

普通高等院校“十二五”规划教材

# 机械原理

(第2版)

李瑞琴 主编

Theory of Machines  
and Mechanisms



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十二五”规划教材

# 机械原理(第2版)

Theory of Machines and Mechanisms

李瑞琴 主编

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书反映我国近年来机械原理精品课程建设成果。全书以培养学生的机械系统方案创新能力为目标,始终贯彻以设计为主线的设计思想。全书共分三部分:第一部分是传统机构的设计和运动分析,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;第二部分是机械的动力设计,主要介绍机械运转过程中的若干动力学问题,包括机械的平衡、机械的速度波动和调节等,介绍通过合理设计来改善机械的动力性能的途径;第三部分是机械系统的方案设计,主要介绍执行机构系统和传动系统的方案设计的流程,重要设计阶段的设计思想和设计方法。

本书加强了基本机构及常用机构的设计内容,强调了计算机辅助设计内容;加强了机构系统的方案创新设计内容,并与后续的机械原理课程设计衔接紧密;增加了现代机构学前沿知识的内容介绍。

本书配套了英文版的机械原理自测系统。自测系统有填空题、选择题、设计及计算题等多种题型。这部分内容也可作为机械原理双语教学的辅助参考资料。有需要的读者可与国防工业出版社联系:bjxu@ndip.cn。

本书可作为高等院校机械类各专业的教材,也可作为非机械类等相关专业以及有关工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械原理/李瑞琴主编. —2版. —北京:国防工业出版社,2011.6

普通高等院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-07508-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 098210 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 21 $\frac{1}{4}$  字数 608 千字

2011 年 6 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 41.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 序

随着科学技术的飞速发展,机构和机器概念在不断拓展和发展。机构学与机器人学学科也发生了广泛而深刻的变化。

以机构和机器为研究对象的机械原理课程的内容随着学科的发展不断更新,其课程体系也必将发生相应的变化。

本书是一本反映近年来高等院校机械原理精品课程建设成果的教材。作者在编写过程中认真分析总结了近年来我国国家级精品课程和省级优秀精品课程成果,并学习了英国机械原理课程的教学内容和教学体系,充分考虑了机械产品创新设计的知识需求,对连杆机构、凸轮机构等重要机构除了介绍传统的设计知识外,还增加了计算机辅助设计内容,以及与实验相衔接的内容,使学生对重要内容能很好地掌握多种设计手段,这对学生很好地学习机构学的基本知识是很有帮助的。

机械原理课程是一门重要的技术基础课程。为了使机械原理课程发挥更大的作用,本书重视机械原理重要的传统内容的编排,也重视机械系统创新设计的内容,并与后续的机械原理课程设计等实践环节有很好的衔接。这对培养机械类学生的机械产品创新能力和实践能力是十分重要的。

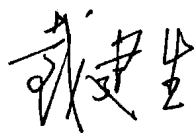
本书的配套的机械原理自测系统是本书的又一特色。学生在自我测试基本知识掌握程度的同时,对机械原理的英文专业术语的学习巩固以及与机械原理内容相关的英文文献阅读也有较好的帮助作用。

本书除了介绍机构学的传统内容外,还编排有反映学科前沿知识的现代机构学的最新成果。这部分内容对学生了解现代机构学的发展、现代机构学的重要分支以及未来在机构学与机器人学方面的深造奠定了基础。

本书在编写中比较重视基本知识的掌握以及解决实际问题能力的培养,贯穿了以“机构创新设计”为目标的主线,这将对学习机械原理课程产生较好的效果。

我衷心祝贺本书的出版。相信通过机械原理课程广大师生的教学实践、更新,该教材必将不断完善。

英国机构学与机器人学首席教授



2007年7月5日

## 第二版前言

机械原理课程是高等院校机械类专业一门重要的技术基础课程,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,在机械设计系列课程体系中占有十分重要的地位。

本书是在李瑞琴教授主编的《机械原理》第一版的基础上修订而成的。本书以培养学生的机械系统方案创新设计能力为目标,共分三大篇。第一篇:基本机构及常用机构的运动学设计,主要介绍基本机构及常用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;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,包括机械的平衡、机械的速度波动和调节等,介绍通过合理设计来改善机械的动力性能的途径;第三篇:执行机构系统的方案设计,主要介绍机械系统方案设计的流程,重要设计阶段的设计思想和设计方法。

本书在保持第一版特色的基础上,对相关内容进行了调整,配套《机械原理课程设计》教材(李瑞琴主编,电子工业出版社,2010),能更好地与后续机械原理课程设计及机械设计等相关课程的衔接。在全书内容的编排上,在力求系列教材更具有系统性、完整性的基础上,突出了以下几个方面特色:

### 1. 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。

### 2. 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,并始终贯穿以“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。

### 3. 注重与相关实践教学环节的衔接

为了使机械原理课程发挥更大的作用,本书加强了第三部分机械系统方案设计内容,重视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实践能力,无疑是十分重要的。

### 4. 体现现代机构理论的新进展

本书体现了近三年来关于机构理论及现代机械概念设计课题方面的科研成果。主要目的是使学生在掌握机构与机器的基本知识的同时,了解现代机构学的最新发展。主要介绍了现代机构学的重要分支,如广义机构、混合驱动机构以及变胞机构等。这部分内容为学生在未来从事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,加强了一些扩展性的内容,以利学生开阔思路,巩固基础知识的学习。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(第一章~第四章、第十三章、第十四章和附录),薄瑞峰(第五章),苗鸿宾(第六章~第七章),乔峰丽(第八章),梅瑛(第九章~第十二章)。全书由李瑞琴教授担任主编,并负责统稿。

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。

主编 李瑞琴

2011年3月

# 第一版前言

机械原理课程是高等院校机械类专业一门重要的技术基础课程,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,在机械设计系列课程体系中占有十分重要的地位。

我国自从启动精品课程建设以来,已有多所院校的机械原理课程被评为国家级精品课程和省级精品课程。在精品课程建设过程中积累了丰富的教学改革经验。从另一个角度出发,机械原理课程的研究对象,机构和机器的概念在不断拓展和发展,相应的机构学和机器人学学科的前沿知识也在迅速发展和不断更新。教材中应体现学科的最新成果,特别是应体现现代机构学的前沿知识。本书正是为了适应这一需要而编写的。

本书以培养学生的机械系统方案创新设计能力为目标,全书共分三部分内容:第一部分是传统机构的设计和运动分析,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;第二部分是机械的动力设计,主要介绍机械运转过程中的若干动力学问题,包括机械的平衡、机械的速度波动和调节等,介绍通过合理设计来改善机械的动力性能的途径;第三部分是机械系统的方案设计,主要介绍机械系统方案设计的流程,重要设计阶段的设计思想和设计方法。

在全书的内容安排上,作者分析研究了近年来国家级精品课程和省级优秀精品课程的教学改革经验,学习了英国机械原理课程的教学内容和教学体系,并根据作者多年来致力于机械原理课程的教学改革经验,突出了以下内容:

(1)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。本书着重讲述有关机械原理的基本概念、基本理论和基本方法,适当增加了一些综合性较强的例题,以利学生开阔思路,巩固基础知识的学习。

(2)增加了计算机辅助设计手段。计算机辅助机构系统设计是机构系统设计的重要手段之一。本书重视计算机辅助设计内容的编写,对连杆机构、凸轮机构等计算机辅助设计做了较为详细的介绍;对连杆机构等设计内容的解析法做了详细介绍,学生可按基本理论进行编程计算;对书中有些习题要求计算机编程计算;对有些图解法内容要用向量图解的形式等方法运用 CAD 软件进行满足工程实际要求的设计。

(3)配套机械原理自测系统。本书配套的资料是英文版的机械原理自测系统。自测系统突出了基本知识与基本技能的训练,有填空题、选择题、设计及计算题等多种题型。其目的是帮助学生通过自我测试手段巩固已学的基本知识。自测系统配合本书附录中按章节编写的机械原理重要名词术语中英文对照表,对机械原理的英文专业术语的学习,以及提高与机械原理内容相关的英文文献阅读能力将起到积极的推动作用。这部分内容也可作为机械原理双语教学的辅助参考资料。有需要的读者可与国防工业出版社联系:jtwang@ndip.cn。

(4)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,并始终贯穿以“机构系统创新设计”的设计主线,以设计最佳的机械运动系统设计方案为目标,培养学生的正确的设计思维和设计能力。

(5)注重与相关实践教学环节的衔接。为了使机械原理课程发挥更大的作用,本书加强了第三部分机械系统方案设计的内容,重视与后续的机械原理课程设计等实践环节的衔接。这对培养机械类学生的机械产品创新能力和实践能力是十分重要的。

(6)增加了现代机构学前沿知识。本书除了介绍机构学的传统内容外,还编排有反映学科前沿知识的现代机构学的最新成果。主要目的是使学生在掌握机构与机器的基本知识的同时,了解现代机构学的最新发展。主要介绍了现代机构学的重要分支,如广义机构、混合驱动机构以及变胞机构等。这部分内容为学生在未来从事机构学与机器人学方面的深造奠定了基础。

参加本书编写的有:李瑞琴(第一章~第四章、第十三章、第十四章和附录),苗鸿宾(第六章~第七章),梅瑛(第九章~第十二章)。全书由李瑞琴教授担任主编。配套光盘由李瑞琴教授制作。

英国伦敦大学国王学院教授,英国机构学与机器人学首席教授戴建生教授为本书的现代机构学内容的编写以及英国与机械原理课程相关的教学内容和教学体系等提供了丰富的参考资料,并对全书内容进行了精心审阅,提出了极为宝贵的修改意见,对提高本书的编写质量给予了很大帮助,在此谨致以衷心的感谢!

在编写本书的过程中得到了中北大学学校领导以及责任编辑的热情关注和大力扶持,在此也一并表示感谢!

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。

主编 李瑞琴

2007年7月



# 目 录

## 第一篇 基本机构及常用机构的运动学设计

### 第一章 绪论/1

- 1.1 机械原理的研究对象和研究内容/1
- 1.2 机械原理课程的地位和作用/3
- 1.3 机械原理课程的学习目的和方法/3

### 第二章 机构的结构分析与综合/5

- 2.1 机构的组成及运动简图/5
- 2.2 机构的自由度计算及机构运动确定条件/11
- 2.3 机构的高副低代、结构分析和组成原理/17

习题/21

### 第三章 平面连杆机构及其设计/25

- 3.1 平面连杆机构的类型和应用/25
- 3.2 平面连杆机构的运动特性和传力特性/29
- 3.3 平面连杆机构的运动功能和设计要求/34
- 3.4 刚体导引机构的设计/36
- 3.5 函数生成机构的设计/39
- 3.6 急回机构的设计/42
- 3.7 轨迹机构的设计/44
- 3.8 用速度瞬心法作平面机构的速度分析/45
- 3.9 用相对运动图解法进行机构的运动分析/48
- 3.10 用复数矢量法进行机构的运动分析/53
- 3.11 平面连杆机构的计算机辅助设计/56

习题/64

### 第四章 凸轮机构及其设计/69

- 4.1 凸轮机构的应用和分类/69
- 4.2 从动件的运动规律/73
- 4.3 图解法设计凸轮廓线/82
- 4.4 解析法设计凸轮廓线/87
- 4.5 凸轮机构的压力角及基本尺寸的设计/91
- 4.6 凸轮机构的计算机辅助设计/97

习题/100

### 第五章 齿轮机构及其设计/104

- 5.1 齿轮机构的类型和应用/104
- 5.2 齿廓啮合基本定律及渐开线齿形/106
- 5.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸计算/109
- 5.4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动/112
- 5.5 渐开线齿轮的加工原理/118
- 5.6 渐开线变位齿轮的啮合传动/123
- 5.7 平行轴斜齿圆柱齿轮机构/130
- 5.8 交错轴斜齿圆柱齿轮机构/137
- 5.9 蜗杆蜗轮机构/138
- 5.10 直齿圆锥齿轮机构/143

习题/147

### 第六章 轮系及其设计/150

- 6.1 轮系的类型/150
- 6.2 定轴轮系的传动比计算/151
- 6.3 周转轮系的传动比计算/153
- 6.4 复合轮系的传动比计算/157
- 6.5 行星轮系的效率/160
- 6.6 轮系的设计/162

6.7 轮系的功能/166

习题/169

## 第七章 间歇运动机构/173

7.1 槽轮机构/173

7.2 棘轮机构/177

7.3 凸轮式间歇运动机构/182

7.4 不完全齿轮机构/183

7.5 间歇运动机构设计的共性问题/184

习题/185

## 第八章 其他常用机构/186

8.1 万向联轴节/186

8.2 螺旋机构/188

8.3 组合机构/190

8.4 行程增大机构和可调机构/200

8.5 液动机构和气动机构/202

习题/205

## 第二篇 机械的动力学设计

### 第九章 平面机构的力分析/208

9.1 平面机构力分析的目的和方法/208

9.2 构件的惯性力/209

9.3 运动副中的摩擦力/210

9.4 机构动态静力分析的解析法/216

9.5 力封闭凸轮机构的动态静力分析/  
220

习题/223

### 第十章 机械的效率/226

10.1 机械的效率/226

10.2 机械的自锁/229

10.3 提高机械效率的途径/232

习题/232

### 第十一章 机械的运转及其速度波动的调节/ 235

11.1 作用在机械上的力及机械的运转过

程/235

11.2 机械系统的等效动力学模型/237

11.3 机械系统运动方程及求解/241

11.4 周期性速度波动的调节/245

11.5 非周期性速度波动的调节/253

习题/254

### 第十二章 机械的平衡/258

12.1 机械平衡的目的与分类/258

12.2 刚性转子的平衡设计/259

12.3 刚性转子的平衡试验/265

12.4 挠性转子的平衡/269

12.5 平面机构的平衡设计/270

习题/276

## 第三篇 执行机构系统的方案设计

### 第十三章 执行机构系统的方案设计/279

13.1 执行机构系统方案设计的一般流  
程/279

13.2 功能分析与功能求解/281

13.3 执行机构系统的功能原理设计/284

13.4 执行机构的型综合/287

13.5 执行机构系统的协调设计/295

13.6 机械运动方案的评价体系和评价方  
法/304

13.7 机械运动方案设计实例/311

习题/315

### 第十四章 现代机构系统/317

14.1 机构学的发展及现代机构特征/317

14.2 现代机构学的分支/318

附录 机械原理重要名词术语中英文对  
照表/328

参考文献/335

# 第一篇 基本机构及常用机构的运动学设计

## 第一章 绪 论

### 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

机械原理又称机器理论与机构学。

机械原理是研究机构和机器的运动及动力特性,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。它对于机械的设计、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,而机械是机构与机器的总称。因此,机械原理的研究对象是机构和机器。

机器的种类繁多,根据机器的组成、功用和运动特点,可将机器的定义如下: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,如内燃机、压气机、涡轮机、电动机、发电机等。

工作机器的功用是完成有用的机械功或搬运物品。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。

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

随着科技的发展,机器的内涵也在不断的变化。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,如数控加工中心、各种机器人、数码照相机等。

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。

工业机器人是典型的现代机器。如图 1.1 所示的机器人操作机由机身、臂部、腕部和手部(末端执行器)等组成,其臂部有三个关节,故臂部具有三个自由度,即绕腰关节转动的自由度  $\Phi_x$ 、绕肩关节运动的自由度  $\Phi_y$ 、绕肘关节摆动的自由度  $\Phi'_z$ ;其腕部有三个关节,故腕部也具有三个自由度,即绕自身旋转的自由度  $\Phi_{z1}$ 、上下摆动的自由度  $\Phi_{y1}$ 、左右摆动的自由度  $\Phi_{x1}$ 。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 所示的内燃机由曲柄滑块机构(属于连杆机构)1-2-3-4、齿轮机构 1-4-5-6 及凸轮机构 4-5'-7 及 4-6'-8 组成,其中构件 5 和 5',6 和 6'各为同一个构件。

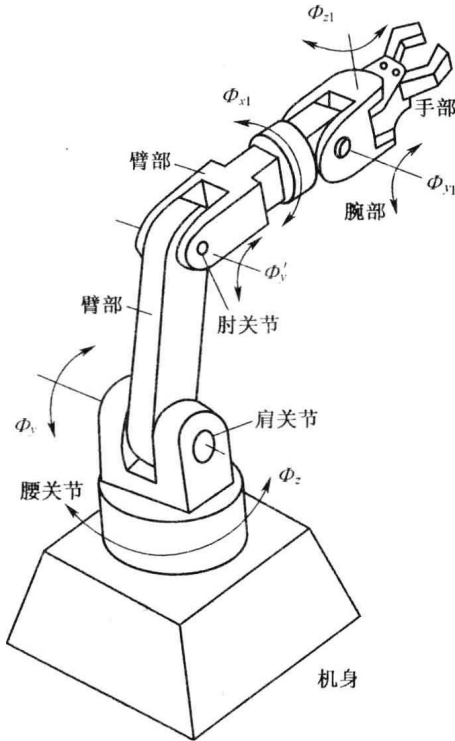
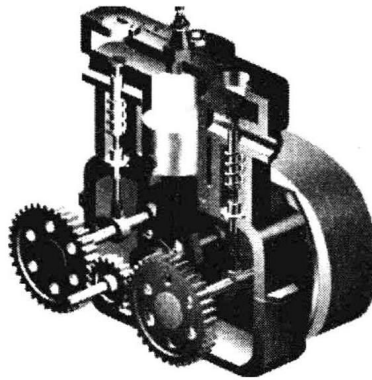
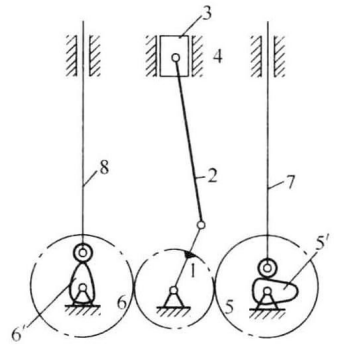


图 1.1 机器人操作机



(a)



(b)

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、其它用途机构等一些常用机构。本课程介绍这些常用机构的设计理论和方方法。

### 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基本原则和方法。

本课程的研究内容也可以概括为以下两个方面：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。

当今世界范围内正经历着一场新的技术革命，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、广义机构等的研究，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，这些都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。本课程将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、普通物理、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

机械原理课程中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做机械运动，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。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、创造新机械等都必须具有上述知识。

#### 1.3.2 机械原理课程学习方法

根据机械原理课程的特点和作用,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。这些方法的掌握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,因此本课程的学习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。

## 第二章 机构的结构分析与综合

机器主要是由各种机构构成的机构系统。在进行新机器创新设计时,需根据机器的功能要求和设计任务,选用或创造新机构,构思机械运动方案,实现机器自主创新。因此,对机构的类型、特点、设计方法必须有较全面的熟悉和掌握。

### 2.1 机构的组成及运动简图

#### 2.1.1 构件与运动副

##### 1. 构件

组成机构的每一个独立运动的单元体称为构件。机器中的构件可以是单一的零件(如齿轮),也可以由若干个零件刚性组装而成。如图 2.1(a)所示的连杆就是由单独加工的连杆体、连杆头、螺栓、螺母等零件装配而成的单元体。由此可见,构件和零件是两个不同的概念,构件是运动的单元,而零件是制造的单元。

##### 2. 运动副

机构都是由两个以上具有相对运动的构件组成的,其中每个构件都以一定的方式至少与另一个构件相连接。这种连接既使两个构件直接接触,又使两构件能产生一定的相对运动。两构件直接接触而又能产生一定形式的相对运动的可动连接称为运动副。如图 2.2(a)所示的轴与轴承连接;图 2.2(b)所示的滑块与导轨之间的连接;图 2.2(c)所示的两齿轮轮齿的啮合等均为运动副。

构成运动副的两个构件间的接触不外乎点、线、面 3 种形式,两个构件上参与接触而构成运动副的点、线、面称为运动副元素。如图 2.2 所示的运动副元素分别是:圆柱面和圆柱孔面、平面及齿廓曲面。

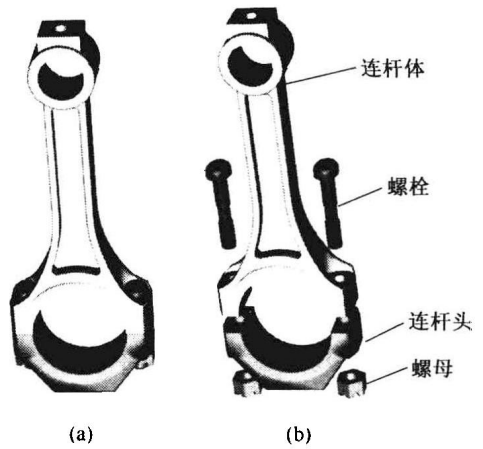


图 2.1 构件与零件  
(a)构件;(b)零件。

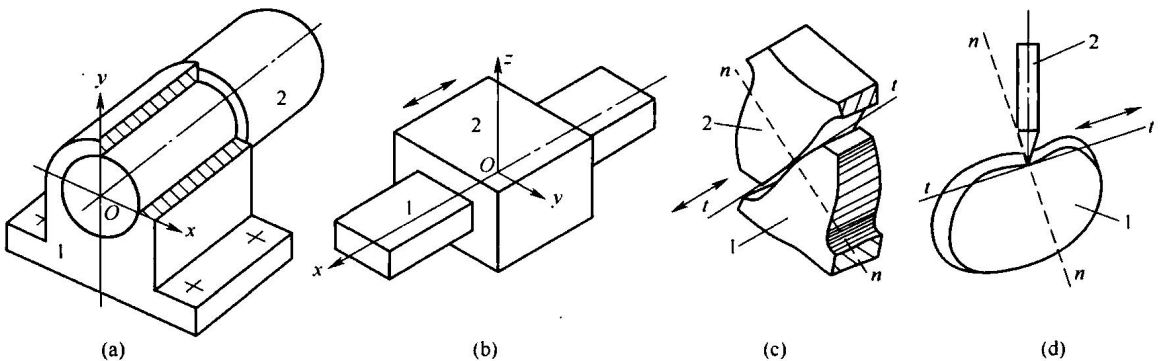


图 2.2 运动副

(a)轴与轴承连接;(b)滑块与导轨连接;(c)两齿轮轮齿啮合;(d)凸轮与从动件连接。

构件所具有的独立运动的数目(或确定构件位置所需要的独立参变量的数目)称为构件的自由度。一个构件在未与其他构件连接前,在空间可产生 6 个独立运动,也就是说,具有 6 个自由度。而作平面运动的自由构件具有 3 个自由度。

两个构件直接接触构成运动副后,构件的某些独立运动受到限制,自由度随之减少,构件之间只能产生某些相对运动。运动副对构件的独立运动所加的限制称为约束。运动副每引入一个约束,构件便失去一个自由度。两个构件间形成的运动副引入了多少个约束,限制了构件的哪些独立运动,则完全取决于运动副的类型。

运动副有多种分类方法。

按组成运动副的两构件间的相对运动形式分类:若相对运动为平面运动则称为平面运动副,若为空间运动则称为空间运动副。

按运动副的接触形式分类:面与面接触的运动副(如图 2.2(a)所示的轴与轴承所形成的运动副)在承受载荷方面与点、线接触的运动副(如图 2.2(c)所示的齿轮啮合所形成的运动副)相比,其接触部分的压强较低,故面接触的运动副称为低副,而点、线接触的运动副称为高副,高副比低副易磨损。

按运动副引入的约束数分类:引入 1 个约束的运动副称为 I 级副,引入 2 个约束的运动副称为 II 级副,依此类推,还有 III 级副、IV 级副、V 级副。

按组成运动副的两构件在接触部分的几何形状分类:可分为圆柱副、平面副、球面副、球销副、螺旋副等。

### 3. 各种平面运动副的约束特点

#### 1) 转动副

图 2.2(a)所示运动副,构件 2 沿  $x$  轴和  $y$  轴的两个相对移动受到约束,构件 2 只能绕垂直于  $Oxy$  平面的轴相对转动。这种具有一个独立相对转动的运动副称为转动副。

#### 2) 移动副

图 2.2(b)所示运动副,构件 2 沿  $y$  轴的相对移动和绕垂直于  $Oxy$  平面的轴的相对转动受到约束。构件 2 只能沿  $x$  轴相对移动。这种具有沿一个方向独立相对移动的运动副称为移动副。

#### 3) 平面高副

如图 2.2(c)圆柱齿轮啮合时轮齿与轮齿间的连接和图 2.2(d)从动件与凸轮轮廓之间的连接。当两构件组成运动副后,构件 2 沿公法线  $n-n$  方向的移动受到约束,但可以沿接触点切线  $t-t$  方向相对移动,还可以同时绕接触线(或点)转动,所以,运动副的相对自由度数为 2,约束数为 1。这种具有两个独立相对运动的平面运动副称为平面高副。

约束一个相对转动而保留两个独立相对移动的运动副是不可能的。因为只要两构件一旦直接接触,沿接触点公法线相对移动的可能性即被取消。

因此,从相对运动来看,平面运动副只有上述三种型式,其中转动副和移动副是面接触的运动副,具有两个约束,属于平面低副。平面高副是点接触或线接触的运动副,具有一个约束。

## 2.1.2 运动链和机构

### 1. 运动链

用运动副将两个或两个以上的构件连接而成的系统称为运动链。

运动链分为闭式运动链和开式运动链两种。

如图 2.3(a)所示,各构件构成了首尾封闭的系统,称为闭式运动链。闭式运动链广泛应用在各种机械中。

如图 2.3(b)所示,各构件未构成首尾封闭的系统,称为开式运动链。开式运动链多用在工业机器人中的机械手、挖掘机等多自由度的机械中。



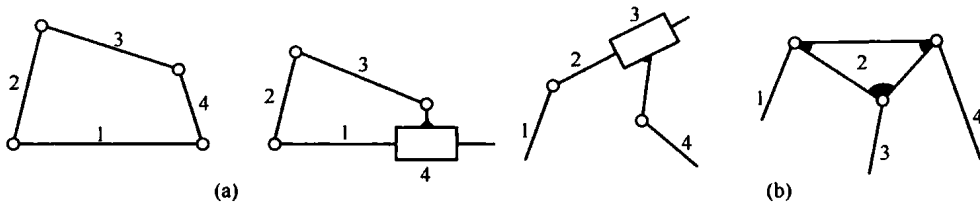


图 2.3 运动链  
(a) 闭式运动链; (b) 开式运动链。

## 2. 机构

在运动链中,若将某一构件固定不动,其他构件都能按给定的运动规律相对于该固定构件运动,则此运动链便成为机构。

机构中固定不动的构件称为机架,按给定运动规律独立运动的构件称为原动件(或主动件),而其余活动构件则称为从动件。

组成机构的各构件都在同一平面内或相互平行的平面内运动,则此机构称为平面机构;组成机构的某些构件不在相互平行的平面内运动,则此机构称为空间机构。

常见的机构大多数为平面机构。本课程主要讨论平面机构和平面运动副的有关问题。

### 2.1.3 平面机构运动简图

无论是对已有的机械进行分析还是构思新的机械,都需要一种表示机构运动情况的简明图形。因为机构各构件间的相对运动,是由原动件的运动规律,机构中所用运动副的类型、数目及其相对位置尺寸决定的,而与构件和运动副的具体结构、外形、断面尺寸、组成构件的零件尺寸数目及固联方式无关。因此,可以撇开机构的复杂外形和运动副的具体构造,用简单的线条和规定的符号代表构件和运动副,并按比例定出各运动副的相对位置。这种能表达机构运动情况的简单图形称为机构运动简图。

机构运动简图有以下作用:

- (1) 可以简明地表达一部复杂机器的传动原理。
- (2) 机构运动简图能反映出机构的运动特性。可以用来进行机构的结构、运动及动力分析。
- (3) 可以在研究各种不同的机械运动时起到举一反三的效果。如活塞式内燃机、空气压缩机和冲床,尽管它们的外形和功用各不相同,但它们的主要传动机构都是曲柄滑块机构,可以用同一种方法研究它们的运动。

#### 1. 运动副与构件的表示方法

机构运动简图的符号已有国家标准,GB 4460—84 对运动副、构件及各种机构的表示符号作了规定。

##### 1) 转动副的表示符号

转动副的表示符号如图 2.4 所示。表示转动副的小圆,其圆心必须与相对回转轴线重合。



图 2.4 转动副的表示方法  
(a) 两构件为活动构件; (b) 有一构件固定。