



普通高等教育“十二五”规划教材



普通高等教育“十五”国家级规划教材

机械设计基础 (少学时)

第5版

天津大学 李秀珍 主编



网上电子课件

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
普通高等教育“十二五”规划教材

机械设计基础

第5版
(少学时)

主 编 李秀珍
副主编 刘美华
参 编 朱殿华 曲玉峰 孙丹海
 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发的《机械设计基础课程教学基本要求》编写的,其第4版被评定为普通高等教育“十五”国家级规划教材。这次修订在授课内容上又作了一定的补充和修改,更新了大部分国家标准。全书始终贯穿一个从认识机械全貌入手,分析机器的组成、运动关系和通用零部件的功能、结构与设计,直至完成传动装置设计的指导思想,并且侧重于对机械零件及简单机械传动装置设计的剖析。对于连杆、凸轮等非匀速传动机构,作为机械传动的一个分支放在机械传动装置设计之后予以介绍。通过这样的编排,以期更有利于提高学生综合分析问题和机械设计的能力。

全书共十四章,分成四部分:第一部分,第一章绪论概括了机器的组成、零部件的设计要求、材料的选择以及机构具有确定运动的条件等内容;第二部分,从第二章到第十章讲述通用零、部件的设计与计算;第三部分,第十一章综合了机械传动装置的设计方法;第四部分,从第十二章到第十四章为非匀速运动机构的运动分析与设计。在各章中均有重点学习内容指引,并配有相应的例题、习题,以及开式传动装置设计题目和必要的资料,基本可以满足本课程习题和课程设计作业的使用要求。另外,在附录中还分别给出了钢的常用热处理,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。

本书的“电子课件”位于机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)上,向本书授课教师免费提供,请需要在网站中注册后下载。

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/李秀珍主编. —5版. —北京:机械工业出版社,2013.9
普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-44010-9

I. ①机… II. ①李… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH12

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第214550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 焯 责任编辑:余 焯 杨 璇 邓海平
版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟
封面设计:张 静 责任印制:张 楠
北京京丰印刷厂印刷
2013年11月第5版·第1次印刷
184mm×260mm·18印张·1插页·445千字
标准书号:ISBN 978-7-111-44010-9
定价:36.00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

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第5版前言

本书是在普通高等教育“十五”国家级规划教材《机械设计基础》第4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4版的特色和优点,并对本课程的部分内容作了适当的更新和重新编排,重点更加突出,力求基本概念的阐述进一步准确,突出各类零件的综合性、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) 在绪论中增加了与机构运动简图有关的简明表达符号。

2) 把齿轮传动作为匀速传动的重点予以介绍,加深学生对应用最广的啮合传动的理解与应用。

3) 在轴承润滑中对润滑剂的性能和应用作了重点更新介绍,从而加深学生对摩擦磨损和润滑的理解和重视。

4) 增减了少量插图,并适当地调整了部分插图的缩放比例,使其更加协调和清晰。

5) 更新了国家标准。

参加本书修订的有天津大学李秀珍(第一、二、三、四、五章),天津商业大学刘美华(第六、七、八、九、十章),天津大学朱殿华(第十一、十二、十三、十四章、附录A、B、C)。

本书由李秀珍担任主编,刘美华担任副主编,河北工业大学范顺成教授担任主审。此书历经了多次出版与修订,其成功是所有参与编审的教师几十年教学经验的总结,是大家集体智慧的结晶,在此向为本书出版做出过辛勤劳动的所有人员和同仁致以衷心的感谢。由于水平所限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者予以批评指正,对本书的意见请寄天津大学机械工程学院(邮编300072)。

本书的“电子课件”放在机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)上,向本书授课教师免费提供,请需要者在网站中注册后下载。

编者

目 录

第 5 版前言

第一章 绪论	1	第四节 渐开线齿轮正确啮合和连续传动的条件	66
第一节 机器的组成和本课程研究的内容	1	第五节 渐开线齿轮轮齿的切削加工	68
第二节 机械零件的常用材料	5	第六节 轮齿的失效形式和齿轮材料	71
第三节 机械零件的工作能力和计算准则	7	第七节 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	73
第四节 机械零件结构设计的基本要求 and “三化”	11	第八节 斜齿圆柱齿轮传动	78
第五节 平面机构的运动简图	13	第九节 直齿锥齿轮传动	85
第六节 平面机构具有确定运动的条件	18	第十节 齿轮的结构	89
习 题	21	习 题	90
第二章 连接	23	第四章 蜗杆传动	93
第一节 概述	23	第一节 概述	93
第二节 螺纹参数	24	第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	94
第三节 螺旋副的受力、效率与自锁	26	第三节 蜗杆传动的相对滑动速度、效率和润滑	98
第四节 螺纹连接和螺纹连接件	30	第四节 蜗杆和蜗轮的材料及结构	99
第五节 螺纹连接的强度计算	32	第五节 蜗杆传动的受力分析	100
第六节 螺纹连接的结构设计	40	第六节 蜗杆传动的失效形式和工作能力计算	102
第七节 螺旋传动简介	43	习 题	106
第八节 键、花键和过盈连接	47	第五章 轮系	107
习 题	51	第一节 定轴轮系及其传动比计算	108
附表 2-1 普通螺纹的基本尺寸	53	第二节 周转轮系及其传动比计算	109
附表 2-2 梯形螺纹的直径和螺距	54	第三节 轮系的功用	113
附表 2-3 六角头螺栓的基本尺寸	55	习 题	116
附表 2-4 六角头铰制孔用螺栓的基本尺寸	55	第六章 带传动和链传动	118
附表 2-5 I 型六角螺母的基本尺寸	56	第一节 带传动概述	118
附表 2-6 标准型弹簧垫圈的基本尺寸	56	第二节 普通 V 带传动的结构及尺寸参数	120
附表 2-7 普通型平键和键槽尺寸	57	第三节 带传动的工作原理	124
第三章 齿轮传动	59	第四节 普通 V 带传动的设计计算	127
第一节 概述	59	第五节 带传动的张紧装置及安装维护	133
第二节 渐开线及渐开线直齿圆柱齿轮	61	第六节 链传动及其结构	135
第三节 渐开线齿轮传动及齿廓啮合特性	64	第七节 链传动的运动特性与受力分析	139

第八节 滚子链传动的设计计算	141	第一节 弹簧的功用、类型及材料	212
第九节 链传动的正确使用和维护	147	第二节 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的结构、制造与设计	215
习 题	148	习 题	223
第七章 轴	150	第十一章 机械传动装置设计综述	224
第一节 概述	150	第一节 机械设计的基本要求和一般过程	224
第二节 轴的结构设计	153	第二节 电动机的选择	225
第三节 轴的强度计算	158	第三节 机械传动方案的选择	227
习 题	163	第四节 机械传动的运动和动力计算	228
附表 7-1 标准尺寸	165	第五节 机械传动装置设计实例解析	234
第八章 轴承	166	习 题	237
第一节 概述	166	附表 11-1 Y 系列三相异步电动机的机座号与转速、功率及其他技术数据	239
第二节 非液体摩擦滑动轴承的结构和材料	167	第十二章 平面连杆机构	240
第三节 滑动轴承的润滑	170	第一节 铰链四杆机构及其演化	240
第四节 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	172	第二节 平面四杆机构的运动特性	246
第五节 液体摩擦滑动轴承简介	174	第三节 平面四杆机构的设计	250
第六节 滚动轴承的结构、类型和代号	175	习 题	252
第七节 滚动轴承类型的选择	179	第十三章 凸轮机构	254
第八节 滚动轴承的组合设计	180	第一节 凸轮机构的应用和分类	254
第九节 滚动轴承的失效形式和选择计算	184	第二节 从动件的常用运动规律	256
习 题	190	第三节 用图解法绘制盘形凸轮工作轮廓	258
附表 8-1 滑动轴承配合及其极限间隙	191	第四节 凸轮机构设计中应注意的问题	261
附表 8-2 安装滚动轴承的轴和轴承座孔公差带	191	习 题	264
附表 8-3 深沟球轴承	192	第十四章 间歇运动机构	265
附表 8-4 角接触球轴承	193	第一节 棘轮机构	265
附表 8-5 圆锥滚子轴承	195	第二节 槽轮机构	269
第九章 联轴器和离合器	196	习 题	271
第一节 常用联轴器	196	附 录	272
第二节 离合器	204	附录 A 钢的常用热处理工艺	272
习 题	207	附录 B 润滑油和润滑脂	273
附表 9-1 凸缘联轴器	207	附录 C 机械设计课程作业图例	280
附表 9-2 LT 型弹性套柱销联轴器	209	参考文献	282
附表 9-3 LX 型弹性柱销联轴器	210		
第十章 弹簧	212		



第一章 绪 论

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
4. 平面运动副的分类及其表示方法
5. 平面机构具有确定运动的条件

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

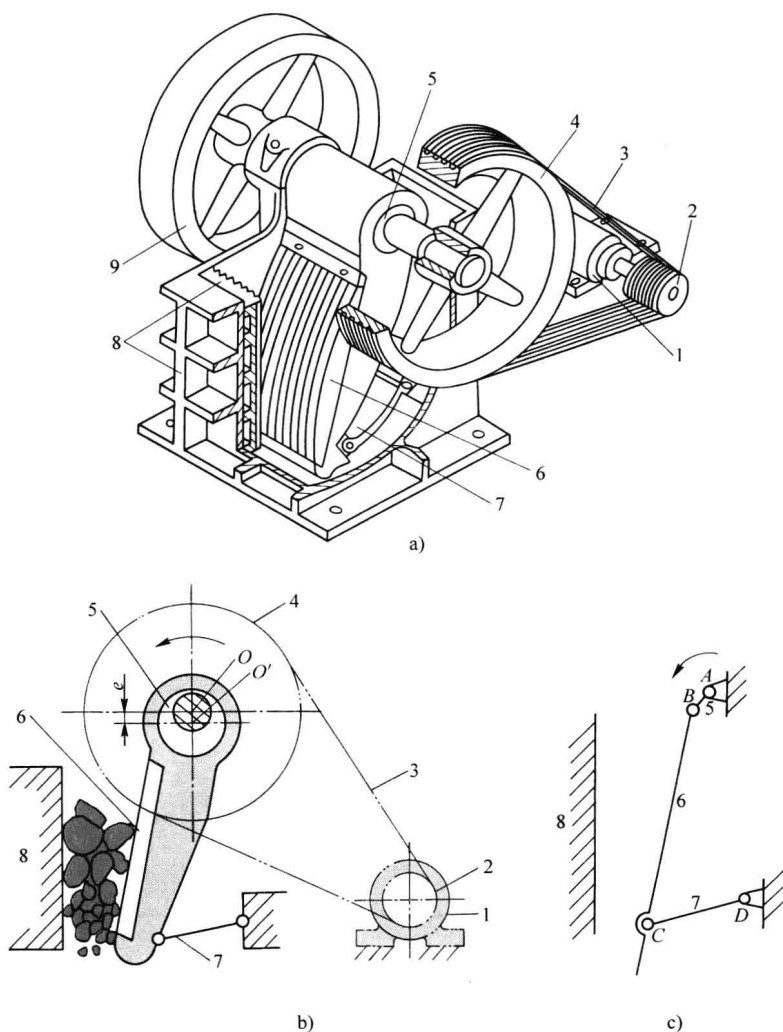


图 1-1 颞式破碎机

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

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 所示的动颞就是动颞体 1 和动颞板 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（动颞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。

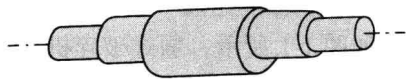


图 1-2 偏心轴

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。

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，在一部机器中，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 中多处斜影线表示的机架，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、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。

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。

在图 1-1 所示颚式破碎机中，原动机是电动机，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和执行部分，如水泵、排风

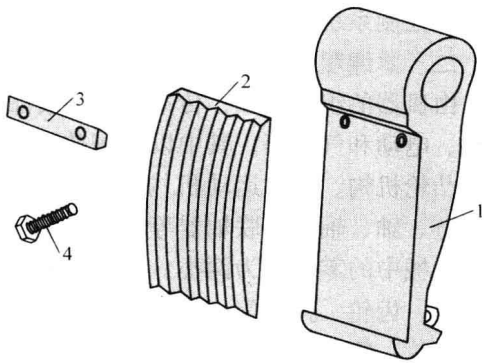


图 1-3 颚式破碎机的动颚
1—动颚体 2—动颚板 3—压板 4—螺钉

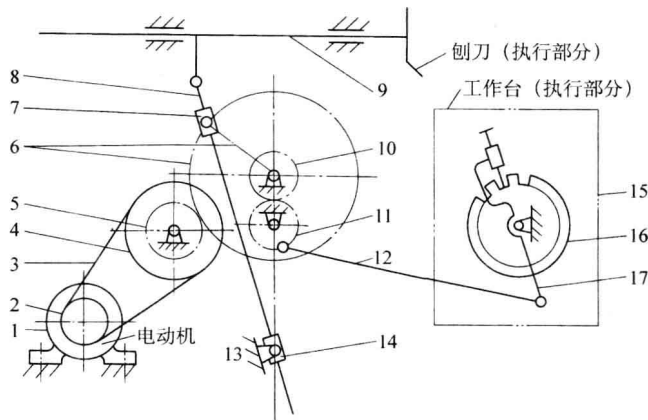


图 1-4 牛头刨床主传动系统简图

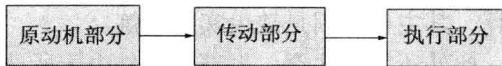


图 1-5 机器的基本组成

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、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有关专业的一门重要技术基础课。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,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,而会用到经验公式、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,大部分零件由于所选材料的不同、结构设计的差异等诸多因素都会导致多种设计结果,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与解决问题的能力,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,也已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—1999)。前者主要用于受力不大而且基本上是承受静载荷的零件,其中以Q235、Q275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力学性能和化学成分,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。

在GB/T 699—1999中规定优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示,代表钢中碳的平均含量。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,其抗拉强度和屈服点低,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%之间的钢称为中碳钢,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。由于合金钢价格较贵,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—1999中规定合金结构钢牌号的表示方法是用两位数字表示碳的含量,并在其后加注所含各主要合金元素的符号及其含量,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，但其减振性和铸造性能均不及铸铁。在 GB/T 11352—2009 中规定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，表示屈服强度为 310MPa，抗拉强度为 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 中规定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 中规定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非铁材料（有色金属），分为铸造黄铜和铸造青铜两类。

1. 铸造黄铜

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、船用等零件。

2. 铸造青铜

铸造青铜又分普通青铜（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。

在 GB/T 1176—1987 中规定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， σ_{lim} 、 τ_{lim} 分别是材料的极限正应力和切应力； 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 σ_s 作为极限应力；对于脆性材料，取材料的抗拉强度 R_m 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 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 σ_{-1} 或 σ_0 作为材料的极限应力。

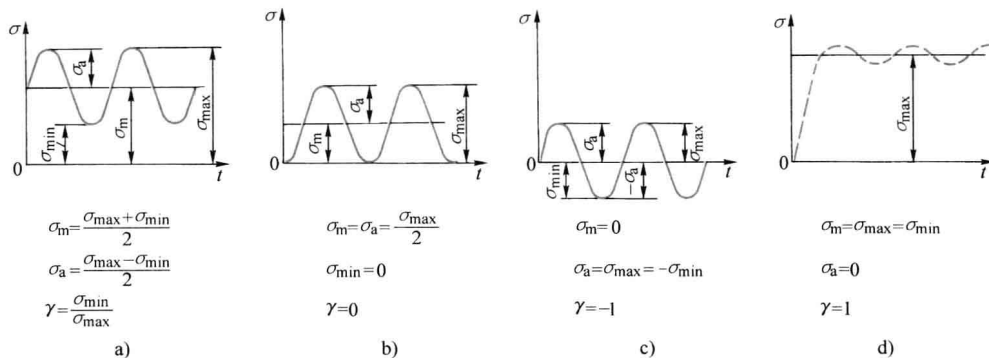


图1-6 应力的种类

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 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，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, 通常按近似脉动循环处理。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、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 的能量消耗在摩擦上; 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

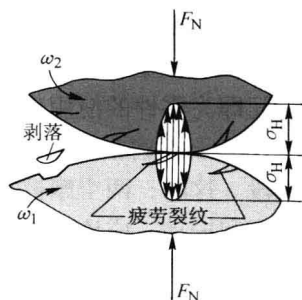


图 1-7 接触应力与疲劳点蚀

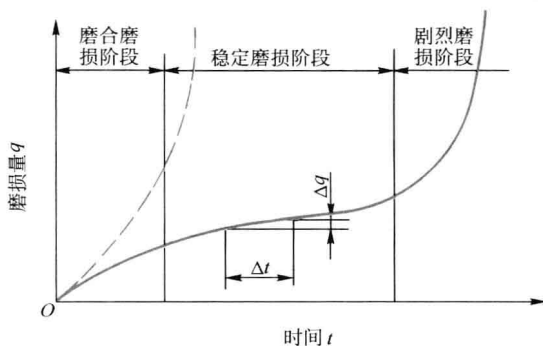


图 1-8 磨损过程

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。

(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。但若压强过大、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、粘着磨损、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) 粘着磨损（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粘着。在这种情况下，两表面相对滑动，粘着撕脱，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。严重的粘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。润滑脂的粘度大，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。气体的粘度低，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 pv 值（详见第八章第四节）。

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。

第四节 机械零件结构设计的基本要求和“三化”

机械的功能是靠零件具体结构实现的。即使零件工作能力满足要求，但结构设计不当，同样达不到预期的功能。事实上，在设计中常常需要先作初步的结构构思，然后将其抽象为数学模型才能进行零部件的计算。例如，受弯曲应力作用的轴，计算所需力的作用点位置、支点距离等，通常都是由初步结构设计确定的。因此，结构与零件工作能力计算同等重要。下面主要介绍零件结构设计的基本要求和“三化”概念。

一、机械零件结构设计的基本要求

(1) 构形简单 这是指在实现零件预期功能的前提下，尽可能采用较少的几何量和简单的形体要素，以简化零件的结构。这样的结构既便于零件毛坯的成形，又易于提高加工质量。例如，平面、圆柱面都易于制造并可得到较高的加工精度。

(2) 工艺性好 工艺性之一是指制造工艺，即要求零件从毛坯制造到机械加工整个过程都能方便、经济地制造出来，尤其要杜绝不可制造的设计结果产生。毛坯制造方法有铸造、锻造、焊接等，应视零件的使用要求、生产批量及制造条件而选择。不同的制造方法有其特有的制造要求，零件的结构要满足毛坯制造方法的要求。例如，铸造零件要求壁厚均匀，壁的连接处设置较大的过渡圆角等。此外，还应考虑有利于造型、起模、清理等环节，力求既工艺简单，又可保证铸件的质量。对于机械加工，首先应考虑到零件加工的可行性和在机床上装夹的方便性。图 1-9a 所示为难以在机床上固定的结构，而图 1-9b 所示结构则便于在机床上固定，进行机械加工。图 1-10a 所示零件上的螺纹孔无法加工，而图 1-10b 所示则为可加工结构。就机械加工而言，结构设计还应考虑如何保证零件的加工精度、减少加工面积以及减少刀具的规格和更换次数等因素。

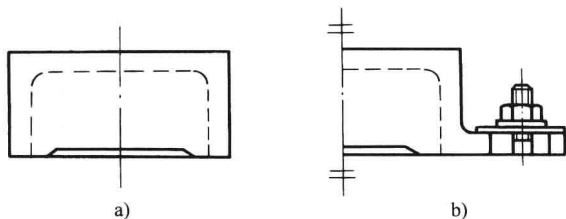


图 1-9 避免难以在机床上固定的结构

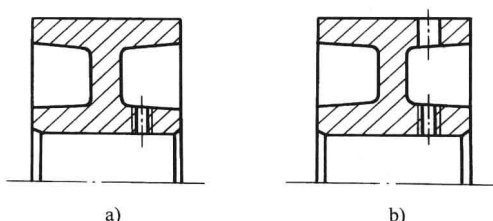


图 1-10 避免无法加工的结构

工艺性之二是指装配工艺，即要求零件的组合结构装拆方便。图 1-11a 所示零件结构因螺钉安装空间不够而无法装配，图 1-11b 所示则为合理结构。图 1-12 所示为气缸盖与缸体的连接，显然图 1-12b 所示结构拆卸要容易得多。

总之，良好的结构工艺性既可降低产品的制造成本，又有利于提高产品的质量。

(3) 受力合理 零件合理的受力包括受力平衡，传力路线简捷、合理，符合等强度原则，应力集中小以及满足刚度要求等。受力合理可以减小零件的尺寸和质量，并使材料得到充分利用。如图 7-8b 和图 7-9b 所示的布置与结构，都使轴的受力更为合理。

(4) 充分利用不同材料的性能 这是要求零件的结构应有利于材料性能的发挥。例如，在蜗杆传动中，人们常把尺寸较大的蜗轮设计成组合式结构。轮心用抗压强度较高而价格较