

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 机 械 原 理

主 编：朱 理

副主编：王贤民 黄忠东 傅志红

高等教育出版社

## 内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一——“新世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

本书对机械原理课程传统教材的内容和体系进行了一定的改革,全书以培养工程应用能力和机械系统运动方案创新设计能力为目标,在内容编排上贯穿了以设计为主线的思想,除保留常用机构设计和机构运动、动力分析的内容外,增加了机械系统运动方案设计、工业机器人操作机构简介的内容,另外还对连杆机构、凸轮机构及平面机构运动分析的解析法进行了较为详细的介绍,并在附录中介绍了凸轮机构和机构运动分析解析法的程序,可供读者参考。除绪论外,各章均有一定数量的习题。

本书可作为高等工科院校机械类专业的教材,也可作为高职高专、成人高校相关专业的教学用书,还可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械原理 主编 郐北京:高等教育出版社,

陈序原

陈序原 郐北京:高等教育出版社

I 机械 II 陈 III 机构学 原高等学校 原教材 IV 机械

中国版本图书馆 CIP 数据核字( )第 号

策划编辑 龙琳琳 责任编辑 胡纯 封面设计 于涛 责任绘图 朱静  
版式设计 胡志萍 责任校对 康晓燕 责任印制

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64015000
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	010-64015000
邮政编码	100029	网 址	http://www.gedupress.com.cn
总 机	010-64015000		http://www.gedupress.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787mm×1092mm 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	10.5	印 次	年 月第 1 次印刷
字 数	300千字	定 价	18.00元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

# 总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国 1000 余所以培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2001年 12月,教研中心在南京工程学院组织召开“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有 100 所高校申报了近 1000 项课题。2002年 11月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批 100 项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2002年 12月至 2003年 1月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容

和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才需要的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

二〇〇八年 源月

# 前 言

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

21世纪对专门人才的培养提出了新的要求,特别是21世纪机械产品的国际竞争愈来愈激烈,要求机械产品不断创新,努力提高产品质量,完善机械性能,这些必将需要更多的具有创新精神和创造能力的高素质人才。本教材的编写正是为了培养学生的设计思维和设计创新能力,以满足21世纪对人才的需求。

本书是根据教育部制订的高等学校本科机械原理课程教学基本要求,在充分总结各院校机械原理课程教学改革的研究与实践的成果和经验的基础上编写的。本书对机械原理课程传统教材的内容和体系进行了一定的改革,全书以培养工程应用能力和机械系统运动方案创新设计能力为目标,在内容编排上贯穿了以设计为主线的思想,在全书内容的取舍和安排上,作者根据多年来致力于教学改革的经验,在编写过程中力求做到:

坚持基础理论以应用为目的、以必需够用为度的原则,教材内容选择及体系结构完全适应应用型本科人才培养体系的教学需要,力求体现应用型本科人才培养体系的教学特色。

在内容的取舍及阐述方面,仍着重于讲清有关机械原理的基本概念、基本理论和基本方法,并做到条理清晰、层次分明、循序渐进、言简意明,并选用了适当的例题和习题,以利教学。

在讲述连杆机构、凸轮机构的设计方法和平面机构运动分析的方法时,对图解法的阐述尽可能简单扼要,而重点介绍解析法的内容,并附有解析法程序。

增加第8章(机械运动系统方案设计的内容),其目的是为了培养学生具有一定的机械系统运动方案创新设计能力以及开拓学生的视野。

各章内容、数据、资料等均采用最新国家标准。

本书可作为高等工科大学机械类专业机械原理课程的教材,也可作为高职高专、成人高校相关专业的教学用书,亦可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写的有:湖南工程学院朱理(第1章、第2章)、胡争先(第3章),南京工程学院王贤民(绪论、第4章、第5章),徐州工程学院黄忠东(第6章、第7章、第8章),株洲工学院傅志红(第9章),上海应用技术学院吴斌(第10章、第11章、附录)。全书由朱理担任主编。

本书由中国机械工程学会机械传动分会机构学专业委员会主任、上海交通

大学邹慧君教授对书稿进行了认真仔细的审阅,并提出了极为宝贵的修改意见,对提高本书的编写质量有很大帮助。另外,在本书编写工作中还得到湖南工程学院文朴副教授的关心和帮助,在此一并谨致以衷心的感谢。

本书是机械类应用型子课题的研究成果,是应用型机械类系列教材之一。结合课题的立项研究,应用型机械类系列教材组成了教材编写委员会,负责整套教材的编写组织工作。编写委员会成员如下:

主 任:刘迎春

副主任:宁立伟 熊志卿 王 华 周骥平 唐国兴 李建启 姚必强  
王林鸿

委 员:刘 明 杜瑞成 方 新 钟守炎 于惠力 朱志宏 徐文宽  
蔡小梦 陈立德 舒小平 王安民 刘庆国 李建华 孙如军  
邢邦圣 余五新 蒋同洋 倪宏昕 耿跃宏 胡 琳 田忠友  
傅志红 何法江 曹晓明 续海峰 曾 励

编者在此谨对编写委员会在教材编写过程中提供的指导和帮助表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

二〇〇八年 月

# 目 录

绪论 .....	员
园员 本课程研究的对象及内容 .....	员
园圆 本课程的地位、学习本课程的目的及学习时应注意的问题 .....	源
园猿 机械原理发展现状简介 .....	缘
第 员章 平面机构的结构分析 .....	苑
员员 概述 .....	苑
员圆 机构的组成 .....	愿
员猿 机构运动简图 .....	愿
员源 平面机构的自由度 .....	缘
员缘 机构的组成原理和机构分析 .....	圆
习题 .....	圆
第 圆章 平面机构的运动分析 .....	圆
圆员 机构运动分析的目的和方法 .....	圆
圆圆 用速度瞬心法作机构的速度分析 .....	圆
圆猿 用矢量方程图解法作机构速度和加速度分析 .....	猿
* 圆源 机构的运动线图 .....	圆
圆缘 用解析法作机构的运动分析 .....	猿
习题 .....	缘
第 猿章 平面机构的动力分析 .....	缘
猿员 机构力分析的目的和方法 .....	缘
猿圆 运动副中摩擦力的确定 .....	远
猿猿 平面机构的静力分析 .....	缘
猿源 构件惯性力的确定 .....	远
猿缘 不考虑摩擦时机构的动态静力分析 .....	苑
猿远 机械的效率和自锁 .....	苑
* 猿苑 斜面传动的效率和自锁 .....	苑
* 猿愿 螺旋传动的效率和自锁 .....	苑
习题 .....	愿
第 源章 平面连杆机构及其设计 .....	愿
源员 平面连杆机构的特点和应用 .....	愿
源圆 平面四杆机构的基本类型和演化 .....	愿
源猿 平面四杆机构的基本工作特性 .....	猿

源原	平面四杆机构的设计 .....	源
习题	.....	习
第 缘章	凸轮机构及其设计 .....	缘
缘原	凸轮机构的应用和分类 .....	缘
缘圆	从动件的运动规律 .....	缘
缘原	凸轮轮廓曲线的设计 .....	缘
缘原	凸轮机构基本尺寸的确定 .....	缘
缘缘	力封闭凸轮机构的动态静力分析 .....	缘
习题	.....	习
第 远章	齿轮机构及其设计 .....	远
远原	齿轮机构的应用、特点和分类 .....	远
远圆	齿廓啮合基本定律 .....	远
远原	渐开线齿廓 .....	远
远原	渐开线标准齿轮的基本参数和几何尺寸 .....	远
远缘	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动 .....	远
*  远远	渐开线齿轮的加工 .....	远
*  远苑	渐开线变位齿轮 .....	远
远愿	斜齿圆柱齿轮传动 .....	远
远怨	蜗杆蜗轮机构 .....	远
远苑	圆锥齿轮机构 .....	远
习题	.....	习
第 苑章	齿轮系及其设计 .....	苑
苑原	齿轮系及其分类 .....	苑
苑圆	定轴轮系的传动比 .....	苑
苑原	周转轮系的传动比 .....	苑
苑原	复合轮系的传动比 .....	苑
苑缘	轮系的功用 .....	苑
苑远	轮系的设计 .....	苑
苑苑	其他类型的行星传动简介 .....	苑
习题	.....	习
第 愿章	其他常用机构和组合机构 .....	愿
愿原	棘轮机构 .....	愿
愿圆	槽轮机构 .....	愿
愿原	凸轮式间歇运动机构 .....	愿
愿原	不完全齿轮机构 .....	愿
愿缘	螺旋机构 .....	愿
愿远	万向联轴器 .....	愿
愿苑	机构的组合方式与组合机构 .....	愿

愿愿	常用组合机构的类型及功能 .....	愿愿
习题	.....	愿愿
第 怨章	机械的平衡 .....	愿愿
愿愿	机械平衡的目的和内容 .....	愿愿
愿愿	刚性转子的平衡计算 .....	愿愿
愿愿	刚性转子的平衡试验 .....	愿愿
愿愿	刚性转子的许用不平衡量及平衡精度 .....	愿愿
愿愿	平面机构的平衡 .....	愿愿
习题	.....	愿愿
第 愿章	机械的运转及其速度波动的调节 .....	愿愿
愿愿	概述 .....	愿愿
愿愿	机械的运动方程式 .....	愿愿
愿愿	机械运动方程式的求解 .....	愿愿
愿愿	在稳定状态下机械的周期性速度波动及其调节 .....	愿愿
习题	.....	愿愿
第 愿章	机械运动系统方案的设计 .....	愿愿
愿愿	机械运动系统方案设计的内容 .....	愿愿
愿愿	机械运动系统功能结构的建立 .....	愿愿
愿愿	确定机械运动系统的工作原理 .....	愿愿
愿愿	机械运动系统工艺动作过程的构思与分解 .....	愿愿
愿愿	机构选型及其系统组成 .....	愿愿
愿愿	机械执行系统间运动的协调设计和运动循环图 .....	愿愿
愿愿	机械运动系统方案的构思与拟定 .....	愿愿
愿愿	机械运动系统方案的评价 .....	愿愿
愿愿	设计冲压式蜂窝煤成型机的运动方案 .....	愿愿
习题	.....	愿愿
附录 员	压床机构中六杆机构运动的解析法设计 .....	愿愿
附录 圆	凸轮机构的解析法设计 .....	愿愿
主要参考文献	.....	愿愿
后记	.....	愿愿

# 绪 论

本章介绍本课程的研究对象和主要内容,机构、机器、机械的基本概念和学习本课程的方法。

## 1.1 本课程研究的对象及内容

机械原理是机器和机构理论的简称,它是一门以机器和机构为研究对象的学科。

### 1.1.1 机器

人类通过长期生产实践创造了机器,并使其不断发展形成当今多种多样的类型。在现代生产和日常生活中,机器已成为代替或减轻人类劳动、提高劳动生产率的主要手段。使用机器的水平是衡量一个国家现代化程度的重要标志。

机器是执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料和信息。凡将其他形式能量变换为机械能或将机械能变换为其他形式能量的机器称为原动机,如内燃机、电动机(分别将热能和电能变换为机械能)等都是原动机。凡利用机械能实现变换或传递物料、信息的机器称为工作机,如起重机(传递物料)、金属切削机床(改变物料外形)、录音机(变换或传递信息)等都属于工作机。

在日常生活和生产中,我们都接触过许多机器,例如缝纫机、洗衣机、复印机、各种机床、汽车、拖拉机、起重机等。各种不同的机器,具有不同的形式、构造和用途,它们具有什么共同的特点呢?

图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机,它是由气缸体、活塞、进气阀、排气阀、连杆、曲轴、凸轮、顶杆、顶杆、远齿轮和飞轮等组成。燃气推动活塞作往复移动,经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次,曲轴和凸轮轴之间安装了齿数比为 2:1 的齿轮。这样,当燃气推动活塞运动时,各构件协调地动作,进、排气阀有规律地启闭,加上汽化点火等装置的配合,就把热能转化为曲轴回

图 1-2 所示为一工业机器人,它由铰接臂机械手、计算机控制器、液压装置和电力装置组成。当机械手的大臂、小臂和手按指令有规律地运动时,手端夹持器(图中未示出)便将物料搬运到预定位置。在这部机器中,机械手是传递运动和执行任务的装置,是机器的主体部分,电力装置和液压装置提供动力,

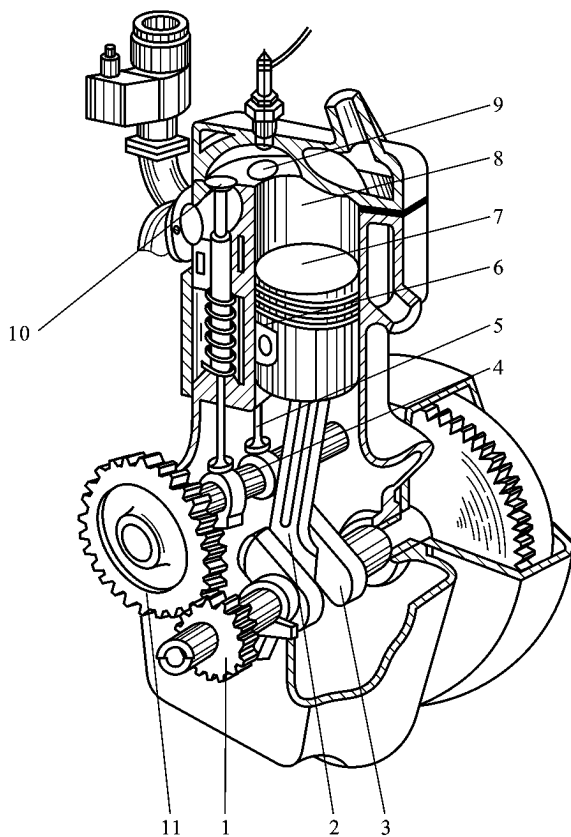


图 园圆 内燃机

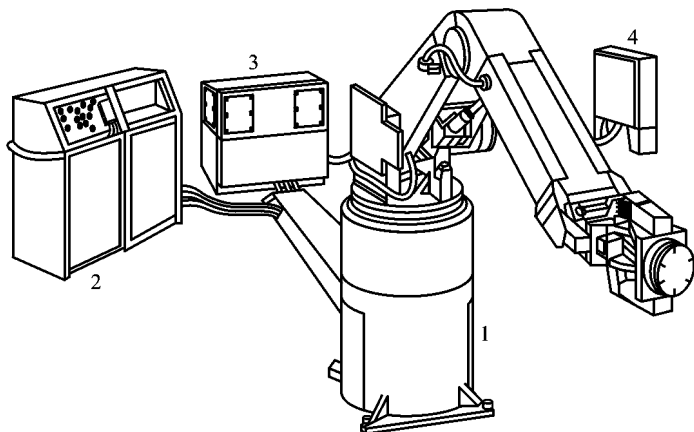


图 园圆 工业机器人

计算机实施控制。

从以上例子可以看出,机器的主体部分是由许多运动构件组成的。尽管它们的用途、结构和性能不相同,但机器都有如下三个特征:

(员) 它们都是人为的实物组合;

(圆) 它们各部分之间具有确定的相对运动;

(猿) 在工作时能代替或减轻人类的劳动完成有用的机械功,或转换机械能。

### 机构

用构件间能够相对运动的连接方式组成的构件系统称为机构。在一般情况下,为了传递运动和动力,机构各构件间应具有确定的相对运动。在图 0-1 所示的内燃机中,活塞、连杆、曲轴和气缸体组成一个曲柄滑块机构,可将活塞的往复运动变为曲柄的连续转动。凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构,将凸轮轴的连续转动变为顶杆的有规律的间隙移动。曲轴和凸轮轴上的齿轮与气缸体组成齿轮机构,使两轴保持一定的速比。由以上分析可以看出,机构具有以下两个特征:

(员) 它们都是人为的实物组合;

(圆) 它们各部分之间具有确定的相对运动。

由此可见,机构具有机器的前两个特征。

通过以上分析可以看出,机器是由各种机构组成的,它可以完成能量的转换或做有用的机械功,而机构则仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。也就是说,机构是实现预期的机械运动的实物组合体,而机器则是由各种机构所组成的能实现预期机械运动并完成有用机械功或转换机械能的机构系统。由于机构具有机器的前两个特征,所以从结构和运动的观点来看,两者之间并无区别。因此,人们常用“机械”一词来作为它们的总称。

机器的主体部分是由机构组成的。一部机器可以包含一个或若干个机构,例如鼓风机、电动机只包含一个机构,而内燃机则包含曲柄滑块机构、凸轮机构、齿轮机构等若干个机构。机器中最常用的机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和间歇运动机构等。

就功能而言,一般机器包含四个组成部分:动力部分、传动部分、控制部分、执行部分。动力部分可采用人力、畜力、液力、电力、热力、磁力、压缩空气等作动力源,其中利用电力和热力的原动机(电动机和内燃机)使用最广。传动部分和执行部分由各种机构组成,是机器的主体。控制部分包括各种控制机构(如内燃机中的凸轮机构)、电气装置、计算机和液压系统、气压系统等。

构件是运动的单元。它可以是单一的整体,也可以是由几个零件组成的刚性结构。如图 0-2 所示的连杆就是由连杆体、连杆盖、螺栓、螺母等几个零件组成。这些零件没有相对运动,而是构成一个运动单元,成为一个构件。零件是制造的单元。在本课程中将构件作为研究的基本单元。

如上所述 机械原理的研究对象是机构和机器。机器的种类很多,但组成机器的机构并不太多。机械原理课程是讨论机构和机器的共性问题,它的主要内容包括以下几个方面。

(一) 机构结构分析的基本知识 分析机构的结构是为了判断机构能否实现预定的运动,同时也是为了便于进行机构的运动分析和动力分析。

(二) 机构的运动分析 在已知机构中某些构件运动规律的前提下,确定其他构件的运动规律和构件上各点的运动轨迹。

(三) 机械动力学 主要研究机械在运转过程中各构件上所受的力和机械效率,同时研究在外力作用下各个构件的运动规律,以及机械的调速和平衡等问题。

(四) 常用机构的分析与综合 本课程将对齿轮机构、连杆机构、凸轮机构等一些常用机构的运动及工作特性进行分析。所谓综合,就是不涉及与机械零件有关的强度、形状、材料等问题,而是根据机构的结构、运动学和动力学要求进行机构设计。

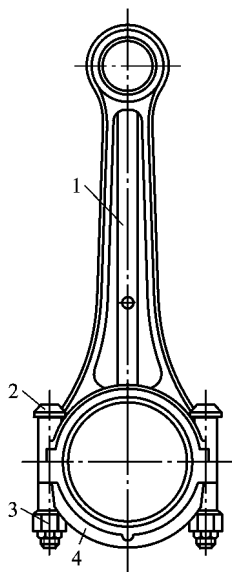


图 园猿 连杆

## 园圆 本课程的地位、学习本课程的目的及学习时应注意的问题

各种机械各有其特殊性,但也有它们的共性。特殊性问题由有关专业课程来研究。机械的共性问题,则由机械原理、机械设计等课程来研究。机械原理是以高等数学、普通物理、机械制图及理论力学等先修课程为基础的,并为学习机械设计和有关专业课程奠定必要的基础。

对于机械类各专业的学生,在以后的学习和工作中总要遇到许多关于机械的设计和使用方面的问题,而本课程所学的内容乃是研究现有机械的运动及工作性能和设计新机械的基础知识。正因为如此,它是机械类各专业必修的一门重要的技术基础课程。

在进行本课程的学习时,首先应当注意,机械原理课程是一门技术基础课程。它一方面较物理、理论力学等理论课程更加结合工程实际;另一方面,它又与专业机械课程有所不同。由于专业机械的种类繁多,机械原理不可能,而且也不必要对各种各样的具体机械进行研究。它只是对各种机械的一些共性问题和各种机器中常用的一些机构进行较为深入的探讨。为了学好本课程,在学习过

程中,学生就要着重注意搞清楚基本概念,理解基本原理,掌握机构分析和综合的基本方法。

其次,本课程中对机械的研究是通过以下两大内容来进行的:

(员) 研究各种机构和机器所具有的一般共性问题,如机构组成理论、机构运动学、机器动力学等。

(圆) 研究各种机器中常用的一些机构(如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等)的运动和动力性能,以及它们的设计方法。

这两部分内容虽然自成体系,然而又是互相联系的。在学习过程中,应注意把一般的原理和方法与研究实际机构和机器的具体运用密切联系起来,并应随时注意在生产和日常生活中所遇到的各种机构和机器,根据所学的原理和方法进行观察和分析,做到理论和实际的紧密结合。

第三,在本课程的学习过程中,要注意培养自己运用所学的基本理论和方法去分析问题和解决工程实际问题的能力。解决工程实际问题往往可以采用多种方法,所得结果一般也不是惟一的,这就要涉及分析、对比、判断和决策的问题。对事物的分析、判断、决策的能力,是一个工程技术人员所必须具备的基础能力,在学习中必须刻意加以培养。

最后,工程问题都是涉及多方面的综合问题,故要养成综合分析问题的习惯。另外,工程问题都要经过实践的严格考验,不允许有半点的疏忽大意,故在学习中就要坚持科学严谨、一丝不苟的工作作风,认真负责的工作态度,讲求实效的工程观点。

## 园猿 机械原理发展现状简介

当今世界正经历着一场新的技术革命,新概念、新理论、新方法、新工艺不断出现,作为向各行各业提供装备的机械工业也得到了迅猛的发展。

现代机械工业日益向高速、重载、高精度、高效率、低噪声等方向发展。对机械提出的要求也越来越苛刻。有的用于宇宙空间,有的要在深海作业,有的小到能沿着人体的血管爬行,有的又是庞然大物,有的速度数倍于声速,有的又要做亚微米级甚至纳米级的微位移,如此等等。处于机械工业发展前沿的机械原理学科,为了适应这种新情况,新的研究课题与日俱增,新的研究方法日新月异。

为适应生产发展的需要,当前自控机构、机器人机构、仿生机构、柔性及弹性机构和机电液综合机构等的研制有了很大进展。在机械的分析与综合中,也由只考虑其运动性能过渡到同时考虑其动力性能,考虑机械在运转时的构件振动和弹性变形、运动副的间隙和构件的误差对机械运动及动力性能的影响,以及如何对构件和机械进一步做好动力平衡的问题等等。

在连杆机构方面,重视对空间连杆机构、多杆多自由度机构、连杆机构的弹性动力学和连杆机构动力平衡的研究;在齿轮机构方面,发展了齿轮啮合原理,提出了许多性能优异的新型齿廓曲线和新型传动,加速了对高速齿轮、精密齿轮、微型齿轮的研制;在凸轮机构方面,十分重视对高速凸轮机构的研究,为了获得动力性能良好的凸轮机构,在凸轮机构的从动件运动规律的开发、选择和组合上做了很多工作。此外,为了适应现代机械高速度、快节奏、优性能的需要,还发展了高速高定位精度的分度机构、具有优良综合性能的组合机构以及各种机构的变异和组合等。

目前,在机械的分析和综合中日益广泛地应用了计算机技术,发展并推广了计算机辅助设计、优化设计、考虑误差的概率设计,提出了多种便于对机械进行分析和综合的教学工具,编制了许多大型通用或专用的计算程序。此外,随着现代科学技术的发展、测试手段的日趋完善,也加强了对机械的实验研究。

总之,作为机械原理学科,其研究领域十分广阔,内涵非常丰富。在机械原理学科的各个领域,每年都有大量内容新颖的文献资料涌现。但是,作为一门专业基础课程,根据教学要求,我们将只研究有关机械的一些最基本的原理及最常用的机构分析和综合的方法。这些内容也都是进一步研究机械原理课题所必需的知识基础。

## 第 1 章

# 平面机构的结构分析

本章主要介绍机构的组成、机构运动简图的绘制方法、如何将实际机构或机构的结构图绘制成机构运动简图、介绍运动链成为机构的条件、平面机构自由度的计算方法、如何准确识别机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束、并作出正确处理、同时又介绍机构的组成原理、高副低代方法、如何判断杆组、杆组的级别和机构的级别、如何根据机构组成原理、用基本杆组、原动件和机架去创新构思新机构的方法、如何根据 II 级、III 级机构分解为机架、原动件和若干种基本杆组的方法。

## 1.1 概 述

机构是一个构件系统,为了传递运动和动力,机构中各构件之间应具有确定的相对运动。但任意拼凑的构件系统不一定能发生相对运动,即使能够运动,也不一定具有确定的相对运动。讨论机构满足什么条件,构件间才具有确定的相对运动,对于分析现有机构或设计新机构都是很重要的。

在研究机构工作特性和运动情况时,常常需要了解两个回转件间的角速比、直移构件的运动速度或某些点的速度变化规律,因而有必要对机构运动速度进行分析。

实际机构的外形和结构都很复杂,为了便于分析研究,在工程实际中通常都用以简单的线条和符号绘制的机构运动简图来表示实际机构。工程技术人员应当熟悉机构运动简图的绘制方法。

所有构件都在相互平行的平面内运动的机构称为平面机构,否则称为空间机构。目前工程中常见的机构大多属于平面机构。

## 1.1 机构的组成

### 1.2.1 运动副及其分类

一个作平面运动的自由构件具有三个独立运动。如图 1-1 所示,在笛卡尔坐标系中,构件  $S$  可随其上任一点  $A$  沿  $x$  轴、 $y$  轴方向移动和绕  $A$  点转动。这种相对于参考系构件所具有的独立运动称为构件的自由度。所以,一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

机构是由许多构件组成的。机构中的每个构件都以一定的方式与另一些构件相互连接。这种连接不是固定连接,而是具有一定相对运动的连接。这种使两构件直接接触并能产生一定的相对运动的连接称为运动副。例如轴与轴承的连接、活塞与气缸的连接、传动齿轮的两个轮齿间的连接等都是运动副。构件组成运动副后,其独立运动受到约束,自由度便随之减少。

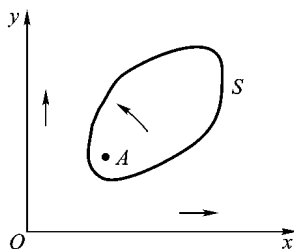


图 1-1 平面运动刚体的自由度

两构件组成的运动副,不外乎通过点、线或面的接触来实现。按照接触特性,通常把运动副分为低副和高副两类。

#### 1.2.1.1 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面机构中的低副有转动副和移动副两种。

(1) 转动副 两构件之间只作相对转动的运动副称为转动副,或称为铰链,如图 1-2 所示。

(2) 移动副 两构件之间只作相对移动的运动副称为移动副,如图 1-3 所示。

#### 1.2.1.2 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。图 1-4 中的车轮与钢轨、图 1-5 中的凸轮与从动件、图 1-6 中的轮齿与轮齿分别在接触处  $A$  组成高副。组成平面高副二构件间的相对运动是沿着接触处切线  $AA'$  方向的相对移动和线接触处  $A$  相对转动。

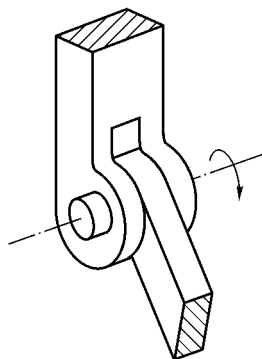


图 1-2 转动副

除上述平面运动副之外,机械中还经常见到如图 1-7 所示的球面副和图 1-8 所示的螺旋副。这些运动副两构件间的相对运动是空间运动,故属于空间运动副。