

高等学校教材

机械原理

张春林 主编

高等学校教材

机械原理

Jixie Yuanli

张春林 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容摘要

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会制订的《机械原理课程教学基本要求》编写的。全书内容从机构分析、机构设计、机构系统与运动方案设计到机械动力学设计,遵循以设计为主线,以加强基本概念、基本理论、基本方法,理论与工程实践相结合为指导思想,对传统机械原理的内容进行了整合与拓展。

全书分为绪论和13章。绪论主要介绍机械、机器、机构的基本概念;第一章介绍机械原理的数学基础;第二~四章主要介绍机构结构分析、机构运动分析和机构受力分析;第五~九章主要介绍连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等常用机构的设计;第十章介绍空间机构和机器人机构;第十一章介绍机构系统的设计与机械系统运动方案的设计;第十二、十三章主要介绍飞轮设计和平衡设计。本书将创新设计的思想与内容融于各章内容中。

本书可作为高等工科学校机械类专业机械原理课程的教材,也可供机械工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理 / 张春林主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2013.11
ISBN 978-7-04-038546-5

I. ①机… II. ①张… 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(2013)第233571号

策划编辑 卢广 责任编辑 卢广 封面设计 姜磊 版式设计 王艳红
插图绘制 尹莉 责任校对 孟玲 责任印制 张泽业

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	三河市华东印刷装订厂	网上订购	http://www.landaco.com
开本	787 mm × 1 092 mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印张	22.25	版次	2013年11月第1版
字数	550千字	印次	2013年11月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	33.60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
物料号 38546-00

前 言

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会制订的《机械原理课程教学基本要求》，以设计为主线，以加强基本理论、基本方法和基本知识为基础，以培养创新意识和创新设计能力为目标编写的。在编写中，既汲取了国内外同类教材的优点，又结合作者多年的教学科研经验，也根据本课程与时俱进的要求，引入了一些新内容。

一、编写本书指导思想的说明

1. 继承、去旧、增新、拓展、创新

继承机械原理的传统经典内容；删除过于陈旧内容，如用图解法设计凸轮廓线等；增加新内容，如变胞机构自由度的计算等；拓展机械原理的一些内容，如自由度的线性相关，柔性机构等；加强机构创新内容，如利用机构组成原理进行机构设计等。

2. 强调加强基本理论、基本方法和基本知识的培养

为适应“加强基础、拓宽专业”的改革思想，加强了机构的基本概念、机构分析与机构设计方法的内容，为机构创新设计奠定技术基础。

3. 强调以设计为主线，培养创新设计意识与学习设计方法贯穿全书

机构结构分析部分增加了利用机构组合原理进行机构创新设计的内容，将机构运动分析纳入机构设计的性能检验，并在机构力分析中增加了利用摩擦特性设计自锁机构的内容；连杆机构设计部分突出了连杆机构的演化与变异设计，增加了连杆机构设计的几何代数法；凸轮机构部分增加了偏距的设计等内容；机械平衡突出为机械平衡设计；机械运转过程中速度波动的调节强调了飞轮设计。“设计”主线贯穿了全书。

4. 理论与实践相结合，强调工程应用能力

尽量引入工程实例，把习题分为理解、分析与设计、自测练习三部分。选编了很多结合工程实践的习题，有利于培养解决实际问题的能力。

5. 提高可读性，改革插图风格

本书插图采用三维实物图和灰度图，层次分明。改进插图促进对理论与方法的理解。

二、本书体系的说明

为突出设计主线，本书的体系为：机构分析—机构设计—机构系统及运动方案设计—机械动力学设计。从机构组成与分析入手，建立机构的基本概念，再进行运动分析与受力分析，学习研究机构性能的方法。进而讲述各种机构的设计理念与方法，并在掌握几种典型基本机构的设计方法后，再讲述基本机构如何组合成机构系统及其运动方案的设计。最后讲述考虑到动力学因素的机械系统的平衡设计与飞轮设计，从而形成了完整的机构及其系统的教学体系。

三、关于本书内容的说明

1. 根据学生在课程设计等后续课程学习中的表现和毕业生的调查分析结果，目前理论力学中的类似内容不能完全代替机械原理课程中的内容，因此本书强调了机构运动分析和力分析

的传统内容，但在内容的编排上体现了由理论力学到机械原理的过渡，更加容易理解。

2. 在分析与设计方法的处理上，本书淡化了机构运动分析、力分析、连杆机构设计的图解法，删减了凸轮机构设计、平衡设计和飞轮设计的图解法；解析方法贯穿全书，突出了先进计算技术在机械设计中的应用。

3. 为了配合本书的机构分析与设计方法的教学，本书增加了与机械原理相关的数学知识，如矢量的图解运算与解析运算、机械运动的数学描述方程式、矩阵变换、非线性方程组的解法等，供读者参考。

本书附录提供了中英文名词术语对照表，以便读者阅读专业书籍时加强对专业名词的理解。

4. 为体现与时俱进的精神，本书拓展了机械原理的一些内容，如变胞机构自由度、自由度的线性相关、机构的组成原理、用运动副的自锁代替了利用机械效率小于零的判断机构自锁的方法、连杆机构综合的几何代数法、机器人机构的正解与逆解、转子动平衡设计的力矩法等。

本书由张春林主编。参加本书编写的有北京理工大学张春林(绪论、第一章、第二章、第十一章)、赵自强(第三章、第四章、第五章)，山东建筑大学任秀华(第六章)，北京理工大学荣辉(第七章)、王立勇(第八章、第十章)、王晓力(第九章)、殷耀华(第十二章)、马超(第十三章)，中英文名词术语对照表由北京工业大学张颖编写。

北京科技大学韩建友教授对全书进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

张春林
2013年10月于北京

目 录

绪论	1	习题	92
第一节 机械总论	1	第五章 平面连杆机构及其设计	97
第二节 机械原理课程的研究对象与 内容	5	第一节 平面连杆机构的特点与基本 形式	97
第三节 学习机械原理课程的目的与 方法	7	第二节 平面连杆机构的基本性质	103
第四节 机械原理发展过程简介	8	第三节 平面连杆机构的设计	107
习题	10	习题	122
第一章 机械原理的数学基础	14	第六章 凸轮机构及其设计	127
第一节 矢量及其运算	14	第一节 凸轮机构概述	127
第二节 坐标变换与矩阵运算	18	第二节 从动件的运动规律及其设计	131
第三节 非线性方程组的数值解法	23	第三节 凸轮轮廓曲线的设计	138
第二章 平面机构的结构分析	25	第四节 凸轮机构基本尺寸的设计	145
第一节 运动链与机构	25	第五节 凸轮廓线的计算机辅助设计	150
第二节 机构运动简图	28	第六节 凸轮机构的受力分析	153
第三节 机构自由度的计算	32	习题	156
第四节 机构分析与创新	39	第七章 齿轮机构及其设计	161
第五节 机构结构分析的拓展内容简介	45	第一节 齿轮机构的分类	161
习题	48	第二节 齿廓啮合的基本定律	163
第三章 平面机构的运动分析	54	第三节 渐开线齿廓及其啮合特点	164
第一节 平面机构运动分析概述	54	第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 基本参数和几何尺寸	166
第二节 用速度瞬心法对机构进行 速度分析	55	第五节 渐开线直齿圆柱齿轮机构的 啮合传动	171
第三节 用相对运动图解法对机构进行 运动分析	59	第六节 渐开线圆柱齿轮的加工及其 根切现象	177
第四节 用解析法对机构进行运动分析	66	第七节 变位齿轮传动设计	180
习题	73	第八节 平行轴斜齿圆柱齿轮机构	185
第四章 平面机构的力分析	78	第九节 蜗杆传动机构	190
第一节 平面机构力分析概述	78	第十节 圆锥齿轮机构	194
第二节 计入惯性力的机构力分析	79	习题	197
第三节 计入摩擦的机构力分析	83	第八章 轮系及其设计	203
第四节 自锁机构的分析与设计	90	第一节 轮系及其分类	203

绪 论

解释机器、机构和机械的基本概念，简述机械发展史和机械的发展对人类社会的贡献；说明机械原理的研究对象和机械原理课程的主要内容，强调机械原理课程在机械工程领域中的重要地位，探讨机械原理的学习方法。

第一节 机械总论

机械工业是一个国家发展的基础，是社会发展水平的标志。现代社会已经完全离不开机械。

各种各样的机械，如：纺织机械、印刷机械、食品机械、交通运输机械、矿山机械、建筑机械、农业机械、林业机械、包装机械、冶金机械、流体机械、电力机械、服务机械、兵器与机器人等，在经济建设和国防建设领域中发挥了巨大作用，促进了人类社会的快速发展。现在，人类可以遨游太空、登陆月球，可以探索辽阔的大海深处，可以在地面以下居住和通行，所有这一切都离不开机械。机械的发展已进入智能化阶段，成为现代社会生产和服务的五大要素(人、资金、能量、材料、机械)之一，而我国正在成为全世界的最大机械制造中心，因此革新原有机械、设计新机械是机械工程领域中的重要任务，认识机械、了解机械、设计机械则是机械工程专业教学中的重要内容。

一、机械的概念

机械的概念是伴随人类社会的不断进步逐渐发展与完善的。从原始社会早期人类使用的诸如石斧、石刀等最简单的石制工具，到杠杆、辘轳、人力石碾、兽力石碾等简单的木制或石制工具，以及较复杂的水力驱动和风力驱动的水碾和风车等都是简单机械。图0-1所示为早期简单机械的发展历程。在这一发展历程中，人类逐步掌握了一次能源在机械中的使用方法。



图0-1 早期简单机械

18世纪英国工业革命后，人类发明的蒸汽机、内燃机、电动机等复杂的机械，奠定了现

代机械的基础。图 0-2a 为英国工业革命中发明的蒸汽机。人类学会了利用二次能源，为发展经济奠定了坚实的基础。蒸汽机的发明又促进了机械的快速发展。如蒸汽机驱动的火车、轮船促进了交通运输业的发展，蒸汽机驱动的机床促进了制造业的快速发展，人类开始进入机械文明时代。图 0-2b 为早期的车床，其动力由蒸汽机驱动的带传动装置提供，为金属材料的精确加工提供了条件。图 0-2c 为早期的纺织机械车间。

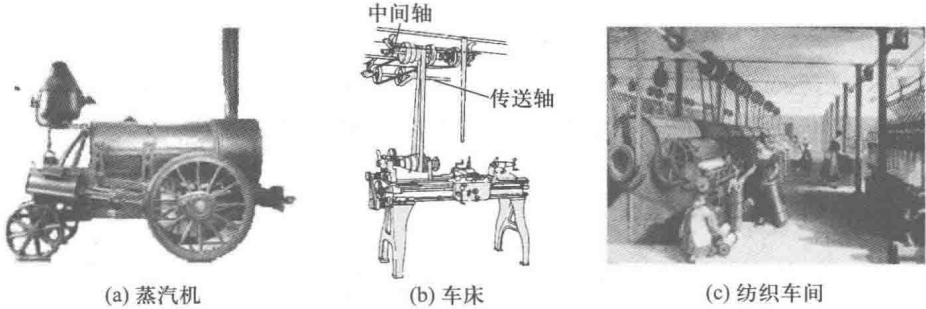


图 0-2 工业革命期间的机械

计算机发明后，自动控制技术、信息技术、传感技术融入机械中，机械实现了自动化和智能化。特别是进入 21 世纪后，机器人、数控机床、高速运载工具、重型机械、微型机械等大量先进机械加速了人类社会的繁荣和进步。机械进入了智能化的机电结合的新时代。图 0-3a 为可以在太空飞行又能自行返回地面的航天飞机示意图，图 0-3b 所示为以机器人为主体的汽车制造流水线的一部分，它们是典型的现代高端机械产品。

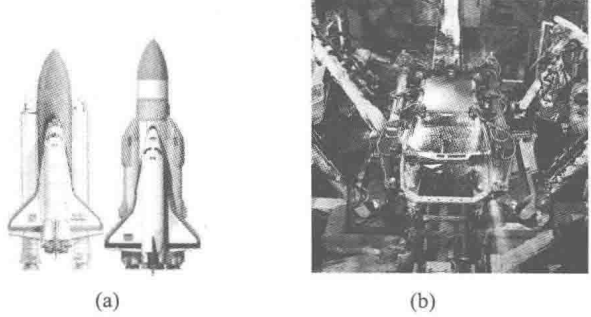


图 0-3 现代智能化的高端机械

不同历史时期，人们对机械的定义也有所不同。从广义角度讲，凡是能实现机械运动的装置都是机械。如螺丝刀、锤子、钳子、剪子等简单工具是机械，汽车、坦克、飞机、舰船、各类加工机床、机械手、机器人、复印机、打印机等高级复杂装备也是机械。无论其结构和材料如何，只要是实现机械运动的装置，就称之为机械。在社会生活中，人们常把最简单的、没有动力源的简单机械称为工具或器械，如杠杆、钳子、剪子、手推车等最简单的机械常称为工具。

工程中，常把每一台具体的机械称为机器。这就像日常生活中的“桌子”一词，是一个集合名词一样，它是各种各样具体桌子的统称，而办公桌、饭桌、课桌、写字台、计算机桌等各种各样的桌子才是具体的桌子，在谈到具体的机械时常使用“机器”这个名词，而泛指时才用“机械”一词来统称。

1. 机器的概念

机器是执行机械运动的装置，用来转换或传递能量、物料或信息。机器的重要特征是执行机械运动，同时完成能量的转换、物料或信息的传递。汽车、坦克、导弹、飞机、轮船、车床、起重机、织布机、印刷机、包装机等大量具有不同外形、不同性能和用途的装置都是具体的机器。电视机不是机器，因其功能与机械运动无关。

2. 机构的概念

机器的重要特征是执行机械运动，工程中把机器中执行机械运动的装置称作机构。为研究方便，常用规定的符号和简单的线条组成的图形表示机构的组成情况和运动情况，这种图形称为机构运动简图。

如图 0-4a 所示四冲程的内燃机是一个把热能转换为机械能的机器。该内燃机中，活塞 2 的往复移动通过连杆 3 推动曲轴 5 连续旋转。这种把活塞移动转化为曲轴连续转动的机械运动装置称为连杆机构。凸轮 7、11 转动，驱动推杆 4、12 往复移动，这类机构称为凸轮机构；四冲程内燃机的曲轴转动两周，进气阀和排气阀各启闭一次，所以凸轮轴的转数要比曲轴的转数低一倍。也就是说，在曲轴和凸轮轴之间要设置减速齿轮 8、9、10，这类机构称为齿轮机构。齿轮机构实现了凸轮轴与曲轴间转动速度的变换。

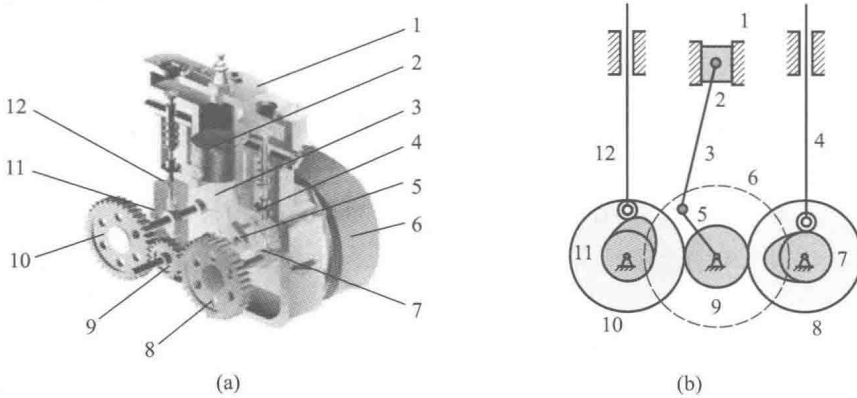


图 0-4 内燃机及其简图

1—机壳；2—活塞；3—连杆；4、12—推杆；5—曲轴；
6—飞轮；7、11—凸轮；8、9、10—齿轮

综上所述，机构是组成机器的主体。为表明机器的组成和运动情况，常用机构运动简图来表示。图 0-4b 为该内燃机的机构运动简图。使用机构运动简图对内燃机进行分析和设计，简化了设计工作。单缸四冲程内燃机的主体机构如图 0-5 所示，其在进气、压缩、燃烧、排出

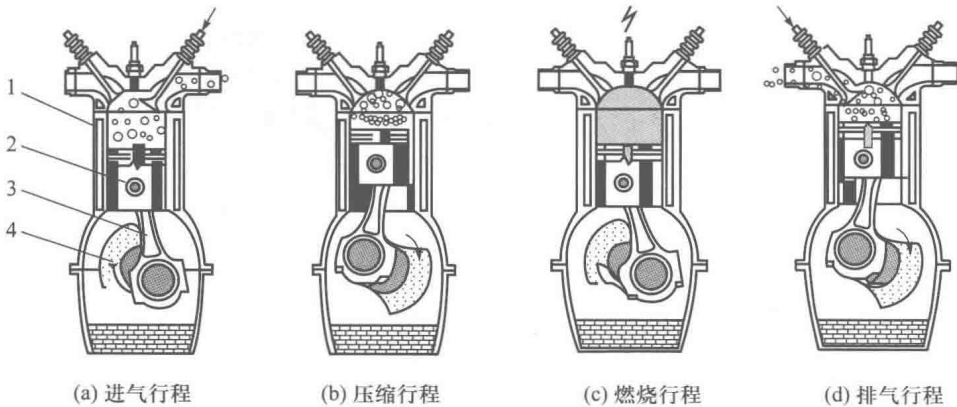


图 0-5 单缸四冲程内燃机的工作过程

1—机架；2—活塞；3—连杆；4—曲轴

废气过程中，活塞往复移动四次，曲轴转动两周，进气阀与排气阀各启闭一次，但只有燃烧过程才是做功行程，这导致了曲轴运动速度的不均匀，所以在曲轴的另一端安装了调速飞轮6。上述各机构协调动作，才能实现内燃机的工作要求。

尽管机器的种类很多，其功能、形状、结构、尺寸等也各不相同，但组成不同机器的机构种类却是有限的，仅有20余种。因此，研究用有限的机构组成无限的机器，就必须掌握机构的种类、工作原理以及设计方法。

3. 机械的概念

机构与机器的共同点都是实现机械运动的装置，所以从运动学的观点看，二者是一样的。不同点是机构没有能量的转换。如机械表是机构，不是机器。因为手表中没有能量转换，且弹簧能量没有转换为有用的机械能输出，其作用仅为克服各运动件的摩擦阻力。

从机械运动的观点看问题，机构与机器没有本质区别，工程中将机构与机器统称为机械。

二、机器的组成

根据机器的定义，机器中要有动力源，并称之为原动机；机器中还要有机械运动的传递装置或机械运动形态的变换装置，常将它们称为机械传动系统和工作执行系统，统称机械运动系统；现代机器还有控制系统。图0-6所示框图为常见机器的组成示意图。

图0-7a为电动大门示意图。驱动器1的内部组成见图0-7b。原动机为电动机3，其转速很高，大门2的开启速度较低，所以要经过减速器4和链传动机构5调整大门的开关速度，图示的减速器和链传动机构就是速度变换机构。由许多平行四边形机构和滚轮组成的大门2称为工作执行机构。该自动门的控制系统含传感器和电子电路，此处省略。

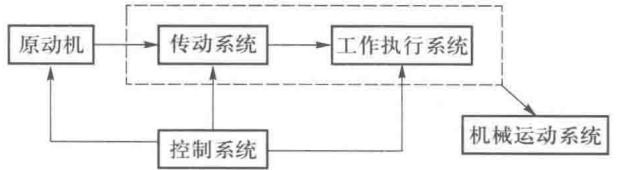


图0-6 机器组成示意图

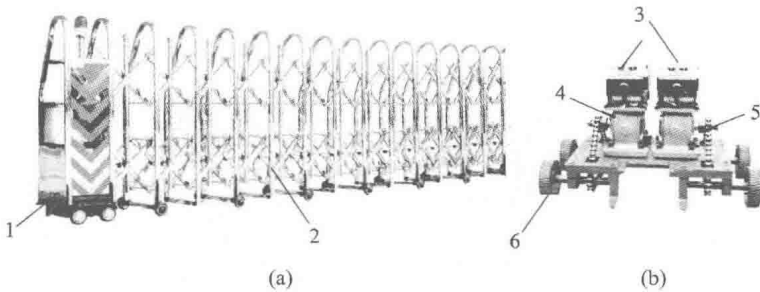


图0-7 电动大门示意图

1—驱动器；2—大门；3—电动机；4—减速器；5—链传动机构；6—滚轮

工程中应用的机械运动系统中，大多具有减速机构。但也有一些现代机器没有减速机构，如火力发电机组，直接由汽轮机驱动发电机。功率不是很大的现代机械中，有时用可控电动机直接驱动工作执行机构。图0-8a为柴油驱动的发电机组，图0-8b为火力发电机组。它们都没有减速装置，直接由动力机驱动工作机。

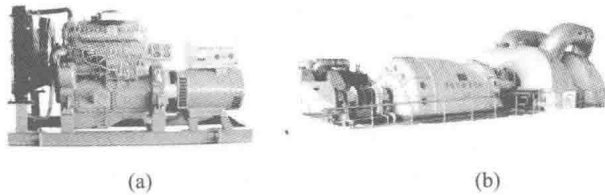


图 0-8 无传动装置的机器

第二节 机械原理课程的研究对象与内容

一、机械原理的研究对象

机械原理是研究有关机械基本理论的课程，其研究对象为机械。而机械又是机器和机构的总称，所以，机械原理是研究机器和机构基本理论的课程。

从机器的组成情况看，原动机是把其他形式的能量转化为机械能的机器，为机器的运转提供动力。机械原理的研究对象不涉及具体原动机的选择，也不涉及机器的控制系统。机器的传动机构和工作执行机构才是机械原理的研究重点。

如图 0-4 所示内燃机中，活塞作往复直线运动，连杆作平面运动，齿轮、凸轮作定轴转动，推杆作往复直线运动，它们都是组成机器的最小运动单元，称为构件。构件的运动轨迹、运动规律以及构件的受力分析也是机械原理研究的对象。

图 0-9 所示的连杆是由连杆体 1、连杆头 4、大端滑动轴承 3 与小端滑动轴承 2、连接螺栓 5、螺母 6、垫圈 7 等多个零件刚性连接而成的组成体，它们之间没有相对运动。组成构件的不可拆分的单个制件叫作机械零件，它是组成机器的最小制造单元。构件可以是若干零件的刚性组合体，也可以是单个零件。如一个齿轮可能是一个零件，也是一个构件。机械零件的设计问题将在后续课程中进行讲述。

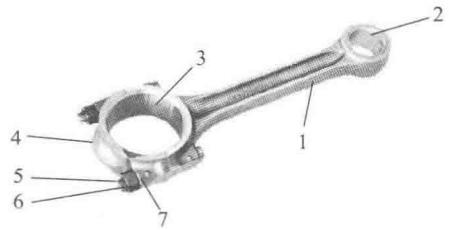


图 0-9 连杆的组成

1—连杆体；2—小端滑动轴承；3—大端滑动轴承；4—连杆头；5—螺栓；6—螺母；7—垫圈

二、机械原理的研究内容

机构是机器中执行机械运动的主体，或者说机构是组成机器的要素。因此，机械原理的主要研究对象是机构。即研究机构的种类、机构的组成、机构的分析、机构的运动、机构的受力、机构的设计以及机构系统的设计等内容。

一般说来，常把机械原理的内容分成以下三大部分。

(1) 机构结构学

研究机构组成、机构运动简图的画法、机构自由度的计算以及机构的结构分析等。

(2) 机构运动学

研究机构运动时的位置、速度、加速度，构件之间的作用力，按照工作要求设计机构的运动学尺寸等。

(3) 机械动力学

研究机械在外力作用下运转过程、机械中惯性力的平衡以及速度波动的调节等。

为方便教学，本教材把机械原理课程内容分为四部分：

(1) 机构的分析

研究机构组成、机构运动简图的画法、机构自由度的计算、机构的结构分析以及利用机构组成原理进行机构的创新设计；考虑摩擦的机构受力分析、考虑惯性力的机构受力分析等内容。

(2) 机构设计

研究连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构以及其他常用机构的尺度设计；介绍简单空间机构及机器人机构设计的基本知识。

(3) 机构系统与运动方案的设计

研究由上述基本机构组成复杂机构系统的方法，为创新设计机构系统提供理论与方法上的依据；机械系统运动方案的设计等。

(4) 机械动力学

研究机械运转过程中惯性力的平衡，机械运转过程中速度波动的调节方法。

随着科学技术的飞速发展和各学科之间的融合与渗透，机构的内容不断丰富，柔性机构、微型机构、仿生机构的出现，使机械原理的研究内容不断拓展。

三、机械原理课程在机械设计中的地位

为说明机械原理课程内容在机械工程设计中的地位，首先讨论机械设计的一般过程。

机械设计的过程没有固定的模式，一般情况下机械设计要经历以下过程。

1. 根据社会的需求确定待研制开发的产品对象

这一步骤实际上是产品的规划阶段。不仅包括急需开发的产品，也包括开发下一代产品的规划。正确的决策是这一步骤的重要保证。

2. 市场调查与研究

了解国内外同类产品的现状、开发前景、开发的可能性、市场占有率及其占有市场的时间。这一过程是产品开发的论证阶段，由决策部门与设计部门共同论证完成。

3. 确定产品的具体功能目标

当决定开发某一具体产品时，必须初步确定该产品的功能。

4. 拟订待设计产品的机械系统运动方案

实现产品相同功能目标的方案多种多样，找出满足产品功能目标的最简单方案，会降低成本，提高产品质量，提高产品的社会竞争力。例如，经过市场调查研究后，确定的设计产品是洗衣机，其功能目标是洗净衣物。满足洗净衣物的方案很多，例如，采用超声波的高频振动分离污渍分子的方法(干洗机)，采用旋转水流冲击的方法(涡轮式洗衣机和滚筒式洗衣机)，采用仿人动作清洗衣物(洗衣机器人)。可见，机械运动方案的拟定是机械设计中最为关键的过程，也是机械设计中最富有创造性的过程。随着教学改革的深入发展，这一设计过程已纳入机械原理的课程内容。

5. 机构及其机构系统的设计

机械系统运动方案主要由各类机构或机构系统组成，对方案中的机构进行尺寸设计、运动与受力分析以及机构之间的运动协调设计是这一过程的主要内容。这一过程是具体的技术设计内容，也是机械原理课程的基本内容和传统内容。

6. 机械结构与强度设计

根据构件上作用力、构件材料、加工方法、安装要求等具体情况，对上述的机构或机构系统进行结构设计、强度设计或刚度设计，并把设计结果用装配图和零件图的形式表达出来是这一过程的主要内容。在后续的机械设计课程中，主要讲述这一过程的相关理论与方法。随着科学技术的飞速发展，数字化设计与数字化制造技术正在改变这一传统的过程。

7. 制造样机与调试

制造样机并对样机进行测试与分析，不断改进设计过程，直到满足预定的设计功能目标后才能安排正式的投产。

8. 安排投产

这一过程主要包括投产的准备、生产过程、生产管理、产品销售、售后服务等。

在上述机械设计的全过程中，其中的第4、第5步是机械原理课程内容的直接应用，也是机械设计中最关键的内容，是决定产品种类、成本、综合性能及市场前景的重要技术过程。

第三节 学习机械原理课程的目的与方法

一、开设本课程的目的

机械与人类生活、经济建设、国防建设密切相关。机械工程的发展程度代表一个国家工业基础的强弱和科学技术的发展水平。机械种类繁多，但组成各类机械的机构种类是有限的。用有限的机构去设计无限多的各种新机器，必须掌握各类机构分析、设计以及各类机构组合设计的方法，这样才能为设计各类新机械奠定理论基础。

机械原理的内容不但是后续课程的基础，也是机械设计过程中的一个重要环节。只有掌握机械原理的基本知识，才能设计新机械。本课程的目的为设计各类机械奠定理论基础和技术基础。

二、本课程的学习方法

随着机械科学技术的发展和教学改革不断深入，反映机械科学技术发展的新内容不断充实到机械原理课程中，如机械系统运动方案的设计、机构创新设计、空间机构、机器人机构、解析法在机构分析与设计中的应用已充实到机械原理课程中，拓展了机械原理课程的内容，而传统的机械原理内容减少不多，但教学时数却减少了。因此，本课程的教学方法和学习方法要作适当调整，要转变教学观念和学习观念。

机械原理是一门技术基础课程，既和基础课程内容密切相关，又贴近工程设计。根据本课程的性质和在教学中的地位，在学习本课程时要注意以下问题。

1. 充分运用先修课程的基本知识、基本理论和基本方法

机械原理课程内容与理论力学课程内容密切相关。理论力学中静力学中的力系平衡条件、约束、摩擦，运动学中的相对运动、平面运动原理和动力学的动量矩定理、达朗伯原理等基本原理论是学习机械原理课程的理论基础。

机械原理课程内容与高等数学课程内容密切相关。高等数学中的矢量运算、数值计算、坐标变换、矩阵运算、微分方程等内容是机械原理课程中进行分析与设计的主要数学工具。

机械原理课程内容与计算机、算法语言之类的课程内容密切相关。能够运用算法语言编制程序，对运用数学方法求解机构分析与设计的结果具有巨大帮助。

另外，机械原理课程还需要机械制图、机械制造基础等课程的相关知识，在学习机械原理的过程中，要注意相关课程知识的复习与运用。

总之，在学习本课程时，要注意对相关课程内容的复习与运用，否则，很难学好机械原理课程。

2. 完成基础理论课程向专业课程学习方法的转变

机械原理课程是学生第一次接触到具体的机械设计过程，要完成从纯基础理论课到专业课学习方法的转变。

机械原理课程由课堂教学、实验教学和实践教学组成，实践教学以课程设计的形式完成。课程是机械原理课程的延续和补充。课堂教学中，教师主要讲述重点、难点以及解决问题的方法，听课时要求掌握基本理论与方法以及解决问题的基本思路；作业是检查所学知识的掌握程度的手段，认真思考与善于思考是学好机械原理的必要途径；机械原理课程的实验较多，分析型、验证型及其创新设计型的实验是巩固所学知识、提高分析问题和解决问题能力的基本训练，实验中要注意培养自己的动手能力、工程实践能力和创新能力；课程是学习结果的全面检验和首次进行工程设计的尝试，要求完成从机械系统运动方案的设计到机构系统设计的全过程，最后结合机械设计课程完成机械结构和强度设计，并绘制机械装配图。

3. 逻辑思维和形象思维相结合

机械原理课程是理论性和设计性很强的课程，其分析与设计方法不是唯一的，有时设计计算结果具有多值性。因而在学习本课程时，要把逻辑思维和形象思维相结合，想象力与工程实际相结合，才能提高创新设计的能力。

4. 了解课程学习要求

本课程的学习要求可分为掌握、理解和了解等三类，在学习过程中，教师可根据教学基本要求自行确定，学生可据此有针对性的学习。

总而言之，复习相关课程的知识，认真听课，独立完成作业，勤于思考，参加实验，理论与实践相结合，是学好本课程的关键。

第四节 机械原理发展过程简介

一、机械原理与机械设计及理论学科的关系

机械设计及理论学科是一级学科机械工程下属的二级学科。机械设计及理论是研究机械科

学中具有共性的基础理论和设计方法的学科，原名为机械学学科。随着科学技术的不断发展，动态设计、优化设计、可靠性设计、有限元设计、智能设计、虚拟设计、计算机辅助设计、创新设计等现代化设计方法完善和发展了传统的设计理论与设计方法。机械学科与仿生学、电子学、控制理论、信息学、生物学、材料科学等许多种学科相互交叉、渗透，形成了多种与机械学科密切相关的边缘学科。与其他学科的相互交叉、渗透、融合，促进了机械设计及理论学科的新发展。

机械原理课程是机械设计及理论学科中研究机械科学中具有共性的基础理论和设计方法的课程，所以其内容是机械设计及理论学科的重要内容之一。

通过前面的说明已经知道，机器种类繁多，但组成机器的机构种类是有限的。因为任何机械都是由机构组成的，所以研究机构的组成，运动与动力设计就是研究机械中的共性问题。

二、机械原理发展过程简介

机械的使用减轻或代替了人类的劳动，改善了人类的生活条件，促进了人类社会的进步与发展。但长期以来，人们只是凭匠人的言传身教来制造机械，没有理论与方法的指导，也缺少图样记载，因此古代机械的发展不但比较缓慢，而且很多古代机械已经失传。

17世纪的欧洲文艺复兴和18世纪初期的工业革命，推动了机械工业的空前发展，这时，迫切需要用有关机器的理论来指导生产，就是在这种形势下，德国人勒洛(Reuleaux)于1875年出版了《机械运动学》，奠定了机械原理的基础。限于当时的条件，分析和设计方法采用了作图方法。在同期，俄国人契比雪夫(Chebyshev)应用代数法解决了机构的近似设计问题，机械原理逐渐形成了一门独立的技术基础学科，为指导机械产品的设计提供了理论与方法，促进了机械工业的大发展。

20世纪30年代，各国开始对机器和机构的理论进行比较深入地研究。以德国学者为代表的机构学专家以几何学为基础，对各类机构的分析与设计方法进行了系统的研究，取得了很大的成就。直到现在，很多教科书中仍然采用几何法进行机构的分析与设计。苏联的机构学专家运用代数法对机构分析与设计的方法进行了深入研究，在机构精确度、包络理论、空间机构、机构动力学领域做出了很大贡献。我国机构学家刘仙洲教授，先后在北洋大学、东北大学、清华大学等多所大学任教，奠定了我国机械原理的基础。

第二次世界大战以后，随着电子计算机的发明与普及，机器与机构的理论研究取得飞速发展。数学与计算机语言的结合，使得过去不能解决的问题变得容易了。以数学为基础，以计算机为工具的机构分析与设计方法正在冲击传统的几何方法；优化设计、创新设计、仿生设计、机电一体化正在丰富机械原理课程的内容。

进入21世纪以来，我国机械原理的课程体系发生了很大变化。由机构分析与机构设计并重的课程体系发展到以设计为主线的课程体系，突出了设计内容，特别是突出了创新设计的内容，为培养自主型设计人员提供理论和技术基础。

1969年，在欧洲的波兰成立了国际机器与机构理论联合会(The International Federation for Theory of Machines and Mechanisms, IFTMM)，每四年举办一次国际会议，定期出版刊物 *Mechanism and Machine Theory*。我国的机械传动学会于1983年正式参加了IFTMM国际学术组织，扩大了与世界各国在机械原理领域的交流，加速了与国际同类学科的课程内容接轨，同时也保留

了自己的特色。我国机械原理课程内容与体系的建设已达到世界先进水平。

很多机械工程专家对机械原理的发展做出了突出贡献，这里仅介绍几位科学家(图0-10~图0-12)。



图0-10 Franz Reuleaux



图0-11 Pafnuty Chebyshev



图0-12 刘仙洲

Franz Reuleaux(1829—1905)，德国机械工程师，机械运动学之父，著有机械工程领域中的代表作 *Kinematics of Machinery*。

Pafnuty Chebyshev(1821—1894)，俄国数学家，机构数学奠基人，主要贡献：Chebyshev linkage, a straight line generating linkage; Roberts-Chebyshev's theorem, on the generation of cognate coupler - curves; Chebychev-Grübler-Kutzbach criterion for the mobility analysis of linkages。

刘仙洲(1890—1975)，中国机械工程教育家，中国机械原理奠基人；北洋大学、东北大学、清华大学等教授，代表作：《中国机械工程发明史》、《机械原理》。

随着科学技术的不断发展，机械原理的内容也在随之发展。目前，从机构的分析与设计方法看，机械原理正在摆脱传统的几何作图分析与设计法，数学方法已经进入到机械原理的课程内容中，而且应用日益广泛。相信解析法的应用会逐渐占据机构分析与设计的主导地位。从机械原理的内容看，传统的机构分析与设计内容中增加了机构系统的设计和机械系统运动方案的设计。相信空间机构、机器人机构、广义机构也会逐步进入到机械原理的课程内容中，机械原理课程内容在机械工程设计中的地位将会日益加强。

习 题

1. 理解

1.1 从广义角度讲，凡是能实现_____的装置都是机械。

- a) 机械运动
- b) 能量转换
- c) 速度变化
- d) 力的传递

1.2 机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递_____、_____或_____。

- a) 能量
- b) 物料
- c) 加速度
- d) 速度
- e) 信息

1.3 工程中，把机器中_____的装置称作机构。

- a) 进行能量转换
- b) 执行机械运动
- c) 提供能量
- d) 加工工件

1.4 机构是组成机器的主体，为表明机器的组成和运动情况，常用_____来表示。

- a) 草图
- b) CAD图