

【内容简介】 本书依据教育部最新颁布的《中等职业学校机械基础教学大纲》，并引入行业新知识、新工艺、新技术编写而成。本书的主要内容包括绪论、机械概述、力学基础知识、机械工程材料、误差与公差、支承零部件、连接与紧固、机械传动、常用机构，并配有微课、视频、动画等数字化资源。

本书既可作为中等职业技术学校机械类和近机械类专业的教材，也可供机械类相关岗位培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础：少学时 / 杨欧，刘平主编. —西安：
西北工业大学出版社，2023. 12
ISBN 978 - 7 - 5612 - 9136 - 8

I. ①机… II. ①杨… ②刘… III. ①机械学 - 中等
专业学校 - 教材 IV. ①TH11

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 253965 号

JIXIE JICHU(SHAOXUESHI)

机械基础(少学时)

杨欧 刘平 主编

责任编辑：张 潼

策划编辑：朱婉茜

责任校对：曹 江

装帧设计：张瑞阳

出版发行：西北工业大学出版社

通信地址：西安市友谊西路 127 号

邮编：710072

电 话：(029)88491757，88493844

网 址：www.nwpup.com

印 刷 者：大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本：787 mm×1 092 mm 1/16

印 张：14.5

字 数：268 千字

版 次：2023 年 12 月第 1 版

2023 年 12 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978 - 7 - 5612 - 9136 - 8

定 价：42.00 元

如有印装问题请与出版社联系调换



课程建设与改革是提高教学质量的核心,也是教育改革的重点和难点。为贯彻落实《教育部关于进一步深化中等职业教育教学改革的若干意见》,力求课程能力服务于专业能力,专业能力服务于岗位能力,笔者按照知识由简到繁、由单一到全面、由浅入深的原则,兼顾国家相应专业职业资格鉴定标准的要求,编写了本书。

本书具有以下特点:

(1)注重职业技能的培养,根据机械类职业的实际需要,合理培养学生应具备的能力和知识结构,以满足企业对技能型人才的需要。

(2)本书采用最新的国家标准并与新大纲吻合,既强调基础技能,又体现新知识、新技术、新工艺等方面的内容,力求具有鲜明的时代特征。

(3)全书配备立体感强的图片,激发学生学习兴趣,在编写上大量采用图、表,文字表述力求简单、通俗、直观,注重理论和实践的结合,通过知识拓展、实验、实训等实践锻炼,培养学生的专业技能。

(4)本书配有微课、动画视频等多种数字化资源,尤其动画视频资源丰富、全面,通过扫描书中二维码,即可获得线上学习资源,享受立体化阅读体验。

本书由沈阳市装备制造工程学校杨欧、刘平任主编,耿秀俊、李海燕、刘治江任副主编,参加编写的还有夏坚平、王书纯、费静波。全书由杨欧统稿。具体编写分工如下:刘平编写第一章、第二章、第三章和第五章,杨欧编写绪论、第四章和第七章,耿秀俊、李海燕、刘治江编写第六章,夏坚平、王书纯、费静波编写第八章;杨欧、刘治江、李海燕、耿秀俊负责微课、视频、动画、三维模型、课件等数字化资源的制作。

本书教学学时分配建议如下:

章 序 号	内 容	建议学时数
第一章	机械概述	4
第二章	力学基础知识	8

续表

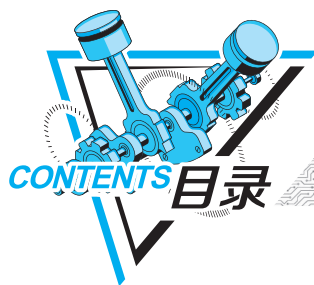
章 序 号	内 容	建议学时数
第三章	机械工程材料	6
第四章	误差与公差	8
第五章	支承零部件	8
第六章	连接与紧固	8
第七章	机械传动	14
第八章	常用机构	8
合计		64

在编写本书的过程中,编者参考了大量文献资料,向其作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,欢迎广大读者提出批评意见和宝贵建议。

编 者

2023年5月



 绪论	1
 第一章 机械概述	3
第一节 机器的构成	3
第二节 金属材料的性能	8
第三节 机械的类型	12
第四节 摩擦、磨损和润滑	13
思考与练习	18
 第二章 力学基础知识	20
第一节 静力学基础	20
第二节 杆件的基本变形	37
思考与练习	48
 第三章 机械工程材料	51
第一节 钢铁材料	51
第二节 其他材料	63
第三节 钢的热处理	66
思考与练习	69
 第四章 误差与公差	70
第一节 极限与配合	70
第二节 几何公差	83
第三节 表面粗糙度	89
思考与练习	99



 第五章 支承零部件	103
第一节 轴	103
第二节 轴承	109
思考与练习	121
 第六章 连接与紧固	122
第一节 螺纹连接	122
第二节 键连接	131
第三节 销连接	136
第四节 联轴器与离合器	137
思考与练习	146
 第七章 机械传动	148
第一节 带传动	148
第二节 链传动	159
第三节 齿轮传动	165
第四节 蜗杆传动	184
第五节 齿轮系与减速器	189
思考与练习	200
 第八章 常用机构	204
第一节 平面连杆机构	204
第二节 凸轮机构	215
第三节 间歇运动机构	221
思考与练习	224
 参考文献	226

绪 论

一、本课程的性质、任务

机械基础是中等职业技术学校的一门机械类专业基础课,为学生学习专业技术课程和今后在工作中合理使用、维护机械设备,进行技术革新提供必要的理论基础。通过学习本课程,学生应熟悉和掌握静力学基础、机械工程材料、误差与公差的基础知识,常用机构、通用零件的工作原理及应用特点;熟悉平面力系的受力分析、常用零件的性能、分类、应用和相关的国家标准,能对一般机械传动系统进行简单的分析和计算。

二、本课程的内容

本课程的内容总的可以分为静力学基础及机械工程材料、误差与公差、标准件及支承零部件、机械传动机构、常用机构等五大部分。

1. 静力学基础及机械工程材料

本课程主要介绍静力学的基本概念、物体受力分析的方法和物体在力系作用下处于平衡的条件,金属材料的牌号、用途、性能特点,铁碳合金成分、组织和性能之间的关系,钢的热处理基础知识。

2. 误差与公差

这部分内容有互换性的概念、极限与配合、几何公差项目及符号、被测要素和基准要素的标注,表面粗糙度的概念、表面粗糙度对机械零件使用性能的影响、表面粗糙度的评定参数、表面粗糙度技术要求在零件图上的标注方法。

3. 标准件及支承零部件

标准件及支承零部件包括螺纹及螺纹连接、键及键连接、销连接、轴、轴承、联轴

器、离合器和制动器。本课程主要讨论它们的结构、特点、常用材料、应用场合和失效形式,并介绍相关标准和选用方法。

4. 机械传动机构

常用机械传动机构包括螺旋传动、带传动、链传动、齿轮传动和轮系。本课程主要介绍机械传动的类型、组成、工作原理、传动特点、传动比的计算和应用场合等。

5. 常用机构

常用机构是指常见于机器中的机构,包括平面连杆机构、凸轮机构和间歇运动机构等。本课程主要讨论它们的结构、工作原理、运动特点和应用场合等。

第一章

机械概述



学习目标

- (1) 了解一般机器的组成和基本要求。
- (2) 掌握零件、构件、部件、机构、机械等基本概念。
- (3) 会分析运动副及绘制平面机构运动简图。
- (4) 了解金属材料的性能。
- (5) 了解机械的类型及摩擦、磨损和润滑。



第一节 机器的构成

机器是由各种机构和零件构成的系统。机器与机构和零件是整体与局部的关系,只有每个机构、零件都可靠地工作,才能保证机器的正常运行。

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。



视频
机器的组成

一、机器概述

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,具有下列共同特征:

- (1) 根据使用要求设计的一种执行机械运动的装置;
- (2) 各部分实体之间具有确定的相对运动;
- (3) 能够变换或传递能量、物料和信息,以代替或减轻人类的体力劳动和脑力劳动。



二、机构

所谓机构是多个实体的组合,能实现预期的运动和动力传递。机构主要用来传递和变换运动,而机器主要用来传递或变换能量、物料和信息。组成机器的各个相对运动的实体称为构件。机器不可拆的制造单元体称为零件。

机器与机构的主要区别: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结合。机器包含着机构,机构是机器的主要组成部分。机器可以只含有一个机构,也可以含有多个机构。

三、机器的组成

按照各部分实体的不同功能,一台机器可以分为几个部分。图 1-1 所示的颞式破碎机可以分解为动力部分(电动机)、传动部分(带轮、V 带和机架组成的带传动)和执行部分(机架、定颞板、动颞板、偏心轴和肘板组成的连杆机构)等三大部分。有的机器如排风扇、水泵等,只有动力部分和执行部分。复杂的机器,除上述三部分外,还有控制装置、信息处理系统。综上,机器的基本组成和相互关系如图 1-2 所示。

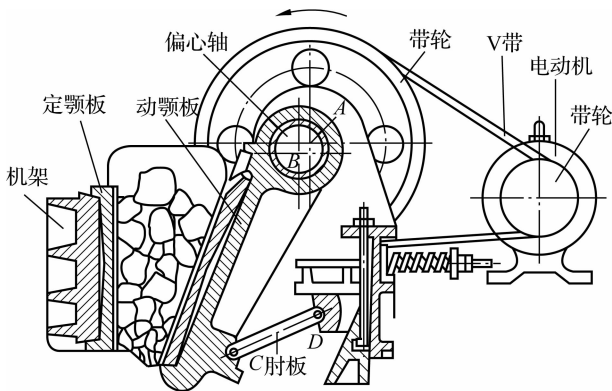


图 1-1 颞式破碎机

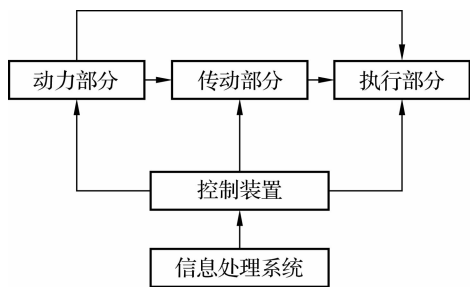


图 1-2 机器的组成

1. 动力部分

动力部分是机器完成预定功能的动力源,普遍采用电动机和内燃机等。

2. 执行部分

执行部分直接完成工作任务,其运动形式因机器的用途不同而异。

3. 传动部分

传动部分介于动力部分和执行部分之间,是完成运动、动力的传递和转换的部

分。利用它可以减速、增速、改变运动形式、改变转矩及分配动力等,从而满足执行部分的各种要求。

4. 控制装置

控制装置是控制机器各部分工作的装置。控制装置可采用机械、电气、电子、光波等技术。

5. 信息处理系统

信息处理系统是采集、处理、传输信息的装置。信息处理系统的工作多数由计算机完成,可使机器达到机电一体化的水平。

四、机构的组成

机构是由构件和运动副组成的,如图 1-3 所示。

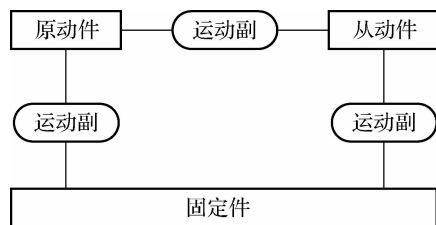


图 1-3 机构的组成

1. 运动副

为了使各构件间具有一定的相对运动,构件之间必定要以某种方式连接起来。这种使两构件直接接触并能产生一定形式的相对运动的连接称为运动副。运动副的作用:一是传递力;二是限制两构件间的某些相对运动,这种限制称为约束。

2. 构件

由图 1-3 可知,机构中的构件按其运动性质可以分为三类:固定件(机架)、原动件和从动件。

(1)固定件。固定件是用来支承活动构件的构件。一个机构中必有一个固定件。

(2)原动件。原动件是运动规律已知的活动构件,它的运动规律由外界提供。一个机构中必有一个或几个原动件。图 1-1 中,起压碎物料作用的连杆机构中,偏心轴是原动件,其动力由电动机经带传动提供。

(3)从动件。从动件是随原动件的运动而运动的构件,如图 1-1 连杆机构中的动颚板和肘板。完成工作动作的从动件又称为执行构件。

两构件间的平面运动副按接触特性可分为高副和低副。

(1)高副。两构件通过点接触或线接触组成的运动副称为高副,图 1-4 中的齿轮 1 与齿轮 2、凸轮 3 与从动杆 4、车轮 5 与轨道 6 分别在 A 处组成高副。这时,两构件的相对运动是绕 A 点的转动和沿切线方向的移动,而沿法线方向的移动被运动副限制了。由于高副以点或线接触,其接触部分的压强较高,故易磨损。

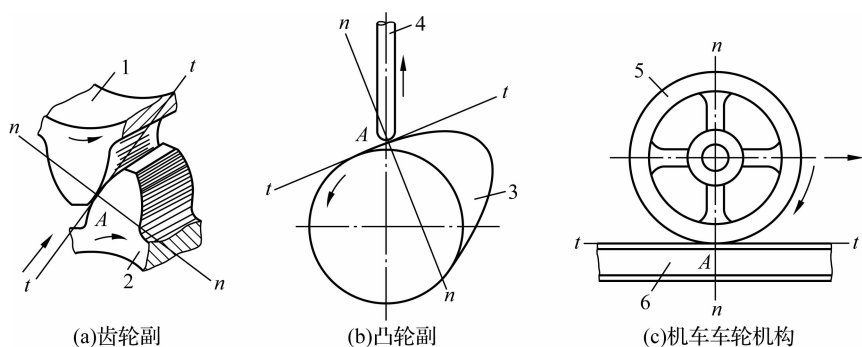


图 1-4 高副

(2)低副。两构件通过面接触组成的运动副称为低副,如图 1-5 所示。这时两构件只能做相对移动或转动。如图 1-5(a)所示,允许两构件做相对移动的低副称为移动副,如方套与导杆之间的可动连接就属于移动副。如图 1-5(b)所示,允许两构件做相对转动的低副称为转动副或铰链,如轴与轴承之间的可动连接就属于转动副。

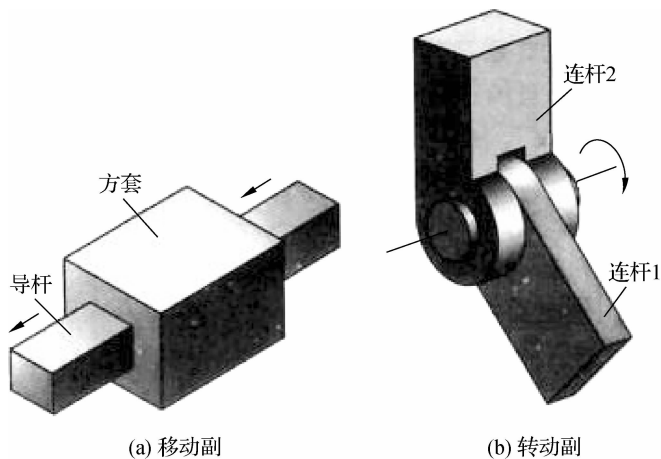


图 1-5 低副

五、平面机构运动简图

实际机构的外形和结构都很复杂,为了便于分析,通常不考虑构件的外形、截面尺寸和运动副的实际结构,而用简单的线条和规定的符号表示构件和运动副,并按

一定的比例画出各运动副间相对位置的图形,该图形就称为机构运动简图。表 1-1 列出了机构运动简图的常用符号。

表 1-1 机构运动简图的常用符号

运动副类别	代表符号	运动副类别	代表符号
活动构件 1 和 活动构件 2 组成 转动副		活动构件 1 和 活动构件 2 组成 移动副	
活动构件 1 和 机架 2 组成转 动副		活动构件 1 和 机架 2 组成移 动副	
齿轮 1 和齿 轮 2 组成齿轮副		凸轮 1 和从动 杆 2 组成凸轮副	

在绘制机构运动简图时,首先要分析机构的运动,确定原动件、机架和从动件,分析原动件的运动如何传递给从动件,搞清构件数及各构件的相对运动;其次明确运动副的类型、数目和各运动副的相对位置;最后选择一个与各构件运动平面相平行的平面作为视图平面,选择适当的长度比例尺 μ_l ,画出机构运动简图。长度比例尺为

$$\mu_l = \frac{\text{实际长度}(\text{mm})}{\text{图示长度}(\text{mm})}$$

【例 1-1】 试绘制图 1-6 所示的手压式水井机构运动简图。

解:(1)分析机构运动,确定构件数目。图示手压式水井是利用人力摆动操作杆 1 使活塞杆 4 上下移动达到抽水的目的。该机构中,水井桶 3 是固定件,操作杆 1 为原动件,活塞杆 4 和摇杆 2 为从动件,共有 4 个构件。

(2)确定运动副的类型、数目。活塞杆 4 与水井桶 3 的连接是移动副,活塞杆 4 与操作杆 1、操作杆 1 与摇杆 2、摇杆 2 与水井桶 3(机架)的连接分别是 C、B、A 处的转动副(见图 1-7)。



视频
平面机构运动简图

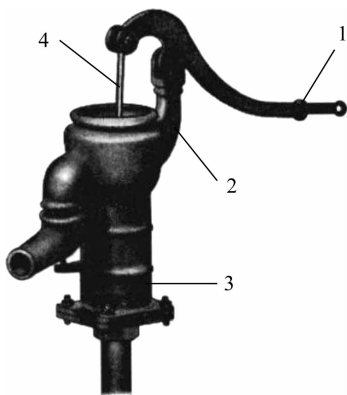


图 1-6 手压式水井

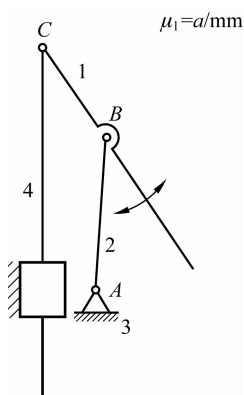


图 1-7 手压式水井运动简图

(3)测量各运动副间的相对位置。测量 L_{AB} , L_{BC} 及 A 点与活塞杆导路中线的距离。

(4)选择操作杆等的运动平面为视图平面。

(5)确定长度比例尺 $\mu_1 = a$ 。

(6)绘制机构运动简图。先画出活塞杆导路位置,确定转动副 A 的位置(图 1-7 中 A 点到导路中线的长度为 S/μ_1)。以 A 为圆心、 L_{AB}/μ_1 为半径作弧,得到 B 点运动轨迹;选定原动件的初始位置,如图 1-7 所示位置,即 AB 与导路夹角为 10° ,从而确定了 B 点的位置;以 B 为圆心、以 L_{AB}/μ_1 为半径交导路中线于 C 点;按规定的符号和线条画简图;标注构件号、转动副代号(A, B, C)、原动件运动方向,便绘成机构运动简图,如图 1-7 所示。



第二节 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其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。金属材料的使用性能包括物理性能、化学性能和力学性能。



视频
金属材料的性能

一、金属材料的物理性能

金属材料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、导电性和磁性等。

1. 密度

金属材料的密度即单位体积金属的质量,单位为克每立方厘米(g/cm^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 $4.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的金属叫作轻金属,包括铝、镁、钙、钛、钾、锶、钡等。密度大于 $4.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的金属叫作重金属,包括金、银、铜、铁、汞、铅、镉等。

密度是金属材料的一个重要物理属性,与金属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。熔点低于 $1\ 000\ ^{\circ}\text{C}$ 的金属称为低熔点金属,熔点在 $1\ 000\sim 2\ 000\ ^{\circ}\text{C}$ 的金属称为中熔点金属,熔点高于 $2\ 000\ ^{\circ}\text{C}$ 的金属称为高熔点金属。

熔点对于冶炼、铸造、焊接和配制合金等都很重要。熔点低的金属及合金用来制造熔断器和防火安全阀等零件;熔点高的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的制造。

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 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。一般情况下,金属材料的导热性比非金属材料的好。金属的导热性以银为最好,铜、铝次之。

4. 热膨胀性

金属材料的体积在受热时会增大,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不同。常用线膨胀系数 α_t 表示金属的热膨胀性。如铁在 $0\sim 100\ ^{\circ}\text{C}$ 时 $\alpha_t = 11.76 \times 10^{-6}\ ^{\circ}\text{C}^{-1}$,即温度升高 $1\ ^{\circ}\text{C}$,铁的长度增加 $11.76\ \mu\text{m}$ 。

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热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。所有的金属材料都具有导电性,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,常用铜、铝作导电的结构材料。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

金属材料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。但对某些金属材料来说,磁性也不是固定不变的,如铁在 768 °C 以上就表现为没有磁性或无(顺)磁性。

铁磁性材料可用于变压器、测量仪表等制造业,无(顺)磁性材料可用作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危险事故,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,在加热坯件或金属材料时,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作热稳定性。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中所受的作用力称为载荷(或称负载或负荷)。根据作用性质不同,载荷可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷。在这些载荷作用下,金属材料的主要力学性能指标有强度、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。强度越高的金属材料越能承受较大的外力而不变形和不破坏。

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 σ_b 。

强度极限 σ_b 可以通过拉伸试验测定。 σ_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 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

δ, ψ 值越大,表示材料的金属塑性越好。材料具有金属塑性才能进行压力加工;塑性好的金属材料制成的零件在使用时也较安全。

3. 硬度

硬度是金属材料局部抵抗硬物压入其表面的能力。固体对外界物体入侵的局部抵抗能力,是比较各种金属材料软硬的指标。它是金属材料塑性、强度等性能的综合表征。硬度高的金属材料强度高,耐磨性能较好,而切削加工性能较差。根据测定硬度方法的不同,可用布氏硬度(HBW)、洛氏硬度(HRA, HRB, HRC)和维氏硬度(HV)等硬度指标来表示金属材料的硬度。

4. 韧性

韧性是金属材料在断裂前吸收能量和进行塑性变形的能力。冲击载荷下的力学性能指标是冲击吸收能量,用KV(V形缺口)或KU(U形缺口)表示,单位为J。

冲击吸收能量值越大,则金属材料的韧性越好。冲击吸收能量值低的金属材料称为脆性材料,冲击吸收能量值高的金属材料称为韧性材料。很多零件,如齿轮、连杆等,工作时受到很大的冲击载荷,因此要用冲击吸收能量值高的金属材料制造。铸铁的冲击吸收能量值很低,灰铸铁的冲击吸收能量值接近于零,因此不能用来制造承受冲击载荷的零件。

5. 疲劳强度

疲劳强度是指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,或称为疲劳极限。实际上,金属材料并不可能做无限多次交变载荷试验,所以一般试验时规定,钢铁材料经受 10^7 次、非铁(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即称为疲劳强度。当施加的交变应力是对称循环力时,所得的疲劳强度用 σ_{-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金属材料来制造承受交变载荷的机器零件,如轴、齿轮、弹簧等。

金属材料的工艺性能是指在各种加工条件下所表现出来的适应性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能等。



第三节 机械的类型

从结构和运动角度分析,机构与机器之间并无区别,因此将机构和机器总称为机械。随着生产力的发展、人们生活的改善、科技的进步,现有机械的功能不断完善,新的机械不断涌现。

机械的种类繁多,应用广泛。按照主要用途不同,机械可分为动力机械、加工机械、运输机械和信息机械等。

(1) 动力机械用来实现机械能与其他形式能量之间的转换。电动机、内燃机、发电机、液压泵、压缩机等都属于动力机械。

(2) 加工机械用来改变物料的状态、性质、结构和形状。金属切削机床、粉碎机、冲压机、织布机、轧钢机、包装机等都是加工机械。

(3) 运输机械用来改变人或物料的空间位置。汽车、机车、缆车、船舶、飞机、电梯、起重机、输送机等均为运输机械。

(4) 信息机械用来获取或处理各种信息。复印机、打印机、绘图机、传真机、相机、摄像机等皆为信息机械。

对机械的基本要求包括使用功能要求、经济性要求、劳动保护要求和环境保护要求等。此外,还有特殊要求,例如金属切削机床应长期保持精度,食品和药品加工机械应不污染产品,运输机械应减轻自重,信息机械应快速准确,等等。



第四节 摩擦、磨损和润滑

摩擦、磨损和润滑是自然界与社会生活中普遍存在的现象。任何机器的运转都是靠各种运动副两接触表面的相对运动来实现的,而相对运动时必然伴随着摩擦现象。在大多数情形下,摩擦的结果首先造成能量损耗,其次是使摩擦副相互作用的表面发热、磨损。据估计,目前世界上 $1/3\sim 1/2$ 的能量消耗在各种形式的摩擦中,约有80%的零件因磨损而报废。为了提高机械的使用寿命以及节省能源和材料,应设法尽量减小摩擦和减少磨损。润滑是在相对运动构件的相互作用表面上涂充润滑物质,以降低摩擦、减缓磨损的有效方法。应当指出,摩擦也可以加以利用,实现动力传递(如带传动)、制动(如摩擦制动器)及连接(如过盈连接)等,这时则应增大摩擦,但仍应减少磨损。



视频
摩擦、磨损与润滑

一、摩擦

在外力作用下,紧密接触的两个物体做相对运动或具有相对运动趋势时,其接触面间会产生阻碍这种运动的阻力,这种现象称为摩擦。仅有相对运动趋势时的摩擦称为静摩擦,静摩擦力的大小随作用于物体的外力的变化而变化;当外力克服了最大静摩擦力,物体间产生相对运动时的摩擦称为动摩擦。根据两相对运动物体的运动形式的不同,动摩擦又分为滑动摩擦和滚动摩擦。根据摩擦副表面间润滑状态的不同,滑动摩擦又可分为干摩擦、边界摩擦(或称边界润滑)、流体摩擦(流体润滑)和混合摩擦(混合润滑),如图1-8所示。

1. 干摩擦

无润滑剂的摩擦称为干摩擦,如图1-8(a)所示。干摩擦时,两摩擦面直接接触,摩擦因数大,摩擦力大,磨损和发热严重,除利用摩擦力工作的场合之外,应尽量避免干摩擦。

2. 边界摩擦

两摩擦面间加入润滑剂后,金属表面会吸附一层极薄的润滑膜(边界膜),这种摩擦状态称为边界摩擦,如图1-8(b)所示。边界膜有润滑作用,故边界摩擦又称边界润滑。边界膜的厚度($0.1\ \mu\text{m}$ 以下)一般比摩擦表面的粗糙凸峰小,因此,磨损是不可避免的,但摩擦因数比干摩擦时小,为 $0.08\sim 0.15$ 。边界膜的强度不高,而且温度高时强度显著降低,因此,使用中要对压力、温度及运动速度加以限制。

3. 流体摩擦

两摩擦表面被流体(液体或气体)完全隔开时的摩擦称为流体摩擦。这时的摩擦力是流体层间的黏切阻力,摩擦因数很小,为 $0.001\sim 0.01$ 。流体摩擦不会造成金属表面的磨损,是理想的摩擦状态,如图 1-8(c)所示。

4. 混合摩擦

混合摩擦是边界摩擦和局部流体摩擦共存的摩擦状态,如图 1-8(d)所示。此状态下仍然有粗糙凸峰的直接接触和磨损,只是摩擦因数比边界摩擦因数小得多。

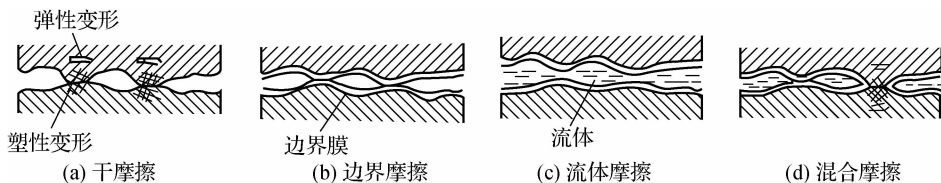


图 1-8 摩擦状态

边界摩擦、流体摩擦和混合摩擦的形成与载荷、速度、润滑剂的黏度等工作参数有关。随着工作参数的改变,这三种摩擦状态可以相互转化。

二、磨损

由于机械作用或伴有化学作用,运动副表面材料不断损失的现象称为磨损。磨损要消耗功,从而降低机械的效率;磨损会改变零件的形状和尺寸,降低零件工作的可靠性,有时甚至导致机械提前报废或发生设备及人身事故。因此,要努力避免或减少磨损。

1. 磨损的分类

根据磨损破坏机理及零件表面磨损状态,可将磨损分为以下几种。

1) 磨粒磨损

摩擦表面上的硬质凸起、磨损形成的坚硬磨粒或其他硬颗粒进入摩擦表面之间,对零件表面起“磨削”作用,使金属表面磨损的现象称为磨粒磨损。除流体摩擦外,其他摩擦状态下工作的零件都可能出现磨粒磨损,例如开式齿轮传动经常因严重磨损而失效。合理选择摩擦副材料,提高零件表面硬度是减少磨粒磨损的途径。

2) 黏着磨损

在混合摩擦或边界摩擦状态下,当载荷较大、速度较高时,边界膜可能破坏,金属接触固相焊合而形成的黏结点因相对滑动被剪切断裂,发生材料由一个表面向另一个表面转移的现象,称为黏着磨损。摩擦时两表面接触峰顶黏着、断裂、再黏着、

再断裂的反复过程构成黏着磨损过程,如图 1-9 所示。

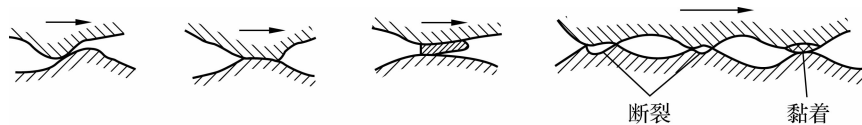


图 1-9 黏着磨损

黏着磨损分为轻微磨损、胶合和咬死。胶合是高速重载时常见的失效形式。齿轮传动、蜗杆传动及滑动轴承等零件可能发生黏着磨损。合理选择摩擦副材料,采用含有油性和极压添加剂的润滑剂,限制摩擦表面的温度和压强,都可以减少黏着磨损。

3) 疲劳磨损

两个相互滚动或滚动兼滑动的摩擦表面,在接触区受循环变化的高接触应力作用下,零件表面出现裂纹,随着应力循环次数的增加,裂纹逐步扩展以致表面金属剥落,出现凹坑,如图 1-10 所示,这种现象称为疲劳磨损,又称“点蚀”。它是齿轮、滚动轴承、凸轮等零件的主要失效形式之一。合理选择材料、表面硬度、表面粗糙度及润滑油黏度,是提高接触疲劳寿命的重要措施。



图 1-10 疲劳磨损

4) 腐蚀磨损

摩擦过程中,固体表面与周围介质发生化学反应或电化学反应产生的表面磨损,称为腐蚀磨损。它是腐蚀作用与机械作用的结果,因此,也可以称之为机械-化学磨损。

2. 磨损过程

除了流体摩擦状态外,其余的摩擦状态总要伴随着磨损。在规定的年限内,只要磨损量不超过许用值,都可以认为是正常磨损。磨损量可以用体积、质量、厚度来衡量。单位时间或单位行程、每转、每次摆动内材料的磨损量称为磨损率。

机械零件典型的磨损过程分为磨合、稳定磨损和剧烈磨损三个阶段,如图 1-11 所示。

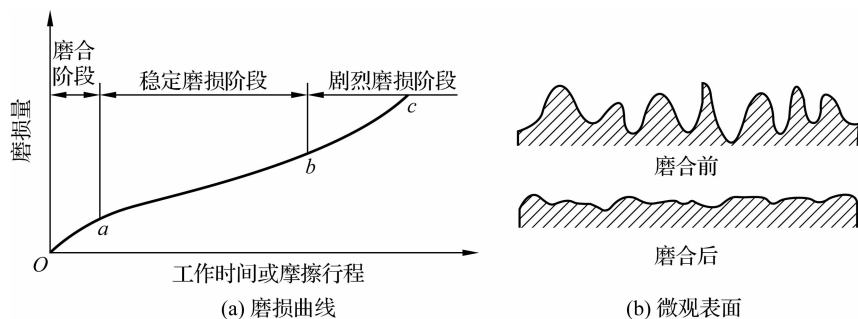


图 1-11 磨损曲线与微观表面

1) 磨合阶段

新的摩擦副的表面粗糙度值大,实际接触面积小,接触面积上的压力较大,该阶段的磨损量较大。经短时间磨合后,摩擦副表面的表面粗糙度值变小[见图 1-11(b)],实际接触面积增大,磨损率降低,为进入稳定磨损阶段创造了条件。因此,磨合是一种有益磨损。例如,装配好的新减速器要先加入足量且合适的润滑油进行磨合,磨合结束后要放掉脏油,清洗减速器并更换新润滑油,才可交付正式使用。

2) 稳定磨损阶段

经磨合后的摩擦副表面粗糙度值减小,在稳定磨损阶段磨损率趋于稳定和缓和,经历的时间也较长,标志着零件的使用寿命较长。

3) 剧烈磨损阶段

经过稳定磨损阶段的积累,零件丧失表面精度,在剧烈磨损阶段磨损量急剧增大,表现为机械效率下降,可能产生异常噪声和振动,摩擦副温度迅速升高,表面发生严重损坏。因此,必须在摩擦副进入剧烈磨损阶段之前及时进行检修。

正确选用摩擦副的材料组合,使摩擦因数小、磨损率低,是减少磨损的先决条件。进行有效的润滑,使摩擦副尽可能在液体摩擦或混合摩擦状态下工作,是减少磨损的重要措施。对摩擦副的表面进行适当的处理,如提高耐磨性,可以降低磨粒磨损;提高加工和装配精度,使压力尽可能均匀分布,结构上有利于散热和磨屑排出等,可以减少磨损;将滑动摩擦改为滚动摩擦,其减小摩擦和减少磨损的效果显著。正确使用和维护对于减少磨损十分重要,新机械使用之前应进行由轻至重、缓慢加载的正确磨合,经常检查润滑系统的油压、油面和密封情况,对轴承等部位定期润滑,定期更换润滑油和滤油器芯以阻止外来磨粒的进入,等等,这些都是不可忽视的。

三、润滑

润滑是向承载的两摩擦表面之间注入润滑剂,以降低摩擦阻力和减缓磨损的技术措施。润滑的直接作用是在摩擦表面间形成润滑膜,以减少摩擦、减少磨损。润滑膜还具有缓冲、吸震的能力。循环润滑还能起到散热作用,并且使用润滑脂起到密封作用。

工程上,为了避免干摩擦,至少要保证摩擦副处于边界润滑或混合润滑状态,建立流体润滑是最理想的状态。

在有润滑的条件下,随润滑剂、运动参数、动力参数、几何尺寸、工况条件、接触状况等的不同,摩擦面间将呈现三种润滑状态:流体润滑、边界润滑和混合润滑。

1. 流体润滑

若两摩擦表面被一层具有足够厚度、压力的连续油膜完全隔开,此种润滑状态称为流体润滑。在此状态下,润滑油膜的厚度通常超过 10^{-6} m。根据压力油膜形成原理,流体润滑分为流体静力润滑、流体动力润滑和弹性流体动力润滑。

1) 流体静力润滑

利用外部供油(气)装置将一定压力的流体送入摩擦面之间建立压力油膜的润滑称为流体静力润滑。它的工作原理如图 1-12 所示。液压泵将压力油经节流阀送入支承面,使摩擦面间产生一层流体膜,将两表面分开,并承受一定的载荷。其承载能力紧随供油(气)压力及支承面的几何尺寸而定,与摩擦面间的相对速度无关。

2) 流体动力润滑

流体动力润滑是依靠面接触的两摩擦面作相对运动时,将有一定黏度的润滑油(气)带入两表面间自行产生具有一定压力的油膜,将两表面完全隔开,并承受外载荷。滑动轴承形成流体动力润滑的工作原理如图 1-13 所示。轴静止时,轴与轴承接触面上的润滑油被挤出,如图 1-13(a)所示;当轴顺时针方向旋转时,如图 1-13(b)所示,由于摩擦阻力作用,轴颈沿轴承孔壁滚爬,同时润滑油的黏性和吸附作用带动楔形油层向前移动,迫使轴向上抬起;当轴的转速达到工作转速时,油膜压力在垂直方向的合力与外载荷 F 平衡,润滑油隔开摩擦表面形成流体动力润滑,如图 1-13(c)所示。

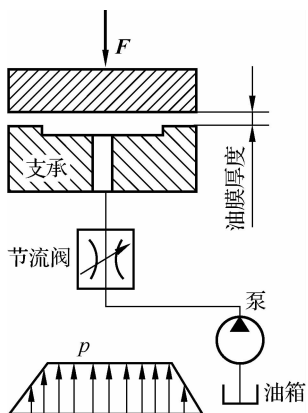


图 1-12 流体静力润滑工作原理

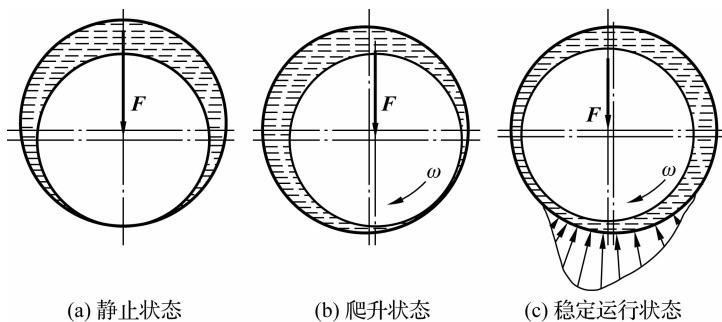


图 1-13 径向滑动轴承流体动力润滑工作原理

由上述可知,形成流体动力润滑需要以下几个必要条件:

- (1) 两摩擦面间必须有一定的相对运动速度。
- (2) 顺着相对运动速度方向,油层必须呈楔形。
- (3) 润滑油要有一定黏度,且供油量充足。

3) 弹性流体动力润滑

由于流体动力效应、润滑油的压力-黏度特性和接触体弹性变形三者综合作用,高压接触受润滑零件之间形成的压力润滑油膜将摩擦表面分隔开来的润滑状态,称为弹性流体动力润滑。

2. 边界润滑

在边界润滑中,两个接触体表面并未处处被润滑膜隔开,存在着明显的微凸体接触。两摩擦表面的摩擦因数不取决于润滑剂的黏度,而与边界膜性质有关。

3. 混合润滑

混合润滑是边界润滑与流体润滑的混合状态。混合润滑并不具有基本的、独立的润滑机理。因此,提出了介于流体润滑和边界润滑之间的薄膜润滑,以填补流体润滑和边界润滑之间存在的一个空白区。

思考与练习

1. 机器与机构有什么区别?
2. 机器由哪几部分组成? 各部分有何功用?
3. 什么叫运动副? 它在机构中起何作用? 高副、转动副和移动副各限制哪些相对运动? 保留哪些相对运动?

4. 绘制机构运动简图应注意哪些事项? 绘制图 1-14 所示柱塞式液压泵、卡车翻斗自动卸料机构的机构运动简图。

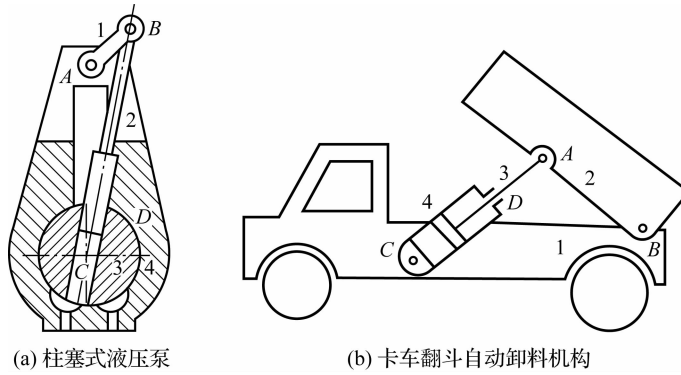


图 1-14 题 4 图

5. 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?
6. 总结金属材料的力学性能。
7. 磨损的形式有几种? 各发生在什么场合? 可以采用哪些措施减少或避免磨损?
8. 什么是腐蚀磨损?
9. 润滑状态有几种? 如何实现流体动力润滑?