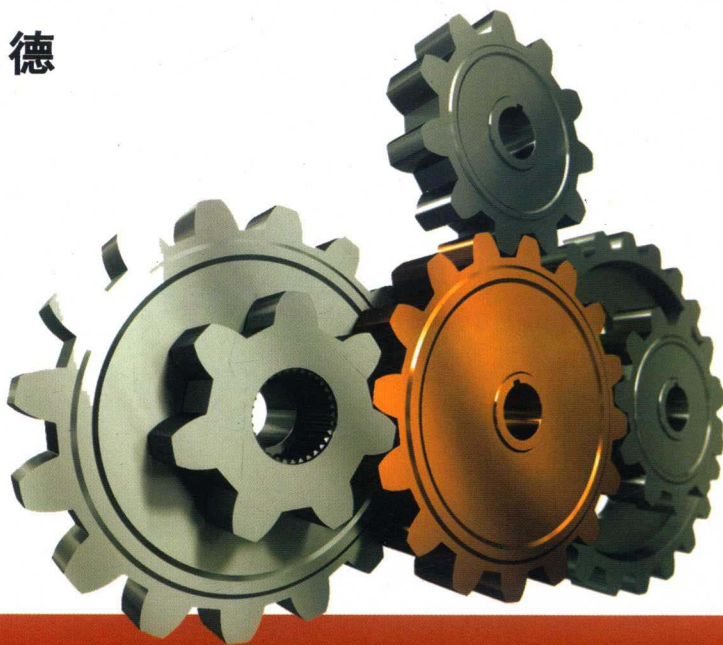


21 世纪精品教材系列

机械原理

J I X I E Y U A N L I

主编◎王云德



 吉林大学出版社

21 世纪精品教材系列

机 械 原 理

主 编 王云德

副主编 刘孜文 王 雷 邱晓庆

主 审 张承国

 吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械原理 / 王云德主编. — 长春 : 吉林大学出版社, 2014.12

ISBN 978-7-5677-3008-3

I. ①机… II. ①王… 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(2014)第 304719 号

书 名:机械原理
作 者:王云德 主编

责任编辑:李伟华 责任校对:魏丹丹
吉林大学出版社出版、发行
开本:787×1092 毫米 1/16
印张:20 字数:450 千字
ISBN 978-7-5677-3008-3

封面设计:可可工作室
北京楠海印刷厂印刷
2015年2月第1版
2015年2月第1次印刷
定价:39.00元

版权所有 翻印必究

社址:长春市明德路501号 邮编:130021

发行部电话:0431-89580028/29

网址:<http://www.jlup.com.cn>

E-mail:jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

本书是在教育部高等学校机械基础课程中有关“机械原理”课程教学基本要求及机械原理课程教学改革建议的指导下,结合应用型本科机械类专业人才的培养目标和近年来教学改革实践的经验编写而成的。

《机械原理》是机械类专业中研究机械共性问题的一门主干技术基础课。它的任务是使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,并初步具有拟定机械运动方案、分析和设计机构的能力。它在培养高级工程技术人才的全局中,具有增强学生对机械技术工作的适应能力和开发创造能力的作用。为实现机械原理课程教学的这一宗旨,本书在内容的取舍及阐述方面,着重于讲述有关机械原理的基本概念、基本理论和基本方法,并使论述尽可能做到深入浅出,图形简捷、形象、直观,符合学生认知规律。同时,编者特别注意在机械原理课程传统板书教学的基础上,结合当前多媒体教学特点,注重教科书与多媒体教学课件有机地协调配合,以提高学生听课效率。书中尽可能多地增加一些由浅入深的典型例题和较详细的解题步骤,并在各章辅以内容提示和学习要点,以最大限度地为教师执教和学生自学提供方便。另一方面,由于计算机技术的发展,在机构分析与设计方面加强了解析法的阐述,保留了形象直观、易于理解且仍有实际应用价值的图解法。为加强培养学生们的设计思维和设计创新能力以及机构的选型、分析与设计的综合能力,适当增加了有关机构变异创新、组合创新和机械系统运动方案设计的内容。

本书在教学体系与教学内容上进行了系统改革:在体系上,以创新思维训练为主线,以应用领先为重点;在内容取舍上,注重先进性与实用性,注重知识面的广阔性;在内容编排上,大胆创新,注重主动实践,通过案例培养学生创新意识和能力,内容力求简明、新颖、有实用性。本书面向产品设计,注重启发创新思维,加强实践,培养学生扎实的工程设计能力,即以机构设计为主线,重点讨论机构设计的一般规律和方法,将设计基本知识、基本理论和设计方法有机地融合,加强创新思维和工程设计能力的训练,并通过理论与实践有机的联系,为现代机械产品设计提供必要的基础知识与方法。

本书由王云德担任主编。参加编写的有:王云德(模块 5、6、及全书通稿校对)、刘孜文(模块 1、2、3、12)、王雷(模块 7、8、10 及附录)、邱晓庆(绪论模块 4、9、11、13)。本书由张承国教授主审,张承国教授对本书提出了许多宝贵意见,编者在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助,参考了许多教授、专家的有关文献,在此谨向他们表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中难免有漏误和不足之处,恳请使用本教材广大同仁和读者提出宝贵的意见和建议。

编者
2015 年 2 月



目 录

绪 论	(1)
模块一 平面机构的结构分析	(5)
课题 1 机械结构分析的内容、目的及组成	(6)
课题 2 平面机构运动简图	(9)
课题 3 平面机构的自由度	(11)
课题 4 平面机构的组成原理、结构分类及结构分析	(16)
课题 5 机构结构的型综合及其设计	(19)
模块二 平面机构的运动分析	(28)
课题 1 机构分析的任务、目的和方法	(28)
课题 2 用速度顺心法分析机构的速度	(29)
课题 3 用相对运动图解法分析机构的速度和加速度	(31)
课题 4 用解析法分析机构的速度和加速度	(38)
课题 5 机构运动线图	(45)
模块三 平面机构的力分析	(48)
课题 1 研究机构力分析的任务、目的和方法	(48)
课题 2 构件惯性力的确定	(49)
课题 3 机构运动副中摩擦力的确定	(51)
课题 4 不考虑摩擦力的机构分析	(56)
课题 5 考虑摩擦时机机构的受力分析	(61)
模块四 平面连杆机构及其设计	(66)
课题 1 平面连杆机构及其传动特点	(66)
课题 2 平面四杆机构的基本形式及其演化	(67)
课题 3 平面四杆机构的主要工作特性	(71)
课题 4 平面四杆机构的设计	(78)
课题 5 多杆机构	(90)
模块五 齿轮机构及其设计	(99)
课题 1 齿轮机构的特点及分类	(99)
课题 2 齿轮啮合基本定律	(101)
课题 3 渐开线、渐开线齿轮及其啮合特点	(104)
课题 4 渐开线标准齿轮的基本参数及几何尺寸	(106)
课题 5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	(110)



课题 6 渐开线齿廓的展成加工及根切现象	(115)
课题 7 变位齿轮简介	(118)
课题 8 斜齿圆柱齿轮传动	(125)
课题 9 蜗杆传动	(133)
课题 10 圆锥齿轮传动	(136)
课题 11 其他曲线齿廓的齿轮机构简介	(139)
模块六 齿轮系及其设计	(146)
课题 1 齿轮系及其分类	(147)
课题 2 定轴轮系的传动比计算及应用	(147)
课题 3 周转轮系的传动比计算机组成	(151)
课题 4 复合轮系的传动比计算及应用	(154)
课题 5 行星轮系各轮齿数和行星轮数的选择	(160)
课题 6 新型轮系及应用	(162)
模块七 凸轮机构及其设计	(170)
课题 1 凸轮机构的应用和分类	(170)
课题 2 从动件的运动规律	(172)
课题 3 凸轮廓曲线设计	(177)
课题 4 凸轮机构基本尺寸的确定	(185)
课题 5 高速凸轮机构简介	(191)
模块八 其他常用机构	(196)
课题 1 万向联轴器	(196)
课题 2 螺旋机构	(200)
课题 3 棘轮机构	(201)
课题 4 槽轮机构	(205)
课题 5 不完全齿轮机构	(210)
课题 6 凸轮式间歇运动机构	(213)
课题 7 非圆齿轮机构	(215)
课题 8 擒纵机构	(217)
课题 9 星轮机构	(218)
课题 10 组合机构	(219)
课题 11 含有某些特殊构件的广义机构	(223)
模块九 机械的效率和自锁	(227)
课题 1 机械的运动和功能关系	(227)
课题 2 机械的效率	(228)
课题 3 机械的自锁	(231)
模块十 机械的平衡	(235)
课题 1 机械平衡的目的、分类	(235)
课题 2 刚性转子的平衡计算	(236)
课题 3 刚性转子的平衡实验	(238)



课题 4	转子的许用不平衡量	(241)
课题 5	平面机构的平衡	(242)
模块十一	机械的运转及其速度波动的调节	(248)
课题 1	概述	(248)
课题 2	机械等效动力学模型	(251)
课题 3	机械运动方程式的建立及解法	(255)
课题 4	机械周期性速度波动的调节方法和设计指标	(259)
课题 5	机械的非周期性速度波动及其调节	(260)
课题 6	飞轮设计	(261)
模块十二	机械系统的方案设计	(268)
课题 1	概述	(269)
课题 2	机械工作原理的拟定	(270)
课题 3	执行构件的运动设计及原动机的选择	(272)
课题 4	机构的造型和变异	(275)
课题 5	机构的组合	(278)
课题 6	机械系统方案的拟定	(281)
课题 7	机械系统方案拟定	(283)
模块十三	现代技术在机械分析和综合中的应用	(289)
课题 1	概述	(290)
课题 2	单杆及杆组的运动分析	(291)
课题 3	单杆及杆组的力分析	(298)
课题 4	平面机构的分析示例	(304)
参考文献	(312)

绪论

【教学要点】

1. 明确本课程研究的对象、内容、性质及在培养人才中的地位、任务和作用。
2. 了解机械原理学科的发展现状及发展趋势。

一、机械原理课程的研究对象

“机械”是“机器”和“机构”的总称。“机械原理”是一门以机器和机构为研究对象的学科。

机器这一概念多少年来已逐渐在人们的头脑中形成,而且还在不断发展。机器的种类繁多,其构造、性能和用途等各不相同。如图 0-1 所示为单缸四冲程内燃机,它是由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和 10 等所组成。活塞的往复移动通过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。三个齿轮保证进、排气阀和活塞之间形成有一定节奏的动作。以上各件的协同工作便能使燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。又如如图 0-2 所示的五自由度关节式焊接机器人是由基座 1、立柱 2、下臂 3、上臂 4、连杆 5、螺杆 6、螺母 7、手腕 8 和五个电动机(图中只看到 M_1 、 M_2 和 M_3 三个)等组成。其中 M_1 经减速器使螺杆 6 旋转,带动螺母 7 和连杆 5 使上臂 4 作角度为 φ_3 的俯仰运动。其他四个电动机分别通过减速器使立柱 2 相对基座 1 作角度为 φ_1 的水平回转;使下臂 3 作角度为外的前后倾斜运动;使手腕 8 角度为 φ_4 和 φ_5 的弯曲和旋转运动。最后实现对焊炬位置和姿态的控制。再如电动机是由一个转子(电枢)和一个定子所组成。当定子中有电流输入时,转子便能作回转运动,使电能转换为机械能。从以上三个例子可以看出,这些机器的构造、性能、用途等虽然不同,但从其力学特性和在生产中的地位来看,它们仍保持着下列共同的特征。即:

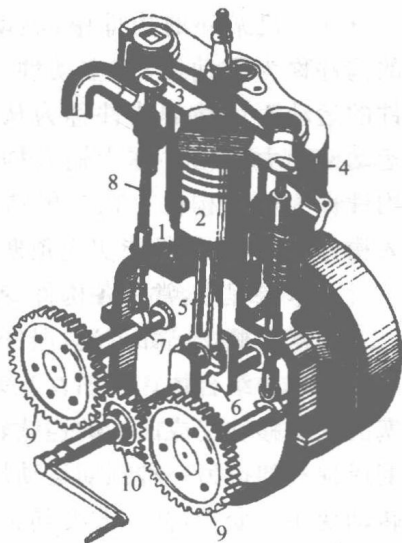


图 0-1 单缸四冲程内燃机

1) 它们都是由各种材料做成的制造单元(通常称为零件)经装配而成的各个运动单元(通常称为构件)的组合物;

2) 各个运动单元之间具有确定的相对运动。当在预定的力约束条件下,其中一个或一个以上单元的运动一定时,该组合物就能实现预期的机械运动;

3) 在生产过程中,它们能代替或减轻人的劳动,完成有用的机械功(如机器人仿人工作)或转换机械能(如内燃机、电动机分别将热能和电能转换成机械能)。

因此,机器是执行机械运动的装置,用来完成有用的机械功或转换机械能。凡用来完成有用功的机器称为工作机,如各种机床、起重机、轧钢机、纺织机、搅拌机、发电机,凡将其他



形式的能量转换为机械能的机器称为原动机,如内燃机、蒸汽机、电动机等。工程中大多是工作机和原相配合应用,有时再加上独立的传动装置(如齿轮减速器等),则称为机组。

机器中的构件可以是单一的零件,也可以是由几个零件装配成的刚性结构。所以说构件和零件是两个不同的概念,构件是运动单元,而零件是制造单元。在本课程中,我们将构件作为研究的基本单元。

凡本身固定不动的构件,或相对地球运动但固结于给定坐标参考系并视为固定不动的构件统称为机架。前者如各种固定在地基上的机座;后者如飞机的机体和车辆的车架。由于机架支持各个作相对运动的构件,故研究它们的运动时,通常以机架为基准,即假定它是静止的。

在除机架外的构件中,驱动力(或力矩)所作用的构件称为原动件,或主动件。而其余随着原动构件的运动而运动的构件称为从动构件,也有将输入运动或动力的构件称为输入构件,而将输出动力的构件称为输出构件。在一般情况下,原动构件即输入构件,而从动构件能实现预期运动的构件即为输出构件。

在本课程中,常将各构件专门名称中的“构件”简称为“件”,如原动件、从动件等。

机器的概念已如上述,但仔细分析有关图例可以发现,一般机器还不是能实现预期运动的最基本的组合体。在图 0-1 所示的内燃机中,活塞、连杆、曲轴和气缸体组合起来,可将活塞的往复移动变成曲轴的连续转动;凸轮、顶杆和气缸体的另一组合,可将凸轮的连续转动变成顶杆的按另一种预期运动规律的往复移动;而三个齿轮与气缸体组合在一起后,又可将转动变快或变慢,甚至改变转向。这些具有各自运动特点且均含有一个机架(这里是气缸体)的组合体才是基本的。人们将能实现预期的机械运动的各构件(包括机架)的基本组合体称为机构。因此,机器应是由各种机构所构成的系统。多数机器都包含着若干个不同的机构,上述内燃机就包含了曲柄滑块机构、凸轮机构和齿轮机构等三个不同的机构。最简单的机器只含有一个最简单的机构,如电动机、鼓风机等只含有一个双杆回转机构。

由于机器最终承担了“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”的任务,故一般认为机器的研究重点是功能问题,延伸来说机器与其应用有密切的联系;而机构的研究重点是在其结构、运动和力作用等基本方面。两者研究的着重点有所不同。

随着近代科学技术的发展,机器和机构的概念也有相应的变化。如当今人类不仅对力学有了深刻的认识,而且在数学、电子学、自动控制、计算机等科学技术方面也有了巨大的进步。人类综合应用了各方面的知识和技术,不断创造出各种新型的机器。特别是电子计算机(电脑)的出现和不断完善,在减轻人类的脑力劳动方面有显著的成效。这类机器除具有使其内部各机构正常动作的先进控制系统外,还包含有信息采集、处理和传递系统等。因此,“机器”的概念可以扩充为:一种用来转换或传递能量、物料和信息的、能执行机械运动的装置。这些是“机构”所不具备的。至于当前机构所涉及的问题也日益广泛化和多样化。如组成机构的构件在有些情况下已不能简单地看成刚体;有时候气体和液体也参与了实现预

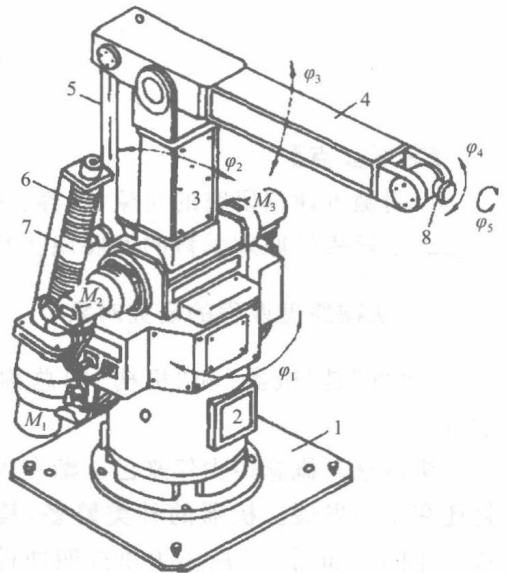


图 0-2 五自由度关节式焊接机器人



期的机械运动。对于前者含有弹性构件的机构学已成为本学科的研究内容之一；而后者特称之为气动机械和液压机械，已形成新的专门课程。至于“机组”的概念，在有些情况下也应包括独立的电子计算机控制系统和其他系统，如“机器人”便是包括多种系统的机组。

二、机械原理课程的内容及在培养人才中的地位、任务和作用

1. 机械原理课程的内容

如前所述，机械原理是一门研究机构和机器的学科。为了科学系统性和便于教学起见，在机械原理课程中，我们将各种机器的共同问题归纳成机构的结构和运动学以及机构和机器的动力学两大部分来讨论。这两部分的具体内容如下：

(1) 机构的结构和运动学分析机构的结构是为了研究机构运动的可能性和确定性，并进一步讨论机构的组成原理；机构的运动学不考虑引起机构运动的力的作用，而从几何的观点来研究机构各点的轨迹、位移、速度和加速度的求法，以及按已知条件来设计新机构的方法。

(2) 机构和机器的动力学研究在机械运动过程中作用在机构各构件上的力分析和惯性力的平衡问题；并研究确定机械效率的方法和已知力作用下机械的真实运动规律，以及作用力、运动构件的质量和这些构件的运动之间的关系，即机械的运转和调速问题。

就上述内容的性质而论，机械原理所研究的问题又可归纳为两类：第一类问题是根据已有机构的结构和主要参数来分析该机构或所组成机器的各种特性（结构、运动学和动力学），即机构和机器的分析问题，如机构的结构分析、运动分析、力分析和在已知力作用下机器的真实运动等；第二类问题是根据预期的各种特性来确定新的机构和机器的型式、结构和主要参数，即机构和机器的设计问题，如各种主要机构的运动设计、机构的平衡和机器速度波动的调节等。这里研究的问题只限于就与机构和机器的运动和动力特性有关的机构型式、结构和各部主要参数之间的关系进行综合，而不研究与机械零件有关的问题，如零件的形状、构造、强度、材料和工艺等。故在机械原理学科中常用“综合”来代替上述的“设计”这一名词，以示区别。综合也就是分析的逆问题。

为了在有限的学时中能对机器中最典型和常用的机构有较深入的探讨，故本课程以作平面运动的平面机构为主要内容。

电子计算机的应用为本课程提供了先进的工具和新的途径（如优化、仿真等），使机构和机器的分析和综合中的一些复杂问题成为实际可行。另一方面，测试技术的进步为机械运动学和动力学的研究创造了有利条件。本课程中（包括课程设计和实验）均有所涉及。

2. 机械原理课程在培养人才中的地位、任务和作用

机械的种类是十分繁多的，因此在高等工业学校中，相应地设置了各种专业的课程来详细地研究各种不同用途的专门机械。但是当研究任意具体的机械时，不仅需要研究它所具有的特殊问题，而且还要研究所有机械的共同问题。机械原理便是为此目的而开设的技术基础课程。它是以高等数学、普通物理、机械制图及理论力学等课程为基础，同时又为以后学习机械设计和有关专业课程以及掌握新的科学技术成就打好工程技术的理论基础，并能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。因此，《高等工业学校机械原理课程数学基本要求（机械类专业适用）》明确指出：机械原理是机械类专业中研究机械共性问题的一门主干技术基础课。它的任务是使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，并初步具有拟定机械运动方案、分析和设计机构的能力。它在培养高级工程技术人才的全局



中,具有增强学生对机械技术工作的适应能力和开发创造能力的作用。

三、机械原理学科的发展趋势

根据以上所述,“机械原理”是“机构和机器的原理”的总称。在国内也有称作“机器理论与机构学”,国际上有相应的学科组织称为国际机器理论与机构学联合会(International Federation for Theory of Machines and Mechanisms,简称 IFTOMM)。从近几年该会组织交流的学术论文反映,本学科的发展趋势有以下几个方面:

(1)平面、空间机构的分析与综合平面机构研究中主要是涉及机构的型、数综合和活动度分析,其中较多地应用图论这一数学工具来研究问题;对于机构运动学和动力学的新理论和新方法也注意研究。

空间机构的研究中有涉及平面机构理论向空间机构推广的问题,也有研究空间基本机构分析与综合的新方法。

(2)机器人机构由于机器人是当前研究的热点,所以在机构学中形成了专题研究。其中以普通、特殊串联,多环并联机器人是当前研究的热点,所以在机构学中形成了专题研究。其中以普通、特殊串联,多环并联机构,步行和蛇行机器人机构等为研究对象,包括结构分析、运动学、动力学建模,最优控制,参数识别,步态规划,灵巧手设计等多个研究领域。

(3)齿轮及其传动在齿轮传动方面,主要研究内容包括啮合理论,动力学建模和行星齿轮传动等方面。其中有关齿轮啮合理论和齿轮系统动力学都有较大的进展。

(4)计算机辅助设计与优化方法机构设计的优化方法研究大多结合具体的机械进行。值得注意的动向是人工智能、专家系统以及面向目标的程序设计技术已逐步渗透到机构设计领域。机械系统动力学有关研究面比较广泛,如转子动力学、振动与噪声、机器与机构动力学、非线性振动与冲击等专题。从研究内容看,20世纪80年代初以机构运动弹性动力学、考虑运动副间隙的机构动力学为代表的研究热点已转移为对机器人柔性臂的动态精度分析和控制。此外,对非线性和自激振动系统的研究、大型复杂机械设备的故障诊断与在线监测、带有计算机闭环系统的振动、噪声主动控制等,也已成为目前国内外学者的研究热点,实际上也体现了机械系统动力学应着眼于解决生产中的实际问题的关键所在。

以上所述也只是挂一漏万地简单介绍。从整个世界看,自20世纪现代物理学的新成就带动了现代自然科学的全面发展,蕴育着新的科学技术革命高潮和科学技术发展走向综合化的新趋势。以电子学为基础的各种新技术向传统的机械渗透,形成了一种机械和电子技术密切结合的复合技术机电一体化(Mechatronics)对实现变速、减速、复杂的运动规律和轨迹、微位移等都有其独到的优越性。甚至可将机构及其原动机、传感器、控制器和电源等整个系统集成于几毫米、甚至几百微米之间的微型机械电子系统(MicroElectro-Mechanical System, MEMS)亦已出现。根据这种趋势,机械原理的前沿学科将产生深刻的技术革命。

综合练习题

- 0-1 车床是机器吗?手表是机器吗?请回答出原因。
- 0-2 什么叫机械?什么叫机器?什么叫机构?什么叫构件?什么叫零件?
- 0-3 机械原理研究的对象是什么?
- 0-4 机械原理研究哪些内容?



模块一 平面机构的结构分析

【模块教学目标】

机构是机械设计研究的主要对象,对机构的研究则主要集中在各种机构的分析和综合(设计)两个方面。为了对机构进行研究,首先要知道机构是如何形成的?其次在什么条件下机构才有确定的运动?最后在设计新的机构或对已有的机构进行分析时如何把要研究的机构用简单的图形表示出来?所以本章的教学目的了解机构的组成及机构具有确定运动的条件,了解能表征机构运动情况的机构运动简图的画法,为对已有机构进行分析或创造新的机构提供基本条件。

【模块教学重点和难点】

1. 运动副和运动链的概念。
2. 机构运动简图的绘制。
3. 机构自由度的计算及机构具有确定运动的条件。

【案例导入】

如图 1-1 所示为颚式破碎机,其主体机构是由机架 1、偏心轴 2、动颚 3、衬板 4 四个构件连接组合而成,电动机通过带轮 5 拖动偏心轴 2,从而驱动动颚 3 作平面运动,将矿石破碎。

利用本模块的知识,分析破碎机机构的组成,绘制出它的机构运动简图并确定其机构具有确定运动的条件。

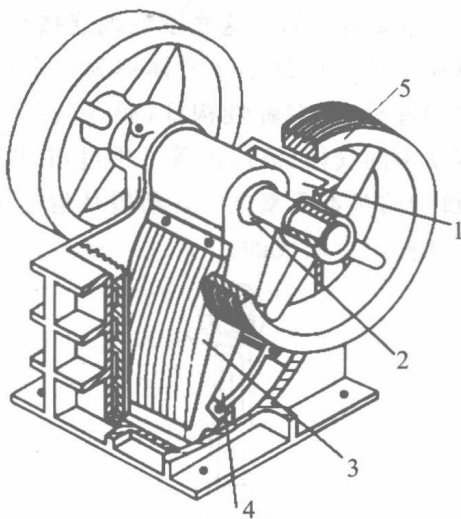


图 1-1 颚式破碎机

1—机架 2—偏心轴 3—动颚 4—衬板 5—带轮



课题 1 机械结构分析的内容、目的及组成

一、机构结构分析研究的主要内容及目的是：

1. 研究机构的组成及机构运动简图的画法

研究机构是怎样组成的,以及为了了解机构,并对机构进行分析与综合,研究如何用简单的图形,即机构运动简图,把机构的结构状况表示出来。

2. 了解机构具有确定运动的条件

机构要能正常工作,一般必须具有确定的运动,因而必须知道机构具有确定运动的条件。

3. 研究机构的组成原理及结构分类

研究机构的组成原理,有利于新机构的创造,而根据组成原理,将各种机构进行结构分类,有利于对机构进行运动及动力分析和结构设计。

二、机构的组成

1. 构件

任何机器都是由许多零件组合而成的。如图 0-1 所示的内燃机就是由气缸、活塞、连杆体、连杆头、曲柄、齿轮等一系列零件组成的。在这些零件中,有的是作为一个独立的运动单元体而运动的,有的则常常由于结构和工艺上的需要,而与其他零件刚性地连接在一起作为一个整体而运动,例如图中的连杆就是由连杆体、连杆头、螺栓、螺母、垫圈等零件刚性地连接在一起(图 1-2)作为一个整体而运动的。这些刚性地连接在一起的零件共同组成一个独立的运动单元体。机器中每一个独立的运动单元体称为一个构件(此处所指构件是指刚性构件的简称。机器中除刚性构件外,尚有弹性构件,如弹簧;柔性构件,如绳、索、带等;气体构件及液体构件,如气、液传动中的气体、液压油等。不过,在机械原理课程中着重讨论刚性构件。)。可见,构件是组成机构的基本要素之一。所以从运动的观点来看,也可以说任何机器都是由若干个(两个以上)构件组合而成的。

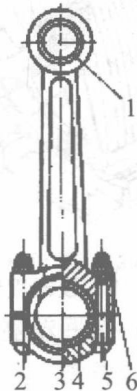


图 1-2 连杆

1—铜套 2—连杆体 3—连杆头 4—轴瓦 5—螺栓 6—螺母



2. 运动副

机构是由许多构件组合而成的。在机构中,每个构件都以一定的方式与其他构件相互联接。相互联接的两构件既保持直接接触,又能产生一定的相对运动。我们把两构件直接接触形成的可动联接称为运动副。例如轴颈与轴承之间的联接、轮齿与轮齿之间的联接以及滑块与导槽之间的联接都构成运动副。构件之间的接触不外乎点、线、面三种。例如滚珠轴承的滚珠与内、外座圈之间为点接触;互相啮合的轮齿之间为点或线接触;而轴颈与轴承或滑块与导槽之间则为面接触。这些参与接触而构成运动副的点、线、面称为运动副元素。按照接触的特性,通常把运动副分为低副和高副。面接触的运动副称为低副,点接触或线接触的运动副称为高副。

按照组成运动副两构件间的相对运动是平面运动还是空间运动,可以把运动副分为平面运动副和空间运动副。以下主要讨论有关平面运动副的内容。

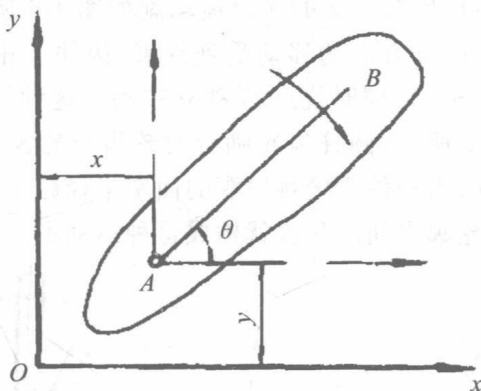


图 1-3 构件作任意复杂平面运动分解为三个独立运动

由理论力学可知,构件作任意复杂平面运动时,其运动可分解为三个独立运动:沿 x 轴的移动,沿 y 轴的移动和绕垂直于 xOy 平面的轴转动。这三个独立运动也可以用图 1-3 所示的三个独立参变量(任一基点 A 的坐标 x 和 y ,以及任一直线的倾角 θ 来描述)。当 x 值变化时,构件将沿 x 轴移动;当 y 值变化时,构件将沿 y 轴移动;当 θ 值变化时,构件将在平面内转动。我们把构件所具有的独立运动的数目(或确定构件位置的独立参变量的数目)称为自由度。显然,作平面运动的自由构件具有三个自由度。但是,当它与另一构件组成运动副之后,构件间的直接接触使某些独立运动受到限制,自由度便随之减少。我们把对独立运动所加的限制称为约束。每加上一个约束,构件便失去一个自由度;加上两个约束,构件便失去两个自由度。两构件间约束的多少和约束的特点完全取决于运动副的型式。

下面来详细讨论各种平面运动副的约束特点。

具有两个约束而相对自由度等于 1 的平面运动副如图 1-4 和图 1-5 示,图中 xOy 为运动平面。

图 1-4 所示运动副,构件 2 沿 x 轴和 y 轴的两个相对移动受到约束,构件 2 只能绕垂直于 xOy 平面的轴相对转动。这种具有一个独立相对转动的运动副称为转动副,也有称为回转副或铰链。轴颈和轴承间的联接、铰链的联接都构成转动副。

图 1-5 所示运动副,构件 2 沿 y 轴的相对移动和绕垂直于一平面的轴的相对转动受到约束,构件 2 只能沿 x 轴相对移动。这种具有沿一个方向独立相对移动的运动副称为移动副或称为棱柱副。

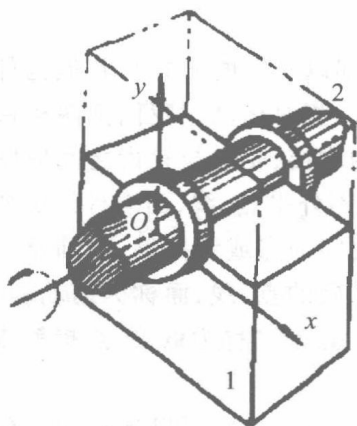
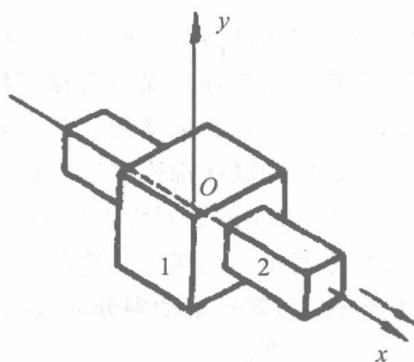


图 1-4 转动副



1-5 移动副

具有一个约束而相对自由度等于 2 的平面运动副如图 1-6 所示。在这种由曲线构成的运动副中,构件 2 沿公法线 $n-n$ 方向的移动受到约束,构件 2 相对于构件 1 可以沿接触点切线 $t-t$ 的方向独立移动,还可以同时绕点 A 独立转动。这种具有两个独立相对运动的运动副,其一般型式如图 1-6(a)所示,圆柱齿轮啮合时轮齿与轮齿间的联接、滚子与凸轮轮廓之间的联接都属于这种情况;当构件 2 接触轮廓的曲率半径趋于零,则演化成图 1-6(b)所示的型式,尖底从动件与凸轮轮廓之间的联接就构成这种运动副。

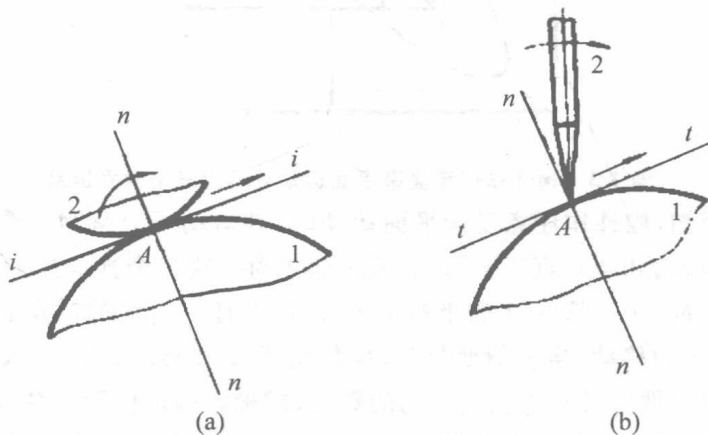


图 1-6 高副

因为约束一个相对转动而保留两个独立相对移动的运动副是不可能存在的。因此,从相对运动来看,平面运动副不外乎上述三种型式。

不难看出,上述平面运动副中,低副(转动副和移动副)具有两个约束;高副(图 1-6(a)、(b))具有一个约束。

二、运动链

两个以上构件以运动副联接而成的系统称为运动链。如果组成运动链的每个构件至少包含两个运动副元素(图 1-7(a)),则构件形成封闭系统,这种运动链称为闭链;反之,如果运动链中有的构件只包含一个运动副元素(图 1-7(b)),便称为开链。由图可见,对于闭链,动其一杆(或少数杆)即可牵动其余便于传递运动,故广泛应用于各种机械。开链主要应用于机械手、挖掘机等多自由度的机械之中。

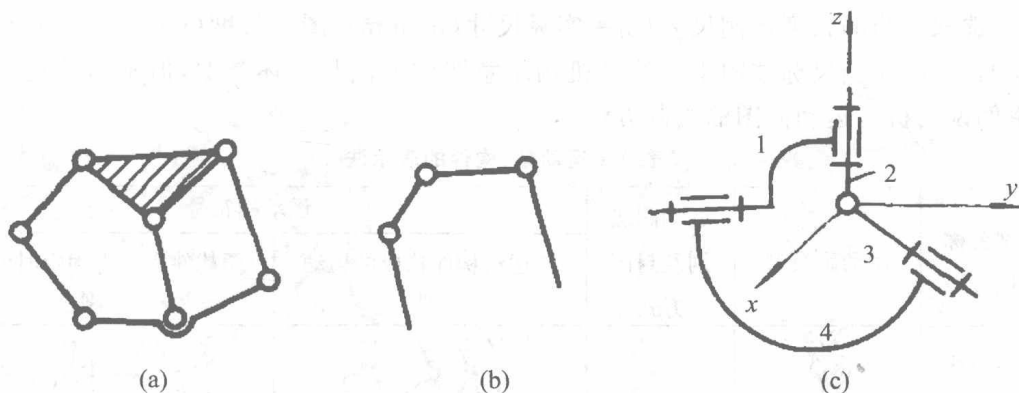


图 1-7 运动链

(a) 闭链 (b) 开链 (c) 空间运动链

此外,根据运动链中各构件间的相对运动为平面运动还是空间运动,又可将运动链分为平面运动链和空间运动链两类,图 1-7(a)、(b)所示为平面运动链,图 1-7(c)所示为空间运动链。

三、机构

运动链中出现称之为机架的固定(或相对固定)的构件时,运动链被称为机构,但此机构的运动尚未确定。当它的一个或几个构件具有独立运动,成为原动件时,如其余从动件随之作确定运动,此时机构的运动也就确定,便能有效地传递运动和力。

依据形成机构的运动链是平面的还是空间的,亦可把相应的机构分为平面机构和空间机构两类。由于常用的机构大多数为平面机构,所以本章仅讨论平面机构的结构问题。

课题 2 平面机构运动简图

一、机构运动简图的定义及作用

在研究机构运动时,可以不考虑那些与运动无关的因素(如构件的外形和断面尺寸、组成构件的零件数目、运动副的具体构造等),仅仅用简单的线条和规定的符号来代表构件和运动副,并按一定比例表示各运动副的相对位置。这种能准确表达机构运动特性的简单图形称为机构运动简图。如果仅仅以构件和运动副的符号表示机构,其图形不按精确比例绘制,而着重表达机构的结构特征,这种简图称为机构示意图。在 GB4460—84“机构运动简图符号”中对运动副、构件、构件的运动及各种机构等表示符号作了详细的规定,表 1-1 摘自该标准,供参阅。利用机构运动简图可以对机构进行结构、运动和动力等的分析,它是从事机构研究的重要工具。

二、机构运动简图的绘制

在绘制机构运动简图时,首先要搞清楚所要绘制机械的结构和动作原理;然后从原动件开始,按照运动传递的顺序,仔细分析各构件相对运动的性质,确定运动副的类型及数目;在此基础上,合理选择视图平面,通常选择与大多数构件的运动平面相平行的平面为视图平



面;最后选取适当的长度比例尺 μ_l ($\mu_l = \text{实际尺寸(m/mm)} / \text{图上长度(mm)}$),按一定的顺序进行绘图,并将比例尺标注图上。绘制机构示意图的方法与上述类似,但不需按比例绘图。以下举例说明机构运动简图的绘制方法。

表 1-1 运动副、构件的表示法

运动副名称及代号	运动副模型	运动副级别及封闭方式	运动副符号	
			两运动构件构成的运动副	两构件之一为固定时的运动副
平面运动副	转动副 (R)	V级副 几何封闭		
	移动副 (P)			
	平面高副 (RP)			
空间运动副	点高副	I级副 力封闭		
	点高副	II级副 力封闭		
	平面副 (F)	III级副 力封闭		
	球面副 (S)	III级副 几何封闭		
	球销副	IV级副 几何封闭		
	圆柱副 (S)			
	螺旋副 (H)	V级副 几何封闭		