

《《《 高等学校适用教材

JIXIE SHEJI JICHU

# 机械设计基础

● 程军红 杨保国 主编

陕西出版集团  
陕西科学技术出版社

## 内容提要

本书是根据高等学校“机械设计基础课程基本要求”的精神编写的。在满足有关专业对本课程要求的前提下,删繁就简,突出重点,以适应当前教学改革的需要。

全书共分十二章,包括机械设计概论、常用机构、连接零件、传动零件和部件、轴和轴承、联轴器等。各章配有适量的例题,每章内容后都有复习思考题和自测题及习题,便于学生巩固所学内容。另外,附录中给出了必要的资料。

本书主要作为高等工科院校非机械类各专业“机械设计基础”课程的教材。也可供有关课程的读者和工程技术人员参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/程军红,杨保国主编. —西安:陕西科学技术出版社,2009.6

ISBN 978-7-5369-4618-7

I. 机… II. ①程…②杨… III. 机械设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 071664 号

---

---

出版者 陕西出版集团 陕西科学技术出版社  
西安北大街 131 号 邮编 710003  
电话(029)87211894 传真(029)87218236  
<http://www.snstp.com>

发行者 陕西出版集团 陕西科学技术出版社  
电话(029)87212206 87260001

印刷 郑州金辉印刷有限公司  
规格 787mm×1092mm 16 开本  
印张 14.25  
字数 335 千字  
版次 2009 年 6 月第 1 版  
2009 年 6 月第 1 次印刷  
定价 28.00 元

---

版权所有 翻印必究

## 前 言

本书是根据高等学校“机械设计基础课程基本要求”，结合作者多年的教学经验和非机械类各专业发展的需要，并吸取近年来国内外同类教材的优点精心编写的。

本书在内容上，满足有关专业对本课程的要求，贯彻少而精的原则，注重基本理论、基本知识、基本技能的训练和创新思维设计能力的培养。在编写中，力求重点突出、繁简得当、语言精炼。为满足当前教学改革的需要，在精减内容、压缩学时的前提下，使非机械类各有关专业有一个完整、系统的机械知识结构，本书在体系上，从机械的总体设计出发，在阐述各种常用机构和通用零部件的设计后，各章首先指出了重点学习内容，针对重点学习内容，按照由浅入深、边讲边练、循序渐进的原则编写教材，便于组织教学。

参加本书编写的有：程军红(第七、十一章)，杨保国(第二、八章)，梅瑛(第四、九章)，李春广(第五、十、十二章)，梁睦(第六章、附录)，刘远韬(第一、三章)。

全书由程军红、杨保国担任主编，梅瑛、李春广担任副主编，由王新杰教授细心审阅了全书，并提出了许多宝贵意见，在此谨致以衷心的感谢，并对所有曾经给予本书的编写和出版以关心和支持的人们表示由衷的感谢。鉴于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，殷切希望广大读者批评指正。

编者

2009年3月

# 目 录

<b>第一章 绪 论</b> .....	1
第一节 机器的组成和机械设计基础研究的内容 .....	1
第二节 机械零件的常用材料 .....	3
第三节 机械零件的工作能力和计算准则 .....	5
复习自测题 .....	9
<b>第二章 平面机构的运动简图及其自由度</b> .....	10
第一节 平面机构的运动简图 .....	10
第二节 平面机构的自由度 .....	15
复习自测题 .....	18
习题 .....	18
<b>第三章 平面连杆机构</b> .....	20
第一节 平面四杆机构的基本类型及其应用 .....	20
第二节 平面四杆机构的基本特性 .....	27
第三节 平面四杆机构的设计 .....	30
复习自测题 .....	36
习题 .....	36
<b>第四章 凸轮机构</b> .....	39
第一节 凸轮机构的应用和类型 .....	39
第二节 从动件的常用运动规律 .....	40
第三节 凸轮机构的压力角 .....	43
第四节 图解法设计凸轮轮廓 .....	44
第五节 解析法设计凸轮轮廓 .....	49
复习自测题 .....	50
习题 .....	51
<b>第五章 间歇运动机构</b> .....	52
第一节 棘轮机构 .....	52
第二节 槽轮机构 .....	54
第三节 不完全齿轮机构 .....	56
第四节 凸轮间歇运动机构 .....	56
复习自测题 .....	57
习题 .....	57
<b>第六章 联 接</b> .....	58
第一节 螺纹参数 .....	58

第二节	螺旋副的受力分析、效率和自锁 .....	59
第三节	机械制造常用螺纹 .....	62
第四节	螺纹联接的基本类型及螺纹紧固件 .....	65
第五节	螺纹联接的预紧和防松 .....	67
第六节	螺栓联接的强度计算 .....	69
第七节	螺栓的材料和许用应力 .....	72
第八节	提高螺栓联接强度的措施 .....	74
第九节	键联接和花键联接 .....	76
复习自测题	.....	81
习题	.....	81
<b>第七章</b>	<b>带传动和链传动</b> .....	<b>83</b>
第一节	带传动的类型和应用 .....	83
第二节	带传动的受力分析 .....	85
第三节	带的应力分析 .....	87
第四节	带传动的弹性滑动和传动比 .....	89
第五节	V带传动的计算 .....	90
第六节	V带轮的结构 .....	99
第七节	同步带传动简介 .....	101
第八节	链传动的特点和应用 .....	101
第九节	链条和链轮 .....	102
复习自测题	.....	105
习题	.....	106
<b>第八章</b>	<b>齿轮传动</b> .....	<b>107</b>
第一节	概述 .....	107
第二节	渐开线的形成及其性质 .....	108
第三节	渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称及尺寸 .....	109
第四节	渐开线齿轮传动及齿廓啮合特性 .....	112
第五节	渐开线齿轮正确啮合和连续传动的条件 .....	113
第六节	渐开线齿轮轮齿的切削加工 .....	116
第七节	轮齿的失效形式和齿轮材料 .....	118
第八节	直齿圆柱齿轮传动的强度计算 .....	120
第九节	斜齿圆柱齿轮传动 .....	126
第十节	直齿锥齿轮传动 .....	132
第十一节	齿轮的结构 .....	136
第十二节	蜗杆传动 .....	138
复习自测题	.....	143
习题	.....	144
<b>第九章</b>	<b>轮系</b> .....	<b>146</b>
第一节	轮系的类型 .....	146

第二节	定轴轮系及其传动比 .....	146
第三节	周转轮系及其传动比 .....	148
第四节	复合轮系及其传动比 .....	151
第五节	轮系的应用 .....	152
第六节	几种特殊的行星传动简介 .....	154
复习自测题	.....	158
习题	.....	158
<b>第十章</b>	<b>轴</b> .....	<b>162</b>
第一节	轴的功用和类型 .....	162
第二节	轴的材料 .....	163
第三节	轴的结构设计 .....	164
第四节	轴的强度计算 .....	166
第五节	轴的刚度计算 .....	170
第六节	轴的临界转速的概念 .....	172
复习自测题	.....	172
习题	.....	172
<b>第十一章</b>	<b>轴 承</b> .....	<b>174</b>
第一节	概述 .....	174
第二节	非液体摩擦滑动轴承的结构和材料 .....	174
第三节	滑动轴承的润滑 .....	177
第四节	非液体摩擦滑动轴承的设计计算 .....	179
第五节	液体摩擦滑动轴承简介 .....	181
第六节	滚动轴承的结构、类型和代号 .....	182
第七节	滚动轴承类型的选择 .....	185
第八节	滚动轴承的组合设计 .....	186
第九节	滚动轴承的失效形式和选择计算 .....	189
复习自测题	.....	195
习题	.....	195
<b>第十二章</b>	<b>联轴器和离合器</b> .....	<b>202</b>
第一节	常用联轴器 .....	202
第二节	联轴器的标记和选择 .....	206
第三节	离合器 .....	209
复习自测题	.....	211
习题	.....	211
附录 A	.....	215
附录 B	.....	216
参考文献	.....	220

# 第一章 绪 论

**基本要求:**明确本课程研究的对象和内容,了解机械、机器、机构、构件和零件等概念。理解机械零件设计的基本要求、机械零件的工作能力和计算准则、机械零件设计有关强度、刚度计算公式和材料选择的一般要求。

**重点:**介绍本课程研究的对象和内容,机械零件的工作能力和计算准则。

## 第一节 机器的组成和机械设计基础研究的内容

机器是人类经过长期生产实践创造出来的重要工具。利用机器进行生产可以减轻或代替人的体力劳动,能够大大提高劳动生产率和产品质量,便于对生产进行严格分工与科学管理,便于实现机械化和自动化生产。随着科学技术的发展,使用机器进行生产的水平已经成为衡量一个国家技术水平和现代化程度的重要标志之一。

### 一、机器的组成

如图 1-1 所示,颞式破碎机是由电动机 1 通过 V 带传动(包括带轮 2、4, V 带 3)把运动和动力传给偏心轴 5(结构见图 1-2),偏心轴转动带动动颞(板)6 在肘板 7 的支持下作平面运动,从而可使夹放在动颞板与定颞板 8 之间的石块被逐渐挤碎下落(图中碎石未画出)。

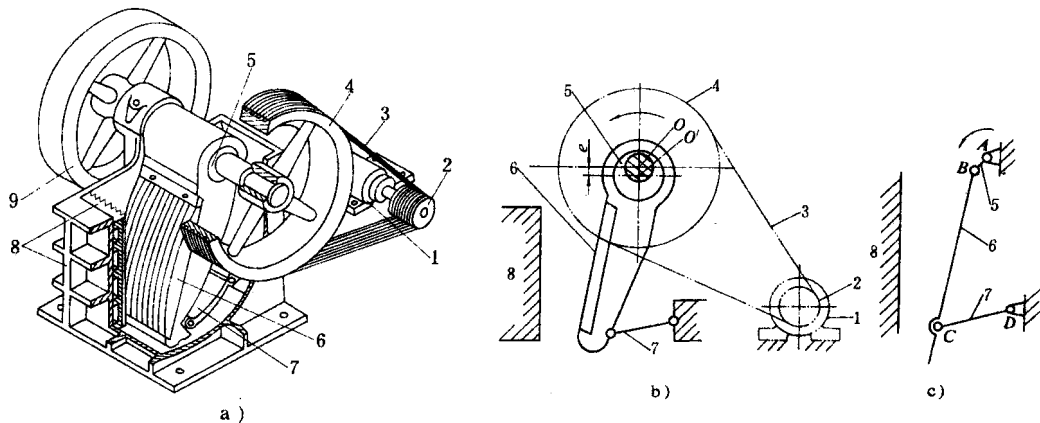


图 1-1 颞式破碎机

a) 立体图 b) 传动简图 c) 机构简图

1—电动机 2、4 带轮 3 V 带 5—偏心轴 6—动颞(板) 7—肘板 8 定颞板 9—飞轮

分析颞式破碎机的组成可知,机器中不可拆的基本单元体是制造单元,称为零件。零件有的是单一整体参加机器的运动,如图 1-1 中的带轮、偏心轴、肘板等;有的则是多个零件刚性联接后作为一个整体参加

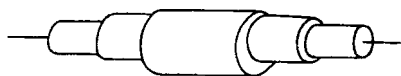


图 1-2 偏心轴

机器的运动,如图 1-3 所示的动颚就是动颚体 1 和动颚板 2 用压板 3 和螺钉 4 固定在一起的刚体,这样的结构便于选材料及热处理(动颚板的材料应有很高的耐磨性)、加工和安装。机器中能作相对运动的实体称为构件。显然,构件和零件的区别就在于:构件是运动的单元,而零件是制造的单元。

根据破碎机中构件间的相对运动关系画出碎石部分的机构简图,如图 1-1c 所示。由图可以看出,机构有两个特征:第一个特征是由多个构件组成;第二个特征是各构件间具有确定的相对运动。对机器而言,除具备机构的这两个特征外,还有第三个特征,即能够完成有效的机械功(如颚式破碎机粉碎矿石)或进行能量转换(如内燃机把热能转换成机械能)。因此,从其组成、运动特性、受力状况等方面进行分析,机构和机器没有区别。为使研究的问题简化,常将机构和机器统称为机械。

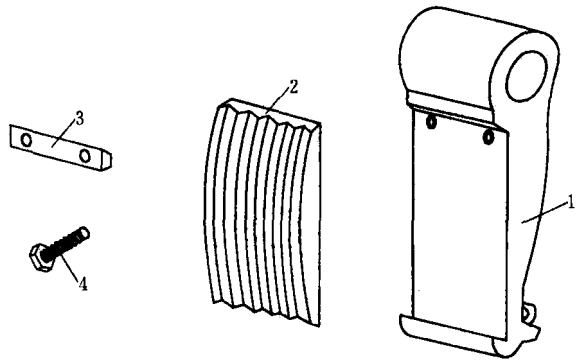


图 1-3 颚式破碎机的动颚

一部机器可以只含有一个机构,如图 1-1 所示颚式破碎机就只含有一个曲柄摇杆机构(图 1-1c);也可以由数个机构组成,如图 1-4 所示牛头刨床主要传动系统(切削和进给运动),是由齿轮机构(5、6、13)、(10、11、13)、导杆机构(6、7、8、13、14)、曲柄摇杆机构(11、12、17、13)、间歇运动机构(17、16、13)等组成。

机器的种类繁多,其结构形式和用途各不相同。然而,一部完整的机器就其基本组成来讲,一般都有下面三个部分:

(1)原动机部分,它是驱动整个机器完成预定功能的动力源。各种机器广泛使用的动力源有电动机(交流和直流)、内燃机等。通常一部机器只用一个原动机,对于复杂的机器也可能有两个或几个原动机。每个原动机的运动和动力参数都是有限的,而且也是确定的。

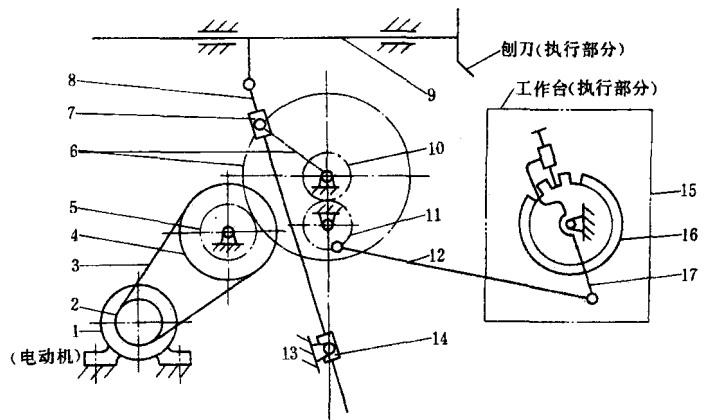


图 1-4 牛头刨床主要传动系统简图

(2)执行部分(又称工作部分),它是机器中直接完成工作任务的组成部分,如起重机的吊钩、车床的刀架、磨床的砂轮、轧钢机的压辊等。其运动形式依据机器的用途不同,可能是直线运动,也可能是回转运动或间歇运动等,而且运动和动力参数也不尽相同。

(3)传动部分,它是机器中介于原动机和执行部分之间,用来完成运动形式、运动和动力参数转换的组成部分。利用它可以减速、增速、调速(如机床变速箱)、改变转矩以及改变运动



形式等,从而满足执行部分的各种要求。

综上所述,机器的基本组成和相互关系可用图 1-5 来表示。

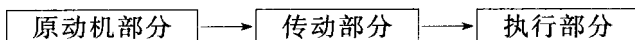


图 1-5 机器的基本组成

在图 1-1 所示颚式破碎机中,原动机部分是电动机,执行部分是颚头(定颚板、动颚板),传动部分包括 V 带传动和由偏心轴、动颚、肘板以及机架组成的连杆机构。

简单的机器都可以由上述三部分组成,有的甚至只有原动机和执行部分,如水泵、排风扇等。但是,对于较复杂的机器,除具有上述三个基本组成部分外,根据需要可另加控制装置(或控制系统)、润滑装置、照明装置等。

## 二、机械设计基础研究的内容

由机器的组成可知,传动部分一般都是机器的主体。常用的传动系统有机械的、电动的、气动的、液压的,其中以机械传动应用最广。机械传动通常是由各种机构(如连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、齿轮机构等)以及各种零件(如摩擦轮、带轮、带、链轮、链条、轴、轴承、联轴器等)组成。

机械中的零件分为两类:一类是通用零件,它在各种类型的机械中都可能用到,如螺栓、轴、齿轮、弹簧等;另一类是专用零件,只用于某些类型的机械中,如电动机中的转子、叠片、笼条等,内燃机、蒸汽机中的曲轴、活塞等。此外,机械设计中还把为完成同一使命、彼此协同工作的一组零件所组成的组合体称为部件,如滚动轴承、联轴器、减速器等。所以通常称为机械零部件,以包括零件和部件。

机械设计基础主要研究常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法。同时还将扼要介绍与本课程有关的国家标准、规范以及一些标准零件、部件的选用原则和方法。

机械设计基础是高等学校工科有关专业的一门重要技术基础课。为了学习这门课程,必须首先学好机械制图、理论力学、材料力学、工程材料以及金属工艺学等有关知识。通过本课程的学习,可以使学生获得正确使用和维护机械设备的基本知识,培养学生初步具备运用手册设计简单机械传动装置的能力,为学习有关专业机械设备课程以及参与技术革新奠定必要的基础。

## 第二节 机械零件的常用材料

机械零件的常用材料可分为金属材料和非金属材料两大类。其中,金属材料应用最广,非金属材料以其独特的性能也日益显示出广阔的应用前景。金属材料包括黑色金属(钢、铸铁)和有色金属,前者应用最多。下面分别介绍机械零件的常用材料及其应用。

### 一、钢

钢的品种多,性能好,是机械零件最常用的材料。根据化学成分的不同,钢可分为碳素钢和合金钢。碳素钢的生产批量大,价格低,供应充足,对于一般的机械零件应优先选用。碳素钢的性能主要取决于碳的质量分数。碳的质量分数越高,钢的强度越高,塑性越低。通常,碳的质量分数低于 0.25% 的钢称为低碳钢。这类钢的强度极限和屈服点低,而塑性好,适用于

冲压、焊接加工。碳的质量分数为 0.25%~0.60% 的钢称为中碳钢。中碳钢既有较高的强度,又有一定的塑性和韧性,综合力学性能较好,常用来制造螺栓、螺母、齿轮、键、轴等零件。碳的质量分数高于 0.60% 的钢称为高碳钢,它具有很高的强度和弹性,是弹簧、钢丝绳等零件的常用材料。

### 1. 碳素钢

碳素钢分为碳素结构钢和优质碳素结构钢。前者主要用于受力不大而且基本上是承受静载荷的一般零件,其中以 Q235、Q255 较为常用。这类钢只保证机械强度,不保证化学成分,故不能进行热处理。优质碳素结构钢含磷、硫等杂质较少,其性能优于碳素结构钢,而且能同时保证钢的机械强度和化学成分,可以进行热处理,故常用于受力较大,且受变载荷或冲击载荷作用的零件。优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示,代表钢中平均含碳量的万分数。如 45 钢,其平均含碳量的质量分数为 0.45%。对于含锰量较高的优质碳素结构钢,其牌号还要在含碳量数字之后加注符号“Mn”,如 40Mn 等。

### 2. 合金钢

为了改善钢的性能,根据不同要求加入一种或几种合金元素而形成的钢称为合金钢。不同的合金元素,使钢获得不同的性能。如铬能提高硬度、高温强度和耐腐蚀性;镍能提高强度而不降低韧性;锰能提高强度、韧度和耐磨性;硅可提高弹性极限和耐磨性,但降低韧性。应当指出:合金钢的性能不仅与化学成分有关,在很大程度上还取决于适当的热处理。由于合金钢价格较贵,通常只用于制造重要的和具有特殊性能要求的机械零件。

合金钢可分为普通低合金钢、合金结构钢、合金工具钢和特殊合金钢。机械零件常用的是合金结构钢。合金结构钢牌号的表示方法是用两位数字表示含碳量的万分数,并在其后加注所含各主要合金元素的符号及其质量分数。并规定:合金元素平均含量小于 1.5% 时,不注含量,当平均含量在 1.5%~2.5%、2.5%~3.5%、3.5%~4.5%、... 时,相应以数字 2、3、4、... 表示。例如 40SiMn2,其平均含碳量为 0.40%,平均含硅量小于 1.5%,平均含锰量在 1.5%~2.5% 之间。

### 3. 铸钢

铸钢主要用于制造承受重载荷的大型零件或形状复杂、力学性能要求较高的零件。如承受重载荷的大型齿轮、联轴器等。铸钢包括碳素铸钢和合金铸钢。铸钢的力学性能与锻钢基本接近,但其减振性、铸造性均不及铸铁。铸钢牌号的表示方法是在符号“ZG”后加注两组数字,如 ZG310—570,表示屈服点为 310MPa,抗拉强度为 570MPa。

## 二、铸铁

铸铁是脆性材料,其抗拉强度、塑性、韧性均较差,不能进行辗压和锻造。铸铁的减振性和耐磨性较好,成本较低。由于它具有良好的液态流动性,因此常用于铸造各种形状复杂的零件。常用铸铁有灰铸铁和球墨铸铁。

### 1. 灰铸铁

灰铸铁是应用最广的一种铸铁,碳以片状石墨存在于铁的基体中,因此其断口呈灰色。灰铸铁的抗压强度高于抗拉强度,切削性能好,但不宜承受冲击载荷;常用于制造受压状态下工作的零件,如机器底座、机架等。灰铸铁牌号的表示方法是在符号“HT”后加注一组表示抗拉强度的数字,如 HT200,其抗拉强度为 200MPa。

### 2. 球墨铸铁

球墨铸铁中的碳以球状石墨存在于铁的基体中,故其力学性能显著提高。除伸长率和韧性稍低外,其他力学性能基本与钢接近,同时兼有灰铸铁的优点,但是球墨铸铁的铸造工艺性能要求较高,品质不易控制。用球墨铸铁制造的曲轴、齿轮等,其成本低于锻钢件。球墨铸铁牌号的表示方法是在符号“QT”后加注两组数字,如 QT400—15,表示抗拉强度为 400MPa,伸长率为 15%。

### 三、铜合金

铜合金是机械零件中最常用的有色金属材料,分为黄铜和青铜两类。

#### 1. 黄铜

黄铜(ZCuZn38 等)是以锌为主要合金元素的铜合金。它具有高的耐腐蚀性能,常用于制造管件、散热器、垫片以及化工、船用等零件。

#### 2. 青铜

青铜又分普通青铜(锡青铜)和特殊青铜(铝青铜、铅青铜等)。普通青铜(ZCuSn5Pb5Zn5 等)的减摩性、耐磨性、导热性均良好,常用于制造蜗轮、对开螺母、滑动轴承中的轴瓦等零件。铝青铜(ZCuAl10Fe3 等)的耐磨性和耐腐蚀性较好,常用于制造蜗轮、在蒸汽和海水条件下工作的齿轮等零件。铅青铜(ZCuPb30 等)具有很高的导热性和抗疲劳强度,可用于制造高速、重载滑动轴承的轴瓦。

铸造铜合金牌号的表示方法是在符号“ZCu”后面加注所含各主要合金元素的符号及其质量分数(%)。

### 四、非金属材料

橡胶、塑料、皮革、陶瓷、木材、纸板等均属非金属材料。橡胶除具有弹性,能缓冲、吸振外,还具有耐磨、绝缘等性能,广泛用于制造胶带、轮胎、密封垫圈和减振零件等。特别是塑料具有耐磨、耐腐蚀、重量轻、易于成形等优点,因此近年来,得到了广泛的应用。

### 五、复合材料

复合材料是由两种或两种以上的金属或非金属材料复合而成的一种新型材料。例如,用金属、塑料、陶瓷等材料作为基材,用纤维强度很高的玻璃、石墨、硼等非金属材料作为纤维,可把纤维与基材复合成各种纤维增强复合材料,又称纤维增强塑料,可用来制造薄壁压力容器、汽车外壳等。又如在普通碳素钢板表面贴附塑料或不锈钢,可分别获得强度高而又耐腐蚀的塑料复合钢板或金属复合钢板。复合材料目前成本尚高,供应较少,但它是材料工业发展的方向之一。随着科学技术的进步,复合材料必将得到不断完善和创新,从而获得广泛应用。

选择材料是设计机械零件的重要环节之一,也是一个复杂的技术经济问题。一般应考虑零件的使用要求(如强度、刚度、冲击韧度、导热性、抗腐蚀性以及耐磨性、减振性等,通常以强度为主)、工艺要求(从毛坯到成品都便于制造)和经济性要求(材料及其加工成本均比较低,而且货源供应方便),并对各种要求进行综合分析比较,最后选出适宜的材料。各种材料的力学性能及应用均可从机械设计手册中查取,本书也在有关章节中分别做了适当的介绍。

有关钢的热处理方法见附录 A。

## 第三节 机械零件的工作能力和计算准则

机械零件丧失工作能力或达不到设计要求的性能时称为失效。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。零件失效常见的形式有断裂,过大的弹性变形或塑性变形,摩擦表面的过度磨损、打滑、过热,联接松动,运动精度达不到要求等。这里应当注意,零件的失效和损坏是两个不同的概念。例如装有齿轮的转轴,工作时若弹性变形过大,不但影响齿轮的正常啮合,而且加速轴承的磨损,大大降低轴承的旋转精度,严重时会发生轴承抱死,机器停转的事故。此时,对轴而言并未损坏,但却不能正常工作,即失效了。反之,若零件被损坏,则一定不能正常工作,即零件损坏时一定为失效。对于某一具体零件,可能产生的失效形式则由其工作条件和受载情况而定。针对各种不同失效形式,所列判定零件工作能力的条件,称为工作能力计算准则。这些准则主要有强度、刚度、耐磨性、耐热性以及振动稳定性等。下面主要讨论零件的强度、刚度条件及耐磨性,其他工作能力判定条件,必要时可查阅有关机械设计参考书。

## 一、强度

### 1. 名义载荷与计算载荷

根据名义功率用力学公式计算出作用在零件上的载荷,称为名义载荷,它是机器在理想平稳的工作条件下作用在零件上的载荷。计算载荷是考虑实际载荷随时间作用的不均匀性、载荷在零件上分布的不均匀性以及其它因素的影响而得的载荷。计算载荷等于载荷系数  $K (>1)$  与名义载荷的乘积,机械零件的设计计算一般按计算载荷进行。

### 2. 强度条件

强度条件是机械零件最基本的计算准则。如果零件强度不足,工作时会产生断裂或过大的塑性变形,使零件不能正常工作。设计时必须满足的强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma], \tau \leq [\tau] \quad (1-1)$$

式中:  $\sigma, \tau$ ——分别为危险截面处的最大正应力和切应力,是按照计算载荷求得的应力(变应力情况下还应考虑应力集中等因素的影响);

$[\sigma], [\tau]$ ——分别为材料的许用正应力和切应力。

### 3. 许用应力

许用应力是零件设计的条件应力。正确地确定许用应力,可以使零件在具有足够强度和寿命的前提下,做到尺寸小、重量轻。许用应力的确定,本书主要采用计算法,其基本公式为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S}, [\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{S} \quad (1-2)$$

式中:  $\sigma_{\text{lim}}, \tau_{\text{lim}}$ ——分别为材料的极限正应力和切应力;

$S$ ——安全系数。

由式(1-2)可知,许用应力的确定主要是确定材料的极限应力和安全系数。

(1)极限应力 极限应力的确定与应力的种类有关。常见的应力种类如图 1-6 所示。在静应力下工作的零件主要失效形式是断裂或塑性变形。因此,对于塑性材料,取材料的屈服点  $\sigma_s$  作为极限应力;对于脆性材料,取材料的强度极限  $\sigma_b$  作为极限应力。在变应力下工作的零件主要失效形式是疲劳断裂。因此,在对称循环变应力作用下,取材料的对称循环疲劳极限  $\sigma_{-1}$  作为极限应力;在脉动循环变应力作用下,取材料的脉动循环疲劳极限  $\sigma_0$  作为极限应力。在非对称循环变应力作用下,可通过疲劳试验或极限应力图(见各《机械设计》教材)确定材料的疲劳极限,即极限应力。作简化计算时,在一般变应力作用下可近似取与之相近的  $\sigma_{-1}$  或  $\sigma_0$  作为材料的极限应力。

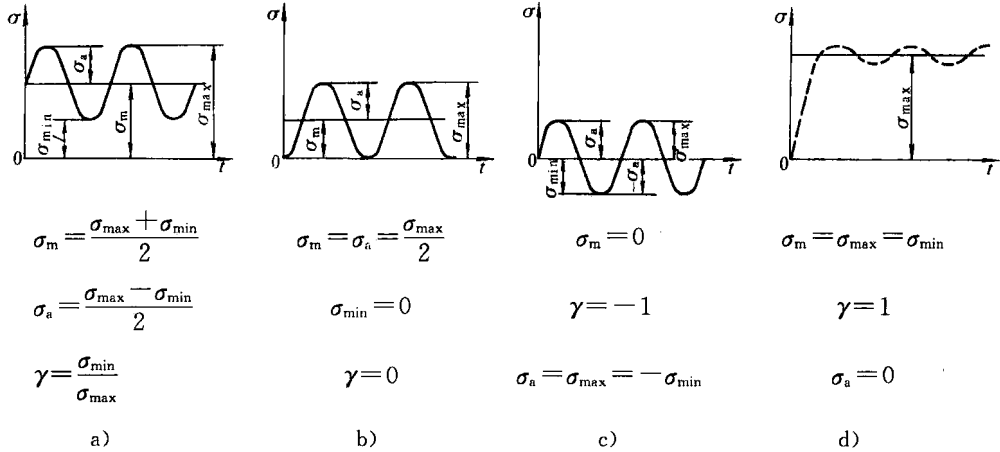


图 1-6 应力的种类

a) 非对称循环变应力 b) 脉动循环变应力 c) 对称循环变应力 d) 静应力

(2) 安全系数 安全系数可以用查表法或部分系数法来确定。

查表法的取值在以后各章具体表格中均有说明。这类表格是不同的机械制造部门, 经过长期生产实践, 总结制订出适合本行业的安全系数(或许用应力)表格, 具有简单、具体、可靠等优点。但适用范围较窄。

部分系数法一般用在无可靠资料直接确定安全系数的情况下。此时可取总的安全系数等于各个影响因素系数的连乘积, 即

$$S = S_1 S_2 S_3 \quad (1-3)$$

式中:  $S_1$ ——考虑载荷及应力计算的准确性系数,  $S_1 = 1.0 \sim 1.5$ ;

$S_2$ ——考虑材料的均匀性系数, 对于锻钢或轧钢零件,  $S_2 = 1.2 \sim 1.5$ ; 对于铸铁零件  $S_2 = 1.5 \sim 2.5$ ;

$S_3$ ——考虑零件重要程度的系数,  $S_3 = 1.0 \sim 1.5$ 。

## 二、接触强度

前面所述机械零件的强度称为整体强度。所谓整体强度是指零件受载时在较大的体积内产生应力, 零件的破坏也发生在较大的体积范围内。此外, 对于理论上点接触或线接触的两个零件, 当有载荷作用时, 由于局部变形使接触处形成小的接触区, 在面积很小的接触区表层产生很大的应力, 称为接触应力。接触应力的分布如图 1-7 所示, 其最大正值  $\sigma_H$  表示, 在接触应力作用下零件的强度称为接触强度, 它属于表面强度。

机械零件的接触应力一般都为交变应力, 通常接近于脉动循环处理, 如摩擦轮传动、齿轮传动、滚动轴承等在交变应力的重复作用下, 零件表层先是产生疲劳裂纹, 如有润滑油进入疲劳裂纹, 在裂纹封口压缩的情况下, 裂纹中产生极高的油压迫使裂纹加速扩展, 直至表层金属成小片状剥落下来, 在零件表面形成小坑(图 1-7), 这种现象称为疲劳点蚀, 简称点蚀。点蚀的出现使得零件接触面积减小, 失去光滑的表面, 不但降低承载能力, 还会

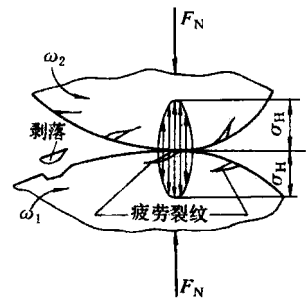


图 1-7 接触应力与疲劳点蚀

引起振动和噪声。因此,它是润滑和密封均良好的零件的常见失效形式。设计时应该满足的强度条件为

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H, [\sigma]_H = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_H} \quad (1-4)$$

式中:  $[\sigma]_H$ ——材料的许用接触应力;

$\sigma_{Hlim}$ ——实验材料的接触疲劳强度极限;

$S_H$ ——接触疲劳强度安全系数。考虑接触应力的局部性及离开接触中心应力迅速减小等因素,可取  $S_H$  等于 1 或稍大于 1。

### 三、刚度

刚度是指零件在载荷作用下,抵抗弹性变形的能力。某些零件如机床主轴、高速蜗杆轴等,刚度不足将会产生过大的弹性变形,影响机器的正常工作。设计时应满足的刚度条件为

$$y \leq [y], \theta \leq [\theta], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-5)$$

式中:  $y$ 、 $\theta$ 、 $\varphi$ ——分别为零件工作时的挠度、转角和扭角;

$[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ ——相应的许用挠度、转角和扭角。

提高零件刚度的措施有:适当增大截面尺寸,改进零件的结构、减小支点间距离等。

### 四、耐磨性

在各种机械中,凡是具有相对运动,或具有相对运动趋势的接触表面间都存在摩擦。摩擦表面物质在相对运动中不断损失的现象称为磨损。零件抗磨损的能力称为耐磨性。据统计,世界上约有 1/3 的能源消耗在摩擦上;在各种报废的机械零件中,约有 80% 是由于磨损而引起的。因此,研究摩擦、磨损,提高零件的耐磨性,对延长机器的使用寿命有着十分重要的意义。

#### 1. 磨损过程

相对运动的接触表面之间的磨损是不可避免的。在正常情况下磨损的过程大致可以分为图 1-8 所示的三个阶段。

磨合磨损阶段是新机器在运转初期,通过逐渐增加载荷,迅速磨去零件制造时遗留下来的波峰尖部。随着波峰高度的逐渐降低,摩擦副的实际接触面积加大,磨损速度逐渐减缓,零件进入稳定磨损阶段。

稳定磨损阶段,其磨损率  $\epsilon = \Delta q / \Delta t \approx$  常数,此时零件以平稳而缓慢的速度在磨损,其相应的时间就是零件的使用寿命。

剧烈磨损阶段,当磨损率超过机械正常运转的许可磨损率时,零件则进入剧烈磨损阶段。这时,两个摩擦零件间的间隙增大,温度升高,机械效率下降,产生异常的噪声和振动,因此应该停机检修,更换零件。

上述的三个阶段是正常情况下零件的磨损过程。但若压强过大、相对速度过高、润滑不良时,则磨合磨损期很短,并立即转入剧烈磨损阶段(图 1-8 中虚线所示),使零件很快报废。

#### 2. 磨损的基本类型

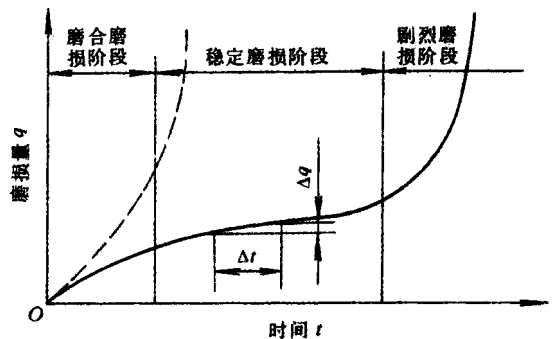


图 1-8 磨损过程

按损坏机理分,磨损主要有磨粒磨损、黏着磨损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损等四种基本类型。

**磨粒磨损** 硬质颗粒进入摩擦表面,或硬表面上的凸峰在摩擦过程中引起表层材料脱落的现象称为磨粒磨损。

**黏着磨损(胶合)** 摩擦表面的接触实际上是高低不平的微凸体接触。高速轻载时温升使得接触区润滑油膜破裂,低速重载时也不易形成润滑油膜,这都将导致接触处发生黏着。在这种情况下,两表面相对滑动,黏着撕脱,材料从一个表面转移到另一个表面,这种现象称为粘着磨损,也称为胶合。严重的黏着磨损会导致两个摩擦零件咬死。

**疲劳磨损(疲劳点蚀)** 疲劳点蚀产生在零件表层,属于表面磨损范畴,故也称疲劳磨损。

**腐蚀磨损** 在摩擦过程中,与周围介质发生化学反应或电化学反应的磨损称为腐蚀磨损。

### 3. 减少磨损的主要措施

磨损是一个相当复杂的现象,影响的因素也很多,除疲劳磨损外,目前尚无可靠的计算方法。通常采取下述措施减少磨损。

(1) 选取减摩性和耐磨性较好的材料。

(2) 对摩擦表面进行润滑。选用适当的润滑剂和润滑方法是减少摩擦和磨损的最有效途径。润滑方法需根据不同的工作条件和部位而定。润滑剂有液体、脂状、固体、气体等四种。液体润滑剂主要有润滑油、水和液体金属等,其中最常用的是润滑油,尤以矿物油应用最广。润滑脂俗称黄油,它是在润滑油中加入稠化剂(如钙皂、钠皂、锂皂等)调制而成,常温下呈油膏状。润滑脂的黏度大,不易流失,承载能力高,但摩擦功耗大。固体润滑剂有石墨、二硫化钼等。气体润滑剂有空气、氮气、二氧化碳等。气体的黏度低,摩擦阻力极小,温升很小,但承载能力较低,适用于高速轻载的场合。各种机械中常用润滑油和润滑脂的主要性能指标及用途见附录 B。

(3) 进行耐磨性计算。摩擦表面间的耐磨性计算也是条件性的,实用的计算是限制摩擦面间的压强  $p$  和  $pv$  值(详见第十一章)。

(4) 提高零件的加工精度和表面质量。

(5) 完善密封,正确使用与维护等。

### 复习自测题

1. 何谓机器? 何谓机构? 它们有什么区别与联系?
2. 何谓零件和构件? 两者的区别是什么?
3. 设计机器时应满足哪些基本要求?
4. 机械零件主要有哪些失效形式?
5. 机械零件的常用设计准则是什么?
6. 什么是机械零件的强度设计准则?
7. 机械零件的常用材料有哪些?
8. 对机械零件材料的选择应考虑哪些方面的要求?

## 第二章 平面机构的运动简图及其自由度

**基本要求:**能绘制平面机构运动图;能计算平面机构自由度。

**重点:**平面机构运动简图的绘制及自由度的计算。

**难点:**虚约束的判断。

所有构件都在同一平面或相互平行的平面内运动的机构称为平面机构,否则称为空间机构。工程中应用较多的是平面机构,因此本章只讨论平面机构。

### 第一节 平面机构的运动简图

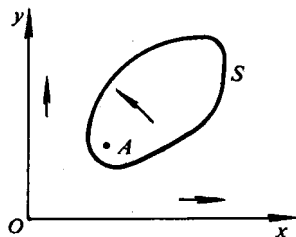
实际机械的外形和结构大都比较复杂,为了便于分析和研究,工程中常用简单的线条和符号表示构件及运动副来绘制机构的运动简图。

#### 一、运动副的分类及其表示方法

两个构件直接接触形成的可动联接称为运动副。只允许被联接的两构件在同一平面或相互平行的平面内作相对运动的运动副称为平面运动副,平面机构中的运动副都属平面运动副。例如图 1-1 中偏心轴与动颚、动颚与肘板、肘板与机架、机架与偏心轴之间的联接都是平面运动副。

一个作平面运动的自由构件有 3 个独立运动的可能性,即 3 个自由度。如图 2-1 所示,在坐标系  $xOy$  中,构件  $S$  可随其上任一点  $A$  沿  $x$  轴、 $y$  轴方向移动和绕  $A$  点转动。当构件用运动副联接后,其独立运动便受到约束,自由度也随之减少。

两构件可以通过点、线或面接触组成运动副。按照接触特性,平面运动副可分为低副和高副。



#### 1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。根据两构件间图 2-1 平面自由构件的自由度的相对运动形式不同,低副又分为移动副和转动副。组成运动副的两构件只能沿某一直线相对移动时称为移动副(图 2-2)。移动副使构件失去沿一轴线方向的移动和在平面内的转动两个自由度,只保留了沿另一轴线方向移动的自由度。当组成运动副的两构件只能绕同一轴线作相对转动时称为转动副或铰链(图 2-3)。转动副使构件失去两个移动的自由度,只保留一个转动的自由度。移动副和转动副分别可以用图 2-4、图 2-5 所示的符号表示。

#### 2. 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 2-6a 中凸轮 1 与从动件 2,图 2-6b 中齿轮 1 与齿轮 2 在接触点  $A$  处组成的运动副都是高副。高副使构件失去了沿接触点公法线  $n-n$  方向移动的自由度,保留了绕接触点转动和沿接触点公切线  $t-t$  方向移动的两个自由度。用符号表示高副时,一般需把两构件在接触点处的曲线轮廓画出(图 2-6a),但对于齿轮机构,习惯上只画出两齿轮的节圆(表 2-1)。



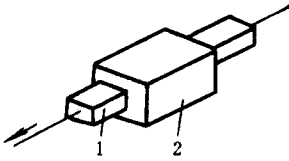


图 2-2 移动副

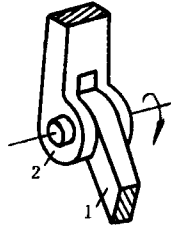


图 2-3 转动副

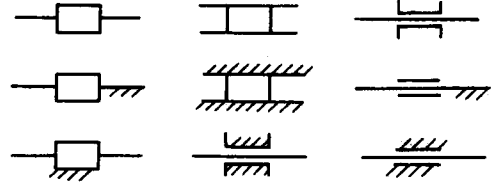


图 2-4 表示移动副的符号

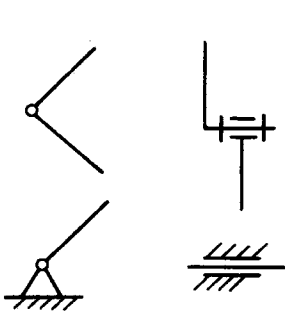


图 2-5 表示转动副的符号

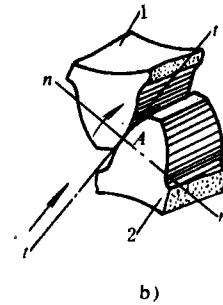
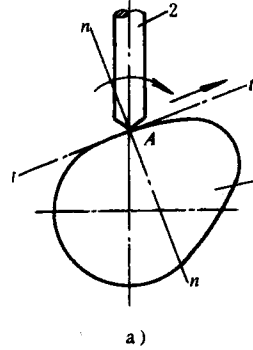


图 2-6 高副

表 2-1 常用机构运动简图符号

名称	符号	名称	符号
凸轮机构 (直动从动件 盘形凸轮)		径向滑动轴承	
棘轮机构 (外啮合)		径向接触滚动轴承	
槽轮机构 (外啮合)		单向止推滑动轴承	
		轴向接触滚动轴承	
		向心角接触滚动轴承	