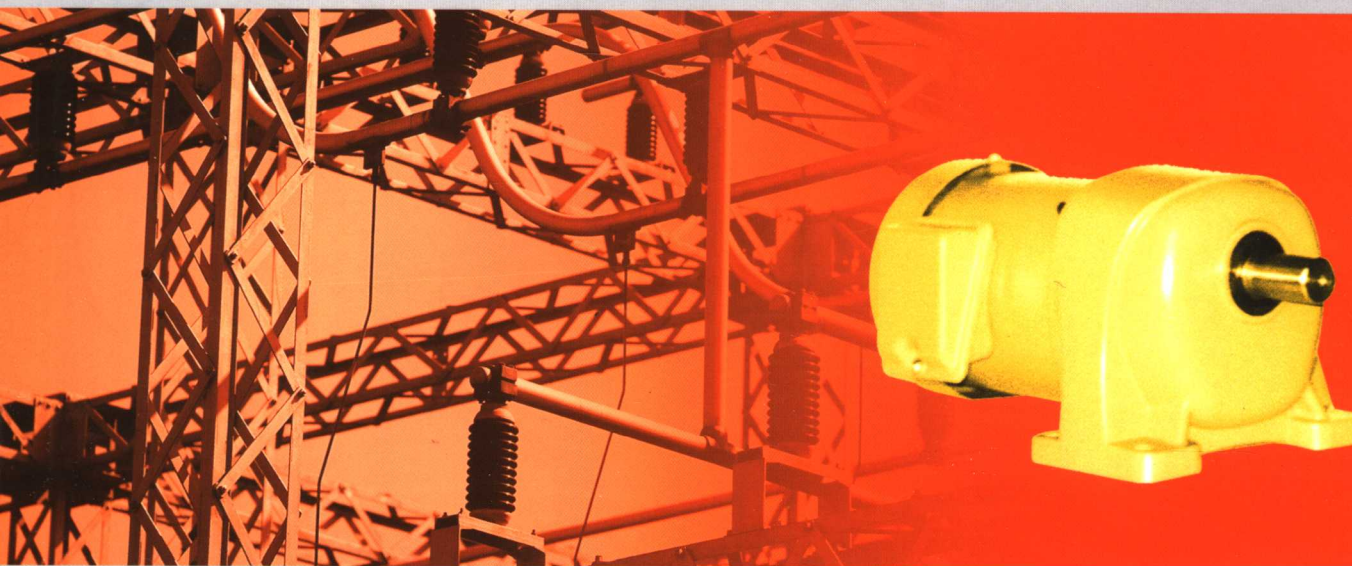


21

21 世纪全国高校应用人才培养机械类规划教材



机械设计基础

王良才 张文信 黄 阳 主 编
朱育林 肖启敏 李建霞 副主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TH122/721

2007

21 世纪全国高校应用人才培养机械类规划教材

机械设计基础

王良才 张文信 黄 阳 主编

朱育林 肖启敏 李建霞 副主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据教育部颁发的高等学校“机械设计基础课程教学基本要求”，并结合众多高等工科院校近年来在应用型人才培养方面的教学改革实践经验编写而成的。

本书在编写时贯彻了加强基础知识、基础理论、基本方法，强化工程实践知识，突出学生实践应用能力和工程设计能力的培养，注重发挥学生的创造性思维的思路。内容选取上坚持少而精的原则，简化乃至略去了一些较深的理论阐述和较繁的公式推导，增加了机械设计领域的新技术、新方法，并适度扩展相关知识领域，较好地体现了应用性特色。本书采用了最新的国家标准和技术规范。

全书共 18 章，主要包括：机械设计概述，常用机构及机械传动设计，各种联接设计，轴系零部件设计，通用零部件设计等。各章均附有一定数量的习题。

本书可作为普通高等院校近机类、非机类各专业机械设计基础课程教材，也可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校相关专业课程教材，还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/王良才，张文信，黄阳主编. —北京：北京大学出版社，2007.7

(21 世纪全国高校应用人才培养机械类规划教材)

ISBN 978-7-301-12489-5

I. 机… II. ①王… ②张… ③黄… 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 (2007) 第 095391 号

书 名：机械设计基础

著作责任者：王良才 张文信 黄阳 主编

责任编辑：黄庆生 韩玲玲

标准书号：ISBN 978-7-301-12489-5 / TH · 0059

出版者：北京大学出版社

地 址：北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话：邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013 出版部 62754962

网 址：<http://www.pup.cn>

电子信箱：xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者：涿州市星河印刷有限公司

发 行 者：北京大学出版社

经 销 者：新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 21.75 印张 460 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

定 价：34.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010—62752024；电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

前 言

“机械设计基础”课程是高等学校工科近机类、非机类专业一门重要的技术基础课程,是使学生了解与掌握机械工作的基本原理和机械设计的基本方法,拓宽学生的知识面,增强学生对专业工作的适应性的理论课程。该课程比较集中地体现了理论与实践的综合性,在培养学生的创新意识和设计能力方面起着重要的作用。

近机类、非机类各专业对机械设计基础课程的基本要求可以概括为:学生通过该课程的学习,认识和了解机械系统的组成与结构、机械系统的功能和工作原理,能正确选择和使用通用机械,了解机械设计的基本内容、基本要求和基本方法。通过机械设计基础课程设计的训练,达到能设计简单机械和机械结构的目的。

为适应 21 世纪培养高素质、创新型、应用型人才的需要,我们在编写本书时,从机械设计的总体要求和培养学生机械设计基本素质和能力出发,注意取材的先进性、实用性,并适度拓宽基础,对课程体系和内容进行了一定的改革和整合。本书的主要特色有:

(1) 从机械系统设计的观点出发,实现机械原理、机械设计两部分内容的融合,达到基本机械设计知识的整合。

(2) 以培养应用型人才为目标,以设计思想、设计理论、设计方法为主线,精选内容,做到理论联系实际。

(3) 注意培养学生在设计过程中的创造性思维能力,强调设计的多方案性和优化设计思想,强化在方案设计、结构设计中创新能力的培养。

(4) 以零部件的参数设计、机构的运动参数设计、机械零部件的结构设计等内容为核心,加强机械系统总体方案设计能力的培养。

参加本书编写工作的有:张文信、王良才、朱育林、黄阳、肖启敏、李建霞、黄晶晶、代明和秦宇飞等。全书由王良才、张文信、黄阳担任主编,朱育林、肖启敏、李建霞任副主编。

本书在编写过程中得到编者所在学校有关领导和机关的热情关心,得到北京大学出版社的领导和本书责任编辑的大力帮助,并参考了部分新出版的同学科教材,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在缺点和错漏,热忱欢迎同仁和读者批评指正,谨先表谢意。

编 者

2007 年 6 月

目 录

第0章	绪论	1
0.1	本课程的研究对象	1
0.2	本课程的性质、内容、任务与作用	3
0.3	本课程的学习方法	5
第1章	机械设计概述	6
1.1	机械系统的组成	6
1.2	机构的组成及运动简图	7
1.2.1	运动副	7
1.2.2	运动链	9
1.2.3	机构	10
1.2.4	机构运动简图的绘制	10
1.3	机械设计的基本要求和一般设计过程	16
1.3.1	机械设计的基本要求	16
1.3.2	机械设计的主要内容和过程	17
1.4	机械零件的失效形式和设计准则	17
1.4.1	机械零件常见的失效形式	17
1.4.2	机械零件的设计准则	18
1.4.3	机械零件的设计方法	20
1.4.4	机械零件设计的一般步骤	22
1.5	习题	22
第2章	平面机构的自由度与运动分析	24
2.1	平面运动链的自由度	24
2.2	运动链成为机构的条件	24
2.3	计算自由度时应注意的事项	26
2.3.1	复合铰链	26
2.3.2	局部自由度	26
2.3.3	虚约束	27
2.4	用图解法进行机构的运动分析	29
2.4.1	机构运动分析的目的和方法	30

2.4.2	平面机构的位置图	30
2.4.3	速度瞬心及其在速度分析中的应用	31
2.5	用解析法进行机构的运动分析	37
2.5.1	铰链四杆机构	37
2.5.2	曲柄滑块机构	40
2.6	习题	42
第3章	平面连杆机构	45
3.1	铰链四杆机构的基本型式及其演化	45
3.1.1	铰链四杆机构的基本型式	45
3.1.2	铰链四杆机构的演化	47
3.2	机构设计中的一些共性问题	49
3.2.1	曲柄存在的条件	49
3.2.2	行程速度变化系数	51
3.2.3	压力角和传动角	52
3.2.4	死点	53
3.3	平面连杆机构的设计	54
3.3.1	图解法	54
3.3.2	解析法	61
3.4	习题	62
第4章	凸轮机构及其设计	65
4.1	凸轮机构的应用和类型	65
4.1.1	凸轮机构的应用	65
4.1.2	凸轮机构的类型	66
4.2	从动件的常用运动规律	68
4.2.1	凸轮轮廓曲线与从动件运动规律之间的相互关系	68
4.2.2	从动件的常用运动规律	70
4.3	盘形凸轮轮廓曲线的设计	75
4.3.1	反转原理	75
4.3.2	用图解法设计凸轮的轮廓曲线	76
4.3.3	用解析法设计凸轮的轮廓曲线	80
4.4	凸轮机构基本参数的确定	82
4.4.1	凸轮机构的压力角和自锁	83
4.4.2	凸轮基圆半径的选择	84
4.4.3	从动件滚子半径的选择	84
4.5	习题	85

第5章 齿轮机构	88
5.1 齿轮机构的类型及特点	88
5.2 齿廓啮合基本定律	89
5.3 渐开线及渐开线齿廓的啮合特点	90
5.3.1 渐开线的形成和特性	90
5.3.2 渐开线齿廓满足齿廓啮合基本定律	91
5.4 渐开线齿轮各部分名称和基本尺寸	93
5.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	95
5.5.1 正确啮合条件	95
5.5.2 标准中心距	96
5.5.3 重合度	97
5.6 齿轮的加工原理	98
5.6.1 仿形法	98
5.6.2 范成法	99
5.7 根切现象及防止根切的措施	101
5.8 斜齿圆柱齿轮机构	103
5.8.1 斜齿圆柱齿轮的共轭齿廓曲面	103
5.8.2 斜齿轮各部分名称及几何尺寸计算	105
5.8.3 斜齿圆柱齿轮的正确啮合条件	106
5.8.4 斜齿轮传动的重合度	106
5.8.5 斜齿轮的当量齿数	107
5.8.6 斜齿轮的优缺点	108
5.9 圆锥齿轮机构	108
5.9.1 圆锥齿轮概述	108
5.9.2 背锥和当量齿轮	109
5.9.3 直齿圆锥齿轮的几何尺寸计算	111
5.10 习题	112
第6章 轮系	114
6.1 轮系的分类	114
6.1.1 定轴轮系	114
6.1.2 周转轮系	114
6.1.3 复合轮系	115
6.2 定轴轮系传动比计算	116
6.2.1 传动比大小的计算	116
6.2.2 首、末轮转向关系的确定	116

6.3	周转轮系及其传动比	118
6.4	复合轮系及其传动比	120
6.5	轮系的功用	121
6.6	习题	123
第7章	间歇运动机构	125
7.1	棘轮机构	125
7.2	槽轮机构	128
7.3	不完全齿轮机构	129
7.4	习题	130
第8章	平衡与调速	132
8.1	回转件的平衡	132
8.1.1	概述	132
8.1.2	回转件的静平衡计算	132
8.1.3	回转件的动平衡计算	134
8.1.4	回转件的平衡试验	136
8.2	机械速度波动及其调节	139
8.2.1	非周期性速度波动及其调节	139
8.2.2	周期性速度波动及其调节	140
8.3	习题	145
第9章	带传动的设计	148
9.1	概述	148
9.1.1	带传动的组成及工作原理	148
9.1.2	带传动的类型	148
9.1.3	带传动的特点	150
9.2	带传动的工作情况分析	150
9.2.1	带传动的受力分析	150
9.2.2	传动带的应力分析	152
9.2.3	带传动的弹性滑动和传动比	153
9.2.4	带传动的设计准则	154
9.3	V带传动的设计	155
9.3.1	V带的类型及结构	155
9.3.2	单根V带的基本额定功率	156
9.3.3	V带传动的设计计算	157
9.4	V带轮的设计	162
9.5	V带传动的张紧装置	163

9.6 习题	166
第10章 链传动的设计	167
10.1 概述	167
10.2 链传动的结构	168
10.2.1 链条	168
10.2.2 链轮	170
10.3 链传动的工作情况分析	172
10.3.1 链传动的运动分析	172
10.3.2 链传动的受力分析	174
10.4 滚子链传动的设计计算	175
10.4.1 链传动的主要失效形式	175
10.4.2 链传动的主要参数及其选择	175
10.4.3 滚子链传动的额定功率及链传动计算	176
10.5 链传动的润滑和布置	180
10.5.1 链传动的润滑	180
10.5.2 链传动的布置	180
10.6 习题	181
第11章 齿轮传动的设计	182
11.1 齿轮传动的失效形式及设计准则	182
11.1.1 齿轮传动的失效形式	182
11.1.2 齿轮传动的设计准则	183
11.2 齿轮材料及其选择原则	184
11.2.1 常用的齿轮材料	184
11.2.2 齿轮材料的选择原则	185
11.3 齿轮传动的计算载荷	185
11.3.1 轮齿上的作用力	185
11.3.2 计算载荷	186
11.4 直齿轮传动的强度计算	187
11.4.1 齿面接触疲劳强度计算	187
11.4.2 齿根弯曲疲劳强度计算	192
11.5 斜齿轮传动的强度计算	196
11.5.1 轮齿上的作用力	196
11.5.2 齿面接触疲劳强度计算	197
11.5.3 齿根弯曲疲劳强度的计算	198
11.6 直齿圆锥齿轮传动的强度计算	199

11.6.1	轮齿上的作用力	199
11.6.2	齿面接触强度的计算	200
11.6.3	弯曲疲劳强度的计算	201
11.7	齿轮传动的润滑及结构设计	201
11.7.1	齿轮传动的润滑	201
11.7.2	齿轮的结构设计	202
11.8	习题	205
第 12 章	蜗杆传动的设计	206
12.1	蜗杆传动的类型与应用	206
12.1.1	蜗杆传动的特点	206
12.1.2	蜗杆传动的分类	207
12.2	圆柱蜗杆传动的主要参数及几何尺寸	209
12.2.1	蜗杆传动的主要参数及其选择	209
12.2.2	蜗杆传动的几何尺寸计算	211
12.3	蜗杆传动的失效形式、设计准则和材料选择	212
12.3.1	蜗杆传动的失效形式和设计准则	212
12.3.2	材料选择	212
12.4	圆柱蜗杆传动的强度计算	212
12.4.1	蜗杆传动的受力分析	212
12.4.2	蜗轮齿面接触强度计算	213
12.4.3	蜗轮轮齿弯曲疲劳强度计算	214
12.5	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	216
12.5.1	齿面相对滑动速度 v_s	216
12.5.2	蜗杆传动的效率	217
12.5.3	蜗杆传动的润滑	218
12.5.4	蜗杆传动的热平衡计算	218
12.6	圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	221
12.7	习题	222
第 13 章	联接设计	223
13.1	概述	223
13.2	螺纹	223
13.2.1	螺纹的形成及其主要参数	223
13.2.2	常用螺纹的类型及应用	225
13.3	螺纹联接的基本类型及标准联接件	226
13.3.1	螺纹联接的基本类型	226

13.3.2 螺纹联接件.....	227
13.4 螺栓联接的预紧与防松.....	230
13.4.1 螺栓联接的预紧.....	230
13.4.2 螺栓联接的防松.....	232
13.5 螺栓组联接的结构设计与受力分析.....	234
13.5.1 螺栓组联接的结构设计.....	234
13.5.2 螺栓组的受力分析.....	236
13.6 单个螺栓联接的强度计算.....	240
13.6.1 松螺栓联接的强度计算.....	240
13.6.2 紧螺栓联接的强度计算.....	241
13.6.3 螺栓的材料及许用应力.....	245
13.7 提高螺栓联接强度的措施.....	246
13.7.1 降低螺栓总轴向载荷 Q 的变化范围.....	246
13.7.2 改善螺纹牙间的载荷分布.....	247
13.7.3 减小应力集中和附加应力的影响.....	248
13.8 键联接.....	249
13.8.1 键联接的类型和应用.....	249
13.8.2 键的选择及平键联接的强度校核.....	252
13.9 习题.....	254
第14章 轴的设计.....	256
14.1 概述.....	256
14.2 轴的材料.....	258
14.3 轴径的初步估算.....	259
14.3.1 按转矩估算轴径.....	259
14.3.2 类比法确定轴径.....	260
14.4 轴的结构设计.....	260
14.4.1 轴的加工和轴上零件的装拆.....	261
14.4.2 轴上零件的定位和固定.....	262
14.4.3 减小应力集中、改善受力情况.....	263
14.5 轴的强度计算.....	264
14.6 习题.....	267
第15章 轴承.....	269
15.1 概述.....	269
15.2 滑动轴承.....	269
15.2.1 机械中的常见摩擦状态.....	269

15.2.2	滑动轴承的类型和结构型式	271
15.2.3	轴瓦和轴承衬材料	273
15.2.4	滑动轴承的润滑剂和润滑装置	275
15.2.5	不完全液体摩擦滑动轴承的设计计算	279
15.3	滚动轴承的构造、基本类型及代号	282
15.3.1	滚动轴承的构造	282
15.3.2	滚动轴承的基本类型、代号及选择	283
15.4	滚动轴承的失效形式及选择计算	291
15.4.1	失效形式	291
15.4.2	轴承寿命	292
15.4.3	基本额定动载荷及寿命计算	293
15.4.4	向心角接触轴承轴向力 A 的计算	295
15.4.5	当量动载荷的计算	296
15.4.6*	滚动轴承的额定静载荷	297
15.5	滚动轴承的组合设计	301
15.5.1	轴承的轴向固定	301
15.5.2	滚动轴承的组合调整	302
15.5.3	滚动轴承的配合	304
15.5.4	滚动轴承的装拆	304
15.5.5*	滚动轴承的润滑和密封	305
15.6	习题	307
第 16 章	联轴器和离合器	308
16.1	概述	308
16.2	联轴器	309
16.2.1	刚性联轴器	309
16.2.2	挠性联轴器	309
16.3	离合器	313
16.3.1	牙嵌离合器	313
16.3.2	圆盘摩擦离合器	314
16.3.3	超越离合器	316
16.4	习题	317
第 17 章	弹簧设计	318
17.1	概述	318
17.1.1	弹簧的功用	318
17.1.2	弹簧的类型	318

17.2 弹簧的结构、材料、许用应力及制造.....	319
17.2.1 弹簧的结构.....	319
17.2.2 弹簧的材料.....	321
17.2.3 弹簧的许用应力.....	322
17.2.4 弹簧的制造.....	322
17.3 圆柱螺旋压缩（拉伸）弹簧的设计计算.....	323
17.3.1 几何参数的计算.....	323
17.3.2 特性曲线.....	324
17.3.3 圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧的应力与变形.....	325
17.3.4 设计计算步骤.....	329
17.4 圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算.....	331
17.5 习题.....	332
参考文献.....	334

第 0 章 绪 论

机械设计是一个工作过程。它是设计人员为满足社会对机械产品的需求,运用科技知识和方法,对机械的工作原理、结构、运动和力的传递方式、各个零件的材料和形状尺寸,以及外观等问题进行构思、决策、分析和计算,并作为制造的依据,用图形、数据和文字作出具体描述的工作过程。

0.1 本课程的研究对象

本课程研究的对象是机械,而机械是机构与机器的总称。机器是执行机械运动的装置,它用来变换或传递能量、物料与信息。在人们的生产和生活中广泛使用着各种机器,生产活动中常见的机器有起重机、包装机、汽车、电动机及各种机床等;日常生活中常见的机器有缝纫机、洗衣机等。机器的种类繁多,结构形式和用途也各不相同,但它们都具有共同的特征。

如图 0.1 所示为单缸内燃机,它由活塞 10、连杆 3、曲轴 4、齿轮 1 和 18、凸轮 7 和 7'、顶杆 8 和 8'、进(排)气阀 17 (12)、气缸体(机架) 11 等组成。燃气推动活塞往复移动,经连杆变成曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周,进、排气阀各启闭一次,在曲轴和凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样,当燃气推动活塞运动时,进、排气阀有规律地启闭,就把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。又如洗衣机是由电动机经带传动使叶轮回转,搅动洗涤液来进行工作。再如机械钟是由发条经若干个齿轮传动,带动指针转动来指示时间。从以上三个例子可以看出,机器具有下列特征:

- (1) 它是人为的实物组合体;
- (2) 各部分形成运动单元,各单元之间具有确定的相对运动;
- (3) 可实现一些预定的功能(如完成有用的机械功或转换机械能或测量特定的物理量)。

仅具备前两个特征的称为机构。机构是多个实物的组合,能实现预期的机械运动。在内燃机中,活塞(看作滑块)、连杆、曲轴(曲柄)和气缸体组成一个曲柄滑块机构,可将活塞的往复移动转变为曲轴的连续转动。凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构,将凸轮的连续转动变为顶杆的有规律的往复移动。而曲轴及凸轮轴上的齿轮和气缸体组成齿轮机构,

可使两轴保持一定的转速比。由此可见，机器是由机构组成的，一部机器可以包含几个机构，也可以只含一个机构。

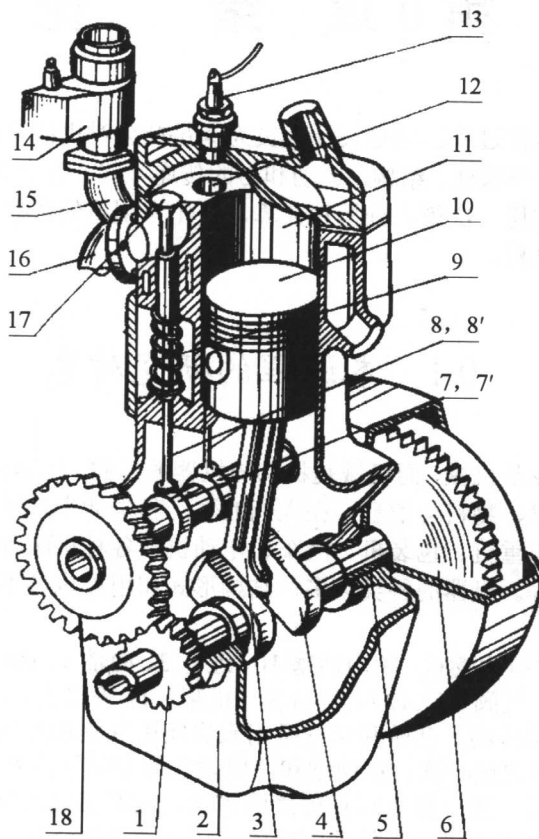


图 0.1 内燃机

- 1—齿轮 2—壳体 3—连杆 4—曲轴 5—轴套 6—飞轮 7、7'—凸轮
8、8'—顶杆 9—弹簧 10—活塞 11—气缸体 12—排气阀 13—火花塞
14—滤清器 15—进气管 16—散热片 17—进气阀 18—大齿轮

从结构和运动的观点来看，机器与机构之间并无区别。因此，习惯上用“机械”一词作为机器和机构的总称。

组成机械的各个相对运动的运动单元称为构件。机械中不可拆的制造单元称为零件。构件可以是单一的零件，也可以是由几个零件组成的刚性体。如图 0.2 所示的内燃机连杆

就是由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 及螺母 3 等几个零件刚性连接而成的，这些零件形成一个整体而进行运动，所以称为一个构件。由此可见，构件是机械中独立的运动单元，而零件是机械中制造的单元。

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。

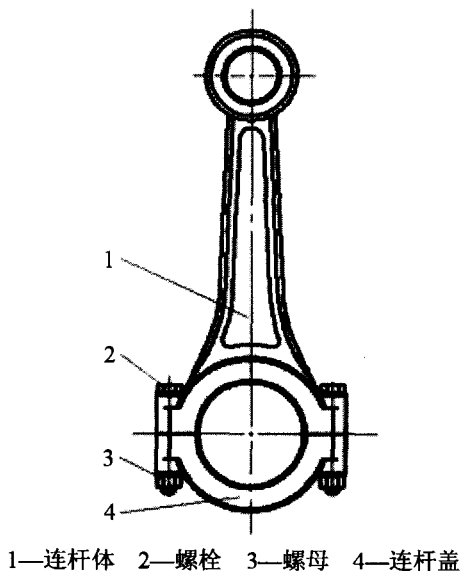


图 0.2 连杆

机械中的零件可分为两类：

- (1) 通用零件，是在各种机械中都经常使用的零件，如齿轮、螺栓、轴、键等；
- (2) 专用零件，是仅在某些特定类型的机械中使用的零件，如活塞、曲轴等。

“机械设计基础”主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和设计方法，包括其运动设计、参数设计、结构设计等。

0.2 本课程的性质、内容、任务与作用

机械设计是一门研究机械基本理论和设计技术的课程，它涉及数学、物理、力学、材料科学、电子技术和制造技术等学科与技术领域。随着科学技术的进步和生产过程的机械化、自动化水平的不断提高，在各个领域中机械的应用日益广泛，对于工程技术人员来说，

必将遇到机械设备的使用、维护、管理问题,需要解决机械设备技术革新中碰到的一般机械的设计问题,因此,机械设计基础是高等学校工科有关专业一门重要的技术基础课。这门课程比较集中地体现了理论与实践的综合性,在培养学生的创新意识与设计能力方面,起着比较重要的作用。

机械设计基础将为有关专业的学生学习专业机械设备课程提供必要的理论基础。机械设计基础将使从事生产工艺、设备运行、质量管理的技术人员,在了解各种机械的传动原理、设备的正确使用和维护及设备的故障分析等方面获得必要的基础知识。

本课程的主要内容有以下几个方面:

(1) 设计的基本理论

设计基本理论主要介绍机械设计的基本要求和设计的一般过程,机械零部件的工作能力和设计准则,机械零件的强度理论,摩擦、磨损和润滑理论,机械结构设计准则、方法,另扼要地介绍现代机械设计思想和方法。

(2) 常用机构及其传动设计

常用机构包括连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、齿轮传动、蜗杆传动、带传动、链传动及其他常用机构等。这些机构是传动系统和执行系统的基本组成单元,用于实现运动和动力的传递及运动形式的改变。常用机构及其传动设计主要包括运动设计(机构的类型、工作原理、运动参数及几何尺寸计算等)、工作能力设计(受力分析、失效分析、设计准则及承载能力设计计算)、零件结构设计等内容。

(3) 通用零部件设计

通用零部件主要指用于联接和支承的常用零部件(如各种运动副、螺纹、键、销、联轴器、离合器等),通用零部件设计主要介绍它们的类型、特点、工作原理、工作能力设计、结构设计、组合设计以及标准零部件的选用。

(4) 机构系统设计

概述机械系统的功能和工作原理、机械零部件的结构设计基本原则和方法、机械系统的总体方案设计等。

本课程的主要任务和作用是:

(1) 培养学生正确的设计思想、创新设计的意识和创造性思维能力,使学生了解现代机械设计技术。

(2) 使学生掌握机械系统设计的基础知识,掌握机械设计的基本方法,初步具备一般机械方案设计和分析的能力。

(3) 使学生掌握常用机构运动设计和工作能力设计的基本知识,掌握通用零部件设计计算和选用的基本知识,初步具备一般通用机械的设计能力,尤其是常用执行机构和传动装置的设计能力。

(4) 培养学生运用标准、规范、手册及网络信息等技术资料的能力,使学生获得机械实验技能的基本训练;使学生了解机械设计的最新发展、现代设计方法在机械设计中的应