



普通高等教育“十二五”规划教材
机械类专业系列教材

机械原理

(第二版)

齐秀丽 陈修龙 主 编
叶铁丽 王全为 魏军英 李桂莉 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材
机械类专业系列教材

机械原理

(第二版)

主 编 齐秀丽 陈修龙
副主编 叶铁丽 王全为 魏军英 李桂莉
编 写 曹冲振 高 丽 苏春建 戴向云
主 审 陈维健



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。全书共分 11 章,内容包括概述、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、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、齿轮系的传动比计算、其他常用机构简介、机械系统动力学基础、机械系统方案设计。各章后面均附有知识点、思考题及练习题。本书可与《普通高等教育“十二五”规划教材 机械原理同步辅导与习题解析》配套使用。

本书可作为高等学校机械类专业的教材,也可供高职高专院校师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/齐秀丽,陈修龙主编. —2 版. —北京:中国电力出版社,2014.1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-5067-0

I. ①机… II. ①齐…②陈… 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 250096 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 8 月第一版

2014 年 1 月第二版 2014 年 1 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.25 印张 281 千字

定价 26.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

本书第一版自 2010 年出版以来，受到同行的普遍认同，为多所兄弟院校所选用，产生了良好的社会效应。

近年来，我国深入开展工程教育和教学改革，强化培养工科学生的创新能力和分析解决问题的能力，对机械原理教材的要求也越来越高。因此，在当前我国经济、科技和教育迅速发展的背景下，编者对本书进行了以下修订：

- (1) 尽量保持本书原有特色和风格，教材的框架结构和章节体系基本不变。
- (2) 各章后对本章主要知识点进行了归纳总结。
- (3) 章节的正文中增加了对关键知识点及重要内容的重点提示。
- (4) 全书的插图和习题进行了全面整理，使图形符号符合我国最新的国家标准规定，精选的习题符合教学内容和教学大纲的要求，更有助于提高学生对关键知识点的理解和掌握。
- (5) 配套出版《普通高等教育“十二五”规划教材 机械原理同步辅导与习题解析》。

本书由山东科技大学齐秀丽、陈修龙担任主编，叶铁丽、王全为、魏军英、李桂莉担任副主编，曹冲振、高丽、苏春建、戴向云参加编写。本书配套电子课件，可联系编者索取，电子邮箱 jdqxl@163.com。

本书由山东科技大学陈维健教授主审，他对本书的编写提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

编 者

2013 年 10 月



第一版前言

本书是编者根据近几年的教学实践经验和当前教学改革成果以及我国机械工业发展的需要编写而成的。

考虑到学科的系统性和便于教学，本书共分 11 章，主要内容包括机构的结构分析、机构的运动分析、常用机构的原理与设计、机械动力学的基础知识及机械系统的运动方案设计等。本书的每章后均附有知识点总结、思考题及练习题，以方便学生进行思维训练，提高分析问题与解决问题的能力。本书加强了基本理论，突出了机构设计内容，注重培养学生的综合分析、系统思考的好习惯，以强化培养和训练学生的思维方式及创新能力，引导学生运用所学的基本理论和方法去发现、分析和解决工程实践中的问题。

本书由山东科技大学齐秀丽教授、陈修龙担任主编，曹冲振、王全为担任副主编。具体编写分工如下：第 1、2 章由齐秀丽教授编写；第 3、4 章由陈修龙编写；第 5 章由李桂莉教授编写；第 6、9 章由王全为编写；第 7 章由魏军英编写；第 8 章由叶铁丽编写；第 10、11 章由曹冲振编写。全书由齐秀丽教授统稿。

本书由山东科技大学陈维健教授主审，他对本书的编写提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不妥或错漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 5 月



目 录

前言

第一版前言

第1章 概述	1
1.1 机械原理课程所研究的对象与内容	1
1.2 机械原理课程的地位及学习本课程的目的	3
1.3 机械原理的学习方法	4
1.4 机械原理学科的发展简介	4
本章知识点	6
思考题及练习题	6
第2章 平面机构的结构分析	7
2.1 组成机构的要素	7
2.2 机构运动简图的绘制	11
2.3 机构自由度的计算及机构具有确定运动的条件	13
2.4 平面机构的高副低代	18
2.5 平面机构的组成原理和结构分析	20
本章知识点	23
思考题及练习题	23
第3章 平面机构的运动分析	27
3.1 速度瞬心及其在机构速度分析中的应用	27
3.2 用矢量方程图解法做机构的速度及加速度分析	30
3.3 用解析法做机构的速度及加速度分析	35
本章知识点	36
思考题及练习题	36
第4章 平面机构的力分析	39
4.1 构件惯性力的确定	39
4.2 用图解法做机构的动态静力分析	41
4.3 用解析法作机构的动态静力分析	43
4.4 运动副中摩擦力的确定	44
4.5 机械的效率和自锁	49
本章知识点	54
思考题及练习题	54

第5章 平面连杆机构及其设计	58
5.1 平面连杆机构的类型及其演化	58
5.2 平面连杆机构的工作特性	64
5.3 平面四杆机构的设计	70
本章知识点	80
思考题及练习题	80
第6章 凸轮机构及其设计	84
6.1 凸轮机构的主要类型及其应用	84
6.2 从动件的常用运动规律及选择	86
6.3 凸轮轮廓曲线设计	92
6.4 凸轮机构基本参数的确定	95
本章知识点	98
思考题及练习题	99
第7章 齿轮机构及其设计	101
7.1 齿轮机构的特点及分类	101
7.2 渐开线齿廓及其啮合特性	102
7.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮	106
7.4 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	109
7.5 渐开线齿廓的切制及变位齿轮	112
7.6 渐开线变位齿轮及其传动	115
7.7 斜齿圆柱齿轮传动	119
7.8 蜗杆蜗轮机构	124
7.9 圆锥齿轮机构	126
7.10 非圆齿轮机构	129
本章知识点	131
思考题及练习题	131
第8章 齿轮系的传动比计算	134
8.1 轮系的类型	134
8.2 轮系的传动比	135
8.3 轮系的功能	141
8.4 轮系的设计	144
8.5 其他类型的行星传动机构	146
本章知识点	148
思考题及练习题	149
第9章 其他常用机构简介	151
9.1 间歇运动机构	151

9.2 螺旋机构	158
9.3 摩擦传动机构	160
9.4 机构组合和组合机构	162
本章知识点	166
思考题及练习题	166
第 10 章 机械系统动力学基础	168
10.1 机械的平衡	168
10.2 机械的运动及其速度波动的调节	172
本章知识点	181
思考题及练习题	181
第 11 章 机械系统方案设计	184
11.1 概述	184
11.2 机械执行系统运动方案设计	187
11.3 原动机的选型	195
11.4 传动系统方案设计	196
11.5 多头专用钻床机械系统方案设计例题	198
本章知识点	202
思考题及练习题	202
参考文献	204

第 1 章 概 述

1.1 机械原理课程所研究的对象与内容

1.1.1 机器、机构

机械原理,是一门以机器和机构为研究对象的学科。

机器是代替人类做有用功或进行能量转换的重要生产工具。飞机、坦克、电动机、内燃机、数控机床、机器人等都是机器。机器的类型很多,结构多种多样,用途也各不相同,但是它们都具备三个共同的特征:①都是人为的实物组合体;②各实物组合体之间具有确定的相对运动;③能够转换或传递能量、物料或信息。因此,同时具有以上三个特征的实物组合体就称为机器。

在对机器进行研究的过程中,为了提取其共性的基本知识,并进行全面深入的研究,引入了机构的概念。机构具有机器的特征①和特征②。人们习惯将机器与机构统称为机械。

下面以图 1-1 和图 1-2 所示为例加以说明。

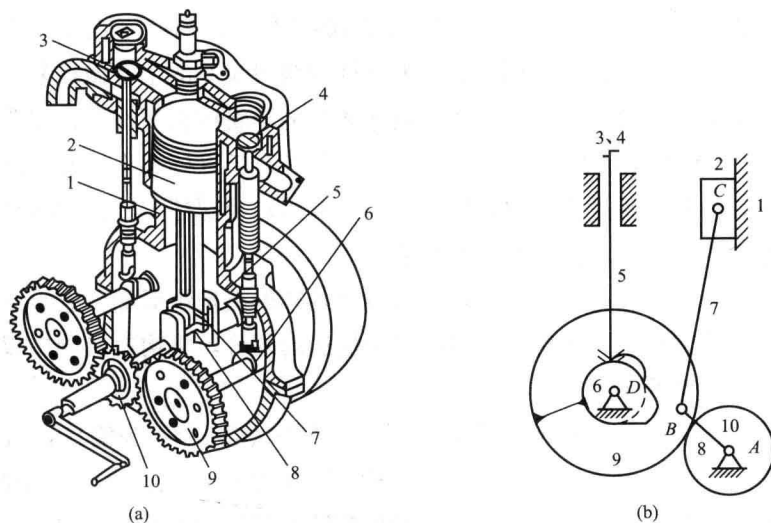


图 1-1 内燃机

(a) 原机构图; (b) 机构运动简图

图 1-1 (a) 所示为一台内燃机。其工作原理如下:燃气由进气管通过进气阀 3 被下行的活塞 2 吸入气缸 1,然后进气阀 3 关闭,活塞 2 上行压缩燃气,点火使燃气在气缸中燃烧、膨胀产生压力,推动活塞 2 下行,通过连杆 7 带动曲轴 8 转动,向外输出机械能。当活塞 2 再次上行时,排气阀 4 打开,废气通过排气管排出。图 1-1 (a) 中凸轮 6 和顶杆 5 用来启、闭进气阀和排气阀;齿轮 9、10 则用来保证进气缸、排气阀和活

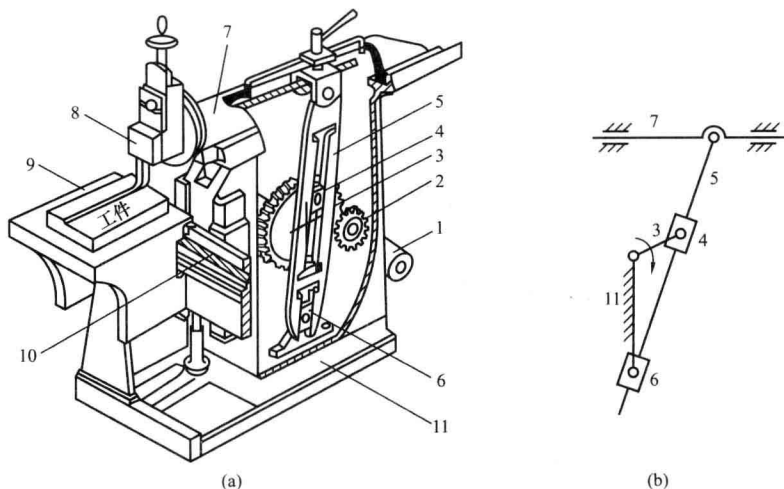


图 1-2 牛头刨床

(a) 原机构图; (b) 机构运动简图

塞之间形成一定规律的动作。上述各部分协同配合动作, 便能将燃气燃烧时的热能转变为曲轴转动的机械能。

图 1-2 (a) 所示为牛头刨床, 它是将电动机 1 的旋转运动通过皮带传动, 使齿轮 2 带动大齿轮 3 转动 (同时传力); 大齿轮 3 上用销子铰接了一个滑块 4, 它可在杆 5 的槽中滑动, 杆 5 下端的槽中有一个与机架 11 铰接的滑块 6, 当大齿轮 3 上的销子做圆周运动时, 滑块 4 在杆 5 的槽中滑动, 同时推动杆 5 绕滑块 6 的中心做往复摆动; 杆 5 的上端用销子和牛头 7 铰接, 推动牛头 7 在刨床床身的导轨中往复滑动, 牛头 7 上装有刀架 8, 牛头在工作行程中切削工件, 回程时, 刀架稍抬起后与牛头一起快速退回。在再次切削行程前, 齿轮 3 通过连杆和棘轮 (图中未画出) 及螺杆 10 使工作台 9 (工件) 横向移动一个进刀的距离, 以进行下一次切削。

通过以上工程实例分析可知, 机器是由各种各样的机构组成的, 它可以完成能量转换、做有用功或处理信息; 而机构则是机器中的运动部分, 机构在机器中仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。

一部机器可能是多种机构的组合体, 如上述的内燃机和牛头刨床, 就是由齿轮机构、凸轮机构、连杆机构等组合而成的。当然, 机器也可能只含有一个最简单的机构, 如人们所熟悉的发电机, 就只含有一个由定子和转子所组成的基本机构。

1.1.2 机械原理课程所研究的内容

研究的内容则是有关机械的基本理论问题。主要有以下几个方面:

(1) 各种机构的分析。

机构的结构分析: 研究机构的组成原理、机构运动的可能性及确定性条件。

机构的运动分析: 研究在给定原动件运动的条件下, 机构各点的轨迹、位移、速度、加速度等运动特性。

机构的力分析：研究机构各运动副中力的计算方法、摩擦、机械效率等问题。

(2) 常用机构的设计。机器的种类虽然极其繁多，但构成各种机器的机构类型却是有限的，常用的有齿轮机构、凸轮机构、连杆机构、间歇运动机构等。本课程将讨论这些机构的设计理论和设计方法。

(3) 机械动力学问题。这里主要研究在已知外力作用下机械的真实运动规律、机械运转过程中速度波动的调节问题以及机械运转过程中所产生的惯性力系的平衡问题。

(4) 机构的选型及机械系统设计的基本知识。机械系统设计是机械方案设计的主要内容，本课程中将介绍机械运动方案设计的步骤、功能分析、机构创新、执行机构的运动规律、机构系统运动的协调设计等基本原则和方法，使学生具有初步拟订机械系统方案的设计能力。

1.2 机械原理课程的地位及学习本课程的目的

1.2.1 机械原理课程的地位

机械原理是一门专业技术基础课程，与物理、工程力学等以阐述某些领域的自然规律为主要任务的基础课程相比更加接近工程实际。另外，机械原理又不同于阐述具有特定工艺的专业课程。机械原理研究的是各种机械所具有的共性问题，并对其常用机构进行较为深入的探讨；而专业课程研究的是具体机械所具有的特殊问题。因此，它比专业课程具有更宽的研究面和更广的适应性，在基础课程与专业课程之间起着承上启下的作用，是高等院校机械类专业的主干技术基础课程，在机械设计系列课程体系中占有非常重要的地位。

1.2.2 学习本课程的目的

(1) 认识和了解机械。机械原理课程中对机械的组成原理、各种机构的工作原理、运动分析乃至设计理论和方法都做了基本介绍，对工科各专业的学生在认识实习、生产实习中认识、了解和使用机械都有很大的帮助。

(2) 为机械类有关专业课程打好理论基础。由于机械的种类极其繁多，它们的性能和工作要求又往往截然不同，为了研究工程实际中的各种特殊机械，在高等院校中相应设置了专门课程，用以研究某类机械所具有的特殊问题。但是，当研究某一具体机械时，不仅需要研究它所具有的特殊问题，还需要研究其所具有的共性问题。机械原理课程正是为此而开设的技术基础课程。

(3) 为机械产品的创新设计打下良好基础。随着科学技术的发展和市场经济体制的建立，多数产品的商业寿命正在逐渐缩短，品种需求逐渐增多，这就使产品的设计和生产要从传统的单一品种大批量生产逐渐向多品种小批量生产过渡。要使所设计的产品在国际市场上具有竞争力，需要设计和制造出大量种类繁多、性能优良的新机械。机械的创新设计首先是在运动方式和执行运动方式的机构上创新，而这正是机械原理课程所研究的主要内容。所以，机械原理课程常被称为创造新机械的课程。

(4) 为现有机件的合理使用和革新改造打下基础。对于机械的操作人员而言,要充分发挥机械设备的潜力,关键在于了解机械的性能。通过学习机械原理这门课程,掌握机构的分析方法,能够了解机械的性能,进而更合理地使用机械。掌握机构和机器的设计方法,才能对现有机件的革新改造提出方案。因此,机械原理课程在培养机械方面的创造性人才中必然起到不可或缺的重要作用。

上述介绍充分说明,机械原理学科的研究领域十分广阔,内容丰富,发展迅猛。机械原理学科涌现的不少前沿的研究课题,具有巨大的吸引力,推动人们进行深入的研究。但是,作为机械类专业的一门技术基础课程,根据教学要求,本课程只能研究一些有关机构及其系统的基本设计原理和基本方法,以便使学生掌握进一步研究机械原理学科的新课题所必需的基础知识。

1.3 机械原理的学习方法

机械原理课程是一门设计性质的重要技术基础课程,它涉及的内容广泛,而且问题的答案往往也不唯一,一种功能的实现有多种方案可供选择和判断。因此,在学习本课程时,发散思维的方式很重要。为了掌握机械原理课程的特点、学好机械原理课程,下面简要介绍本课程的学习方法。

(1) 注意运用先修课程的有关知识。机械原理作为一门技术基础课程,它的先修课程有高等数学、物理、工程图学、理论力学等。其中,理论力学与本课程的联系最为密切。机械原理将理论力学的有关原理应用于实际机械中,具有自己的特点。同时,要注意将理论力学中的有关知识运用(不是照搬)到本课程的学习中。

(2) 学习机械原理知识的同时,注重素质和能力的培养。在学习本课程时,应将重点放在掌握研究问题的基本思路和方法上,着重于创新性思维能力和创新意识的培养。

(3) 重视逻辑思维的同时,加强形象思维能力的培养。从基础课到技术基础课,学习的内容变化了,学习的方法也应有所转变;要理解和掌握本课程的一些内容,要解决工程实际问题,要进行创造性设计,单靠逻辑思维是远远不够的,必须发展形象思维能力。

(4) 注意将所学知识运用于实际,做到举一反三。机械原理是一门实践性很强的应用型课程。善于观察、勤于思考、勇于实践是学好本课程的关键。学习中要注意理论联系实际,将所学知识运用于实际,就能达到举一反三的目的。与本课程密切相关的试验、课程设计、创新大赛及课外科技活动,将为学生提供学以致用的机会。

1.4 机械原理学科的发展简介

1.4.1 现代机械发展的方向及要求

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

涌现。

为了更好地满足生产实际的需要和机械自动化的要求,需要不断创新一些新型机构,如多杆多自由度的平面连杆机构、空间机构、各种组合机构(包括各种含有挠性构件的组合机构)、机电液一体化的机构都在研究之中,有些已得到应用。同时机器人、机械手等仿生机械得到较快的发展,包括高温、高压、有毒、有放射性等特殊条件下工作的机器人和机械手。例如,宇宙飞船上用于收回卫星的机械臂,在核电站安装设备的机器人,在深海海底作业的机器人等。此外,微技术的发展,还创造了一些微型机械,如可在人的腹腔内进行外科手术的手术刀、可在人的血管中爬行的微型机器人等。

随着宇航技术、核技术、海洋开发、医疗器械、工业机器人、微技术等高新科学技术的兴起和计算机的普及应用,机械原理学科也得到了长足的发展。近年来创立了不少新的理论和研究方法,开辟了一些新的研究领域。例如,对于高速重载机械而言,不仅要研究其运动性能,还要研究其动力性能,还要考虑构件的弹性形变、质量分布、连接间隙、机械摩擦等对机械工作的影响,同时还要研究机械的振动、冲击、平衡等问题。在分析与设计中也引用了更为成熟的数学及力学工具,特别是计算机的推广应用,为机械原理学科的发展提供了极有利的条件。计算机辅助分析、计算机辅助设计、优化设计(包括多目标优化设计)都得到迅速发展,并且渐趋成熟。此外,随着现代科学技术的发展,测试手段也日臻完善。可以看出,生产发展的需要是学科发展的主要动力;而学科的发展又反过来促进了生产的发展,提高了生产的水平。可以期望,随着生产对技术现代化的要求不断提高,机械原理学科必将更加迅速地发展。

1.4.2 机械原理学科发展的现状

处于机械工业发展前沿的机械原理学科,为了适应种种情况,研究课题与日俱增,研究方法日新月异。

(1) 在新机构研发方面,为适应生产发展的需要,当前在自控机构、机器人机构、仿生机构、柔性机构,以及机、电、光、声、液、气、热的综合机构等的研制上已获得了很大的进展。

(2) 在连杆机构方面,重视对空间连杆机构、多杆多自由度空间机构、特殊串联及多环并联机构、连杆机构的弹性动力学和连杆机构的动力平衡的研究。

(3) 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。

(4) 在凸轮机构方面,十分重视对高速凸轮机构的研究。为了获得动力性能好的凸轮机构,在凸轮机构推杆运动规律的开发、选择和组合上做了很多工作。

(5) 在组合机构方面,为了适应现代机械高速度、快节拍、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、各种机构的变异和组合等。

(6) 在机械的分析与综合方面,一方面,由只考虑其运动性能过渡到同时考虑其动力性能;考虑到机械在运转时,构件的振动和弹性变形,运动副中的间隙和构件的误差

对机械运动及动力性能的影响；如何对构件和机械进一步做好动力平衡的问题等。另一方面，日益广泛地应用了计算机，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数学工具，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，以及测试手段的完善，加强了对机械的试验研究。



本章知识点

本章介绍了机器的定义、分类及其组成，给出了机械、机构、构件、零件及机械原理的基本概念、基本内容；介绍了机械原理在现代产品开发中的地位和作用；指出了该课程的特点以及学习方法；介绍了现代机械的发展方向及该课程的发展现状。



思考题及练习题

- 1-1 试说明机构与机器的异同，怎样看待机电一体化中的机构。
- 1-2 试举例说明机器的分类。
- 1-3 各种机构和机器有哪些共性？
- 1-4 现代机械发展方向及要求有哪些？



第2章 平面机构的结构分析

平面机构的结构分析主要研究内容如下:

(1) 研究机构的组成及其具有确定运动的条件。目的是弄清机构包含哪几个部分,各部分如何相连,以及怎样的结构才能保证具有确定的相对运动,这对于设计新的机构尤其重要。

(2) 研究机构的组成原理,并根据结构特点对机构进行分类。机构虽然形式多样,从结构上讲,它们的组成原理都是一样的。此外,根据结构特点,可对机构进行分类,并将机构分解成若干个基本杆组。同一类的基本杆组,可应用相同的方法对其进行运动分析和力的分析。

(3) 研究机构运动简图的绘制,即研究如何用简单的图形表示机构的结构和运动状态。

(4) 研究机构结构的综合方法,即研究在满足预期运动及工作条件下,如何综合得出机构可能的结构形式。

2.1 组成机构的要素

如前所述,机器是由机构组成的,而机构必须是由具有确定运动的实物即一些具有相对独立运动的单元体组成,这些单元体称为构件,如图2-1和图2-2所示的构件1、2。各构件组成机构时是按一定的方式连接而成的,构件之间的连接在机构中称为运动副,因此,机构是由构件和运动副两个要素组成的。

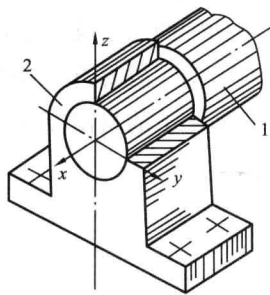


图 2-1 转动副

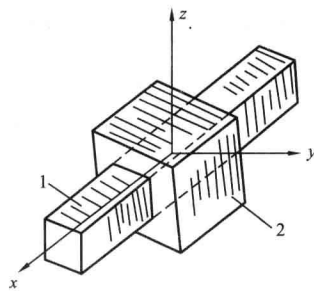


图 2-2 移动副

2.1.1 构件

所谓构件是指作为一个整体参与机构运动的刚性单元。一个构件可以是不能拆开的

单一的零件,也可以是由若干个不同零件装配起来的刚性体,如内燃机中的连杆是由连杆体、连杆头、螺栓、螺母、垫圈等零件装配成的刚性体。由此可见,构件与零件的区别在于:构件是运动的单元,而零件则是加工制造单元。本课程以构件作为基本单元来研究。

2.1.2 运动副

1. 运动副的定义

两个构件直接接触且能产生一定相对运动的连接称为运动副。图 2-1 所示的轴 1 与轴承 2 的连接、图 2-2 所示的滑块与导轨的连接、图 2-3 所示的两轮轮齿的啮合等均为运动副。组成一个运动副需满足以下三个条件:

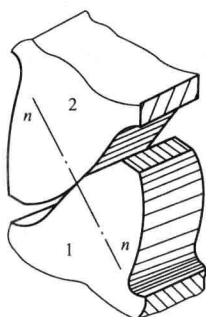
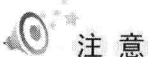


图 2-3 高副

- (1) 组成一个运动副需要且只需要两个构件。
- (2) 组成一个运动副的两构件必须直接接触。
- (3) 组成一个运动副的两构件间必须存在相对运动。

组成运动副的两构件间的接触形式有点、线、面三种。构件上参与接触而构成运动副的部分称为运动副元素。如图 2-1~图 2-3 所示,运动副元素分别是圆柱面和圆柱孔面、平面、齿廓曲面。



注意

一个运动副有两个运动副元素,它们分属于组成该运动副的两个构件。

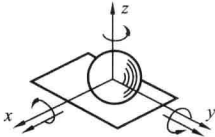
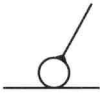
很显然,两构件间的运动副所起的作用是限制构件间的相对运动,这种限制作用称为约束。如图 2-1 所示,构件 2 限制了构件 1 沿三个坐标轴的移动和绕 y 、 z 轴的转动,构件 1 只能绕 x 轴转动。这说明两构件以某种方式相连接而构成运动副,其相对运动便受到约束,自由度就相应减少,减少的数目等于该运动副所引入的约束数目。当物体在三维空间自由运动时,其自由度有 6 个,即沿三个坐标轴的三个移动和绕它们的三个转动。由于两构件构成运动副后,仍需具有一定的相对运动,故具有 6 个相对运动自由度的构件,经运动副引入的约束数目最多只能为 5 个,而剩下的自由度至少为 1 个。

2. 运动副的分类

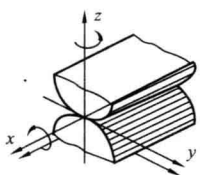
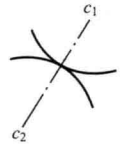
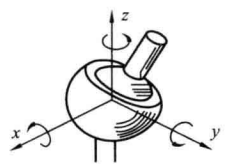
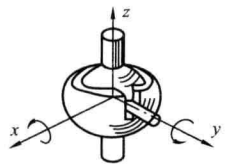
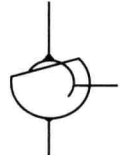
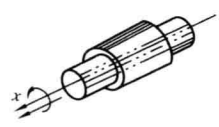
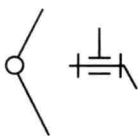
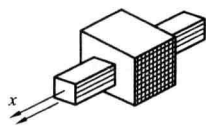
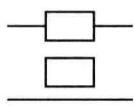
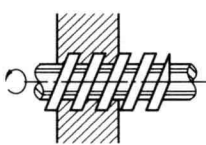
运动副的分类方法有很多,常用运动副及其简图见表 2-1。

表 2-1

常用运动副及其简图

名 称	图 形	简图符号	副级	自由度
球面高副			I	5

续表

名 称	图 形	简图符号	副级	自由度
柱面高副			II	4
球面低副			III	3
球销副			IV	2
圆柱套筒副			IV	2
转动副			V	1
移动副			V	1
螺旋副			V	1