

**B** 普通高等教育机电类规划教材

# 机械原理教程

邹慧君 主编



11-43

机械工业出版社  
China Machine Press

普通高等教育机电类规划教材

# 机械原理教程

主 编 邹慧君  
参 编 邹慧君 陈廷雨 赵 韩 虞红根  
主 审 郑文纬



机械工业出版社

本书对机械原理课程传统教材的内容和体系进行了较大的变革。全书共10章,30余万字。从提高学生的创新设计能力出发,注意加强各种机构的设计方法、机构创新设计方法、机械运动方案设计和机械动力学的介绍。为了适应21世纪培养通用人才的需要,重点内容精心阐述,一般内容简洁明了和拓宽知识面。力求做到少而精。

为了有利于学习和掌握重点内容,每章前有提要、每章后有思考题和习题。

本书可供高等工科院校学生使用,也可供有关人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械原理教程/邹慧君主编. —北京:机械工业出版社,2001.9  
普通高等教育机电类规划教材  
ISBN 7-111-09307-0

I. 机... II. 邹... III. 机构学-高等学校-教材 IV. TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第061607号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
责任编辑:刘小慧 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣  
封面设计:鞠杨 责任印制:路琳  
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2001年10月第1版·第1次印刷  
787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·13.5印张·334千字  
0 001—5 000册  
定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

## 前 言

21 世纪是世界全面进入知识经济的时代,人们更强烈地意识到一个国家的创新能力是决定它在国际竞争和世界总格局中地位的重要因素。创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。当前,机械产品的国际竞争愈演愈烈,要使我国机械产品能占世界市场一席之地,关键是增强我国机械产品创新设计能力,迅速摆脱照搬照抄的传统设计的落后局面。

机械创新设计已经引起国内外普遍重视,机械创新设计的理论、方法和技术已经被国内外从事机械设计的科技人员广泛研究。归纳起来,机械创新设计的目的是设计出符合科学原理、具有新颖结构、富有实用价值的新的机械产品;机械创新设计的具体内容应包括机械概念设计的创新、机械构形设计的创新和机械造型设计的创新。因此,机械创新设计的内涵是十分丰富的。

机械概念设计是从市场需求出发,进行功能创造、功能分解、工作原理求解以及工作原理载体方案的构思和系统化设计。因此,机械概念设计过程是机械创新设计的重要步骤和关键内容。它的重要结果是确定一个质量水平高、工作性能优和经济效益好的机械运动方案。在概念设计阶段,机械创新设计包括执行机构创新和机械运动方案组成创新。它们均是机械创新设计的重要内容,同时也是《机械原理教程》中论述的重点。不难看出,机械原理课程教学将对培养学生的机械创新能力,发挥着其它课程所无法替代的重要作用。因此,面向 21 世纪的机械原理教材内容应紧密结合机械产品概念设计的需要,充实机构创新设计方法的论述,加强机构系统设计理论和方法的阐述。以上所述不但是适应 21 世纪世界范围内机械产品剧烈竞争的需要,也是机械原理课程的体系和内容改革应该遵循的方向。

随着科学技术的飞速发展,机电一体化技术已在机械产品中广泛应用,具有计算机信息处理和控制手段的现代机械已日益增加。但是,我们应该清醒地认识到,现代机械在本质上来说还是机械,最终还是通过机械运动完成机械能的变换。因此,采用形形色色驱动元件的广义机构,只是更易产生可控的运动、满足柔性化输出的需要。在机械原理课程中适当增加基于多种驱动元件的广义机构的内容,对于该课程适应现代机械发展,具有十分重要的意义。

众所周知,21 世纪的高等工程教育要求加强素质教育、加强基础教育,加强人文商业教育,使培养的学生更具竞争能力和适应能力,因此每门课程不但应削减时数,而且要扩大知识面。为了使机械原理课程适应这一变化,要求教学内容在少而精的前提下尽可能扩大知识面,使学生开阔视野,提高素质。

为了满足上述要求,我们在编写本书时注意满足五个方面的需要:一是培养 21 世纪人才的需要,着力提高学生的设计思维和设计创新能力;二是机械产品自主开发的需要,努力培养学生现代设计的能力;三是学科发展的需要,适当充实广义机构内容和现代设计方法;四是改革原有课程内容的需要,创建起新的课程体系和内容;五是削减课程时数和扩大知识面的需要,编写好按机械产品概念设计需要的少而精的教材。具体来说,本书的特点为加强机构设计,加强机构系统设计,增加机构创新设计方法,充实广义机构的阐述,有利于培养学生的机械创新设计能力。

#### IV

在编写过程中，为了扩大知识面、促进学生能力的培养，除课程中重点内容外，其它内容的选取尽可能浅显而且广泛一些。阐述时注意简练，要给学生留有一定的思考余地。为了便于学生更好地掌握各章重点内容，我们在各章开头加了提要。为了便于学生复习掌握每章的基本理论、基本知识和基本技能，培养他们分析问题、解决问题的能力，我们在每章末尾编写了思考题和习题。打“\*”号的章节为选修内容。

参加本书编写的有：上海交通大学邹慧君（第一章、第七章、第八章）、上海理工大学陈廷雨（第二章、第五章、第十章）、合肥工业大学赵韩（第三章）、同济大学虞红根（第四章、第九章）、合肥工业大学查全中（第六章）。本书由上海交通大学邹慧君任主编，负责编写大纲的制定和本书的统稿。

本书承原国家教育委员会机械原理课程教学指导小组成员、东南大学郑文纬教授精心审阅，提出了很多宝贵意见，编者在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限，不当之处在所难免，敬请各位机械原理课程的教师和广大读者不吝指正。

作者

2001年3月

# 目 录

前言	
第一章 引论 .....	1
第一节 机械原理研究对象及其基本概念 .....	1
第二节 机械设计及机械运动简图设计概述 .....	2
第三节 机械原理课程的地位和作用 .....	4
*第四节 机械原理学科的发展动向 .....	5
思考题 .....	8
第二章 机构分析基础 .....	9
第一节 机构组成和机构运动简图 .....	9
第二节 平面机构的自由度计算及机构运动确定条件 .....	12
第三节 平面机构的结构分析和组成原理 .....	15
*第四节 平面机构的高副低代 .....	16
第五节 平面连杆机构的运动分析 .....	18
第六节 平面连杆机构动态静力分析 .....	23
*第七节 机械中的摩擦分析 .....	25
思考题 .....	30
习题 .....	30
第三章 凸轮机构及其设计 .....	36
第一节 概述 .....	36
第二节 从动件运动规律 .....	39
第三节 凸轮轮廓的确定 .....	42
第四节 凸轮机构基本参数的设计 .....	46
第五节 空间凸轮机构简介 .....	48
第六节 凸轮机构的弹簧力 .....	49
*第七节 高速凸轮机构简介 .....	51
思考题 .....	51
习题 .....	52
第四章 齿轮机构及其设计 .....	54
第一节 概述 .....	54
第二节 齿廓啮合基本定律及渐开线齿形 .....	55
第三节 渐开线圆柱齿轮各部分名称和尺寸 .....	58
第四节 渐开线直齿圆柱齿轮机构的啮合传动 .....	61
第五节 渐开线斜齿圆柱齿轮传动 .....	70
第六节 空间齿轮机构的类型和啮合传动特点 .....	75
第七节 定轴轮系传动比 .....	80
第八节 周转轮系传动比 .....	81
第九节 复合轮系传动比 .....	84
*第十节 其它类型齿轮传动简介 .....	85
思考题 .....	88
习题 .....	88
第五章 平面连杆机构及其设计 .....	91
第一节 平面四杆机构的特点和基本类型 .....	91
第二节 平面连杆机构设计中的一些共性问题 .....	94
第三节 平面连杆机构运动设计的基本问题 .....	99
第四节 刚体导引机构的设计 .....	101
第五节 函数机构的设计 .....	107
第六节 轨迹机构的设计 .....	111
第七节 平面多杆机构的应用 .....	112
思考题 .....	114
习题 .....	114
第六章 其它机构 .....	118
第一节 间歇运动机构 .....	118
第二节 变角传动机构、螺旋机构和振动惯性机构 .....	125
第三节 广义机构 .....	131
第四节 组合机构 .....	136
思考题 .....	140
习题 .....	140
第七章 机构创新设计方法 .....	143
第一节 功能、动作和执行机构 .....	143
第二节 基于机构结构理论和组成原理的创新机构 .....	145
第三节 利用构件运动特点的创新机构 .....	147

第四节	基于运动链类型的综合创新机构 .....	150	第一节	概述 .....	178
第五节	基于多种驱动元件的创新机构 ...	157	第二节	机械系统动力学模型 .....	179
思考题	.....	159	第三节	机械系统运动方程及其求解 .....	182
习题	.....	159	第四节	周期性速度波动及其调节 .....	186
第八章	机械运动方案设计 .....	160	*第五节	非周期性速度波动的调节 .....	191
第一节	概述 .....	160	思考题	.....	192
第二节	机构选型 .....	161	习题	.....	193
第三节	机械执行机构的协调设计和运动循环图 .....	165	第十章	机械的平衡与减振 .....	195
第四节	机械运动方案拟定与运动简图设计 .....	166	第一节	概述 .....	195
第五节	机械运动方案的评价 .....	171	第二节	刚性转子的平衡设计和平衡实验 .....	196
思考题	.....	176	第三节	机构的平衡 .....	199
习题	.....	176	*第四节	机械系统的隔振和减振 .....	201
第九章	机械系统动力学 .....	178	思考题	.....	205
			习题	.....	205
			参考文献	.....	209

# 第一章 引 论

**提要** 明确本课程的研究对象和主要内容，掌握机构、机器、机械的基本概念和机械运动简图设计的基本要求。

## 第一节 机械原理研究对象及其基本概念

机械原理又称为机器理论与机构学。

机械原理是研究机构和机器的运动及动力特性，以及机械运动简图设计的一门基础技术学科。它是机械设计理论和方法中的重要分支。机械原理的研究对象是机械，而机械是机构与机器的总称。

机器的种类繁多，如内燃机、拖拉机、起重机、金属切削机床、纺织机、缝纫机、包装机、电脑绣花机等。根据它们的组成、运动和功用的特点，进行概括和抽象，对机器可定义如下：机器是一种由人为物体组成的具有确定机械运动的装置，它用来完成给定的工作过程，以代替人类的劳动。根据机器的工作类型不同，一般还可以分为动力机器、工作机器和信息机器三类。

动力机器的功用是把任何一种能量变换成机械能，或者把机械能变换成其它形式的能量。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。

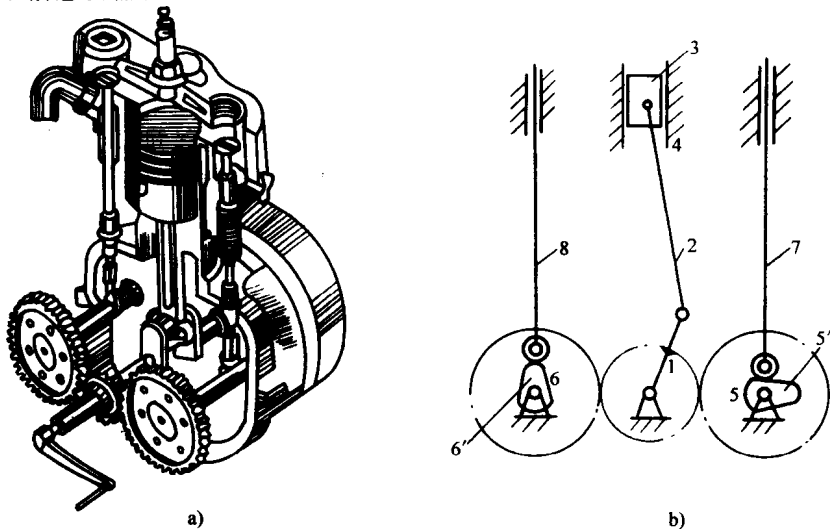


图 1-1



现代机器通常由控制系统、信息测量和处理系统、动力部分及执行机构系统等组成。其中控制和信息处理是由电子计算机来完成，实现机电一体化，成为现代机械系统。例如，加工中心、机器人、全自动照像机等。

不管现代机器如何先进，机器与其它装置的主要不同点是产生确定的机械运动，完成有用的工作过程。因此，实现机械运动的执行机构系统是机器的核心，机器中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。机器中运动单元体称为构件。而把一个或几个构件的运动，变换成其它构件所需的具有特定运动的构件系统则称为机构。从现代机器发展趋势来看，机构中的各构件可以都是刚性的，也可以是某些构件是挠性的、弹性的或是由液、气、电磁件构成的。现代机器中的机构不再是纯刚性构件的机构。

在机构中给定运动的构件称为输入构件，又称为原动件；完成执行动作的构件称为输出构件，又称为执行构件。

机器的类型虽然很多，但组成各种机器的基本机构的种类并不多。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 1-1 所示，内燃机是由曲柄滑块机构（属连杆机构）1-2-3-4、齿轮机构 1-4'-5-6 及凸轮机构 4-5'-7 及 4-6'-8 组成的。如图 1-2 所示的化妆品冷霜灌装机，主要由曲柄滑块机构 1-2-3-4、凸轮机构 1-5-6、凸轮机构 1-7-8、凸轮机构 1-9-10、以及槽轮机构 1-11-12、齿轮机构 1-13-14-15-16 等组成。

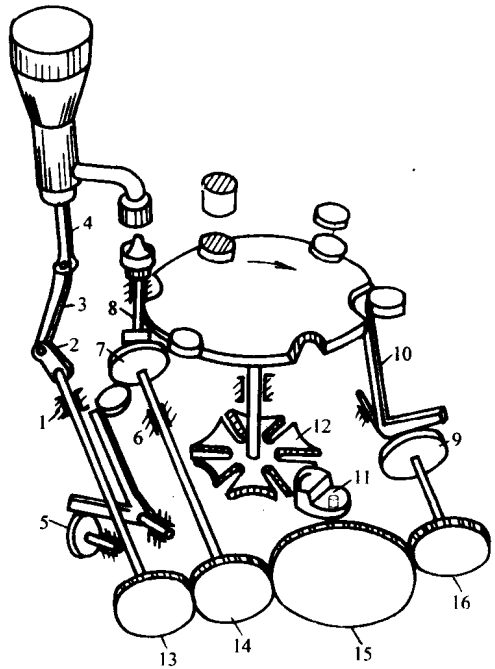


图 1-2

## 第二节 机械设计及机械运动简图设计概述

### 一、机械设计的一般进程

机械设计过程并没有一个通用的固定顺序，而必须按具体情况确定。机械设计的一般进程，可分为产品规划、方案设计、详细设计和改进设计四个阶段。现分述如下：

#### 1. 产品规划阶段

这一阶段的中心任务是进行需求分析、市场预测、可行性分析，确定设计参数及约束条件，最后给出详细的设计任务书（或要求表），作为设计、评价和决策的依据。产品开发是从需求识别开始的，不但要开发显需求的产品，而且要开发隐需求的产品。

#### 2. 方案设计阶段

市场需求的满足或适应，是以产品的功能来体现的。产品功能与产品设计是因果关系。体现同一功能的产品，可以是多种多样的。方案设计阶段要完成产品功能分析、功能原理求解和评价决策以得到最佳功能原理方案，并由此最后完成机械运动简图的设计。产品方案的好坏，决定着产品性能和成本，关系到产品的水平和竞争能力，因此，它是产品设计的关键。由

此可见，机械原理课程内容将为方案设计提供设计理论和方法。

### 3. 详细设计阶段

这一阶段是将机械运动简图具体化为机器及零部件的合理结构。也就是要完成产品的总体设计、部件和零件的设计，完成全部生产图样并编制设计说明书等有关技术文件。在此阶段中，零部件的结构形状、装配关系、材料选择、尺寸大小，加工要求、表面处理、总体布置等设计合理与否，对产品的技术性能和经济指标都有着直接的影响。

### 4. 改进设计阶段

这一阶段的主要任务是根据试验、使用、鉴定中所暴露的问题，进一步作相应的技术完善工作，产品的效能、可靠性和经济性得到提高，使产品更具生命力。

## 二、机械运动简图设计的主要内容

我们将单一机构所绘制的运动简图称为机构运动简图，而将整部机器中各机构所绘制出机构系统运动简图称为机械运动简图。

在机械设计过程中根据产品功能要求、工作性质和工作过程等基本要求进行新机械的方案设计，愈来愈受到产品设计人员的重视。在方案设计阶段最后应该完成机械运动简图的设计。所谓机械运动简图，就是按机械的工作过程和动作要求设计出的由若干机构组成的机构系统运动简图。一般情况下，它往往是机械最核心的部分。

机械运动简图的设计主要包括下列两部分：

#### 1. 机械运动简图的型综合

它是按工作过程和工艺动作要求来确定若干个执行动作；根据执行动作要求选择各个执行机构的机构型式（或创造一些新机构）；将这些机构组合成一个机构系统，这就是机械运动简图的型综合。

#### 2. 机械运动简图的尺度综合

它是按初步确定的机构系统的机构型式，根据各执行构件的运动规律要求和动作相互配合要求进行各机构的运动尺度的设计计算和各机构间的协调设计，这就称之为机械运动简图的尺度设计。

在机械运动简图设计过程中这两部分设计往往需要反复进行，使机构系统的类型和运动尺度都能较好地满足设计要求。

由此看出，机械运动简图设计是机械产品设计中十分重要的内容，是决定机械产品质量、水平、性能和经济效益的关键性一步。

为了搞好机械运动简图设计，我们应该努力掌握机构及其系统设计的理论和方法，努力学好机械原理的基本内容。

## 三、机电一体化技术在机械运动简图设计中的作用

大家知道，采用纯机械的各种机构来完成机器的传动、控制和执行动作虽然可行，但在工艺动作过程比较繁复的场合，会导致机械结构复杂，可调整性差，难以达到优良的机器功能。目前由于机电一体化技术日益发展并广泛应用，机器中的传动、控制和执行机构的数目有减少的趋势，机构的结构有简化的可能，同时，使机器的档次和水平有较大的提高。机电一体化技术虽然发展很快，但在现代机械中不会取消传统机构的应用，为了产生确定的运动和传递机械能，仍然离不开这种机构。随着机电一体化技术的广泛应用，我们还应该努力掌握电磁、液气、声光等多种工作原理的机构设计。这种具有多种工作原理的机构称为广义机

构。总之，在确定机械工作原理、工艺路线方案时，选择传动、控制和执行机构，进行机械运动简图设计时，均应考虑电子技术与机械技术的结合，使新设计的机器性能优良、适应性强。

### 第三节 机械原理课程的地位和作用

#### 一、机械原理课程的地位和作用

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。它是以高等数学、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成果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。特别是各种机械类的专业为了拓宽专业面和扩大知识范围而合并为一个机械工程及自动化专业，机械原理课程显得愈来愈重要，它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。

#### 二、机械原理课程的主要内容

如前所述，机械原理是一门研究机构及机械运动简图设计的学科，它的主要内容有以下四个方面：

##### 1. 机构的组成和类型综合

研究机构组成原理是为了分析机构运动的可能性及确定性；也为了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。通过机构类型综合可以探索创新机构的某些途径。

##### 2. 机构设计

机器虽然种类繁多，然而构成各种机器的机构类型却是有限的，它们是齿轮机构、凸轮机构、连杆机构、其它机构等一些常用的机构。本课程介绍满足预期运动和工作要求的各种机构的设计理论和方法。

##### 3. 机构系统设计

机构系统设计是机械运动方案设计的主要内容，在本课程中介绍功能分析、机构选型、机构系统运动协调设计以及机械运动简图设计的基本原则和方法。

##### 4. 机械动力学

为了设计出动力性能良好的机械，在本课程中介绍了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问题，机械平衡和减振。

机械原理课程设计在本门课程中有着十分重要的作用，通过机械原理课程设计可以使我们系统地、深入地掌握本课程的主要内容。

从另外一个角度来看，本课程研究的内容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。但是，我们应该特别强调的是，在本课程中对机械设计的研究，只限于根据运动和动力要求，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。正因为如此，在本课程中，我们又常用“综合”二字来代替“设计”二字。

### 三、机械原理课程学习方法指点

为了学好机械原理课程，读者应注意以下几点：

- 1) 熟悉和掌握各种典型机构的结构和运动特点，深入理解满足实际生产需要的机构分析和设计方法。
- 2) 熟悉和掌握机构运动简图和机械运动简图的画法，要习惯于采用运动简图来认识机构和机器，想象机构和机器的运动情况。
- 3) 对于课程中的基本概念要深刻理解，才能更好地掌握课程内容，起到事半功倍的效果。
- 4) 深入理解和全面掌握本课程的基本研究方法。这些基本研究方法有：杆组法、转换机架法、机构转化法、等效法等。这些方法能使我们各种机构的分析和设计易于解决。
- 5) 注意在学习中进行前后联系、融会贯通，如利用瞬心的概念对凸轮机构、齿轮机构等进行分析等。
- 6) 求解习题前应先重点复习有关例题，归纳总结解题思路，从中得到启示，以达到举一反三的效果。

## \* 第四节 机械原理学科的发展动向

机械原理学科作为机械设计与理论学科的重要组成部分，是机械工业和现代科学技术发展的重要基础。目前，机械原理学科已经和电子学、信息科学、计算机科学、生物科学以及管理科学等相互渗透，相互结合，已经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、机械电子等等。它的研究课题层出不穷，它的研究方法日新月异。现将机械原理学科的发展动向概述如下。

### 一、机构的结构理论

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。同时，由于空间连杆机构应用日益广泛，对于空间连杆机构的公共约束和过约束等问题也作了很多的研究。

为了创造和设计出更好的机构，开展机构创新方法的研究已得到大家的重视。为了深入研究机械运动简图设计理论和方法，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。

### 二、平面与空间连杆机构

广泛采用电子计算机进行平面连杆机构各种复杂的分析和综合的运算，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。对于用多自由度、多闭环、多杆的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注意并加

以研究。另外，近年来已开展了具有可变长结构、可变运动学和动力学参数的机构的研究。

空间连杆机构的分析与综合，计算公式和运算过程都比较繁复，常常采用矢量、张量、矩阵、对偶数、四元数、旋量计算等数学工具进行研究。由于机器人技术发展的需要，多自由度空间机构与开式空间运动链以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，以及它们的动力学已作了不少研究。

### 三、凸轮机构

为了改善凸轮机构的动力性能，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。按动力学要求设计凸轮廓线除了采用动力多项式凸轮曲线外，现在较多采用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的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。

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得到很大的重视，取得了重要的研究成果。

为了建立更符合实际情况的动力学模型和更精确的分析和设计方法，考虑质量分布、弹性变形、间隙、阻尼、外界干扰的频率、不平衡力、表面润滑等多方面的动力学问题正得到重视和加以研究。

### 四、间歇运动机构

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

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。

### 五、组合机构

组合机构由于其结构相对简化又能实现单一基本机构无法实现的运动规律和运动轨迹，如近似或精确地实现某些预期的轨迹，或输入—输出运动规律，常可用作实现直线、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，因此应用日益广泛。常用的有齿轮-连杆机构、凸轮-连杆机构和凸轮-齿轮机构。对于组合机构的组成原理、基本类型、功能等方面均还需要作深入、系统的研究，其应用领域还需要进一步扩展。

### 六、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愈来愈得到重视。

对于刚性构件组成的机构的动力学有了进一步深入研究。例如，用能量分配法进行空间机构的动力分析，用线性相关法分析在弹簧载荷作用下加速起动的运动过程以及对运动副具有间隙的机械系统的动力学模型和动力响应的研究。

机构的平衡问题也日益受到重视，对平面机构惯性力完全平衡的研究比较充分，采用方法也较多，如主矢量法、线性无关矢量法、附加机构法等。平面机构惯性力矩平衡问题也有不少研究成果，如利用惯性配重和物理摆杆的方法。对于空间连杆机构的平衡问题已作了不少研究。另外，对于平面连杆机构和空间连杆机构惯性力和惯性力矩的综合优化平衡的研究也日益受到重视。

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，考虑构件惯性力所引起的弹性变形对机构运动所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的结构动力学分析方法来进行研究。

近年来还研究了在刚性构件中加弹簧来改善机构高速运动时的动力响应，用弹性件来调节机构的运转速度以及在构件连接处为弹簧及阻尼装置时的多自由度机构动力学等。

### 七、机构的最优化设计

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以及如何使齿轮减速器体积最小等，均采用了最优化设计方法，得到了显著效果。另外，对于机构的优化平衡、机构运动弹性动力综合以及空间连杆机构的最优化问题也有不少研究。

### 八、仿生机构学

多年来，仿生机构的研究受到很大重视，不少国家积极开展对人的手指、手腕和手臂的结构、动作原理和运动范围的分析研究，研制出各种多自由度的生物电或声控的机械假手，造福于人类。同时，在深入研究人体步态和大小腿的结构、动作原理和可动范围之后，已研制出各种类型的两足步行机。

人们为了通过松软地面和跨越较大障碍还努力研究四足步行机、六足步行机等的行走机理和步行机构学。为了提高沙漠行走的效率，还在研究骆驼足底构造和行走机理。另外，通过研制蛇行机构来探测煤气管道的故障；通过鱼游机构研制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。

### 九、微型机械

随着现代科学技术的发展，80年代中后期兴起了对机械（或称微型机电系统）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、灵巧武器等领域在小型化方面提出的日益增长的要求。微型机械不是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。

微型机械的出现推动了机械原理学科中产生一个处于学科前沿的微型机构学分支，开展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等的研究。

### 十、机构系统设计

面对21世纪产品竞争日益加剧的挑战，世界各国普遍重视提高产品的设计水平，以增强产品的竞争力。产品设计的根本目标就是要创新产品，满足市场需求和占领更大市场。人们愈来愈重视机械产品方案设计的智能化。方案设计在美、日等国被更广义地称为概念设计（Conceptual Design）。它是根据产品生命周期各个阶段的要求，进行产品功能创造、功能分解以及功能和子功能的结构设计；进行满足功能和要求的工作原理求解和进行实现功能结构的工作原理载体方案的构思和系统化设计。对于机械设计，工作原理载体方案就是进行机构系统设计。为了机械产品的创新设计，我们不能将机械原理学科局限于孤立地研究典型机构的设计理论。机构系统设计是根据新机器的过程要求，应用机构学知识和系统设计原理及方法来进行的。机构系统设计是机械原理学科又一新研究分支。目前已有不少学者正在进行

机构创新设计方法的研究,机构类型和机构分析知识库建立,机构系统设计的推理方法研究,建立机构系统的评价体系和评价方法,以及智能化机构系统设计方法的研究。

以上所述只是挂一漏万地对机械原理学科发展动向所作的简单介绍。通过这个介绍可以充分说明,机械原理学科研究领域十分广阔,内容非常丰富,发展十分迅猛。机械原理学科涌现的不少前沿研究课题,对我们具有巨大的吸引力,推动我们进行深入研究。但是,作为机械工程专业的一门技术基础课程,根据教学要求,我们只能研究一些有关机构及其系统的基本设计原理和基本方法,使我们掌握进一步研究机械原理新课题所必需的知识基础。

### 思 考 题

- 1-1 试说明机构与机器的异同。
- 1-2 什么是执行动作和执行构件?
- 1-3 试列举 3 个机构实例,并说明其功用、结构。
- 1-4 试列举 3 个机器实例,说明其组成、功能。
- 1-5 什么是机构运动简图?什么是机械运动简图?
- 1-6 机械运动简图设计包括主要的内容是什么?
- 1-7 机电一体化技术对机械运动简图设计有什么影响?
- 1-8 机械原理课程在培养机械工程专业人才中有什么作用?
- 1-9 学习机械原理课程时应注意哪些问题?
- 1-10 试从日常生活中接触到的两种机构功能,构思它们新的机构类型。

## 第二章 机构分析基础

**提要** 本章介绍机构的结构分析（平面机构的运动简图、自由度计算、结构分类和组成原理），以及平面机构的运动分析和动力分析基础。

### 第一节 机构组成和机构运动简图

#### 一、构件与运动副

机构是各种机器用来传递运动和力的基本组成部分。例如内燃机就包含了曲柄滑块机构、齿轮机构和控制进、排气的凸轮机构。

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联接而成（如连杆，它是由连杆体、连杆头、螺栓、螺母及垫圈等零件装配成的刚性体）。由此可见，构件和零件是两个不同的概念，构件是运动单元，而零件是制造单元。

因为机构是由两个以上具有相对运动的构件系统所组成，所以必须采用能使两构件产生一定相对运动的联接形式。我们把两构件直接接触而又能产生一定型式的相对运动的联接，称为运动副；两构件上能参与接触而构成运动副的部分称为运动副元素。如图 2-1 所示，轴颈与轴承之间的联接（图 2-1a），滑块与导槽之间的联接（图 2-1b）以及两轮齿之间的联接（图 2-1c），均属于运动副；它们的元素分别为圆柱面与圆孔面、两个平面以及两齿廓曲面。

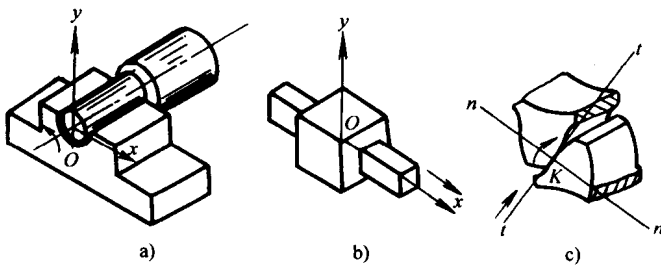


图 2-1

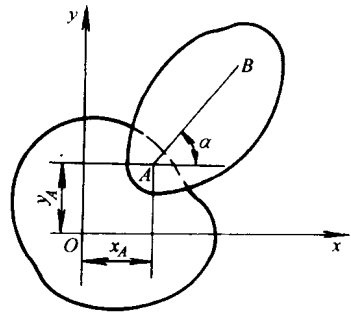


图 2-2

#### 二、自由度与约束

任何一个构件的平面运动均可分解为沿  $x$  轴、 $y$  轴方向的移动和绕一根垂直于平面的轴的转动，共三个独立运动。任一时刻，构件的位置可由三个独立参变量来表示，这三个参变量为构件上一点坐标  $(x_A, y_A)$  及构件上过这一点的一条直线与  $x$  轴的夹角  $\alpha$ ，如图 2-2 所示。我们把构件所具有的独立运动的数目称为自由度。显然，一个不受任何约束的平面运动构件具有三个自由度。但是，当这一构件与其它构件组成运动副后，构件的运动就要受到其它构件的限制，自由度将减少，这种对构件独立运动所加的限制称为约束，约束数目等于被其限制的自由度。组成运动副两构件间约束的特点和数目完全取决于该运动副的形式。



### 三、运动副分类

运动副元素是圆柱面或平面的运动副称为低副。根据组成低副两构件之间的相对运动性质，又可把它分为转动副和移动副。如图 2-1a 中轴颈与轴承之间以圆柱面相接触，它们之间只能作相对转动，称为转动副；图 2-1b 滑块与导槽之间以平面相接触，它们之间只能作相对移动，称为移动副。运动副元素是点或线的运动副称为高副，如图 2-1c 中一对齿轮齿廓之间的线接触。这时组成高副的两构件之间既能作相对滑动，又能作相对滚动。所以，在平面机构中，低副存在两个约束，具有一个自由度；高副存在一个约束，具有两个自由度。

### 四、运动链和机构

用运动副将两个或两个以上构件联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 2-3a、b 所示，各构件构成了首末封闭的系统，称为闭式运动链。如图 2-3c 所示，各构件未构成首末封闭的系统，称为开式运动链。在各种机械中，一般采用闭式运动链，而开式运动链多用在工业机器人等机械中。

若将闭式运动链的一个构件固定为机架时，运动链便成为机构。机构中按给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件，而其余活动构件则称为从动件。当确定原动件后，其余从动件随之作确定的运动，此时机构的运动就确定。

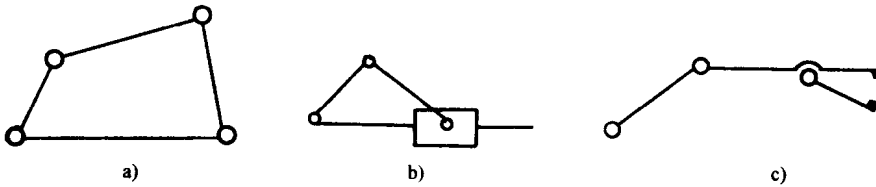


图 2-3

### 五、机构运动简图

对机构进行组成分析、运动分析、受力分析或作运动设计时，由于不涉及构件的结构和强度，往往不需绘制复杂的构形图，而采用表明构件和运动副的组成关系、机构运动副位置及与运动有关的尺寸和形状的机构运动简图。在机构运动简图中，构件以最简单的线条表示，运动副以规定的简图符号表示，见表 2-1。

表 2-1 构件和运动副的表示方法

构 件	双 副	
	三 副	