



21世纪高等职业教育精品规划教材

机械设计基础 (含工程力学)

◎ 主编 熊玲鸿 张永智



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

21 世纪高等职业教育精品规划教材

机械设计基础 (含工程力学)

主 编 熊玲鸿 张永智

副主编 王军亚 胡建波 杨 卓



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

内容提要

本书共分为 14 章,包括物体的受力及其力学分析、材料力学基础、平面机构运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、连接、带传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴、轴承、联轴器和离合器。每章例题、习题都是精心选择,具有典型性。

本书可作为高职高专院校机械设计基础课程教学用书,也可作为机械设计人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础:含工程力学/熊玲鸿等主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2010.6

ISBN 978-7-81133-820-1

I. ①机… II. ①熊… III. ①机械设计-高等学校-教材②工程力学-高等学校-教材 IV. ①TH122②TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 118317 号

出版发行:哈尔滨工程大学出版社

社 址:哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮 编:150001

发行电话:0451-82519328

传 真:0451-82519699

经 销:新华书店

印 刷:北京市通州京华印刷制版厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16.5

字 数:381 千字

版 次:2010 年 6 月第 1 版

印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

定 价:30.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

网上书店: www.kejibook.com

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书责编联系。邮箱: jixie_book@sina.com

出版说明

近年来,我国的高等职业教育事业实现了跨越式发展,为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类人才,在提高劳动者的素质、建设社会主义精神文明、促进社会进步和经济发展方面发挥了重要的作用。

随着我国科技的发展和经济的腾飞,高技能人才的缺乏逐渐成为影响社会快速、健康发展的瓶颈。高等职业院校作为培养各类高素质人才的重要基地,必然要对教育教学制度进行改革,以转变教育思想和教育观念为先导,以促进就业为目标,实行多样、灵活、开放的人才培养模式,把教育教学与生产实践、社会服务、技术推广结合起来,逐步形成适应我国社会主义现代化建设需要的高等职业教育思想和教育理念。

要加快高等职业教育改革和发展的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高等职业教育教材作为知识的载体和教学的基本工具,直接关系到高等职业教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为推动高等职业教育教材的建设,加快高等职业教育改革和发展的步伐,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的教师,针对高等职业院校的教学特点,编写了“21世纪高等职业教育精品规划教材”,旨在使学生在具有必备的基础理论知识和专业知识的基础上,重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能,致力于培养基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面宽、素质高的应用型人才。

本系列教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化对学生实际操作能力的培养。在编写过程中,教材力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现出“以行业为导向,以能力为本位,以学生为中心”的特色,更具有实用性和前瞻性,与就业市场结合更为紧密。

本系列教材的编写力求突破陈旧的教育理念,采用了“以案例导入教学”的编写模式。在对某一理论进行讲解的同时,紧密结合实际,援引大量鲜明、实用的案例进行分析说明,以达到编写高质量教材的目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时还可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本系列教材可供高等职业院校、成人高校及各类培训学校相关专业使用。在编写过程中,得到了许多教师的大力支持,在此特向他们致以衷心的感谢,同时也对所有参与本系列教材出版工作的人员表示感谢!

前言

本教材根据教育部制定的《高职高专教育机械设计基础课程教学基本要求》和新近颁布的国家有关标准编写而成。

本教材在编写过程中,深入研究和充分吸收近年来国内外高职教育课程改革、教材建设的成果和经验,以培养生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才为目标,以“必需”、“够用”为度,将工程力学和机械设计基础两门课程进行了体系重组,删繁就简,增新减旧,融会贯通,打破了两门课程过去各自独立的局面,并有效避免了两门课程之间的重叠和交叉。从高职教育的特点出发,突出实用性强的教学内容,在力学内容中结合机械设计基础课程中的工程实例,在机械设计基础中用力学的方法分析机构和零件,将两门课程完美结合,突出了应用能力的培养。

本教材力求使读者通过学习,具备解决工程实际中力学基础问题的能力;掌握常用机构及零部件的使用方法;掌握简单机械设计的一般设计方法、基本步骤及应遵循的原则。教材文字简明,通俗易懂,每章例题、习题都是精心选择,便于学生自学和教师组织教学。

本教材由熊玲鸿、张永智任主编,王军亚、胡建波、杨卓任副主编。江西制造职业技术学院熊玲鸿编写绪论、第3、4、5、6、7、9章;河南职业技术学院张永智编写第1、2章;周口职业技术学院王军亚编写第8、10章;湖南科技工业职业学院胡建波编写第11、12章;郑州旅游职业技术学院杨卓编写第13、14章。

在本教材的编写过程中,江西制造职业技术学院、河南职业技术学院、周口职业技术学院等单位领导和同事给予了大力支持,哈尔滨工程大学出版社也给予了热情的帮助和指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请广大师生和读者批评指正。最后,衷心感谢读者对我们的信任与支持!

编者

目 录

绪论	1
0.1 机械概述	1
0.1.1 机器的组成及特征	1
0.1.2 构件与零件	3
0.2 本课程的研究内容	3
0.3 本课程的研究任务	4
第1章 物体的受力及其力学分析	5
1.1 力和静力学基本公理	5
1.1.1 力	5
1.1.2 静力学基本公理	6
1.2 工程中常见的约束	7
1.2.1 约束和约束反力	7
1.2.2 物体的受力分析和受力图	10
1.3 平面汇交力系	11
1.3.1 平面汇交力系的合成	11
1.3.2 平面汇交力系的平衡方程及其应用	14
1.4 力矩和力偶	15
1.4.1 力矩	15
1.4.2 力偶	16
1.4.3 平面力偶系的合成与平衡	17
1.4.4 力的平移定理	18
1.5 平面一般力系	19
1.5.1 平面一般力系的简化	19
1.5.2 平面一般力系的平衡方程及其应用	20
1.6 空间力系	23
1.6.1 力在空间直角坐标轴上的投影	23
1.6.2 力对轴之矩的定义	24
1.6.3 合力矩定理	25

1.6.4 空间力系的平衡方程	25
第2章 材料力学基础	30
2.1 轴向拉伸和压缩	30
2.1.1 轴向拉伸和压缩的定义	30
2.1.2 内力、轴力及轴力图	31
2.1.3 拉(压)杆横截面上的应力	32
2.1.4 轴向拉伸或压缩时的变形	34
2.1.5 材料在拉伸与压缩时的力学性能及强度计算	35
2.2 剪切和挤压	40
2.2.1 剪切及剪切的实用计算	40
2.2.2 挤压及挤压的实用计算	41
2.3 圆轴扭转	42
2.3.1 扭转变形	42
2.3.2 扭矩与扭矩图	43
2.3.3 圆轴扭转时横截面上的应力及强度条件	44
2.4 直梁的平面弯曲	47
2.4.1 基本概念和基本形式	47
2.4.2 剪力图和弯矩图	48
2.4.3 纯弯曲时横截面上的应力	54
2.4.4 截面惯性矩和弯曲截面系数	56
2.4.5 梁的正应力强度计算	56
2.5 组合变形的强度计算	59
2.5.1 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	59
2.5.2 扭转与弯曲组合变形的强度计算	60
第3章 平面机构运动简图及自由度	66
3.1 运动副及其分类	66
3.1.1 运动副的定义	66
3.1.2 运动副的分类	66
3.2 平面机构运动简图	67
3.2.1 平面机构运动简图的定义	68
3.2.2 运动副及构件的规定表示方法	68
3.2.3 平面机构运动简图的绘制步骤	69
3.3 平面机构自由度	70

3.3.1	自由度	70
3.3.2	约束	70
3.3.3	机构自由度的计算	71
3.3.4	平面机构自由度计算的注意事项	72
3.3.5	机构具有确定运动的条件	74
第4章 平面连杆机构		77
4.1	四杆机构的基本类型及其演化	77
4.1.1	四杆机构的基本类型	77
4.1.2	平面四杆机构的演化	79
4.2	平面四杆机构的基本特性	82
4.2.1	铰链四杆机构有曲柄的条件	82
4.2.2	急回特性	83
4.2.3	传力特性	84
4.3	平面四杆机构的设计	87
4.3.1	按给定连杆位置设计四杆机构	87
4.3.2	按给定的行程速度变化系数设计四杆机构	88
第5章 凸轮机构		92
5.1	凸轮机构的应用和分类	92
5.1.1	凸轮机构的应用和特点	92
5.1.2	凸轮机构的分类	93
5.2	常用从动件运动规律	94
5.2.1	凸轮机构的工作原理及有关名词术语	94
5.2.2	从动件常用的运动规律	95
5.3	图解法设计凸轮轮廓	97
5.3.1	反转法原理	97
5.3.2	图解法设计凸轮轮廓曲线	98
5.4	凸轮机构基本尺寸的确定	100
5.4.1	凸轮机构的压力角及许用值	100
5.4.2	凸轮基圆半径的确定	100
5.4.3	滚子半径的确定	101
第6章 间歇运动机构		103
6.1	棘轮机构	103

6.1.1	棘轮机构的工作原理和类型	103
6.1.2	棘轮机构的特点和应用	105
6.2	槽轮机构	105
6.2.1	槽轮机构的工作原理和类型	105
6.2.2	槽轮机构的特点和应用	106

第7章 连接 107

7.1	螺纹连接的基本知识	107
7.1.1	螺纹的几何参数	107
7.1.2	螺纹的分类及应用	109
7.1.3	螺纹连接的主要类型	110
7.1.4	标准螺纹连接件	111
7.1.5	螺纹连接件的材料和许用应力	112
7.2	螺纹连接的预紧与防松	113
7.2.1	螺纹连接的预紧	113
7.2.2	螺纹连接的防松	114
7.3	螺栓连接的强度计算	115
7.3.1	受拉螺栓连接	115
7.3.2	受剪切螺栓连接	118
7.4	螺栓组连接的结构设计	118
7.5	轴毂连接	119
7.5.1	键连接的类型、特点及应用	120
7.5.2	键连接的强度计算	122
7.5.3	花键连接	123

第8章 带传动 126

8.1	带传动概述	126
8.1.1	带传动的组成与特点	126
8.1.2	带传动的类型	126
8.1.3	V带和V带轮	127
8.1.4	带传动的张紧与维护	130
8.2	带传动的设计计算	131
8.2.1	带传动的工作情况分析	131
8.2.2	带的设计	134

第9章 齿轮传动	144
9.1 齿轮传动的特点和分类	144
9.2 渐开线性质及渐开线齿廓啮合特性	145
9.2.1 渐开线的形成原理	145
9.2.2 渐开线的基本性质	146
9.2.3 渐开线齿廓的啮合特性	147
9.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸	148
9.3.1 齿轮各部分的名称和符号	148
9.3.2 标准直齿圆柱齿轮的基本参数	148
9.3.3 标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸	149
9.4 渐开线齿轮的啮合传动	150
9.4.1 正确啮合条件	150
9.4.2 连续传动条件	151
9.4.3 无齿侧间隙啮合条件	151
9.5 渐开线齿轮的加工方法与根切现象	152
9.5.1 渐开线齿轮的加工方法	152
9.5.2 渐开线齿轮的根切现象	154
9.6 齿轮传动的失效形式与设计准则	155
9.6.1 齿轮传动的失效形式	155
9.6.2 齿轮传动的的设计准则	157
9.7 常用齿轮材料及热处理	158
9.7.1 齿轮材料的基本要求	158
9.7.2 常用齿轮材料及热处理	158
9.8 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	159
9.8.1 渐开线直齿圆柱齿轮受力和计算载荷	159
9.8.2 齿面接触疲劳强度计算	161
9.8.3 齿根弯曲疲劳强度计算	163
9.9 斜齿圆柱齿轮传动	166
9.9.1 斜齿圆柱齿轮传动的啮合特点	166
9.9.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	167
9.9.3 斜齿圆柱齿轮传动的正确啮合条件和重合度	169
9.9.4 斜齿圆柱齿轮的当量齿数	170
9.9.5 斜齿圆柱齿轮传动的优缺点	171
9.9.6 斜齿圆柱齿轮的强度计算	171

9.10 直齿圆锥齿轮传动	172
9.10.1 圆锥齿轮传动的特点	172
9.10.2 直齿圆锥齿轮传动的几何尺寸计算	173
9.11 圆柱齿轮的结构设计和齿轮传动的润滑	174
9.11.1 圆柱齿轮的结构设计	174
9.11.2 齿轮传动的润滑	176
9.12 标准齿轮传动的设计计算	176
9.12.1 齿轮传动的主要参数选择	176
9.12.2 齿轮精度等级的选择	177
9.12.3 齿轮传动设计计算的步骤	178
第10章 蜗杆传动	184
10.1 蜗杆传动概述	184
10.1.1 蜗杆传动的特点	184
10.1.2 蜗杆传动的类型	184
10.2 圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	185
10.2.1 圆柱蜗杆传动的主要参数	185
10.2.2 圆柱蜗杆传动的几何尺寸计算	187
10.3 蜗杆传动的失效形式、材料和结构	188
10.3.1 蜗杆传动的受力分析	188
10.3.2 蜗杆传动的失效形式和设计准则	188
10.3.3 蜗杆、蜗轮的材料选择	189
10.3.4 蜗杆、蜗轮的结构	189
10.4 蜗杆传动的效率和热平衡计算	190
10.4.1 蜗杆传动的效率	190
10.4.2 蜗杆传动的热平衡计算	190
第11章 轮系	193
11.1 定轴轮系传动比计算	193
11.1.1 平面定轴轮系传动比计算	194
11.1.2 空间定轴轮系传动比计算	194
11.2 周转轮系的组成及传动比计算	195
11.2.1 周转轮系的组成	195
11.2.2 周转轮系传动比计算	196
11.3 复合轮系传动比计算	198

11.4 轮系的功用	199
11.5 减速器简介	201
11.5.1 常用减速器	201
11.5.2 减速器传动比的分配	203
11.5.3 减速器的结构	203
第12章 轴	206
12.1 轴概述	206
12.1.1 轴的分类	206
12.1.2 轴的材料及选择	207
12.2 轴的结构设计	209
12.2.1 轴结构的组成	209
12.2.2 轴结构设计的主要要求	209
12.2.3 轴上零件的轴向定位及固定	210
12.2.4 轴上零件的周向固定	211
12.2.5 轴的结构工艺性要求	212
12.2.6 确定各轴段的直径和长度	213
12.3 轴的强度计算	213
12.3.1 扭转强度	213
12.3.2 弯扭合成强度条件	214
第13章 轴承	220
13.1 轴承概述	220
13.2 滑动轴承	220
13.2.1 滑动轴承的结构	221
13.2.2 轴瓦结构和轴承材料	223
13.3 滚动轴承	224
13.3.1 滚动轴承概述	224
13.3.2 滚动轴承的类型及选用	225
13.3.3 滚动轴承的代号	228
13.3.4 滚动轴承的工作情况分析	230
13.3.5 滚动轴承的寿命计算	231
13.3.6 滚动轴承的静载荷	237
13.3.7 轴承的组合设计	237

第 14 章 联轴器和离合器	244
14.1 联轴器	244
14.1.1 联轴器的性能要求	244
14.1.2 联轴器的分类	244
14.1.3 常用联轴器的结构和特点	245
14.1.4 联轴器的选择	248
14.2 离合器	249
14.2.1 离合器的性能要求	249
14.2.2 离合器的分类	249
14.2.3 常用离合器的结构和特点	249
参考文献	252

绪论

0.1 机械概述

0.1.1 机器的组成及特征

机械是机器与机构的总称。机器是人类为了减轻体力劳动和提高生产率而创造出来的重要工具。

人们在长期的生产实践中,创造发明了各种机器,并通过机器的不断改进,减轻人们的体力劳动,提高劳动生产率。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标志之一。

在我国,机械的发明和使用早在夏商时代就已有记录;东汉时期发明的水排为当时的炼铁业提供了带动风箱鼓风的机械装置,如图 0-1 所示,它应用了水力学原理和复杂的连杆机构,这已经具备了现代机械的雏形。而现代的汽车、飞机、洗衣机、数控机床、机器人等机器的发明和使用,则给我们的生产和生活带来了极大的方便,人们的生活越来越离不开机器了。

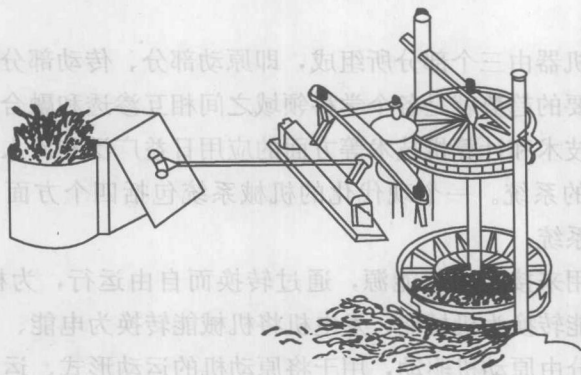


图 0-1 驱动风箱鼓风的机械装置

一部机器都是由若干个机构组合而成,共同联合工作而实现预定的工作要求的。如图

0-2 所示的单缸内燃机,它由机架(气缸体)1、曲柄2、连杆3、活塞4、进气阀5、排气阀6、推杆7、凸轮8和齿轮9、10组成。当燃烧的气体推动活塞4作往复运动时,通过连杆3使曲柄2作连续转动,从而将燃气的压力能转换为曲柄的机械能。齿轮、凸轮和推杆的作用是按一定的运动规律按时开闭阀门,完成吸气和排气。这种内燃机中有三种机构:(1)曲柄滑块机构,由活塞4、连杆3、曲柄2和机架1构成,作用是将活塞的往复直线运动转换成曲柄的连续转动;(2)齿轮机构,由齿轮9、10和机架1构成,作用是改变转速的大小和方向;(3)凸轮机构,由凸轮8、推杆7和机架1构成,作用是将凸轮的连续转动变为推杆的往复移动,完成有规律地启闭阀门的工作。

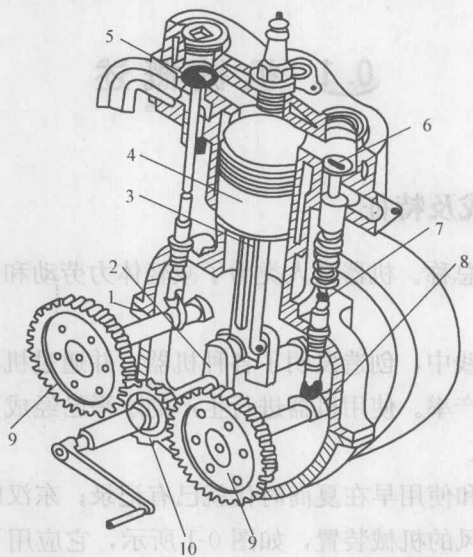


图 0-2 内燃机

- 1—机架; 2—曲柄; 3—连杆; 4—活塞; 5—进气阀;
6—排气阀; 7—推杆; 8—凸轮; 9、10—齿轮

从大的方面看,机器由三个部分所组成,即原动部分、传动部分和执行部分。伴随着科技的发展,一个重要的趋势就是各个学科领域之间相互渗透和融合。如今在机械工程领域,自动控制、电子技术和计算机技术等方面的应用日益广泛和深入,因此现代的机械系统应该是机电一体化的系统。一个现代化的机械系统包括四个方面,即原动机、传动装置、执行机构和控制系统。

原动机的功能是用来接受外部能源,通过转换而自由运行,为机械系统提供动力输入,例如电动机将电能转换为机械能、发电机将机械能转换为电能、内燃机将化学能转换为机械能等。传动部分由原动机驱动,用于将原动机的运动形式、运动及动力参数(如速度、转矩等)进行变换,改变为执行部分所需的运转形式,从而使执行部分实现预期的生产职能。

虽然机器的种类很多,在我们的生活中普遍存在、发挥着各不相同的作用,这些机器的具体构造也各不相同,但是所有这些机器都具有三个共同的基本特征:

- (1) 机器都是由一系列构件（也称运动单元体）组成；
- (2) 组成机器的各构件之间都具有确定的相对运动；
- (3) 机器均能转换机械能或完成有用的机械功。

机器的种类繁多，其构造、性能和用途各不相同。但从机器的组成分析，它们都是由一些典型的机构和零件所组成，最常用的有连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、间歇运动机构等，这些机构也就是本课程的主要研究对象。

尽管机构也有许多不同种类，其用途也各有不同，但它们都有与机器前两个特征相同的特征。由上述分析可知，机构是机器的重要组成部分，用以实现机器的动作要求。一部机器可能只包含有一个机构，也可由若干个机构所组成。

机器与机构的根本区别在于，机构的主要职能是传递运动和动力，而机器的主要职能除传递运动和动力外，还能转换机械能或完成有用的机械功。

0.1.2 构件与零件

零件是机器制造的基本单元体，而构件则是机器中的基本运动单元体，构件可以是单一零件，如内燃机中的曲轴，也可以是多个零件的刚性组合体，如图 0-3 所示的内燃机的连杆是由连杆体 1、连杆盖 5、螺栓 2、螺母 3、开口销 4、轴瓦 6 和轴套 7 等多个零件构成的一个构件。

在各种机械中普遍使用的零件称为通用零件，如螺钉、轴、轴承、齿轮等。只在某种机器中使用的零件称为专用零件，如活塞、曲轴、叶片等。

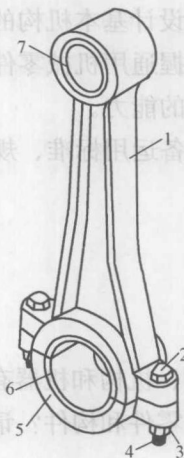


图 0-3 连杆

1—连杆体；2—螺栓；3—螺母；
4—开口销；5—连杆盖；6—轴瓦；7—轴套

0.2 本课程的研究内容

本课程是一门综合性质的专业基础课，在教学中具有承上启下的作用，内容涵盖了力学基础、常用机构及机械设计基础知识等。其具体内容如下：

(1) 力学基础 主要介绍构件的受力分析、力系的简化和构件的平衡条件，以及构件在外力作用下的变形、受力和破坏规律，强度和刚度的计算方法。

(2) 常用机构 主要讲述机械中常用的机构及其工作原理、运动特性和结构特点等。

(3) 机械设计基础知识 主要讨论通用机械零件及失效形式、强度计算和设计方法，包括确定主要尺寸和结构。

通过本课程的学习,应达到的基本要求是:

- (1) 掌握机构的结构原理、运动特性和机械动力学的知识,初步具备确定机械运动方案、分析和设计基本机构的能力。
- (2) 掌握通用机械零件的工作原理、特点、选用和设计计算的基本知识,具备设计一般简单机械的能力。
- (3) 具备运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

2. 何谓零件和构件？请举例说明。