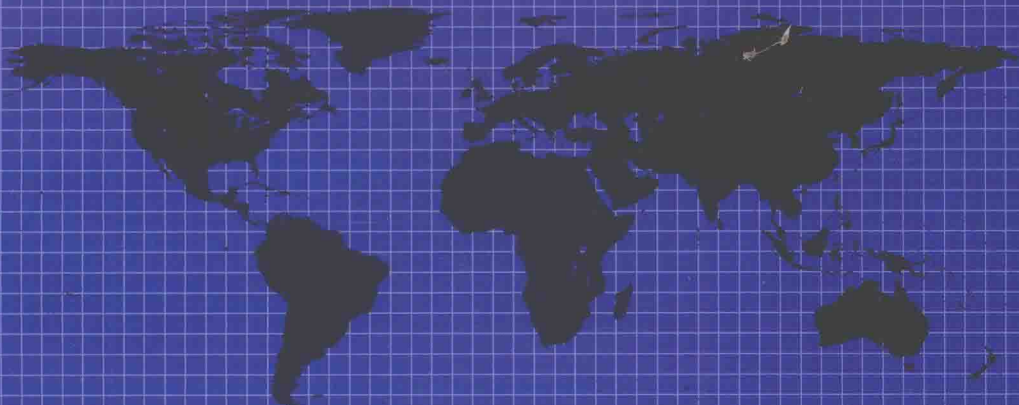




普通高等教育“十二五”机电类规划教材

精品力作



机械原理 (双色)

主 编 李瑞琴
副主编 乔峰丽

- 基本原理 双色图形 阐述清晰透彻
- 工程实例 丰富精彩 感受机械魅力
- 习题详解 课程设计 配套教材齐全
- 拓展阅读 英文表达 引领学科前沿



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

机械原理 (双色)

主 编 李瑞琴

副主编 乔峰丽

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

机械原理是高等院校机械类专业的一门主干技术基础课程,也是机构学学科知识和思维方法在机械类人才培养过程中的入门性课程。本书以培养学生的机械系统方案创新设计能力为目标,始终贯穿以设计为主线的设计思想,并融入了现代机构学学科前沿知识。

全书分为三篇共14章。第一篇基本机构及常用机构的运动学设计,主要介绍机构的组成原理及各种机构的类型、运动特点、功能和设计方法,包括机构的结构分析与综合、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、轮系及其设计、间歇运动机构、其他常用机构;第二篇机械的动力学设计,主要介绍机械运转过程中的若干动力学问题,包括平面机构的力分析、机械的效率和自锁、机械的运转及其速度波动的调节、机械的平衡;第三篇执行机构系统的方案设计及现代机构系统,执行机构系统的方案设计主要介绍其方案设计的一般流程、执行机构系统的型综合及协调设计、现代机构系统。现代机构系统主要介绍广义机构、可控机构、变胞机构、柔顺机构及并联机构。正文及附录给出了机械原理重要名词术语的英文表达。

本书可作为高等院校机械类、近机械类各专业的教学用书,也可作为机械类的相关专业以及有关工程技术人员的参考用书。

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。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/李瑞琴主编. —北京:电子工业出版社,2015.8
普通高等教育“十二五”机电类规划教材

ISBN 978-7-121-26066-7

I. ①机… II. ①李… III. ①机构学—高等学校—教材 IV. ①TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第097119号

策划编辑:李 洁

责任编辑:李 洁 特约编辑:刘 凡

印 刷:北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

装 订:北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开 本:787×1092 1/16 印张:26.5 字数:678千字

版 次:2015年8月第1版

印 次:2015年8月第1次印刷

定 价:58.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

INTRODUCTION

随着科学技术的飞速发展，机构和机器的概念在不断拓展和发展，机构学与机器人学的研究也发生了广泛而深刻的变化。在这一变化中，以机构和机器为研究对象的机械原理课程作为高等院校机械类专业必修的一门主干技术基础课，对培养学生在机械系统方案创新与设计能力的任务起着越来越重要的作用。

机构学基础知识的学习是机械原理课程的重要内容之一，机械原理课程的内容随着学科发展在不断更新，课程体系也发生相应的变化。本书对机构的结构分析、运动分析和动力学等重要内容采用图解法、解析法及计算机辅助设计等多种研究方法。本书对不同文字和图形采用双色印刷，对不同机构位置及不同含义的机构线条采用了不同的颜色，对立体图及部分平面图采用填充色。双色图形使读者更易于理解机构的结构及工作原理等，并提高阅读美感。

本书充分考虑机械产品创新设计的知识需求，以培养学生的机械运动系统方案创新设计能力为目标，重视解决工程实际问题能力和综合设计能力的培养。书中有一定数量的工程实例，始终贯穿“机构系统创新设计”的主线，加强“执行机构系统创新设计”等相关内容。本书重视与后续机械原理课程设计及其实验等实践环节的衔接，对培养机械类学生的机械系统创新设计能力和实践能力，起到重要的作用。

英文的拓展阅读内容及相应的参考文献是本书的又一个特色，可以拓宽和加深读者对各章相关内容理解，为读者进一步阅读本学科的英文文献起到引导作用，并使读者感受到国外先进的教学理念和教学方法。

现代科技新成果及应用、学科前沿动态等的引入是新教材的功能之一。本书介绍广义机构、可控机构、变胞机构、柔顺机构、并联机构等现代机构学的重要分支，展现现代机构学理论与应用的新进展，使读者在了解现代机构学发展动态和前沿的同时，激发对现代机构学的研究兴趣。这部分内容为读者在未来从事机构学与机器人学方面的深造奠定基础。

全书内容完整、条理清楚、层次分明，循序渐进、插图精美。我衷心祝贺本书的出版，相信本书必将在机械原理课程广大师生的教学实践中发挥重要作用。



ASME Fellow, IMechE Fellow

国家特聘专家

2015年7月5日

前言

PREFACE

机械原理课程是高等院校机械类专业一门主干的技术基础课程，在培养学生的综合设计能力的全局中，承担着培养学生的机械系统方案创新设计能力的任务，在机械设计类课程体系中占有十分重要的地位。

本书以培养学生的机械系统方案创新设计能力为目标，始终贯穿以设计为主线的设计思想，并融入了现代机构学学科前沿知识。全书分为三篇共14章。第一篇基本机构及常用机构的运动学设计，主要介绍机构的组成原理及各种机构的类型、运动特点、功能和设计方法，包括机构的结构分析与综合、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、轮系及其设计、间歇运动机构、其他常用机构；第二篇机械的动力学设计，主要介绍机械运转过程中的若干动力学问题，包括平面机构的力分析、机械的效率和自锁、机械的运转及其速度波动的调节、机械的平衡；第三篇执行机构系统的方案设计及现代机构系统，执行机构系统的方案设计主要介绍其方案设计的一般流程、执行机构系统的型综合及协调设计。现代机构系统主要介绍广义机构、可控机构、变胞机构、柔顺机构及并联机构。正文及附录给出了机械原理重要名词术语的英文表达。

全书在内容的编排上，力求内容的系统性、完整性，同时突出了以下几个方面的特色：

(1) 采用双色，对不同的文字和图形采用双色印刷，对不同的机构位置及不同含义的机构线条分别采用不同的颜色，对同一构件采用填充色。双色图形能使读者更易于理解机构的结构及工作原理等，并提高阅读美感。

(2) 强调机构学的基础知识。机构学的基础知识是学习机械原理课程的重要内容之一。本书着重讲清有关机械原理的基本概念、基本理论和基本方法，并做到条理清楚、层次分明、循序渐进、言简意赅。

(3) 贯穿“机构系统创新设计”的设计主线。本书重视解决实际问题能力的培养，书中有一定数量的工程实例，并始终贯穿“机构系统创新设计”的设计主线，加强了“执行机构系统创新设计”的内容。以设计最佳的机械运动系统设计方案为目标，培养学生正确的设计思维和设计能力。

(4) 注重实践能力的培养。为了使机械原理课程发挥更大的作用，本书加强了第三篇机械系统方案设计内容，注重与后续的机械原理课程设计及其实验等实践环节的衔接。这对培养机械类学生的机械系统创新设计能力和工程实践能力无疑是十分重要的。

(5) 对机械原理重要名词术语在第一次出现的位置标注英文表达，并在附录中列出中英文对照表。在部分章中增加了英文的拓展阅读，为读者进一步阅读本

学科的英文文献及撰写相关的英文论文奠定基础。

(6) 体现现代机构学理论与应用的新进展。现代科技新成果及应用、学科前沿动态等的引入是新教材的功能之一。本书体现了现代机构学理论与应用的新进展,介绍了广义机构、可控机构、变胞机构、柔顺机构、并联机构等现代机构学的重要分支,使读者在了解现代机构学发展动态和前沿的同时,激发其对现代机构学的研究兴趣。这部分内容为学生在未来进行机构学与机器人学方面的深造奠定了基础。

机械原理是机械类学科研究生入学考试的重要科目之一。本书适当增加了一些综合性较强的例题及近年来的考研题,加强了一些扩展性的内容,以利于学生开阔思路,巩固基础知识的学习。本书可作为研究生入学考试的参考用书。

参加本书编写工作的有李瑞琴(第1~4章和附录)、薄瑞峰(第5、14章)、苗鸿宾(第6~8章)、梅瑛(第9、10章)、闫建新(第11章)、乔峰丽(12、13章)。

全书由李瑞琴教授担任主编,并负责全书的统稿、修改和定稿工作。由乔峰丽副教授任副主编。感谢参与本书讨论、图形制作及校对工作的研究生们。本书在编写过程中,参考了一些同类教材和相关著作,在此向作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中缺点、误漏欠妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

李瑞琴

2015年5月

目 录

CONTENTS

第一篇 基本机构及常用机构的运动学设计

第1章 绪论	1	基本类型	31
§ 1.1 机械原理的研究对象和研究内容	1	3.1.3 平面四杆机构的演化	34
1.1.1 机械原理的研究对象	1	§ 3.2 平面连杆机构的运动特性和传力特性	37
1.1.2 机械原理课程的主要内容	2	3.2.1 平面四杆机构有曲柄的条件	37
§ 1.2 机械原理课程的地位和作用	3	3.2.2 急回特性和行程速度变化系数	38
1.2.1 机械原理课程的地位	3	3.2.3 平面四杆机构的压力角和传动角	40
1.2.2 机械原理课程的作用	4	3.2.4 平面四杆机构的死点位置	42
§ 1.3 机械原理课程的学习目的和方法	4	3.2.5 平面四杆机构的运动连续性	43
1.3.1 机械原理课程学习目的	4	§ 3.3 平面连杆机构的运动功能 and 设计要求	44
1.3.2 机械原理课程学习方法	4	3.3.1 平面连杆机构的运动功能	44
第2章 机构的结构分析与综合	6	3.3.2 平面连杆机构的设计要求及设计方法	45
§ 2.1 机构的组成及运动简图	6	§ 3.4 刚体导引机构的设计	46
2.1.1 构件与运动副	6	3.4.1 几何法设计导引机构的基本原理	46
2.1.2 运动链和机构	8	3.4.2 实现连杆两个位置的平面四杆机构的设计	48
2.1.3 平面机构运动简图	9	3.4.3 实现连杆三个位置的平面四杆机构的设计	49
§ 2.2 机构的自由度计算及机构运动确定条件	15	§ 3.5 函数生成机构的设计	50
2.2.1 平面机构的自由度	15	3.5.1 机构的刚化反转法及相对转动极点	50
2.2.2 机构具有确定运动的条件	15	3.5.2 实现两连架杆两组对应位置的铰链四杆机构的设计	51
2.2.3 计算平面机构自由度时应注意的事项	16	3.5.3 实现两连架杆三组对应位置的铰链四杆机构的设计	52
§ 2.3 机构的高副低代、结构分析和组成原理	21	3.5.4 实现连架杆两对应位置的曲柄滑块机构的设计	52
2.3.1 平面机构的高副低代	21	§ 3.6 急回机构的设计	53
2.3.2 平面机构的结构分析	22	3.6.1 几何法	53
2.3.3 平面机构的组成原理	25	3.6.2 解析法	55
§ 2.4 拓展阅读: Mobility Analysis of Spatial Mechanism	25	§ 3.7 轨迹机构的设计	56
习题	27		
第3章 平面连杆机构及其设计	31		
§ 3.1 平面连杆机构的类型和应用	31		
3.1.1 平面连杆机构的特点	31		
3.1.2 平面四杆机构的			

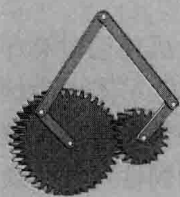
3.7.1	连杆曲线图谱法设计 轨迹机构	56	§ 4.2	从动件的运动规律	99
3.7.2	解析法设计轨迹机构	57	4.2.1	凸轮机构的基本 名词术语	99
§ 3.8	用速度瞬心法进行平面机构的 速度分析	58	4.2.2	从动件的运动规律	100
3.8.1	平面机构运动分析的 目的和方法	58	4.2.3	从动件运动规律的组合	107
3.8.2	速度瞬心的概念和种类	58	4.2.4	从动件运动规律的设计	108
3.8.3	速度瞬心位置的确定	59	§ 4.3	图解法设计凸轮廓线	109
3.8.4	速度瞬心法在平面机构 速度分析中的应用	60	4.3.1	凸轮机构的反转法原理	110
3.8.5	速度瞬心法的优缺点	61	4.3.2	直动从动件盘形凸轮 廓线的设计	111
§ 3.9	用相对运动图解法进行机构 的运动分析	62	4.3.3	摆动从动件盘形凸轮 廓线的设计	113
3.9.1	同一构件上两点间的速度和 加速度的关系	62	4.3.4	圆柱凸轮廓线的设计	115
3.9.2	组成移动副两构件的重合点 间的速度和加速度的关系	65	§ 4.4	解析法设计凸轮廓线	116
§ 3.10	用复数矢量法进行机构 的运动分析	67	4.4.1	直动滚子从动件盘形凸轮 廓线的设计	116
3.10.1	铰链四杆机构的 运动分析	67	4.4.2	直动平底从动件盘形凸轮 廓线的设计	118
3.10.2	曲柄滑块机构的 运动分析	69	4.4.3	摆动滚子从动件盘形凸轮 廓线的设计	118
3.10.3	导杆机构的运动分析	70	4.4.4	摆动平底从动件盘形凸轮 廓线的设计	119
§ 3.11	平面连杆机构的计算机 辅助设计	71	4.4.5	刀具中心轨迹的 坐标计算	120
3.11.1	杆组法子程序的设计	71	§ 4.5	凸轮机构的压力角及基本尺寸 的设计	121
3.11.2	杆组法子程序在运动 分析中的应用	79	4.5.1	凸轮机构的压力角	121
3.11.3	输出数据的检验	81	4.5.2	凸轮机构基本尺寸的 设计	125
§ 3.12	拓展阅读: Linkages of More Than Four Bars	81	§ 4.6	拓展阅读: Computer-aided Design of Cam Mechanisms	129
3.12.1	Geared Fivebar Linkages	81	习题		132
3.12.2	Six bar Linkages	82	第 5 章	齿轮机构及其设计	136
3.12.3	Grashof-Type Rotatability Criteria for Higher- Order Linkages	83	§ 5.1	齿轮机构的特点和类型	136
3.12.4	Cognates	84	5.1.1	平面齿轮机构	136
习题		88	5.1.2	空间齿轮机构	138
第 4 章	凸轮机构及其设计	93	§ 5.2	齿廓啮合基本定律及 渐开线齿形	139
§ 4.1	凸轮机构的应用和分类	93	5.2.1	齿廓啮合基本定律	139
4.1.1	凸轮机构的组成和应用	93	5.2.2	渐开线齿廓及其特点	140
4.1.2	凸轮机构的分类	95	§ 5.3	渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数 和尺寸计算	143
4.1.3	凸轮机构的特点	98	5.3.1	外齿轮	143
			5.3.2	内齿轮	145
			5.3.3	齿条	146

§5.4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	147	5.8.4 蜗杆蜗轮机构的变位	178
5.4.1 渐开线齿轮传动的特性	147	5.8.5 蜗杆蜗轮机构的特点及应用	178
5.4.2 渐开线齿轮传动的正确啮合条件	148	§5.9 直齿圆锥齿轮机构	179
5.4.3 渐开线齿轮连续传动的条件	149	5.9.1 圆锥齿轮机构的特点	179
5.4.4 标准中心距和安装中心距	152	5.9.2 直齿圆锥齿轮齿廓的形成	179
5.4.5 渐开线齿轮与齿条的啮合特点	153	5.9.3 背锥与当量齿轮	180
§5.5 渐开线齿轮的加工原理	154	5.9.4 直齿圆锥齿轮的基本参数及啮合特点	181
5.5.1 仿形法	154	5.9.5 直齿圆锥齿轮的几何尺寸计算	182
5.5.2 范成法	155	§5.10 拓展阅读: Crossed Helical Gear Mechanism	184
5.5.3 标准齿条型刀具	157	5.10.1 Crossed Helical Gears	184
5.5.4 标准齿条型刀具加工标准齿轮	158	5.10.2 Efficiency of Crossed Helical Gears	187
5.5.5 渐开线齿廓的根切及不发生根切的最少齿数	158	5.10.3 Example	189
§5.6 渐开线变位齿轮的啮合传动	160	习题	189
5.6.1 变位齿轮的概念	160	第6章 轮系及其设计	193
5.6.2 变位齿轮的几何尺寸计算	161	§6.1 轮系的类型	193
5.6.3 变位齿轮的传动类型	165	6.1.1 定轴轮系	193
§5.7 平行轴斜齿圆柱齿轮机构	166	6.1.2 周转轮系	194
5.7.1 斜齿圆柱齿轮齿面的形成及啮合特点	166	6.1.3 复合轮系	195
5.7.2 斜齿圆柱齿轮的标准参数及基本尺寸	168	§6.2 定轴轮系的传动比计算	196
5.7.3 斜齿圆柱齿轮的正确啮合条件	170	6.2.1 传动比大小的计算	196
5.7.4 斜齿圆柱齿轮传动的重合度	170	6.2.2 主、从动轮的转向关系	196
5.7.5 斜齿圆柱齿轮的当量齿数	171	§6.3 周转轮系的传动比计算	199
5.7.6 斜齿圆柱齿轮的变位和几何尺寸的计算	172	6.3.1 周转轮系传动比计算的基本思路	199
5.7.7 斜齿圆柱齿轮机构的特点及应用	173	6.3.2 周转轮系传动比的计算	200
§5.8 蜗杆蜗轮机构	174	6.3.3 周转轮系传动比计算的注意事项	200
5.8.1 蜗杆蜗轮的形成	174	§6.4 复合轮系的传动比计算	202
5.8.2 蜗杆蜗轮机构的标准参数及正确啮合条件	175	6.4.1 复合轮系传动比的计算方法	202
5.8.3 蜗杆蜗轮机构的基本参数和尺寸计算	176	6.4.2 复合轮系的传动比计算举例	203
		§6.5 轮系的设计	205
		6.5.1 定轴轮系的设计	205
		6.5.2 周转轮系的设计	207
		§6.6 轮系的功能	211
		6.6.1 实现大传动比传动	211
		6.6.2 实现变速与换向传动	212

6.6.3	实现分路传动	212	8.3.4	组合机构的应用	253
6.6.4	实现运动的合成与分解	213	习题		253
6.6.5	利用行星轮输出的复杂运动 实现某些特殊功能	215	第二篇 机械的动力学设计		
§6.7	拓展阅读: Efficiency of Planetary Gear Trains	215	第9章	平面机构的力分析	256
习题		218	§9.1	平面机构力分析的目的和方法	256
第7章	间歇运动机构	221	9.1.1	机构力分析的目的	256
§7.1	槽轮机构	221	9.1.2	机构力分析的方法	257
7.1.1	槽轮机构的组成和 工作原理	221	§9.2	构件的惯性力	257
7.1.2	槽轮机构的类型	221	9.2.1	做平面复杂运动的构件	258
7.1.3	槽轮机构的特点和应用	223	9.2.2	做平面移动的构件	258
7.1.4	槽轮机构的设计	223	9.2.3	绕定轴转动的构件	258
7.1.5	槽轮机构的动力特性	225	§9.3	不考虑摩擦的机构动态 静力分析	259
§7.2	棘轮机构	226	9.3.1	用图解法进行机构的动态 静力分析	259
7.2.1	棘轮机构的组成和 工作原理	226	9.3.2	用解析法进行机构的动态 静力分析	260
7.2.2	棘轮机构的类型和特点	227	§9.4	考虑摩擦的机构动态静力分析	263
7.2.3	棘轮机构的设计	229	9.4.1	运动副中的摩擦力	263
§7.3	凸轮式间歇运动机构	231	9.4.2	用图解法进行机构的动态 静力分析	269
7.3.1	凸轮式间歇运动机构的组成 和工作原理	231	9.4.3	用解析法进行机构的动态 静力分析	271
7.3.2	凸轮式间歇运动机构 的特点和应用	232	§9.5	拓展阅读: Dynamic Analysis of the Slider-crank Mechanism	272
§7.4	不完全齿轮机构	232	9.5.1	Equivalent Inertia	272
7.4.1	不完全齿轮机构的组成、 工作特点及类型	232	9.5.2	Approximate Dynamic Analysis Equations	273
7.4.2	不完全齿轮机构的 设计要点	233	习题		274
§7.5	间歇运动机构设计的共性问题	234	第10章	机械的效率和自锁	279
习题		235	§10.1	机械效率	279
第8章	其他常用机构	236	10.1.1	机械效率的表达形式	279
§8.1	万向联轴节	236	10.1.2	机械效率的计算	280
8.1.1	单万向联轴节	236	§10.2	机械的自锁	283
8.1.2	双万向联轴节	237	10.2.1	运动副的自锁	283
§8.2	螺旋机构	239	10.2.2	机械的自锁	284
8.2.1	螺旋机构的组成和 传动特点	239	§10.3	提高机械效率的途径	285
8.2.2	螺旋机构的特点及应用	239	§10.4	拓展阅读: Design of Self-locking Mechanisms	286
8.2.3	滚动螺旋传动	241	习题		287
§8.3	组合机构	241	第11章	机械的运转及其速度波动的调节	290
8.3.1	组合机构的基本概念	242	§11.1	作用在机械上的力及机械的 运转过程	290
8.3.2	组合机构的分类	242	11.1.1	作用在机械上的力	290
8.3.3	组合机构的设计	244			

11.1.2	机械的运转过程	292	12.5.1	平面机构惯性力的平衡条件	332
§ 11.2	机械系统的等效动力学模型	294	12.5.2	机构总惯性力的完全平衡	332
11.2.1	研究机械系统运转过程的方法	293	12.5.3	机构总惯性力的部分平衡	337
11.2.2	等效转动惯量、等效质量、等效力矩、等效力的求解	294	习题		339
§ 11.3	机械系统运动方程及求解	298	第三篇 执行机构系统的方案设计 及现代机构系统		
11.3.1	等效构件的运动方程	298	第 13 章 执行机构系统的方案设计		342
11.3.2	运动方程的求解	299	§ 13.1 执行机构系统方案设计的一般流程		342
§ 11.4	周期性速度波动的调节	302	§ 13.2 功能分析与功能求解		345
11.4.1	周期性变速稳定运转过程中的功能关系	302	13.2.1 功能分析		345
11.4.2	机械运转速度不均匀系数	303	13.2.2 功能元求解		346
11.4.3	周期性变速稳定运转速度波动的调节	305	§ 13.3 执行机构系统的功能原理设计		348
§ 11.5	非周期性速度波动的调节	309	13.3.1 功能原理的构思和选择		348
11.5.1	非周期性速度波动产生的原因	309	13.3.2 功能原理的创造性设计方法		349
11.5.2	非周期性速度波动的调节方法	309	§ 13.4 执行机构的型综合		351
§ 11.6	拓展阅读: Flywheel Design	310	13.4.1 执行机构型综合的基本原则		351
习题		314	13.4.2 机构的选型		354
第 12 章	机械的平衡	319	13.4.3 机构的构型		357
§ 12.1	机械平衡的目的与分类	319	§ 13.5 执行机构系统的协调设计		359
12.1.1	机械平衡的目的	319	13.5.1 执行机构系统协调设计的要求		360
12.1.2	机械平衡的分类	319	13.5.2 机械运动循环图设计		361
12.1.3	机械平衡的方法	320	13.5.3 机械运动循环图的设计步骤与方法		364
§ 12.2	刚性转子的平衡设计	320	13.5.4 机械运动循环图的作用		369
12.2.1	刚性转子的静平衡设计	320	§ 13.6 机械运动方案设计实例		369
12.2.2	刚性转子的动平衡设计	324	13.6.1 总功能分析		370
§ 12.3	刚性转子的平衡试验	327	13.6.2 自动成型机的功能分解		371
12.3.1	刚性转子的静平衡试验	327	13.6.3 自动成型机的运动转换功能图		371
12.3.2	刚性转子的动平衡试验	327	13.6.4 自动成型机的形态学矩阵		372
12.3.3	转子的平衡精度	329	13.6.5 自动成型机的运动循环图		373
§ 12.4	挠性转子的平衡	331	13.6.6 自动成型机的运动		
12.4.1	挠性转子及其变形	331			
12.4.2	挠性转子的平衡原理及平衡方法	331			
§ 12.5	平面机构的平衡设计	332			

示意图	373	for Robot	393
习题	375	14.3.1 Functional Requirements	393
第14章 现代机构系统	377	14.3.2 Structural Characteristics	394
§14.1 机构学的发展及现代机构特征	377	14.3.3 Enumeration of Planar Parallel Manipulators	395
14.1.1 机构学的发展	377	14.3.4 Enumeration of Spherical Parallel Manipulators	396
14.1.2 现代机构的特征	377	14.3.5 Enumeration of Spatial Parallel Manipulators	397
§14.2 现代机构学的分支	378	附录A 机械原理重要名词术语中英文 对照表	402
14.2.1 广义机构	378	参考文献	410
14.2.2 可控机构	380		
14.2.3 变胞机构	384		
14.2.4 柔顺机构	388		
§14.3 拓展阅读: Parallel Manipulators			



第一篇 基本机构及常用机构的运动学设计

第1章 绪论

内容提要：本章介绍机械原理的研究对象和研究内容，机械原理课程的地位和作用以及机械原理课程的学习目的和方法。

§ 1.1 机械原理的研究对象和研究内容

1.1.1 机械原理的研究对象

机械原理 (Theory of machines and mechanisms) 是研究机器和机构的运动及动力特性，以及机械运动方案设计的技术基础学科。它是机械设计及理论学科的重要内容之一，对于机械的设计、制造、运行、维修等方面都有十分重要的作用。

机械原理的研究对象是机械 (Machinery)，而机械是机器 (Machine) 与机构 (Mechanism) 的总称。因此，机械原理的研究对象是机器和机构。机械原理又称机器理论与机构学。

机器的种类繁多，根据其组成、功用和运动特点，可定义如下：机器是一种由人为物体组成的具有确定机械运动的装置，它用来完成一定的工作过程，以代替人类的劳动。根据工作类型的不同，机器一般可分为动力机器、工作机器和信息机器三类。

动力机器的功用是将任何一种能量变换成机械能，或将机械能变换成其他形式的能量。例如，内燃机、压气机、涡轮机、电动机、发电机等都属于动力机器。

工作机器的功用是完成有用的机械功或搬运物品。例如，金属切削机床、轧钢机、织布机、包装机、汽车、机车、飞机、起重机、输送机等都属于工作机器。

信息机器的功用是完成信息的传递和变换。例如，复印机、打印机、绘图机、传真机、照相机等都属于信息机器。

随着科技的发展，机器的内涵也在不断变化。但是，机器的本质属性始终是实现可控的执行运动行为，完成有用的工作过程。现代科技在机器中运用，只是使机器具有信息化、智能化和柔性化。现代机器通常由控制系统、传感检测和信息处理系统以及执行机构系统等组成。其

中, 控制和信息处理由计算机完成, 使机器达到机电一体化水平, 如各种机器人、数控加工中心等。

现代机器中实现机械运动行为的执行机构系统是机器的核心, 机器中的各个机构通过有序的运动和动力传递来最终实现功能变换、完成自己的工作过程。机器中的运动单元体称为构件。机构是把一个或几个构件的运动, 变换成其他构件所需的具有确定运动的构件系统。传统机构中的各构件是刚性的, 而现代机构中的构件可以包含挠性构件、弹性构件和韧性构件, 或者包含液压构件、气动构件、电磁件等。机构中给定运动的构件称为输入构件, 或主动构件、原动构件; 完成执行动作的构件称为输出构件, 或执行构件。

工业机器人 (Robot) 是典型的现代机器。如图 1.1 所示的机器人操作机 (Manipulator) 由机身、臂部 (Arm)、腕部 (Wrist) 和手部 (末端执行器, End-effector) 等组成, 其臂部有三个关节, 故臂部具有三个自由度: 绕腰关节转动的自由度 Φ_z , 绕肩关节运动的自由度 Φ_y , 绕肘关节摆动的自由度 Φ'_y ; 其腕部有三个关节, 故腕部也具有三个自由度: 绕自身旋转的自由度 Φ_{x1} , 上下摆动的自由度 Φ_{y1} , 左右摆动的自由度 Φ_{z1} 。因此, 整个操作机具有 6 个自由度。

机器的类型虽然很多, 但组成机器的基本机构的种类却并不多。对于刚性构件机构, 最常用的机构有: 连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等。如图 1.2 所示的内燃机 (Combustion engine) 由曲柄滑块机构 (属于连杆机构)、齿轮机构以及凸轮机构组成。

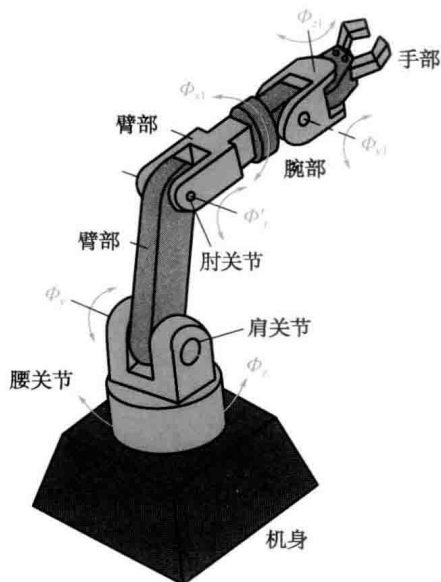


图 1.1 机器人操作机

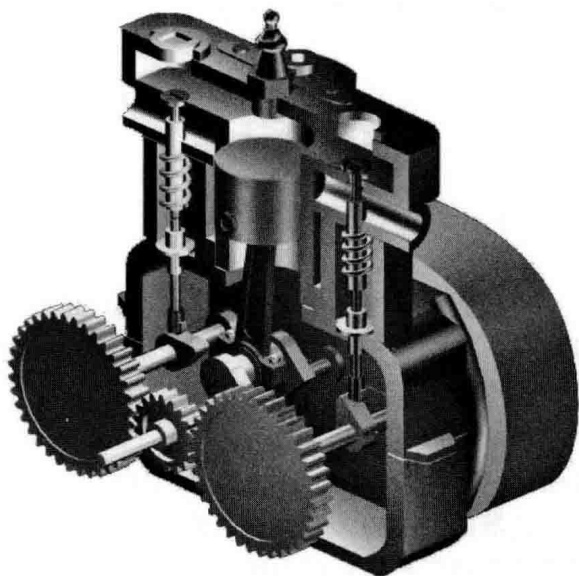


图 1.2 内燃机

1.1.2 机械原理课程的主要内容

机械原理课程主要研究以下四个方面的内容。

1. 机构的组成和类型综合

研究机构的组成原理的目的是为了分析机构运动的可能性及确定性; 对组成机构的杆组进行分类, 便于系统地建立机构运动分析和力分析的方法。机构的类型综合可以探索机构创新的

某些设计方法。

2. 典型机构的分析与设计

机器的种类虽然繁多,但是构成各种机器的机构类型却是有限的,主要有:连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构、其他常用机构等一些典型机构。本课程介绍这些典型机构的设计理论和方法。

3. 机械动力学

为了设计出动力性能良好的机械,本课程介绍平面机构的力分析、在已知力作用下机械的真实运动规律、减少机器速度波动的调节方法、机械运动过程中惯性力系的平衡问题等。

4. 机械系统方案设计

机械系统方案设计是机械设计的重要阶段。本课程介绍机械总体方案的拟定、执行机构系统的设计、机械传动系统的设计及原动机的选择等。这部分内容主要包括:机械运动方案设计步骤、功能分析、机构创新、执行机构的运动规律和机构系统运动协调设计等的基本原则和方法。

本课程的研究内容也可以概括为两个方面:一是介绍对已有机械进行结构、运动和动力分析的方法;二是探索根据运动和动力性能方面的要求设计新机械的途径。应该强调的是:在本课程中对机械设计的研究,只限于对运动和动力的要求,对机构各部分的尺度关系进行综合,而不涉及各零件的强度计算、材料选择,以及其具体结构形状和工艺要求等问题。所以,本课程中又常用“综合”二字来代替“设计”二字。

需要指出的是:随着现代科学技术的发展,各种新概念、新理论、新方法、新工艺不断涌现,处于机械工业发展前沿的机械原理学科,其新的研究课题和研究方法也日益增多。诸如机器人机构、仿生机构、变胞机构、柔顺机构等的研究,诸如优化设计、计算机辅助设计,以及各种近代数学方法的运用和动力学研究的不断深入,使机械原理学科的研究呈现出前所未有的蓬勃发展的局面,也为机械原理学科的应用开拓了更广阔的前景。本课程也对机械原理学科的最新发展作简要介绍,以开阔学生的知识视野。

§ 1.2 机械原理课程的地位和作用

1.2.1 机械原理课程的地位

机械原理是研究机构及机械运动简图设计的一门重要技术基础课。它的任务主要是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,培养学生初步拟定机械运动方案、分析和设计基本机构的能力。

机械原理以高等数学、机械制图及理论力学等课程为基础,同时又为以后学习机械设计和有关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,并能使学生受到一些必要的、严格的基本技能和创造思维的训练。

机械原理课程研究的是各种机械所具有的共性问题,而各专业课则是研究某一类机械所具

有的特殊问题。因此,机械原理课程比专业课具有更宽的研究面和更广的适应性。它在教学中起着承上启下的作用,在机械基础系列课程体系中占有十分重要的地位。

1.2.2 机械原理课程的作用

机械原理在培养高级技术人才的全局中,具有增强学生对机械技术工作的适应能力和开发创新能力的作用。即使对于主要是应用机械的工程技术人员,也应熟悉各种机构的工作原理以及在机器中的作用。掌握了机械原理,有利于发挥机器的工作性能,维护保养好机器。

设计和制造一种工作性能优良的新机器,需要掌握机器的工作原理、设计和制造原理,需要综合应用多门学科的知识,而机械原理正是其中一门重要的学科。

§ 1.3 机械原理课程的学习目的和方法

1.3.1 机械原理课程学习目的

1. 认识机械、了解机械

机械原理课程对常用机构的组成原理、各种机械的工作原理、运动分析乃至设计理论和方法都作了基本的介绍,这对工科各专业的学生,在认识实习、生产实习中认识机械、了解机械和使用机械都会很有帮助,而且这些有关机械的基本理论和知识将为学习专业课程打下基础。

2. 掌握方法、分析机械

机器或机构的一个突出的特点是作机械运动,而运动的相对性和运动几何学的基本概念贯穿于本课程的始终,如根据相对运动原理提出的“反转法”等一些基本方法,经常用于机构的分析和设计中,掌握和运用这些基本方法去分析现有的机构,可以使学生对机构的认识达到理性认识的高度。

3. 开阔思路,设计和创新机械

机械原理课程所讲授的机构分析与设计的基本理论和基本方法,不仅用于解决本课程所学的机构设计,而且对以后的课程设计、毕业设计以及今后在工作中所遇到的技术问题的解决,都会提供必备的基础知识。例如为了实现某种运动要求,在选择合适机构类型,构思并设计基本机构和机械系统方面,机械原理所讲授的基本思想和方法,将起到十分重要的作用。分析比较各种机构的优缺点,权衡利弊,选择合适的机构,进而创造新机械等都必须具备上述知识。

1.3.2 机械原理课程学习方法

根据机械原理课程特点和作用,应掌握相应的学习方法,才能事半功倍。

(1) 掌握各种典型机构的结构、分析和设计方法。

(2) 掌握机械运动简图的画法，习惯于用运动简图来认识机构和机器。

(3) 要深刻理解本课程中的基本概念。只有在明确理解基本概念的基础上，才能更好地掌握本课程的内容。

(4) 深入理解和全面掌握本课程的基本研究方法。这些基本研究方法主要有：杆组法、变换机架法、反转法、机构演化法、等效法等。掌握这些方法将使同学们能容易地对各种机构进行分析和设计。

(5) 注意运用理论力学的有关知识。理论力学是机械原理课程最为密切的先修课程。机械原理是将理论力学的有关原理应用于实际机械，它具有自己的特点。在本课程的学习过程中，应注意把理论力学中的有关知识运用到本课程的学习中。

(6) 重视实践教学环节的学习，做到举一反三。本课程是一门与工程实际密切相关的课程，因此学习时要注意理论联系实际。与本课程密切相关的实验、课程设计、机械设计大赛，以及课外科技活动等将为同学们提供理论联系实际和学以致用机会。此外，在现实生活中，要注意观察、分析和比较，积累各种各样的巧妙构思。要大胆运用所学知识，尝试设计新颖机构，以达到举一反三的目的。