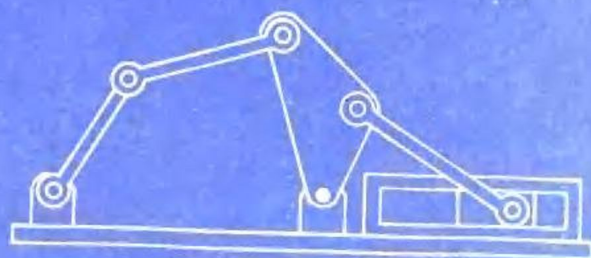


高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

机械原理

华南工学院等九院校 合编

黎庶慰 主编



高等教育出版社

内 容 提 要

本书是在华南工学院等九院校合编《机械设计》的基础上, 根据 1982 年 1 月审订的《机械原理函授教学大纲》(草案)作了全面修订。

全书共分十二章, 包括绪论、平面机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面机构的动态静力分析、机械中的摩擦和机械效率、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、轮系、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。每章之前有内容提要, 每章之末有小结、复习思考题和一定数量的习题。

本书可作为高等工业院校机械类专业的函授教材和自学教材, 也可供非机械类专业师生及有关工程技术人员参考。

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

机 械 原 理

华南工学院等九院校 合编
黎庶慰 主编

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京通县瓦子店印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 20.25 字数 450,000

1985 年 5 月第 1 版 1985 年 5 月第 1 次印刷

印数 00,001—13,650

书号 15010·0609 定价 3.50 元

改 编 序 言

华南工学院等九院校合编的《机械设计》，先后于 1980 年和 1981 年分上下册由人民教育出版社出版。根据 1981~1985 年工科函授教材出版规划，本书的机械原理部分按 1982 年高等工业学校“机械原理函授教学大纲”(草案)的要求，改编为机械原理函授教材。

根据函授教材应做到无师自通，便于自学的特点，本书在改编时力求按照教学大纲的要求，讲清基本概念、基本原理和基本方法。在各个内容的讲述中，又尽量做到问题的提出要明确和有启发性，问题的分析要思路清楚、步骤分明，得出的结论要准确易记。因此，在每一章的开始都写有内容提要，每一章之末都写有小结、复习思考题和习题。在内容提要中介绍本章的主要内容和学习重点；在小结中有两个内容，一个是表示本章主要内容之间的联系的系统表，另一个是本章内容的重要结论；复习思考题是帮助学生总结和掌握本章基本概念和基本原理的有关问题，学习时可与小结的第二个内容相对照；习题除第七章凸轮机构及其设计外都有答案，大部分是基本内容的习题，也有少数带“*”习题与课文中带“*”号内容相对应。此外，在编写时也注意了“少而精”原则的贯彻，对大纲规定的基本内容力求详尽细致，对于大纲中某些选修内容则标以“*”号并用小字排印，供不同专业教学选用。书中还有一定数量的例题，题中尽可能用具体数值，以帮助学生掌握具体的计算方法。

本书的改编是按照机械原理函授学大纲(草案)规定的内容，基本上由原九院校教材的原编者负责。即第一、八章由华南工学院黎庶慰编写，第二、三、四、六章由西南交大陈永、河北工学院谭以津编写，第五章由合肥工业大学丁爵曾编写，第七章由河北工学院王振基编写，第九、十章由华中工学院廖道训编写，第十一章由河北工学院谭以津编写，第十二章由山东工学院张耀荣编写。并由黎庶慰主编，赵国强协助主编进行了工作。

1983 年 11 月在北京钢铁学院召开了本书的审稿会，参加审稿的有成都科技大学何传乐、阜新矿业学院滕宝森、北京钢铁学院龙树德、谭敏，由龙树德主审。他们对本书提出了许多宝贵的修改意见。李杞仪、周贵宽、谢存禧帮助整理了部分书稿。我们在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平所限和编写时间仓促，遗漏和错误之处必不会少，恳切希望各位机械原理课程的教师和广大读者给予批评指正。

编 者

1984.2

常用单位及代号

本书文内所用单位均以本表代号表示

量	单位名称	代 号	说 明
长 度	米, 厘米, 毫米	m, cm, mm	
质 量	克, 公斤	g, kg	1000g=1kg
时 间	秒, 分, 时	s, min, h	
平面角	弧度, 度	rad, °	
面 积	平方米, 平方厘米, 平方毫米	m ² , cm ² , mm ²	
体 积	立方米, 立方厘米, 立方毫米	m ³ , cm ³ , mm ³	
转动惯量	公斤平方米	kg·m ²	
线速度	米每秒	m/s	
角速度	1/秒, 转每分	1/s, rpm	1/秒=弧度每秒
线加速度	米每秒平方	m/s ²	
角加速度	1/秒 ²	1/s ²	1/秒 ² =弧度每秒平方
力	牛顿	N	1N=1(kg·m)/s ²
力 矩	牛顿米	N·m	

目 录

第一章 绪论

§ 1-1 机械原理研究的对象和内容	1
§ 1-2 机械原理课程在教学计划中的地位	3
§ 1-3 机械原理在发展国民经济中的作用	4
§ 1-4 机械原理课程的学习方法	4

第二章 平面机构的结构分析

§ 2-1 研究机构结构的目的	6
§ 2-2 平面运动副及其分类	6
§ 2-3 平面机构运动简图	7
§ 2-4 运动链、机构和机构的自由度	11
*§ 2-5 平面机构用低副代替高副的方法	17
*§ 2-6 机构的组成原理和结构分析	20

第三章 平面机构的运动分析

§ 3-1 研究机构运动分析的目的和方法	28
§ 3-2 机构位置图及其各点轨迹和位移的求法	29
§ 3-3 用速度瞬心法进行机构的速度分析	30
§ 3-4 相对运动图解法的基本原理	34
§ 3-5 用相对运动图解法进行机构速度和加速度分析	40
§ 3-6 机构的运动线图	50
*§ 3-7 用直角坐标解析法进行运动分析	51

第四章 平面机构的动态静力分析

§ 4-1 机构力分析的目的和方法	62
§ 4-2 构件惯性力的确定	64
§ 4-3 机构动态静力分析的图解法	66
*§ 4-4 速度多边形杠杆法(茹可夫斯基杠杆法)	74

第五章 机械中的摩擦和机械效率

§ 5-1 概述	80
§ 5-2 平面的摩擦	81
§ 5-3 槽面的摩擦	82

§ 5-4 矩形螺纹螺旋副的摩擦	83
§ 5-5 三角形螺纹螺旋副的摩擦	85
§ 5-6 向心轴颈的摩擦	86
*§ 5-7 推力轴颈的摩擦	91
§ 5-8 机械效率和自锁条件	92
§ 5-9 螺旋的机械效率	95
§ 5-10 机组的效率	96

第六章 平面连杆机构及其设计

§ 6-1 平面连杆机构的应用及其设计的基本问题	104
§ 6-2 铰链四杆机构有曲柄的条件	105
§ 6-3 铰链四杆机构的基本型式及其演化	107
§ 6-4 平面四杆机构的几个基本知识	116
§ 6-5 用图解法设计平面四杆机构	120
*§ 6-6 利用位移矩阵进行平面连杆机构设计	126

第七章 凸轮机构及其设计

§ 7-1 凸轮机构的应用和分类	139
§ 7-2 从动件的常用运动规律	142
§ 7-3 凸轮机构的压力角与基圆半径的确定	152
§ 7-4 凸轮轮廓设计的图解法	155
*§ 7-5 凸轮轮廓设计的解析法	161

第八章 齿轮机构及其设计

§ 8-1 齿轮传动的应用和分类	170
§ 8-2 齿廓啮合基本定律	172
§ 8-3 渐开线及其性质	173
§ 8-4 渐开线齿廓满足齿廓啮合基本定律	176
§ 8-5 直齿圆柱齿轮各部分名称和几何尺寸计算	177
§ 8-6 渐开线直齿圆柱齿轮传动的啮合过程	181
§ 8-7 渐开线直齿圆柱齿轮传动的正确啮合条件	182
§ 8-8 渐开线直齿圆柱齿轮传动的中心距和	

可分离性	183
§ 8-9 齿轮齿条传动	186
§ 8-10 内啮合圆柱齿轮传动	186
§ 8-11 渐开线圆柱齿轮传动的重合度	187
§ 8-12 齿廓切削方法	189
§ 8-13 渐开线标准齿轮无根切现象的最少齿数	193
§ 8-14 变位齿轮概述	195
*§ 8-15 变位齿轮传动	198
§ 8-16 斜齿圆柱齿轮传动	202
§ 8-17 螺旋齿轮传动	210
§ 8-18 蜗杆传动	214
§ 8-19 直齿圆锥齿轮传动	218

第九章 轮 系

§ 9-1 轮系的用途和分类	234
§ 9-2 定轴轮系的传动比计算	235
§ 9-3 周转轮系的传动比计算	238
§ 9-4 混合轮系的传动比计算	243
*§ 9-5 其他类型齿轮传动简介	246

第十章 其他常用机构

§ 10-1 万向联轴器	254
§ 10-2 螺旋机构	256
§ 10-3 棘轮机构	258

§ 10-4 槽轮机构	261
§ 10-5 不完全齿轮机构	264
§ 10-6 凸轮式间歇运动机构	266
§ 10-7 非圆齿轮机构	267
*§ 10-8 组合机构	268

第十一章 机械的运转及其速度

波动的调节

§ 11-1 研究机械运转及其速度波动调节的目的和内容	274
§ 11-2 机械运转的三个时期	275
§ 11-3 等效力和等效力矩	276
§ 11-4 等效质量和等效转动惯量	281
§ 11-5 机组的运动方程式	283
§ 11-6 机组速度波动的调节方法	284
*§ 11-7 确定飞轮转动惯量简介	286

第十二章 机械的平衡

§ 12-1 机械平衡的目的、分类及方法	294
§ 12-2 刚性回转构件的静平衡计算及静平衡试验法	295
§ 12-3 刚性回转构件的动平衡计算及动平衡机的工作原理	298
*§ 12-4 平面机构的平衡原理	307

第一章 绪 论

内 容 提 要

这一章主要讲述本课程的研究对象和内容、本课程在教学计划中的地位和在发展国民经济中的作用、本课程的学习方法。为了了解本课程的研究对象和内容,首先要弄懂机械、机器、机构和构件的概念,这也是本章的重点。

§ 1-1 机械原理研究的对象和内容

“机械原理”是“机构和机器原理”的简称。它是一门以机构和机器为研究对象的学科。为此,我们首先对机器、机构和机械以及与之有关的一些名词作简要的介绍。

“机器”一词的概念,人们在生产实践和日常生活中已经形成。例如我们常见的起重机、拖拉机、汽车、工业缝纫机、电动机、各种机床等都称为机器。如图 1-1 的内燃机是由机架 1、曲柄 2、连杆 3、活塞 4、阀门 5、推杆 6、凸轮 7 以及齿轮 8 和 9 组成,其中凸轮、推杆和阀门共有两组(图中只表示一组),一组带动进气阀,一组带动排气阀。当燃气推动活塞 4 往复运动(回程运动可以由错开排列的其他活塞带动或由飞轮的惯性带动)时,经连杆 3 使曲柄 2 作连续转动,从而将燃

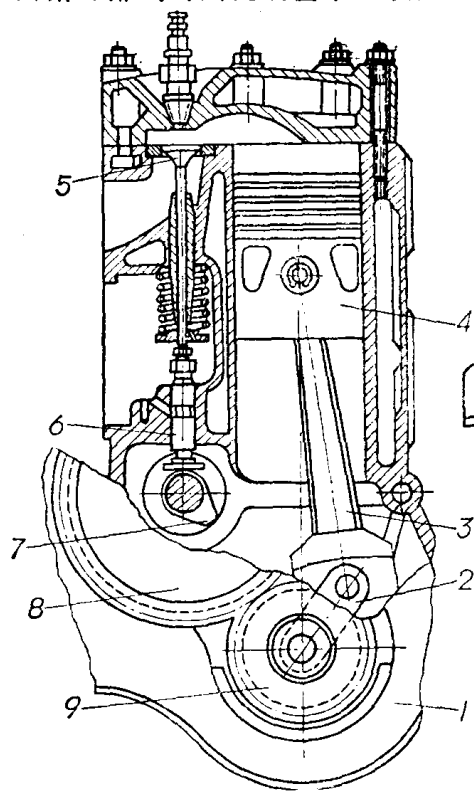


图 1-1

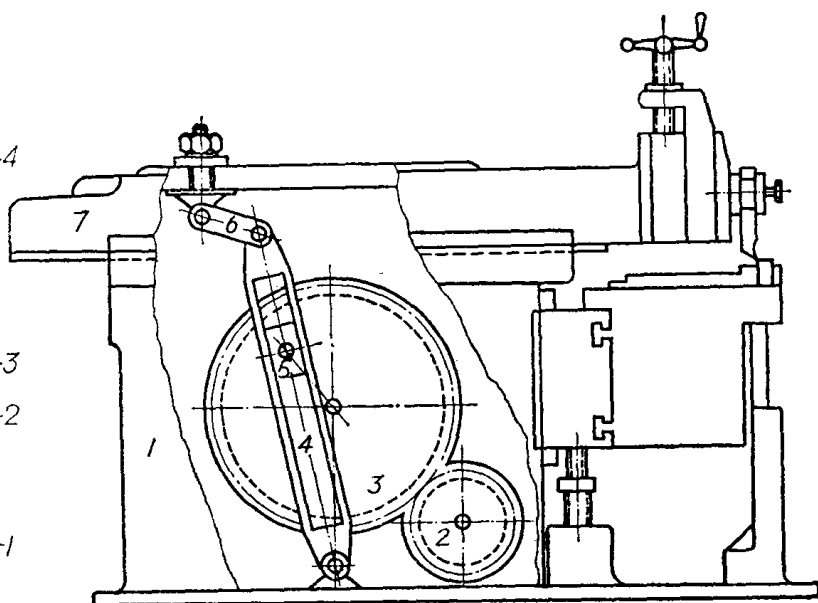


图 1-2

气的热能转换为曲柄的机械能。齿轮的作用是把曲柄和凸轮的运动联系起来,当活塞处于排气位置时排气阀打开;当活塞处于吸气位置时吸气阀打开;当活塞压缩空气时排气阀和吸气阀都关闭,从而保证整个机器能连续而又自动地运转。

又如图 1-2 所示的牛头刨床是由床身 1、传动齿轮 2 和 3、导杆 4、滑块 5、连杆 6、刨头 7 以及其他辅助部分(图中未表示)所组成。当电动机驱动齿轮 2 转动时,它带动齿轮 3(又是曲柄)回转,通过滑块 5 推动导杆 4 左右摆动,再经过连杆 6 带动刨头 7 作往复直线运动,刨刀装在刨头上作直线切削。除此之外,动力还通过其他辅助机构带动工作台沿垂直于刨刀运动方向作水平移动,从而使刨刀加工出平面。

机器中作为一个运动单元而运动的物体,如图 1-1 的曲柄、连杆和活塞,图 1-2 的曲柄、导杆、滑块、连杆和刨头等,在本课程中都称为构件;而由一种材料制成的一个单元体则称为零件。构件可以是一个零件,如图 1-3 所示的曲柄;也可以是由若干个零件刚性连接而成,如图 1-4

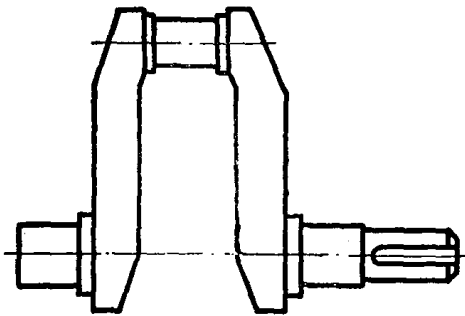


图 1-3

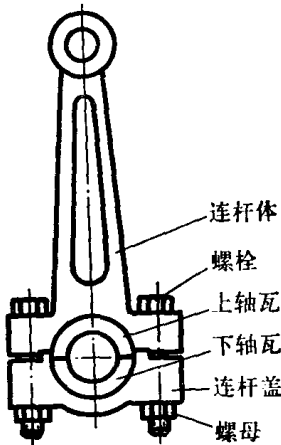


图 1-4

所示的连杆,它是由连杆体、连杆盖、上下轴瓦、螺栓和螺母等零件组成。所以构件实际上就是理论力学所指的刚体。构件中凡是支持其他构件在其上运动的称为机架,或称参考坐标系,它本身可以固定不动,也可以相对于地球运动。前者如牛头刨床的床身,后者如汽车的车身、飞机的机身。凡相对于机架而运动的构件通常称为活动构件。

从上面两个例子可以看出,机器的结构、性能和用途可以各不相同,但从它们的组成,运动确定性和功能关系上来研究,机器有如下三个特征:

- 1) 机器都是人为的两个以上构件的合体。例如电动机是由转子和定子两个构件组成的机器,而内燃机和牛头刨床是由比较多的构件所组成。
- 2) 机器中各构件之间必需有确定的相对运动。例如在内燃机中、曲柄处在不同位置时,活塞、阀门和其他构件亦应在相对应的位置,机器才能连续正常运转。所以,两个以上毫无联系的运动构件是不能组成机器的。
- 3) 机器是人类进行生产斗争的重要工具,它能够代替人类劳动以完成有用的机械功或转换机械能。例如牛头刨床能切削工件,内燃机可以把热能转换为机械能等。

机器的种类虽然很多,但分析起来可以把机器分解为一个或多个能够完成预期运动的构件组,这些构件组称为机构,它具有机器的前两个特征。例如在内燃机中,活塞、连杆、曲柄和机架组合起来,可以把活塞的往复直线运动转变为曲柄的连续转动;而凸轮、推杆、阀门和机架的组合,又可将凸轮的连续转动变为阀门的预期启闭运动;而齿轮 8 和 9 与机架的组合,又可改变转动的方向和转速的大小。这三个能够完成预期动作的构件组合体分别称为连杆机构、凸轮机构和齿轮机构。又如牛头刨床中,齿轮 2、3 和机架组成齿轮机构,曲柄、滑块、导杆、连杆、刨头和机架组成连杆机构,它们都可以实现预期运动。最简单的机器,例如电动机、鼓风机,是包含两个构件的双杆机构(连杆机构的一种)。从上面的例子可以看到,机器是由机构组成的,不同的机器可以用同样的一种或多种机构组成。机器的种类很多,但组成机器的常用机构并不太多,主要有齿轮机构、凸轮机构、连杆机构、螺旋机构、间歇运动机构等。

如上所述,我们已经了解到零件、构件、机构和机器的关系是:零件组成构件,构件组成机构,机构又组成机器。人们习惯上把“机构”和“机器”统称为“机械”,所以机械原理就是机构和机器原理的简称,它是一门以机构和机器为研究对象的科学。

在机械原理课程中,我们将各种机器和机构的共性问题归纳为下列三部分内容来讨论:

1) 机构的结构组成:这部分内容是根据机器和机构的第二个特征,研究它们是怎样由构件组合起来的,又在什么条件之下它们各构件之间才能有确定的相对运动。

2) 机构的运动学:这部分内容是在不考虑力对运动的影响,而从纯几何观点来研究机构上各点的轨迹、位移、速度和加速度的求法和机构的运动规律,以及按照运动学要求来设计各种常用机构的方法,例如齿轮机构、凸轮机构、连杆机构、间歇运动机构的设计等。

3) 机构和机器的动力学:这部分内容是研究机械运动过程中作用在各构件上的力的求法和机械效率的确定方法;研究在已知力作用下机械的真实运动规律;研究作用力、运动构件的质量和这些构件的运动之间的关系,也就是机械的运转和调速问题及惯性力的平衡问题。

上述三部分内容中,就其解决问题的性质来分,机械原理的研究内容又可分为机构的分析和机构设计两类。前者是对已有机械的研究,包括对已有机构的结构分析、运动分析和动力分析;后者是按已知运动和动力要求设计常用机构的问题,包括机构结构的选择、运动设计和动力设计。至于特殊机构的设计问题属于专业课范围,本课程不作讨论。

在此应当指出,本课程中所讨论的设计,只限于决定机构各构件间的尺寸关系,而不涉及各构件中有关零件的强度计算、材料选择、具体结构和形状的决定、工艺要求等,因此在很多机械原理和机构学书籍中常用“综合”二字来代替“设计”二字。

§ 1-2 机械原理课程在教学计划中的地位

机械的种类很多,而且随着生产的发展还会不断的增加。不同的机械都有它的特殊问题,这些问题将分别在不同专业的有关专业课中研究。但是对于不同的机械也有它共同的地方,即共性问题,例如上节所提及的结构问题、运动学问题和动力学问题,它们的研究方法和内容是共同的,所以在不同的机械类专业中都开设有理论力学、材料力学、机械原理和机械零件等技术基础

课,以解决这些共同性问题。机械原理课程是以高等数学、普通物理、机械制图以及理论力学等课程为基础的一门技术基础课,它与理论力学的关系尤为密切。

此外,机械原理又为以后学习机械零件和有关专业课程,以及掌握机械方面的最新科技成就,进行独立的机械设计打下重要的理论基础。由上述可见,机械原理是机械类各专业的一门重要的技术基础课,它在教学计划中不仅有承上启下的作用,而且是培养工程师所必需设置的一门课程。

§ 1-3 机械原理在发展国民经济中的作用

实现生产的机械化和自动化,是实现四个现代化的重要措施之一。用现代化的生产工具来改造国民经济各部门,以提高劳动生产率,降低生产成本,改进产品质量。同时实现机械化和自动化还可以改善劳动条件,减轻工人和农民的劳动量,使他们有时间来学习文化和科学技术知识,这不但可以逐步消灭脑力劳动和体力劳动的差别,而且有利于把我国建设成为具有高度社会主义精神文明的国家。

要实现生产的机械化和自动化,就必须根据各生产部门的需要设计出各种新机器,或者对原有设备进行挖潜改造,以提高生产率,改善产品质量和降低成本。要完成这些任务,就必需运用本课程所学过的知识,来选择机构的类型、进行运动设计和动力设计。为了加快建设速度,对我国比较薄弱的部门还需要引进国外先进技术和设备,为了掌握这些设备的性能和特点,学习机械原理,掌握机构的分析方法也是必要的。

加快机器的运转速度是提高劳动生产率的重要途径之一,也是现代机器设计的特点之一。机器运转速度提高以后,由惯性力而引起的不平衡和振动问题将突出起来,这是机械原理当前的重要课题之一。提高机械效率、节约能源,这对解决我国能源供应问题是十分重要的,如何合理选择机构的类型和构件尺寸以提高所设计机械的效率也是本课程的重要任务。随着机械化和自动化的发展,国外采用机械人已日益广泛,这不但可以减轻人的体力劳动,代替人类从事繁重和危险的工作,而且机械人还能部分地代替人类的脑力劳动,思考和分析问题,作出应有判断,这使机械的研究范围已越出了前面所述内容。本课程只讨论具有上述特征的机器和机构。

从以上的事实可以充分说明机械原理在发展国民经济中有不可缺少的作用。

§ 1-4 机械原理课程的学习方法

如上所述,本课程的主要内容有机构分析和常用机构设计两部分。机构分析部分是研究各种机构和机器的共性问题,其中运动分析和动力分析所用的理论就是理论力学中的基本原理,但理论力学的研究对象是质点和刚体,而机械原理的研究对象是机构和机器,它不但更联系工程实际,而且构件数多。如何利用理论力学的基本原理来解决机械实际问题是本课程的特点之一,例如机构的运动分析和动力分析它就有一套既方便而又系统的方法,在公式中所采用的符号和注脚也要方便于多构件的使用,这是在初学时必须把握住的。常用机构设计部分虽然有别于机构分析部分,但这两部分又是互相联系的,因为设计就是分析的逆过程。此外,要了解各种常用机

构的类型、应用、有关名词、参数和公式时, 必须对这些机构有一定的感性知识, 因此在学习本课程时应应对日常生活和生产中所遇到的各种机构和机器进行细心的观察和分析, 做到理论联系实际。

研究机械原理问题的方法主要有图解法和解析法两种。图解法直观易懂, 可以达到一般工程精度, 适用于手工作图和计算; 解析法不仅精度高, 而且可以在设计中进行分析比较, 选择最优方案, 但一般难于手工计算。按照目前情况和函授特点, 本书以图解法为主, 在选修内容中介绍了三节解析法。要掌握好作图法首先就要掌握怎样把实际机构或机器抽象为简单的图形, 即所谓机构简图的测绘; 其次要掌握怎样用长度来表示其他物理量(如长度、速度、角速度、加速度、角加速度、力和力矩等), 即所谓比例尺的选取; 最后还要掌握求解不同问题时的具体作图方法和步骤。用作图法求解, 不同于理论力学所习惯用的方法, 因此一开始时就要通过例题的阅读和习题的练习掌握好。

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, 还要注意它是一门技术基础课, 它不但为学习后继课程和今后工作打下必不可少的理论基础, 也为我们今后学习和工作提供解决问题的基本方法。

小 结

本章主要讨论了如下内容并得到一些有用的结论

1) 机器是人为的构件组合体, 各构件之间具有确定的相对运动, 它能够代替人类劳动以完成有益的机械功或转换机械能; 机构也是人为的构件组合体, 各构件之间也有确定的相对运动, 但不能独立地完成有益的机械功或转换机械能; 构件是一个运动单元, 它可以是一个零件, 也可以是若干个零件刚性连接而成; 零件是同一材料制成的一个制造单元体。

2) 本课程是研究机构和机器原理的一门科学, 它的主要内容可以归纳为: 机构的结构分析、机构的运动分析和动力分析, 以及按运动学和动力学条件进行常用机构的设计。

3) 本课程以高等数学、普通物理、机械制图和理论力学等课程为基础, 它又为以后学习机械零件和有关专业课程, 以及掌握机械方面的最新成就打下理论基础。

4) 本课程在发展国民经济中起着重要的作用。

复习思考题

1. 什么叫机构? 什么叫机器? 什么叫机械? 它们之间有何联系? 试举例说明之。
2. 机械原理的课程内容是什么? 你打算如何学好机械原理课。

第二章 平面机构的结构分析

内 容 提 要

学习第一章后已经知道：机构是两个以上具有确定的相对运动的构件组合体。究竟机构中各构件应如何组合，又在什么条件下才能具有确定的相对运动呢？这是本章要研究的主要问题。为了导出机构具有确定的相对运动的条件，首先必须介绍平面运动副的类型及其提供的约束条件，平面机构运动简图的绘制方法和步骤，以及平面机构自由度计算及其注意事项，这些都是本章的学习重点。在平面机构自由度计算的注意事项中虚约束的确定是个难点，学习时应特别注意。

§ 2-1 研究机构结构的目的

研究平面机构结构分析的目的如下：

(1) 探讨机构运动的可能性与确定性 学习了第一章已经知道机构是人为的两个以上构件的组合体，其中各构件必须有确定的相对运动。所以在研究一个机构时，首先要研究机构中各构件应怎样组合才能运动，又在什么条件下机构才能有确定的相对运动，这是研究机构结构分析的目的之一。

(2) 掌握为机器分析与设计时使用的机构运动简图的绘制方法 机构中各构件的外形和结构往往是比较复杂的。为了便于研究机构，在进行机构分析和设计时有必要撇开那些与之无关的构件的外形和结构，而仅仅用一些代表运动副的符号和简单的线条将机构绘成运动简图，即把机构抽象为便于分析的简单模型，这是研究机构结构分析的目的之二。

(3) 为机构的运动分析和动力分析提供一般的方法 由于常用的机构的种类很多，要逐一的进行研究是十分繁琐的，因此，将各种机构按它们的结构组成形式加以分类，从而建立起对机构运动分析与动力分析的一般方法。这部分作为选修内容写入。

所有构件均在同一平面或平行平面内运动的机构称为平面机构，本章仅限于讨论平面机构的结构分析。

§ 2-2 平面运动副及其分类

因为机构是由两个以上具有确定的相对运动的构件所组成，所以机构中的各构件不可能各自独立运动，也不可能连成刚体，而必须采用能使两构件产生一定相对运动的连接形式。如轴颈与轴承的连接(图 2-1, a)，滑块与导槽的连接(图 2-1, b)，轮齿与轮齿的连接(图 2-1, c)，凸轮与从动件的连接(图 2-1, d)等。凡两构件直接接触而又能产生一定型式的相对运动的连接，称为运动副。其中轴颈与轴承的连接构成回转副，滑块与导槽的连接构成移动副，它们都是面接触的运动

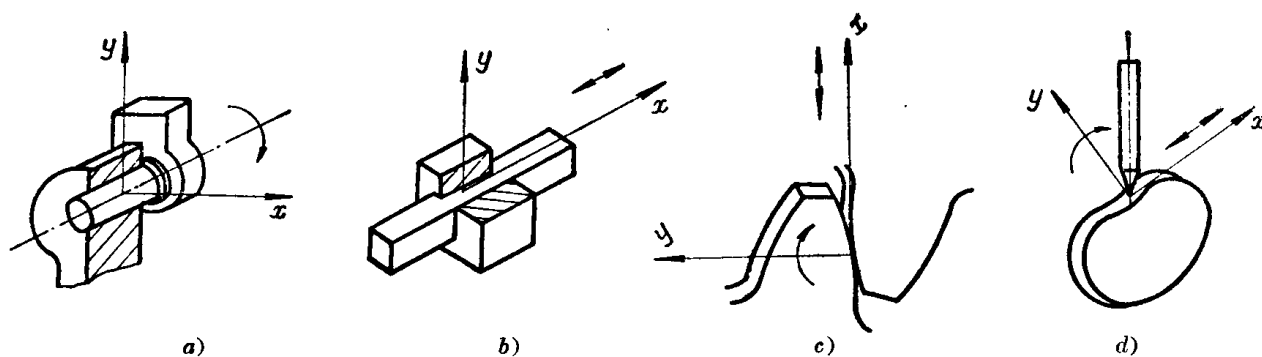


图 2-1

副,接触应力比较低,统称为低副。从动件与凸轮的连接和轮齿与轮齿的连接构成的运动副,因为它们都是点或线接触,接触应力较高,统称为高副。所有这些构成运动副的点、线、面(例如从动件的尖端、轴颈的圆柱面等)称为运动副元素。

由理论力学知道,一个没有受任何约束的刚体(即构件)作平面运动时(图 2-2),可以看成是由沿 x 轴方向和 y 轴方向的移动以及在该平面上的转动三个独立运动所组成。或者说作平面运动构件在任一瞬间的位置,可以由构件上 A 点的坐标 (x, y) , 以及通过 A 点的任一标线(例如 AB 线)

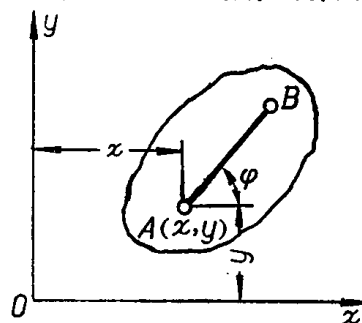


图 2-2

与坐标轴的夹角 φ 三个独立参数来确定。把构件的这种独立运动称为自由度,把构件这些独立运动的数目或者确定构件位置的独立参数的数目,称为自由度数。所以一个不受约束的平面运动构件,具有三个自由度。当一构件与另一构件组成运动副后,构件的独立运动数即受到了限制,自由度数便随之减少,把对构件独立运动所加的限制称为约束,把限制构件独立运动的数目称为约束条件数。每加上一个约束,构件就减少一个自由度。两构件间约束条件数的多少和约束的特性如何,完全取决于运动副的类型。如图 2-1, a 所示,当两构件组成回转副后,相对运动只剩下绕垂直 xy 平面的轴的转动,而失去了沿 x 轴和 y 轴两个方向的相对移动,故相对自由度数为 1,而约束条件数为 2; 如图 2-1, b 所示,当两构件组成移动副后,相对运动只剩下沿 x 轴方向的移动,即失去了 y 轴方向的相对移动和绕垂直于 xy 平面的轴的相对转动,故相对自由度数为 1,约束条件数为 2; 如图 2-1, c 和 d 所示,当两构件组成高副后,它们的相对运动不但可以沿切线方向(即 x 轴方向)的相对移动,还可以绕垂直于 xy 平面的轴转动,即失去了法线方向(即 y 轴方向)的相对移动,故相对自由度数为 2,约束条件数为 1。由此得知,在平面机构中,一个低副有两个约束条件,一个高副有一个约束条件。

§ 2-3 平面机构运动简图

对已有机器的研究或设计新的机器时,都要首先作出能够表明其运动情况的机构运动简图。因为机构各构件间的相对运动,只取决于机构中所有运动副的类型、数目及其相对位置(即回转副的中心位置、移动副的中心线位置和高副接触点的位置),而与构件的外形、断面尺寸、组成构

件的零件数和运动副的具体结构(如用滚动轴承或滑动轴承作回转副)无关。因此,在对已有机器进行分析或设计新机器时,为便于研究,可以用简单的符号来表示运动副,并按一定比例用直线或曲线将同一构件上的运动副元素连接起来表示构件。这种表示机构各构件间运动关系的简单图形,称为机构运动简图。

在平面机构运动简图中,表示平面运动副的符号如下:

(1) 回转副 可用图 2-3 的符号表示,其中图 *a* 表示组成回转副的两构件都是活动构件,

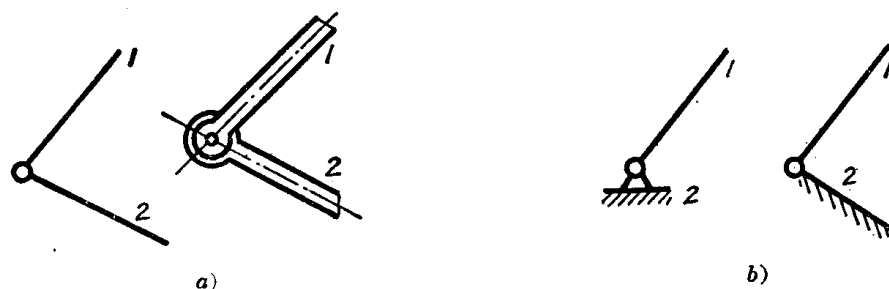


图 2-3

图 *b* 表示组成回转副的两构件中有一个为固定构件(机架),这时固定构件应画有短斜线。

(2) 移动副 可用图 2-4 所示的几种符号表示,与回转副一样,如果两构件中有一个是固定的,则固定的构件应画有短斜线。

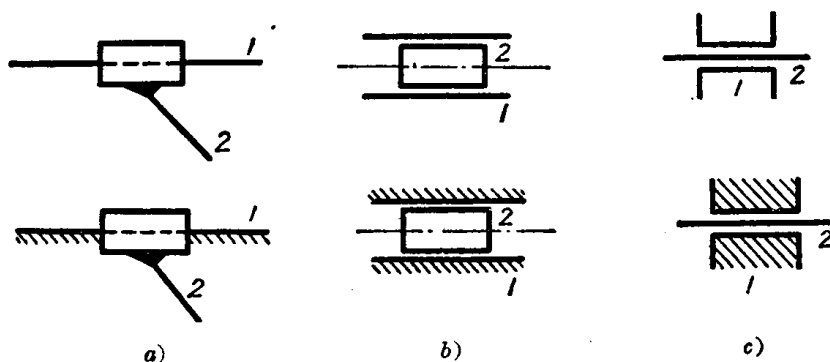


图 2-4

(3) 高副 可用图 2-5 和图 2-6 所示的几种符号表示,其中图 2-5, *a* 和 *b* 为齿轮轮齿与轮齿接触时端面简图的画法,这时可用齿轮的一对节圆(点划线)表示,有时还在节圆上添加两段齿

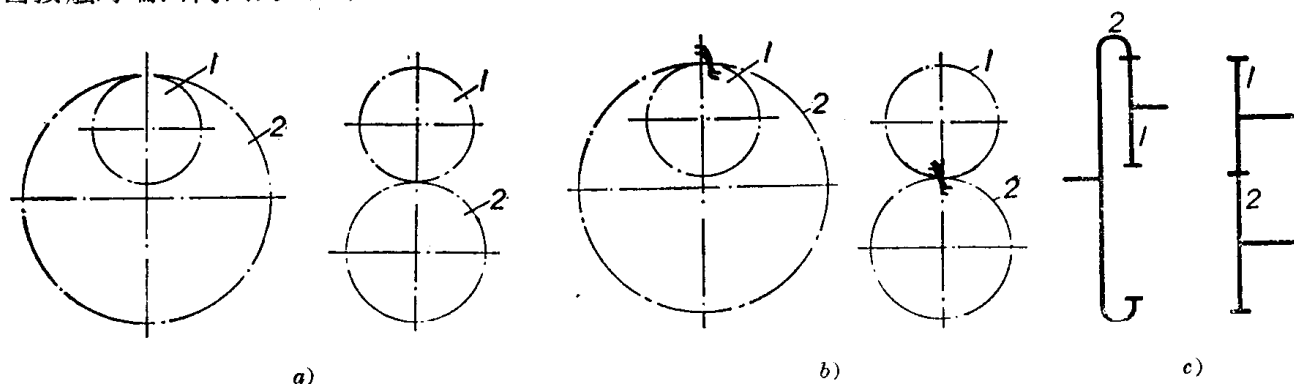


图 2-5

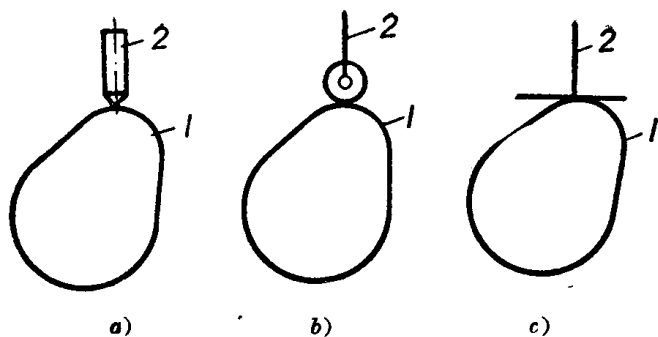


图 2-6

廓(图 *b*)，图 *c* 为轴面的简图画法。图 2-6 所示为凸轮与从动件接触时的画法，通常习惯画出凸轮和从动件的全部轮廓。

常用机构简图所用符号，除上述四种外，详见 GB138-74^①。

为了表达机构简图中的构件，可用简单的线条(直线或曲线)将构件上所有的运动副元素连接成一体。如果构件上有两个运动副元素时，可如图 2-7 所示的形式表示，其中图 *a* 是构件上有

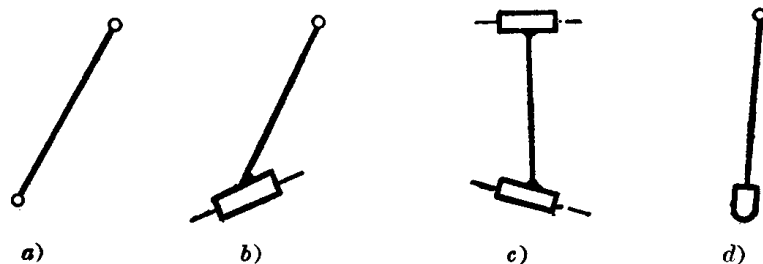


图 2-7

两个回转副元素，图 *b* 是构件上有一个回转副元素和一个移动副元素，图 *c* 是构件上有两个移动副元素，图 *d* 是构件上有一个回转副元素和一个高副元素，余类推。

如果一个构件上有三个或三个以上运动副元素时，可如图 2-8 所示，分别用直线将各运动副

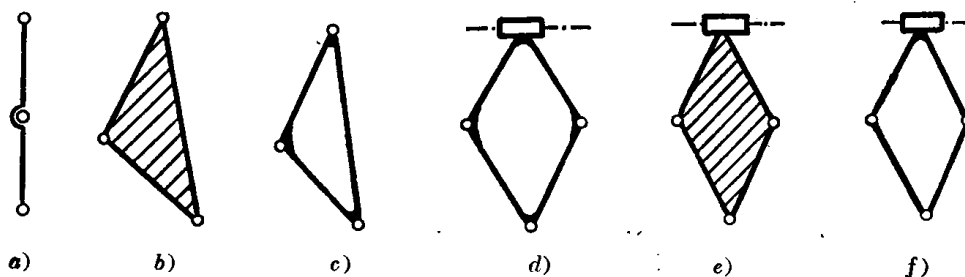


图 2-8

元素连成三角形或多边形表示，其中图 *a* 为构件的三个回转副元素在同一直线上的表示法。图 *b* 和 *c* 是构件的三个回转副元素构成三角形的表示法，这时三角形应加剖面线(图 *b*)或在两直线相交处涂上焊缝记号(图 *c*)。图 *d*、*e*、*f* 分别为同一构件上有四个运动副元素的表示形式，

^① GB 是国家标准的简写。

注意图 *f* 和图 *d*、*e* 是一样的, 图 *f* 中虽然有三个构件①, 但不能产生相对运动, 所以可以看成是一个构件。

为了准确地表达构件间的相对运动情况, 如果简图用实物尺寸表示, 则简图中表示回转副的小圆中心必须与实际的相对回转轴线重合; 表示移动副的滑块、导杆、导槽, 其导路必须与实际的相对移动方向一致; 表示高副的曲线其曲率中心的位置必须与构件的工作轮廓相符。如果实物尺寸太大或太小, 亦可用一定的缩小或放大比例尺绘制简图, 这时各运动副之间的相对位置必须严格按选定的比例尺绘出。

绘制平面机构运动简图的步骤是: 1) 观察机构的运动情况, 找出机架(或称固定构件)和原动件(即运动规律已知的构件, 通常也是驱动机构的外力所作用的构件)。2) 根据相连接的两构件间的接触情况及相对运动的性质, 确定各个运动副的类型。3) 选定一个与各构件运动平面平行的平面作为绘制简图的平面, 并用选定的比例尺按照各运动副间的距离和相对位置, 以规定的符号将各运动副表示出来。4) 用直线或曲线将同一构件上的各运动副元素连接起来(其中固定构件应加上短斜线表示, 它可以连成整体, 也可以分成几段), 即为所要画的机构运动简图。

如图 2-9, *a* 所示是内燃机的主机构, 它是由曲柄 1、连杆 2、活塞 3、缸体 4 等四个构件组成。根据工作情况知道, 缸体 4 是固定构件(机架), 活塞 3 是原动件, 它们组成移动副, 导路沿缸体的轴线方向。而构件 3 与构件 2, 构件 2 与构件 1, 构件 1 与机架 4 分别组成回转副。依照绘制简图的步骤, 先选定机构简图的比例尺, 定出构件 4 与 1、构件 1 与 2、构件 2 与 3 的回转副中心点 *A*、*B*、*C* 的位置, 并以回转副符号表示, 再由构件 3 与 4 的相对运动方向用移动副符号表示它们所组成的移动副, 最后把同一活动构件上的运动副用直线连接起来, 而固定构件 4 则分成两段加短斜线表示, 即得如图 2-9, *b* 所示的机构运动简图。

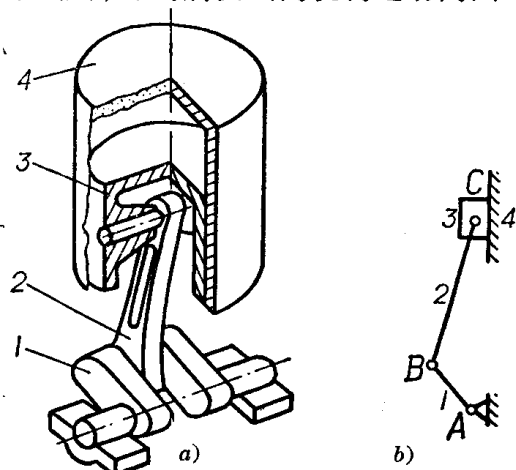


图 2-9

图 2-10, *a* 所示颚式破碎机, 它由六个构件组成。根据机构的工作情况知道, 构件 6 是机架,

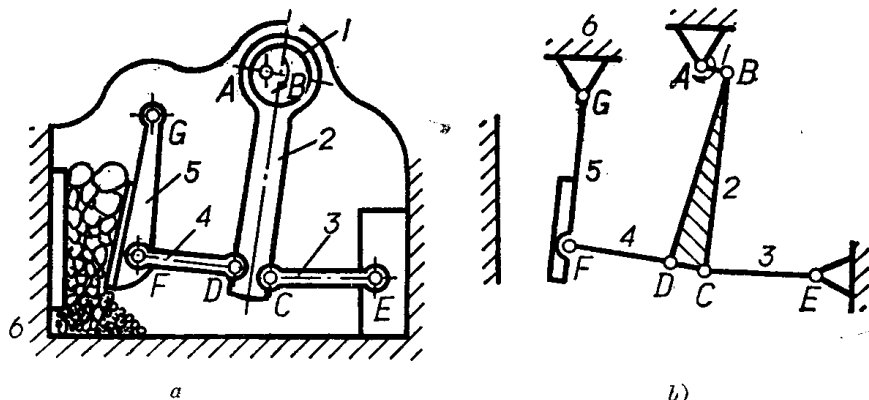


图 2-10

① 可见下面图 2-18 所示运动链的自由度计算。

曲柄 1 由电动机带动是原动件, 它分别与机架 6 和构件 2 组成回转副, 其回转中心为 A 和 B 点, 构件 2 还分别与构件 3 和 4 组成回转副, 构件 3 与机架 6, 构件 4 与动颚板 5、动颚板 5 与机架 6 又分别组成回转副, 它们的回转中心分别为 C 、 D 、 E 、 F 和 G 点。依照绘制简图的步骤, 先选定机构简图的比例尺, 定出各回转副中心点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 的位置, 并用回转副符号表示, 最后把同一活动构件的回转副用直线连接起来, 固定构件上加上短斜线, 构件 2 有三个构成三角形的运动副故加上剖面线, 即得如图 2-10, b 所示的机构运动简图。

图 2-11, a 所示是牛头刨床的主机构, 它是由曲柄 1、滑块 2、导杆 3、连杆 4、刨头 5 和床身 6 等 6 个构件组成。根据机构的工作情况知道, 床身 6 为机架, 曲柄 1 为原动件, 其中滑块 2 与导杆 3、刨头 5 与床身 6 组成移动副, 它们的导路方向前者沿 O_3B 轴线方向, 后者沿床身导槽方向, 而曲柄 1 与滑块 2 和床身 6、导杆 3 与连杆 4 和床身 6、刨头 5 与连杆 4 分别组成回转副, 它们的回转中心分别为 A 、 O_1 、 B 、 O_3 和 C 点。依照绘制简图的步骤, 绘得如图 2-11, b 所示的机构运动简图。

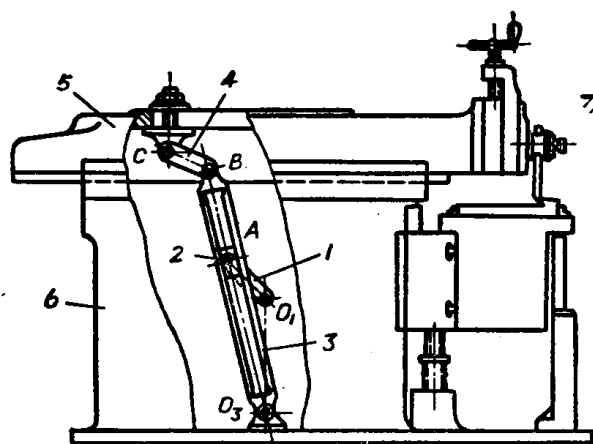


图 2-11

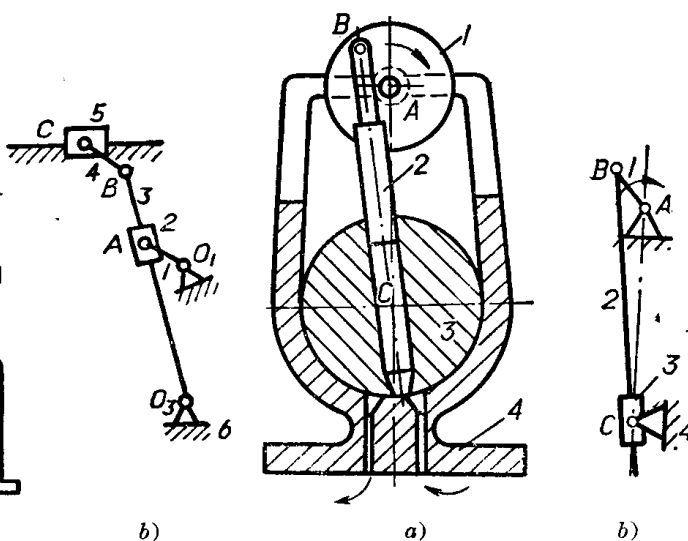


图 2-12

图 2-12, a 所示是油泵机构, 它的工作情况是: 当回转副 B 在 AC 中心线左边时, 从机架 4 的右孔道吸油; 当 B 在 AC 右边时, 经机架 4 的左孔道排油。此机构由圆盘 1、导杆 2、摇块 3 和机架 4 等四个构件组成, 其中构件 1 为原动件, 构件 4 为机架。构件 1 与构件 4 和构件 2、构件 3 与构件 4 分别在 A 、 B 和 C 点组成回转副, 构件 2 与构件 3 组成移动副, 它们的导路沿 BC 方向, 依照绘制简图的步骤可绘得如图 2-12, b 所示的机构运动简图。

§ 2-4 运动链、机构和机构的自由度

用运动副将两个以上的构件连接而成的系统称为运动链。运动链中各构件均在同一平面或平行平面内运动的称为平面运动链。运动链又分为闭式运动链和开式运动链两种。如果组成运动链中的每个构件至少含有两个运动副元素, 则这种运动链称为闭式运动链, 如图 2-13, a 、 b 所示。如果运动链中至少有一个构件只含有一个运动副元素, 则这种运动链称为开式运动链, 如图 2-13, c 、 d 所示。