

金属材料在一定焊接条件下,是否易于获得优良焊接接头的的能力称为焊接性或可焊性。它取决于焊缝是否产生裂纹、气孔等。焊接性能好的材料易于用一般的方法焊接,焊接时不易产生裂纹、气孔等缺陷。焊缝接头有一定的力学性能。低碳钢有较好的可焊性,高碳钢较差,铸铁则更差。铜、铝合金的可焊性一般都比碳钢差。

#### 4. 可加工性

金属材料切削加工的难易程度称为可加工性或切削加工性。可加工性好的金属材料,在切削加工时刀具磨损小,加工表面好。一般认为,硬度过高或过低的金属材料,其切削加工性能较差。切削时切屑易于折断,也表明材料切削加工性好。

## § 1-3 机械零件的强度

为了保证机器的正常运行,零件应有良好的工作能力。零件丧失工作能力或达不到要求的

<sup>①</sup>  $a_k = \frac{A_k}{A}$ , 其中 $A_k$ 为冲断试样所消耗的冲击功, J;  $A$ 为试样缺口处的截面积,  $cm^2$ 。

性能时,称为失效。机械零件常见的失效形式有断裂、过量变形(弹性或塑性)、表面失效(过度磨损、打滑等)等形式。

零件不发生失效时的安全工作限度称为工作能力。强度是反映机械零件承受载荷时不发生失效的重要指标。

## 一、载荷和应力

### 1. 载荷

机械零件在使用和制造过程中受到的力作用称为载荷或负荷。载荷的大小、方向不随时间变化或变化缓慢的称为静载荷,如锅炉所受的压力;载荷的大小、方向随时间变化的称为变载荷,如发动机的曲轴或汽车齿轮所受的载荷。

### 2. 应力

零件在载荷作用下产生内力,单位截面上的内力称为应力。应力的单位是 Pa(帕)。1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>。Pa 的单位太小,工程上常用 MPa(兆帕)作为应力的单位。1 MPa = 10<sup>6</sup> Pa = 1 N/mm<sup>2</sup>。

应力的大小或方向不随时间变化或变化缓慢的称为静应力,应力的大小或方向随时间变化的称为变应力。

静应力只能在静载荷作用下产生;变应力可能由变载荷产生,也可能由静载荷产生。

## 二、机械零件的强度

零件工作应力是静应力时,强度的主要表现为断裂或塑性变形。或者说,在静应力作用下,零件强度不能满足工作要求时的主要失效形式是断裂或塑性变形。断裂是一种严重的失效形式,它不但使零件失效,有时还会造成严重的人身及设备事故。为了保证零件正常工作,必须满足零件的强度条件。

零件的工作应力是交变应力时,其强度表现为抵抗疲劳断裂的能力,即疲劳强度。即在交变应力作用下,零件的失效形式是疲劳断裂。疲劳断裂都是突然发生的,具有很大的危险性。疲劳断裂与应力的大小、循环特性、应力循环次数有关。

两零件表面接触而无相对运动,承载时因相互挤压作用而产生挤压应力。此时零件强度表现为抵抗压溃或塑性变形,即挤压强度。

机械中的高副,如齿轮副、蜗杆副、凸轮副、滚动轴承中的滚动体与套圈等,由于接触面很小,即点接触或线接触,表层的局部应力很大,这种应力称为接触应力。其中,较大接触应力用  $\sigma_H$  表示。接触应力一般都是变应力。在接触应力作用下零件的强度称为接触强度。当接触应力超过材料相应疲劳强度时,零件表层金属便从本体剥落,形成小坑,这种现象称为疲劳点蚀。疲劳点蚀损坏了零件的工作表面,使零件失效。

## § 1-4 摩擦和磨损

摩擦和磨损是自然界和社会生活中普遍存在的现象。有时人们利用它们有利的一面,例如车辆行驶、带传动和制动等是利用摩擦作用,精加工中的磨削、抛光等是利用磨损的有用方

面。由于摩擦存在造成了机器的磨损、发热和能量损耗。据估计,目前世界上约有 30% ~ 50% 的能量消耗在各种形式的摩擦中,约有 80% 的机器是因为零件磨损而失效。因此,零件的磨损是决定机器使用寿命的主要因素。

## 一、摩擦

摩擦是指两物体的接触表面阻碍它们相对运动的机械阻力。

相互摩擦的两个物体称为摩擦副。根据摩擦副的运动状态可将摩擦分为静态、临界(或启动)、动态和惯性摩擦;根据摩擦副的运动形式可分为滑动和滚动摩擦,根据摩擦副的摩擦状态可分为固体摩擦、液(气)体摩擦和混合摩擦。

### 1. 固体摩擦

固体摩擦分为干摩擦和边界摩擦。

#### (1) 干摩擦

摩擦副在直接接触时产生的摩擦称为干摩擦,如图 1-2a 所示,摩擦因数大,磨损严重,除利用摩擦力工作的场合外,应尽量避免。

#### (2) 边界摩擦

在摩擦副间施加润滑剂后,摩擦副的表面吸附一层极薄的润滑膜,这种摩擦状态称为边界摩擦,如图 1-2b 所示。边界摩擦的润滑膜强度低,容易破裂,致使摩擦副部分表面直接接触产生磨损,但摩擦和磨损状况优于干摩擦。

### 2. 液(气)体摩擦

在摩擦副间施加润滑剂后,摩擦副的表面被一层具有一定压力和厚度的流体润滑膜完全隔开时的摩擦,称为液(气)体摩擦,如图 1-2c 所示。液(气)体摩擦中摩擦副的表面不直接接触,摩擦因数很小,理论上不产生磨损,是一种理想的摩擦状态。

### 3. 混合摩擦

兼有固体摩擦和液(气)体摩擦中两种摩擦状态以上的一种摩擦状态,称为混合摩擦,如图 1-2d 所示。混合摩擦中摩擦表面仍有少量直接接触,大部分处于液(气)体摩擦,故摩擦和磨损状况优于固体摩擦,但比液(气)体摩擦差。

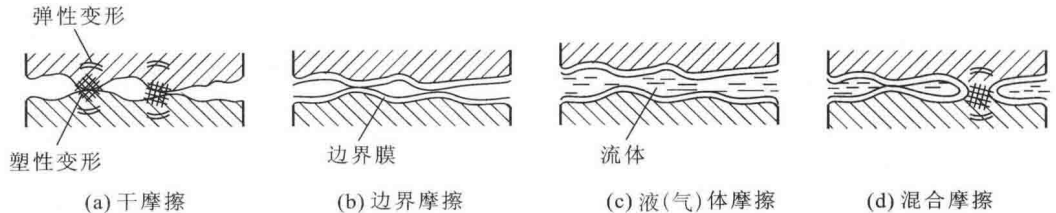


图 1-2

## 二、磨损

运动副之间的摩擦将导致机件表面材料逐渐损耗形成磨损。磨损会影响机器的精度,降低工作的可靠性,甚至促使机器提前报废。

## 1. 磨损过程

一个机件的磨损过程大致可分为三个阶段，磨损曲线如图 1-3 所示。

### (1) 磨合阶段

在运转初期，摩擦副的接触面积较小，单位面积上的实际载荷较大，磨损速度较快。随着磨合的进行，实际接触面积不断增大，磨损速度在达到某一定值后即转入稳定磨损阶段。

### (2) 稳定磨损阶段

在这个阶段，机件以平稳而缓慢的速度磨损，标志着摩擦条件保持不变。这个阶段的长短代表机件的使用寿命。

### (3) 剧烈磨损阶段

经过稳定磨损阶段后，机件的表面磨损较为严重，运动副中的间隙增大，引起额外的动载荷，出现噪声和振动，最终导致失效。这时必须更换零件。

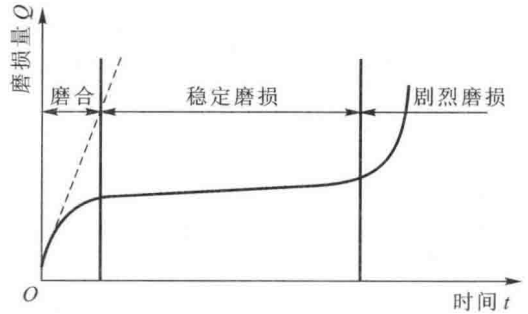


图 1-3

## 2. 磨损的类型

磨损大体上有两种分类方法：一种是根据磨损结果着重对磨损表面外观的描述，如点蚀磨损、胶合磨损、擦伤磨损等；另一种则是根据磨损机理分类，如粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损、冲蚀磨损及腐蚀磨损。下面对各种磨损的机理及影响因素作简要介绍。

### (1) 粘着磨损

当摩擦表面的不平度峰尖在相互作用的各点处发生粘着后，在相对滑动时材料从一个表面转移到另一个表面，形成了粘着磨损。严重的粘着磨损会造成运动副咬死。这种磨损是金属摩擦副之间最普通的一种磨损形式。

影响粘着磨损的主要因素是：同类摩擦副材料比异类材料容易粘着，如钢与钢零件间的相对运动。脆性材料比塑性材料的抗粘着能力高。在一定范围内，零件的表面粗糙度值愈小，抗粘着能力愈强。

### (2) 磨料磨损

进入摩擦面间的游离颗粒，如磨损造成的金属微粒，会在较软材料的表面上犁削出很多沟纹，这样的微切削过程叫磨料磨损。

影响磨料磨损的主要因素是：材料的硬度越高，耐磨性越好；磨粒平均尺寸越大。磨损就越大。磨损量随磨料硬度的提高而加大。

### (3) 疲劳磨损

当做滚动或滚滑运动的高副受到反复作用的接触应力（如滚动轴承运转或齿轮传动）时，如果应力超过材料的接触疲劳强度，就会在零件工作表面或一定深度处形成疲劳裂纹，随着裂纹的扩展与相互连接，造成许多微粒从零件工作表面上脱落下来，致使表面上出现许多月牙形浅坑，叫做疲劳磨损，也称疲劳点蚀或简称点蚀。

影响疲劳磨损的主要因素是：表面硬度越高，产生疲劳裂纹的危险性越小，提高表面质量，对零件的疲劳寿命有显著改善。高压下的润滑油能在接触区起到均化接触应力的作用，可提高抗疲劳磨损的能力。油的粘度过低，则易于被挤入疲劳裂纹中，在被封闭的裂缝中受高压