



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

主 编 马爱兵 陈新民

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

013026455

TH122-43
345

普通高等教育“十二五”创新型规划教材

机械设计基础

主 编 马爱兵 陈新民
副主编 蒋小盼 周俊荣 马 丽 张 哲
编 委 邓拥军 谢卫容 潘玉荣



TH122-43
345

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



北航

C1633881

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/马爱兵, 陈新民主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-5640-6986-5

I. ①机… II. ①马… ②陈… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 257669 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16.5

责任编辑 / 多海鹏

字 数 / 382 千字

张慧峰

版 次 / 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

责任校对 / 杨 露

定 价 / 36.00 元

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本书是为适应普通高校大众化教育教学改革与教材建设的需要以及创新应用型人才的培养而编写，是普通高校机械类、近机械类或非机械类相关专业本、专科学生的教学用书，也可供相关专业工程技术人员和教学人员参考。

“机械设计基础”是一门专业基础课程。本书在编写过程中，力求理论联系实际，强调应用能力的培养；推陈出新，吸收学科的新理论、新技术，以提高学生综合素质、适应创新人才的培养要求；本书根据学生知识和能力的要求，以及课程设计的需要对课程体系和教学内容进行了整合；本书章节之间内容独立，教师可根据教学需求作适当调整。本书可提供必要的教学资源，如视频、动画、PPt 课件以及习题解答等，大大方便了教学。

本书共分 12 章，由教授把关，以长期在一线教学的且部分具有双师资格的教师组成编写团队，其中马爱兵编写第 1 章，周俊荣编写第 2 章及第 3 章，蒋小盼编写第 4 章及第 5 章，马丽编写第 6 章，邓拥军编写第 7 章，谢卫容编写第 8 章及第 9 章，潘玉荣编写第 10 章及第 11 章，陈新民编写第 12 章。本书由胡均安、张道德教授全篇审阅。本书在编写过程中也得到了张哲的大力协助，一并感谢。

敬请读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机器的组成及其特征	1
1.1.1 机器的组成	1
1.1.2 机器的特征	2
1.2 机械设计的基本要求及一般程序	3
1.2.1 机械设计的基本要求	3
1.2.2 机械设计的一般程序	3
1.2.3 机械零件设计的一般程序	4
1.3 本课程研究的内容、作用、学习目的及学习方法	4
1.3.1 本课程研究的内容	4
1.3.2 本课程的作用	4
1.3.3 学习目的	4
1.3.4 学习方法	4
习题	5
第 2 章 平面机构的结构分析	6
2.1 平面机构的组成	6
2.1.1 运动副及其分类	6
2.1.2 运动链	7
2.1.3 运动链和机构的关系	7
2.2 平面机构的运动简图	7
2.2.1 平面机构的表示方法	7
2.2.2 平面机构简图的绘制	9
2.3 平面机构的自由度计算	10
2.3.1 构件的自由度	10
2.3.2 平面运动副对构件的约束	10
2.3.3 平面机构自由度的计算	10
习题	14

第3章 挠性传动设计	16
3.1 带传动概述	16
3.1.1 带传动的组成	16
3.1.2 带传动的类型	16
3.1.3 带传动的特点和应用	17
3.2 V带传动分析	17
3.2.1 V带的结构和标准	18
3.3 V带传动的选用计算	20
3.3.1 带传动的失效形式和设计准则	20
3.3.2 V带传动设计	20
3.4 带传动的工作情况分析	27
3.4.1 带传动的受力分析	27
3.4.2 带传动的应力分析	28
3.4.3 带传动的传动比	29
* 3.5 带传动的张紧、安装及维护	30
3.5.1 带传动的张紧	30
3.5.2 带传动的安装及维护	31
习题	32
第4章 齿轮传动设计	33
4.1 齿轮机构特点及类型	33
4.1.1 齿轮传动的组成	33
4.1.2 齿轮传动的特点	34
4.1.3 齿轮传动的类型	34
4.2 齿廓啮合基本定律	36
4.2.1 齿廓啮合基本定律	36
4.3 渐开线齿廓	37
4.3.1 渐开线的形成和特性	37
4.3.2 渐开线的压力角	38
4.3.3 渐开线齿廓啮合特点	39
4.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮	40
4.4.1 标准直齿圆柱齿轮各部分名称	40
4.4.2 基本参数	41
4.4.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分尺寸	42
4.5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	43
4.5.1 正确啮合条件	43
4.5.2 连续传动条件	44
4.5.3 标准安装和标准中心距	45
4.6 渐开线齿轮的加工方法	46

4.6.1	仿形法	46
4.6.2	范成法	47
4.6.3	根切现象与最小齿数	49
4.6.4	避免根切措施	50
4.7	标准直齿圆柱齿轮的设计	51
4.7.1	齿轮传动的失效形式	51
4.7.2	齿轮传动的设计准则	53
4.7.3	齿轮的材料及热处理	53
4.7.4	轮齿的受力分析	55
4.7.5	计算载荷 F_{nc}	56
4.7.6	轮齿的齿根弯曲疲劳强度计算	57
4.7.7	齿面接触强度的计算	58
4.7.8	齿轮材料的许用应力	59
4.7.9	齿轮传动主要的参数选择	62
4.7.10	齿轮传动的设计步骤	63
4.7.11	齿轮传动的精度	67
4.8	斜齿圆柱齿轮机构	67
4.8.1	斜齿圆柱齿轮齿廓的形成	67
4.8.2	斜齿圆柱齿轮传动的啮合特点	68
4.8.3	斜齿圆柱齿轮的主要参数及几何尺寸	69
4.8.4	斜齿圆柱齿轮传动的正确啮合条件	70
4.8.5	斜齿圆柱齿轮的当量齿数	71
4.8.6	斜齿圆柱齿轮传动的重合度	71
4.8.7	斜齿圆柱齿轮轮齿的强度计算	72
4.8.8	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	73
4.9	直齿圆锥齿轮传动	74
4.9.1	直齿圆锥齿轮传动的啮合特点	74
4.9.2	直齿圆锥齿轮的主要参数及几何尺寸的计算	74
4.9.3	直齿圆锥齿轮轮齿的受力分析	76
4.9.4	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	76
4.10	齿轮的结构设计、润滑及传动效率	77
4.10.1	齿轮的结构设计	77
4.10.2	齿轮传动的润滑	79
4.10.3	齿轮传动的效率	79
4.11	蜗杆传动	80
4.11.1	蜗杆传动的组成及特点	80
4.11.2	圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	80
	习题	84

第 5 章 齿轮系	86
5.1 齿轮系的类型及功用	86
5.1.1 定轴齿轮系	86
5.1.2 周转齿轮系	86
5.2 定轴轮系传动比的计算	87
5.2.1 轮系的传动比	87
5.3 周转齿轮系的传动比计算	89
5.3.1 周转轮系的组成	89
5.3.2 周转轮系传动比的计算	90
5.4 复合齿轮系的传动比计算	91
5.5 齿轮系的应用	92
5.5.1 获得大的传动比	92
5.5.2 实现距离较远的两轴之间的传动	93
5.5.3 实现变速传动	93
5.5.4 实现换向传动	93
5.5.5 实现分路传动	94
5.5.6 用于对运动进行合成与分解	94
习题	95
第 6 章 轴的设计及轴上零件简介	97
6.1 轴的类型及材料	97
6.1.1 轴的类型	97
6.1.2 轴的材料	99
6.2 轴的结构设计	100
6.2.1 设计轴时应考虑的问题	100
6.2.2 轴的初步估算	103
6.2.3 轴的结构设计	104
6.3 轴的强度计算	106
6.3.1 按弯扭合成强度计算	106
6.4 轴的设计实例	107
6.5 联轴器、离合器、制动器及弹簧	110
6.5.1 联轴器	110
6.5.2 离合器	114
6.5.3 制动器	116
6.5.4 弹簧	117
习题	118

第 7 章 轴承	120
7.1 滚动轴承的结构及类型	120
7.1.1 滚动轴承的结构	120
7.1.2 滚动轴承的类型和特性	121
7.2 滚动轴承的代号意义及其类型的选择	124
7.2.1 滚动轴承的代号意义	124
7.2.2 滚动轴承类型的选择	127
7.3 滚动轴承尺寸的选择	128
7.3.1 滚动轴承的失效形式和计算准则	128
7.3.2 滚动轴承的寿命计算	129
7.4 滚动轴承的静载荷计算	136
7.4.1 基本额定静载荷	136
7.4.2 当量静载荷	136
7.4.3 静强度计算	137
7.5 滚动轴承的组合设计	137
7.5.1 滚动轴承的轴向固定	137
7.5.2 滚动轴承的组合支撑配置形式	138
7.5.3 滚动轴承的组合调整	140
7.5.4 滚动轴承组合支撑部分的刚度和同轴度	141
7.5.5 滚动轴承的预紧	141
7.5.6 滚动轴承的配合与装拆	142
7.6 滚动轴承的润滑及密封	144
7.6.1 滚动轴承的润滑	144
7.6.2 滚动轴承的密封	146
7.7 滑动轴承的类型、结构及材料	147
7.7.1 滑动轴承的特点和应用	147
7.7.2 滑动轴承的类型和结构	147
7.7.3 轴瓦的结构和滑动轴承的材料	149
7.8 非液体摩擦滑动轴承的设计计算	151
7.8.1 滑动轴承的失效形式和计算准则	151
7.8.2 向心滑动轴承的设计计算	152
7.8.3 推力滑动轴承的设计计算	152
习题	153
第 8 章 连接	155
8.1 连接的类型	155
8.2 螺纹连接类型、特点及应用	155
8.2.1 螺纹的形成和类型	155
8.2.2 螺纹的主要参数	157
8.2.3 螺纹连接的基本类型	158

8.2.4 螺纹连接件的主要类型	158
8.3 螺纹连接的预紧与防松	160
8.3.1 螺纹连接的预紧	160
8.3.2 螺纹连接的防松	160
8.4 螺栓连接的强度计算	162
8.4.1 普通螺栓连接的强度计算	162
8.4.2 铰制孔螺栓连接的强度计算	165
8.5 螺纹连接件的材料及提高螺栓连接强度的措施	166
8.5.1 螺纹连接件的材料	166
8.5.2 提高螺栓连接强度的措施	167
8.6 螺栓组连接的结构设计	168
8.7 螺旋传动	170
8.7.1 螺旋传动的类型	170
8.7.2 滚动螺旋机构	171
8.8 键连接和销连接	172
8.8.1 键连接的类型、特点及应用	172
8.8.2 平键连接的选用及强度校核	175
8.9 销连接及无键连接	176
8.9.1 销连接	176
8.9.2 无键连接	176
习题	178
第9章 平面连杆机构	180
9.1 平面铰链四杆机构的组成及类型	180
9.1.1 平面铰链四杆机构的组成	180
9.1.2 平面铰链四杆机构的基本类型	180
9.1.3 平面铰链四杆机构的演化	182
9.2 平面铰链四杆机构的工作特性	183
9.2.1 平面铰链四杆机构中存在曲柄的条件	183
9.2.2 急回特性	184
9.2.3 压力角和传动角	185
9.2.4 死点	185
9.3 平面四杆机构的设计	187
9.3.1 图解法设计平面四杆机构	187
9.3.2 解析法设计平面四杆机构	191
9.3.3 实验法按照给定轨迹设计平面四杆机构	191
习题	192
第10章 凸轮机构	194
10.1 凸轮机构的组成、应用及分类	194
10.1.1 凸轮机构的组成、应用及特点	194

10.1.2 凸轮机构的类型·····	196
10.2 从动件的运动规律·····	198
10.2.1 平面凸轮的基本尺寸和运动参数·····	198
10.2.2 从动件的常用运动规律·····	199
10.2.3 从动件的运动规律的选择·····	203
10.3 盘形凸轮轮廓曲线的设计方法·····	203
10.3.1 作图法·····	203
10.3.2 解析法设计凸轮轮廓曲线·····	206
10.4 凸轮机构设计中的几个问题·····	207
习题·····	209
第 11 章 其他机构 ·····	211
11.1 棘轮机构·····	211
11.1.1 棘轮机构的组成、工作原理及类型 ·····	211
11.1.2 棘轮机构的运动设计及几何尺寸的计算·····	214
11.1.3 棘轮转角的调节方法·····	216
11.2 槽轮机构·····	217
11.2.1 槽轮机构的组成、工作原理及类型 ·····	217
11.2.2 槽轮机构的运动设计及几何尺寸的计算·····	218
11.3 螺旋机构·····	219
11.3.1 螺旋机构的类型及应用·····	219
11.3.2 滚动螺旋机构·····	220
习题·····	221
第 12 章 机械系统设计 ·····	223
12.1 机械系统设计的原则·····	223
12.1.1 机械系统设计的基本要求·····	223
12.1.2 机械设计的内容与步骤·····	224
12.2 动力系统及传动系统设计·····	225
12.2.1 传动方案的确定·····	225
12.2.2 动力系统的选择·····	227
12.2.3 计算总传动比和分配各级传动比·····	231
12.3 执行系统的设计·····	234
12.3.1 执行系统的组成及功能·····	234
12.3.2 机构的选型及常用执行机构的主要性能特点·····	235
12.3.3 执行系统的设计·····	236
习题·····	238
参考答案·····	239
参考文献·····	251

第 1 章

绪 论

机械是人类在长期的生产实践中不断创新发展而形成的具有一定性能的技术装备,是国民经济的重要支柱,代表着国家的生产能力和科学技术水平,是国家现代化的标志。机械设计是指为规划和设计实现预期功能的新机械或改进原有机器的性能而进行的创造性工作。创造就是创新,它是一个民族的灵魂,是一个国家兴旺发达的不竭动力。机械设计基础课程是一门介绍和研究机械设计基础知识的课程,以组成机械的常用机构及通用零部件为研究对象。

1.1 机器的组成及其特征

1.1.1 机器的组成

任何机械都是为了实现某种功能而设计制作,代替人类劳动或减轻人类劳动的强度,提高劳动效率,改善劳动环境。

机械是机器和机构的总称。机器的类型很多,在日常生活和生产中,我们都接触过许多机器。例如洗衣机、缝纫机、汽车、内燃机(一般分为汽油机和柴油机)、起重机、各类机床等。

图 1.1 所示为颚式破碎机,其主要是由装料口 1、偏心轴 2、固定颚板 3、活动颚板 4、进料口调节装置 5、撑杆 6 和机架 7 等组成。电动机通过带轮带动偏心轴绕定轴转动,使活动颚板向固定颚板靠近,使通过装料口进来的石料被挤压破碎,实现其粉碎功能。

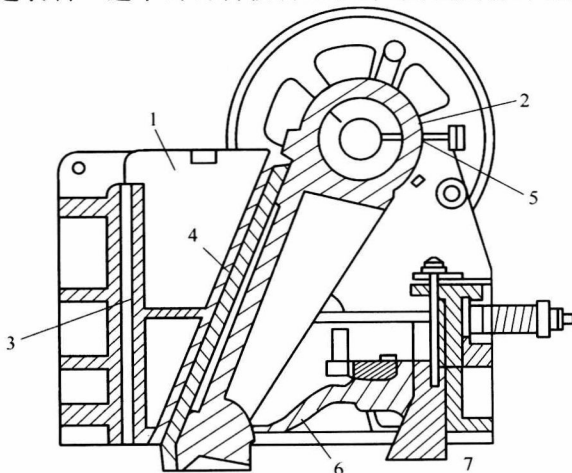


图 1.1 颚式破碎机

1—装料口;2—偏心轴;3—固定颚板;
4—活动颚板;5—进料口调节装置;6—撑杆;7—机架

各种不同的机器具有不同的形式、结构和用途,但其一般少不了有动力系统、传动系统、执行系统和控制系统四大系统。

1.1.2 机器的特征

对于不同的机器也有一些相同的特征,而这些特征主要有以下三点。

(1) 任何机器都是由许多零件组合而成的,是人为的制造实体。例如图 1.2 所示的单缸内燃机就是由汽缸 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮轴 7 气阀 10 等一系列零件组成的。零件是制造的最小单元。在这些零部件中,有的是作为一个独立的运动单元体运动的;有的则是常常由于结构和工艺上的需要,而与其他零件刚性地连接在一起,作为一个整体运动的,其称为构件,构件是运动的最小单元。例如在图 1.2 所示的单缸内燃机中,其连杆组件(见图 1.3)就是由连杆体 1、连杆盖 2 和轴承 3、连杆螺栓 6、连杆螺母 7 等组成的,是一个多零件组合的构件。它们刚性地连接在一起,作为一个整体运动,各零件之间没有相对运动,也就是说它们共同组成了一个独立的运动单元体。所以从运动的观点来看,也可以说机器都是由若干个构件组成的。部件则是装配的最小单元,如轴承、减速器、联轴器等。

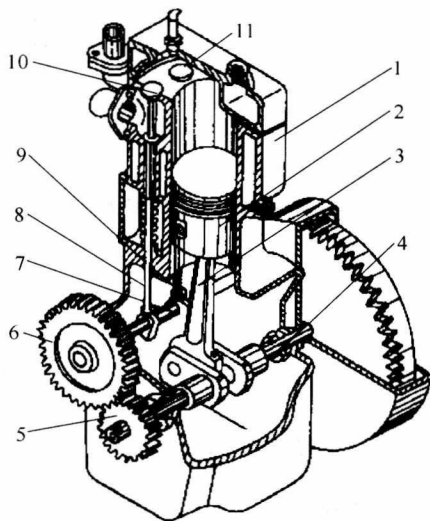


图 1.2 单缸内燃机

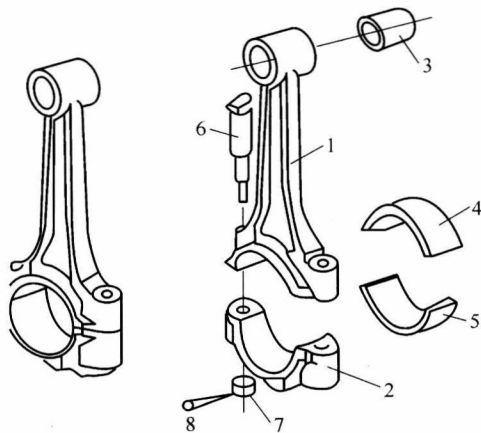


图 1.3 连杆

(2) 组成机器的各构件之间都有确定的相对运动。例如图 1.2 所示的单缸内燃机中,曲轴与箱体之间、连杆与曲轴之间、活塞与连杆之间等,都具有确定的相对运动。

(3) 各种机器都能代替或减轻人的劳动强度,并能完成有益的机械功或完成能量、物料与信息的转换和传递。例如图 1.2 所示的单缸内燃机就能将热能转换为机械能。

根据上述分析可知,凡是具有以上三个特征的人为构件的合体,均称为“机器”;而具有以上前两个特征的人为构件的合体,称为“机构”;机器和机构则统称为机械。

一台机器可以是一种机构,也可以是多种机构的组合;不同的机器也可能包括相同的机构。例如图 1.2 所示的单缸内燃机中,曲轴、连杆、活塞这三个构件的合体就只具有以上前两个特征,所以组成了一个机构,即常称的曲柄滑块机构。而内燃机还包括齿轮机构、凸轮机构等机构,再配上排气系统、燃料系统、润滑系统、启动系统和冷却系统等系统进行工作。

1.2 机械设计的基本要求及一般程序

1.2.1 机械设计的基本要求

机械设计应满足下列要求:

(1) 功能要求。满足预期功能要求是机械设计首要的要求。

(2) 市场和经济性要求。机械产品设计中,应始终以满足市场和经济性要求为导向,并在机械产品设计、销售、制造三方面作为一个整体考虑。如果机械产品有市场需要,但其价格昂贵,它最终会被市场所淘汰;如果机械产品无市场需要,即使其价格再便宜,也不会被市场所接受。所以应做到市场和经济性的统一。

(3) 工艺性要求。机械产品的工艺性是指机械产品的加工和装配是否可行、合理、经济。设计人员必须关心产品的加工、装配以及包装、运输整个过程。

(4) 操作和维修方便要求。机械产品如果操作和维修不方便,它就不会被使用者所接受。

(5) 安全性和可靠性要求。安全性和可靠性也是在机械设计中应该非常重视的问题。如果机械产品的安全性和可靠性不够,就会出现事故,造成人身财产损失。

(6) 环境保护和造型美观要求。随着社会的发展,环境问题和造型美观问题越来越受到人们的关注。

1.2.2 机械设计的一般程序

机械设计的程序一般可按下列的程序进行:

(1) 明确设计要求,编制详细的任务书。要进行机械设计,首先必须要弄清设计对象的预期功能、有关指标及限制条件,编制详细的任务书。任务书中应明确规定产品应具有的功能、预定成本、生产批量、工作环境条件、结构要求、使用要求及完成任务的时限等。

(2) 确定总体设计方案。这一阶段的主要任务是根据设计任务书的要求,构思出多种方案,再进行分析比较,从中选出一套最优的方案,并绘制出总体设计图——机构运动简图。

(3) 进行总体结构设计和零件设计。这一阶段的主要任务是完成施工所需的总装图、部件草图,完成各零件工作图,并根据定型的零件图重新绘制出总装图和部件装配图。

(4) 进行试制和鉴定。这一阶段的主要任务是根据上述设计所提供的技术文件,进行样机试制,并对试制出的样机进行试验,从技术上、经济上作出全面的评价,为修改设计提供依据。

(5) 进行产品定型。最后根据样机试制中存在的问题修改设计方案,使设计更加完善,定型生产。

1.2.3 机械零件设计的一般程序

机械零件设计的程序一般可按下列程序进行:

- (1) 根据总体设计的要求,选择零件的类型和结构。
- (2) 根据机器的工作要求,计算作用在零件上的载荷。
- (3) 根据机器的工作条件,选择合适的材料。
- (4) 根据零件可能的失效形式,确定设计准则。
- (5) 根据设计准则,结合工艺性和标准化等原则进行零件的结构设计并计算出零件的基本参数和尺寸,进行详细的校核计算,判断结构的合理性。
- (6) 绘制零件的工作图,并写出说明书。

1.3 本课程研究的内容、作用、学习目的及学习方法

1.3.1 本课程研究的内容

本课程研究的主要内容包括两个部分:

- (1) 研究常用机构的作用、组成、结构、工作原理、类型、运动特点、设计方法等方面的基本知识。这些常用机构包括:平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇机构等。
- (2) 研究通用机械零件的工作原理、结构特点、选用和设计问题。这些零件包括齿轮传动、带传动、链传动等传动零部件,连接零部件及轴、轴承等轴系零部件等。

1.3.2 本课程的作用

本课程是机械类和机电类专业的一门技术性基础课程,它是利用工程力学、机械制图、机械制造基础等课程学到的知识,解决机械设计中的一些问题;另一方面,不同于专业课,它还研究各种机械所具有的共性问题,是基础课与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有非常重要的位置。

1.3.3 学习目的

本课程的学习目的有两个:

- (1) 掌握常用机构的作用、组成、结构、工作原理、类型、运动特点和设计方法等方面的基本知识,为专业课学习打好基础。
- (2) 掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、选用和设计方法,培养学生初步运用标准、规范、手册、图册等技术资料进行机械设计的能力。

1.3.4 学习方法

本课程是一门综合性、实践性很强的课程,它的学习方法如下:

- (1) 学习理论的同时要坚持联系实际,联系整体机械系统进行综合分析。本课程比其他专业基础课更贴近于实际,只有在学习理论的同时坚持联系工程实际,才能加深对理论知识的理解。

(2) 学习知识的同时要注意能力的培养。学习知识是为了解决机械设计中的实际问题,所以要把培养能力作为重中之重,多练习、多实践,有助于提高学生的设计能力。

习 题

简答题

1. 简述机构、零件的概念。
2. 比较机器和机构的异同。

第 2 章

平面机构的结构分析

如前所述,零件是加工制造的最小单元;构件是由一个零件或由若干个零件组成机械系统的最小运动单元;机构是两个或两个以上的且具有确定相对运动的构件的组合。如果机构中所有的运动件均在同一平面或相互平行的平面中运动,则称其为平面机构,否则就称为空间机构。目前,工程上常见的机构大多属于平面机构,所以本章只讨论平面机构。

2.1 平面机构的组成

2.1.1 运动副及其分类

机构是由若干个构件组成的。机构中的每个构件都以一定的方式与其他构件相连,这种连接是能产生相对运动的连接。这种使两个构件直接接触仍能产生一定相对运动的连接称为运动副。例如凸轮、活塞与汽缸、传动齿轮两个轮齿间的连接等都构成运动副。

平面机构中,构成运动副的各构件均为平面运动,所以称为平面运动副。按照运动副接触形式的不同,平面运动副可分为低副和高副。

1. 低副

两个构件为面接触的运动副称为低副。平面低副按其相对运动形式可分为转动副和移动副两种。

1) 转动副

转动副也称为铰链或回转副,是指组成运动副的两构件通过铰链相连,只能在一个平面内做相对转动的低副,如图 2.1 所示。

2) 移动副

移动副是指组成运动副的两构件通过面接触只能做相对移动的低副,如图 2.2 所示。

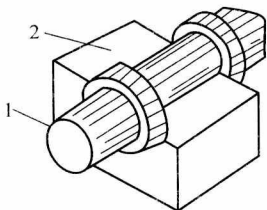


图 2.1 转动副
1—轴颈;2—轴承

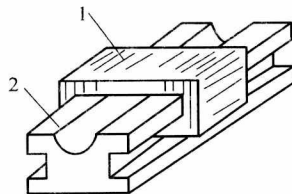


图 2.2 移动副
1—滑块;2—导轨