



卓越工程技术人才培养特色教材

JIXIE YUANLI YU
SHEJI

机械原理与设计 上册

主 编 莫亚梅 刘艳艳



卓越工程技术人才培养特色教材

机械(90)

主编 莫亚梅 刘艳艳

江苏大学出版社

ISBN 978-7-309-06121-2

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

机械原理与设计

上册

主 编 莫亚梅 刘艳艳
副主编 李 菊 崔 吉

机械(90)

江苏大学出版社

ISBN 978-7-309-06121-2

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心

中国—东盟贸易中心



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与设计. 上册 / 莫亚梅, 刘艳艳主编. —镇江: 江苏大学出版社, 2015. 4
ISBN 978-7-81130-914-0

I. ①机… II. ①莫… ②刘… III. ①机构学—高等学校—教材②机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH111
②TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 075853 号

机械原理与设计(上册)

主 编/莫亚梅 刘艳艳
责任编辑/李菊萍
出版发行/江苏大学出版社
地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)
电 话/0511-84446464(传真)
网 址/<http://press.ujs.edu.cn>
排 版/镇江华翔票证印务有限公司
印 刷/句容市排印厂
经 销/江苏省新华书店
开 本/787 mm×1 092 mm 1/16
印 张/15.25
字 数/387 千字
版 次/2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷
书 号/ISBN 978-7-81130-914-0
定 价/35.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

江苏省卓越工程技术人才培养特色教材建设

指导委员会

主任委员：丁晓昌（江苏省教育厅副厅长）

副主任委员：史国栋（常州大学党委书记）

孙玉坤（南京工程学院院长）

田立新（南京师范大学副校长）

梅 强（江苏大学副校长）

徐子敏（江苏省教育厅高教处处长）

王 恬（南京农业大学教务处处长）

委 员 会：（按姓氏笔画为序）

丁晓昌 马 铸 王 兵 王 恬

方海林 田立新 史国栋 冯年华

朱开永 朱林生 孙玉坤 孙红军

孙秀华 芮月英 李江蛟 吴建华

吴晓琳 沐仁旺 张仲谋 张国昌

张明燕 陆雄华 陈小兵 陈仁平

邵 进 施盛威 耿焕同 徐子敏

徐百友 徐薇薇 梅 强 董梅芳

傅菊芬 舒小平 路正南



序

深化高等工程教育改革、提高工程技术人才培养质量,是增强自主创新能力、促进经济转型升级、全面提升地区竞争力的迫切要求。近年来,江苏高等工程教育飞速发展,全省46所普通本科院校中开设工学专业的学校有45所,工程专业在校生约占全省普通本科院校在校生总数的40%,为“十一五”末江苏成功跻身全国第一工业大省做出了积极贡献。

“十二五”时期是江苏加快经济转型升级、发展创新型经济、全面建设更高水平小康社会的关键阶段。教育部“卓越工程师教育培养计划”启动实施以来,江苏认真贯彻教育部文件精神,结合地方高等教育实际,着力优化高等工程教育体系,深化高等工程教学改革,努力培养造就一大批创新能力强、适应江苏社会经济发展需要的卓越工程技术后备人才。

教材建设是人才培养的基础工作和重要抓手。培养高素质的工程技术人才,需要遵循工程技术教育规律,建设一套理念先进、针对性强、富有特色的优秀教材。随着知识社会和信息时代的到来,知识综合、学科交叉趋势增强,教学的开放性与多样性更加突出,加之图书出版行业体制机制也发生了深刻变化,迫切需要教育行政部门、高等学校、行业企业、出版部门和社会各界通力合作,协同作战,在新一轮高等工程教育改革发展中抢占制高点。

2010年以来,江苏大学出版社积极开展市场分析和行业调研,先后多次组织全省相关高校专家、企业代表就应用型本科人才培养和教材建设工作进行深入研究。经各方充分协商,拟定了“江苏省卓越工程技术人才培养特色教材”开发建设的实施意见,明确了教材开发总体思路,确立了编写原则:

一是注重定位准确,科学区分。教材应符合相应高等工程教育的办学定位和人才培养目标,恰当把握与研究型工程人才、设计型工程人才及技能型工程人才的区分度,增强教材的针对性。

二是注重理念先进,贴近业界。吸收先进的学术研究与技术成果,适应经济转型升级需求,适应社会用人单位管理、技术革新的需要,具有较强的领先性。

三是注重三位一体,能力为重。紧扣人才培养的知识、能力、素质要求,着力培养学生的工程职业道德和人文科学素养、创新意识和工程实践能力、国际视野

和沟通协作能力。

四是注重应用为本,强化实践。充分体现用人单位对教学内容、教学实践设计、工艺流程的要求以及对人才综合素质的要求,着力解决以往教材中应用性缺失、实践环节薄弱、与用人单位要求脱节等问题,将学生创新教育、创业实践与社会需求充分衔接起来。

五是注重紧扣主线,整体优化。把培养学生工程技术能力作为主线,系统考虑、整体构建教材体系和特色,包括合理设置课件、习题库、实践课题以及在教学、实践环节中合理设置基础、拓展、复合应用之间的比例结构等。

该套教材组建了阵容强大的编写专家及审稿专家队伍,汇集了国家教学指导委员会委员、学科带头人、教学一线名师、人力资源专家、大型企业高级工程师等。编写和审稿队伍主要由长期从事教育教学改革实践工作的资深教师、对工程技术人才培养研究颇有建树的教育管理专家组成。在编写、审定教材时,他们紧扣指导思想和编写原则,深入探讨、科学创新、严谨细致、字斟句酌,倾注了大量的心血,为教材质量提供了重要保障。

该套教材在课程设置上基本涵盖了卓越工程技术人才培养所涉及的有关专业的公共基础课、专业公共课、专业课、专业特色课等;在编写出版上采取突出重点、以点带面、有序推进的策略,成熟一本出版一本。希望大家在教材的编写和使用过程中,积极提出意见和建议,集思广益,不断改进,以期经过不懈努力,形成一套参与度与认可度高、覆盖面广、特色鲜明、有强大生命力的优秀教材。

江苏省教育厅副厅长 丁晓昌

2012年8月

◎ 前 言 ◎

“机械原理与设计”是本科机械工程类专业重要的技术基础课,主要内容包含教育部教学指导委员会制定的“机械原理”与“机械设计”两门课程教学的基本要求,本书分上、下两册。上册侧重机械原理方面的内容,主要介绍了平面机构的结构分析、运动分析、运动设计方法,同时也对机构的动力学做了适当的分析;下册侧重机械零部件设计方面的内容,主要介绍工程中常用的通用零部件的运动设计方法及标准件的选用。

“机械原理”是机械类专业的一门主干技术基础课程,在学生的知识、能力和素质培养体系中占有十分重要的地位。本课程的任务是使学生掌握机构学和机器动力学的基本理论、基本知识和基本技能,学会常用机构的分析和综合方法,并具有进行机械系统运动方案设计的初步能力。

在培养应用型人才的全局中,本课程可为学生从事机械方面的设计、制造、研究和开发奠定重要的知识基础,具有增强学生适应机械技术工作能力的作用。

本书的特点在于突出了分析与设计的主线,着重介绍了机构运动的工作原理与设计及通用零部件的设计,适用于本二、本三机械类专业的学生。

《机械原理与设计》上册共分12章(其中第8章为选学内容),建议理论学时为56学时左右。

参考理论学时为48~56学时。

第1章绪论,主要介绍本课程研究的对象和内容。

第2章平面机构的结构分析,主要介绍机构结构分析的内容及目的;运动副、运动链、约束和自由度的概念;平面机构自由度的计算及其具有确定的运动的条件、平面机构的组成原理。

第3章平面连杆机构,主要介绍连杆机构传动的基本特点;平面四杆机构的基本形式、演化规律及应用实例;四杆机构的一些基本知识(包括曲柄存在的条件、行程速比系数、传动角及死点、运动的连续性等);连杆机构的运动分析(包括运用速度瞬心法、相对运动图解法和解析法求解机构的运动问题);四杆机构设计的基本问题,主要指根据简单的条件,设计平面四杆机构。

第4章凸轮机构,主要介绍凸轮机构的应用及分类;从动件常用运动规律及选择原则;确定凸轮机构的基本尺寸时应考虑的主要因素、按已知运动规律设计凸轮的轮廓曲线(包括图解法和解析法)。

第5章齿轮机构,主要介绍齿轮机构的类型和应用;平面齿轮机构的齿廓啮合基本规律及共轭齿廓;渐开线直齿圆柱齿轮的啮合特性及渐开线齿轮传动的正确啮合条件、连续传动条件;齿轮各部分的名称、基本参数及部分几何尺寸的计算;渐开线齿廓的展成切齿原理和根切的现象、最少齿数,渐开线齿轮的变位修正和变位齿轮传动的概念;平行轴斜齿圆柱齿轮、直齿圆锥齿轮、蜗轮蜗杆传动的特点。

第6章轮系,主要介绍轮系的分类方法;定轴轮系,周转轮系,复合轮系的传动比的计算方法;轮系的应用。

第7章其他常用传动机构,主要介绍棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构、凸轮间歇运动机构等几种常用间歇机构的工作原理、运动特点和应用情况。

第8章机器运动方案的设计,主要介绍机械系统的概念;机构选型的基本知识、机构的组合方式;机械运动方案的选择、机构尺度综合和机械运动方案分析。

第9章平面机构的力分析及机器的效率与自锁,主要介绍平面机构中作用的各种力及其分类,惯性力的计算,质量代换法;移动副、转动副和螺旋副中的摩擦分析计算;一般平面机构进行动态静力分析的方法。

第10章回转件的平衡,主要介绍刚性回转件转子动、静平衡原理和方法。

第11章机器的效率与自锁,主要介绍机器的运动和功能关系;机器效率的概念与计算方法;机器的自锁条件。

第12章机器的运转及速度波动的调节,主要介绍单自由度机械传动系统的动力学模型,运动方程的建立及求解;等效力(力矩)、等效质量(转动惯量)、等效构件、等效动力学模型等基本概念;周期性速度波动的调节、飞轮调速原理及飞轮设计的基本方法。

本书由莫亚梅、刘艳艳两位老师主编,分别由南通大学、常州大学、南京理工大学紫金学院、中国矿业大学徐海学院的一线教师负责编写。其中,刘艳艳老师负责第1,5,6章,李菊老师负责第2,3章,崔吉老师负责第4,7章,莫亚梅老师负责第8~12章。在编写本教材过程中作者从所列参考文献中吸取了宝贵的成果和资料,在此向各参考文献的编、著者表示衷心的感谢。

同时感谢江苏大学出版社对本书出版所给予的支持。

鉴于编者水平有限,书中难免有疏漏、错误和不妥之处,恳请广大读者不吝指正。

编者

2015年4月

目 录

第1章 绪 论 / 1

1.1 课程的研究对象	1
1.1.1 机 器	1
1.1.2 机 构	2
1.1.3 构件和零件	3
1.2 课程的研究内容	3
1.3 课程的学习目的	4
1.4 机械设计的基本要求和一般过程	5
1.4.1 机械设计的基本要求	5
1.4.2 机械设计的一般过程	5

第2章 平面机构的结构分析 / 7

2.1 概 述	7
2.2 机构的组成	7
2.2.1 构 件	7
2.2.2 运动副	8
2.2.3 运动链	9
2.2.4 机 构	10
2.3 平面机构运动简图	10
2.3.1 机构运动简图的定义及作用	10
2.3.2 机构运动简图的绘制	11
2.4 平面机构的自由度	12
2.4.1 平面机构的自由度	12
2.4.2 机构具有确定运动的条件	13
2.4.3 计算平面机构自由度时应注意的事项	14

2.5 平面机构的组成原理和结构分析	17
2.5.1 平面机构的组成原理	17
2.5.2 平面机构的结构分析	18
2.5.3 平面机构中的高副低代	19
练习题	22

第3章 平面连杆机构 / 24

3.1 概 述	24
3.2 平面四杆机构的类型和应用	25
3.2.1 平面四杆机构的基本形式	25
3.2.2 平面四杆机构的演化形式	27
3.3 平面四杆机构的基本特性	31
3.3.1 平面四杆机构存在曲柄的条件	31
3.3.2 急回运动和行程速度变化系数	32
3.3.3 压力角和传动角	33
3.3.4 死 点	34
3.4 平面连杆机构的运动分析	35
3.4.1 研究机构运动分析的目的和方法	35
3.4.2 用速度瞬心法做机构的速度分析	36
3.4.3 用相对运动图解法做机构的速度和加速度分析	39
3.4.4 用解析法做机构的运动分析	47
3.5 平面四杆机构的设计	52
3.5.1 按给定连杆位置设计四杆机构	53
3.5.2 按给定的行程速度变化系数设计四杆机构	54
3.5.3 按给定两连架杆对应位置设计四杆机构	55
3.5.4 按给定点的运动轨迹设计四杆机构	56
练习题	57

第4章 凸轮机构 / 63

4.1 凸轮机构的应用和类型	63
4.2 从动件的常用运动规律	64
4.2.1 等速运动规律	66

4.2.2 简谐运动规律	66
4.2.3 正弦加速度运动规律	66
4.2.4 组合型运动规律	66
4.2.5 从动件运动规律的选择	67
4.3 图解法设计凸轮轮廓	68
4.3.1 偏置直动尖底从动件盘形凸轮	68
4.3.2 直动滚子从动件盘形凸轮	69
4.3.3 直动平底从动件盘形凸轮	69
4.3.4 摆动从动件盘形凸轮	70
4.4 解析法设计凸轮轮廓	70
4.4.1 平底直动从动件盘形凸轮	71
4.4.2 直动滚子从动件盘形凸轮	71
4.5 凸轮机构基本尺寸的确定	72
4.5.1 作用力	73
4.5.2 凸轮基圆半径的确定	73
4.5.3 滚子半径的确定	74
练习题	74

第5章 齿轮机构 / 77

5.1 齿轮机构的类型	77
5.2 渐开线齿轮传动的主要参数特性	79
5.2.1 齿廓啮合基本定律	79
5.2.2 渐开线的形成	80
5.2.3 渐开线的特性	80
5.2.4 渐开线方程	81
5.2.5 渐开线齿廓的特性	82
5.3 渐开线齿轮各部分的名称和标准齿轮的尺寸	83
5.3.1 外齿轮各部分的名称	83
5.3.2 渐开线标准外齿轮的概念和几何尺寸	85
5.3.3 内齿轮各部分的名称	86
5.3.4 标准齿条	88

5.4 渐开线直齿圆柱齿轮的传动	88
5.4.1 渐开线齿轮正确啮合的条件	88
5.4.2 渐开线齿轮连续传动的条件	89
5.5 渐开线齿轮的切制原理与精度	96
5.5.1 仿形法	96
5.5.2 展成法	97
5.5.3 标准齿条型刀具切制标准齿轮	98
5.6 渐开线齿轮的根切	99
5.6.1 渐开线齿轮的根切现象	99
5.6.2 标准外齿轮不发生根切的最小齿数	100
5.7 变位齿轮	101
5.7.1 变位的目的	101
5.7.2 变位的原理	102
5.7.3 最小变位系数	102
5.7.4 变位齿轮的几何尺寸	103
5.7.5 变位齿轮传动	106
5.8 斜齿圆柱齿轮传动	108
5.8.1 直齿轮齿廓的形成及啮合特点	108
5.8.2 斜齿轮齿廓的形成及啮合特点	109
5.8.3 斜齿圆柱齿轮传动的主要参数	110
5.8.4 斜齿轮的当量齿数	112
5.8.5 平行轴斜齿轮传动正确啮合的条件与连续传动的条件	113
5.8.6 平行轴斜齿轮传动机构的特点与应用	115
5.8.7 平行轴斜齿轮的几何尺寸计算	116
5.9 圆锥齿轮传动	117
5.9.1 圆锥齿轮机构的特点与应用	117
5.9.2 圆锥齿轮的齿廓形成	118
5.9.3 背 锥	118
5.9.4 当量齿轮	119
5.9.5 直齿圆锥齿轮的正确啮合与连续传动	120
5.9.6 几何尺寸	120

5.10 蜗杆蜗轮机构	122
5.10.1 蜗杆蜗轮的形成	122
5.10.2 蜗杆蜗轮机构的分类	123
5.10.3 正确啮合的条件	124
5.10.4 主要参数与几何尺寸	124
5.10.5 蜗杆蜗轮传动的特点	127
练习题	127

第6章 轮 系 / 129

6.1 轮系的分类	129
6.1.1 定轴轮系	129
6.1.2 周转轮系	130
6.1.3 混合轮系	131
6.2 定轴轮系传动比的计算	132
6.2.1 传动比大小的计算	133
6.2.2 输入轴与输出轴转向之间的关系(主、从动轮转向的关系)	134
6.3 周转轮系传动比的计算	135
6.3.1 周转轮系传动比计算的思路	135
6.3.2 周转轮系传动比的计算方法	136
6.3.3 周转轮系传动比计算实例	137
6.4 混合轮系传动比的计算	138
6.4.1 混合轮系传动比的计算方法	138
6.4.2 混合轮系传动比计算实例	139
6.5 轮系的功用	141
练习题	143

第7章 其他常用机构 / 147

7.1 概 述	147
7.2 棘轮机构	147
7.2.1 棘轮机构的组成和工作原理	147
7.2.2 棘爪工作条件	149

7.3 槽轮机构	150
7.3.1 槽轮机构的组成与工作原理	150
7.3.2 槽轮机构的运动参数	150
7.4 不完全齿轮机构	151
7.5 凸轮间歇运动机构	151
7.5.1 圆柱形凸轮间歇运动机构	152
7.5.2 弧面凸轮间歇运动机构	152
练习题	153

第8章 机器运动方案的设计 / 154

8.1 概 述	154
8.2 机构的组合方式	157
8.2.1 串联式	157
8.2.2 并联式	158
8.2.3 复合式	159
8.2.4 反馈式	159
8.2.5 叠联式	161
8.2.6 说 明	162
8.3 机构的选型	162
8.3.1 按运动形式选择机构	162
8.3.2 按机构的功用选择机构	164
8.3.3 按不同的动力源形式选择机构	164
8.3.4 按先易后难选择机构	164
8.3.5 机构选型的评价标准和方法	165
8.4 机器执行机构的协调和运动循环图	165
8.4.1 机器工艺动作的分解	165
8.4.2 执行机构的协调与运动循环图	166
8.5 机器运动方案拟定示例	168
练习题	172

第9章 平面机构的力分析及机器的效率与自锁 / 174

9.1 概 述	174
9.2 力的分类及惯性力的确定	175
9.2.1 力的分类	175
9.2.2 构件惯性力的确定	176
9.2.3 质量代换法	177
9.3 运动副反力的确定	178
9.3.1 移动副中反力的确定	178
9.3.2 转动副中反力的确定	180
9.4 不考虑摩擦力的机构力分析	183
9.4.1 机构力分析的图解法	184
9.4.2 机构力分析的速度多边形杠杆法	185
9.5 杆组解析法的动态静力分析	187
练习题	188

第10章 回转件的平衡 / 192

10.1 机构平衡的目的及分类	192
10.2 刚性回转件的平衡	193
10.2.1 回转件的静平衡	193
10.2.2 回转件的动平衡	195
10.3 刚性回转件的平衡实验	197
10.3.1 静平衡实验法	197
10.3.2 动平衡实验法	198
练习题	199

第11章 机器的效率与自锁 / 202

11.1 机器的运动和功能的的关系	202
11.2 机器的机械效率	203
11.2.1 效率的定义及功能形式的表达式	203
11.2.2 效率的力和力矩形式的表达式	204
11.3 复杂机器或机组的效率计算方法	205
11.3.1 串 联	205

11.3.2 并联	205
11.3.3 混联	206
11.4 机器的自锁	206
11.4.1 机器的正行程和反行程	206
11.4.2 机器的自锁条件	206
练习题	209

第12章 机器的运转及速度波动的调节 / 211

12.1 研究机器运转的目的	211
12.2 机器等效动力学模型	212
12.2.1 等效力和等效力矩	212
12.2.2 等效质量和等效转动惯量	214
12.3 机器动能方程式的建立与求解	216
12.3.1 机器运动方程式的建立	216
12.3.2 机器运动方程式的求解	216
12.4 机器周期性速度波动的原因及调节	218
12.4.1 机器周期性速度波动的原因及调节方法	218
12.4.2 飞轮的设计	219
12.5 机器非周期性速度波动的原因及调节	222
练习题	223

参考文献 / 225

第1章 绪论

本章要求

1. 透彻理解机械、机器、机构、构件、零件的概念；
2. 了解机构的组成、分类及通用机械零部件的一般方法和思路。

1.1 课程的研究对象

顾名思义,机械原理与设计课程的研究对象就是机械,而机械是机器和机构的总称。

1.1.1 机器

机器的种类很多,从家用冰箱、洗衣机到工业部门使用的各种机床。虽然大家对机器都有一定的感性认识,但要准确地下个定义也并非易事。下面通过举例来说明什么是机器。

图 1-1 所示为一单缸内燃机,它是由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和 10 等组成的。其工作原理如下:燃气由进气管通过进气阀 3 进入气缸体 1,然后进气阀 3 关闭,活塞 2 上行压缩燃气,火花塞点火使燃气在气缸中燃烧、膨胀产生压力,从而推动活塞 2 下行,通过连杆 5 带动曲轴 6 转动。当活塞 2 再次上行时,排气阀 4 打开,废气通过排气管排出。进气阀和排气阀的打开和关闭是由凸轮 7 和顶杆 8 来实现的。齿轮 9 和 10 则用来保证进气阀、排气阀和活塞之间形成一定规律的动作。以上各部分相互配合,将燃气燃烧产生的热能转化成曲轴转动的机械能。

如图 1-2 所示的五自由度关节式焊接机器人是由基座 1、立柱 2、下臂 3、上臂 4、连杆 5、螺杆 6、螺母 7、手腕 8 和 5 个电动机(图中只看到 M_1 、 M_2 和 M_3)组成的。其中 M_1 经减速器使螺杆 6 旋转,带动螺母 7 和连杆 5 使上臂 4 做角度为 φ_3 的俯仰运动。其他 4 个电动机分别通过减速器使立柱 2 相对基座 1 做角度为 φ_1 的水平回转,使下臂 3 做角度为 φ_2 的前后倾斜运动,使手腕 8 做角度为 φ_4 和 φ_5 的弯曲和旋转运动。最后实现对焊炬位置和姿态的控制。

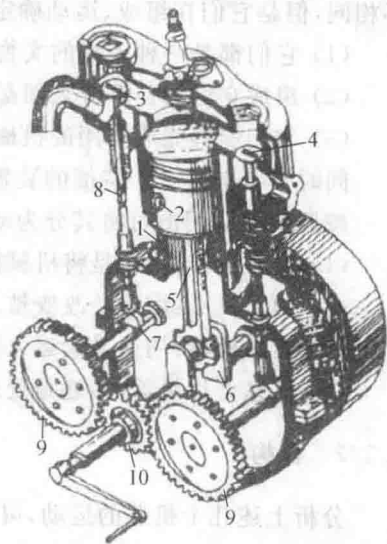


图 1-1 内燃机