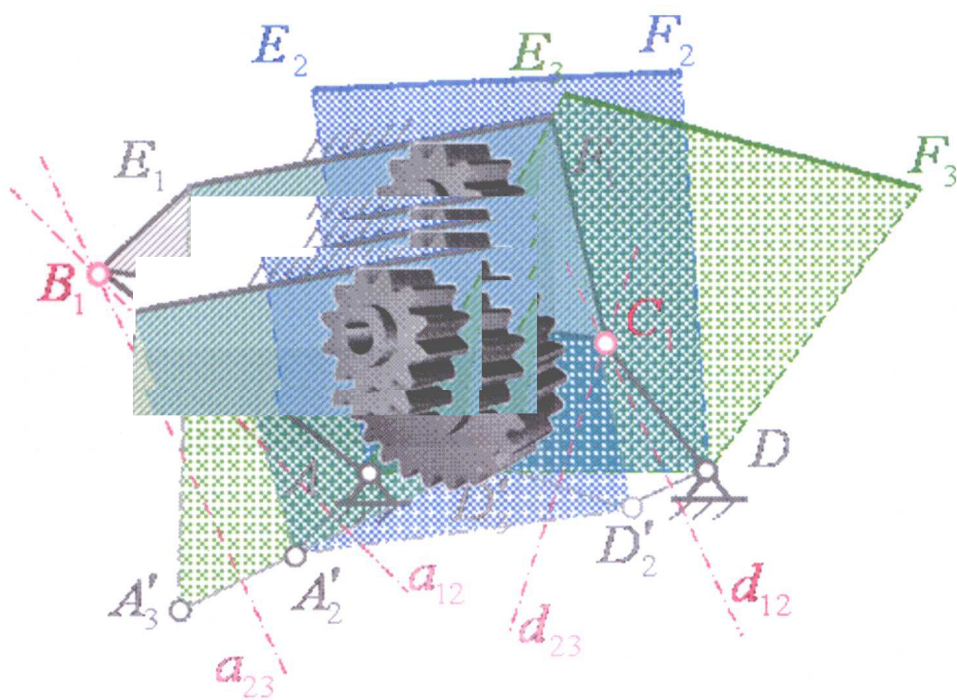


高等教育“十二五”规划教材

机械原理

MECHANISMS AND MACHINE THEORY

杨巍 何晓玲 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等教育“十二五”规划教材
河南科技大学教材出版基金资助

机 械 原 理

主 编	杨 巍	何晓玲
副主编	王 军	田同海
参 编	刘红俊	陈科家
主 审	吴 鑫	



机 械 工 业 出 版 社

本书在机械原理课程传统的板书教学的基础上,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,并在各章首末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。在机械原理传统内容的基础上,适当加强了机构变异创新、组合创新和机械系统运动方案设计的内容,旨在培养学生的设计思维、设计创新、机构选型、分析与设计的综合能力。

全书共12章,内容包括绪论,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、摩擦及机械的效率,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,其他常用机构,机械的运转及其速度波动的调节,机械的平衡,机械系统运动方案设计。书中注有*者为选学内容。

本书可作为高等院校机械类各专业的教学用书,也可供其他相关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/杨巍,何晓玲主编. —北京:机械工业出版社,2010.5

高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-30407-4

I. ①机… II. ①杨…②何… 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(2010)第067435号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 周璐婷 版式设计:张世琴
责任校对:陈延翔 封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2010年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.75印张·537千字

标准书号:ISBN 978-7-111-30407-4

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是依据国家教育委员会颁发的“高等工业学校机械原理课程教学基本要求(机械类专业适用)”而编写的。

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,并在各章首末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。

本书与机械工业出版社出版、河南科技大学王军等编写的《机械原理作业集》配套使用。该作业集采用活页形式,方便学生做,利于教师改,并使作业规范化。

参加本书编写的有河南科技大学杨巍(第一、十、十二章)、刘红俊(第二、四章)、何晓玲(第三、五章、附录A)、田同海(第六、八章)、王军(第七章、附录B)和陈科家(第九、十一章)。本书由杨巍、何晓玲担任主编,王军、田同海担任副主编。

本书承吴鑫教授精心审阅,他对本书提出了许多宝贵意见,编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,漏误及不当之处在所难免,敬请广大同仁和读者不吝指正。

编者

2009年12月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 本课程研究的对象和内容.....	1
第二节 本课程的地位与作用.....	3
第三节 本课程的性质与学习方法.....	4
第四节 机械原理学科发展简述.....	5
本章学习要点.....	6
第二章 平面机构的结构分析	7
第一节 机构的组成.....	7
第二节 机构运动简图.....	9
第三节 平面机构自由度的计算.....	13
第四节 机构的组成原理和结构分析.....	19
本章学习要点.....	25
第三章 平面机构的运动分析	26
第一节 机构运动分析的任务、目的和方法.....	26
第二节 用速度瞬心法作机构的运动分析.....	26
第三节 平面机构的运动分析——相对运动图解法.....	30
第四节 平面机构的运动分析——解析法.....	43
本章学习要点.....	55
第四章 平面机构的力分析、摩擦及机械的效率	56
第一节 机构力分析的目的和方法.....	56
* 第二节 构件惯性力的确定.....	57
第三节 运动副中的摩擦分析.....	60
第四节 平面机构的动态静力分析——图解法.....	65
第五节 平面机构的动态静力分析——解析法.....	73
第六节 机械的效率.....	76
第七节 机械的自锁.....	79
本章学习要点.....	84
第五章 平面连杆机构及其设计	85
第一节 平面连杆机构及其传动特点.....	85
第二节 平面四杆机构的类型和应用.....	85
第三节 平面四杆机构的基本知识.....	93
第四节 平面连杆机构的设计.....	100
* 第五节 多杆机构简介.....	115

本章学习要点	117
第六章 凸轮机构及其设计	118
第一节 凸轮机构的组成、分类和应用	118
第二节 从动件的运动规律及其选择	122
第三节 凸轮轮廓曲线的设计	131
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	141
本章学习要点	152
第七章 齿轮机构及其设计	153
第一节 齿轮机构的特点及分类	153
第二节 齿轮的齿廓曲线	155
第三节 渐开线齿廓及其啮合特点	156
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算	158
第五节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	163
第六节 渐开线齿廓的切削原理	172
第七节 渐开线齿廓的根切现象和渐开线标准齿轮不发生根切的最少齿数	176
第八节 变位齿轮机构的设计计算	178
第九节 斜齿圆柱齿轮机构及其设计	190
第十节 蜗杆蜗轮机构及其设计	198
第十一节 锥齿轮机构及其设计	202
本章学习要点	206
第八章 齿轮系及其设计	208
第一节 齿轮系及其分类	208
第二节 定轴轮系的传动比	210
第三节 周转轮系的传动比	213
第四节 复合轮系的传动比	216
第五节 轮系的功用	219
*第六节 行星轮系的效率	222
第七节 行星轮系设计中的几个基本问题	226
*第八节 其他形式行星齿轮传动简介	232
本章学习要点	235
第九章 其他常用机构	236
第一节 棘轮机构	236
第二节 槽轮机构	242
第三节 凸轮式间歇运动机构	246
第四节 不完全齿轮机构	247
第五节 螺旋机构	249
第六节 万向联轴器	251
第七节 组合机构	253
本章学习要点	257

第十章 机械的运转及其速度波动的调节	258
第一节 作用在机械上的力与机械的运转.....	258
第二节 机械系统的等效动力学模型.....	260
* 第三节 机械系统在外力作用下的真实运动规律	266
第四节 机械系统速度波动的调节.....	270
本章学习要点.....	276
第十一章 机械的平衡	278
第一节 机械平衡的目的及内容.....	278
第二节 刚性转子的平衡计算.....	279
* 第三节 挠性转子动平衡简述	290
第四节 平面机构的平衡.....	292
本章学习要点.....	296
第十二章 机械系统运动方案设计	298
第一节 机械系统和基本机构.....	298
第二节 机构的变异创新.....	301
第三节 机构的组合创新.....	308
第四节 机械系统的方案设计.....	312
本章学习要点.....	328
附录	329
附录 A II 级机构运动分析子程序.....	329
附录 B 渐开线函数表 ($\text{inv}\alpha_k = \tan\alpha_k - \alpha_k$) 节录	335
参考文献	337
读者信息反馈表	339

第一章 绪 论

提示：本章介绍机械原理课程研究的对象、内容及基本名词术语；本课程在机械工程教育、现代机械设计中的地位与作用；课程的特点及学习方法，并简介了机械原理学科的发展。

第一节 本课程研究的对象和内容

一、本课程研究的对象

不言而喻，机械原理研究的对象是机械，而机械是机器和机构的总称；研究的内容则是有关机械的基本理论问题。

机器的种类繁多，用途不同，构造各异。无论是工农业生产还是人们的日常生活，各式各样的机器展示出人类社会文明与科学技术的发展。内燃机、汽车、机床、自行车、洗衣机等均为大家所熟悉的机器。各种不同的机器有不同的形式、构造和用途，但通过分析可以看出，这些不同的机械就其组成来说，都具有共同的特征。

例如，图 1-1 所示为单缸四冲程内燃机。它由气缸 9、活塞 8、连杆 3 及曲轴 4 等组成。当燃气在封闭的气缸中燃烧膨胀时，驱动活塞向下移动并通过连杆带动曲轴转动。而飞轮的惯性作用驱使曲轴继续转动，使活塞向上回移。经齿轮 1 和 2、凸轮轴 5 的凸轮推动推杆 6，打开排气阀 10 排出燃烧后的废气（凸轮轴 5 上的另一个凸轮控制推杆 7 使进气阀 11 的开启或关闭）。继而再进行吸气、压缩、膨胀、排气，四个冲程如此不断循环，实现将燃气的燃烧热能转换成以曲轴转动形式输出机械能的目的。可见，内燃机是用来转换能量的机器。

上述内燃机中，由活塞（滑块）、连杆、曲轴（曲柄）、机架（曲轴箱与气缸体）所组成的部分称为连杆机构——将滑块的往复运动变换成曲柄的回转运动。类此，由两个齿轮和机架组成的齿轮机构用来传递两轴间的运动和动力；而由凸轮、推杆和机架所组成的凸轮机构又可将凸轮轴的转动变成推杆的上下直移运动以控制进、排气阀的启闭。

读者可自行研究一下自己所熟悉的其他机器，考察其组成，分析其中各部分的运动关系，

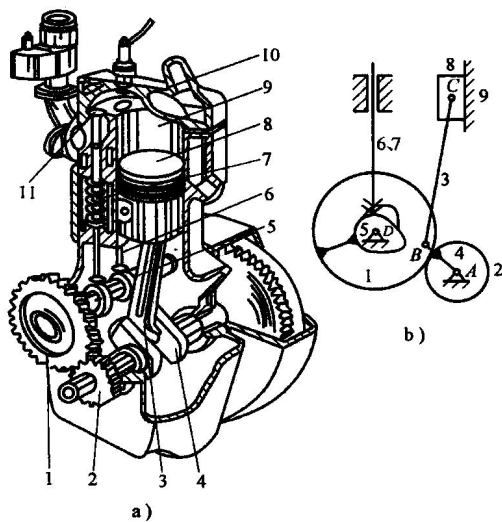


图 1-1 单缸四冲程内燃机

a) 结构图 b) 机构运动简图

1、2—齿轮 3—连杆 4—曲轴 5—凸轮轴

6、7—推杆 8—活塞 9—气缸

10—排气阀 11—进气阀

了解其功能,就不难归纳出机器都具有如下的特征:

1) 它们都是由若干个零件装配而成(从运动观点看,也可以说是由两个以上的构件组合而成)的组合体。

2) 各运动单元(构件)之间具有确定的相对运动。即当其中一个或几个构件的运动规律一定时,其余各构件都将作预期的机械运动。

3) 能用来转换机械能或完成有益的机械功以减轻甚至代替人力劳动。

一般把只具备上述前两个特征的构件组合体,称为机构。

机构与机器的不同之处是研究的着重点不同。机构着重研究运动的转换或力的传递,不考虑其具体的功用,如连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等;而机器则强调减轻或代替人力劳动的功能作用。随着科学技术的发展使机器的功能不断扩展,如转换能量(内燃机、电动机、发电机等),变换物料状态、位置(加工机械、食品机械、运输机械、起重机械等),以及处理信息(计算机、打印机、照相机等)。

机构与机器的关系:一般一部机器可包含不同的机构;一种机构可出现在不同的机器中。

二、本课程研究的内容

本课程研究的是机械共性问题,即研究机构分析和设计的基本理论、基本知识和基本方法,以及机构的选型、创新及传动系统方案的设计。就内容性质而论,可分为两大类,即机构分析与机构设计。

机构分析是对已有机械的研究,包括结构、运动和动力性能分析。

机构设计是根据运动和动力性能的要求,构思、创造新的机械,即选择适当类型的机构或设计出新结构形式的机构,并确定其与运动有关的尺寸(即运动学尺寸),是机构分析的逆向问题。“分析”是“设计”的基础,“设计”最后要靠“分析”来检验。但应注意的是,机构的运动设计与分析的方法有许多是不可逆的,两者的理论及思维方式均不同。进行机构设计时并不涉及零件的具体结构、外形尺寸、截面形状及强度、刚度、制造工艺等问题。可见,机构设计有别于机械零件设计,故本学科常称机构设计为机构综合。但为了与工程习惯术语一致,本书将机构综合称为机构运动简图的设计或简称机构设计。

具体的内容主要包括以下几个方面:

(1) 机构结构分析的基本知识 研究机构的结构理论及机构具有确定运动的条件,机构的组成原理及结构分类,以及机构运动简图的绘制方法。

(2) 机构的运动分析 从运动几何学观点来研究机构中构件的角位移、角速度和角加速度以及构件上某点的位移、速度、加速度。这是了解现有机械运动性能的必要手段,也是设计新机械的重要步骤。

(3) 机构的动力学分析 研究机械运动过程中作用在构件上各未知力的求法、机械效率的确定、在已知外力作用下机器的真实运动规律、机械速度波动的调节及惯性力的平衡等。

(4) 常用机构的分析与设计 研究连杆、凸轮、齿轮及间歇运动机构等常用基本机构的结构特点、运动和动力性能以及基本的设计方法。

(5) 机构的选型及机械系统方案设计 根据工程要求,进行具体机械设计时机构的选型、组合,利用基本机构进行变异与创新,确定机器的总体方案,设计出切合实际需要的机

械系统。

第二节 本课程的地位与作用

一、本课程在教学中的地位与作用

在高等学校机械类各专业中,均设有研究专门机械的若干专业课程。但在进行专业课程学习之前,应具备有关机械共性问题的基本知识。其中,机械原理是必备的先修课程。本课程既是将大学物理、理论力学及计算机语言等先修课程的基础理论引导于机械技术的应用课程,又是为后续专业课程的学习及掌握有关新技术打基础的课程。总之,机械原理是机械类专业的一门主干技术基础课,在教学中起到承上启下的作用。

二、机械原理学科在机械工程技术中的地位与作用

高级工程技术人员从事机械工程技术工作的基本任务可分为两类,即设计制造新机器和合理使用现有机机械设备。

任何一部新机器的设计与创造都是一个复杂的系统工程,现代机械设计更是多学科知识的综合应用,但是机械原理的知识当属必备的基础。为了进一步说明机械原理学科在机械技术及培养高级工程技术人员全局中的重要地位与特殊作用,不妨先初步了解一下机器设计所包含的一般内容。

首先,设计师应明确设计任务,弄清楚所设计机器或机械产品的使用要求(如机器的功能、作业环境、技术指标及使用对象等)和制造条件(即承制单位的设备、工艺、技术力量等),明确制约设计的有关条件,确定设计目的与任务。

然后,确定机器的工作原理,拟定总体方案。机器的工作原理选择是否得当是决定设计成败的关键。

试想,若硬是要将人工涂抹肥皂和双手来回搓动衣物作为洗衣机的工作原理,这种洗衣机即使能够设计与制造出来,其结构之复杂、价格之昂贵是可想而知的。而目前所流行的洗衣机则是通过偏置于缸中波轮的简单旋转运动带着衣物在水中转动并上下翻滚,使衣物在含洗涤剂的水中充分摩擦而达到洗涤的目的。这种将人手复杂的空间运动改变成机械易于实现的旋转运动,是正确制定机器工作原理的一个简单实例。

又如,图 1-2 所示公交汽车车门的启闭装置是连杆机构巧妙应用的实例。该机构以车门 4 通过两活动铰链 B 、 C 分别与摇杆 3 及滑块 5 相连接。当压力气源进入车门顶上固定于车箱壁的气缸 1 内推动活塞 2 移动时,带动摇杆 3 由 AB 转至 AB_1 位置,迫使车门上的活动滑块 5 在车箱壁上的滑道 6 内滑移,使得作为连杆的两扇车门 4 分别沿车箱墙根作平面运动而打开。而当气源反向进入气缸驱动活塞时,则使车门逆向运动而关闭。这种用连杆机构带动车门在较小的范围内作平面运动,能保证在乘客十分拥挤的情况下顺利地打开或关闭车门的设计方案,可说是机械原理知识在汽车设计中得以灵活运用的典型实例。

从以上两个简单实例可看出,机器(机械)总体方案设计在很大程度上奠定了机器的骨架,决定了机器的基本性能、工作质量的优劣,对其制造工艺及成本都具有很大影响。

完成同一生产任务的机器,可以采用不同的设计方案,而同一设计方案中又有不同的设计参数组合。成功的设计往往基于总体方案的创新与突破及设计参数的正确配置。如果说设计是一种创造性的劳动,则可以认为拟定机器的总体方案是最能体现设计者的创新之意的。

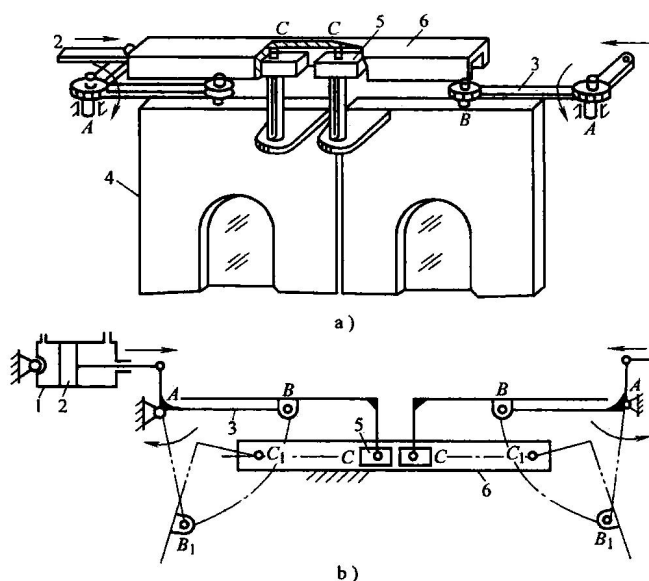


图 1-2 车门启闭机构

a) 结构图 b) 机构运动简图

1—气缸 2—活塞 3—摇杆 4—车门 5—滑块 6—滑道

构思出一个较好的方案,即使对于基础理论扎实、经验丰富的高级工程技术人员来说,也需要一个艰苦的思维过程。何况设计总是追求尽善尽美,人们不得不提出多种方案进行综合比较后择优而用。这就要求设计者首先应熟悉机械原理知识。

机器总体方案确定之后,为使机器能实现预期的运动,必须按照机构理论和方法,正确设计出各机构的运动学尺寸,如上述车门启闭机构中各杆长度、各铰链及滑道位置等。必要时,对所设计的机构还要作运动和动力分析,有不尽如人意之处应进一步修改设计。

最后,根据所定机构进行零件几何结构设计、绘制装配图与零件工作图、进行强度校核、编写设计说明书及其他技术资料等。

上述设计内容,彼此有甚为密切的联系,设计实际过程是相互补充、交错进行的。

综上所述可见,机械原理研究的机构分析与综合是机械设计工作、开阔思路和启迪创新的基础,是机械工程师必备的基础知识。

第三节 本课程的性质与学习方法

一、本课程的性质

本课程作为技术基础课,既具有理论基础课程的性质,又兼有技术专业课程的特点。

与理论基础课相同,本课程具有较强的理论性、严密的逻辑性和完整的系统性。应着重指出,本课程同理论力学有着特别紧密的联系。如有关运动学和动力学基本原理主要引自理论力学,但两者研究的落脚点不同:理论力学是以一般质点、刚体作为研究对象,是基础理论课;而机械原理着眼于解决工程实际问题,研究对象是具体的机械,较之理论力学更具工程技术特色。

二、本课程的特点及学习方法

1) 名词、概念、公式及图形较多,学习时应抓住对图形的理解。机构分析与设计中的许多概念和方法都是通过图形来表达的,学习时应注意对图形的理解与应用。公式、概念、定义要与图形有机结合来理解、记忆。对于计算公式,则应注意其原始条件和方程的建立、推导思路,重点是公式的应用,而不是机械的记忆。

2) 注意图解法与解析法的关系。本课程中许多内容的研究都采用了图解法。图解法具有概念清晰、简便、直观的特点,其不足之处是精度较低。

在计算机及计算技术迅速发展的今天,解析法在本课程中占有越来越重要的地位,它具有精度高、速度快、信息量大的特点,是现代机械设计方法发展的方向,也是数控加工的基础,在学习时应充分予以重视。然而,解析法中数学模型的建立、理论与概念的应用、计算结果的分析,常常要借助于图解法。因此,图解法是解析法的基础。

3) 在学习过程中逐步树立工程的观点。本课程是学完理论基础课后较早接触的一门设计性的技术基础课,与工程实际联系紧密,教学中常以各种机械为实例提出问题和讨论问题。因此,在学习中的应用工程技术的观点,去观察周围的机械设备,理论联系实际地深入思考。同时,还要注意将理论的严密性与工程实际的灵活性、可行性结合起来。学习时注重逻辑思维的同时,加强形象思维。

本课程将通过课堂教学、实验、习题和课程设计等教学环节进行。学习过程中,既要注重在课堂教学中搞清基本概念、基本原理,掌握基本方法,又要注意在各实践性教学环节中发挥自学的积极效应。

第四节 机械原理学科发展简述

人类创造和应用机械至少有 2000 多年的历史了。公元前 5 世纪,阿基米德等人解决了杠杆的平衡问题。公元前 4 世纪,人类开始应用齿轮。而在公元 1 世纪至 2 世纪时期,我国的机械制作技术就相当成熟了,张衡等人发明创造的浑天仪、候风地动仪和指南车、计里鼓车等可算是人类在机构发明创造与应用方面最早的代表作。

然而,机器和机构的理论作为一门独立的学科,在 19 世纪工业革命的技术迅速发展才奠定了基础。1875 年,德国的列罗(F. Reuleaux)所著《机械运动学》成为机械原理学科机构运动学理论的奠基代表作。德国的另一位学者布尔梅斯特(L. Burmester)根据运动几何学原理创立了机构分析与综合的图解法。而以俄国学者契贝舍夫(П. Л. Чебышев)为代表的学派则用函数逼近论等数学方法解决了机构近似综合问题,成为解析法求解机构问题的基础。

机械原理学科一经问世,便一直处在机器工业发展的前沿,特别是 20 世纪 60 年代以来,国际上对机械原理学科的研究有了飞速的发展,新概念、新理论、新方法、新工艺不断出现。

在机构的结构理论方面,由于机器人以及仿生机械的研究与发展,使机构的结构由平面机构扩展到空间机构;由单自由度单闭环简单机构扩展到多自由度、多闭环的多杆机构;由以刚性材料为构件的机构扩展到有光电、电子、电磁、液、气等参与的广义机构的新领域。

计算机及其相应的数学方法发展的新成果,在应用于连杆机构的分析与综合方面显得特

别活跃而有成效。许多成熟、大型的通用或专用的计算机程序被普遍用于平面连杆机构的分析与综合、连杆曲线的绘制。函数逼近法、优化设计方法及 CAD 的迅速发展和推广,使得机器人的研究发展异常迅速。

凸轮机构应用于高速机械时,要求具有良好的动力性能。为此,机构学学者对从动件运动规律的选择与探讨,凸轮系统质量分布、弹性变形、间隙、阻尼以及外界干扰频率、不平衡力的影响,以及表面润滑等诸多因素进行了广泛深入的研究。在凸轮—从动件系统动力学模型的建立及其运动微分方程式的求解方法、系统动力响应的分析、机构参数的选择与优化设计、凸轮廓线的动力学综合等方面,取得了许多重要的研究成果,使凸轮机构的动力性能更加切合于高速、高精度机构的工程实际需要。

高速、重载大功率机械的齿轮传动机构,要求具有磨损轻、噪声小、效率高、寿命长等特性。因此,研究形成共轭齿廓曲面的基本规律,分析其啮合特性,探寻新型啮合传动齿廓曲面,仍然是机构学学者感兴趣的课题。随着科技的进步,人们对齿轮传动系统提出了越来越高的要求,齿轮系统的静态分析和设计方法已难以满足现代设备对齿轮传动所提出的高要求。因此,齿轮机构动力学问题是目前齿轮研究的热点问题之一。

为了适应现代工业发展的需要,机械正朝高速、重载、轻型、精密的方向发展。对机械的精度和可靠性要求也日益提高,按动力性能要求进行机构的分析与综合越来越受到重视。在转子动力学中,对转子的振动特性及其影响因素、临界转速的精确计算及挠性转子的动平衡理论与方法的研究,都有很大的进展;对于机构动力学研究,已经由刚性构件组成的机构扩展到考虑构件的弹性变形、运动副间隙、含变质量、变尺度构件的机构弹性动力学问题的研究。其中,平面机构惯性力(矩)平衡问题、机构的运动弹性动力学、机械动力学测量技术等动力学理论研究及实际应用方面正在迅速发展,并取得了不少高水平的研究成果与技术成就。

计算机技术及其计算理论为机构综合及机构优化设计提供了全新的科学手段。现在,人们已经可以在数秒钟之内对复杂机构作出详尽的分析。通过简单的人机对话,或由计算机自动调整参数,即能寻找出符合设计师意愿的机构。可见,计算机的应用使得机构的分析与综合正向智能化方向发展。

总之,机械原理学科的研究领域十分广阔,内涵非常丰富。在机械原理的各个领域,每年都有大量内容新颖的文献涌现。但作为一门技术基础课程,机械原理将只研究有关机械的一些最基本的原理和方法。

本章学习要点

1) 本章概述了机械原理课程研究的对象和内容,重点指出了机器与机构的共同点及区别与联系,研究的内容包括机构分析、机构综合(机构设计)以及机构的选型、创新及运动方案设计。

2) 在学习方法上要注意本课程的特点,与理论基础课特别是理论力学的联系。但在学习方法上要有所改变,逐步养成应用工程技术的观点去分析问题、研究问题的习惯;注重逻辑思维的同时,还要加强形象思维。

3) 机械原理学科发展简述是对本课程发展、研究的领域及方向的介绍,使初学者对本课程获得较全面的了解。

第二章 平面机构的结构分析

提示：本章讨论组成机构的基本要素、机构运动简图、机构的组成原理及分类、机构自由度的计算及机构具有确定运动的条件。重点是机构自由度的计算。难点是机构运动简图的绘制和虚约束的识别。

第一节 机构的组成

在设计一台新机器时，首先要选定传动方案，然后进行机器的运动设计，以保证所设计的机器能够满足运动方面的要求。为此，首先应保证机器能够运动，而且是完全确定的运动。那么，怎样才能使机器具有确定的运动呢？为了解决这个问题，首先要研究机构的组成。

一、零件、构件

任何机器都是由一个个的零件组合而成的，机械零件是机器制造的基本单元体。如图 1-1 所示，内燃机就是由气缸、活塞、连杆体、连杆头、曲轴、齿轮、凸轮等一系列零件组成的。

若干个零件刚性地固接在一起，就组成了构件。例如，图 2-1 中的连杆就是由连杆体 1、连杆头 2、轴瓦 3、螺栓 4、螺母 5、铜套 6 等零件刚性地连接在一起（见图 2-1）的。构件是机器中独立的运动单元体，是组成机构的基本要素之一。从运动的角度来看，可以说机器是由若干个构件组合而成的。

二、运动副

当由构件组成机构时，需要以一定的形式把各个构件彼此连接起来。被连接的两构件之间仍能产生某些相对运动。这种由两个构件直接接触而组成的可动的连接称为运动副。运动副也是组成机构的基本要素。

如图 2-2a 所示，轴承与轴之间以同轴线的内、外圆柱面相接触而又能绕其轴线作相对转动的运动副称为转动副；如图 2-2b 所示，滑块 2 与导杆 1 之间以面接触而构成只能作相对移动的运动副称为移动副。转动副和移动副都是通过面接触而构成的，由于接触面相互作用的压强相对较低，故统称为低副。而图 2-2c、d 所示两齿轮之间、凸轮与从动件之间分别沿着一条线和一个点接触，这种以点或线相接触所形成的运动副，由于接触应力相对较高，故称为高副。上述两种高副有时也直接称为齿轮副和凸轮副。组成上述低副和高副的两构件的相对运动是平面运动，故称为平面运动副。图 2-2e 所示的两个构件是以球面相连接的，它们之

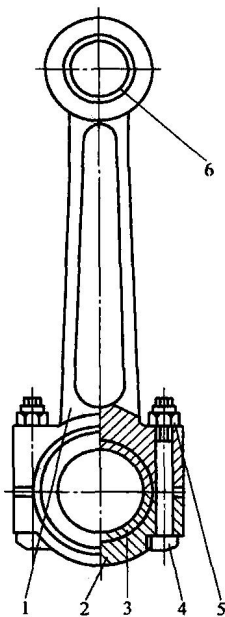


图 2-1 连杆

- 1—连杆体 2—连杆头
3—轴瓦 4—螺栓
5—螺母 6—铜套

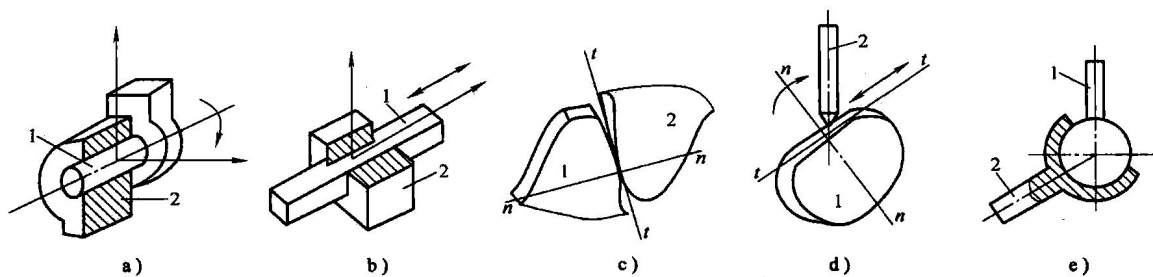


图 2-2 运动副

a) 转动副 b) 移动副 c) 齿轮副 d) 凸轮副 e) 球面副

间的相对运动为空间运动，这样的运动副称为空间运动副。

构成运动副的两个构件的接触部分称为运动副元素。

作空间自由运动的构件具有六个自由度。两构件在未构成运动副之前，它们可以各自独立运动，共有 12 个自由度。当两构件构成运动副之后，它们之间的相对运动受到约束，自由度数减少。运动副常根据其引入约束的数目进行分类，把引入一个约束的运动副称为 I 级副，引入两个约束的运动副称为 II 级副，依此类推就有 I 级副、II 级副、III 级副、IV 级副、V 级副，如图 2-3 所示。平面低副为 V 级副，平面高副为 IV 级副。

平面运动副的常用符号见表 2-1。

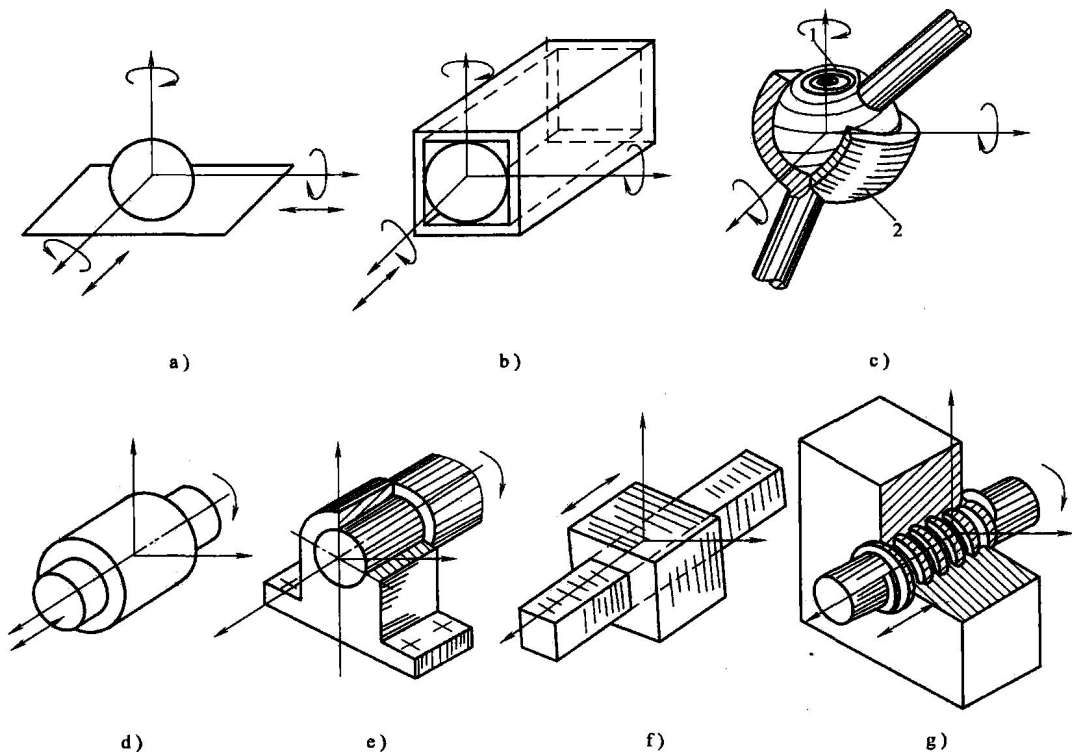
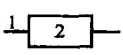
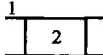
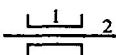
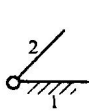
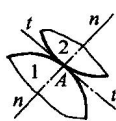
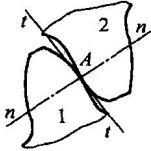
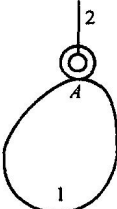


图 2-3 运动副的级

a) I 级副 b) II 级副 c) III 级副 d) IV 级副 e) V 级副 1 f) V 级副 2 g) V 级副 3

表 2-1 平面运动副的常用符号

低 副		平面高副
移 动 副	转 动 副	
  	  	  

三、运动链

构件通过运动副的连接而构成可相对运动的构件系统称为运动链。如果组成运动链的各构件构成了首末封闭的系统，如图 2-4a 所示，则称其为闭式运动链，简称闭链；如果组成运动链的构件未构成首末封闭的系统，如图 2-4b 所示，则称其为开式运动链，简称开链。在机械中一般采用闭链，开链多用在机械手、挖掘机等多自由度的机械中。

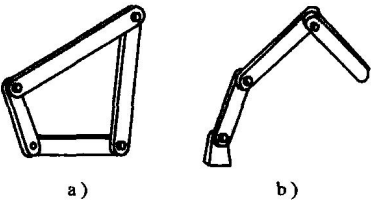


图 2-4 运动链
a) 闭链 b) 开链

四、机构

在运动链中，若固定某一构件(该固定构件称为机架)，并给定另外一个或若干个构件以确定的独立运动，使其余构件(统称为从动件)的运动随之确定，这种运动链便成了机构。

机架是机构中作为参考坐标系的构件。一般情况下，机架相对于地面是固定不动的，但若机械安装在车、船、飞机等运动物体上时，那么机架相对于地面则可能是运动的。

给定运动规律的构件称为原动件(常用箭头表示其运动方向)。实际机器中的机构，其原动件常由电动机或发动机或其他机构驱动并伴有功(或力矩)输入，这种原动件也称为机构的主动件。而将预期的运动和动力输出的或直接执行工作任务的从动件称为输出件(或执行构件)。从动件的运动取决于原动件的运动规律、机构的结构及构件的尺寸。

开链和闭链都可以用来构造机构。但在构件数目相同的情况下，由闭链形成的机构与由开链形成的机构相比，只需较少数目的原动件便可使机构各构件获得确定的相对运动。因此，在实际中广泛利用闭链来构造机构。

按照构件之间的相对运动为平面运动或空间运动，机构又可分为平面机构和空间机构两类。

第二节 机构运动简图

在对现有机械进行分析或设计新机械时，需要用一种简明直观的图形来表明机器的构成

及构件之间的相对运动关系,这种简单图形称为机构运动简图。为了使问题简化,作图时可以不考虑那些与运动无关的因素(如构件的几何形状及断面尺寸、组成构件的零件数目及运动副的具体结构等),仅用简单的线条和符号来表示构件和运动副,并按一定的比例尺寸表示各个运动副的相对位置。如图 1-1b 所示的机构运动简图,表明了内燃机的构造情况及各构件之间的相对运动关系,从而展示了内燃机的传动原理。

如果只是为了表明机构的运动原理及结构状态,而不直接用机构图形作运动分析和力分析,各构件的运动学尺寸则可不按比例画出,这样的简图称为机构示意图。

绘制机构运动简图的一般步骤如下:

1. 了解机构运动的情况,确定构件数目和运动副的数目及类型

应仔细观察机构的实际构造和运动传递情况,确定机构的机架、原动件和执行构件(即直接执行生产任务的构件或最后输出运动的构件),并从原动件到执行构件,按照运动的传递顺序,逐一分析各构件之间的相对运动关系,确定活动构件数目,确定各构件之间运动副的类型及所处的相对位置(如转动副的中心位置、移动副导路的方位及平面高副接触点的位置等)。

2. 合理选择投影面及原动件的静态位置

投影面的选择,以能够简单、清楚、正确地表示机构的结构和运动情况为原则。一般选择多数运动构件所处的运动平面作为绘图投影面,允许把机构不同部分的视图展开到同一投影面上,对于难于表示清楚的部分,可以用不同角度的视图表示。绘图时,机构的原动件应静止于适当的或要求的位置,以便使各构件尽可能明显地展现出来。

3. 选择适当的比例尺

在测得各运动副间的相对位置尺寸(即运动学尺寸)后,根据图纸大小和绘图精度要求选择适当的长度比例尺(用 μ_l 来表示)。

$$\mu_l = \frac{\text{实际长度(m)}}{\text{图示长度(mm)}}$$

4. 用规定的符号和线条绘制图形

绘制机构运动简图要按照规定的运动副符号(见表 2-1)和构件符号(一般是直线段或简单几何图形,见表 2-2、表 2-3)进行绘制,先画出运动副符号,然后以直线或曲线相连。

5. 计算机构的自由度,检验所绘简图是否正确

应检查影响机构运动的有关要素是否与原机构相符,并计算机构的自由度,其结果与原机构的原动件数目应当相等。

下面举例说明机构运动简图的具体画法。

例 2-1 绘制图 2-5a 所示颚式破碎机的机构运动简图。

解:首先分析机器的组成及工作过程。破碎机由电动机通过其他传动机构(图中未画出)带动偏心轮(曲柄)1 绕轴心 A 转动,通过连杆 2、连杆 3 及摇杆 5 带动动颚板(摇杆)4 绕轴心 E 往复摆动,将物料轧碎。

根据运动传递情况可以看出,该机构由活动构件 1、2、3、4、5 及机架 6 组成,原动件为偏心轮 1,执行构件(输出构件)为动颚板 4。活动构件 1、2、3、4、5 及机架 6 之间共构成 7 个转动副,各转动副的中心分别位于点 A、B、C、D、E、F、G。

根据机构的组成情况,选定投影平面和比例尺。根据该机构的运动尺寸确定各转动副中