

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)

主    编    李世维  
责任主审    张    策  
审    稿    杨建明    唐力伟

高等教育出版社

## 内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材。

本书根据教育部 2000 年 8 月颁发的中等职业学校《机械基础教学大纲》,并参照有关行业职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写,适用于机械类专业。

本教材内容具有“宽、浅、用、能、新、活”的特点,突出职业教育特色,主要包括机械概述、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、液压传动等。本教材结构富有弹性,便于不同学制、不同行业学校灵活使用。教材突出零件、材料等的应用知识,增加实训指导、创新思维能力培养等内容,以提高学生把所学知识与生产实际相结合的能力。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械基础/李世维主编. —北京:高等教育出版社,  
2001.7

中等职业学校机械类专业教材

ISBN 7 - 04 - 009592 - 0

. 机... . 李... . 机械学 - 专业学校 - 教材  
.TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 038342 号

机械基础

李世维 主编

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010 - 64054588

传 真 010 - 64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷

开 本 787×1092 1/16

版 次 年 月第 版

印 张 12.5

印 次 年 月第 次印刷

字 数 290 000

定 价 12.50 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

责任编辑 李新宇  
封面设计 王 睢  
责任绘图 朱 静  
版式设计 史新薇  
责任校对 俞声佳  
责任印制

# 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,努力为教材选用提供比较和选择,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

# 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、能力为体位”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。

高等教育出版社聘请徐州建筑职业技术学院张天熙担任本书主审。主审人对书稿提出了许多宝贵意见,在此特表感谢。

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

# 目 录

绪论 .....	1	第5章 机械零件 .....	73
第1章 机械概述 .....	2	§5-1 轴 .....	73
§1-1 机器的组成 .....	2	§5-2 轴承 .....	80
§1-2 金属材料的性能 .....	3	§5-3 键联接 .....	89
§1-3 机械零件的强度 .....	7	§5-4 螺纹联接 .....	91
§1-4 摩擦和磨损 .....	8	§5-5 联轴器、离合器、制动器 .....	100
习题 .....	11	§5-6 机械的润滑和密封 .....	107
第2章 构件的静力分析 .....	12	* §5-7 弹簧 .....	113
§2-1 力的基本性质 .....	12	习题 .....	117
§2-2 力矩和力偶 .....	16	第6章 常用机构 .....	120
§2-3 平衡方程及其应用 .....	19	§6-1 平面连杆机构 .....	120
习题 .....	24	§6-2 凸轮机构 .....	127
第3章 杆件的基本变形 .....	29	* §6-3 间歇运动机构 .....	132
§3-1 拉伸和压缩 .....	29	习题 .....	134
§3-2 剪切和挤压 .....	33	第7章 机械传动 .....	136
§3-3 圆轴扭转 .....	36	§7-1 带传动 .....	136
§3-4 直梁弯曲 .....	41	* §7-2 链传动 .....	140
§3-5 组合变形简介 .....	46	§7-3 齿轮传动 .....	142
§3-6 影响杆件变形的其他因素 .....	48	* §7-4 蜗杆传动 .....	154
习题 .....	48	§7-5 轮系和减速器 .....	157
第4章 机械工程材料 .....	52	习题 .....	164
§4-1 钢铁材料 .....	52	第8章 液压传动 .....	166
§4-2 钢的热处理 .....	62	§8-1 液压传动概述 .....	166
§4-3 有色金属材料 .....	65	§8-2 液压元件 .....	174
§4-4 非金属材料 .....	68	§8-3 液压基本回路及分析 .....	186
习题 .....	71	习题 .....	192

# 绪 论

本课程是中等职业学校机械专业的一门综合性的基础课。所谓具有综合性,是因为这门课程内容包括工程力学、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。

在生产实践中,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安全可靠地工作。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。工程力学为此提供了基本理论与方法,为分析构件的强度、刚度和稳定性提供了基本理论与方法。

构件是由材料制成的。没有材料,机械是不存在的。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有关,而机械工程材料的基本知识为我们合理地选择材料,充分发挥材料本身的性能潜力提供了基础。

为了正确使用和管理机器,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,并要了解通用零件的类型、结构、材料、标准及选择方法。

综上所述,要制造、维修、使用常用的机械设备和工程结构,必须具有力学、材料、机构与机械零件的相关知识,并能综合运用。而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;了解构件受力分析、基本变形方式和强度计算方法;了解常用机械工程材料的种类、牌号、性能和应用,明确热处理目的;熟悉通用机械零件和机械传动的能力;初步具有分析一般机械功能和动作的工作原理和特点;初步具有分析一般机械功能和动作;初步具有使用和维护一般机械的能力;学会使用标准、规范手册和图册等有关技术资料的方法;从而为学习就业岗位技术形成职业能力打下基础。

学习本课程要以辩证唯物论为指导,贯彻理论联系实际的原则,并注意在实验、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,如电动机、机床、机器人、汽车等。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,却具有下列共同特征:

- (1) 机器是人工的物体组合;
- (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、物料和信息,代替或减轻人类的劳动。

同时具有上述三个特征的机械称为机器。

#### 2. 机构

机构是人工的物体组合,各部分之间具有一定的相对运动。

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多个机构。

#### 3. 机械

机器和机构的总称。

#### 4. 构件、零件

构件是指相互之间能作相对运动的机件(如实体)。例如,带传动机构中(图 1 - 1),小带轮通过 V 带带动大带轮,大、小带轮与 V 带之间都有相对运动,均是构件;而每个带轮与其轴,以及联系带轮与轴的键,相互之间没有相对运动,所以不能看成是构件。带轮、轴、键分别作为带轮构件系统的制造单元,叫做零件。零件制成之后组合成构件。构件可以由一个零件组成,也可以由一组零件组成。

构件是运动的单元,零件是制造的单元,零件组成构件。构件是组成机构的各个相对运动的实体。机构是机器的重要组成部分。机器和机构统称为机械。

### 二、机器组成的四部分

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

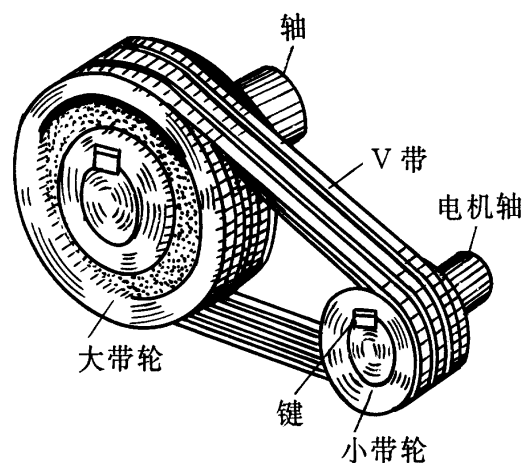


图 1 - 1 带传动机构

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、工作。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)。它是机器中直接完成具体工作任务的部分,例如汽车的车轮、缝纫机的机头等。

### 3. 传动部分(装置)

这部分是原动机到工作机构之间的联系机构,用以完成运动和动力的传递和转换。利用它可以减速、增速、调速,改变转矩以及运动形式等,从而满足工作机构的各种要求。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。控制装置可采用机械、电子、电气、光波等。

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)的地位愈来愈重要。

## § 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,它包括密度、熔点、导热性、热膨胀性和磁性等。

#### 1. 密度

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

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  $4.5 \text{ g/cm}^3$  的金属叫做轻金属。

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( )表示。各种金属都有其固定熔点。

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,广泛用于火箭、导弹、燃气轮机

和喷气飞机等。

熔点低于 1 000 的金属称为低熔点金属,熔点在 1 000 ~ 2 000 的金属称为中熔点金属,熔点高于 2 000 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)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。热导率的单位为  $W/(m \cdot K)$ 。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。

### 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  $\alpha$  表示热膨胀性。如铁在 0 ~ 100 时  $\alpha = 11.76 \times 10^{-6} \text{ } ^{-1}$ ,即温度升高 1 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。所有的金属都具有导电性,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、铝做导电的结构材料。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。

### 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 以上就表现为没有磁性或顺磁性。

铁磁性材料可用于变压器、测量仪表等制造业;无(顺)磁性材料可用做要求避免磁场干扰的零件和结构材料。

## 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、化肥等化工设备),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,常在其周围制造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。所以,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外力作用下所表现出来的抵抗性能。金属材料在加工和使用过程所受的作用力称为载荷(或称负载或负荷)。根据载荷作用性质不同,可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷。在这些载荷作用下,金属材料的力学性能主要指标有强度、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,其变形有多种形式,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;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。一般可认为,硬度是指金属材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力,是金属材料表面上不大体积内抵抗变形或破坏的能力。它是材料塑性、强度等性能的综合表征。硬度试验条件简便,又不破坏零件,因此硬度广泛应用于检验原材料和热处理件的质量,以及鉴定热处理工艺的合理性等。硬度也是设计图样上的技术参数之一。

硬度试验方法可分为压入法和刻划法。在生产上最常用的是压入法硬度试验,即布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC、HRB、HRA)和维氏硬度(HV)。

#### (1) 布氏硬度(HB)

布氏硬度测定原理是用一定的作用力,把一定直径的淬火钢球或硬质合金球压入测试件表面,保持一定时间后卸除力,测量压痕直径,以压痕单位面积上的压力表示材料的布氏硬度值,用符号 HBS(淬火钢球)或 HBW(硬质合金球)表示。在实际生产中,测试在布氏硬度机上进行,布氏硬度值并不计算,也不用标注单位,只需测出压痕直径,查布氏硬度表即可得出 HB 值。

布氏硬度用于测定铸铁、非铁(有色)金属、低合金结构钢等原材料以及结构钢调质件的硬度。不能测试很硬(HBS > 450)、很薄以及表面质量要求高的工件。

#### (2) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是用锥角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588 mm (1/16 in) 的钢球作为压头, 加上定载荷(载荷先后两次施加), 使压头压入试件表面, 根据压痕深度确定其硬度值。根据试验用的压头与载荷不同, 洛氏硬度分为 HRA、HRB、HRC 三种, 其中以 HRC 应用最广。洛氏硬度值可直接从试验机的表盘上读出, 不需计算和标出单位。

洛氏硬度试验操作迅速简便, 压痕小, 可在工件表面进行试验, 可测定各种金属材料的硬度, 也可测定较薄工件或表面薄层的硬度。它是目前应用最广的硬度试验方法。其缺点是因为压痕较小, 代表性差。

布氏硬度与洛氏硬度由于试验条件不同, 因而两种硬度没有换算关系。为了比较, 可查各种硬度对照表。

### (3) 维氏硬度(HV)

维氏硬度测试原理基本上与布氏硬度试验相同, 也是根据压痕单位面积上的载荷来计量硬度值。但压头是一个两相对面间夹角为 136° 的金刚石正四棱锥压头。试验用的载荷, 可根据试样大小、厚薄等条件进行选择。在实际应用中, 维氏硬度一般不进行计算, 可根据压痕对角线的长度, 直接从表中查得。

维氏硬度因试验时所加的载荷较小, 压入深度浅, 故可测量较薄材料和表面硬化层的硬度, 而且维氏硬度值具有连续性[(10 ~ 1 000)HV], 可测定从极软到极硬的各种金属材料的硬度。但测试手续较繁, 生产率不如洛氏硬度高, 所以不宜用于成批生产的常规检验。

### 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一次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, 其单位为  $J/cm^2$ 。  $a_k$  值越大, 冲击韧度越高。承受冲击载荷的机器零件, 需要用具有较好韧性的材料制造。

### 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, 所以一般试验时规定, 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力时, 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其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、切削加工性、热处理性等。

### 1. 铸造性

金属材料能否用铸造方法制成优良铸件的性能, 称为铸造性能, 又称可铸性。铸造性能主要

---

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

决定于金属材料熔化后即金属液体的流动性,冷却时的收缩率和偏析倾向等。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. 锻压性或可锻性

金属材料能否用锻压方法制成优良锻压件的性能,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能力称为焊接性或可焊性。它取决于焊缝产生裂纹、气孔等倾向。焊接性能好的材料易于用一般的焊接方法和工艺焊接,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。

# § 1 - 3 机械零件的强度

强度是零件应满足的基本要求。零件强度是指零件受载后抵抗断裂、塑性变形和表面失效的能力。为了保证零件具有足够的强度,必须使零件在受载后的工作应力不超过零件的许用应力 $[\sigma]$ 。其表达式为

$$[\sigma] \text{ 或 } \sigma = \frac{F}{A} \quad [\sigma]$$

式中  $F$  是载荷,  $A$  是截面积。利用上式计算零件的几何尺寸,是零件设计计算;如果零件尺寸已知,由上式校验零件的强度,则是校核计算。

零件工作应力的类型不同,可能是静应力(即应力不随时间变化或变化缓慢),也可能是交变应力(即应力随时间变化);分布不同,其强度表现行为也不同。

### 一、零件的体积强度

零件受载时,如果应力在较大体积内产生,则称这种应力状态下的零件强度为体积强度。

零件工作应力是静应力时,则体积强度主要表现为抵抗延性断裂或脆性断裂或塑性变形。或者说,在静应力作用下,零件体积强度不能满足工作要求,主要失效形式是(延性或脆性)断裂或塑性变形。为了保证零件正常工作,必须满足零件的强度条件。其具体强度条件及其计算将在第三章讨论。

零件工作应力是交变应力时,其体积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。疲劳断裂与应力的大小、循环特性、应力循环次数有关。为了保证零件在变应力下正常工作,其强度条件为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_r}{K_0 N}$$

式中  $K_0$  ——零件尺寸系数;

- 零件表面状态系数；
- $r(-1, 0)$  ——零件材料的疲劳强度；
- $K_0$  ——应力集中系数；
- $N$  ——安全系数。

## 二、零件的表面强度

零件受载时,如果应力是在较浅的表层内产生,则称这种应力状态下的零件强度为表面强度。

两零件表面接触而无相对运动,承载后表面间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表面压溃或表面塑性变形,即表面挤压强度。有关表面挤压强度条件计算在第三章详述。

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工作表面,使零件失效。为保证零件正常工作,接触疲劳强度条件为

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlim}}{N_H}$$

- 式中  $\sigma_H$  ——接触应力；
- $[\sigma_H]$  ——零件的许用接触应力；
- $\sigma_{Hlim}$  ——零件材料的接触疲劳强度(实验测得)；
- $N_H$  ——接触强度安全系数(取 1 或稍大于 1)。

## § 1 - 4 摩擦和磨损

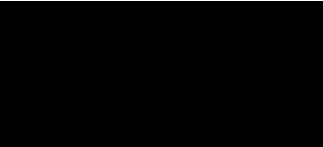
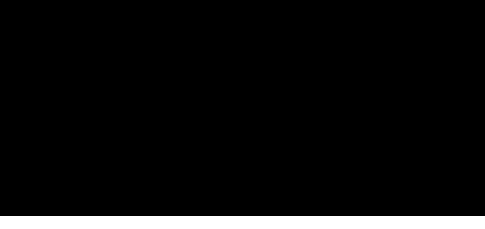
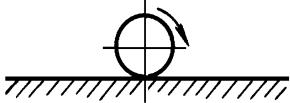

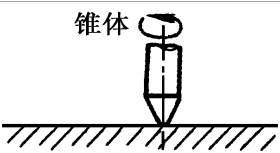
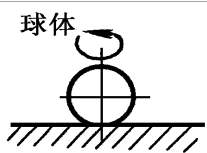
摩擦和磨损是自然界和社会生活中普遍存在的现象。有时人们利用它们有利的一面,例如车辆行驶、带传动和制动等是利用摩擦作用,精加工中的磨削、抛光等是利用磨损的有用方面。由于摩擦存在造成了机器的磨损、发热和能量损耗。据估计,目前世界上约有 30% ~ 50% 的能量消耗在各种形式的摩擦中,约有 80% 的机器是因为零件磨损而失效。因此,零件的磨损是决定机器使用寿命的主要因素。

### 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。

摩擦的基本概念、分类、摩擦状态及物理值见表 1 - 1。

表 1 - 1 摩擦概念、分类、摩擦状态及物理值

概 念		注 释
基本 概念	静态摩擦	两个相对相互静止物体间的摩擦。此时对物体施加的力(力矩)不够大,不致于产生相对运动。
	(起动摩擦)临界摩擦	运动开始时的摩擦。
	动态摩擦	两个相对相互地运动物体间的摩擦。
	惯性摩擦	运动结束时的摩擦,即速度大约为零时的摩擦。
分 类	滑动摩擦	移动  转动 
	滚动摩擦	球或压辊 
	滚滑动摩擦	滚动摩擦伴有滑动摩擦(打滑) 
	旋转摩擦	锥体  球体 
摩 擦 状 态	固 体 摩 擦	干摩擦 摩擦副在直接接触时产生的摩擦,摩擦因数大,磨损严重,应尽量避免。 边界摩擦 滑动面部分地被氧化膜杂质、气体或液体覆盖。摩擦因数比干摩擦小。
	液体摩擦	摩擦副被液体膜连续隔开下的摩擦。这里可能产生液体静压的或液体动压的状态。摩擦因数小,是理想的摩擦状态。
	气体摩擦	摩擦副被气体膜连续隔开下的摩擦。这里可能产生气体静压的和气体动压的状态。摩擦因数小,是理想的摩擦状态。
	混合摩擦	固体摩擦和液体摩擦以及气体摩擦同时存在的摩擦。
物 理 值	摩擦力 $F_R$	摩擦力是指因摩擦而出现阻止相对运动的机械阻力。
	摩擦力矩 $M_R = F_R \cdot r$	摩擦力矩是指因摩擦而产生阻止转动的机械阻力。
	摩擦功 $W_R$	为克服摩擦必要的且大部分转换成摩擦势的那部分功。
	摩擦功率 $P_R = F_R \cdot v_R$	克服摩擦的必要功率。
	摩擦因数 $\mu$	由摩擦力: $\mu = F_R / F_N$ 由摩擦力矩: $\mu = M_R / (r \cdot F_N)$

## 二、磨损

运动副之间的摩擦将导致机件表面材料的逐渐丧失或转移,即形成磨损。磨损会影响机器的效率,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(图 1 - 2)。

#### (1) 跑合阶段

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,因此磨损速度较快,而且在不断变化。但随着跑合的进行,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

这个阶段内,机件以平稳而缓慢的速度磨损,标志着摩擦条件保持恒定不变。这个阶段的长短代表着机件使用寿命的长短。

#### (3) 剧烈磨损阶段

经过稳定磨损阶段后,机件的表面遭到破坏,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。这时就必须停机更换零件。

### 2. 磨损的类型

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。下面按后一种分类法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“冷焊”后,在相对滑动时,材料从一个表面转移到另一个表面,便形成了粘着磨损。这种被转移的材料,有时也会再附着到原先的表面上去,出现逆转移,或脱离所粘附的表面而成为游离颗粒。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。

影响粘着磨损的因素主要是:同类摩擦副材料比异类材料容易粘着;脆性材料比塑性材料的抗粘着能力高;在一定范围内,零件的表面粗糙度愈小,抗粘着能力愈强。

#### (2) 磨料磨损

从外部进入摩擦面间的游离颗粒(如空气中的尘土或磨损造成的金属微粒)或硬的不平度峰尖在较软材料的表面上犁刨出很多沟纹,被移去的材料一部分流动到沟纹的两旁,一部分则形成一连串碎片脱落下来成为新的游离颗粒。这样的微切削过程就叫磨料磨损。

影响磨料磨损的主要因素: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增高而加大。

#### (3) 疲劳磨损

当作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表面下一定深度处形成疲劳裂纹,随着

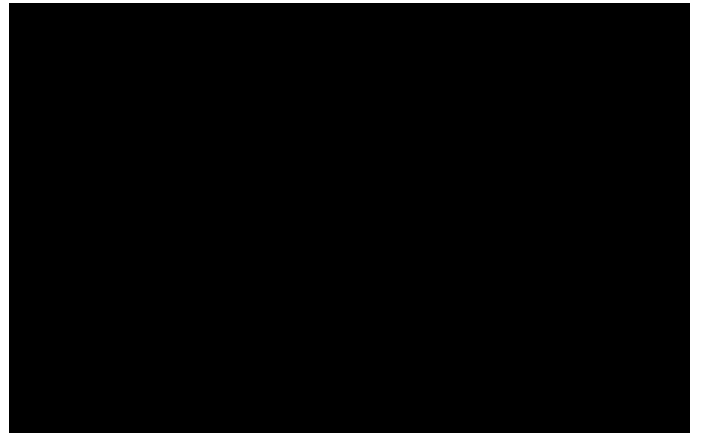


图 1 - 2 磨损曲线

裂纹的扩展与相互连接,就造成许多微粒从零件工件表面上脱落下来,致使表面上出现许多月牙形浅坑。这就叫疲劳磨损,也叫疲劳点蚀或简称点蚀。

影响疲劳磨损的因素有:钢的心部硬度越高,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,但超过一定界限后影响就不明显了;高压下的润滑油能在接触区起到均化接触应力的作用,从而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而促进疲劳裂纹的扩展。因此,油的粘度高时较为有利于提高抗疲劳能力。

#### (4) 冲蚀磨损

当一束含有硬质微粒的流体冲击到固体表面上时就会造成冲蚀磨损,例如利用高压空气输送型砂或高压水输送矿石的管道所产生的磨损。冲蚀磨损是由于在有摩擦的情况下,固体表面受到硬质微粒冲击且反复作用而造成的表层疲劳破坏。

影响冲蚀磨损的因素有:磨粒与固体表面的摩擦因数、磨粒的冲击速度以及磨粒的冲击速度方向同固体表面所夹的冲击角。

#### (5) 腐蚀磨损

摩擦副受到空气中的酸或润滑油、燃油中残存的少量无机酸(如硫酸)及水分的化学作用或电化作用,在相对运动中造成材料的损失,叫腐蚀磨损。腐蚀可以在没有摩擦的条件下形成。

影响腐蚀磨损的因素主要是:零件表面的氧化膜性质和环境温度。

在实际中多数的磨损都是以上述五种基本磨损形式的复合形式出现的。

## 习 题

- 1 - 1 试述机器与机构的特点及其区别。
- 1 - 2 举例说明构件、零件及其区别。
- 1 - 3 试述机器的组成及各部分的功能。
- 1 - 4 什么是金属材料的使用性能和工艺性能?它们各包括哪些内容?
- 1 - 5 列举出4种你所熟悉的材料,并说明它们的物理性能、化学性能和工艺性能。
- 1 - 6 列表小结金属材料的力学性能。
- 1 - 7 参观铸造、锻造、焊接和切削加工的生产过程。结合铸、锻、焊和切削加工特点,说明金属材料的工艺性能。
- 1 - 8 举例说明静载荷、冲击载荷和交变载荷?
- 1 - 9 什么是机械零件强度?
- 1 - 10 机械零件若未满足强度条件,其主要失效形式有哪些?
- 1 - 11 接触疲劳强度条件是什么?
- 1 - 12 何谓静摩擦、滑动摩擦?
- 1 - 13 磨损有哪几种类型?
- 1 - 14 简述疲劳磨损及影响因素。