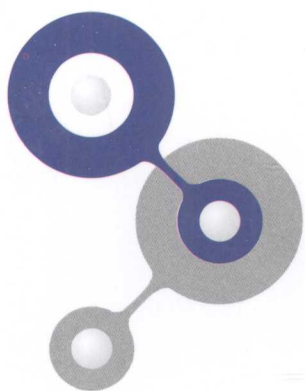




高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材



机械原理

主编 朱龙英
主审 朱如鹏



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

机械原理

主 编 朱龙英

副主编 周 海 杨玉萍

参 编 郁 倩 袁 健

主 审 朱如鹏

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书是根据教育部机械基础课程教学指导委员会批准的机械原理课程教学基本要求编写的。全书以培养学生创新意识和机械系统方案设计能力为目标,以设计为主线,以适应我国本科教育大众化的时代需求和 21 世纪培养高级应用型人才的需要。

本书共分 12 章,主要内容有:绪论、机构的结构分析、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机构和其它常用机构、机械系统动力学、机械的平衡、机械执行系统方案设计、机械传动系统方案设计、计算机辅助机构设计与分析等。

本书可作为普通高等院校机械类专业的教学用书,也可作为近机械类和非机械类专业学生及有关工程技术人员参考书。

★本书配有电子教案,需要的教师可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/朱龙英主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2009.2

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2171-5

I. 机… II. 朱… III. 机构学—高等学校—教材 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 211770 号

策 划 毛红兵

责任编辑 南 景 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 19.25

字 数 453 千字

印 数 1~4000 册

定 价 27.00 元

ISBN 978-7-5606-2171-5/TH·0101

XDUP 2463001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦 力	王建中	巨永锋	孙 强	陈在平	李正明
吴 斌	杨马英	张九根	周玉国	党宏社	高 嵩
秦付军	席爱民	穆向阳			

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉	李荣正	余健明
段晨东	郝润科	谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋	刘晓婷	朱建公	朱若燕	何法江	李鹏飞
麦云飞	汪传生	张功学	张永康	胡小平	赵玉刚
柴国钟	原思聪	黄惟公	赫东锋	谭继文	

项目策划：马乐惠

策 划：毛红兵 马武装 马晓娟

前言

机械原理是机械类专业的一门主干技术基础课。该课程面向机械、汽车、纺织、材料、航空等工程类本科、专科学生,课程的任务是:在培养机械类高等工程技术人才全局中,使学生掌握机构学和机械动力学的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生初步具有确定机械系统运动方案、分析和设计机构的能力以及创新能力。因此,本课程不仅具有培养未来机械工程技术人员能力的任务,还在知识结构上起着承上启下的作用,为学生学好后续专业课程奠定技术知识基础。

本书是在我国本科教育大众化的背景下,针对本科专业人才培养目标多层次化的现实和需求,按照高等院校进行的课程教学改革和加强教材建设的精 神,结合国内同行教改实践和科研成果,以培养工程应用型人才为主要目标编写而成的。编写此书的目的是培养素质高、能力强,适应机械学科和技术发展需要,具有开拓创新精神和意识的人才。

工程应用型大学的机械类教材建设应满足应用型大学的实际需求,在内容的选取上要切合工程实际的需要,理论上以必需够用为度,篇幅上应适应课时要求。本书在内容的取舍和安排上,主要有以下几方面的特点:

(1) 在保证教学基本要求和学科知识体系完整的前提下,对教学内容进行了分层次调整,努力做到知识连贯、重点突出;从工程应用和有利于读者理解的角度出发,对语言的描述方式进行了调整,努力做到既严谨准确,又便于理解。

(2) 强调对机械原理的基本概念、基本理论和机构分析与设计基本方法的理解和掌握,以常用机构的分析和设计为重点,精心编排教材内容;以图解法建立直观概念,加强解析法和计算机辅助设计与分析的内容,使学生掌握使用计算机处理机构设计与分析问题的算法与思路,适应未来实际工作的需要;没有选入机构运动分析的图解法、机构动态静力分析、机构的摩擦等与先修课程重复的内容。

(3) 从学科发展和技术创新的角度出发,对机构学发展的趋势和创新技术进行了必要的介绍,使读者开阔眼界,了解学科的发展,试图达到培养学生创新意识和素质的目的。

(4) 书末的附录中编写了“机械原理主要名词术语中英文对照表”,以方便读者阅读有关国外参考书和科技文献资料,为教育部倡导的双语教学的开展提供了方便。

本书适用于普通高等学校机械类各专业,也可供近机械类专业使用。全书各章自成系统,这为教材的灵活使用提供了条件,各校可根据自己的课程安排和学时情况选取章节内容,书中有的章节可不作教学要求。

本书由盐城工学院朱龙英老师担任主编，盐城工学院周海老师和南通大学杨玉萍老师担任副主编，盐城工学院郁倩老师和袁健老师参加编写。其中，第1、11、12章和附录由朱龙英老师编写；第2~4章由周海老师编写；第7、10章由杨玉萍老师编写；第5、6章由郁倩老师编写；第8、9章由袁健老师编写。全书由南京航空航天大学朱如鹏教授主审。本书在编写过程中一直得到编者所在单位领导、同事和出版单位的大力支持，在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不当及欠妥之处在所难免，真诚希望同行教师 and 广大读者批评指正。

编者
2008年10月

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。本书在编写过程中，得到了许多同行专家的指导和帮助，在此一并致以衷心的感谢。

目

录

第 1 章 绪论	1	2.4 平面机构的组成原理和结构分析	24
1.1 机械原理课程的研究对象	1	2.4.1 平面机构的高副低代	24
1.1.1 机器	1	2.4.2 杆组和平面机构的组成原理	25
1.1.2 机构	3	2.4.3 平面机构的结构分析	27
1.2 机械原理课程的内容和地位	3	思考题及习题	28
1.2.1 机械原理课程的内容	3	第 3 章 平面连杆机构	33
1.2.2 机械原理课程中的地位	4	3.1 平面连杆机构的类型及演化	33
1.3 机械原理课程的学习目的和学习方法	4	3.1.1 平面连杆机构的基本类型	33
1.3.1 机械原理课程的学习目的	4	3.1.2 四杆机构的演化	36
1.3.2 机械原理课程的学习方法	5	3.2 平面连杆机构的工作特性	40
1.4 机械原理学科的发展	5	3.2.1 连杆机构的运动特性	40
1.4.1 机构结构理论	5	3.2.2 连杆机构的传力特性	43
1.4.2 平面与空间连杆机构	6	3.3 连杆机构的设计	45
1.4.3 凸轮机构	6	3.3.1 四杆机构设计的基本问题	45
1.4.4 其它机构	6	3.3.2 按预定的连杆位置设计	46
1.4.5 机械动力学	7	四杆机构	46
1.4.6 机构的最优化设计	7	3.3.3 按预定的运动规律设计	47
1.4.7 仿生机构学	8	四杆机构	47
1.4.8 微型机械	8	3.3.4 按预定的运动轨迹设计	52
1.4.9 机构系统设计	9	四杆机构	52
思考题及习题	9	3.4 平面机构的运动分析	54
第 2 章 机构的结构分析	10	3.4.1 平面机构速度分析的瞬心法	54
2.1 机构的组成	10	3.4.2 平面机构运动分析的解析法	57
2.1.1 构件	10	思考题及习题	62
2.1.2 运动副	10	第 4 章 凸轮机构	66
2.1.3 运动链	12	4.1 凸轮机构的组成和类型	66
2.1.4 机构	13	4.1.1 凸轮机构的组成	66
2.2 机构运动简图	13	4.1.2 凸轮机构的类型	67
2.2.1 机构运动简图概述	13	4.1.3 凸轮机构的运动过程及	69
2.2.2 机构运动简图的绘制	17	主要参数	69
2.3 平面机构的自由度	18	4.2 从动件的运动规律	70
2.3.1 平面机构自由度的计算	18	4.2.1 多项式的运动规律	70
2.3.2 机构具有确定运动的条件	18	4.2.2 三角函数的运动规律	73
2.3.3 计算机构自由度时应注意的	19	4.2.3 组合运动规律	75
问题	19	4.2.4 从动件运动规律的选择	75

4.3 凸轮轮廓曲线的设计	76	5.9.1 直齿圆锥齿轮齿廓的形成及 当量齿轮	125
4.3.1 凸轮轮廓曲线设计的基本原理	76	5.9.2 直齿圆锥齿轮的啮合传动	127
4.3.2 图解法设计凸轮轮廓线	76	5.10 蜗杆蜗轮机构	128
4.3.3 解析法设计凸轮轮廓线	79	5.10.1 蜗杆蜗轮的形成	128
4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	83	5.10.2 蜗杆蜗轮机构的啮合传动	129
4.4.1 凸轮机构的压力角	83	5.10.3 蜗杆蜗轮机构的特点和应用	132
4.4.2 凸轮基圆半径的确定	85	思考题及习题	133
4.4.3 从动件偏置方向的选择	86	第6章 轮系	136
4.4.4 滚子半径的确定	86	6.1 轮系的类型	136
4.4.5 平底从动件凸轮的平底宽度 设计	87	6.1.1 定轴轮系	136
思考题及习题	88	6.1.2 周转轮系	136
第5章 齿轮机构	92	6.1.3 复合轮系	138
5.1 齿轮机构的类型和特点	92	6.2 轮系的传动比计算	139
5.2 齿廓啮合基本定律和齿廓曲线的 选择	94	6.2.1 定轴轮系的传动比	139
5.3 渐开线齿廓	95	6.2.2 周转轮系的传动比	141
5.3.1 渐开线的形成	95	6.2.3 复合轮系的传动比	144
5.3.2 渐开线的性质	96	6.3 轮系的功用	146
5.3.3 渐开线方程	96	6.4 轮系的设计	149
5.3.4 渐开线齿廓啮合特性	97	6.4.1 定轴轮系的设计	149
5.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮	98	6.4.2 周转轮系的设计	150
5.4.1 外齿轮	98	6.5 其它类型的行星传动简介	153
5.4.2 内齿轮	100	6.5.1 渐开线少齿差行星传动	153
5.4.3 齿条	100	6.5.2 摆线针轮行星传动	155
5.4.4 渐开线齿轮任意圆上的齿厚	101	6.5.3 谐波齿轮传动	155
5.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	102	思考题及习题	157
5.5.1 正确的啮合条件	102	第7章 间歇运动机构和其它常用 机构	162
5.5.2 齿轮传动的无侧隙啮合条件及 齿轮的安装	103	7.1 间歇运动机构	162
5.5.3 连续传动的条件	106	7.1.1 棘轮机构	162
5.6 渐开线齿廓的加工	107	7.1.2 槽轮机构	166
5.6.1 齿轮的切削加工原理	107	7.1.3 不完全齿轮机构	168
5.6.2 标准齿条形刀具加工齿轮	109	7.1.4 凸轮式间歇运动机构	169
5.6.3 渐开线齿廓的根切	110	7.2 其它机构	170
5.7 渐开线变位齿轮	112	7.2.1 螺旋机构	170
5.7.1 变位齿轮的几何尺寸	113	7.2.2 摩擦轮机构	173
5.7.2 变位齿轮传动	115	7.2.3 非圆齿轮机构	174
5.8 斜齿圆柱齿轮机构	117	7.3 组合机构	176
5.8.1 渐开线斜齿圆柱齿轮机构	117	7.3.1 机构的组合方式	176
5.8.2 平行轴斜齿圆柱齿轮机构	122	7.3.2 组合机构的类型	178
5.8.3 交错轴斜齿圆柱齿轮机构	123	思考题及习题	181
5.9 直齿圆锥齿轮机构	124		

第 8 章 机械系统动力学	182	10.2.1 执行系统的功能原理设计	218
8.1 作用在机械上的力及机械的运转过程	182	10.2.2 执行系统的运动规律设计	218
8.1.1 力的类型	182	10.3 执行机构的型式设计	220
8.1.2 机械的运转过程	183	10.3.1 执行机构型式设计的原则	220
8.2 机械的等效动力学模型	184	10.3.2 机构的选型	221
8.2.1 等效动力学模型	184	10.3.3 机构的构型	222
8.2.2 等效量的计算	185	10.4 执行系统的协调设计	226
8.3 机械运动方程式的建立与求解	187	10.4.1 执行系统协调设计的原则	226
8.3.1 机械运动方程式的建立	187	10.4.2 执行系统协调设计的方法	227
8.3.2 机械运动方程式的求解	188	10.4.3 机械的运动循环图	228
8.4 机械运转速度波动的调节	189	思考题及习题	230
8.4.1 非周期性速度波动及其调节	189	第 11 章 机械传动系统方案设计	231
8.4.2 周期性速度波动及其调节	191	11.1 机械传动系统方案设计的过程	231
8.4.3 飞轮设计	193	11.2 传动类型的选择	231
思考题及习题	197	11.2.1 传动机构的类型及特点	232
第 9 章 机械的平衡	200	11.2.2 传动类型的选择原则	234
9.1 机械平衡的分类	200	11.3 传动链的方案设计	234
9.1.1 转子的平衡	200	11.3.1 传动链的选择	234
9.1.2 机构的平衡	201	11.3.2 传动链顺序的布置	235
9.2 刚性转子的平衡设计	201	11.3.3 各级传动比的分配	236
9.2.1 静平衡设计	201	11.3.4 传动系统方案设计分析实例	236
9.2.2 动平衡设计	202	11.4 原动机的选择	240
9.3 刚性转子的平衡实验	204	11.4.1 原动机的类型及特点	241
9.3.1 静平衡实验	204	11.4.2 原动机的选择	241
9.3.2 动平衡实验	205	思考题及习题	243
9.4 平面机构的平衡设计	206	第 12 章 计算机辅助机构设计与分析	244
9.4.1 机构惯性力的完全平衡性	206	12.1 计算机辅助机构设计与分析的特点及分类	244
9.4.2 机构惯性力的部分平衡法	209	12.2 平面连杆机构的计算机辅助设计	245
思考题及习题	211	12.3 平面连杆机构的运动分析和仿真	250
第 10 章 机械执行系统方案设计	214	12.4 凸轮机构的计算机辅助设计	270
10.1 机械系统总体方案设计	214	附录 机械原理主要名词术语中英文对照表	282
10.1.1 机械产品的现代设计思想	215	参考文献	294
10.1.2 总体方案设计的内容	216		
10.1.3 总体方案设计的评价与决策	216		
10.2 机械执行系统的功能原理设计和运动规律设计	218		

第 1 章 绪 论

1.1 机械原理课程的研究对象

机械原理是一门以机械为研究对象的课程和学科。机械是机器与机构的总称，故机械原理又称机器理论与机构学。

1.1.1 机器

机器是一种作机械运动的装置，它用来变换或传递能量、物料和信息，以代替或减轻人类的体力或脑力劳动。机器的种类很多，根据用途不同，机器可分为动力机器、工作机器和信息机器。

1. 动力机器

动力机器又称原动机，其功用是把其它形式的能量变换成机械能，或者把机械能转变成其它形式的能量，如电动机、内燃机、发电机、涡轮机等。

2. 工作机器

工作机器是用来完成机械功的。工作机器可分为加工机器和运输机器两类，如金属切削机床、纺织机、包装机、轧钢机等属于加工机器；汽车、拖拉机、起重机、输送机等属于运输机器。

3. 信息机器

信息机器的功用是完成信息的传递和变换，如计算机、打印机、复印机、绘图机、照相机等。

机器的种类繁多，其构造、性能、用途也各不相同，下面通过两个实例来说明机器的组成和机器的特征。

图 1-1 所示为单缸内燃机。它是汽车、飞机、轮船等流动性机械最常用的动力装置。内燃机的功能是将热能转换成机械能。其工作原理是(参见图 1-1(a))：活塞 4 在气缸 1 中向下移动时，排气阀门 5 关闭，进气阀门 7 在凸轮 8 的控制下打开，将可燃气体吸入气缸，此过程称为进气冲程；当活塞 4 向上移动时，进、排气阀门均关闭，可燃气体被压缩，此过程称为压缩冲程；压缩冲程结束后，火花塞 6 利用高压放电，使燃气在气缸中燃烧、膨胀，产生的压力推动活塞 4 向下移动，此过程称为爆炸冲程；活塞 4 向下移动的同时，通过连杆 3 推动曲轴 2 转动，向外输出机械运动和力(机械能)；当活塞 4 再向上移动时，进气阀门 7 仍处于关闭状态，而排气阀门 5 在凸轮 12 的控制下打开，将废气排出，此过程称为排气冲程。以上各部分协调动作，完成一个运动循环，活塞上、下移动两次，曲轴转两圈。如

此往复运动，便能把燃气燃烧时的热能转变为曲轴转动的机械能。

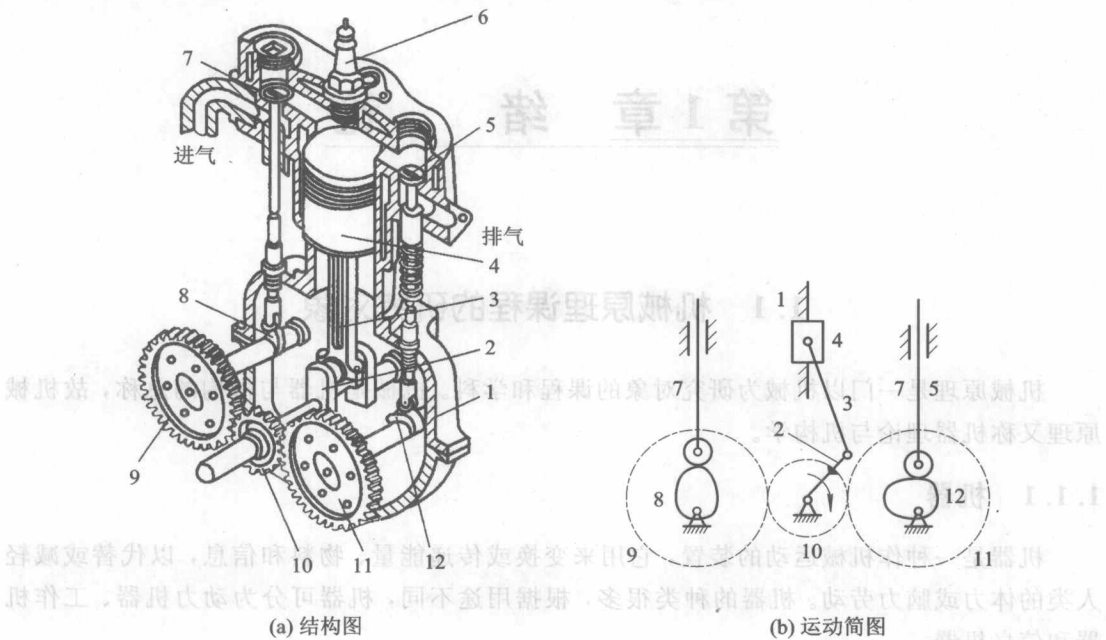


图 1-1 单缸内燃机

图 1-2 所示为牛头刨床示意图。它是将电动机 1 的旋转运动通过皮带传动，使齿轮 2 带动大齿轮 3 转动；大齿轮 3 带动滑块 4 在杆 5 中滑动，同时推动杆 5 绕滑块 6 的中心作往复摆动；杆 5 推动牛头 7 在刨床床身的导轨中往复滑动，带动刀架 8 往复运动，实现工作过程切削和空行程退回的动作，从而代替人完成有用的机械功。工作台 9 的横向进给是由齿轮 3 通过连杆和棘轮(图中未画出)及螺杆 10 使工作台 9 横向移动一个进刀距离。

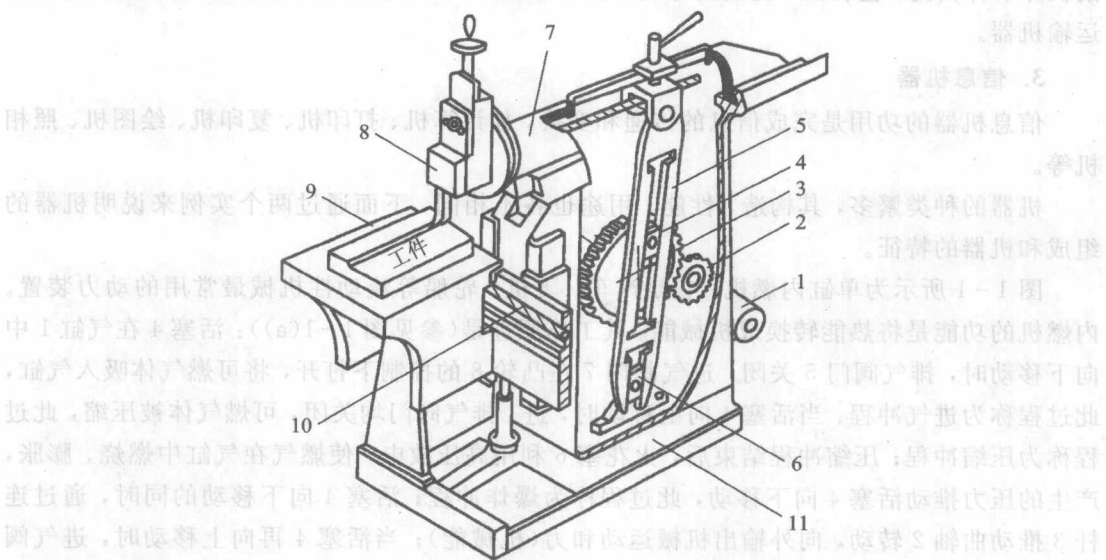


图 1-2 牛头刨床

从以上两个实例可以看出,虽然机器的构造、用途和性能各不相同,但从它们的组成、运动的确定性以及功能关系来看,都具有以下几个共同的特征:

- (1) 机器是由若干个人为的实物(构件)组成的;
- (2) 组成机器的各运动实物之间都具有确定的相对运动;
- (3) 机器能完成有用的机械功或转换机械能。

因此,同时具有以上三个特征的实物组合体就称为机器。

1.1.2 机构

机构是实现机械运动的构件组合体,是用来传递与变换运动和动力的可动装置,它是机器的重要组成部分。机构具有机器的前两个特征。

常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构、带传动机构、链传动机构、螺旋传动机构等。在图 1-1(b)所示的单缸内燃机运动简图中,曲轴 2—连杆 3—活塞 4—气缸 1 称为曲柄滑块机构;从动轮 9—主动轮 10—气缸 1 和主动轮 10—从动轮 11—气缸 1 称为齿轮机构;进气阀门 7—凸轮 8—气缸 1 和排气阀门 5—凸轮 12—气缸 1 称为凸轮机构。

由以上分析可知,机器是由机构组成的,它可以完成能量转换、做有用功或处理信息;而机构在机器中起着运动的传递和转换作用。一部机器可能由多个机构组成,如内燃机是由连杆机构、凸轮机构和齿轮机构组成的;一部机器也可能由一个机构组成,如发电机是由定子与转子双杆机构组成的。

从实现运动的观点看,机构和机器之间并无区别,故人们常用“机械”作为机器和机构的总称。

一部完整的机器通常由以下几部分组成。

(1) 原动部分:机器动力的来源,也称为原动机。常用的原动机有电动机、内燃机、液压缸或气动缸等。

(2) 执行部分:处于整个传动路线的末端,以完成机械预期的动作,如汽车的车轮、牛头刨床的走刀部分等。

(3) 传动部分:介于原动机和执行部分之间,用于把原动机的运动和动力传递给执行部分,如汽车中从发动机到车轮之间的变速器、差速器等,牛头刨床中从电动机到刨刀之间的带传动机构、齿轮机构、导杆机构等部分。

(4) 控制部分:包括操纵、监测、调节和控制等部分,主要用来控制机械的其它部分,使操作者能随时实现或终止各种预定的功能,如汽车的方向盘、机床的操纵手柄等。

1.2 机械原理课程的内容和地位

1.2.1 机械原理课程的内容

机械原理是一门研究机构及机械运动设计的课程,其主要内容有以下几个方面:

1. 机构的运动设计

机构的运动设计主要研究机构的组成原理以及各种机构的类型、特点、功用和运动设

计方法;通过机构类型综合,探索创新设计机构的途径;阐述满足预期运动和工作要求的各种机构的设计理论和方法。其主要内容包括机构的组成和机构分析,连杆机构、凸轮机构、齿轮机构和间歇运动机构等一些常用的机构及组合机构等。

2. 机械的动力设计

机械的动力设计主要介绍机械运转过程中所出现的若干动力学问题,以及如何通过合理设计和实验来改善机械动力性能的途径。其主要内容包括求解在已知力作用下机械的真实运动规律的方法,减少机械速度波动的调节问题、机械运动过程中的平衡问题以及机械效率问题。

3. 机械系统方案设计

机械系统方案设计主要介绍机械系统方案设计的设计内容、设计过程、设计思路和设计方法。其主要内容包括机械总体方案设计、机械执行系统方案设计和机械传动系统方案设计等。

通过对机械原理课程的学习,学生应掌握对已有的机械进行结构、运动和动力分析的方法,以及根据运动和动力性能方面的设计要求设计新机械的途径和方法。

1.2.2 机械原理课程的地位

机械原理以高等数学、物理学、材料力学和理论力学等基础课程为基础,研究各种机械所具有的共性问题,它又为以后学习机械设计和有关机械工程专业课程以及掌握新的科学技术打好工程技术的理论基础。因此,机械原理是机械类各专业的一门非常重要的技术基础课,它是基础理论课与专业课之间的桥梁,是机械类专业学生能力培养和素质教育的最基本的课程,在教学中起着承上启下的作用,占有非常重要的地位。

1.3 机械原理课程的学习目的和学习方法

1.3.1 机械原理课程的学习目的

(1) 为学习机械类有关专业课打好基础。机械原理课程中对机械的组成原理,各种机构的工作原理、运动分析、设计理论和方法都作了介绍,这对于机械类专业学生认识机械、了解机械和使用机械都会有很大帮助,而且这些有关机械的基本理论和知识将为学习机械设计和机械类相关专业课及掌握新的科学技术打好工程技术的理论基础。

(2) 为机械产品的创新设计打下良好的基础。随着科学技术的发展和市场经济体制的建立,多数产品的商业寿命正在逐渐缩短,品种需求增多,这就使产品的生产要从传统的单一品种大批量生产逐渐向多品种小批量柔性生产过渡。要使所设计的产品在国际市场上具有竞争力,就需要设计和制造出大量种类繁多、性能优良的新机械。机械的创新设计首先是在运动方式和执行运动方式的机构上创新,而这正是机械原理课程所研究的主要内容。

(3) 为现有机器的合理使用和革新改造打好基础。对于使用机械的工作人员来讲,要充分发挥机械设备的潜力,关键在于了解机械的性能。通过学习机械原理课程,应掌握机

构运动学和机械动力学的基本理论和基本技能,并具有拟定机械运动方案、分析和设计机构的能力,以合理使用现有机械和革新改造旧机械。

1.3.2 机械原理课程的学习方法

(1) 学习机械原理知识的同时,注重素质和能力的培养。在学习本课程时,应把重点放在研究问题的基本思路和方法上,着重于创新性思维能力和创新意识的培养。

(2) 重视逻辑思维的同时,加强形象思维能力的培养。从基础课到技术基础课,学习的内容变化了,学习的方法也应有所转变。要理解和掌握本课程的一些内容,解决工程实际问题,进行创造性设计,单靠逻辑思维是远远不够的,必须培养形象思维能力。

(3) 注意把理论力学的有关知识运用于本课程的学习中。在学习本课程的过程中,要注意运用高等数学、物理、理论力学和工程制图中的有关知识。

(4) 注意将所学知识用于实际,做到举一反三。机械原理来源于生产实践,并应用于工程实际。因此,本课程是一门与工程实际密切相关的课程,要更加注意理论联系实际。如果能注意观察、分析和比较,并把所学知识应用于实际,就能达到举一反三的目的。这样,当你从事设计工作时,就有可能从日常的积累中获得创造的灵感。

1.4 机械原理学科的发展

生产的发展促进了机械原理学科的发展,而学科的发展又反过来为生产的发展提供了有利条件,促进了生产的发展。机械原理作为机械及现代科学技术发展的基础学科,是机械工业和现代科学技术发展的重要基础,一直受到国内外的重视。20 世纪后期,随着科学技术的发展,机械原理的领域、内容及研究方法都有了飞速的发展。目前,机械原理学科已经和电子学、信息科学、计算机科学、生物科学及管理科学等相互渗透,相互结合,而成为一门崭新的学科,充满着生机与活力。它的研究领域已扩展到航空航天、深海作业、生物工程、微观世界、电子机械等。它的研究课题层出不穷,研究方法日新月异。

1.4.1 机构结构理论

由于机器人、步行机、人工假肢和新型机器的发展需要,以及机器的动力源广泛采用液压与气动,因此近年来对于多自由度、多闭环的多杆机构以及开式运动链的结构理论有了较多的研究。

在机构结构理论方面的研究,主要是机构的类型综合、杆数综合和机构自由度的计算。对平面机构来说,虽然机构结构的分析与综合研究比较成熟,但仍有一些新的发展。例如将关联矩阵、图论、拓扑学、网络理论等引入对结构的研究;用拆副、拆杆甚至拆运动链的方法将复杂杆组转化为简单杆组,以简化机构的运动分析和力学分析;仿照机构组成原理对机构功能原理的研究;关于机构中虚约束的研究及无虚约束机制的综合;组合机构的类型综合等。近年来对空间机构结构分析与综合的研究也有不少的进展,特别是在机器人机构学方面取得了较多成就。

为了创造和设计出更好的机构,开展机构创新方法的研究越来越得到重视。为了深入研究机构运动简图设计的理论和方法,开展机构分类方法、机构类型知识库建立和机构选

型的研究也日益受到重视。为了广泛地应用机电一体化技术,开展包括液压、气动、电磁、电子、光电等非机械传动元件的广义机构设计方法的研究已迫在眉睫。

1.4.2 平面与空间连杆机构

为了广泛地采用电子计算机进行平面连杆机构的各种复杂分析和综合运算,人们已开发出较为成熟的商业软件,利用电子计算机来编制表示其主要参数与运动特性、动力特性之间关系的曲线图谱。电子计算机的广泛应用也推动了平面连杆机构的最优化综合。用多自由度、多闭环、多杆平面连杆机构的连杆曲线来再现各种工作机械中工艺要求的轨迹已引起业界注意并加以研究,其中研究了提高机构动力性能为目标的综合方法和多精确点的四杆机构的综合方法等。另外,近年来还开展了对具有可变长结构、可变运动学和动力学参数的机构研究。

空间连杆机构分析与综合的计算公式和运算过程都比较繁复,常采用矢量、张量、矩阵、对偶数、四元数、旋量计算等数学工具进行研究。对于空间连杆机构的最优化设计问题也开始加以研究。近年来由于机器人技术发展的需要,对多自由度空间机构与开式空间运动链及特殊串联和多环并联机器人机构的工作空间、运动分析与综合,包括它们的动力学已作了不少有效的研究。

1.4.3 凸轮机构

为了改善凸轮机构的动力性能,凸轮曲线由等加速等减速运动规律、正弦加速度运动规律、余弦加速度运动规律改用为改进型正弦加速度运动规律、改进梯形加速度运动规律和代数多项式运动规律。寻找高速运转时具有良好动力性能的凸轮曲线是一个重要的研究内容,高速凸轮的弹性动力学是一个受到普遍重视的研究课题,按动力学要求设计凸轮廓线除了采用多项式凸轮曲线外,现在较多地采用具有某些符合动力特性要求的凸轮曲线,这种曲线使凸轮从动件系统残留振动的振幅在全部工作速度范围内不超过某一极限值。

在凸轮—从动件系统动力学问题的研究中,对于凸轮—从动件系统动力学模型的建立,动力学模型的运动微分方程式及其求解方法,系统动力响应的分析,凸轮机构设计参数的选择及其最优化,凸轮廓线的动力综合等问题都取得了重要的研究成果。

1.4.4 其它机构

槽轮机构是一种常用的间歇运动机构。为了提高机器的运行速度,改善动力性能,近年来提出了改直线槽为曲线槽,将串联槽轮机构、导杆机构与槽轮机构组合使用,采用链条式槽轮机构以及行星链轮式槽轮机构等。

凸轮间歇分度机构由于分度凸轮的加速度变化规律可以自由选择,使冲击与振动现象大大减轻,因此工作平稳性和运动精度有较大提高。目前最高使用速度已达2000次分度每分钟。近年来,对于凸轮间歇分度机构的运动规律、凸轮空间曲面设计以及制造技术均有不少研究,凸轮机构的CAD/CAM研究也受到重视。

组合机构由于其结构相对简单且能实现单一基本机构所无法实现的运动规律和运动轨迹,如能近似或精确地实现某些预期的轨迹或输入—输出运动规律,常可用做直线、圆弧

或平行导向,能实现有停歇期或步进运动等特殊工作要求,因此近年来在农业机械、纺织机械、印刷机械、包装机械、冶金机械中应用得较为广泛。对于组合机构的组成原理、基本类型、功能等方面尚需作深入、系统的研究,其应用领域也需要进一步扩展。英、美等国对组合机构的分析和综合是以复数矢量法等解析法为主的,德国则多采用简化计算和图表等实用方法进行计算。对于各种组合机构最优化设计的研究也在不断加强。

此外,机械与液压、气动、电磁等传动相组合的广义机构的设计方法还需作深入研究。微处理器控制的智能组合机构还需要作进一步开发。

1.4.5 机械动力学

随着机械装置向高速、精密和重载方向发展,对于机械的精度和可靠性要求也日益提高,按动力性能要求进行机构的分析与综合也越来越受到重视。

在凸轮机构方面,高速凸轮的弹性动力学是一个受到普遍重视的研究课题,在计入推杆系统和凸轮轴系的弹性阻尼的动力学模型及其运动方程的建立和求解,以及综合方法等方面均有不少成果。

在机构动平衡理论方面,摆动力完全平衡一般理论的研究(完全平衡条件、总质心位置、最少配重等)已比较深入;摆动力和摆动力矩完全平衡的一般理论研究已有突破性的进展,为机器高速化和重载化奠定了有效的基础,但实际问题的解决还有待进一步研究和完善。

在挠性转子平衡理论与试验方面,研究成果应用于大型燃汽轮机—发电机组现场转子平衡,有力地推动了大型发电机组的研制与开发。转子动力学中比较广泛地研究转子—轴承系统的振动特性和动态稳定性等问题。对于大型复杂机械设备的故障诊断和在线监测、振动主动控制等问题也引起学术界的关注和深入研究。

构件弹性的连杆机构动力学与综合的研究已越来越深入;运动副间隙引起的冲击动载荷、振动及疲劳失效等问题的研究已取得进展;同时构件弹性和运动副间隙,甚至弹流状态的力学分析已有初步的成果。对含有闭链部分的开式空间连杆机构的动力学模型及其参数作了成功的研究。对柔体机械系统动力学也进行了多方面的研究。机构的运动弹性动力学已经发展成为机构学与机械动力学的一个重要分支。机构在高速运转时,改善构件惯性力所引起的弹性变形对机构运动产生的附加影响,是提高机构综合精度的有效途径,目前常采用有限元法这一结构动力学分析方法来进行研究。对于运动弹性动力学综合的研究,目前还限于用最优化理论在机构重量最轻的条件下来确定构件的截面积,并保证弹性力和变形在允许范围内。

对空间机构平衡问题的研究,也得到了不少的成果。此外,还研究了具有变质量构件和在运动过程中结构有变化的机构的平衡问题,机构在非稳定状态及瞬变过程中的时间、位移、速度和加速度等的动力响应的计算问题等。

1.4.6 机构的最优化设计

几十年来,随着机构最优化设计研究的不断深入,机构最优化设计已成为机构综合中普遍适用的方法和主要发展方向。机构最优化设计大致包括以下几点:

- (1) 根据设计要求确定设计准则和设计变量;

(2) 给出数学模型, 确定设计约束, 建立目标函数;
(3) 探索最优化途径, 优选设计变量;
(4) 确定最优化方案。
最优化方法很多, 机械最优化设计问题大多归于非线性规划问题, 一般可以分为无约束最优化方法和约束最优化方法两类。在机械设计中, 无约束最优化方法主要有坐标转换法、鲍威尔法、共轭梯度法和变尺度法等; 约束最优化方法主要有惩罚函数法、随机方向搜索法、复合形法和可行方向法等。

机构最优化设计应用十分广泛。对于平面连杆机构和凸轮机构的运动综合和动力综合, 组合机构中再现函数与轨迹的设计及使齿轮减速器体积最小的方法等, 均采用了最优化设计方法, 并取得了显著的效果。另外, 对于机构的优化平衡、机构运动弹性动力综合及空间连杆机构的最优化问题也在不断研究中。

1.4.7 仿生机构学

近年来, 仿生机构的研究受到很大重视, 随着仿生机械的迅速发展, 创建了生物机构学。生物机构学是研究人和动物体在运动和休止状态时内力和外力所产生的效果的学科, 不少学者积极开展对人的手指、手腕和手臂结构动作原理和运动范围的分析研究, 研制出各种自由度的生物电和声控的机械假手。由于步行机研究的迅速发展, 已相继研制出两足、四足、六足和八足步行机, 主要研究其行走机理、机械结构和控制技术等。有些国家仿蟹和昆虫的步行机已接近可组织工业生产的水平。人工脊椎、人工骨骼与人工关节已达实用阶段。

另外, 人们通过研制蛇行机构来探测煤气管道的故障, 通过鱼游机构来解决深水中的探测问题。随着人们对各种各样仿生机构的深入研究, 将会有利于创造出各种各样新颖的、具有特殊功能的新机构。

1.4.8 微型机械

随着现代科学技术的发展, 20 世纪 80 年代中后期兴起了对微型机械的研制, 以适应生物、环境控制、医学、航空航天、数字通信、传感技术、灵巧武器等领域在微型化方面的要求。

微型机械不是将传统机械直接微型化, 它远远超出了传统机械的概念和范畴, 微型机械在尺度、构造、材料、制造方法和工作原理等方面都与传统机械截然不同。微型机械具有体积小、重量轻、能耗低、集成度高和智能化程度高等特点, 它与微电子学、现代光学、气动力学、液体力学、热力学、声学、磁学、自动控制、仿生学、材料科学以及表面物理与化学等领域紧密结合。因此, 微型机械是涉及多学科的综合技术的应用。可以相信, 微型人造卫星、在人体血管内爬行的微型步行机器人以及进行眼科手术的微型机械手等一定会在不远的将来研制出来, 并付诸实际应用。

微型机械的出现推动了处于机械原理学科前沿的微型机构学分支的产生, 开始了对微型机构的尺寸效应、精确度、运动变换和动力传递以及运动过程中动态特性等方面的研究。