

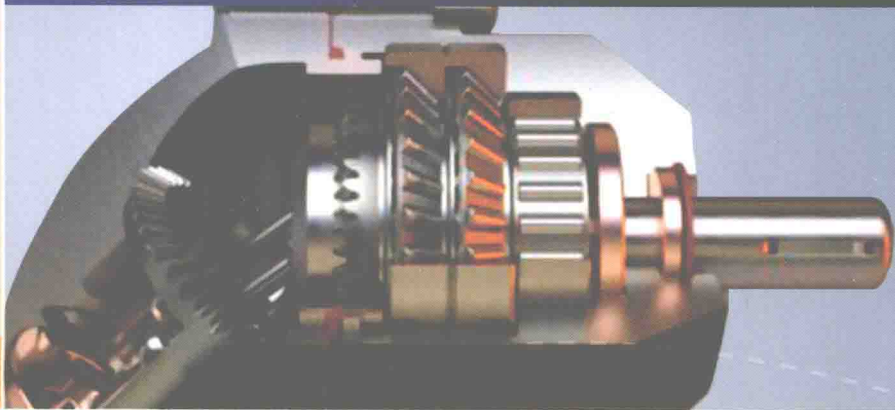


中等职业教育课程改革国家规划新教材
经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过

机械基础

(多学时)

主编 栾学钢 赵玉奇 陈少斌



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

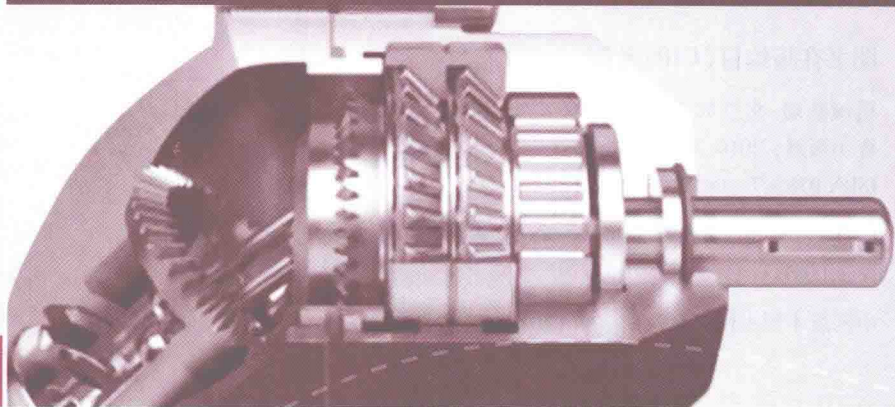


中等职业教育课程改革国家规划新教材
经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过

机械基础

JIXIE JICHU (多学时)

主编 栾学钢 赵玉奇 陈少斌 主审 宋小春 黄诚驹



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

内容简介

本书为中等职业教育课程改革国家规划新教材,经中等职业教育教材审定委员会审定通过。本书是依据教育部2009年颁布的“中等职业学校机械基础教学大纲”,并参照相关的最新国家职业技能标准和行业职业技能鉴定规范中有关要求编写而成的。

本书主要内容包括机械零件的精度,杆件的静力分析,直杆的基本变形,工程材料,连接,常用机构,机械传动,支承零部件,机械的节能环保与安全防护,气压传动与液压传动等。与本书配套研发了机械基础课程立体化、集成化教学资源,主要有《机械基础练习册》(多学时,附题库光盘)和《机械基础教学指导》(附光盘),并提供了包括网络课程、电子教案、多媒体课件、多媒体素材库、习题库等丰富的网上教学资源。

本书用中职学生易于接受的表达方式实现教学意图,内容以应用为主线,将相关学科内容有机结合,综合化程度高;机械零件插图大多采用精美的三维立体渲染图和实物照片替代了传统的二维平面投影线条图,清晰易懂;提供了大量教学案例,易于实现“做中学、做中教”。

本书附学习卡/防伪标,利用本书封底所附学习卡账号,按照本书最后一页“郑重声明”下方使用说明,登录网站“<http://sve.hep.com.cn>”,可上网学习,下载资源。

本书可作为中等职业学校对机械基础多学时要求的机械类专业基础课程教材,也可作为岗位培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础:多学时/栾学钢,赵玉奇,陈少斌主编. —北京:高等教育出版社,2010.7(2015.4重印)

ISBN 978-7-04-026925-3

I. ①机… II. ①栾…②赵…③陈… III. ①机械学-专业学校-教材
IV. ①TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第124191号

策划编辑 陈大力
责任校对 金辉

责任编辑 陈大力
责任印制 毛斯璐

封面设计 张申申

版式设计 张申申

出版发行 高等教育出版社

社址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印刷 北京中科印刷有限公司

开本 787×1092 1/16

印张 14.5

字数 350 000

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landaco.com>

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

版次 2010年7月第1版

印次 2015年4月第24次印刷

定价 28.90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

物料号 26925-B0

前 言

本书是中等职业教育课程改革国家规划新教材，经中等职业教育教材审定委员会审定通过。本书是依据教育部2009年颁布的“中等职业学校机械基础教学大纲”，并参照相关的最新国家职业技能标准和行业职业技能鉴定规范中的有关要求编写而成的。本书是中等职业学校机械基础课程(多学时)教材，编写过程中贯彻“以服务为宗旨、以就业为导向”的职教理念，吸收企业技术人员参与教材编写，紧密结合工作岗位；选取的案例贴近生活、贴近生产实际；将创新理念贯彻到内容选取、教材体例等方面。

本书可供中等职业学校加工制造类等7个专业大类46个专业(170余个工种)的机械基础课程教学使用。

本书坚持新大纲对“课程教学目标”的定位，在编写时努力贯彻教学改革的有关精神，严格依据新教学大纲的要求，努力体现以下特色：

1. 综合化与模块化兼顾，突出应用性和实践性

本书在编写时按教学大纲要求，加大基础内容综合力度，对于选学内容采取模块结构。教材内容的取舍，体现以生产实际为依据，突出应用性；以技能培养为主线，突出实践性，渗透“产业、行业、企业、职业、实践”5个要素，突出职业教育特点。

2. 工作过程与认识过程兼顾，突出科学性和适用性

为了达到“做中学、做中教”，教材力争反映工作过程的规律；为了起到循序渐进、举一反三的效果，同时遵循认识过程的规律。在机械传动章节中，从运行应用的角度分析传动及传动零件的技术参数，按照工作过程形成“安装、运行、润滑、维护”主线。这样既有利于理论联系实际，又有助于学生对某些抽象而枯燥的技术参数的理解和认识。本书充分体现新技术、新材料、新标准、新规范、新产品。

3. 主教材与配套资源兼顾，突出连续性和灵活性

主教材与配套教学资源统筹规划，在主教材出版后，以编写团队为主创，配套提供丰富的教学资源，包括《机械基础练习册》(多学时,附题库光盘)和《机械基础教学指导》(附光盘)，并提供了包括网络课程、电子教案、多媒体课件、多媒体素材库、习题库等网上教学资源。从而达到延伸课程教学时间、拓展课堂教学空间、自我检测和评价学习效果的作用，使机械基础课程的教学更加生动、活泼，更为连续、灵活。

4. 专业能力、方法能力、社会能力兼顾，突出职业道德教育和职业技能培养

本书在专业能力目标方面，培养学生掌握常用机构和机械传动的工作原理、结构和特点及选用的方法；了解机械零件精度的国家标准；能够分析和处理一般机械运转中存在的问题，具有维护一般机械的能力。在方法能力目标方面，注重学生获取、处理、表达技术信息，执行国家标准，使用技术资料的能力训练。本书开辟机械的节能环保与安全防护一章，以利于在教学中贯彻执行国家的经济政策，培养公民的社会公德和职业道德意识。

本书除绪论外共 10 章,按照教学大纲的要求建议安排 100 学时进行教学。书中加“*”部分与教学大纲要求相对应,各学校可根据实际情况选择教学。各部分学时分配建议见下表:

| 模 块 | 教 学 单 元 | 建议学时数 |
|------|------------------|--------|
| 基础模块 | 绪论 | 4 学时 |
| | 第二章 杆件的静力分析 | 8 学时 |
| | 第三章 直杆的基本变形 | 12 学时 |
| | 第四章 工程材料 | 8 学时 |
| | 第五章 连接 | 8 学时 |
| | 第六章 常用机构 | 10 学时 |
| | 第七章 机械传动 | 18 学时 |
| | 第八章 支承零部件 | 8 学时 |
| | 第九章 机械的节能环保与安全防护 | 4 学时 |
| 选学模块 | 第一章 机械零件的精度 | 10 学时 |
| | 第十章 气压传动与液压传动 | 10 学时 |
| 合 计 | | 100 学时 |

本书附学习卡/防伪标,利用本书封底所附学习卡账号,按照本书最后一页“郑重说明”下方使用说明,登录网站“<http://sve.hep.com.cn>”,可上网学习,获得相关资源。

本书由栾学钢,赵玉奇,陈少斌担任主编,参加编写工作的有车世明,段全续,顾淑群,胡学兰,李同军,苏薇,吴联兴,武燕,张雪梅,张志林等。

教育部聘请华南理工大学宋小春和武汉职业技术学院黄诚驹审阅了本书;高等教育出版社聘请徐州建筑职业技术学院张天熙审阅了本书。他们对本书提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢!

由于编写时间及编者水平有限,书中难免错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。读者意见反馈邮箱:zz_dzyj@pub.hep.cn。

编 者
2010 年 6 月

目 录

| | | | |
|------------------------------|----|-----------------------|-----|
| 绪论 | 1 | 疲劳强度 | 73 |
| 第一节 机械的组成 | 1 | 本章小结 | 74 |
| 第二节 机械零件的材料、结构和承载能力 | 3 | 思考题 | 75 |
| 第三节 机械零件的摩擦、磨损和润滑 | 8 | 第四章 工程材料 | 76 |
| 第四节 本课程的学习任务和要求 | 11 | 第一节 金属材料的性能 | 76 |
| 本章小结 | 12 | 第二节 黑色金属材料 | 77 |
| 第一章 机械零件的精度 | 13 | * 第三节 铁碳合金状态图分析 | 84 |
| 第一节 极限与配合 | 13 | * 第四节 钢的热处理 | 87 |
| 第二节 几何精度 | 27 | * 第五节 有色金属材料 | 89 |
| 本章小结 | 31 | 第六节 非金属材料 | 92 |
| 思考题 | 32 | 第七节 材料选择及运用 | 95 |
| 第二章 杆件的静力分析 | 33 | 本章小结 | 97 |
| 第一节 力的概念与基本性质 | 33 | 思考题 | 98 |
| 第二节 力矩、力偶与力的平移 | 36 | 第五章 连接 | 99 |
| 第三节 约束、约束反力、力系和受力图的应用 | 40 | 第一节 键连接与销连接 | 99 |
| * 第四节 平面力系的平衡方程及应用 | 44 | 第二节 螺纹连接 | 104 |
| 本章小结 | 50 | * 第三节 弹性连接 | 111 |
| 思考题 | 50 | 第四节 联轴器与离合器 | 112 |
| 第三章 直杆的基本变形 | 51 | 本章小结 | 116 |
| 第一节 直杆轴向拉伸与压缩时的变形与应力分析 | 52 | 思考题 | 116 |
| 第二节 拉伸与压缩时材料的力学性能 | 54 | 第六章 常用机构 | 117 |
| * 第三节 直杆轴向拉伸与压缩时的强度计算 | 58 | 第一节 构件、运动副与平面机构 | 117 |
| 第四节 连接件的剪切与挤压 | 61 | 第二节 平面四杆机构 | 121 |
| 第五节 圆轴的扭转 | 63 | 第三节 凸轮机构 | 127 |
| * 第六节 直梁的弯曲及组合变形 | 66 | * 第四节 间歇运动机构 | 133 |
| * 第七节 压杆稳定、交变应力与 | | 本章小结 | 138 |
| | | 思考题 | 138 |
| | | 第七章 机械传动 | 139 |
| | | 第一节 带传动 | 139 |
| | | 第二节 链传动 | 144 |
| | | 第三节 齿轮传动 | 148 |
| | | 第四节 蜗杆传动 | 161 |
| | | 第五节 齿轮系与减速器 | 167 |

| | | | |
|-------------------------------|------------|----------------------------|------------|
| 本章小结 | 173 | 第三节 机械环保与安全防护常识 | 193 |
| 思考题 | 173 | 本章小结 | 195 |
| 第八章 支承零部件 | 175 | 思考题 | 195 |
| 第一节 轴 | 175 | 第十章 气压传动与液压传动 | 196 |
| 第二节 滑动轴承 | 179 | 第一节 气压传动与液压传动的 | |
| 第三节 滚动轴承 | 182 | 基本常识 | 196 |
| 本章小结 | 185 | 第二节 气压传动的应用 | 201 |
| 思考题 | 185 | 第三节 液压传动的应用 | 207 |
| 第九章 机械的节能环保与安全防护 | 186 | 本章小结 | 220 |
| 第一节 机械润滑常识 | 186 | 思考题 | 220 |
| 第二节 机械密封常识 | 191 | 参考文献 | 221 |

绪 论

机器是人们根据使用要求而设计的一种执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息，以代替或减轻人们的体力劳动和脑力劳动。

第一节 机械的组成

机械是机器和机构的总称。

一、机器的组成

如图 0-1 所示的冲压机，在电动机的驱动下，小带轮依靠摩擦力带动 V 带，使大带轮和小齿轮转动。当离合器处于接合状态、制动器处于非制动状态时，小齿轮与大齿轮相啮合，大齿轮带动曲轴旋转。曲轴的转动通过连杆使滑块、凸模向下运动，与机架上的凹模共同对坯料进行冲压加工。完成冲压后滑块上行到最高点位置，离合器处于分离状态，大齿轮与曲轴脱离连接，制动器处于制动状态，使滑块停止在最上位，完成了一次工作循环，等待执行下一次工作。

冲压机的载荷是间断性的，即在一个工作循环内冲压工作的时间很短，但最大功率比平均功率大十几倍以上，因此常在机器中安装飞轮，这里用大带轮兼作飞轮。电动机起动后，飞轮运转至额定转速，储存动能。当凸模接触坯料开始冲压时，飞轮释放出积蓄的动能完成冲压工件。

对冲压机的操作是通过控制离合器和制动器来实现的。离合器与制动器之间设有机械或电气连锁，确保离合器接合前制动器一定处于非制动状态，制动器制动前离合器一定处于分离状态。

此外，冲压机还设有润滑、照明、过载保护和人身保护等装置。

冲压机由电动机供给机械能，它是机器的动力来源，称为动力部分。凸模和凹模对坯料进行冲压，直接完成工作任务，称为执行部分。V 带及带轮、齿轮、曲轴、连杆及滑块等，是把动力部分的运动和动力传递给执行部分的中间装置，称为传动部分。有些机器的动力部分可以直接

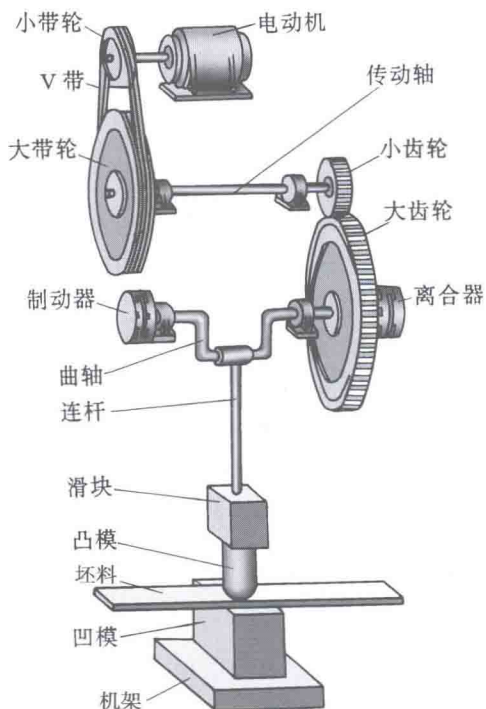


图 0-1 冲压机的传动结构图

驱动执行部分工作。离合器、制动器、电动机开关等，能够使机器的动力部分、传动部分和执行部分，按一定的顺序和规律实现运动，完成给定的工作循环，称为控制部分。冲压机就其主体来说，包含上述四个部分。

根据对其他机器的分析，也可以得到相同的结论，即机器主要由动力部分、传动部分、执行部分和控制部分组成。这4个部分之间的关系，如图0-2所示。

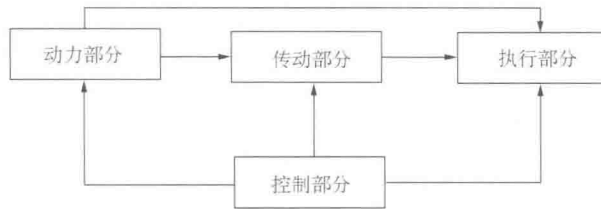


图0-2 机器的组成

二、机器的结构

构成机器的不可拆的制造单元，称为零件。在各种机器中普遍使用的零件，称为通用零件，如螺栓、轴、齿轮、弹簧等；只在某些机器中使用的零件，称为专用零件，如冲压机中的曲轴、连杆、滑块等。

在机器中，由若干零件装配在一起构成的具有独立功能的部分，称为部件，如轴承、联轴器、离合器、减速器等。为简便起见，一般用“零件”一词泛指零件和部件。

构成机器的各个相对运动单元，称为构件。构件一般由若干个零件刚性连接而成，也可能是单一的零件。

为把机器动力部分所输出的运动(多数为转动)，变换成机器执行部分所需要的运动规律和方式，有必要单独讨论机器传动部分的结构和特性，于是引入了机构的概念。机构是用来传递运动和力的构件系统。

复杂的机器由多种机构构成，而简单的机器可能只含有一种机构。冲压机的传动部分由V带及带轮组成的带传动机构、小齿轮和大齿轮组成的齿轮传动机构、曲轴和连杆及滑块组成的曲柄滑块机构等构成，将电动机的等速转动变换成凸模的直线冲压运动。

由机器的结构可见，机构的性能和零件的质量决定着机器的完善程度。无论是制造还是使用机器，都必须将机构和零件作为基础来学习。如果只从结构和运动的角度去分析，机构与机器之间并无区别，因此将机构和机器总称为机械。

三、机械的类型

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

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、液泵、压缩机等都属于动力机械。

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、压力机、织布机、轧钢机、包装机等都是加工机械。

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

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、数码相机、数码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。

第二节 机械零件的材料、结构和承载能力

一、零件的常用材料及选用

1. 常用材料

(1) **钢** 碳质量分数在 0.02%~2.11% 以内的铁碳合金称为钢。钢具有较高的强度、韧性和塑性;钢制零件可以采用铸造、锻造、焊接、冲压、切削等方法加工成形,还可以通过热处理方法改善性能。钢的品种繁多,是应用最广泛的金属材料。

碳素钢中,碳质量分数 $\leq 0.25\%$ 的低碳钢可制作铆钉、螺钉、连杆、渗碳零件等;碳质量分数在 0.25%~0.60% 的中碳钢可制作齿轮、轴、蜗杆、丝杠、连接件等;碳质量分数 $> 0.60\%$ 的高碳钢可制作弹簧、工具、模具等。

合金钢中,合金结构钢用于制造各类机械零件,有普通低合金钢、易切削钢、调质钢、渗碳钢、弹簧钢、滚动轴承钢等;合金工具钢用于制造刀具、模具、量具等工具;特殊性能钢如不锈钢、耐热钢、耐磨钢等,用于特殊工况。

铸钢用于铸造要求较高的复杂形状的零件,如机座、箱壳、大齿轮等。

(2) **铸铁** 碳质量分数在 2.11% 以上的铁碳合金称为铸铁。铸铁具有优良的铸造性、减摩性、切削加工性,但强度、塑性和韧性较差,不能进行锻造。

低牌号的**灰铸铁**(HT100、HT150)可制造盖、座、床身等零件;高牌号的灰铸铁(HT200~HT350)可制造承受中等静载荷的零件,如联轴器、带轮、飞轮、机体等。

可锻铸铁和**球墨铸铁**可制造要求强度和耐磨性较高的零件,如曲轴、凸轮轴、管接头、轴套等,特殊性能铸铁用于耐热、耐蚀、耐磨等场合。

(3) **铜合金** 铜合金的优点是减摩性和耐腐蚀性能好,机械零件中常用铸造铜合金制作轴瓦、阀体、管接头等耐蚀零件及蜗轮、轴瓦、螺母等耐磨零件。

(4) **铸造锡基和铅基轴承合金** 主要含锡、铅、锑等成分,其优点是减摩性、抗烧蚀性、磨合性、耐蚀性、韧性和导热性均良好,用于制作滑动轴承的减摩层。

(5) **工程塑料** 分热塑性塑料(如聚乙烯、有机玻璃、尼龙等)和热固性塑料(如酚醛塑料、氨基塑料等)。用于制作一般结构零件、减摩和耐磨零件、传动件、耐腐蚀件、绝缘件、密封件、透明件等。

(6) **橡胶** 有普通橡胶和特种橡胶,用于制作密封件、减振件、传动带、输送带、轮胎、

胶辊等。

2. 材料的选用原则

选择材料时主要考虑使用要求、工艺要求和经济性。

(1) 使用要求 使用要求包括零件的工作和受载的情况，对零件尺寸和质量的限制，零件的重要程度等。工作情况指零件所处的环境，如介质、温度及摩擦性质。受载情况指载荷大小和应力种类。如果零件尺寸取决于强度，且尺寸和质量又有所限制时，则应选用强度较高的材料；如果零件尺寸取决于刚度，则应选用弹性模量较大的材料；如果零件的接触应力比较高，如齿轮和滚动轴承，则应选用可进行表面强化处理的材料；如果零件表面相对滑动性能要求较高，则应选用减摩性和耐磨性好的材料；在高温下工作的零件，应选用耐热材料；在腐蚀介质中工作的零件，应选用耐腐蚀的材料等。

(2) 工艺要求 工艺要求包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。结构复杂的箱体类零件，宜采用铸造毛坯；重要的轴类和盘类零件，宜采用锻造毛坯；需要进行热处理的零件，宜采用合金钢；需要进行焊接的零件，宜采用低碳钢等。

(3) 经济性 经济性首先表现为材料的相对价格，还与生产批量、供应条件等有关。当单件或小批生产时，尽可能不采用铸造和模锻等工艺，推荐焊接结构，尽量利用库存材料或采用代用材料；对零件的不同部位要求有所区别时，可以用普通材料并对局部进行强化处理，还可采用不同材料的组合式结构，如蜗轮齿圈采用青铜而轮芯采用铸铁，铸造锡基和铅基轴承合金只用作滑动轴承中双金属轴瓦的减摩层等；质量不大的零件要重视加工工艺，因为加工费用可能大于材料费用；尽量减少同一机械中所用材料的品种；尽可能少用价格较高的有色金属和稀有金属，多用碳钢和铸铁等。

二、零件的结构工艺性

机械零件应当加工方便、节省材料、节约工时、提高工效、降低成本、保证质量、满足结构工艺要求。影响机械零件结构工艺性的因素很多，涉及材料选择、毛坯准备、机械加工、装配维修等各方面。如铸造零件要考虑木模从砂型中顺利取出，要有起模斜度，铸造材料的厚度至少不能低于 8 mm，否则会出现铸造空洞；锻造零件要留有足够的加工余量，内孔太小时不留冲孔，只能在加工时钻孔；毛坯的长度要留出足够的尺寸余量，如果齿轮直径大于 500 mm，则不能用锻造的方法，只能采取铸造的方法获得；机械加工时要留出相应的中心孔、退刀槽、越程槽；热处理时要考虑热变形，等等。

三、机械零件的标准化、系列化和通用化

机械零部件的标准化，是指将产品的形式、材料、尺寸、参数、性能等用“标准”予以统一规定并实施；系列化是指对同一种零部件，在相同的基本结构和基本尺寸条件下，规定若干个辅助尺寸不同的规格；通用化是指在不同规格的同类产品甚至不同类型的产品上采用同样的零部件。

螺纹连接件、键连接件、V带、滚子链、滚动轴承、联轴器、减速器等已高度标准化而成为标准零部件，并有相应的尺寸系列；带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动当中也有许多标准规定；有的零件则仅在参数方面实行了标准化和系列化，例如齿轮的模数、蜗杆的分度圆直

径、轴径等。

实行机械零部件的标准化、系列化和通用化，有利于减少零部件的品种和规格，便于组织大规模生产，保证质量，降低成本；有利于减少设计和制造的工作量，缩短生产周期；有利于增大互换性，减少维修工时；对于规定了标准参数的零件，有利于减少刀具和量具的规格。因此，应按照《中华人民共和国标准化法》的规定，实行标准化、系列化和通用化。

四、零件的强度

机械零件丧失工作能力或达不到要求的性能时，称为失效。机械零件的失效形式主要有：因强度不足而断裂，过大的弹性变形或塑性变形，摩擦表面的过度磨损、打滑或过热，连接松动，压力容器、管道等的泄漏，运动精度达不到要求等。

零件不发生失效时的安全工作限度称为工作能力。对载荷而言的工作能力称为承载能力。强度是反映机械零件承受载荷时抵抗破坏能力的重要指标。

1. 载荷

机械工作时，机械零件所受的载荷是力（拉力、压力、切向力）或力矩（弯矩、转矩），或者是由力和力矩组成的联合载荷。载荷大小或方向不随时间变化或变化缓慢的，称为静载荷；载荷大小或方向随时间变化的，称为动载荷。

根据动力机的额定功率 P (kW) 和额定转速 n (r/min) 计算出的载荷称为名义载荷，如力 F 、转矩 T 等。

名义转矩为

$$T = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n} \eta i \quad (0-1)$$

式中 T ——转矩， $\text{N} \cdot \text{mm}$ ；

i ——从动力机到所计算零件之间的总传动比；

η ——从动力机到所计算零件之间传动的总效率。

在机械工作中，零件实际上还要承受动载、偏载、冲击载荷等附加载荷，一般用载荷系数 K 来考虑这些因素的影响，载荷系数 K 与名义载荷的乘积称为计算载荷，以 T_c 、 F_c 等表示。

计算转矩为

$$T_c = KT \quad (0-2)$$

式中 K ——载荷系数，一般取 $K \geq 1$ 。

2. 应力

零件受载后产生应力 σ 。大小或方向不随时间变化或变化缓慢的应力称为静应力，如图 0-3a 所示；大小或方向随时间变化的应力，称为变应力。由工程力学可知，具有周期性的变应力称为循环应力，它又可分为脉动循环变应力（图 0-3d）、对称循环变应力（图 0-3c）和非对称循环变应力（图 0-3b）。

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。

变应力的大小和变化性质由最大应力 σ_{\max} 、最小应力 σ_{\min} 、平均应力 $\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$ 、应力幅 $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$ 和循环特性 $r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ 等 5 个参数中的任意两个来确定。

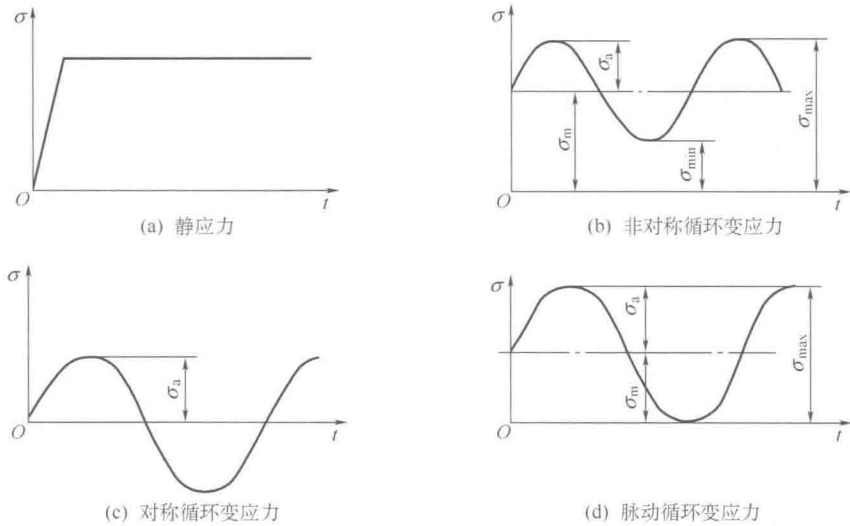


图 0-3 应力的类型

3. 零件的强度

根据工作条件的不同,机械零件的强度可分为**静强度**和**疲劳强度**;根据破坏部位和破坏形式的不同,机械零件的强度可分为**体积强度**和**表面强度**。

(1) 机械零件的体积强度

在载荷作用下,如果应力是在零件较大的体积内产生,在这种应力状态下的零件强度称为**体积强度**,通常简称为**强度**。

① 静应力下零件的强度 在静应力作用下的零件,其主要失效形式是塑性变形或断裂,因此零件的强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau]$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S} \quad \text{或} \quad [\tau] = \frac{\tau_s}{S} \quad (\text{塑性材料}) \quad (0-3)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{S} \quad \text{或} \quad [\tau] = \frac{\tau_b}{S} \quad (\text{脆性材料}) \quad (0-4)$$

式中 σ 或 τ ——零件的最大工作应力, MPa;

$[\sigma]$ 或 $[\tau]$ ——许用应力, MPa;

σ_s 或 τ_s ——材料的屈服点, MPa;

σ_b 或 τ_b ——材料的抗拉强度极限, MPa;

S ——安全系数。

② 变应力下零件的强度 在变应力作用下的零件,其失效形式是疲劳断裂,因此零件的强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma_r] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau_r] \quad (0-5)$$

式中 σ 或 τ ——零件的最大工作应力, MPa;

$[\sigma_r]$ 或 $[\tau_r]$ ——零件在循环特性 r 下的许用应力, MPa。

(2) 机械零件的表面强度

在载荷作用下，如果应力是在零件较浅的表层内产生，在这种应力状态下的零件强度称为表面强度。

① 表面接触强度 对于初始点接触或线接触的高副零件表面(如齿轮副、凸轮副及滚动轴承等)，在载荷作用下将产生弹性变形，接触面表层将出现很大的局部应力，称为**接触应力**，如图 0-4 所示。两个零件上的接触应力具有大小相等、方向相反、对称分布及稍离接触区中线即迅速降低等特点，其最大值用 σ_H 表示。接触应力一般是变应力，在 σ_H 超过许用值的情况下，接触表面首先产生细微疲劳裂纹。润滑充分时，润滑油进入裂纹内形成高压油，促使裂纹随循环次数增加而逐步扩展，致使该表层的金属呈小片状剥落下来，形成麻点状小坑，造成疲劳点蚀失效。因此，零件的接触强度条件为

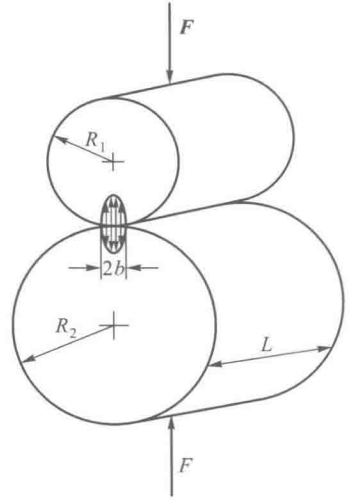


图 0-4 接触应力

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} \quad (0-6)$$

式中 σ_H ——零件的最大接触应力，MPa；

$[\sigma_H]$ ——零件的许用接触应力，MPa；

σ_{Hlim} ——零件材料的接触疲劳极限，MPa；

S_H ——接触强度安全系数。

② 表面挤压强度 以面接触而无相对运动的零件(如铰制孔用螺栓连接件)，在载荷作用下，接触表面将产生**挤压应力**。如果挤压应力 σ_p 超过许用值，对于塑性材料将产生表面塑性变形；对于脆性材料将产生表面压溃。因此，零件的挤压强度条件为

$$\sigma_p \leq [\sigma_p] \quad (0-7)$$

式中 σ_p ——零件的最大挤压应力，MPa；

$[\sigma_p]$ ——许用挤压应力，MPa。

③ 表面磨损强度 以面接触而作相对运动的零件(如滑动轴承)，在载荷作用下，接触表面因摩擦而产生磨损，若磨损量超过许用值，零件即告失效。因此，零件的磨损强度条件为

$$\text{滑动速度低、载荷大时} \quad p \leq [p] \quad (0-8)$$

$$\text{滑动速度较高时} \quad pv \leq [pv] \quad (0-9)$$

$$\text{高速时} \quad v \leq [v] \quad (0-10)$$

式中 p ——零件接触面的压强，MPa；

$[p]$ ——许用压强，MPa；

v ——零件相对滑动速度，m/s；

$[pv]$ ——许用 pv 值，MPa·m/s；

$[v]$ ——许用速度，m/s。

第三节 机械零件的摩擦、磨损和润滑

摩擦是两相互接触的物体有相对运动或相对运动趋势时，在接触处产生阻力的现象。机械运动中普遍存在摩擦现象。摩擦会带来能量损耗，使相对运动表面发热，机械效率降低，还会引起振动和噪声等；而在螺纹连接、摩擦传动和制动以及各种车辆的驱动能力等方面还必须依赖摩擦。

磨损是摩擦体接触表面的材料在相对运动中由于机械作用，或伴有化学作用而产生的不断损耗的现象。磨损会降低机械运动的精度和可靠性，是机械零件报废的主要原因；而对机械零件进行磨削、研磨和抛光等降低表面粗糙度值的精加工，以及对刀具的刃磨等也利用了磨损的原理。

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。良好的润滑能显著提高机械的使用性能和寿命并减少能量消耗。

一、机械中的摩擦

机械中常见的摩擦有两大类：一类是发生在物质内部，阻碍分子间相对运动的**内摩擦**；另一类是在物体接触表面上产生的阻碍其相对运动的**外摩擦**。相互摩擦的两个物体称为摩擦副。对于外摩擦，根据摩擦副的运动状态可分为**静摩擦**和**动摩擦**；根据摩擦副的运动形式，可分为**滑动摩擦**和**滚动摩擦**；根据摩擦副的表面润滑状态，又可分为**干摩擦**、**边界摩擦**、**液体摩擦**和**混合摩擦**，如图 0-5 所示。

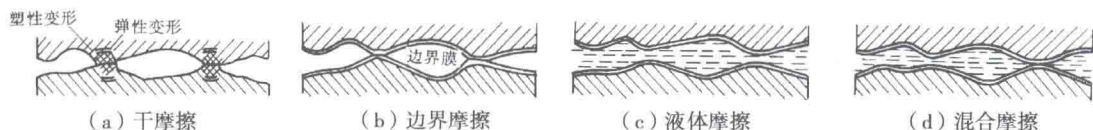


图 0-5 摩擦状态

1. 干摩擦

摩擦面不加润滑剂时的摩擦称为**干摩擦**，如图 0-5a 所示。干摩擦时，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

在摩擦副间施加润滑剂后，使摩擦副的表面吸附一层极薄的润滑剂膜，这种摩擦状态称为**边界摩擦**，如图 0-5b 所示。边界摩擦的润滑剂膜强度低，容易破裂，致使摩擦副部分表面直接接触，从而产生磨损，但摩擦和磨损状况优于干摩擦。

3. 液体摩擦

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润滑膜完全隔开时的摩擦，称为**液体摩擦**，如图 0-5c 所示。液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。

4. 混合摩擦

兼有干摩擦、边界摩擦和液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 0-5d 所示。混合摩擦中摩擦表面仍有少量直接接触，大部分处于液体摩擦，故摩擦和磨损状况优于边界摩擦，但比液体摩擦差。

边界摩擦、液体摩擦和混合摩擦都是在施加润滑剂的条件下呈现的，故相应地又称之为边界润滑、液体润滑和混合润滑。另外，这三种摩擦状态的实现与载荷、速度、润滑剂的粘度等工作参数有关。随着工作参数的改变，这三种摩擦状态可以相互转化。

二、机械中的磨损

磨损一般来源于摩擦，但在具体工作条件下影响磨损的因素很多。一般地说，磨损随着载荷和工作时间的增加而增加，软的材料比硬的材料磨损严重。

1. 磨损的类型

按磨损的损伤机理和破坏特点，可将磨损的类型分为四种：

(1) **粘着磨损** 两相对运动的表面，由于粘着作用，使材料由一表面转移到另一表面所引起的磨损。粘着磨损可表现为轻微磨损、涂抹、划伤、咬粘等破坏形式，如活塞与气缸壁的磨损。

(2) **磨粒磨损** 在摩擦过程中，由硬颗粒或硬凸起材料破坏分离出磨屑或形成划伤的磨损。磨粒磨损中磨粒对摩擦表面进行微观切削，表面有犁沟或划痕，如犁铧和挖掘机铲齿的磨损。

(3) **表面疲劳磨损** 摩擦表面材料的微观体积受循环应力作用，产生重复变形而导致表面疲劳裂纹形成，并分离出微片或颗粒的磨损。表面疲劳磨损的破坏特点是在摩擦表面出现“麻坑”，故又称之为“点蚀”。润滑良好的齿轮传动和滚动轴承，都可能产生点蚀。

(4) **腐蚀磨损** 在摩擦过程中金属与周围介质发生化学或电化学反应而引起的磨损。腐蚀磨损表现为表面腐蚀破坏，如化工设备中与腐蚀介质接触的零部件的腐蚀磨损。

2. 磨损过程

除了液体摩擦状态外，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，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、每一转、每一次摆动）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磨损、稳定磨损和剧烈磨损三个阶段，如图 0-6 所示。

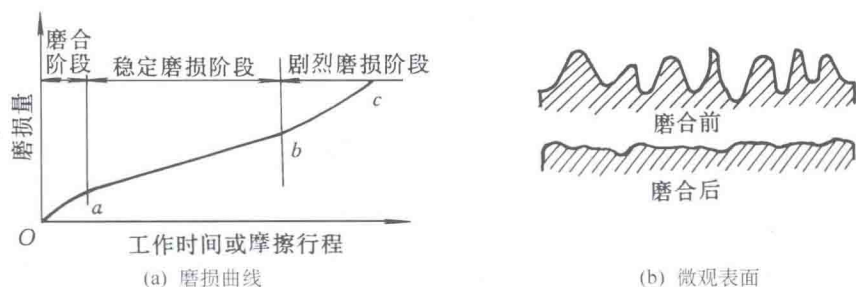


图 0-6 磨损曲线与微观表面

(1) **磨合阶段** (图 0-6a 中 Oa 段) 新的摩擦副的表面粗糙度值较大，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，摩擦副表面的粗糙度值变小

(图 0-6b), 实际接触面积增大, 磨损率降低, 为进入稳定磨损创造了条件。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, 清洗减速器并换用新润滑油, 才可交付正式使用。

(2) **稳定磨损阶段**(图 0-6a 中 *ab* 段) 经磨合后的摩擦副表面粗糙度值降低, 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。

(3) **剧烈磨损阶段**(图 0-6a 中 *bc* 段) 经过稳定磨损阶段的累积, 零件丧失表面精度, 在剧烈磨损阶段磨损率急剧增高, 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。

三、机械中的润滑

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, 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, 结构上有利散热和磨屑排出等, 可以减轻磨损。将滑动摩擦改为滚动摩擦, 其减小摩擦和减轻磨损的效果显著。正确的使用和维护对于减少磨损十分重要, 新机械使用之前由轻至重、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, 都是不可忽视的。

如上所述, 润滑是减小摩擦、减少磨损的有效措施之一。通过润滑, 还可以达到降低温升、防止锈蚀、缓和冲击、减小振动、清除磨屑或形成密封等目的。

为避免干摩擦, 摩擦副至少应保证处于边界润滑或混合润滑状态, 实现流体润滑是最佳状态。摩擦副供给润滑剂后, 随运动参数、动力参数、几何尺寸、工况条件、接触状况、润滑剂性能指标等的不同, 将呈现流体润滑、弹性流体动力润滑、边界润滑和混合润滑 4 种润滑状态。

1. 流体润滑

“面接触”的两摩擦表面被一层有足够厚度、足够压力的连续油膜完全隔开的状态, 称为流体润滑。如果油的压力由油泵提供, 称为**流体静力润滑**; 如果油的压力是在满足若干条件下由润滑油自身内部产生, 称为**流体动力润滑**。

(1) **流体静力润滑** 如图 0-7 所示, 油泵 6 将润滑油加压, 通过节流阀 5 送入油腔 3, 润滑油再通过运动面 2 与另一摩擦面构成的间隙流出, 并降至环境压力。这样摩擦面间强迫产生具有压力的油膜, 将两表面分开并承受一定的载荷。流体静力润滑的建立与运动件 1 和承导件 4 的相对速度无关, 仅取决于润滑油的压力和结构尺寸。其摩擦因数小, 承载能力强, 但需专门的供油装置, 成本高, 用于重要的润滑场合。

(2) **流体动力润滑** 如图 0-8 所示, 移动件 *AB* 与静止件 *CD* 相互倾斜, 形成楔形, 两件之间充满润滑油。当 *AB* 以速度 v 自右向左移动时, 它将带动润滑油从楔形大口流向小口。由于油的吸附作用, 紧贴 *AB* 的油层流速接近 v , 而紧

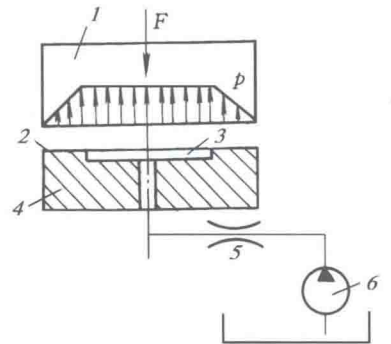


图 0-7 流体静力润滑系统示意图