



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材
普通高等教育“十五”国家级规划教材



Fundamentals of Mechanical Design

机械设计基础 (少学时)

第⑥版

王喆 刘美华 ◎ 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材
“十三五”国家重点出版物出版规划项目
现代机械工程系列精品教材

机械 设计 基础

第 6 版
(少学时)

主 编 王 喆 刘美华
副主编 朱殿华
参 编 曲玉峰 彭 伟 李建功 张海兵
主 审 范顺成

机械工业出版社

本书是按照教育部颁布的《机械设计基础课程教学基本要求》编写的,其第4版被评为普通高等教育“十五”国家级规划教材。本次修订在内容上又做了一定的补充和修改,更新了部分国家标准。全书始终贯穿从认识机械入手,分析机器的组成,常用机构的运动特点及设计方法,通用零部件的功能、结构与设计,直至完成传动装置设计的指导思想,并且对本课程所讲授的知识与方法在产品全生命周期设计中所处的地位也进行了论述。这样的编排,有利于提高学生综合分析问题和进行复杂机械设计的能力。

全书共十五章:第一章概括了机器的组成、零部件的设计要求、材料的选择;从第二章到第五章讲述了常用机构的运动特点 and 设计要求;从第六章到第十四章讲述了通用零部件的设计与计算;第十五章综合了机械传动装置的设计方法。在各章中均有重点学习内容指引,配有相应的例题、习题。本书还有开式传动装置设计题目和必要的资料,基本可以满足课程对习题和课程设计作业的使用要求。另外,在附录中分别给出了钢的常用热处理工艺、润滑剂的性能及其选用原则,以及开式传动装置设计图例,供广大读者参考使用。

本书可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,也可供有关工程技术人员和大、中专学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础:少学时/王喆,刘美华主编. —6版. —北京:机械工业出版社,2018.8

普通高等教育“十五”国家级规划教材 “十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系精品教材

ISBN 978-7-111-60940-7

I. ①机… II. ①王… ②刘… III. ①机械设计-高等学校-教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第215153号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余 皞 责任编辑:余 皞

责任校对:刘雅娜 封面设计:张 静

责任印制:孙 炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2019年1月第6版第1次印刷

184mm×260mm·19.25印张·471千字

标准书号:ISBN 978-7-111-60940-7

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是在普通高等教育“十二五”规划教材《机械设计基础》第5版的基础上修订的,符合教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会新修订的《机械设计基础课程教学基本要求》的精神。

这次修订保留了第5版的特色和优点,主要对部分内容做了适当的更新和重新编排,重点更突出,力求基本概念阐述准确,突出各类零件的设计综合性、系统性,符合国家最新标准,注重学生现代工程设计能力的培养。此次修订的重点工作有以下几方面:

1) 对教材的章节顺序进行了调整,将平面连杆机构、凸轮机构和间歇运动机构调整至连接之前,便于学生对机械设计研究内容的认知和理解。

2) 对绪论中的内容进行了调整,将机构的结构分析的内容从第一章“绪论”中移出,单独设为第二章“平面机构的结构分析”,便于学生对结构分析知识点的理解和掌握,并增加和修改了机构运动简图绘制中有关的简明表达符号。

3) 将齿轮机构和齿轮传动合并,重点论述,加深学生对齿轮传动的理解与应用。

4) 对书中插图进行了修改和增减,使其表达的含义更加准确、清晰。

参加本书修订的有天津大学王喆(第一、二、三、四、五、七章),天津大学朱殿华(第六、八、九、十五章,附录A、B、C),天津商业大学刘美华(第十、十一、十二、十三、十四章)。曲玉峰、彭伟、李建功、张海兵也参与了本次修订工作。

本书由天津大学王喆,天津商业大学刘美华担任主编,天津大学朱殿华担任副主编,河北工业大学范顺成担任主审。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 机器的组成和本课程研究的内容	2
第二节 机械零件的常用材料	5
第三节 机械零件的工作能力和 计算准则	8
第四节 机械零件结构设计的 基本要求和“三化”	12
习 题	14
第二章 平面机构的结构分析	15
第一节 平面机构的运动副及分类	16
第二节 平面机构运动简图绘制	18
第三节 平面机构具有确定运动的条件	21
习 题	24
第三章 平面连杆机构	26
第一节 铰链四杆机构及其演化	27
第二节 平面四杆机构的运动特性	33
第三节 平面四杆机构的设计	37
习 题	39
第四章 凸轮机构	41
第一节 凸轮机构的应用和分类	42
第二节 从动件的常用运动规律	43
第三节 用图解法绘制盘形凸轮工作 轮廓	46
第四节 凸轮机构设计中应注意的问题	49
习 题	51
第五章 间歇运动机构	53
第一节 棘轮机构	54
第二节 槽轮机构	58
习 题	60
第六章 连接	61
第一节 概述	62
第二节 螺纹参数	63
第三节 螺旋副的受力、效率与自锁	65
第四节 螺纹连接和螺纹连接件	69
第五节 螺纹连接的强度计算	71
第六节 螺纹连接的结构设计	79

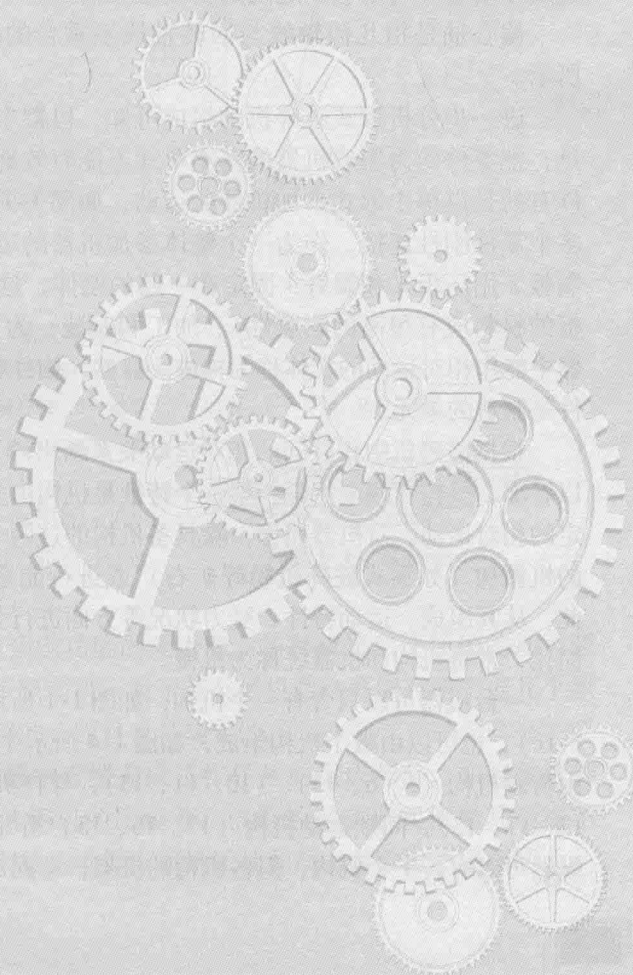
第七节 螺旋传动简介	82
第八节 键、花键和过盈连接	86
习 题	90
第七章 齿轮传动	98
第一节 概述	99
第二节 渐开线及渐开线直齿圆柱齿轮	100
第三节 渐开线齿轮传动及齿廓啮合 特性	104
第四节 渐开线齿轮正确啮合和连续 传动的条件	105
第五节 渐开线齿轮轮齿的切削加工	107
第六节 轮齿的失效形式和齿轮材料	110
第七节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	113
第八节 斜齿圆柱齿轮传动	118
第九节 直齿锥齿轮传动	125
第十节 齿轮的结构	129
习 题	131
第八章 蜗杆传动	133
第一节 概述	134
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何 尺寸计算	135
第三节 蜗杆传动的相对滑动速度、 效率和润滑	139
第四节 蜗杆和蜗轮的材料及结构	140
第五节 蜗杆传动的受力分析	141
第六节 蜗杆传动的失效形式和工作能力 计算	143
习 题	147
第九章 轮系	148
第一节 定轴轮系及其传动比计算	149
第二节 周转轮系及其传动比计算	151
第三节 轮系的功用	155
习 题	158
第十章 带传动和链传动	160
第一节 带传动概述	161
第二节 普通 V 带传动的结构及尺寸参数	163
第三节 带传动的工作原理	167

第四节	普通 V 带传动的设计计算	170	习 题	235
第五节	带传动的张紧装置及安装维护	176	第十三章 联轴器和离合器	241
第六节	链传动及其结构	178	第一节 常用联轴器	242
第七节	链传动的运动特性与受力分析	182	第二节 离合器	250
第八节	滚子链传动的设计计算	184	习 题	252
第九节	链传动的正确使用和维护	190	第十四章 弹簧	258
习 题	192	第一节 弹簧的功用、类型及材料	259	
第十一章 轴	193	第二节 圆柱螺旋压缩（拉伸）弹簧的 结构、制造与设计	261	
第一节 概述	194	习 题	270	
第二节 轴的结构设计	197	第十五章 机械传动装置设计综述	271	
第三节 轴的强度计算	202	第一节 机械设计的基本要求和一般过程	272	
习 题	207	第二节 电动机的选择	273	
第十二章 轴承	209	第三节 机械传动方案的选择	275	
第一节 概述	210	第四节 机械传动的运动和动力计算	277	
第二节 非液体摩擦滑动轴承的 结构和材料	210	第五节 机械传动装置设计实例解析	282	
第三节 滑动轴承的润滑	214	习 题	285	
第四节 非液体摩擦滑动轴承的 设计计算	216	附 录	289	
第五节 液体摩擦滑动轴承简介	218	附录 A 钢的常用热处理工艺	290	
第六节 滚动轴承的结构、类型和代号	219	附录 B 润滑油和润滑脂	291	
第七节 滚动轴承类型的选择	224	附录 C 机械设计课程作业图例	298	
第八节 滚动轴承的组合设计	225	参考文献	300	
第九节 滚动轴承的失效形式和计算	229			

第一輯

论

緒



重点学习内容

1. 零件、构件、机械、机构、机器等名词的涵义
2. 本课程研究的内容
3. 机械零件的工作能力判定条件和结构设计基本要求

第一节 机器的组成和本课程研究的内容

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,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,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,颚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,偏心轴 5 转动带动动颚 6 在肘板 7 的支持下作平面运动,从而可使夹放在动颚 6 与定颚 8 之间的石块被逐渐挤碎下落,如图 1-1b 所示。

偏心轴是指几何轴线与回转轴线不重合的轴。颚式破碎机中偏心轴 5 的结构如图 1-2 所示。

进一步分析颚式破碎机的组成可知,机器中不可拆的单元体是制造单元,称为零件。但是,把零件作为组成机器的基本单元不能有效地表达机器中各部分的相对运动关系。因为零件有的是以单个形式参加机器的运动,如图 1-1 中的带轮、偏心轴、肘板等;而有的则是将多个零件刚性连接,作为一个整体参加机器的运动,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,这样的结构便于选取材料及热处理工艺(动颚板的材料应有很高的耐磨性)、加工和安装。为了表达机器中各部分的相对运动关系,把在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:第一个特征是机构由多个构件组成,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。

一台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 所示牛头刨床的主传动系统(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)等组成的。这里需要注意的是,在一台机器中,纵然可以有若干个机构,但各机构的机架,即固定构件都是共同的。如图 1-4 中多处细实斜线

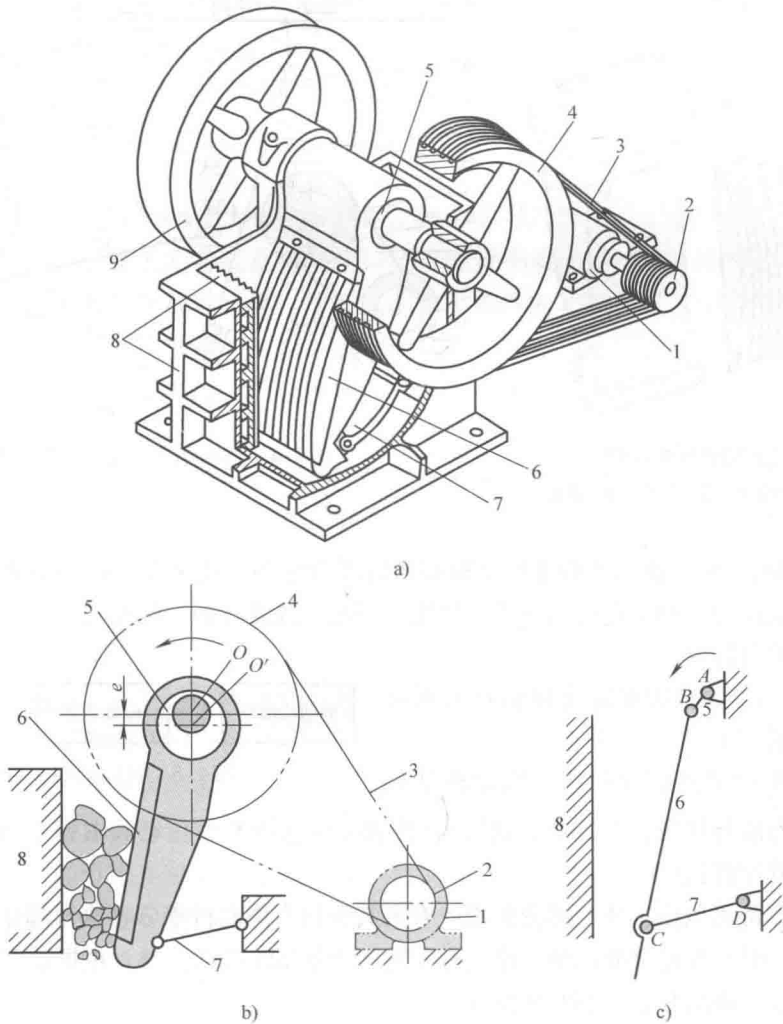


图 1-1 颞式破碎机

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 7—肘板 8—定颞 9—飞轮

表示的机架，都属于固定构件 13 的一部分。

机器的种类繁多，其结构型式和用途各不相同。然而，一台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，它是驱动整台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、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。

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，如起重机的吊臂和吊钩、车床的刀架、磨床的砂轮架、轧钢机的压辊等。机器的运动形式依据其用途不同，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。

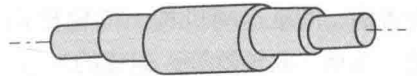


图 1-2 偏心轴

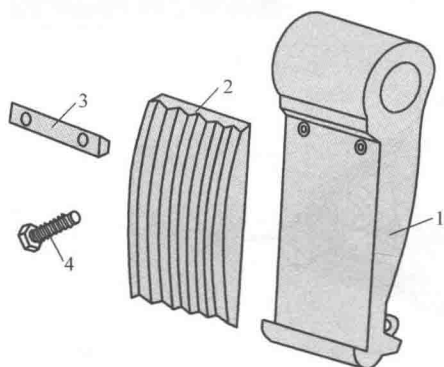


图 1-3 颚式破碎机的动颚

1—动颚体 2—动颚板 3—压板 4—螺钉

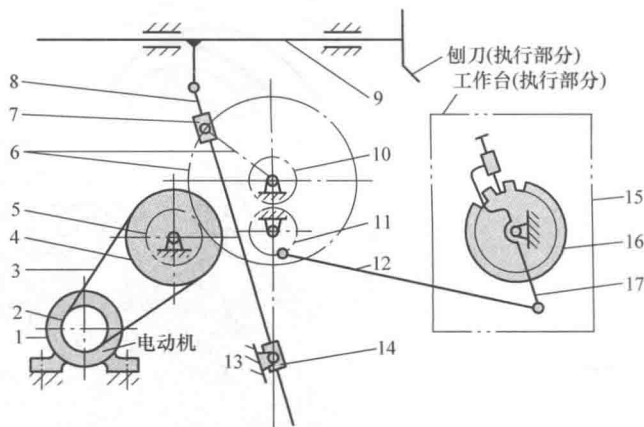


图 1-4 牛头刨床主传动系统简图

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、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。

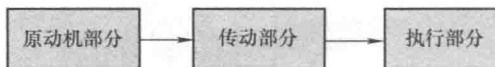


图 1-5 机器的基本组成

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、动颚),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部分和执行部分,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,根据需要可另设置控制装置或控制系统、润滑装置、照明装置等。

二、本课程研究的内容

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传动、液力传动、电动和气动等,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、轴、轴承、联轴器等)组成的。

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、键、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,所以有时也通称为机械零部件,它包括了零件和部件。

机械设计基础主要研究常用机构和通用零部件的工作原理、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,以及简单机械传动装置的设计方法。

机械设计基础是高等学校工科相关专业的一门重要技术基础课。通过本课程的学习,可以使获得正确使用和维护机械设备的基本知识,初步培养学生运用有关设计资料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。

三、本课程的学习方法

本课程是一门实践性和综合性很强的课程,整个学习过程涉及机械制图、理论力学、材料力学、工程材料、金属工艺学以及互换性与技术测量等多学科知识。本书内容的安排是从认识机械入手,分析机器的基本组成、传动系统及零部件的功能,进而引深到机械零部件的设计与计算、机械传动装置设计的一般方法和过程以及常用机构的运动分析和设计。在本课程的学习过程中,对于机械零件,除合理选择材料外,还应着重掌握其工作能力计算和结构设计方法。

对工作能力计算,应重点分析各种零件的工作情况和可能出现的失效形式,确定零件工作能力的计算准则、计算方法和公式。对于公式中出现的各种系数、参数,要理解其物理意义和对设计结果的影响,掌握其使用条件和选取原则。同时应该注意,由于影响零件功能的因素很复杂,而且许多数据是由试验得来的,因此零件尺寸的确定有时不能单纯依赖理论公式计算,还会用到经验公式、半经验公式,甚至采用试算法。

在结构设计方面,要满足结构设计的基本要求,并充分重视结构设计在确定零件形状和尺寸方面的重要性,多做结构设计练习。对于相当多的初学者来讲,结构设计往往难于理论计算,其主要原因是缺少实际锻炼。

此外还应该注意,大部分零件的设计会由于所选材料不同、结构设计差异等诸多因素导致多种设计结果,即可用多种方案来完成同一功能要求。因此,要不断提高综合分析解决问题的能力,学会从多种可能的解答中通过评价找出最佳的设计方案。

对于连杆机构、凸轮机构等常用机构,应注意其非匀速传动的特点,重点分析其运动特性,掌握实现其运动规律的设计方法。

第二节 机械零件的常用材料

机械零件的常用材料分为金属和非金属两大类。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。此外,近年来复合材料的研究与开发,也成为材料科学的一个新方向。下面简要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。

1. 碳素钢

碳素钢的性能主要取决于碳含量,即碳的质量分数。碳含量越高,钢的强度越高,塑性

越低。由于碳素钢生产批量大,价格低,供应充足,一般的机械零件应优先选用。

碳素钢分为碳素结构钢(GB/T 700—2006)和优质碳素结构钢(GB/T 699—2015)。前者主要用于受力不大且基本承受静载荷的零件,其中以Q235、Q275较为常用。这类钢一般用于强度要求不高的零件,故通常不进行热处理。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,常用于受力较大,且受变载荷或冲击载荷作用的零件。

在GB/T 699—2015中,优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示,代表钢中碳的质量分数的平均万分数。如45钢,其碳的平均质量分数为0.45%。对于锰含量较高的优质碳素结构钢,其牌号还要在碳含量数字之后加注符号“Mn”,如40Mn等。碳的平均质量分数低于0.25%的钢称为低碳钢,其抗拉强度和屈服强度低,而塑性好,适用于冲压、焊接加工;碳的平均质量分数在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、键和轴等零件;碳的平均质量分数高于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。

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、韧性和耐磨性;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工艺。由于合金钢价格较高,通常只用于制造重要的或具有特殊性能要求的机械零件。

合金钢分为普通低合金钢、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。在GB/T 3077—2015中,合金结构钢牌号的表示方法是用两位数字表示碳的质量分数的平均万分数,并在其后加注所含各主要合金元素的符号及其质量分数的平均万分数,而且规定:合金元素平均质量分数低于1.5%时,不注含量;当平均质量分数在1.5%~2.5%,2.5%~3.5%,3.5%~4.5%……时,以相应数字2、3、4……表示。例如40SiMn2,其成分的平均质量分数为:碳0.40%,硅低于0.15%,锰1.5%~2.5%。

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,但其减振性和铸造性能均不及铸铁。在GB/T 11352—2009中,铸钢牌号的表示方法是在符号“ZG”后加注两组数字,如ZG 310-570,表示屈服强度最低值为310MPa,抗拉强度最低值为570MPa。

二、铸铁

铸铁和钢都是铁碳合金,区别在于碳含量不同。碳的质量分数高于2%的铁碳合金称为铸铁,反之称为钢。铸铁是脆性材料,其抗拉强度、塑性、韧性均较差,不能进行碾压和锻造;但其减振性和耐磨性较好,成本较低。另外,铸铁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。在 GB/T 9439—2010 中,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,表示抗拉强度最低值为 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。在 GB/T 1348—2009 中,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,表示抗拉强度最低值为 400MPa,伸长率最低值为 15%。

三、铜合金

铜合金是机械零件中最常用的非铁材料(有色金属)。

1. 铸造黄铜

铸造黄铜(ZCuZn38等)是以锌为主要合金元素的铜合金。它具有一定的强度和较高的耐腐蚀性能,常用于制造管件、散热器、垫片以及化工、船舶等行业使用的零件。

2. 铸造青铜

铸造青铜包含铸造锡青铜和铸造铝青铜、铸造铅青铜等。铸造锡青铜(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。

在 GB/T 1176—2013 中,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平均质量分数(%)。

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。橡胶除具有弹性并能缓冲、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。塑料具有耐磨、耐腐蚀、质量轻、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将获得广泛应用。

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、冲击韧性、导热性、耐腐蚀性以及耐磨性、减振性等,

通常以强度为主)、工艺要求(从毛坯到成品均便于制造)和经济性要求(材料及其加工成本均比较低,而且供货方便),并对各种要求进行综合分析比较,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作了适当的介绍。

有关钢的常用热处理工艺见附录 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,连接松动以及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由其工作条件和受载情况决定。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,必要时可查阅相关机械设计参考书。

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到的载荷。计算载荷等于载荷系数 K 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。如果零件强度不够,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, σ 、 τ 分别是危险截面处的最大正应力和最大切应力,是按照计算载荷求得的应力; $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ 分别是材料的许用正应力和许用切应力。

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、质量轻。许用应力的确定,本书主要采用计算法,其基本公式为

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

式中, $\sigma_{\lim}$ 、 $\tau_{\lim}$ 分别是材料的极限正应力和极限切应力; S 是安全系数。

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, 取材料的屈服强度作为极限应力 σ_s ; 对于脆性材料, 取材料的抗拉强度作为极限应力 σ_b 。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 σ_{-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 σ_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 σ_{-1} 或 σ_0 作为材料的极限应力。

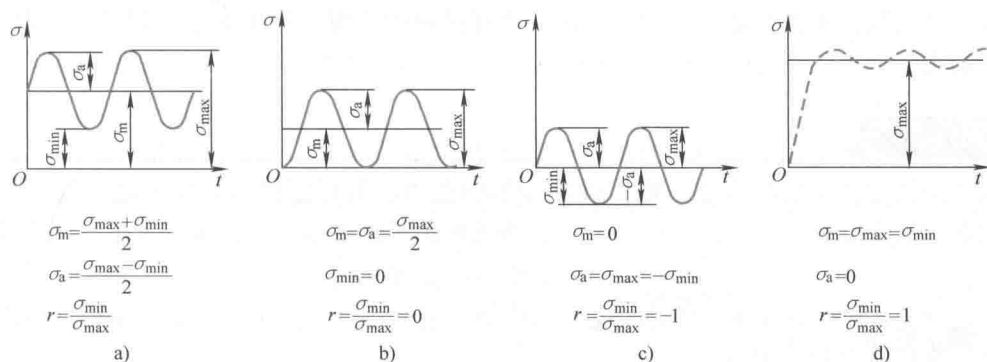


图 1-6 应力

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 对于安全系数, 本书主要采用查表法确定。这类表格是不同的机械制造部门经过长期生产实践, 总结制定出的适合本行业的安全系数 (或许用应力), 具有简单、具体、可靠等优点, 所以应用较广; 缺点是适用范围较窄。查表法的取值已列在各章具体表格中。在无可靠资料直接确定安全系数的情况下, 可用下式计算总的安全系数, 即

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

式中, S_1 是考虑载荷及应力计算的准确性系数, $S_1 = 1 \sim 1.5$; S_2 是考虑材料的均匀性系数, 锻钢或轧钢零件的 $S_2 = 1.2 \sim 1.5$, 铸铁零件的 $S_2 = 1.5 \sim 2.5$; S_3 是考虑零件重要程度的系数, $S_3 = 1 \sim 1.5$ 。

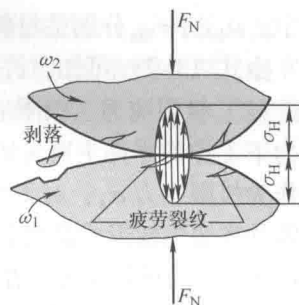
二、接触强度

前面所述机械零件的强度为整体强度。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, 其最大值用 σ_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是交变应力, 通常近似似脉动循环处理。如摩擦轮传动、齿轮传动、滚动轴承等, 在交变应力的反复作用下, 零件表层先是产生疲劳裂纹, 如有润滑油

进入疲劳裂纹,在裂纹口被压封的情况下,裂纹中产生极高的油压而迫使裂纹加速扩展,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少,失去光滑的表面,不但降低承载能力,还会引起振动和噪声。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, $[\sigma_H]$ 是材料的许用接触应力; σ_{Hlim} 是试验材料的接触疲劳强度极限; S_H 是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 、 θ 、 φ 分别是零件工作时的挠度、转角和扭角; $[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ 分别是相应的许用挠度、许用转角和许用扭角。

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间的磨损是不可避免的。在正常情况下, 一个零件的磨损过程大致可以分为图 1-8 所示的三个阶段。

(1) 磨合磨损阶段 该阶段是新机器在运转初期, 通过逐渐增加载荷而迅速磨去零件接触表面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, 磨损率 $\varepsilon = \Delta q / \Delta t$ 逐渐减小, 零件进入稳定磨损阶段。

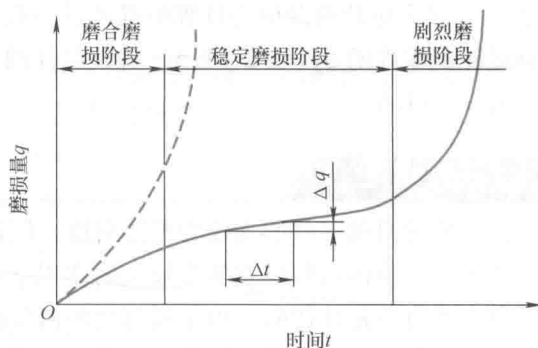


图 1-8 磨损过程

(2) 稳定磨损阶段 该阶段的磨损率 $\varepsilon \approx$ 常数, 零件以平稳而缓慢的速度在磨损, 相应

的时间即为零件的使用寿命。

(3) 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, 零件便进入剧烈磨损阶段。这时, 两个摩擦零件间的间隙很快增大, 温度升高, 机械效率迅速下降, 产生异常的噪声和振动, 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。但若压力过大、相对速度过高或润滑不良, 都会导致磨合磨损阶段的磨损加剧, 并直接转入剧烈磨损阶段, 如图 1-8 中虚线所示, 使零件很快报废。

2. 磨损的基本类型

按磨损机理分, 磨损主要有磨粒磨损、黏着磨损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损四种基本类型。

(1) 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。

(2) 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、轻载时的温升使得接触区润滑油膜破裂, 低速、重载时则不易形成润滑油膜, 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, 这种现象称为黏着磨损, 也称为胶合。严重的黏着磨损会导致两个摩擦零件咬死。

(3) 表面疲劳磨损(疲劳点蚀) 疲劳点蚀发生在零件表层, 属于表面磨损范畴, 故称表面疲劳磨损。

(4) 腐蚀磨损 在摩擦过程中, 摩擦表面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目前也是条件性的, 通常是限制摩擦面间的压强 p 和 p_v 值(详见第十二章第四节)。

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。