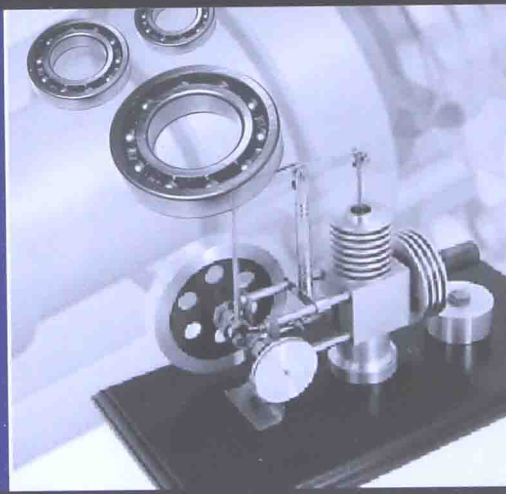




高等学校机械工程类“十二五”规划教材
财政部文化产业发展专项资金资助项目

M E C H A N I C A L E N G I N E E R I N G

机械原理



杨 华 ◎ 主 编



湖南大学出版社



高等学校机械工程类“十二五”规划教材
财政部文化产业发展专项资金资助项目

M E C H A N I C A L E N G I N E E R I N G

机械原理

杨 华 ◎ 主 编

赵又红 雷兆虹 林国湘 ◎ 副主编

谭建荣 ◎ 主 审



TH111

91

湖南大学出版社

内 容 简 介

本书以机械原理课程教学的经典内容为基础,参照教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会发布的高等学校机械原理课程教学基本要求,以培养学生应用机械原理基本理论进行机械创新设计为目的而编写。

全书共 15 章,包括绪论、平面机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、机械的效率及自锁、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、齿轮系及其设计、间歇运动机构及其他常用机构、组合机构、机械的平衡、机器运转及其速度波动的调节、机构演化变异和运动链再生创新、机械运动系统方案设计。各章开头有概要,结尾有小结和习题。含 MATLAB 连杆机构设计程序。

本教材可作为高等学校机械类专业机械原理课程的教材,也可作为自考教材、高职高专机械类专业教材及供其他专业师生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/杨华主编. —长沙:湖南大学出版社, 2014. 11

(高等学校机械工程类“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-5667-0756-7

I. 机... II. 杨... III. 机构学—高等学校—教材
IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 252511 号

机械原理

JI XIE YUAN LI

主 编: 杨 华

策划编辑: 卢 宇

责任编辑: 黄 旺 金红艳 责任校对: 全 健 责任印制: 陈 燕

印 装: 衡阳顺地印务有限公司

开 本: 787×1092 16 开 印张: 14.5 字数: 381 千字

版 次: 2014 年 11 月第 1 版 印次: 2014 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5667-0756-7/TH·59

定 价: 36.00

出 版 人: 雷 鸣

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731-88822559(发行部), 88821315(编辑室), 88821006(出版部)

传 真: 0731-88649312(发行部), 88822264(总编室)

网 址: <http://www.hnupress.com>

电子邮箱: pwessluy@hmu.edu.cn

版权所有, 盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错, 请与发行部联系

高等学校机械工程类规划教材

丛书编委会

主任委员 钟志华

副主任委员. (以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘子建 刘金刚 杨旭静 邱 静

编委会成员 (以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘子建 刘金刚 汤楚宙 苏旭平

李自光 李孟仁 李新华 张桂香 陈 循

邱 静 邱长军 钟志华 杨旭静 卿上乐

唐川林 郭迎福 曾立平 蒋寿生

参 编 院 校

湖南大学

中南大学

国防科学技术大学

湘潭大学

长沙理工大学

中南林业科技大学

湖南农业大学

湖南科技大学

湖南工业大学

南华大学

湖南工学院

邵阳学院

湖南工程学院

序

(2014 年版)

针对机械类基础课程教学需要,湖南大学出版社组织出版的“机械工程类规划教材”,已被众多高校采用近十年。其中,《机械设计基础》(第二版)入选国家“十一五”规划教材,并被评为湖南省优秀教材;《机械设计基础》《互换性与测量技术基础》《工程制图》《工程制图习题集》《计算机绘图基础》等曾获中南地区大学出版社优秀教材奖;《工程制图》曾获中国大学出版社图书奖优秀畅销书奖。教学实践表明,“机械工程类规划教材”深受广大师生的欢迎和好评。

近年来,随着高等机械工程教育改革与发展的不断深入,越来越多的高校参加国际工程教育专业认证,对教学内容和课程体系改革有了新的取向和新的要求。信息技术的快速发展,特别是互联网、大数据、云计算等技术的应用,促使传统教学模式发生了深刻的变化。作为传统教学知识载体的课程教材,亟需顺应时代需求而不断改进,教师教学和学生学习的需要催生了课程的整体教学解决方案和整合多种教学资源的立体化教材。

新版的“机械工程类‘十二五’规划教材”,在保持原版特色的基础上,围绕“教师教学需要”和“学生学习需要”两个中心点,秉持“体现内容的前沿性”,“保持内容的整体性和系统性”,“兼顾内容的全面性与精练性”,“突出工程实践性”等原则,修改完善了教材内容,采取了新的编写方式。面向工程教育以“能力为导向”的交互式学习,建立了教材配套的立体化资源,使得学生不仅可利用教材在课堂学习知识,而且能够在课后进行更多的主动式、自主式学习。

新版后的教材配套教师用演示文稿,整合辅导教材、电子资料库、教学网站等载体,提供主体知识、案例及案例分析、习题试题库及答案、教案、课件、学习软件、自测(考试)软件等内容,是一部立体化的系列教材。采用双色印刷技术,有助于读者对重难点知识的把握。

由此可见,湖南大学出版社2014年新版的“机械工程类‘十二五’规划教材”,将促进机械基础课程教学质量的进一步提高,带动教学内容和课程改革的进一步深入,为人才培养模式创新做出有益的探索,从而更好地为高等教育培养工科专业高级人才服务。

中国工程院院士、浙江大学教授

2014 年 2 月

序

(2005 年版)

从现在到 2020 年,是我国全面建设小康社会,实现国民经济增长模式根本转变,走新型工业化道路的关键时期。在这个重要的历史时期,机械工程高等教育承担着培养适应和推进新型工业化发展的现代高级人才的历史重任。准确地把握未来教育、科学和技术发展的机遇与挑战,客观地认识我们的教育、科学和技术发展的基础,是指导高等机械工程教育改革与发展的基本出发点。我国目前正处于实现工业化的过程中,要坚持对外开放,我国必须融入世界经济全球化的过程,必须积极承接世界制造业的转移。为了使我国制造业从中、低端产品加工转为世界工业产业中心之一,我们要努力加强研发力量,提高集成能力和创新能力。机械工程的集成与创新的载体是人才。抓住 21 世纪头 20 年的时机,我们以工程带动科技进步,培养从设计、制造工艺到操作、管理的各类各级人才,必将为全面建设小康社会,实现工业化,推动制造业再上台阶发挥更为直接的作用。

目前,我国高等工程教育在适应社会发展需要方面还存在较大差距。问题之一是课程体系和教学方法没有根本性的转变。从 1990 年以来,高等院校开展了大规模的教学内容和课程体系改革,取得了明显成效,推出了一批优秀教材和精品课程。但是,传统的课程体系、教学计划、培养模式并没有普遍深刻的变化,不同科类的知识依然相互分离,综合性的课程还不多见,理论与工程实践脱节的局面并未得到根本改善。随着工业化进程和机械工程科技的发展,教学内容不断增加,教学要求不断提高,我们还是习惯于增加课程、增加学时,而忽视了课程的整合、融合、拓宽、更新和更加注重应用,在教学方法上依然以讲授为主,学生自主学习、自我体验、自由创造的环境还不具备。现代机械工程要求的多学科综合和实践性、适应性的特征在高级工程人才培养的过程中体现得还远远不够。

现代机械工程已是多学科的综合体,今天机械工程科学家、工程师等技术专家的基本作用正是集成与创新,其任务是构建和实现机械系统。我们必须依据所在的高校和专业的固有特点和特殊性质,按照教育目标定位,按照现代机械工程的特点,对机械工程高等教育的内容和课程体系进行改革,搞好机械工程类教材建设。湖南大学出版社正是为适应机械工程类教学改革的要求,精心组织出版了“机械工程类规划教材”。这套教材已规划了 20 余本,将于近年内陆续推出。规划教材涵盖了机械工程类的主要专业基础课程和部分专业选修课程,其中一些教材此前已经过多次使用,受到教师和学生的好评,这套教材由湖南省机械工程学会、湖南大学等 10 余所高校数十位长期在教学与教研教改第一线工作的教师共同努力编写而成。基于各高校教学改革和教材建设的经验,我们相信这套教材的出版和使用,能够加强各兄弟院校的交流与合作,在教材建设和机械工程高等教育的改革发展方面相互借鉴,相互促进,为我国机械工程技术人才培养起到积极的作用。

教材建设要出精品,而精品绝不是一蹴而就的。机械工程科学与技术的发展正突飞猛进,机械技术与计算机技术、信息技术、控制技术、环保技术相结合,使得机械工程的内涵越

来越丰富，发展的空间越来越广阔。虽然，这套教材突出了 21 世纪机械工程教育的综合性、适应性等特点，在整合、拓宽、更新和注重工程应用上下了工夫，对课程内容、体系进行了改革，但是从总体改革思路、改革探索深度、学术水平、工程应用、教学手段到组织工作，不论从哪个方位张望，我们都还有很大的拓展的空间。世界在发展、国家在发展、高校在发展、形势在发展，我们这套教材的建设远不能说已经成熟、完美。我们还需要团结一心，虚心听取各高校教师、学生的批评，在自身的教育实践中进行修正、探索、提炼、变革、创新。

任重道远，行者无疆！

钟志华

中国工程院院士、湖南大学教授

2005 年 8 月

前 言

当今社会新产品和新技术不断涌现,不仅改变了人们的生活,也对教育和学习方式发生着重大的影响。利用电脑、手机在线或离线学习,利用互联网获取需要的知识,出现了有别于传统循序渐进学习方式的碎片式学习方式。为适应新的学习要求,编者对机械原理教材形式作了探索,开发了适用于用电脑、手机学习的立体教材。本书是该立体教材的一个组成部分,参照教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会发布的高等学校机械原理课程教学基本要求,以培养学生应用机械原理基本理论进行机械创新设计为目的,在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,由五所院校常年讲授机械原理课程的教师编写。

机械原理是研究机械共性问题的课程,是培养机械类专业人才的重要专业基础课程,是联系理论力学与专业课程的桥梁,在学科体系中起着承上启下的作用,在培养具有创造性机械人才所需的知识结构中占有核心地位。本教材在教学内容安排上,既充分体现机械基础课程教学指导分委员会提出的教学基本要求,又照顾部分学校对培养创新人才的较高需要。在教学内容所涉及的能力训练方面,实行传统方法与先进方法并重,既介绍概念清晰、过程和结果直观明确的图解法,又注重了适应现代技术需求,易于采用计算机精确求解的解析法。在各章的编排次序上,注重各章次序符合机械原理各部分知识之间的逻辑要求,确保读者顺序阅读过程中不会遇到需要参照后续知识的情况。在叙述方式上,着重于讲清机械原理的基本概念、基本理论和基本方法,力求条理清晰、层次分明、循序渐进、言简意明。针对机械创新人才培养,编写有组合机构、机构演化变异和运动链再生创新和机械运动系统方案设计的内容,目的是开阔学生的视野以及培养学生的机械系统运动方案创新设计能力。本教材主要作为高等工科院校机械类本科各专业机械原理课程教材,教学计划适宜于课堂教学 56 学时左右,实验课 6~8 学时,课程设计 1 周。课程资源将在网站: www.yunjiaoshi.net, www.yunjiaoshi.cn 推出。

参加本书编写的老师有:湖南大学杨华(第 1、第 2、第 3、第 7、第 8、第 14、第 15 章),长沙理工大学雷兆虹(第 5、第 6、第 13 章),湘潭大学赵又红(第 4、第 11 章),南华大学林国湘(第 10 章),湖南工业大学邹培海(第 9 章),湖南大学陈敏钧(第 12 章)。由杨华担任主编,赵又红、雷兆虹、林国湘担任副主编。

本书承中国工程院院士、浙江大学谭建荣教授审阅,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,在此向他表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,恳请广大读者不吝赐教。

编 者

2014 年 7 月

目 次

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 本课程研究的对象	(1)
1.2 本课程研究的内容	(2)
1.3 本课程的特点和学习方法	(2)
1.4 机械原理学科的新发展	(3)
第 2 章 平面机构的结构分析	(5)
2.1 机构的组成	(5)
2.2 机构运动简图	(8)
2.3 平面机构的自由度分析	(11)
2.4 机构具有确定运动的条件	(12)
2.5 计算机构自由度时的注意事项	(13)
2.6 平面机构的组成原理	(17)
第 3 章 平面机构的运动分析	(22)
3.1 用速度瞬心法作机构的速度分析	(22)
3.2 用矢量方程图解法作机构的速度和加速度分析	(24)
3.3 用解析法作机构的运动分析	(29)
第 4 章 平面机构的力分析	(33)
4.1 机构力分析的任务、目的与方法	(33)
4.2 构件惯性力的确定	(35)
4.3 运动副的摩擦力	(37)
4.4 不考虑摩擦时机机构的动态静力分析	(42)
第 5 章 机械效率及自锁	(48)
5.1 机械的效率	(48)
5.2 机械的自锁	(51)
第 6 章 平面连杆机构及其设计	(57)
6.1 平面连杆机构的特点及应用	(57)
6.2 平面四杆机构的基本类型及演化	(58)
6.3 平面四杆机构的基本特性	(63)
6.4 平面四杆机构的设计	(67)
第 7 章 凸轮机构及其设计	(77)
7.1 凸轮机构的组成和类型	(77)
7.2 从动件常用运动规律	(80)
7.3 凸轮轮廓曲线的设计	(85)
7.4 凸轮机构基本尺寸的确定	(93)

第 8 章 齿轮机构及其设计	(99)
8.1 齿轮机构的类型	(99)
8.2 齿轮的齿廓曲线	(100)
8.3 渐开线齿廓及其啮合特点	(101)
8.4 渐开线标准齿轮的基本参数和几何尺寸	(103)
8.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	(106)
8.6 渐开线齿廓的切制原理与根切现象	(109)
8.7 渐开线变位齿轮	(113)
8.8 斜齿圆柱齿轮传动	(116)
8.9 蜗杆蜗轮传动	(122)
8.10 圆锥齿轮传动	(124)
第 9 章 齿轮系及其设计	(129)
9.1 轮系的分类	(129)
9.2 定轴轮系的传动比计算	(130)
9.3 周转轮系的传动比计算	(132)
9.4 复合轮系的传动比计算	(134)
9.5 轮系的功用	(135)
9.6 轮系的设计	(137)
9.7 其他几种特殊的行星传动简介	(139)
第 10 章 间歇运动机构及其他常用机构	(145)
10.1 棘轮机构	(145)
10.2 槽轮机构	(149)
10.3 凸轮式间歇运动机构	(152)
10.4 不完全齿轮机构	(153)
10.5 万向铰链机构	(155)
10.6 螺旋机构	(156)
第 11 章 组合机构	(159)
11.1 机构的组合方式及类型	(159)
11.2 组合机构的设计	(160)
11.3 联动凸轮组合机构	(161)
11.4 凸轮—连杆组合机构	(162)
11.5 凸轮—齿轮组合机构	(164)
11.6 连杆—连杆组合机构	(165)
11.7 齿轮—连杆组合机构	(166)
11.8 组合机构应用举例	(168)
第 12 章 机械的平衡	(173)
12.1 刚性转子的平衡计算	(173)
12.2 平面机构的平衡	(176)
第 13 章 机器运转及其速度波动的调节	(180)
13.1 概述	(180)

13.2	机械的运动方程式·····	(181)
13.3	机械的运动方程式求解·····	(185)
13.4	机械系统速度波动及调节方法·····	(186)
第 14 章	机构演化变异和运动链再生创新·····	(193)
14.1	机构演化与变异创新·····	(193)
14.2	机构运动链再生创新·····	(197)
第 15 章	机械运动系统方案设计·····	(202)
15.1	机械运动系统的功能分析和求解·····	(202)
15.2	执行机构的运动方案设计·····	(204)
15.3	执行机构的运动协调设计·····	(207)
15.4	原动机选择和传动机构方案设计·····	(210)
15.5	机械运动系统方案设计的一般原则和评价·····	(213)
参考文献	·····	(216)

第1章 绪 论

本章概要：本章主要介绍机械原理课程研究的对象和内容，重点介绍机构和机器的概念。对机械原理课程的特点、学习方法及机械原理学科的新发展作了简要介绍。

1.1 本课程研究的对象

现代机械广泛应用于产品生产、交通、娱乐、环境改善、深海探测等领域。机械能以其超越人类的体力、脑力和感知力，代替人类的劳动，高效率、高质量地生产产品，还可以帮助人类在无法适应甚至无法生存的恶劣环境中工作。

在日常生活和工作中，我们可以接触到很多机械，例如，汽车、起重机、挖掘机、收割机、包装机、复印机、点钞机、印刷机等。这些机械的复杂程度各不相同，但其组成部分却大致相似。具有现代技术特征的机械通常由以下两部分组成。第一部分：动力及运动传递和变换系统。以复印机为例，这一部分包括供纸驱动电机和输纸机构、扫描灯架驱动电机及传动机构、镜头变焦驱动电机及传动机构等。第二部分：机器工作状态的检测和控制系統，以及信息的输入、输出和处理系统。仍以复印机为例，这一部分包括卡纸检测、无纸检测、温度传感器、温度控制系统、操作指令输入、当前工作模式显示、工作状态显示等系统。

机械原理课程研究的对象——机械，就是上述第一组成部分：动力及运动传递和变换系统，通常认为机械是机构与机器的总称。

机构是指由若干个刚性物体组成的可动装置，其作用是：变换运动的形式及运动量大小，改变力的作用形式及力的大小。例如在图 1-1 所示的单缸四冲程内燃机中，活塞 7、连杆 2、曲轴 3 及气缸体 8 组成连杆机构，它将由燃气压力推动的活塞的直线移动，变换成为输出曲轴的旋转运动；齿轮 1、齿轮 11 及气缸体 8 组成齿轮机构，它将齿轮 1 的旋转运动变换成齿轮 11 的低速旋转运动；凸轮 4、顶杆 5 及气缸体 8 组成凸轮机构，它将凸轮的连续旋转运动变换成排气阀 9 的有停歇时段的直线运动。

机器是指能利用人力之外的能量实现其功能的机构或机构的组合。内燃机就是利用燃料燃烧产生的热能来提供旋转运动机械能的机器，它由上述连杆机构、凸轮机构、齿轮机构组合而成。

机器与机构的共同点是它们都是由刚性运动物体组成的可动装置，差异在于其研究范围不同。对于机构只需研究其运动和力的变换作

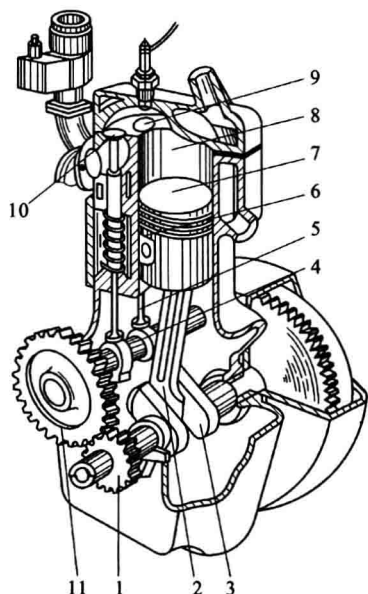


图 1-1 单缸四冲程内燃机

1、11-齿轮；2-连杆；3-曲轴；4-凸轮；
5-顶杆；6-活塞销；7-活塞；8-气缸体；
9-排气阀；10-进气阀

用,对于机器则还要研究其在输入能量作用下的运动学和动力学规律。机器通常由各种机构所组成。

1.2 本课程研究的内容

本课程研究的是所有机械共同具有的基本原理问题,主要是机构的结构分析、机械运动学和动力学以及工程中常用机构的设计。具体内容如下:

(1)机构的结构分析研究机构在什么条件下可以运动,在什么条件下具有确定的运动,如何组成能实现运动目的的机构。

(2)机构的运动分析和力分析研究由机构的已知运动参数来确定机构所有运动参数的方法,由机构上作用的已知力来确定机构其余作用力的方法,机械的效率和机械自锁的分析方法。

(3)机械的动力分析研究机械在驱动能量和工作荷载作用下的运动情况及其动力学性能的改善方法,消除或减小机械运动的惯性力所产生的振动及机座上动荷载的方法。

(4)常用机构的设计研究机械工程中常用的齿轮机构、连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等机构的设计方法。

1.3 本课程的特点和学习方法

本课程的特点是:

(1)与工程实际结合较为紧密,实践性强。学习时要注意思考问题应从实际出发,而不是死扣书本中的文字。具有与机械接触的实际经历对学习本课程会有很大的帮助,因此在学习过程中要注意多观察与接触实际机械,多积累机械方面的感性认识。

(2)需要具备较为扎实的高等数学、工程制图及理论力学方面的基本知识。机械运动学和动力学方程式的推演需要使用高等数学求导和积分的方法;机构的结构和运动关系的表达与工程制图规定的一些表达方法有紧密的联系;机械的运动分析和力分析需要使用理论力学的分析原理。因此在学习过程中要注意随时复习回顾这些先修课程中的相关知识,以加快加深对本课程知识的理解和掌握。

(3)需要具有较强的机构空间结构的想象能力和机构运动情况的想象能力。如果缺乏这种想象能力,面对表述在书本平面上的、静止不动的机构,就难以想象出机构在运动过程中呈现在空间中各种位置的机构状态,对机构的运动特性、受力特性就难以理解和把握。所以在学习过程中要注意有意识地培养这种空间想象力和运动想象力,方法是多观察实际机械的运动情况,多看机构运动动画。遇到难以想象的情况时,可制作简单的机构模型来观察其运动。还可以利用 Solidworks、ADAMS 等机械设计和分析软件作出机构的三维模型来观察其运动。

(4)需要具备绘制机构运动简图的能力。为了与他人交流设计思想和设计意图,需要绘制各种机构运动简图。这需要具有将所构思的机构的空间结构和运动情况表达为平面图纸上的能力。因此在学习过程中要逐步熟悉机构运动简图的绘制规范以及工程制图的正投影以及轴测投影的表达方法。

(5)其研究的内容抽象。虽然本课程工程实际结合较为紧密,但它研究的是从各种机械

中抽取的具有共性的问题，由于初学者普遍缺乏对实际机械的认识与了解，很难找到将机械原理知识应用于实际机械的切入点，难以激发学习的浓厚兴趣。因此在学习过程中要积极参与与本课程相关的各种机械实验、课程设计、机械创新设计大赛、挑战杯等活动，用所学知识观察和分析日常生产、生活中所遇到的各种机构和机器，并且能够按照实际要求设计出有用的机械。

1.4 机械原理学科的新发展

随着机械学科的研究向航空航天、深海作业、生物工程、机械电子等领域的扩展，机械原理学科与电子学、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。

现代机构设计新理论新方法研究：现代机构包括了广义机构、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；二是机构的组成构件的广义化，构件可以是柔性、弹性、挠性的。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、运动学和动力学研究刚刚起步，还有待深入。

机构创新设计理论和方法的研究：有机构运动链结构的改变的创新。机构从运动链结构来看有闭链机构、开链机构以及变链机构。变胞机构实际上就是变链机构，这种机构可以在工作过程中改变其拓扑结构。还有应用机构学原理的创新，利用连杆或连架杆运动特点的创新，采用相对运动原理的创新，利用多种驱动原理的创新等。创造各种新颖的机构，需要深入地研究机构创新设计理论和方法。

微机构和微动机构的理论和应用研究：微机械技术的研究和开发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。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。微机构还是微机电系统中的核心，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，它的集成设计理论和方法需深入研究。

仿生机构的研究和应用：人们研究飞禽的飞行原理以创造各种飞行机构；研究走兽的步态和足部骨骼以创造出各种四足步行机构；研究陆地行走禽鸟以创造二足步行机构；研究鱼类游动以创造各种鱼游机构；研究蛇的游动以创造出蛇行机构；研究蟹的爬行以创造出机器蟹；研究昆虫以创造出微小飞行器。仿生机构的深入研究，将会使现代机构学得到更加广泛的发展和应用。

操作机器人机构和步行机机构的研究：研究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。研究多臂协调、冗余机器人的构型与性能；研究多机器人协调合作的机制和计算结构；研究模块化机器人的优化与重构方法等。步行机构学需要研究适合工作环境和工作要求的步行机机构构型和设计理论，研究各种步行机的步态规划、运动和控制特性等。

机构和机械系统动力学研究：可控机构、可调机构和混合驱动机构研究驱动电机和传动机构的整机机构动力学。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研究。运动副中含间隙的机构动力学研究，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。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。

作为机械原理学科，其研究领域十分广阔。作为一门技术基础课程，将只研究有关机械的一些最基本的原理和方法。

本章小结

本课程所研究的机构是指用刚性物体组成的用来变换运动和作用力的装置；机器是指能利用人力之外的能量实现其功能的机构或机构的组合。通常机器中包含多个机构，而简单的机器也可以仅由一个机构构成。学习本课程要注重多观察与分析生活中能接触到的机械，要注重培养对机械的空间想象力和运动想象力，要复习学习中遇到的机械制图、理论力学的相关知识。

习 题

1-1 观察生活中遇到的汽车、起重机、挖掘机、收割机、复印机、点钞机、印刷机、包装机、过山车、洗衣机等各种机械，分析其组成部分和功能，分析其各组成机构的作用。

1-2 试说明机器与机构的概念，并列举出几个机器与机构的实例。

第2章 平面机构的结构分析

本章概要：本章主要介绍机构的组成原理及机构能运动且有确定运动的条件。重点介绍构件、运动副及自由度的概念，机构运动简图的绘制及平面机构自由度的计算方法。对平面机构的组成原理、结构分析以及高副低代作了简要介绍。

组成机构的所有构件都在同一平面或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。

本章研究的内容和目的有：

(1) 研究机构是如何组成的以及如何用简单的图形即机构运动简图把机构的组成结构表达出来，其目的是将设计的机构用规定方式表达出来，以便于工程人员之间的相互交流。

(2) 研究机构能够运动和有确定运动的条件，其目的是保证机构能实现预期的设计意图。

(3) 研究机构的组成原理和结构分类，其目的是利于机构的创新，利于对机构进行运动和动力分析及结构设计。

2.1 机构的组成

2.1.1 构件

从运动的角度来看，任何机构都可以分成若干个相对运动的部分，每一个相对运动的部分称为一个构件。

例如图 1-1 所示的内燃机，可以分成活塞、连杆、曲轴、凸轮轴、进气阀、出气阀及气缸体这几个相对运动的部分，每一部分就是一个构件。构件通常是由刚性联接在一起的零件组成的一个运动单元。如图 2-1 所示的连杆构件由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 及螺母 3 等几个零件组成，机构运动时，这些零件之间没有相对运动，它们作为一个整体在运动，成为一个构件。

同样图 1-1 中的齿轮 11 以及装有齿轮 11 的轴和轴上装的两个凸轮也构成一个构件。

所以，从运动的角度来看，任何机构都是由若干个构件组成的。

2.1.2 运动副

当由构件组成机构时，需要将各构件以一定的方式连接起来。连接后，各构件仍然能产生相对运动，这种连接称为运动副。运动副就是两构件直接接触构成的能产生一定相对运动

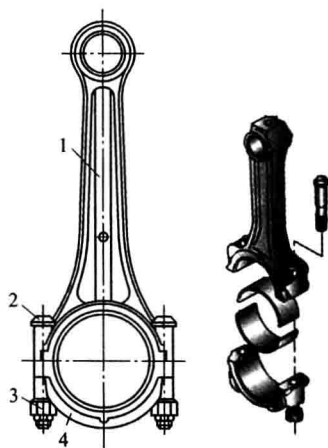


图 2-1 连杆构件

1-连杆体；2-螺栓；3-螺母；4-连杆盖

的连接。

例如图 1-1 中由连杆构件 2 与曲轴构件 3 以圆柱面接触构成的能产生相对转动的连接就是运动副；由活塞 7 与气缸体构件 8 以圆柱面接触构成的能产生相对移动的连接也是运动副。

机构中常见的运动副有以下几种。

图 2-2 所示两构件通过销和销孔组成的连接就是运动副。该运动副限制了两构件只能相对转动，因此把这种运动副称为转动副，也叫做铰链。



图 2-2 转动副

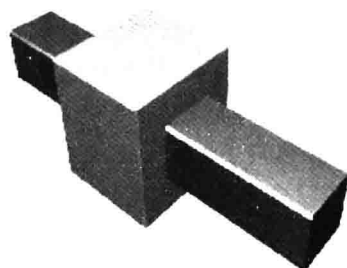


图 2-3 移动副

图 2-3 所示导轨和滑块两构件组成的连接也是运动副。该运动副限制了两构件只能相对移动，因此把这种运动副称为移动副。

图 2-4 所示两齿轮通过轮齿的齿面接触组成的连接也是运动副，称为齿轮副。该运动副限制了两齿轮沿接触点公法线 $n-n$ 方向的相对移动，但两齿轮可以沿接触点的切线方向 $t-t$ 相对移动及绕接触点相对转动。

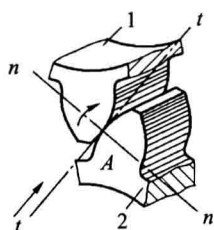


图 2-4 齿轮副

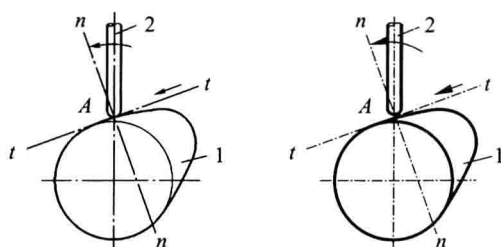


图 2-5 凸轮副

除这些平面运动副外，机械中还经常见到图 2-6(a) 所示的球面副和图 2-6(b) 所示的螺旋副。这些运动副中，组成运动副的两构件间的相对运动是空间运动，故属于空间运动副。

通常，根据组成运动副的两构件的接触情况，将运动副分成高副和低副两大类。

高副——两构件通过点或线接触而构成的运动副称为高副。例如，凸轮副和齿轮副都是