

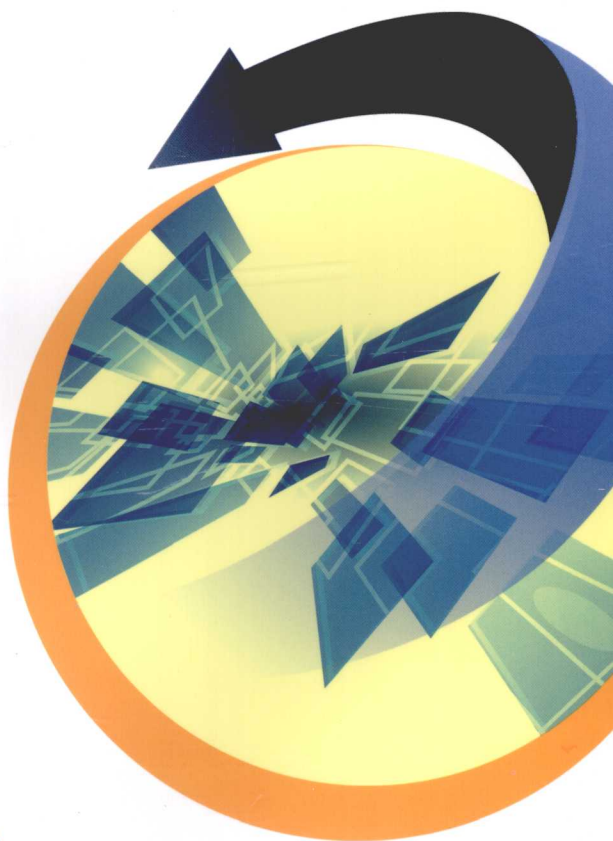


普通高等教育机电类专业规划教材
河南省“十二五”普通高等教育规划教材

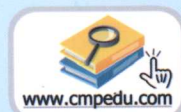
机械设计基础

The Mechanical Design Basis

上官同英 薛培军◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件及习题答案



普通高等教育机电类专业规划教材
河南省“十二五”普通高等教育规划教材
经河南省普通高等教育教材建设指导委员会审定

机械设计基础

主 编 上官同英 薛培军
副 主 编 苗雅丽
参 编 刘冬敏 刘继军 刘瑞娟 孟雅俊
审定人员 胡修池

机械工业出版社

本书以培养学生初步建立工程概念、了解和掌握机械基础知识、具备设计简单机械传动装置的能力为目标,将机械原理和机械设计的内容有机地整合,加强了机械设计理论和实践的联系。全书从机械系统的角度,重点阐明了机械系统中常用机构、一般工作条件下的常用参数范围内的通用机械零部件的组成及工作原理、功能特点、选用原则、基本设计计算方法等内容,共分为13章,围绕每章所介绍内容,都配有一定量的习题供选用。

本书主要用作高职高专院校、成人高校的机械类和近机械类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、中专院校师生参考。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网(<http://www.cmpedu.com>)注册后免费下载,或发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com 索取。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/上官同英等主编. —北京:机械工业出版社,2016.7

普通高等教育机电类专业规划教材 河南省“十二五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-53842-4

I. ①机… II. ①上… 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(2016)第120124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:王海峰 王英杰 责任编辑:王海峰 王英杰 张丹丹

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:鞠杨 责任印制:李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·459千字

0001—2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-53842-4

定价:39.00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

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

本书是根据高等职业院校机械类和近机械类各专业“机械设计基础”课程的教学改革需要,体现高职院校特色专业建设和精品课程建设的成果,结合编者多年的教学实践经验和同行专家的意见编写而成的。

本书突出高等职业教育的特点,按照职业岗位技能要求,以培养应用型人才为目标,重点介绍机械系统中常用机构、一般工作条件下的常用参数范围内的通用机械零部件的组成及工作原理、功能特点、选用原则、基本设计计算方法等内容,教会学生在设计中如何正确使用标准、规范和手册等设计资料。考虑到在实际工作中,高职学生大多在一线工作,所以本书删除了许多公式理论的推导,直接切题,从实际出发,使学生建立起能够满足工作需要的知识结构和能力结构。

本书在编写过程中注重突出以下特点:

(1) 注重知识的应用性和技术性,理论联系实际。本书摒弃了传统教材简单地将机械原理和机械设计基础内容组合在一起的做法,而是有机地将这两部分内容结合成一个整体,并尽量保持其原学科的系统性。同时在每章中根据其应用角度,设计了适量的例题和习题,加强了学生实际应用能力的培养。

(2) 知识深浅合理,语言简洁易懂。在本书的编写中充分考虑了高职高专学生的认知水平和已有知识、技能、经验,在语言表达上力求通俗、新颖,便于讲授和自学;在内容上以“必需”“够用”为原则,以讲清概念、强化应用为重点,对课程的知识体系进行了整体优化,精选整合教学内容,突出编写特色。

(3) 全书采用最新国家标准。机械设计基础这门课程涉及的技术标准较多,像制图、公差、标准件等标准。本书所涉及的标准全部是现行的最新标准,让学生更好地适应岗位要求。

全书共分13章。参加本书编写的有刘冬敏(第1、8章)、刘瑞娟(第2、3章,10.1~10.4)、刘继军(第4、11章)、苗雅丽(第5章,6.12~6.13、13.2~13.3、10.5)、上官同英(6.1~6.11、6.14)、薛培军(第7章)、孟雅俊(第9、12章、13.1)。本书由上官同英、薛培军担任主编,苗雅丽担任副主编。

在本书编写过程中,编者参阅和引用了部分院校的教材、有关机械设计手册和网上相关精品课程资料,谨向相关作者和出版社表示诚挚的谢意。郑州机械研究所的教授级高级工程师杨顺成对本书的编写提出了很多宝贵意见和建议,在此深表感谢。

由于编者的水平有限,虽然几易其稿,但仍难免存在错误和不当之处,恳请广大读者和同仁批评指正。

编者

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

- 1.1 本课程的研究对象 1
 - 1.1.1 机械 1
 - 1.1.2 机器和机构 2
 - 1.1.3 构件和零件 4
- 1.2 课程的内容、地位、学习目的和方法 5
 - 1.2.1 课程的内容 5
 - 1.2.2 课程的地位 5
 - 1.2.3 学习本课程的目的和方法 5
- 1.3 机械零件的失效形式及设计准则 6
 - 1.3.1 机械零件的常见失效形式 6
 - 1.3.2 机械零件的设计准则 7
- 1.4 机械零件常用材料及其选用原则 9
 - 1.4.1 机械零件常用材料 9
 - 1.4.2 机械零件常用材料的选用原则 10
- 1.5 机械的摩擦、磨损及润滑 11
 - 1.5.1 摩擦与磨损 11
 - 1.5.2 润滑与密封 13
- 1.6 机械零件设计的工艺性及标准化 14
 - 1.6.1 机械零件设计的工艺性 14
 - 1.6.2 机械零件设计的标准化 15
- 1.7 机械设计应满足的基本要求及一般程序 16
 - 1.7.1 机械设计的基本要求 16
 - 1.7.2 机械设计的一般程序 17
- 小结 17
- 思考与习题 18

第 2 章 平面机构及其自由度 20

- 2.1 机构的组成 20

- 2.1.1 运动副及其分类 20
- 2.1.2 运动链和机构 21
- 2.2 平面机构的运动简图 22
 - 2.2.1 构件和运动副的表示方法 22
 - 2.2.2 平面机构运动简图的绘制 24
- 2.3 平面机构自由度计算 26
 - 2.3.1 平面机构自由度 26
 - 2.3.2 机构具有确定运动的条件 28
 - 2.3.3 计算机构自由度时应注意的几种特殊情况 28
- 小结 33
- 思考与习题 33

第 3 章 平面连杆机构 35

- 3.1 铰链四杆机构的基本形式及其演化 35
 - 3.1.1 平面四杆机构的组成 35
 - 3.1.2 铰链四杆机构的基本形式 36
 - 3.1.3 铰链四杆机构的演化 37
- 3.2 平面四杆机构曲柄存在的条件 41
- 3.3 平面四杆机构的基本工作特性 42
 - 3.3.1 急回运动 42
 - 3.3.2 压力角和传动角 43
 - 3.3.3 死点位置 44
- 3.4 平面四杆机构的设计简介 46
 - 3.4.1 平面四杆机构设计的基本问题 46
 - 3.4.2 按给定的行程速度变化系数 K 设计四杆机构 46
 - 3.4.3 按给定的连杆位置设计四杆机构 48
 - 3.4.4 按给定两连架杆的对应位置设计四杆机构 48
- 小结 50
- 思考与习题 51



6.10 标准直齿圆柱齿轮传动的强度	
计算	105
6.10.1 轮齿的受力和计算载荷	105
6.10.2 齿面接触疲劳强度计算	107
6.10.3 齿根弯曲疲劳强度计算	109
6.10.4 许用应力	111
6.11 直齿圆柱齿轮传动设计	116
6.11.1 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的主要参数和精度等级的选择	116
6.11.2 齿轮传动的设计实例	117
6.12 标准斜齿圆柱齿轮传动及其强度	
计算	120
6.12.1 斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成及啮合特性	120
6.12.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸计算	120
6.12.3 斜齿轮机构的正确啮合及连续传动条件	122
6.12.4 斜齿圆柱齿轮的当量齿数	123
6.12.5 平行轴斜齿轮传动的主要优缺点	124
6.12.6 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度设计	124
6.13 锥齿轮传动	129
6.13.1 直齿锥齿轮传动特性	129
6.13.2 直齿锥齿轮的齿廓曲面、背锥和当量齿数	130
6.13.3 锥齿轮的传动	131
6.13.4 直齿锥齿轮传动的主要参数与几何尺寸计算	131
6.13.5 直齿锥齿轮轮齿受力分析	132
6.13.6 直齿锥齿轮传动强度计算	133
6.14 齿轮的结构、润滑和精度	134
6.14.1 齿轮的结构设计	134
6.14.2 齿轮传动的润滑	136
小结	137
思考与习题	139
第7章 蜗杆传动	143
7.1 蜗杆传动的特点、类型和应用	143
7.2 圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸计算	145
7.2.1 蜗杆传动的主要参数	145
7.2.2 蜗杆传动的几何尺寸计算	148
7.2.3 蜗杆蜗轮正确啮合条件	148
7.2.4 蜗杆传动中蜗轮旋向和转动方向的判定	149
7.3 蜗杆传动的失效形式、计算准则、材料选择和精度	149
7.3.1 蜗杆传动的失效形式、计算准则	149
7.3.2 蜗杆传动的材料选择和精度	149
7.4 蜗杆传动的强度计算	150
7.5 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	153
7.6 蜗杆蜗轮的结构	155
小结	158
思考与习题	159
第8章 轮系	161
8.1 轮系的分类	161
8.1.1 定轴轮系	161
8.1.2 周转轮系	162
8.1.3 混合轮系	162
8.2 轮系的传动比	162
8.2.1 定轴轮系传动比的计算	163
8.2.2 周转轮系传动比的计算	165
8.2.3 混合轮系传动比的计算	167
8.3 轮系的功能	169
小结	172
思考与习题	172
第9章 带传动	175
9.1 带传动的类型、特点和应用	175
9.1.1 带传动的类型	175
9.1.2 带传动的特点和应用	176
9.1.3 带传动的主要形式	176
9.2 V带和V带轮	177
9.2.1 V带的结构和尺寸标准	177
9.2.2 普通V带轮的结构设计	179
9.3 带传动的工作能力分析	181
9.3.1 带传动中的受力分析	181
9.3.2 带的应力分析	183
9.3.3 带的弹性滑动和打滑	184
9.4 V带的标准及其传动设计	185

9.4.1 传动的主要失效形式和设计 准则	185	11.3.1 轴的结构设计原则	216
9.4.2 V带传动设计	188	11.3.2 装配方案的拟订与轴的结构 组成	216
9.5 V带传动的张紧装置及维护	192	11.3.3 轴上零件的定位及固定	216
9.5.1 常见的张紧装置	192	11.3.4 轴的结构工艺性	218
9.5.2 带传动的安装与维护	193	11.3.5 提高轴疲劳强度的措施	219
小结	194	11.4 轴的强度计算	219
思考与习题	195	11.4.1 按抗扭强度估算最小轴径	219
第10章 链传动	196	11.4.2 弯扭合成强度计算(按弯扭 组合校核强度)	220
10.1 链传动的组成、类型和特点	196	11.5 轴的刚度计算	221
10.1.1 链传动的组成	196	11.6 轴的设计实例分析	222
10.1.2 链传动的特点及应用	196	小结	227
10.1.3 链传动的类型	197	思考与习题	227
10.2 滚子链的结构和标准	197	第12章 轴承	230
10.2.1 滚子链的结构	197	12.1 轴承的作用和分类	230
10.2.2 滚子链的标准	198	12.2 滚动轴承的结构、类型和特点	230
10.2.3 链轮	199	12.2.1 滚动轴承的结构	231
10.3 链传动的运动特性	201	12.2.2 滚动轴承的类型和特点	231
10.3.1 链传动的运动不确定性	201	12.3 滚动轴承的代号及类型选择	234
10.3.2 链传动的受力分析	203	12.3.1 滚动轴承的代号	234
10.4 滚子链传动的设计计算	203	12.3.2 滚动轴承类型的选择原则	236
10.4.1 链传动的失效形式	204	12.4 滚动轴承的受力分析、失效形式及 计算准则	237
10.4.2 额定功率曲线	204	12.4.1 滚动轴承的受力分析	237
10.4.3 设计计算准则	204	12.4.2 滚动轴承的失效形式和设计 准则	238
10.4.4 链传动的主要参数选择及设计 步骤	206	12.5 滚动轴承的寿命计算和静强度 计算	238
10.5 链传动的布置、张紧及润滑	208	12.5.1 轴承的基本额定寿命和基本 额定动载荷	238
10.5.1 链传动的布置	208	12.5.2 滚动轴承的寿命计算	239
10.5.2 链传动的张紧	208	12.5.3 滚动轴承的当量动载荷计算	241
10.5.3 链传动的润滑	208	12.5.4 角接触轴承的轴向载荷计算	242
小结	210	12.5.5 滚动轴承的静强度计算	245
思考与习题	211	12.6 滚动轴承组合设计	245
第11章 轴	212	12.6.1 轴承套圈的轴向固定	245
11.1 轴的功用和类型	212	12.6.2 轴承套圈的周向固定和配合	246
11.1.1 轴的功能和分类	212	12.6.3 轴系组件的轴向固定	247
11.1.2 轴设计的基本要求	213	12.6.4 滚动轴承组合结构的调整	248
11.2 轴的材料	214	12.6.5 滚动轴承的安装与拆卸	249
11.2.1 轴的常用材料	214	12.6.6 轴承的润滑	250
11.2.2 轴的材料选择	214		
11.3 轴的结构设计	215		



12.6.7 轴承的密封	253	13.1.2 螺纹联接的常用类型、特点及 应用	265
12.7 滑动轴承	254	13.1.3 螺栓联接的强度计算	268
12.7.1 滑动轴承的应用、类型及 选用	254	13.1.4 螺栓组联接的结构设计	273
12.7.2 滑动轴承的结构形式	255	13.2 键、销联接	274
12.7.3 轴瓦结构和轴承材料	257	13.2.1 键联接	274
12.7.4 滑动轴承的润滑	259	13.2.2 花键联接	278
小结	260	13.2.3 销联接	279
思考与习题	261	13.3 联轴器与离合器	280
第 13 章 机械联接	262	13.3.1 联轴器	280
13.1 螺纹联接	262	13.3.2 离合器	286
13.1.1 螺纹的常用类型、特点及主要 参数	263	小结	288
		思考与习题	289
		参考文献	290

第1章 绪论



学习目标

1. 明确本课程的研究对象和内容。
2. 理解机器、机构的特征和组成原理，掌握机构和机器的区别。
3. 明确本课程的地位和学习任务，掌握正确的学习方法。
4. 了解机械零件的失效形式及设计准则、机械零件常用材料及其选用原则。
5. 了解机械摩擦、磨损的概念及常用润滑方式。
6. 了解机械零件设计的工艺性及“三化”意义。
7. 了解机械设计的基本要求和一般程序。

1.1 本课程的研究对象

机械设计基础课程的研究对象是机械。机械是机器和机构的总称。

1.1.1 机械

机械是人类用以转换能量和借以减轻体力或脑力劳动、提高生产率的重要工具。当今社会高度的物质文明是以近代机械工业的飞速发展为基础建立起来的，机械工业是国民经济的支柱工业之一，也是社会生产力发展水平的重要标志。

人类在长期的生产实践中创造和发展了机械，如图 1-1、图 1-2 所示。远在古代，就已将杠杆、斜面、滑轮应用到蒸汽机、内燃机、电动机的发明上。中国是世界上机械发展最早的国家之一。中国古代在机械方面有许多发明创造，在动力的利用和机械结构的设计上都有自己的特色。许多专用机械的设计和应用，如指南车、地动仪和记里鼓车等，均有独到之处。

现代机械在社会生活的各个领域都被广泛应用，如卫星、航天机器人等使探索太空的脚步更轻盈；汽车、飞机等拉近了人们相聚的距离；精密的数控机床和测量装置使生产的产品形状更美、性能更好；计算机、打印机使工作的效率更高；洗衣机、缝纫机等把人们从琐碎的家务劳动中解放出来……所有的这一切都表明：现代机械不仅是人体力的延伸，而且也是人脑力的延伸！机械科学与技术的发展或许是人们限定思维所难以展望的，但人们在机械创新的漫漫征程中所积累的机械设计基础知识为人们提供了认识和改造客观世界的基础。

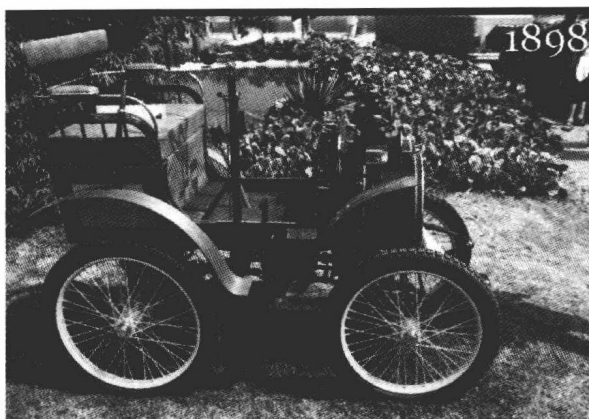


图 1-1 1898 年问世的“雷诺”牌汽车

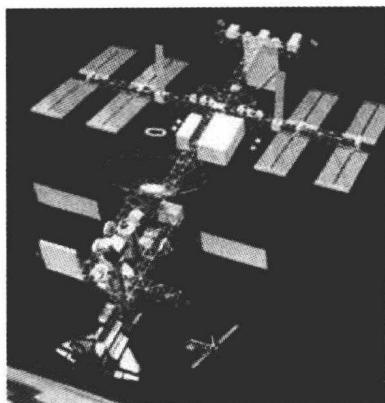


图 1-2 国际太空站

1.1.2 机器和机构

1. 机器的组成与特征

机器的种类繁多，根据工作类型的不同，一般可以将机器分为动力机器、工作机器和信息机器三大类。动力机器的功用是将某种能量转换成机械能，或将机械能转换成其他形式的能量，如内燃机、电动机等；工作机器的功用是完成有用的机械功或搬运物品，如金属切削机床、起重机、运输机和各种食品加工机械等；信息机器的功用是完成信息的传递和变换，如数码相机、打印机、传真机等。

虽然种类繁多，但就其组成而言，一台完整的机器主要有以下几个部分：

(1) 原动机部分装置 原动机部分装置是机器的动力来源，其作用是把其他形式的能转变为机械能，以驱动机器运动并做功，如电动机、内燃机。内燃机主要用于移动机械，如汽车、农业机械等，大部分现代机器的原动机采用电动机。

(2) 执行部分装置 执行部分装置是直接完成机器预定功能的部分，其作用是利用机械能去变换或传递能量、物料、信号，如机床的主轴和刀架、起重机的吊钩、工业机器人的手臂等。

(3) 传动部分装置 传动部分装置是将动力部分的运动和动力传递给执行部分的中间环节，其作用是把原动机的运动形式、运动和动力参数转变为工作部分所需的运动形式、运动和动力参数，如减速器将高速转动变为低速转动，螺旋机构将旋转运动转换成直线运动等。

(4) 控制系统及辅助装置部分 控制系统用来控制机械的其他部分，使操作者能随时实现或停止机器的各种预期功能，如机器的开停、运动速度和方向的改变及各执行装置间的动

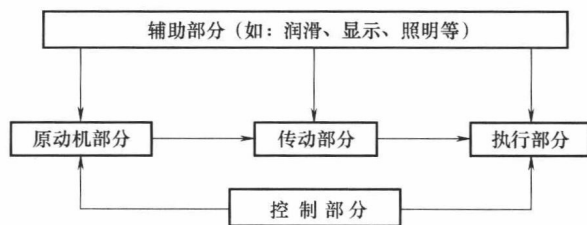


图 1-3 机器的组成

脑力劳动。

同时具备上述三个特征的实物组合称为机器。

2. 机构

在图 1-4 所示的内燃机中，活塞、连杆、曲轴和缸体（连同机架）组合起来，将活塞的往复移动变成曲轴的连续转动；凸轮、进排气推杆和机架的组合，可将凸轮的连续转动变为进排气阀推杆的往复移动，且从动推杆在凸轮廓线的控制下实现预期的运动规律。在工程实际中，人们常常把这些由若干实物用一定连接方式组成，用来传递力、运动或转换运动形式的具有确定相对运动的系统，称为机构。

由此可以看出，机构只具有机器的前两个特征。

图 1-4 所示的内燃机中，其主体部分是曲柄滑块机构，进排气控制部分是凸轮机构，传动部分是齿轮机构，所以整台内燃机是由齿轮机构、凸轮机构和连杆机构等组合而成的。像这样的一部机器是多种机构的组合体，但有的机器也可能只含有一个最简单的机构，例如人们所熟悉的发电机，就是一个只由定子和转子所组成的基本机构。从机器的运动原理角度分析，机器的主体通常由一个或几个机构组成，而机构则是机器的运动部分，在机器中仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。

若撇开机器在做功和转换能量方面所起的作用，仅从结构和运动的观点来看，机器与机构之间并无区别。因此，通常把机器和机构统称为机械。但机械与机器在用法上略有不同，“机器”常用来指一个具体的概念，如内燃机、压缩机、拖拉机等；而“机械”常用在更广泛、更抽象的意义上，如机械化、机械工业、农业机械等。

机器的种类很多，但组成机器的机构并不太多。各种机器中普遍使用的机构称为常用机构，如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等。本书主要介绍常用机构。

1.1.3 构件和零件

机器中的各个机构是通过有序的运动和动力传递来最终实现功能变换，完成预期的工作过程，所以从机械实现预期运动和功能的角度来看，机构由一些相对独立运动的单元体组成，这些作为一个整体参与机构运动的刚性单元（即运动单元）称为构件。从制造加工的角度来看，机构由许多不可拆分的独立加工的基本制造单元体组成，这些单元体称为零件，如单个的齿轮、凸轮等。通常为实现某一功能把一组零件组合起来而形成的独立装配体称为部件，如联轴器、减速器、滚动轴承等。

构件可以是单一的零件，也可以是若干零件的刚性组合体。如图 1-4 所示内燃机中的齿轮，它一般用平键与轴刚性地连接在一起，工作时，齿轮、键和轴之间无相对运动，而成为一个运动的整体，也就是一个构件，因此，构件是机构中最小的运动单元，零件是最小的制造单元。

零件和部件统称为零部件，机械中的零部件按其功能特点可分为两类，一类是通用零部件，指在各种机器中都被普遍使用的零部件，如螺栓、齿轮、轴、滚动轴承等；另一类是专用零部件，指仅在某些特定机器中才能用到的零部件，如曲轴、吊钩、叶片等。

应该明确的是：机器是由机构和零部件组成的整体，设计出的机器的功能大小、性能好坏完全取决于所选择或设计的机构和零部件，组成机器的各个机构和零部件是互相关联、彼此影响的，它们必须受到全局的制约，共同作用实现机器预期的各项功能。所以在设计时，

只有具备全局的设计观念,才能正确地设计或选择出恰当的机构和零部件组成满足要求的机器。

1.2 课程的内容、地位、学习目的和方法

1.2.1 课程的内容

本课程的基本内容是将机械专业的两大专业基础课程,即机械原理和机械零件设计中的基本知识加以有机的组合,综合应用各先修课程的基础理论知识,结合生产实际知识,介绍机械中常用机构的组成原理、传动特点、运动特性、设计的基本理论和方法;同时研究一般工作条件下的常用参数范围内的通用零部件的工作原理、结构特点、应用和基本设计理论、方法,研究机械设计的一般原则、设计步骤及设计过程中如何运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料,研究常用零部件的选用和维护等共性问题以及有关的国家标准和规范。

1.2.2 课程的地位

本课程属于机械类、机电类和近机类专业的一门必修技术基础课。本课程一方面要综合运用从理论力学、材料力学、金属工艺学、公差配合、机械制图等课程中所学到的知识,解决机械设计中的问题,较之以前的先修课程更接近工程实际;另一方面,本课程又不同于机械制造技术、数控编程与操作等专业课程,它研究的是各种机械所具有的共性问题,是从基础课到专业课之间的联系环节,起着承上启下的作用,在机械类和机电类专业的课程体系中占有非常重要的位置。

1.2.3 学习本课程的目的和方法

1. 学习本课程的目的

在科学技术飞速发展的今天,掌握机械设计的基本知识、基本理论和基本设计技能不仅是机械设计专业技术人员必备的基本素质,也是各类工程技术人员必须具备的基本素质,只是专业化程度不同而已,只有拓宽知识面才能触类旁通。“机械设计基础”课程就是一门担负着培养学生具有一定机械基础知识和初步机械设计能力的专业技术基础课程。

通过本课程的学习,学生应达到以下基本要求:

- 1) 掌握常用机构的性能、工作原理、应用场合、选择原则、设计方法等基础知识。
- 2) 熟悉通用零部件的工作原理、结构特点,掌握常用机械零件的类型、代号等基础知识。
- 3) 学会使用手册和有关规范,初步具备设计机械传动装置和简单机械的能力。
- 4) 能够分析和处理机械中常用机构和通用零部件经常发生的一般故障,获得常用机械设备正确使用与管理维护以及故障分析等方面的一些基本知识。
- 5) 为学习有关专业机械设备和参与应用型设计工作奠定必要的基础。

在学习的过程中,不断提高分析能力和综合能力,特别要注重实践能力和创新能力的培养,加强技能训练,全面提高自身素质和综合职业技能,为今后从事机械技术工作打下基础。

2. 学习本课程的方法

要想学好本课程就要多观察、多分析日常生活和工程实践中的机械实例,要理论联系实际。深入到工厂了解和熟悉生产一线常用零部件的材料、加工方法、选择原则及设备的维护方法等生产实践知识;同时要明确设计并非简单的计算;更要认清范例并非标准。由于工程实际中的问题非常复杂,很难用纯理论的方法来解决,因此,常常采用一些经验公式、数据以及简化计算的方法,这导致了设计计算结果的多样性,所以设计结果并不是唯一的。

1.3 机械零件的失效形式及设计准则

机械零件在预定的时间内或规定的条件下,丧失预定功能或预定功能指标降低到许用值以下的现象,称为失效。零件出现失效将直接影响机器的正常工作,但失效并不等于破坏。有些零件(如齿轮、轴承等)在已出现表面失效的情况下,还能继续运转,但其工作不安全,或虽仍能安全工作,但工作状况却不能达到预定满意的指标。

零件的失效形式与许多因素有关,具体取决于该零件的工作条件、材质、受载状态及所产生的应力性质等多种因素。即使是同一种零件,由于材质及工作情况不同,也可能产生不同的失效形式,如轴工作时,由于受载情况不同,可能出现断裂、塑性变形过大、磨损等失效形式。为保证机械按预定的功能指标正常工作,就要求机械中的各零件都有一定的对抗失效的能力,因此研究机械零件的失效及其产生的原因对机械零件设计具有重要意义。

1.3.1 机械零件的常见失效形式

零件常见的失效形式主要有:断裂、表面破坏、过大的残余变形和破坏正常工作条件所引起的失效。

1. 断裂

断裂是严重的失效,有时会导致严重的人身和设备事故。机械零件的断裂主要有以下两种形式:

1) 在工作载荷的作用下,特别是冲击载荷的作用下,一些零件会由于某一危险截面上的应力超过其强度极限而发生断裂,这种断裂称为整体断裂,一般多发生于脆性材料。

2) 在循环交变应力的作用下,零件危险截面上的应力超过其疲劳强度而发生断裂,称为疲劳断裂。它是大多数机械零件的主要失效形式之一。

2. 过大的残余变形

零件承受载荷工作时,会发生弹性变形,如弯曲变形、扭转变形、拉伸变形等。在允许范围内的微小弹性变形,对机器的工作影响不大。但过量的弹性变形,会影响机器和零件的正常工作,甚至会造成较强的振动,致使零件损坏。如机床主轴的过大弯曲变形不仅产生振动,而且造成工件加工质量降低。

机械零件在外载荷作用下,当其所受应力超过材料的屈服强度时,就会发生塑性变形。机械零件发生塑性变形后,其形状和尺寸产生永久的变化,破坏零件间的正常相对位置或配合关系,产生振动、噪声,承载能力下降,严重时,机械零件甚至机器不能正常工作。故机械零件一般不允许发生塑性变形。例如,齿轮的轮齿发生塑性变形后,将不能满足正确啮合条件和定传动比传动,在运转时将产生剧烈的振动和噪声;弹簧发生塑性变形后,直接导致

丧失其功能。

3. 表面破坏失效

机械零件的表面破坏失效指磨损、腐蚀、胶合和接触疲劳等失效。

腐蚀是发生在金属表面的一种电化学或化学侵蚀现象。腐蚀的结果是使金属表面产生锈蚀,从而使零件表面遭到破坏。对于承受变应力的零件,还会引起腐蚀疲劳。处于潮湿空气中或与水、汽及其他腐蚀性介质相接触的金属零件均有可能发生腐蚀现象。

加工后的零件表面总有一定的粗糙度,摩擦表面受载时,实际上只有部分峰顶接触,接触处压强很大,当压力与滑动速度较大,并且润滑与冷却不良时,由摩擦所产生的热量不能及时散去,从而使接触表面的金属材料发生熔接,继而又撕裂,严重时摩擦表面可能相互咬死,这种磨损形式称为胶合。

零件表面的接触疲劳是受到接触变应力长期作用的表面产生裂纹或微粒剥落的现象。

磨损是两个接触表面在做相对运动的过程中表面物质丧失或转移的现象。所有做相对运动的零件接触表面都有可能发生磨损;实际工程中,零件的磨损并不是简单的物理现象,而是非常复杂的物理-化学过程。影响磨损的因素有很多,如载荷的大小和性质、相对滑动速度的大小、润滑剂的化学性质和物理性质等,但又不能准确地估计出来,因此现在按磨损计算零件的方法只能是条件性的,不能十分精确。常用限制接触面之间的压强以及限制发热量等方法来减轻零件表面磨损。

4. 破坏正常工作条件引起的失效

有些机械零件必须在特定的工作条件下才能正常工作,一旦工作条件被破坏就会出现失效。例如,液体摩擦的滑动轴承,只有在存在完整的润滑油膜时才能正常地工作;对于带传动,只有在传递的有效圆周力小于临界摩擦力时才能正常地工作等。如果破坏了这些必备的条件,则将发生不同类型的失效。例如,滑动轴承将发生过热、胶合、磨损等形式的失效;带传动将发生打滑的失效等。

1.3.2 机械零件的设计准则

在设计机器时应该满足的主要要求是:在满足预期功能的前提下,性能好、效率高、成本低;在预定使用期限内,应安全可靠、操作方便、维修简单以及造型美观等。对于机械零件的主要要求是:要有足够的强度和刚度、有一定的耐磨性、无强烈振动以及具有耐热性等。如果上述某些要求得不到满足,机器就不能正常工作,常称之为失效。对机械零件的这些要求通常被视为衡量机械零件工作能力的准则。以防止机械零件产生各种可能的失效,使之能够安全、可靠地工作为目的,在进行设计工作之前,首先拟定的以零件工作能力为计算依据的基本原则,称为零件的设计准则。

在设计零件时进行计算所依据的准则是与零件的失效形式密切相关的。同一种零件可能有多种不同的失效形式,那么对应于不同的失效形式就有其不同的设计准则。一般来讲,大致有以下几个准则:

1. 强度准则

强度是机械零件应满足的基本要求。强度是指零件在载荷作用下,抵抗断裂、塑性变形及表面失效(磨料磨损、腐蚀磨损除外)的能力。强度准则针对的是零件的断裂失效(静应力作用产生的整体断裂和变应力作用产生的疲劳断裂)、塑性变形失效和点蚀失效。强度

准则的设计表达式为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\lim}}{S} = [\sigma] \quad (1-1)$$

式中 σ ——零件工作时危险截面或工作表面的工作应力；

$\sigma_{\lim}$ ——极限应力，针对强度的四种失效，其取值也不同：为防止整体断裂，极限应力 $\sigma_{\lim}$ 为零件材料的强度极限 σ_B ，即 $\sigma_{\lim} = \sigma_B$ ，为防止疲劳断裂，极限应力 $\sigma_{\lim}$ 为零件材料的弯曲疲劳极限应力 σ_{Flim} ，即 $\sigma_{\lim} = \sigma_{Flim}$ ，为防止塑性变形，极限应力 $\sigma_{\lim}$ 为零件材料的屈服强度 σ_s ，即 $\sigma_{\lim} = \sigma_s$ ，为防止疲劳点蚀，极限应力 $\sigma_{\lim}$ 为零件材料的接触疲劳应力 σ_{Hlim} ，即 $\sigma_{\lim} = \sigma_{Hlim}$ ；

S ——安全系数，以考虑各种不确定因素和分析不准确对强度的影响。

2. 刚度准则

刚度是指零件受载后抵抗变形的能力，其设计准则为：零件在载荷作用下产生的弹性变形量应小于或等于机器工作性能所允许的极限。刚度准则的设计表达式为

$$y \leq [y], \theta \leq [\theta], \varphi \leq [\varphi] \quad (1-2)$$

式中 y 、 θ 、 φ ——零件工作时的挠度、偏转角和扭转角；

$[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ ——挠度、偏转角和扭转角的许用值。

3. 耐磨性准则

耐磨性准则针对的是零件的表面失效，它要求零件的磨损量在预定期限内不超过允许值。腐蚀和磨损是影响零件耐磨性的两个主要因素。目前，关于材料耐腐蚀和耐磨损的计算尚无实用有效的方法。因此，在工程上对零件的耐磨性只能进行下述条件性计算：

$$p \leq [p] \quad (1-3)$$

$$pv \leq [pv] \quad (1-4)$$

式中 p ——工作表面上的压强；

v ——工作表面线速度；

$[pv]$ —— p 的许用值。

4. 振动稳定性准则

机器发展的趋势是提高工作速度和减轻结构重量，这样，在机器中就容易发生振动现象。振动准则针对的是高速机器中零件出现的振动和共振，它要求零件工作时的振动振幅应控制在允许的范围内，而且是稳定的，对于强迫振动，应使零件的固有频率与激振源的频率错开。对于强迫振动，通常应保证如下条件：

$$f_n < 0.85f \text{ 或 } f_n > 1.15f \quad (1-5)$$

式中 f ——零件的固有频率；

f_n ——激振频率。

5. 寿命准则

为了保证机器在一定寿命期限内正常工作，在设计时必然要对机械零件的寿命提出要求。机械零件寿命主要受腐蚀、磨损和疲劳的影响。由于磨损、疲劳和腐蚀是三个不同范畴的问题，所以它们各自发展过程的规律也就不同。对于腐蚀和磨损，目前还没有提出实用有效的寿命计算方法，因而也就无法列出其计算准则。对于疲劳寿命，通常是求出使用寿命时的疲劳极限来作为计算的依据。需要说明的是，在机器寿命期限内，零件是可以更换的，即