

///

高等学校教材

机械原理教程

张善璞 安子军 李纯德 主编
副主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是根据国家教育部机械基础课程教学指导委员会批准的机械原理课程教学基本要求编写的。全书共分十三章及附录，主要内容为：绪论、平面机构的结构分析、平面机构的运动分析和力分析、机械中的摩擦和机械效率、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇机构与其它机构、新型传动机构、机械动力学、机械的平衡、机械传动系统方案设计及机械原理课程设计。

本书可作为高等院校机械类及近机械类专业的教材，也可作为非机械类有关专业的教材，还可供有关专业教师、研究生及工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理教程/安子军主编. —北京: 机械工业出版社, 2003.8

高等学校教材

ISBN 7-111-12178-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 037353 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: 王英杰 责任编辑: 王英杰

版式设计: 张世琴 责任校对: 程俊巧

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·9.25 印张·355 千字

0 001—5 000 册

定价: 21.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

根据国家教育部机械基础课程教学指导委员会对机械原理课程教学的基本要求，为加强技术基础理论课的教学，结合机械原理课程在培养高素质人才及其经济建设中的重要作用，按照高等院校进行的课程教学改革和加强教材建设的精神，我们编写了这本教材。

为培养素质高、能力强、适应社会主义市场经济发展需要的、有开拓创新精神和意识的人才，结合高等院校课程学时减少、并要求保证主要教学内容和知识信息不能减少的现实状况，根据我们多年的教学经验，在保证课程教学基本要求的前提下，编写完成这本教材——机械原理教程。本教材强调对机械原理的基本概念、基本理论和机构分析与设计基本方法的理解和掌握，以机构通用的基础理论知识和主要传动机构的分析设计为重点，精选编排了教学内容。以图解法建立形象直观概念，侧重引入解析法；删去有关与先修课程重复的内容，对机构运动分析和连杆机构设计图解法、渐开线齿轮的过细部分等内容进行了简化，对间歇机构、各种常用机构、组合机构和其它齿廓齿轮机构等，以其传动原理、传动特点及其应用和简单的设计计算为主要教学内容，力求达到优化课程教学内容的目的。此外，为使学生拓宽知识面、了解新型传动机构的发展并增强发明创新意识，将近年来有关新型机械传动机构方面带有创新性的研究成果充实到本教材中，作为选择使用的教学内容。书后所附的机械原理课程设计，阐明了课程设计的作用和重要意义，并以例题形式全面系统地介绍了课程设计的内容、步骤和方法，起到了课程设计指导书的作用，可有效地帮助学生顺利完成机械原理课程设计的教学过程。

本书可作为高等院校机械类、近机械类专业的教材，也可供非机械类专业选择使用。书中有的章节可不作教学要求。

参加本书的编写人员为：安子军（第一章、第七章、第十章、第十三章），张善璞（第二章、第三章），李纯德（第四章、第八章），姜守厚（第五章），张一同（第六章），郑丽娟（第九章、第十一章），宜

IV

亚丽（第十二章），付宇明（附录）。

全书由安子军任主编，张善璞、李纯德任副主编。

本书承曲继方教授主审，并提出宝贵的意见和建议。在此，本书作者表示衷心的感谢。

由于我们的水平所限，错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编者于燕山大学

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 机械原理课程研究的对象和内容	1
第二节 机械原理课程的地位、作用和学习方法	3
思考题与练习题	4
第二章 平面机构的结构分析	5
第一节 机构的组成	5
第二节 机构运动简图	8
第三节 机构的自由度计算及具有确定运动的条件	10
第四节 平面机构的组成原理分析	14
思考题与练习题	18
第三章 平面机构的运动分析和力分析	21
第一节 机构速度分析的瞬心法	21
第二节 机构运动分析的相对运动图解法	24
第三节 机构运动分析的解析法	30
第四节 平面机构的力分析	35
思考题与练习题	41
第四章 机械中的摩擦和机械效率	47
第一节 移动副中的摩擦	47
第二节 螺旋副中的摩擦	50
第三节 转动副中的摩擦	51
第四节 考虑摩擦时的机构受力分析	53
第五节 机械效率及自锁	55
思考题与练习题	63
第五章 平面连杆机构	68
第一节 平面四杆机构的类型及应用	68
第二节 平面四杆机构的基本知识	74
第三节 平面四杆机构设计的图解法	78
第四节 平面四杆机构设计的解析法	88
思考题与练习题	91
第六章 凸轮机构	95

第一节	凸轮机构的应用和分类	95
第二节	从动件的运动规律	98
第三节	凸轮轮廓设计的图解法	105
第四节	凸轮轮廓设计的解析法	111
第五节	凸轮机构基本参数的确定	115
	思考题与练习题	119
第七章	齿轮机构	122
第一节	齿轮机构的应用和分类	122
第二节	齿轮的共轭齿廓曲线	123
第三节	渐开线及其齿廓啮合特性	126
第四节	渐开线标准齿轮的参数和尺寸	130
第五节	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	134
第六节	渐开线齿廓的切削加工	137
第七节	渐开线变位齿轮	142
第八节	变位齿轮传动及设计	144
第九节	斜齿圆柱齿轮机构	148
第十节	交错轴斜齿轮机构	153
第十一节	蜗轮蜗杆机构	155
第十二节	锥齿轮机构	158
第十三节	其它齿廓齿轮机构	160
	思考题与练习题	163
第八章	轮系	166
第一节	轮系及其分类	166
第二节	定轴轮系的传动比计算	168
第三节	周转轮系的传动比计算	169
第四节	混合轮系的传动比计算	173
第五节	轮系的功用及行星轮系的齿数条件	175
第六节	行星轮系的功率及效率	179
	思考题与练习题	182
第九章	间歇机构与其它机构	187
第一节	棘轮机构	187
第二节	槽轮机构	190
第三节	其它机构	193
第四节	组合机构	197
	思考题与练习题	199
第十章	新型传动机构	200
第一节	RV 传动机构	200
第二节	钢球行星传动机构	203

第三节	章动齿轮传动机构	206
第四节	活齿传动机构	208
第五节	等速传动机构	212
第六节	变自由度传动机构	216
	思考题与练习题	218
第十一章	机械动力学	219
第一节	机械运转过程及作用力	219
第二节	机械系统的等效力学模型	221
第三节	机械系统运动方程式	225
第四节	机械系统速度波动及调节方法	226
	思考题与练习题	231
第十二章	机械的平衡	234
第一节	机械平衡的目的和内容	234
第二节	刚性转子的平衡原理	234
第三节	刚性转子的平衡试验	237
第四节	平面机构的平衡原理	240
	思考题与练习题	243
第十三章	机械传动系统方案设计	245
第一节	机构类型及运动特点分析	245
第二节	机构的组合与变异演化方法	247
第三节	机械传动系统方案设计	251
	思考题与练习题	255
附录	机械原理课程设计	256
参考文献	284

第一章 绪 论

机械原理是研究机械内部普遍存在的共性规律的一门课程和学科。在进入本课程学习时，首先需要熟悉机械原理的名词、概念和术语，了解机械原理课程所研究的内容和所用的一般方法，从而初步明确本课程的重要地位及在国民经济中的作用。

第一节 机械原理课程研究的对象和内容

一、机械原理课程研究的对象

机械原理课程研究的对象是机械，机械是机器与机构的总称。

机器是具有确定运动的构件组合体，它用来转换能量、改变或传递物料和处理信息，以代替和减轻人的体力劳动和脑力劳动。机器的种类很多，根据用途不同，机器可分为：动力机器（如电动机、内燃机、发电机、蒸汽机等）、加工机器（如金属切削机床、纺织机、包装机、缝纫机等）、运输机器（如汽车、拖拉机、起重机、输送机等）和信息机器（如计算机、机械积分仪、记账机等）。虽然机器的种类繁多，并具有不同形式的构造和用途，但它们都具有三个共同的特征，即：

- 1) 机器都是由一系列构件（也称运动单元体）组成。
- 2) 组成机器的各构件之间都具有确定的相对运动。
- 3) 机器均能转换机械能或完成有用的机械功。

如图 1-1a 所示的内燃机，是由壳体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4（与齿轮 4' 一体）、齿轮 5（与凸轮 5' 一体）以及气门阀杆 6 等一系列构件所组成。其各构件之间的运动是确定的，机构简图如图 1-1b 所示，内燃机的功能是将热能转换成机械能。

机构是实现传递机械运动和动力的构件组合体，如常见的齿轮机构、连杆机构、凸轮机构、螺旋机构、带和链传动机构等。虽然机构有多种类型，用途各有不同，但它们都有与机器前两个相同的特征，即：

- 1) 机构由若干个构件所组成。
- 2) 组成机构的各构件之间都有确定的相对运动。

如图 1-1a 中的由壳体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4 四个构件组成连杆机构；壳体 1、齿轮 4'、齿轮 5 三个构件组成齿轮机构；壳体 1、凸轮 5'、气门杆 6 三

个构件组成凸轮机构。它们的运动均是确定的。

从上述分析可知，机构是机器的重要组成部分，用以实现机器的动作要求。一部机器可能只有一个机构，也可能包含若干个机构。机构与机器的根本区别在于：机构的主要职能是传递运动和动力，而机器的主要职能除传递运动和动力外，还能转换机械能或完成有用的机械功。

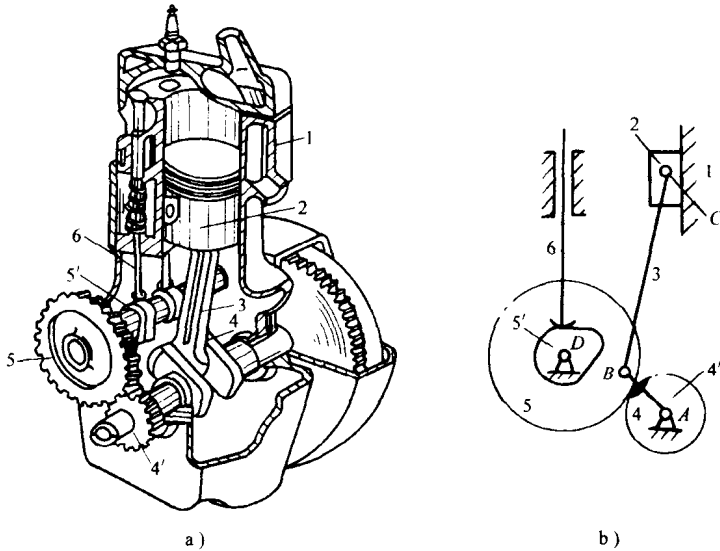


图 1-1

1—壳体 2—活塞 3—连杆 4—曲轴 (4'—曲轴上齿轮)
5—齿轮 (5'—凸轮) 6—气门杆

虽然机器和机构的种类很多，但组成各种机器的基本机构的种类却不很多，最常用的机构有连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、间歇运动机构等。这些机构也是机械原理课程的主要研究对象。

二、机械原理课程研究的内容

(1) 机构的结构分析 机构的结构分析将研究机构是怎样组成的，机构组成情况对其运动的影响以及机构具有确定运动应满足的条件；还将研究如何绘制机构运动简图，以便对实际机构进行运动和动力分析；此外，为便于更系统地研究现有机构及创造发明新机构，还需研究机构的组成原理和方法。

(2) 机构的运动分析 机构的运动分析将研究并介绍机构在给定原动件运动的条件下，求解其它构件的位移、轨迹、速度、加速度的基本原理和方法，进而考察输出构件的运动变化规律。对机构进行运动分析，将为机构受力和动力学分析提供基础，也是设计新机械、合理使用现有机械的必须步骤和重要依据。

(3) 机械的动力学分析 机械的动力学分析一方面将研究机构在给定运动及已知外力条件下, 求解各运动副的反力, 以便了解机构上的动压力及其变化情况; 研究机械在运转过程中各运动副的摩擦、构件受力及其所作的功、机械的效率, 以决定构件的尺寸和形状, 了解机械的动力性能等。另一方面将研究由于各构件质量、转动惯量以及在惯性力(矩)和其它外力作用下, 机构各构件的真实运动规律。

此外, 还将研究因机械运动速度波动带来的机械运转稳定性问题及其调节方法。由于机械各构件产生的惯性力将影响到机械的正常工作效率和使用寿命, 所以还要研究机械的平衡问题。

(4) 常用机构的分析与设计 常用机构的分析与设计将对用以组成各种机器的典型机构如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构及常用的间歇机构等运动和工作特性和有关理论进行较系统的分析, 并研究探索典型机构满足一定运动规律、动力要求时机构设计的方法。为充分了解、有效利用这些机构提供理论基础。

(5) 机械的传动系统设计 机械的传动系统设计将讨论机械传动系统设计时如何选用机构、机构间如何组合和协调、机构的变异与演化方法以及拟定传动系统方案时必须考虑的问题。

应当指出, 机械原理课程中有关机构设计的研究, 只限于给定运动和动力的设计要求, 不涉及各个零件的结构形状、工艺要求、材料选择、热处理方式、强度及刚度计算等问题。所以本课程中的机构设计又常称为机构综合。机械原理课程研究的内容可概括为机构分析与综合两部分。

第二节 机械原理课程的地位、作用和学习方法

一、机械原理课程的地位和作用

机械原理是机械类及近机械类专业进入专业课前必修的一门重要的技术基础课。它主要是在高等数学、普通物理、理论力学等理论基础课后, 将这些理论和实际机械相结合来探讨机械内部基本规律的基础性理论课程。课程所学内容是研究现有机械运动、工作性能和设计、发明新机械的知识基础。它对机械类及近机械类各专业的专业课学习、毕业设计乃至参加实际工作都有直接的和长远的意义, 起着非常重要的作用。

机械原理在发展国民经济方面也具有重要意义。实现生产的机械化、自动化和高效益是不同专业领域的所有生产部门的目标, 这需要创造出大量结构新颖、性能优良的新型机械设备充实和装备各行各业; 需要更新改造现有机械设备, 以期合理有效地使用, 发挥其潜力; 需要提高操作者的业务水平、技术人员的创造能力、管理者的素质和指挥能力, 而有关机械原理的知识是必不可少的。

机械原理对提高我国机械学理论及技术在国际上的学术地位也起着非常重要的作用。我国学者在著名的国际学术会议如“机构与机器理论”、“机械传动与机构学”等上发表的论文越来越多,学术水平不断提高,而机械原理方面的知识则是基础知识。

二、机械原理课程的学习方法

由于机械原理课既不同于理论基础课,又有别于专业课,因此在学习本课程的过程中,一方面要着重搞清基本概念,理解基本原理,掌握机构分析和设计的基本方法;另一方面也要注意这些原理和方法在机械工程上实际应用的范围和条件。

(1) 强调重视基本概念 课程中的基本概念不仅仅是简单名词定义,它对课程的学习、认识和理解有着非常重要的作用,有时直接用基本概念来分析、解决问题以及进行机构的分析和设计。因此不能死记硬背,必须重点搞清其含义和指导意义。

(2) 深入理解基本原理 机构结构理论、机构分析的运动学和动力学理论、齿轮啮合、加工及其传动理论、摩擦学理论、机械速度波动及调节原理、机械平衡理论等构成了本课程的理论框架,因此要充分理解、正确应用这些理论,并要善于用理论及其公式证明问题和解决问题,使之更有说服力。

(3) 牢牢掌握基本研究方法 课程中机构结构组成方法、高副低代法;机构分析中的瞬心法、相对运动法、扩大构件法、复数矢量法、等效力学模型分析法、速度波动调节方法及机械平衡方法;机构设计的反转法、直角坐标法、齿轮传动设计方法以及机构组合、变异、演化方法等是机械原理课程应用的基本研究方法,应牢牢掌握并善于用其解决工程实际问题。

(4) 逐步树立工程观点 机械原理是一门理论性比较强的技术基础课,其研究对象和内容就是工程实际上常用的机械及其相关知识,因此学习过程中应把基本原理和方法与研究实际机构和机器紧密联系起来。善于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。在一定附加条件下,可将一些比较复杂的问题转化为比较简单问题,并注意各种理论和方法的应用条件和范围,以求能正确而灵活地应用。同时要注意,解决工程实际问题可以有几种方法,其所得结果也往往不惟一,有时也不要求十分精确。因此,树立工程观点,培养综合分析、判断、决策能力和严肃认真的科学态度是十分重要的。

思考题与练习题

- 1-1 什么是机构、机器、机械?它们之间有何联系?试举例说明。
- 1-2 机构和机器各有什么特征?
- 1-3 机械原理课程研究的内容是什么?
- 1-4 如何学好机械原理课程?

第二章 平面机构的结构分析

机构有多种类型，不同的机构有着不同的结构，而机构的结构取决于机构的运动形式、组成方法和机构自由度等一些重要的因素。机构的组成是把若干构件按一定规律联接起来使之成为运动的系统，所以在设计机构时，需要从大量的各种各样的机构中选择最合适的结构及其零件的形式。为此，应该了解现代机构的基本形式、结构特点和组成原理。因为实际机械中大多数为平面机构，所以本章将主要研究平面机构的结构分析。

第一节 机构的组成

一、构件与零件

机构是由具有确定运动的单元体组成的，这些运动单元体称为构件。在机械原理中，一般认为构件是刚体或柔韧体（如皮带、钢丝绳和链条等），而不是液体和气体。组成构件的制造单元体称为零件。构件可以由一个或多个零件构成，如图 1-1 所示内燃机的曲轴 1 为一个零件；连杆 2 为多个零件组成。因此，构件是相互固接在一起的零件组合体。

二、运动副及其分类

1. 运动副

在机构中，每一构件都以一定方式与其它构件相互联接。这种使两构件直接接触的可动联接称为运动副。如轴与轴承、滑块与导轨、轮齿与轮齿、凸轮与推杆等的联接都构成了运动副，如图 2-1 所示。两构件直接接触构成运动副的部分称为运动副元素。图 2-1 中运动副元素分别为圆柱和圆孔面、棱柱和棱孔面及齿廓曲面。为保证两构件恒处于接触状态，运动副应是几何封闭或力封闭。至于组成运动副后，两构件能产生哪些相对运动，与该运动副性质或与该运动副所引入的约束有关。

2. 运动副分类

由理论力学可知，作平面运动的构件可有三个独立运动，即在直角坐标系中沿 x 轴和 y 轴的移动，及绕 z 轴的转动。构件的独立运动数目称为构件的自由度。显然作平面运动的构件有三个自由度。而作空间运动的构件有六个自由度，即三个移动和三个转动。

当一构件与另一构件组成运动副后，由于构件间的直接接触，使构件的某些

独立运动受到限制，构件自由度数便随之减少。这种对构件独立运动的限制称为约束。多一个约束，构件便失去一个自由度。显然，作平面或空间运动的构件其约束数不能超过 2 或 5，否则构件将没有相对运动。

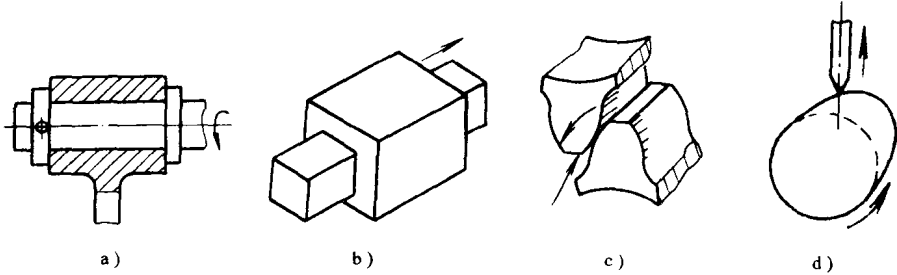


图 2-1

运动副分类方法如下：

(1) 按运动副所引入的约束数目分 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，依次有 III 级副、IV 级副和 V 级副。

(2) 按两构件间的接触情况分 凡两构件以点或线接触构成的运动副称为高副，如图 2-1c、d 所示的运动副。凡两构件以面接触构成的运动副称为低副，如图 2-1a、b 所示的运动副。

(3) 按两构件间的相对运动形式分 两构件之间作相对转动的运动副称为转动副（或称铰链），如图 2-1a 所示；作相对移动的运动副称为移动副，如图 2-1b 所示。此外，还有作相对螺旋运动的螺旋副和作相对球面运动的球面副和球销副。

构成运动副的两构件的运动平面为相互平行的，该运动副称为平面运动副，而运动平面为空间的，该运动副称为空间运动副。

常用运动副的符号见表 2-1，图中画斜线的构件代表固定构件。

表 2-1 常用运动副的符号

运动副名称		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		

(续)

运动副名称		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	移动副		
	平面高副		
空间运动副	螺旋副		
	球面副及球销副		

注：图中 1、2 分别表示构件。

三、运动链与机构

若干个构件通过运动副所构成的系统称为运动链。如果运动链中各构件构成了首末封闭的系统，称其为闭式运动链，如图 2-2a、b 所示；若未构成首末封闭的系统，称其为开式运动链，如图 2-2c、d 所示。根据运动链中各构件的运动平面是否平行，运动链又分为平面运动链和空间运动链，分别如图 2-2 和图 2-3 所示。

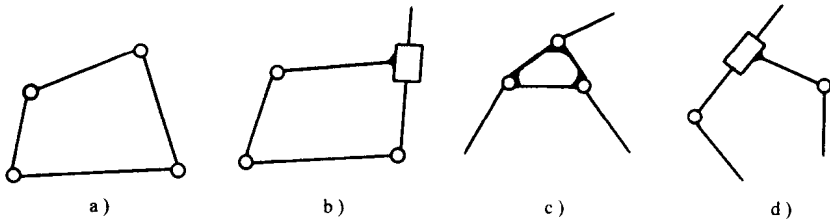


图 2-2

将运动链中的一个构件固定，并且它的一个或几个构件作给定的独立运动时，其余构件便随之作确定的运动，这样，运动链便成为机构。这里，固定的构件称为机架，作独立运动的构件称为原动件，而其余的活动构件则称为从动件。从动件的运动规律取决于原动件的运动规律和机构的结构。因此，机构是由机架、原动件和从动件所组成的构件系统。如果机构中各构件的运动平面是相互平行的，则该机构称为平面机构；否则，称为空间机构。本章主要介绍平面机构。

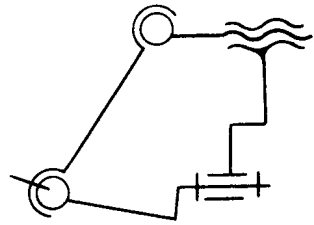


图 2-3

第二节 机构运动简图

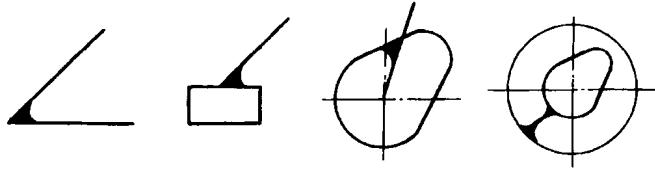
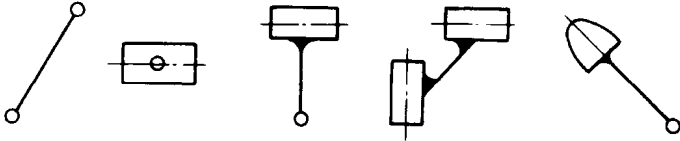
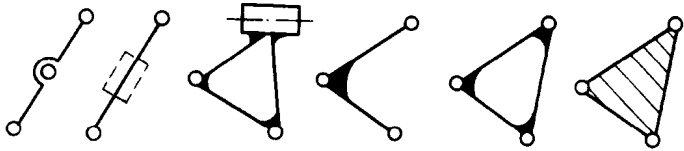
在研究分析现有机械和设计新机械时，为便于分析，可以先不考虑那些与运动无关的因素，如构件的外形、断面尺寸、组成构件的零件数目及其联接方式以及运动副的具体结构等，仅用简单的线条和符号来代表构件和运动副，并按一定比例确定各运动副的相对位置，这种表示机构中各构件间相对运动关系的简单图形称为机构运动简图。

机构运动简图可以简明地表示一台复杂机器的传动原理。还可以根据运动简图进行机构的位移、速度、加速度等运动分析以及受力分析。实际应用的机器虽千差万别，但从运动学观点看，许多机器都有一些共同之处。例如，活塞式内燃机、空气压缩机、冲床等，尽管外形和用途不同，但它们的主要传动机构的运动简图是相同的。

机构运动简图中，运动副表示法见表 2-1，构件表示法见表 2-2；而常用机构运动简图表示法可参阅国家标准 GB/T 4460—1984。

机构运动简图必须与原机械具有完全相同的运动特性，只有这样才可以根据运动简图对机械进行运动分析和力分析。如果只是为了表明机械的结构，也可以不按比例来绘制简图，这样的简图称为机构示意图。

表 2-2 一般构件的常用表示法

同一构件	
两副构件	
三副构件	

绘制机构运动简图的步骤如下：

1) 根据机构的实际结构和运动情况，找出机构的原动件（即作独立运动构件）及工作执行构件（即输出运动构件）。

2) 确定机构的传动部分，即确定构件数以及运动副数、类型和相对位置。

3) 确定机架，并选择多数构件的运动平面作为绘制简图的投影面。

4) 按适当比例尺，用构件和运动副的符号正确绘制出机构运动简图。

例 2-1 图 2-4a 所示为一具有急回作用的冲床。作为原动件的菱形盘 1 绕固定轴 A 转动，通过与其在 B 点铰接的滑块 2 推动拨

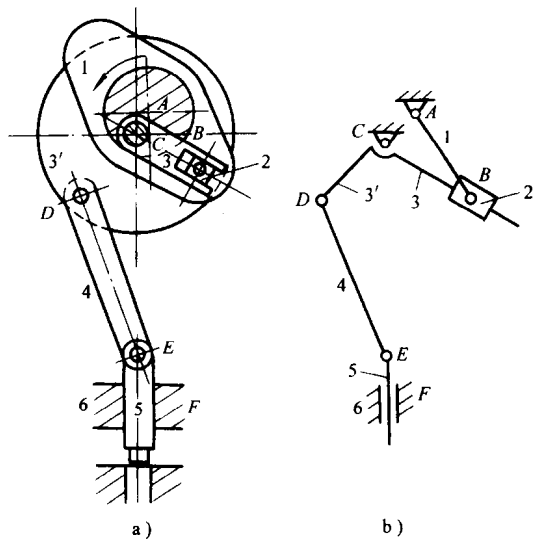


图 2-4

又3绕固定轴C转动,而拨叉3与圆盘3'为同一构件,当圆盘3'转动时,通过连杆4使冲头5实现冲压运动。试绘制此冲床的机构运动简图。

解 根据机构的运动情况,先找出冲床的原动件为菱形盘1,而执行构件为冲头5。该机构的传动线路为 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3(3') \rightarrow 4 \rightarrow 5$,包括机架6,机构由六个构件组成。构件1与滑块2构成转动副B;滑块2与构件3(3与3'为同一构件)组成移动副;而构件3绕固定轴上但偏移轴心A的小轴C转动;圆盘3'与连杆4构成转动副D,冲头5与连杆4组成转动副E并与机架6构成移动副F。

搞清楚该机构的组成情况,选定投影面和比例尺,并确定出各运动副A、B、C、D、E、F的位置,即可绘出机构运动简图,如图2-4b所示。

第三节 机构的自由度计算及具有确定运动的条件

一、机构自由度

前面讲过,构件自由度是指构件具有独立运动的数目。而机构自由度则是机构具有独立运动的数目,即确定机构位置(或运动)的独立广义坐标数目。在进行机构的结构、运动及动力分析之前,必须研究机构的自由度,以确定使机构有确定运动规律所需的独立运动数目。

二、平面机构自由度计算公式

自由运动构件通过运动副组成机构时,由于运动副的约束,其构件自由度将减少。而平面机构中的运动副只能由平面低副(转动副和移动副)和平面高副组成。对于构成运动副的两构件,转动副和移动副分别限制了两个运动(即两个移动和一个移动、一个转动),从而减少两个自由度;平面高副仅限制了一个方向的移动,减少一个自由度。设平面机构有 n 个活动构件, p_1 个低副, p_h 个高副,则组成机构前构件共有 $3n$ 个自由度,组成机构后将减少 $2p_1 + p_h$ 个自由度,因此可得平面机构的自由度计算公式为

$$F = 3n - 2p_1 - p_h \quad (2-1)$$

该式也称为平面机构的结构公式(又称契贝谢夫公式)。

例 2-2 图2-5所示为铰链四杆机构,试计算其自由度。

解 该机构的活动构件数 $n = 3$,低副数 $p_1 = 4$,高副数 $p_h = 0$,由式(2-1)得机构自由度为

$$F = 3n - 2p_1 - p_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

例 2-3 图2-6所示为凸轮机构,试计算其自由度。

解 该机构的活动构件数 $n = 2$,低副数 $p_1 = 2$,高副数 $p_h = 1$,该机构自由度为

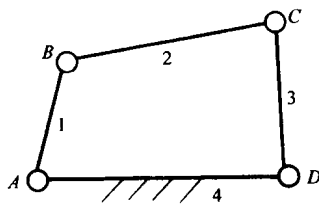


图 2-5