



高等院校机电类精品教材

机械原理

JIXIE YUANLI



主编 郭为忠 于红英



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

◇高等院校机电类精品教材

机械原理

主 编 郭为忠 于红英
参 编 李瑞琴 宋轶民 张学胜
张 英 唐 林 常宗瑜

清华大学出版社
北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

机械原理是机械类专业教学计划中的主干专业基础课程,对培养学生掌握现代机器分析和设计原理、机电产品创新思维和创新能力具有重要作用。本教材面向大学机械类、近机类本科学生的教学需要。

根据现代机械产品的创新设计需要,全书分基本机构分析与设计、现代机械运动方案设计、机械动力学分析与设计三篇,加上绪论共十一章,另设附录介绍机构设计基本工具,包括常用的机构分析方法和机构分析软件。

本教材着重培养学生分析和设计现代机械的基本技能和思维方法,满足建设创新型国家对工程技术人员提出的基本要求,也为学生进一步深造打下学科基础。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/郭为忠,于红英主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2009.9
(高等院校机电类精品教材)

ISBN 978-7-81123-756-6

I. 机… II. ①郭… ②于… 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147446号

责任编辑:赵彩云 特邀编辑:宋望溪

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京东光印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:20 字数:500千字

版 次:2010年1月第1版 2010年1月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-81123-756-6/TH·18

印 数:1~3000册 定价:32.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043,51686008;传真:010-62225406;E-mail:press@bjtu.edu.cn。

前 言

本教材针对大学本科机械原理课程的基本教学要求,从培养学生现代机械运动方案分析和设计能力的目标入手,由国内多所大学的一线青年教师合作编写,将科研体会引入课程教学,定位“基础、实用、全新”,在确保基础知识掌握的同时,通过实践环节的安排,加强学生现代机械运动方案创新能力的培养。

教材编写必须适应新形势下教学思想和教学方法改革的基本思路,体现教改成果。根据编写者多年教学和教改实践经验,机械原理课程宜采用基础知识的课堂传授和课后练习、课程设计环节的巩固和提高相结合的学生主导型研究性学习方式,充分调动学生主动参与教学过程的积极性。课堂主要传授机械原理基本概念、基础知识和思维方法,课后布置作业适度练习,让学生建立起对机械原理的基本认识。在课程设计阶段,通过现代机械运动方案的设计训练,促进学生对所学基础知识的进一步理解、掌握和灵活运用,培养学生的现代机械运动方案设计能力和创新思维能力。

以帮助学生建立对机械原理基础知识的理解为出发点,学习和理解机械原理的基本概念以形象直观的图解法为工具,基本机构分析和设计则以解析法为主线,将二者在设计思想上统一起来,相辅相成。以此为指导,合理调整本教材的基本内容。

本教材尝试在机械原理与现代机器之间架起沟通的桥梁,帮助学生理解机械原理课程在现代机器开发中的基础性地位,激发学生的求知欲望,从而更加主动地掌握好本门课程,为将来从事各类现代机器的性能提升和创新设计打下扎实的学科基础。这也是我们在教学第一线多年从事教学工作的一点经验和体会。

本教材由上海交通大学郭为忠、哈尔滨工业大学于红英主编,中北大学李瑞琴、天津大学宋轶民、装甲兵工程学院张学胜、北京交通大学张英、东华大学唐林、中国海洋大学常宗瑜参编(按姓氏笔画排序)。本书内容共分11章和4个附录,其中郭为忠编写第1、8、9三章和附录C,于红英编写第2、5两章,张学胜编写第3章,李瑞琴编写第4章,唐林编写第6章和附录D,张英编写第7章,宋轶民编写第10章,常宗瑜编写第11章、附录A和附录B。

囿于编写者自身水平,本教材难免存在不足之处,真诚期待广大读者批评指正。

编 者

2009年10月

目 录

第1章 绪论	1
◇ 本章导读	1
1.1 机器、机构与机械原理	1
1.2 机械原理课程的地位和作用	3
1.3 机械原理课程的主要内容	6
◇ 小结	6
◇ 研究性学习指南	7
◇ 复习思考题	7
◇ 习题	7

第1篇 基本机构分析与设计

第2章 机构的结构分析及其组成原理	11
◇ 本章导读	11
2.1 机构的组成要素与机构运动简图的绘制	11
2.2 机构自由度计算及机构具有确定运动的条件	16
2.3 平面机构的组成原理与结构分析	21
◇ 小结	23
◇ 研究性学习指南	24
◇ 复习思考题	24
◇ 习题	25
第3章 连杆机构	27
◇ 本章导读	27
3.1 连杆机构的特点、类型及应用	27
3.2 平面连杆机构的运动和动力特性	33
3.3 平面连杆机构的运动学设计	40
3.4 平面连杆机构的运动学分析	49
◇ 小结	56
◇ 研究性学习指南	57
◇ 复习思考题	57
◇ 习题	58
第4章 凸轮机构	62

◇ 本章导读	62
4.1 概述	62
4.2 从动件的运动规律及其设计	66
4.3 凸轮廓线求解	76
4.4 凸轮机构的基本尺寸设计	85
◇ 小结	91
◇ 研究性学习指南	91
◇ 复习思考题	92
◇ 习题	92
第5章 齿轮机构	96
◇ 本章导读	96
5.1 概述	96
5.2 齿廓啮合基本定律及渐开线齿形	101
5.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸计算	104
5.4 渐开线直齿圆柱齿轮机构的啮合传动	113
5.5 渐开线齿轮的切制原理简介	121
5.6 渐开线齿廓的根切及渐开线直齿圆柱齿轮的变位	123
5.7 其他类型齿轮传动简介	133
◇ 小结	146
◇ 研究性学习指南	147
◇ 复习思考题	147
◇ 习题	148
第6章 轮系	150
◇ 本章导读	150
6.1 轮系的功用及分类	150
6.2 定轴轮系传动比计算	156
6.3 周转轮系传动比计算	161
6.4 复合轮系传动比计算	169
◇ 小结	171
◇ 研究性学习指南	171
◇ 复习思考题	172
◇ 习题	172
第7章 其他常用机构	175
◇ 本章导读	175
7.1 间歇运动机构	175
7.2 螺旋机构	188
7.3 组合机构	190
7.4 特殊用途机构	197
7.5 广义机构	201

◇ 小结	204
◇ 研究性学习指南	204
◇ 复习思考题	205
◇ 习题	206

第 2 篇 现代机械运动方案设计

第 8 章 现代机器的基本概念	209
◇ 本章导读	209
8.1 现代机器与机电一体化	209
8.2 广义机构与系统	213
8.3 传感与检测系统	218
8.4 信息处理与控制系统	221
◇ 小结	222
◇ 研究性学习指南	222
◇ 复习思考题	223
◇ 习题	223
第 9 章 现代机械运动方案的构思与设计	224
◇ 本章导读	224
9.1 现代机械运动方案设计的一般过程	224
9.2 现代机械运动方案设计的主要步骤	227
9.3 现代机械运动方案设计的案例分析	237
◇ 小结	247
◇ 研究性学习指南	247
◇ 复习思考题	247
◇ 习题	248

第 3 篇 机械动力学分析与设计

第 10 章 机械的运转和转速波动的调节	251
◇ 本章导读	251
10.1 概述	251
10.2 单自由度机械系统的动力学分析	253
10.3 机械的速度波动及其调节	257
10.4 飞轮设计	260
10.5 非周期性速度波动及其调节	262
◇ 小结	264
◇ 研究性学习指南	264
◇ 复习思考题	264
◇ 习题	265
第 11 章 机械平衡	267

◇ 本章导读	267
11.1 机械平衡的目的、分类与方法	267
11.2 刚性转子的平衡设计	268
11.3 刚性转子的平衡试验	274
11.4 平面机构的平衡	277
◇ 小结	284
◇ 研究性学习指南	284
◇ 复习思考题	285
◇ 习题	285
附录 A 机构分析中的矢量方法和矩阵方法	288
A.1 平面矢量的分析方法	288
A.2 平面矢量在机构运动分析中的应用	290
A.3 矩阵方法在机构运动分析中的应用	296
附录 B 机构的结构分析方法	299
B.1 平面机构中的高副低代	299
B.2 平面机构的杆组分析	300
附录 C 机构设计与分析常用软件	302
C.1 机构设计与分析常用编程工具	302
C.2 机构设计与分析常用商业软件	302
附录 D 机械产品及机构设计提交信息表	308
D.1 三维设计模型提交信息表	308
D.2 设计图纸提交信息表	309
参考文献	310

第 1 章

绪 论

本章导读

机械原理是研究机构和机器分析与设计的基础技术学科，广泛应用于工业和家用的机械产品开发中。本章介绍机械原理课程的研究对象及主要内容，掌握机器、机构和机械原理的基本概念，了解产品开发过程及机械原理课程在现代机械产品开发中的地位 and 作用。

1.1 机器、机构与机械原理

有意识地制造并会使用工具是人类诞生的根本标志。从石器时代开始，人类就不断挑战自身智力极限、创造出新工具，在延展人类体力与脑力、维护人类自身生存、促进自身智力发展和社会进步的同时，持续推动了各类制造技术的发展，最终创造出称之为机器的人工物系统。各类机器在得到极大发展的同时，机器的设计制造也逐步由依靠个人经验和天赋、手工作坊式的开发方式向总体上依靠理论和方法、计算机化的开发方式发展，机器自身逐步从功能单一、机械呆板、缺乏智能发展到功能多样、机械化、自动化，并向高度智能化、集群化、巨型化、微型化、人机实时交互与人机协同等方向发展。

1.1.1 机器的定义与分类

现代社会中，人类的生产实践活动和日常生活都离不开机器的使用。机器种类繁多，如磁悬浮列车、飞机、火箭、坦克、汽车、农用运输车、内燃机、插秧机、挖掘机、盾构、油田抽油机、压力机、起重机、数控机床、织布机、缝纫机、电脑绣花机、照相机、复印机、工业喷涂机器人、焊接机器人、空间站机械臂、深海探测机器人、电动玩具猫等，它们的功能、构造、外形和复杂程度千差万别，共同组成了丰富多彩的机器世界。这些机器有没有共同的规律？我们该如何分析和评价这些机器？这些机器是如何被创造出来的？我们又能否设计开发出新的机器来满足人类生产和生活的新需要？理解并掌握解决这些问题的基本手段，是本门课程学习的重要使命。

本课程研究的机器，其本质特征是能实现一定的机械运动，并以机械运动为手段实现其功用。从组成、功用和运动特点等方面进行概括和抽象，可以对机器定义如下：机器是一种

由人为物体组成的、能产生期望的机械运动的装置，用来完成一定的工作过程，以代替人类的劳动。这里的劳动包括体力劳动和脑力劳动。机器有时又称为机械系统、机械产品、机电（一体化）系统或机电（一体化）产品。根据工作类型的不同，机器一般可以划分为动力机器、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转换成机械能，或者将机械能转换成其他形式的能量。例如，蒸汽机、内燃机、空气压缩机、海浪发电装置、水力发电机、涡轮机、电动机等，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，磁悬浮列车、数控机床、轧钢机、织布机、压力机、盾构、油田抽油机、汽车、机车、飞机、起重机械、工业喷涂机器人、焊接机器人、空间站机械臂、深海探测机器人、电动玩具猫等，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。

1.1.2 机器的组成与机构的定义

现代科技条件下，机器通常是一个复杂的技术系统，由控制器、传感器、动力部分、传

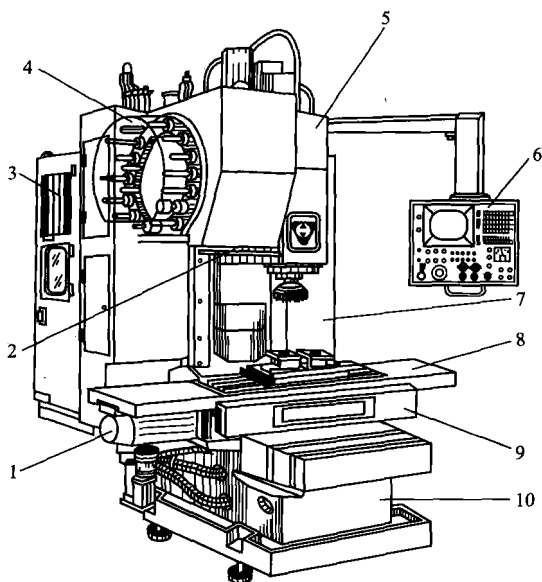


图 1-1 立式加工中心结构示意图

动部分、执行部分等硬件组成，并常常安装有电子计算机，完成信息处理和规划控制等高层次任务。现代机器是机电一体化技术发展的成果，显现出比传统机器更智能、更轻巧、更高效等优点。盾构、加工中心、电脑绣花机、深海探测机器人等都是典型的机电一体化的现代机器。图 1-1 所示为立式加工中心的结构示意图，其中 1 为 X 轴直流伺服电动机，2 为换刀机械手，3 为数控柜，4 为盘式刀库，5 为主轴箱，6 为操作面板，7 为驱动电源柜，8 为工作台，9 为滑座，10 为床身。主轴带动刀具旋转，工作合作纵、横向进给运动，主轴箱实现垂向进给运动。该加工中心采用卧式圆盘刀库，通过软件选择刀具，由机械手实现换刀，由计算机数控系统进行加工控制。

不管现代机器如何发展，机器都是要借助机械运动来实现机器的功用。因此，实现机械运动的执行部分即机构是机器的核心组成单元，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、完成总体的工作过程。机构可以形象地比作机器的“骨骼”系统，起到支承和运动产生与变换的功能。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，变换成其他构件的期望运动的构件系统。从现代机器发展趋势来看，机构中的构件可以是刚性的，也可以是挠性的或弹性的。构件可以由刚性材料制造，也可以由流体、弹性体、电磁体、甚至绳索来制造。现代机器中的机构不再局限于纯刚性构件的机构。

在机构中，给定运动的构件称为输入构件，又称为原动件；其他构件称为从动件，其中

完成执行动作的构件称为输出构件，又称为执行构件。

机器的种类虽然很多，但从一般机构分析与设计的角度来看，组成机器的基本机构的种类却并不多，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，内燃机是由曲柄滑块机构（连杆机构的一种）1-2-3-4、齿轮机构 1-5-6-4、凸轮机构 5'-7-4 及 6'-8-4 组成的，其中 5 和 5'、6 和 6' 分别为同一构件。

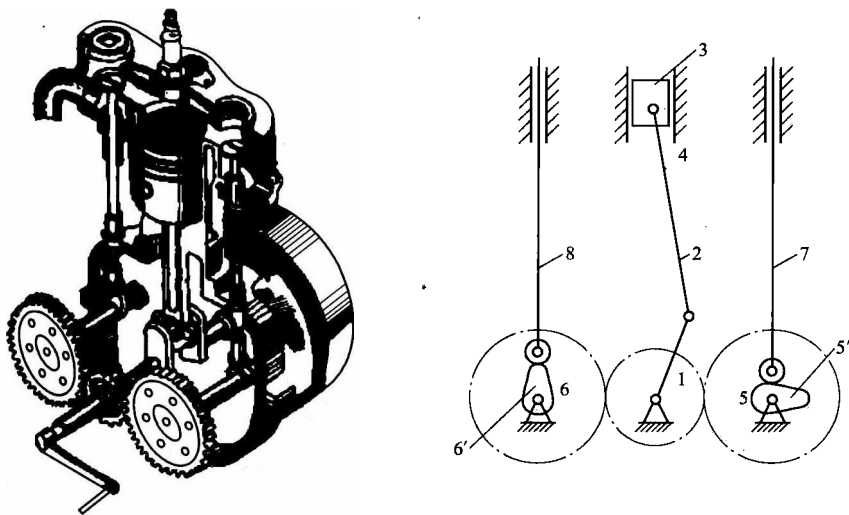


图 1-2 内燃机组成示意图

1.1.3 机械原理的定义

机构与机器习惯上总称为机械，是机械原理的研究对象。机械原理又称为机构与机器理论 (Mechanism and Machine Theory)，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。它是现代机械设计理论和方法的重要分支，在其指导下进行的机械运动方案设计往往从源头上决定了机械产品的新颖性、综合性能和市场竞争力，是获取自主知识产权的重要手段。

现代条件下的国内外市场竞争，归根结底是产品创新能力和产品性能的竞争。作为国家工业体系的主体组成部分，以机械运动作为功能载体的现代机械产品与系统的创新开发理论和方法是国家创新体系的重要组成部分，是实现我国自主开发具有高附加值的高端机电产品、增强国家创新能力的重要保证。努力掌握机械原理学科的基本知识、全面培育学生机械运动方案分析与设计能力，是机械原理课程教学的基本目标。

1.2 机械原理课程的地位和作用

1.2.1 机械原理学科在机械设计进程中的地位

1. 企业产品开发的一般流程及机械原理学科的作用

企业开发产品的最终目的是要通过市场需求的满足即产品销售来获取利润，达到企业再

生产和发展壮大的目标。因此，企业产品开发的任务和要求是来自于市场需求的调查，以及由此所作出的企业产品规划的。在此条件下，通过产品开发过程生产出能满足市场需求的产品，并通过产品销售获取市场回报。产品销售的过程也就是市场需求得到满足的过程，同时还是市场需求得以反馈的过程。其中，产品开发包括设计和制造两个部分。机械产品的设计过程大致能划分为需求分析/产品规划、方案设计、详细设计和改进设计四个阶段。机械产品的制造过程主要包括产品工艺设计、产品试制、批量生产三个阶段，如图 1-3 所示。下面对机械产品设计过程的四个阶段作一介绍。

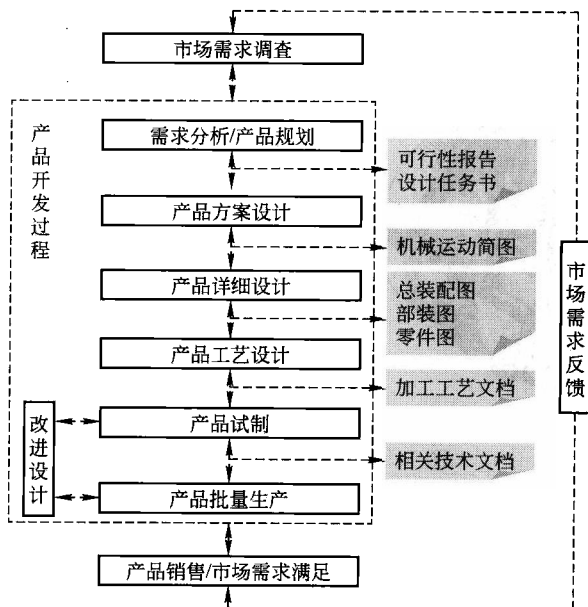


图 1-3 企业产品开发的一般流程

产品规划阶段的中心任务是在市场需求调查的基础上，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），作为后续设计、评价和决策的依据。作为产品开发的出发点和归宿，市场需求的发现与满足往往会开辟一个新的市场空间，极大地实现产品开发的最终目标，即满足市场从而占领市场，达到最大利润。对于市场需求，既包括易于把握的显需求，更包括难以轻易感知的隐需求。因此，产品开发中不但要开发满足显需求的产品，而且要开发满足隐需求的产品，达到引领市场的目的。

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、功能原理解和评价决策，以得到最佳功能原理方案，并最终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，设计出好的方案是产品设计成功的关键。机械原理学科将为机械产品的方案设计提供设计理论和方法，因此，在机械产品开发中具有举足轻重的地位。

详细设计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。

改进设计阶段的主要任务是根据产品在试验、使用、鉴定中所暴露出来的问题, 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, 更具有市场生命力。

2. 机械运动方案设计的主要内容

随着我国知识产权保护法规的日益完善, 根据产品功能要求、工作性质和工作过程等基本要素, 进行有自主知识产权的机械方案的设计, 越来越受到企业和产品开发人员的重视。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, 它往往是机械设计成功的关键, 也是获取产品整体方案自主知识产权的重要手段。

图 1-4 所示为机械运动方案(机械运动简图)的设计流程图, 主要包括以下两部分。

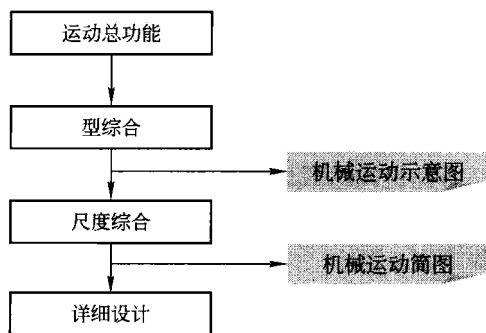


图 1-4 机械运动方案的设计流程图

1) 机械运动简图的型综合

先按工作过程和工艺动作要求来确定若干个执行动作; 再根据执行动作要求选择各个执行机构的机构形式(或创造一些新机构); 最好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

按初步确定的机构系统的机构形式, 根据各执行机构的运动规律要求和动作配合要求, 进行各机构的运动尺度的设计计算和机构间的协调设计。这就是机械运动简图的尺度综合(尺度设计)。

在机械运动方案设计过程中, 型综合和尺度综合这两部分设计往往需要反复进行, 最终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的重要内容, 是决定机械产品质量、水平、性能和经济效益的关键性阶段。为了搞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, 学好机械原理的基本内容。

1.2.2 机械原理课程在培养学生产品设计能力上的作用

机械原理课程是研究机构及机械运动简图设计的技术基础课, 其主要任务是帮助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。

机械原理课程以高等数学、普通物理、机械制图及理论力学等课程为基础, 同时又为今后学习机械设计和有关专业课程打好基础, 并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。对于运用机器的工程技术人员来说, 掌握机械原理知识同样十分重要, 这对帮助他们熟悉机器及其组成机构的工作原理和作用、维护保养好机器、

稳定发挥机器的工作性能有很大作用。

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，机械原理是其中不可或缺的一门专业基础学科。

1.3 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，其主要内容包括以下四个方面。

(1) 机构组成原理和类型综合

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和力的分析方法。通过机构类型综合可以探索机器创新的一些方法。

(2) 机构分析和设计

机器虽然种类繁多，但构成机器的机构类型却是有限的，包括连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构、其他用途机构及广义机构等常用机构。本课程介绍基本机构的分析方法及满足预期运动和工作要求的机构设计方法。

(3) 机构系统设计

机构系统设计即运动方案设计是现代机械方案设计的主要内容，本课程介绍现代机器的基本概念及其与机电一体化关系、机械运动方案设计类型及其基本过程。

(4) 机械动力学

考虑动态效应的机构动力学分析和设计是机器设计的重要内容。本课程讨论了已知力作用下机械的真实运动规律、机器的速度波动及其调节、机械运动过程中的惯性力系平衡等问题。

此外，机械原理课程设计是本课程教学的重要配套环节，起到促进基本知识的理解和运用、培育机械运动方案创新设计的意识和能力的作用。

从上述四个方面出发，本教材将机械原理基本教学内容按三篇（基本机构分析与设计、现代机械运动方案设计、机械动力学分析与设计），分十一章进行组织，并将一些常用机构分析方法和软件介绍附录在后，以期帮助学习者系统地建立起机构分析与设计的基础知识体系，并初步具备进行现代机械运动方案设计的意识和能力。

小 结

本章介绍了机器的定义、分类及其组成，给出了机构、构件、机械、机械原理的基本概念；讨论了企业产品开发的一般流程，以及机械原理在现代机械产品开发中的地位和作用；介绍了机械运动方案设计的主要内容，以及机械原理课程的主要内容。学习本课程时请特别注意，本课程研究的机器，特指以机械运动为手段实现其功用的人工物系统，经常被称作机

械系统、机械产品、机电（一体化）系统或机电（一体化）产品。

研究性学习指南

在科技高速发展的大背景下，现代机器的发展是永不停滞的，这当然会给机械原理学科带来新的挑战，机械原理的知识体系肯定会发生改变，那些不相适应的内容将被淘汰，并补充许多新的内容。那么，在本章的学习过程中，请思考现代机器的本质是什么？在未来还会发生新的变化吗？机构的概念和形式又将有哪些改变？机器的设计过程有哪些会保持不变，又有哪些会发生变化？我们该如何适应这些变化？这些问题都是机械原理学科面临的问题。请有兴趣的同学针对这些问题查找文献，展开讨论。



复习思考题

- 1-1 试说明机构与机器的异同；怎样看待机电一体化产品中的机构？
- 1-2 试举例说明机器的分类；你还有其他分类方法吗？
- 1-3 什么是执行动作和执行构件？
- 1-4 试分析企业产品开发的一般流程。
- 1-5 试分析市场需求的作用；如何进行调查和分析？
- 1-6 什么是机械运动简图？
- 1-7 机械运动方案设计的主要内容有哪些？
- 1-8 机械原理课程在培养机械类专业人才中有什么作用？
- 1-9 机械原理课程包含的基本问题有哪些？
- 1-10 试选择日常生活中遇到的两种机构功能，构思它们的新机构方案。



习题

- 1-1 试列举3个机构实例，说明其功用、结构和工作原理。
- 1-2 试列举3个机器实例，说明其组成、功能和工作原理。

第 1 篇

基本机构分析与设计

- 第 2 章 机构的结构分析及其组成原理
- 第 3 章 连杆机构
- 第 4 章 凸轮机构
- 第 5 章 齿轮机构
- 第 6 章 轮系
- 第 7 章 其他常用机构