



高等学校“十一五”规划教材

**JIXIE**  
**YUANLI**



# 机械原理

赵韩 田杰 © 主编

合肥工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材

# 机 械 原 理

赵 韩 田 杰 主编

合肥工业大学出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

机械原理/赵韩,田杰主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2009.9

ISBN 978-7-5650-0070-6

I. 机… II. ①赵…②田… III. 机构学—高等学校—教材 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 179243 号

## 机 械 原 理

主 编 赵 韩 田 杰

责任编辑 汤礼广

|        |                        |     |                     |
|--------|------------------------|-----|---------------------|
| 出 版    | 合肥工业大学出版社              | 版 次 | 2009 年 10 月第 1 版    |
| 地 址    | 合肥市屯溪路 193 号           | 印 次 | 2009 年 10 月第 1 次印刷  |
| 邮 编    | 230009                 | 开 本 | 787 毫米×1092 毫米 1/16 |
| 电 话    | 总编室:0551-2903038       | 印 张 | 15.75               |
|        | 发行部:0551-2903198       | 字 数 | 380 千字              |
| 网 址    | www.hfutpress.com.cn   | 印 刷 | 安徽江淮印务有限责任公司        |
| E-mail | press@hfutpress.com.cn | 发 行 | 全国新华书店              |

ISBN 978-7-5650-0070-6

定价: 28.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

# 前 言

机械原理课程是一门重要的技术基础课,不仅是机械类专业的必修课,也是很多非机械类专业的必修课,因而一般理工类大学对该课程都很重视,不少学校将其列为重点课程予以重点支持。我国该课程现有的教材大多数仍按前苏联《机械原理》教材模式编写,该类教材虽然对培养我国的机械专业人才作出了非常大的贡献,但也存在着明显不足:一是教材的内容与体系较陈旧,涉及新成果较少;二是内容体系与前期课程不匹配,如教材主要是按机构进行分类,而学生前期所学的理论力学等课程,其内容体系则是按运动学、动力学等理论体系进行的;三是存在着一定程度的内容重复,如在多种机构中都重复了运动学的内容,显得比较零乱。随着机械产品的设计逐渐向高速化、高效化、精密化和智能化方向发展,按旧模式编写的教材,其知识结构体系已越来越不能适应科技发展和人才培养的需要,有必要对其内容和体系进行改革。本书正是为了适应这一需要而编写的。

本书分为机构的结构及分类、机构运动学、机构动力学和机械系统运动方案设计四大部分,这种编排使知识体系更适合学生学习,也使内容更紧凑。其中第一部分主要介绍机构的结构、组成和分类,增加了对液动与气动机构、磁力机械、微动机械等新内容的介绍,以便学生对各种机构的类型有一个全面的了解。第二部分主要介绍机构运动学分析与综合的方法,书中将各种机构的运动分析统一起来,便于讲解与理解。第三部分主要介绍机构动力学的内容。第四部分主要介绍机械运动方案设计,增加了现代机构分析与设计方法简介的内容。我们希望通过这种新的课程内容体系,达到使学生在掌握机械原理基本知识的基础上,初步具有机械系统运动方案创新设计能力的教学目的。

本书由合肥工业大学机械设计工程系编写,参加编写的人员

有:赵韩(绪论、第10章),田杰(第1章、第11章),陈奇(第2章),朱立红(第3章、第5章),汪进(第4章),朱家诚(第6章),吴天星、王勇(第7章、第8章、第9章)。本书由赵韩和田杰担任主编并统稿。

本书现为安徽省高等学校“十一五”规划教材(见安徽省教育厅教秘高[2007]9号文件)。与本书配套的教学课件可从教学资源网 <http://www.hfmiasp.com/network/course> 或合肥工业大学出版社网站 [www.hfutpress.com.cn](http://www.hfutpress.com.cn) 下载。

最后,对为本书编写撒下辛勤汗水的所有人员表示深深地感谢。本书在编写过程中,还参考了一些同类著作,在这里也特向其作者表达诚挚的谢意。

由于编者水平所限,错漏欠妥之处在所难免,敬请同行与广大读者批评指正。

**编者**

2009年10月

# 目 录

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 绪 论                 | (1) |
| 0.1 机械原理研究的对象与内容    | (1) |
| 0.2 机械设计概述          | (3) |
| 0.3 机械原理课程的地位、任务和作用 | (4) |
| 0.4 机械原理学科的发展动向     | (4) |

## 第一篇 机构的结构及分类

|                    |      |
|--------------------|------|
| 第 1 章 机构的结构分析      | (8)  |
| 1.1 研究机构结构的目的及方法   | (8)  |
| 1.2 机构的组成          | (8)  |
| 1.3 平面机构运动简图       | (10) |
| 1.4 平面机构的自由度       | (15) |
| 1.5 平面机构的组成原理和结构分析 | (20) |
| 思考题                | (25) |
| 第 2 章 机构的分类及功用     | (26) |
| 2.1 平面连杆机构         | (26) |
| 2.2 凸轮机构           | (38) |
| 2.3 齿轮机构及轮系        | (44) |
| 2.4 间歇运动机构         | (51) |
| 2.5 其他常用机械机构       | (57) |
| 2.6 空间机构简介         | (76) |
| 思考题                | (77) |

## 第二篇 机构运动分析与综合

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 第3章 机构运动的基本知识 .....            | (80)  |
| 3.1 机构运动学的基本概念 .....           | (80)  |
| 3.2 平面机构的位置线图及运动线图 .....       | (80)  |
| 3.3 平面低副机构的演化 .....            | (83)  |
| 3.4 凸轮机构从动件运动规律 .....          | (87)  |
| 3.5 高副机构的啮合基本定律 .....          | (93)  |
| 思考题 .....                      | (94)  |
| 第4章 机构运动分析与综合的图解法 .....        | (95)  |
| 4.1 速度瞬心法及其应用 .....            | (95)  |
| 4.2 相对运动图解法及其应用 .....          | (98)  |
| 4.3 图解法在机构综合中的应用 .....         | (104) |
| 思考题 .....                      | (113) |
| 第5章 机构运动分析与综合的解析法 .....        | (114) |
| 5.1 平面低副机构运动分析的解析法 .....       | (114) |
| 5.2 平面低副机构运动综合的解析法 .....       | (122) |
| 5.3 平面高副机构运动分析与综合的解析法 .....    | (128) |
| 思考题 .....                      | (132) |
| 第6章 齿轮机构及其设计 .....             | (133) |
| 6.1 渐开线性质及渐开线齿轮啮合特点 .....      | (133) |
| 6.2 渐开线标准直齿轮的基本参数和几何尺寸 .....   | (135) |
| 6.3 渐开线直齿轮传动的啮合过程和正确啮合条件 ..... | (138) |
| 6.4 渐开线齿轮连续传动条件 .....          | (140) |
| 6.5 渐开线齿廓切削加工原理及根切现象 .....     | (141) |
| 6.6 变位齿轮与变位齿轮传动 .....          | (143) |
| 6.7 圆柱斜齿轮 .....                | (149) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 6.8 直齿圆锥齿轮 .....        | (154) |
| 6.9 蜗轮蜗杆机构的特性 .....     | (158) |
| 6.10 定轴轮系的传动比 .....     | (162) |
| 6.11 周转轮系传动比及设计要点 ..... | (164) |
| 6.12 复合轮系的传动比 .....     | (166) |
| 思考题 .....               | (169) |

### 第三篇 机械动力学

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第7章 平面机构的力分析与机器的机械效率 ..... | (172) |
| 7.1 研究机构力分析的目的和方法 .....    | (172) |
| 7.2 构件惯性力的确定 .....         | (173) |
| 7.3 机构的动态静力分析 .....        | (175) |
| 7.4 运动副中摩擦力的确定 .....       | (177) |
| 7.5 机器的机械效率和自锁 .....       | (182) |
| 思考题 .....                  | (187) |
| 第8章 平面机构的平衡 .....          | (188) |
| 8.1 平衡的目的与分类 .....         | (188) |
| 8.2 刚性回转件的平衡 .....         | (188) |
| 8.3 机构的平衡 .....            | (193) |
| 思考题 .....                  | (195) |
| 第9章 刚性构件机械系统的动力学 .....     | (196) |
| 9.1 概述 .....               | (196) |
| 9.2 机械等效动力学模型 .....        | (197) |
| 9.3 机械系统运动方程及其求解 .....     | (199) |
| 9.4 周期性速度波动及其调节 .....      | (204) |
| 9.5 非周期性速度波动的调节 .....      | (210) |
| 思考题 .....                  | (211) |

## 第四篇 机械系统运动方案设计

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 第 10 章 机械系统运动方案设计 .....     | (214) |
| 10.1 机械系统运动方案设计的目的及过程 ..... | (214) |
| 10.2 机构的选型 .....            | (215) |
| 10.3 机构的组合 .....            | (219) |
| 10.4 机器执行机构及其协调设计 .....     | (221) |
| 10.5 机械系统运动方案拟定示例 .....     | (223) |
| 思考题 .....                   | (226) |
| 第 11 章 现代机构分析与设计方法简介 .....  | (227) |
| 11.1 概述 .....               | (227) |
| 11.2 计算机辅助机构分析与仿真 .....     | (229) |
| 11.3 计算机辅助机构设计 .....        | (232) |
| 11.4 机构优化设计 .....           | (234) |
| 思考题 .....                   | (241) |
| 参考文献 .....                  | (243) |

# 绪 论

## 0.1 机械原理研究的对象与内容

### 0.1.1 机械原理的研究对象

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,以及机械运动方案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。这些机器的构造、性能、用途等虽各不同,但从其力学特性和在生产中的地位来看,它们仍保持着下列共同的特征:

(1) 它们都是由各种材料做成的制造单元(通常称为零件)经装配而成的各个运动单元(通常称为构件)的组合体。

(2) 各个运动单元之间具有确定的相对运动。当在预定的力约束条件下,其中一个或一个以上单元的运动一定时,该组合体就能实现预期的机械运动。

(3) 在生产过程中,它们能代替或减轻人的劳动,完成有用的机械功(如机器人仿人工作)或转换机械能(如内燃机、电动机分别将热能和电能转换成机械能)。

因此,机器是执行机械运动的装置,用来完成有用的机械功或转换机械能。

将其他形式的能量转换为机械能,或者将机械能变换成其他形式的能量的机器称为动力机器或原动机。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。

用来完成有用功的机器称为工作机器。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。

现代机器通常由控制系统、信息测量和处理系统、动力部分、传动部分及执行机构系统等组成的机械系统。其中控制和信息处理是由计算机来完成的,使机器成为机电一体化系统,但实质上还是机械,例如加工中心、机器人、全自动照相机等。

不管现代机器如何先进,机器与其他装置的主要不同点是能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。机器中的运动单元体称为构件。因此,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。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,某些构件也可以是挠性的或弹性的,或是由液压、气动、电磁件构成的。现代机器中的机构不再是由纯刚性构件构成。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却并不多。最常用的刚性机

构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等。如图0-1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,其中构件5和5'、6和6'各为同一个构件。

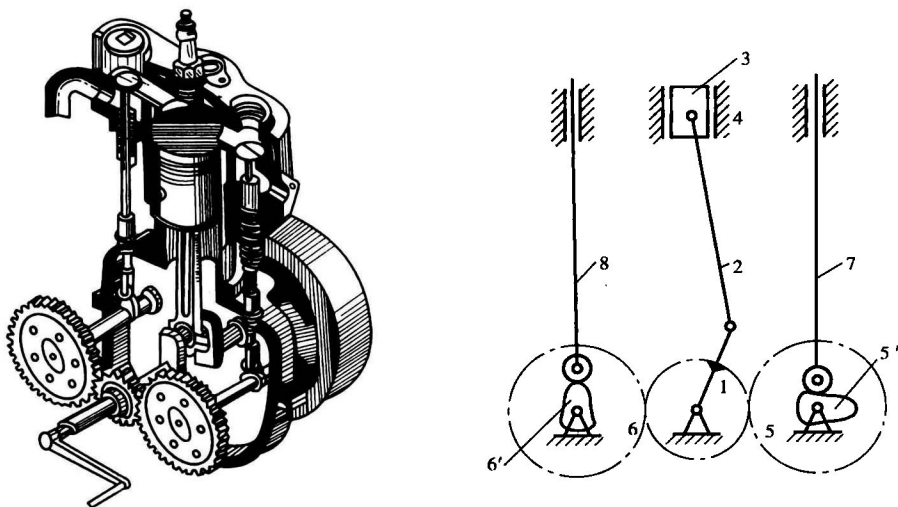


图 0-1 内燃机

### 0.1.2 机械原理课程的内容

如前所述,机械原理是一门研究机构和机器的学科。为了具有科学系统性和便于教学起见,在机械原理课程中,我们将各种机器的共同问题归纳成机构的结构和运动学以及机构和机器的动力学两大部分来讨论。这两部分的具体内容如下:

(1) 机构的结构和运动学 分析机构的结构是为了研究机构运动的可能性和确定性,并进一步讨论机构的组成原理;机构的运动学不考虑引起机构运动的力的作用,而从几何的观点来研究机构各点的轨迹、位移、速度和加速度的求法,以及按已知条件来设计新机构的方法。

(2) 机构和机器的动力学 研究在机械运动过程中作用在机构各构件上的力分析和惯性力的平衡问题,并研究确定机械效率的方法和已知力作用下机械的真实运动规律,以及作用力、运动构件的质量和这些构件的运动之间的关系,即机械的运转和调速问题。

就上述内容的性质而论,机械原理所研究的问题又可归纳为两类:第一类问题是根据已有机构的结构和主要参数来分析该机构或所组成机器的各种特性(结构、运动学和动力学),即机构和机器的分析问题,如机构的结构分析、运动分析、力分析和在已知力作用下机器的真实运动等;第二类问题是根据预期的各种特性来确定新的机构和机器的型式、结构和主要参数,即机构和机器的设计问题,如各种主要机构的运动设计、机构的平衡和机器速度波动的调节等。这里研究的问题只限于就与机构和机器的运动和动力特性有关的机构型式、结构和各部分主要参数之间的关系进行综合,而不研究与机械零件有关的问题,如零件的形状、构造、强度、材料和工艺等。故在机械原理学科中常用“综合”来代替上述的“设计”这一名词,以示区别。综合也就是分析的逆问题。

## · 0.2 机械设计概述

### 0.2.1 机械设计的一般过程

机械设计过程并没有一个通用的固定顺序,而必须视具体情况确定。机械设计的一般过程,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,确定设计参数及制约条件,最后给出详细的设计任务书(或要求表),使其作为设计、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,最后由此完成机械运动方案的设计。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,完成全部生产图纸并编制设计说明书等有关技术文件。在此阶段,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产品在试验、使用、鉴定中所暴露的问题,进一步作相应的技术完善工作,使产品的效能、可靠性和经济性得到提高,更具生命力。

### 0.2.2 机械运动方案设计的主要内容

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的机械方案设计,愈来愈受到产品设计人员的重视。在方案设计阶段应该完成机械运动简图的设计。所谓机械运动简图设计,就是按机械的工作过程和动作要求设计出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。

机械运动方案(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。这就是机械运动简图的尺度设计。

在机械运动方案设计过程中这两部分设计往往需要反复进行,从而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,机械运动方案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。为了做好机械运动方案设计,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。

### 0.2.3 机电一体化技术在机械运动方案设计中的作用

虽然能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,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。随着机电一体化技术的发展,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,可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,仍然离不开传统机构。由于机电一体化技术的广泛应用,除了学习传统机构外,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原理。因此,人们已普遍提出进行广义机构设计的研究。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,使新设计的机器达到性能优良、适应性强、操作控制方便、结构简单紧凑、生产效率高、自动化程度高的先进水平。

## 0.3 机械原理课程的地位、任务和作用

机械的种类是十分繁多的,因此在高等工业学校中,相应地设置了各种专业的课程来详细地研究各种不同用途的专门机械。但是当研究任一具体的机械时,不仅需要研究它所具有的特殊问题,而且还要研究所有机械的共同问题。机械原理便是为此而开设的技术基础课程。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就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。因此,《高等工业学校机械原理课程教学基本要求(机械类专业适用)》明确指出:机械原理是机械类专业中研究机械共性问题的一门主干技术基础课;它的任务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,并初步具有拟定机械运动方案、分析和设计机构的能力;它在培养高级工程技术人才的全局中,具有增强学生对机械技术工作的适应能力和开发创造能力的作用。

## 0.4 机械原理学科的发展动向

如前所述,机械原理又称为机器理论与机构学。它是机械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,机械学科和电子学、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。它的研究课题层出不穷,研究方法日新月异。现将机械原理学科的发展动态概述如下。

### 1. 现代机构类型综合和机构设计的新理论、新方法研究

现代机构概念是产生现代机构学的基础。它包括了广义机构、可控机构、柔顺机构、仿

生机构、微纳米机构等。它们的特点是“广义化”：一是驱动元件与传统机构的集成化，成为“有源”机构，可以推进机构的可控性；二是机构的组成构件的广义化，构件可以是柔性、弹性、挠性，使机构组成多样化。

各种各样的现代机构已经开始在实际机器中得到应用，但对它们的类型综合、运动学和动力学的研究才刚刚起步，还有待深入。可以预期，现代机构的深入研究和广泛应用，将大大推动现代机器的创造和发明，促进机械工业的快速发展。

## 2. 机构创新设计理论和方法的研究

机构是机器的基础，要进行机器的创新设计，除了需要进行功能创新和组合创新外，最关键的是进行机构创新。机构创新设计的方法有不少，有的是从机构运动链结构的改变来进行创新拓展。常用的有：闭链机构、开链机构以及变链机构。变胞机构实际上就是变链机构，这种机构在工作过程中改变拓扑结构。机构创新设计方法还有：应用机构学原理的创新，利用连杆或连杆架运动特点的创新，采用相对运动原理的创新，利用多种驱动原理的创新，还有机构类型变换的创新等。总之，创造出各种新颖的机构，都需要深入地研究机构创新设计理论和方法。

## 3. 机构系统概念设计理论、方法及计算机辅助实现的研究

机械产品的概念设计和机械系统运动方案设计是机械产品创新设计的核心。机械产品的概念设计和方案设计又是不同于一般产品的概念设计和方案设计，它是以机构学为核心的，与机构学密不可分。目前的机械产品主要分成两类：机械系统和机电一体化系统。因此，要解决机械系统概念设计和机电一体化系统概念设计（它们的设计理论和方法有共同的基础）就要进行机器工作机理和工艺动作过程的研究；要进行机械产品特定的功能求解模型的研究；要进行机械运动方案设计过程模型的研究；要开发执行机构知识库和机构创新知识库；要进行机械运动方案组成原理和系统评价方法的研究；要开发机械系统运动方案计算机辅助设计软件系统；要结合典型机电产品创新设计需要，进行理论和应用研究等。

## 4. 微机构和微动机构的理论和应用研究

纳米技术的深入研究和广泛应用将会引发一场新的科技革命，微机械技术的研究和开发是纳米技术中的一个核心内容，也是现代机构学的重要前沿。微机构的表面效应和尺寸效应、多尺度效应和跨尺度运动都是微机构设计中的理论基础。同时还应该积极开展微机构的工作机理动态分析与设计原理、可靠性分析与设计的研究。微机电系统(MEMS)是由微机构与微电子、微光学器件、微驱动、微传感和控制系统等高度集成的。微机构是微机电系统中的核心，因此它的集成设计理论和方法应深入研究。

柔顺机构可以用作大型机构，但在微机构和微动机构中会有更大的应用前景，值得深入研究。

## 5. 仿生机构的研究和应用

仿生学是研究自然对人类启示的科学。自然是人类进行创造发明的源泉，现代机构学离不开对生物的研究，特别是动物对我们的启示。动物的各种形态、特征、动作和能量变换等都值得人类去仿效、研究。

人们研究飞禽的飞行原理可以创造出各种飞行机构，研究走兽的步态和足部骨骼可以创造出形形色色的四足步行机构，研究鸟类陆地行走可以创造出二足步行机构，研究鱼类游动可以创造出各种鱼游机构，研究蛇的游动可以创造出蛇行机构，研究蟹的爬行可以创造出

机器蟹,研究昆虫的飞舞可以创造出微小飞行器。

可以预测,深入研究仿生机构,将会使现代机构学得到更加广泛地发展和应用。

#### 6. 操作机器人机构和步行机机构的研究和开发

操作机器人和步行机以及二者结合移动操作机器人仍是今后研究的热点,操作机器人和步行机的机构是研究的重点。

操作机器人机构学需要进一步研究:适合工作环境和要求的机构新构型及其设计理论,并联机器人的新构型、工作空间、动力特性、动刚度及控制技术,多臂协调、冗余机器人的构型与性能,多机器人协调合作的机制和计算结构,模块化机器人的优化与重构方法,等等。

步行机构学需要研究:适合工作环境和要求的步行机机构构型和设计理论,各种步行机的步态规划、运动和控制特性,建立步行机系统的精确动力学模型,等等。

#### 7. 机构和机械系统动力学研究

现代机械日益向高速、高精度、高可控性方向发展,对于提高机械系统动力特征和动态稳定性的要求日益迫切。机构和机械系统动力学的研究仍然是人们关注的热点,主要表现在:

(1) 对可控机构、可调机构和混合驱动机构考虑驱动电机和传动机构的整机机构动力学研究。

(2) 对具有大变形弹性连杆机构动力学模型的研究,弹性连杆机构的非线性特征、振动与振动控制、参数频率特性、运动稳定性和动力平衡的深入研究。

(3) 对运动副中含间隙的机构动力学还有待深入研究,如动力学模型、运动副分离准则、混沌特性、优化设计等,还有综合考虑弹性、间隙和尺度误差等因素的机构动力学问题的研究。

(4) 对柔顺机构的动力学研究至今几乎是空白,需要对它的动力学模型的建立、动力学方程的求解和动力学特性的分析进行研究。

#### 8. 传统的典型机构的设计理论和方法仍是研究的热点

现代机构学的逐步发展并没有排斥对传统的典型机构,如连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、组合机构等的广泛应用,至今这些机构在按不同的设计要求进行机构尺度参数设计时仍有不少困难。多自由度连杆机构的分析与综合方法、凸轮机构尺度最小的统一设计方法、间歇运动机构的新构型以及组合机构的机构类型综合和设计方法等仍需深入研究。

对于机械原理学科发展的展望,以上论述只是抛砖引玉,可能会挂一漏万。2003年世界机构与机器理论联合会(International Federation for the Theory of Machines and Mechanisms, IFToMM)公布的第3版名词术语中出现的很多新的名词,其中包括机电一体化(mechatronic)、微机电系统(MEMS)和仿生机构(bio-mechanisms)等,充分说明了现代机构学的发展势头。同时,IFToMM这一国际组织的名称由 International Federation For Theory of Mechanism and Machine 改为 International Federation For Promotion of Mechanism and Machine Science,这一改动体现了机构学由原来的设计“理论”和“方法”发展为“科学”,是对机构学的一种深化,它提升了机构学的学术地位,大大激发了全世界机构学学者的责任感和积极性。

|  |              |  |
|--|--------------|--|
|  | <h1>第一篇</h1> |  |
|--|--------------|--|

|  |                   |  |
|--|-------------------|--|
|  | <h2>机构的结构及分类</h2> |  |
|--|-------------------|--|

# 第 1 章 机构的结构分析

## 1.1 研究机构结构的目的是方法

机构是具有确定运动的实物组合体,主要用来传递运动和动力。设计一个新机构时,在分析其能否按照设计要求实现运动规律前,首先需要判断其能否运动及是否具有确定的运动。如果不能满足其中一个条件,就不成为机构了。因此,对机构进行结构分析是机构设计能否实现的有力保证。

机构是由若干个构件按照一定规律组合在一起并能实现预期运动的系统。一个新机构一般包括许多最基本的常用机构或在这些常用机构的基础上加以改进和创新。只有在很好地了解和掌握这些常用机构的结构特点后,才能设计出最合理的新机构。另外,在新机构的结构设计完后,需要进行运动分析和力分析。分析这些常用机构的运动规律和力输出特性有助于简化和解决新机构的运动和受力分析。这里,机构分析也包括对常用机构的归类和讨论。因此,对机构进行结构分析是进行机构设计、机构运动分析和力分析的前提和基础。

机构结构的研究方法主要是通过研究机构运动简图和机构自由度来实现。从机构运动简图中可以直观地看出机构的结构形式和特点,因而,机构的运动简图有利于后续进行机构的结构、运动和力的分析。机构的自由度是判断一个机构能否运动和是否具有确定运动的有力工具,因此,机构的自由度计算是机构结构分析的重要方法。

## 1.2 机构的组成

### 1.2.1 构件与运动副

机构是由具有确定运动的单元体组成的。这些运动的单元体称为构件。零件是组成构件的制造单元体,构件可由一个或多个零件组合而成。

如图 1-1 所示的连杆即为内燃机中的一个构件,它是由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3、轴瓦 4 和轴瓦 5 以及螺栓 6、螺母 7、开口销 8 等零件组成。构件是最小的运动单元,零件是最小的制造单元。

机构是由多个构件组合而成的。在机构中,每个构件都以一定方式与其他构件相互联接。这种由两构件直接接触而构成的可动联接称为运动副,如轴与轴承、滑块与导轨、轮齿与轮齿、凸轮与推杆等的联接都构成了运动副,如图 1-2 所示。构件之间的接触有点、线、面三种,这些参

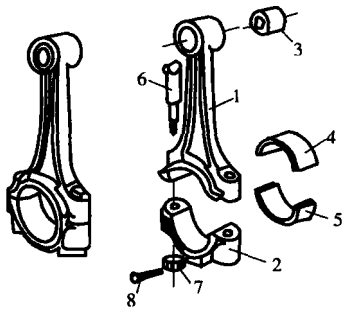


图 1-1 构件与零件