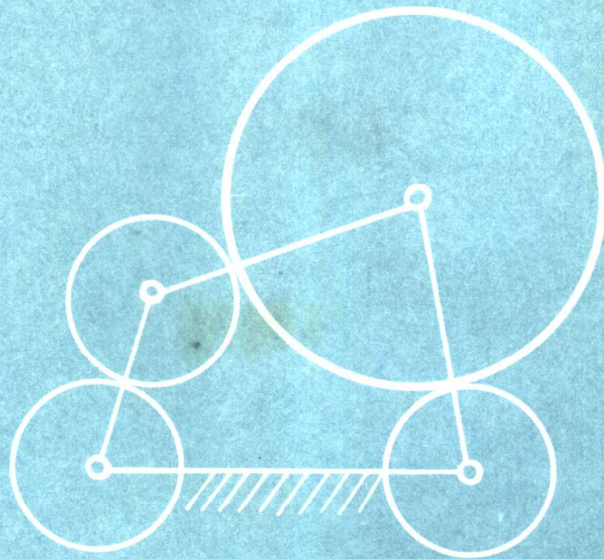


高等学校教材

# 机械原理教程

(1994年修订本)

主编 孙 桓 李继庆



2

西北工业大学出版社

高等学校教材

# 机械原理教程

(1994年修订本)

主编 孙 桓  
李继庆

西北工业大学出版社

1994年6月 西安

(陕)新登字 009 号

**【内容简介】** 本书是在第一版的基础上,参照国家教育委员会 1987 年批准的“机械原理课程教学基本要求”和几年来在教学实践中使用的经验修订编写而成的。

全书共十二章,包括:绪论;机构的组成及其自由度的计算;平面机构的速度分析;机械中的摩擦及机械效率;机械的平衡;机械的运转及其速度波动的调节;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;其它常用机构;机构的选型与组合。各章均附有一定数量的思考题及习题。

本书可与西北工业大学机械学教研室编、濮良贵主编的《机械设计教程》一书合并使用,作为“机械设计基础”课程(参考学时范围为 80~100 学时)的教材,也可作为某些机械类少学时专业开设的“机械原理”课程(参考学时范围为 40~50 学时)的教材,还可供其它有关专业的师生和工程技术人员参考。

高等学校教材  
机械原理教程  
(1994 年修订本)  
主编:孙桓  
李继庆  
责任编辑:孙仙  
责任校对:杨长照

© 1994 西北工业大学出版社出版  
(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 5261952)  
全国新华书店发行  
西北工业大学出版社印刷厂印装  
ISBN 7-5612-0019-6/TH·1(课)

\*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 11.125 字数 264 千字  
1987 年 11 月第 1 版 1994 年 6 月第 2 版第 3 次印刷  
印数:31 001—36 000 册 定价:7.10 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

# 前 言

(第一版)

根据教学需要,我室组织编写了《机械原理教程》和《机械设计教程》两本教材。这两本教材(其适用学时范围均为40~50学时)以合并使用作为“机械设计基础”(原“机械原理及机械零件”)课程(其参考学时范围:80~100学时)的教材为主;也可作为某些近机类专业分别开设的“机械原理”课程及“机械设计”课程的教材。

根据上述本书适用专业的教学要求,本书的编写着重讲清有关机械原理的基本概念、基本理论和机构分析与设计的基本方法。而且在内容选材和体系安排方面也作了一些推敲,显示出一定的特色。例如,为了在开始学习本课程时先使学生对各种传动机构有一个大体的了解,以增加他们的感性认识,并激发他们学习本课程的兴趣,本书在介绍了机构的组成及机构运动简图的画法之后,安排了“各种传动机构的基本类型、特点及应用”一章;为了在机构的选择和组合应用方面为学生提供一些思路,在介绍了各种基本机构的分析与设计之后,则安排了“机构的选型及组合”一章,并列举了机构运动简图设计的实例等。鉴于计算机应用的普及,在机构运动分析、力分析和各种机构的设计方面,又加强了有关解析法的内容。此外,如关于机构的定义、运动副中的摩擦和回转体的平衡等内容,也都作了一些新的安排。本书还选编了数量较多的习题(包括一部分适于运用电算的题目)供教学使用。

参加本书编写的有:孙桓(第一、二、三、十一、十二章)、李继庆(第四、五章)、张榛(第六、九章)、管叙源(第七、十章)和傅则绍(第八章)等同志,并由孙桓同志负责主编。

由于我们的水平所限,遗误及不当之处在所难免,敬希广大读者不吝指正。

西北工业大学机械学教研室

1987年5月

# 前 言

(第二版)

根据教学需要,我室在1987年分别组织编写了《机械原理教程》和《机械设计教程》两本教材。这两本教材(其适用学时范围均为40~50学时)可以合并使用作为“机械设计基础”(原“机械原理及机械零件”)课程(其参考学时范围为80~100学时)的教材;也可单独作为某些机械类少学时专业分别开设的“机械原理”课程及“机械设计”课程的教材。现在,我们根据几年来在教学实践中使用的经验,并参照国家教育委员会1987年批准的“机械原理课程教学基本要求”,首先对原编《机械原理教程》进行了修订,作为该书的第二版出版。

本书第二版的编写,仍着重讲清有关机械原理的基本概念、基本理论和机构分析与设计的基本方法,而在内容选材和体系安排方面则适当地作了增删和调整。例如,为了便于教学,我们把原书第三章的内容分到各有关传动机构章中介绍;把原书第五章中有关摩擦力分析方面的内容与原书第七章的内容合并后独立成章;而将原书第五章中有关构件惯性力平衡的部分予以加强增补形成“机械的平衡”一章。这样调整后不仅便于教学,而且更有利于学生对一些基本概念的掌握。另外,对原书第十一、十二两章的内容也适当地进行了加强和调整,目的是希望让学生多认识一些类型的机构,并在机构的选型和组合应用方面为学生提供一些思路。为了便于学生学习,我们还在各章前加了“内容提要”,在各章末加了“复习思考题”,同时对各章所附的习题也进行了适当的增删。

参加此次修订工作的有孙桓、李继庆(第一、四、九章)、葛文杰(第二、三章)、王三民(第五章)、李树军(第六章)、顾培英(第七章)、舒约文(第八章)、李健(第十章)和陈作模(第十一、十二章)等同志,并由孙桓、李继庆同志负责主编。

本书承西安交通大学姜琪教授审阅,提出了宝贵意见,我们在此表示衷心感谢。

此次修订,我们虽作了不少研讨工作,但难免有不当和漏误之处,敬希广大读者不吝指正。

西北工业大学机械学教研室

1993年5月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
§ 1-1 本课程研究的对象与内容 .....	1
§ 1-2 学习本课程的目的 .....	2
§ 1-3 本课程的特点及学习时应注意的几个问题 .....	3
复习思考题.....	3
<b>第二章 机构的组成及其自由度的计算</b> .....	4
§ 2-1 机构的组成 .....	4
§ 2-2 机构运动简图 .....	6
§ 2-3 机构具有确定运动的条件 .....	9
§ 2-4 平面机构自由度的计算 .....	9
§ 2-5 计算平面机构的自由度时应注意的事项.....	10
复习思考题 .....	13
习 题 .....	14
<b>第三章 平面机构的速度分析</b> .....	18
§ 3-1 机构运动分析的任务和方法.....	18
§ 3-2 用速度瞬心法进行平面机构的速度分析.....	18
§ 3-3 用相对运动图解法作平面机构的速度分析.....	21
§ 3-4 用解析法作机构的运动分析.....	25
复习思考题 .....	26
习 题 .....	26
<b>第四章 机械中的摩擦及机械效率</b> .....	29
§ 4-1 作用在机械上的力.....	29
§ 4-2 机械的效率.....	30
§ 4-3 机械的自锁.....	32
§ 4-4 运动副中的摩擦力.....	33
复习思考题 .....	42
习 题 .....	43
<b>第五章 机械的平衡</b> .....	45
§ 5-1 机械平衡的目的及内容.....	45

§ 5-2 转子的平衡 .....	45
§ 5-3 转子的平衡精度 .....	49
§ 5-4 机械的平衡 .....	51
复习思考题 .....	53
习 题 .....	53
<b>第六章 机械的运转及其速度波动的调节 .....</b>	<b>55</b>
§ 6-1 概述 .....	55
§ 6-2 机械的运动方程式 .....	56
§ 6-3 机械运动方程式的求解 .....	59
§ 6-4 在稳定运转状态下机械的周期性速度波动及其调节 .....	60
§ 6-5 机械的非周期性速度波动及其调节 .....	63
复习思考题 .....	64
习 题 .....	64
<b>第七章 平面连杆机构及其设计 .....</b>	<b>66</b>
§ 7-1 概述 .....	66
§ 7-2 平面四杆机构的类型及应用 .....	66
§ 7-3 有关四杆机构的一些基本知识 .....	71
§ 7-4 平面四杆机构的设计 .....	75
复习思考题 .....	83
习 题 .....	84
<b>第八章 凸轮机构及其设计 .....</b>	<b>87</b>
§ 8-1 凸轮机构的应用和分类 .....	87
§ 8-2 推杆常用的运动规律 .....	89
§ 8-3 凸轮轮廓曲线的设计 .....	92
§ 8-4 凸轮机构的压力角与凸轮的基圆半径 .....	100
§ 8-5 圆柱凸轮机构概述 .....	102
复习思考题 .....	104
习 题 .....	105
<b>第九章 齿轮机构及其设计 .....</b>	<b>108</b>
§ 9-1 齿轮机构的应用与分类 .....	108
§ 9-2 齿廓啮合基本定律 .....	109
§ 9-3 渐开线齿廓 .....	110
§ 9-4 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分的名称和尺寸 .....	113
§ 9-5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动 .....	116
§ 9-6 渐开线齿轮的加工 .....	118

§ 9-7 变位齿轮概述 .....	123
§ 9-8 斜齿圆柱齿轮传动 .....	124
§ 9-9 蜗轮蜗杆传动 .....	129
§ 9-10 圆锥齿轮传动 .....	133
§ 9-11 具有其它曲线齿廓的齿轮传动简介 .....	135
复习思考题 .....	137
习题 .....	138
<b>第十章 轮系</b> .....	<b>140</b>
§ 10-1 轮系的分类 .....	140
§ 10-2 定轴轮系的传动比 .....	141
§ 10-3 周转轮系的传动比 .....	142
§ 10-4 复合轮系的传动比 .....	145
§ 10-5 轮系的应用 .....	147
§ 10-6 其它新型的轮系传动简介 .....	148
复习思考题 .....	149
习题 .....	150
<b>第十一章 其它常用机构</b> .....	<b>152</b>
§ 11-1 万向铰链机构 .....	152
§ 11-2 螺旋机构 .....	153
§ 11-3 棘轮机构 .....	155
§ 11-4 槽轮机构 .....	157
§ 11-5 不完全齿轮机构 .....	159
§ 11-6 凸轮式间歇运动机构 .....	160
复习思考题 .....	161
习题 .....	162
<b>第十二章 机构的选型与组合</b> .....	<b>163</b>
§ 12-1 概述 .....	163
§ 12-2 机构的选型及组合 .....	163
§ 12-3 机器的工作循环图 .....	167
复习思考题 .....	168
习题 .....	168
<b>参考书目</b> .....	<b>169</b>



# 第一章 绪 论

## 本章内容提要

本章简要介绍了本课程研究的对象与内容，并就本课程在培养高级机械工程专业人才全局中的地位、作用和任务，课程的特点及学习时应注意的问题作了必要的说明。

### § 1-1 本课程研究的对象与内容

“机械原理”是研究有关机械的基本理论和分析、设计机械问题的一门技术基础课程。顾名思义，其研究的是“机械”。至于什么是“机械”？以及本课程研究的具体内容是什么？这在下面作一些简要介绍。

“机械”这个名词，我们是很熟悉的。一般认为它是“机构”和“机器”的总称。而所谓“机构”，我们也并不陌生。在理论力学等课程中，我们已对一些机构（如连杆机构、齿轮机构等）的运动学及动力学问题进行过研究。在工程实际中，常见的机构还有带传动机构、链传动机构、凸轮机构、螺旋机构等等。各种机构都是一种用来传递运动和力或改变运动形式（如将回转运动改变为往复移动，将连续运动改变为间歇运动等）的机械传动系统。至于所谓“机器”，虽然随着科学技术的发展，其含义也有所发展，但一般认为各种机器都是根据某种使用要求而设计的机械运动装置。各种机器均能完成有益的机械功（如改变工作物的外形及空间位置等）或转化机械能。例如发电机能将机械能转化为电能，内燃机能将热能转化为机械能，而各种工作机械则能利用机械能来完成有益的机械功。

在日常生活及生产中，我们都接触过许多机器。各种机器虽然具有不同的构造、型式和用途。但是，就其组成来说，都是由若干个机构组合而成的。如图 1-1 (a) 所示的内燃机就包含着由气缸 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4 与机体所组成的连杆机构；由小齿轮 5、大齿轮 6 与机体所组成的齿轮机构；以及由凸轮 7、阀门推杆 8 与机体所组成的凸轮机构；等等。一部机器可能只包含一种类型的机构，也可能包含多种类型的机构。由此可见，机构乃是机器的主要组成部分。因此，机构也就成为本课程所要研究的主要对象。本课程对于机构的研究，主要包括以下五个方面的内容：

#### 1. 机构的组成及其自由度的计算

既然本课程研究的主要对象是机构，那末首先需要研究的是，机构是如何组成的；以及机构在什么条件下才具有确定的运动。而分析机构具有确定运动的条件，关键是要计算机构的自由度。同时还要研究如何用简单的图形把机构的组成及机构的运动情况表示出来，此即所谓机构运动简图的绘制问题。

#### 2. 机构的运动分析

对机构进行运动分析，是设计新机械的必需步骤，也是合理使用现有机械的必要依据。本

课程将主要介绍对机构进行速度分析的基本原理和方法，这也为进一步对机构进行加速度分析和力分析打下基础。

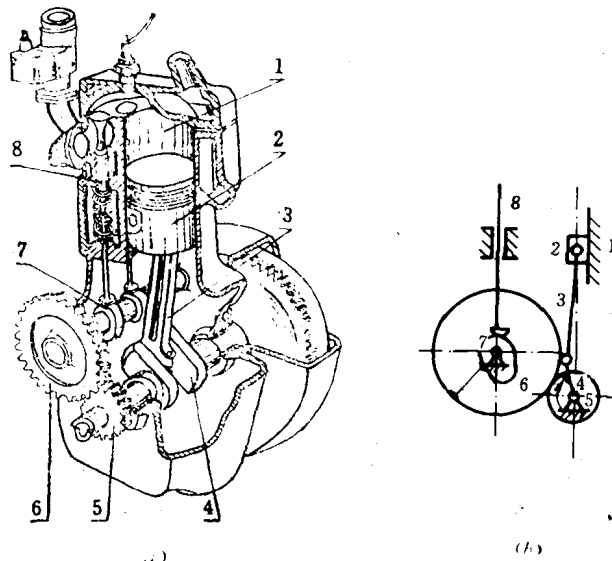


图 1-1

### 3. 机构的力分析和机器动力学分析

由于现代机械设备日益向高速、重载、高精度、高效率、低噪音等方向发展，因此对于机构的力分析和机器动力学问题的研究就显得愈来愈重要。本课程将主要介绍机械中的摩擦与效率，机械的平衡，以及机械的运转及其速度波动的调节等问题。

### 4. 常用机构的分析与设计

机器的类型虽然很多，形式也各不相同，但是经过分析可以发现，各种机器的运动部分通常是由一些常用机构所组成的。因此，本课程将主要介绍几种常用机构（如齿轮机构、凸轮机构、连杆机构等）的运动特性、工作特点、使用场合，以及这些机构的分析与设计方法。

### 5. 机构的选型与组合

在前面的叙述中，我们已经知道机器的运动部分是由机构组合而成的，而且为了实现某种运动要求，可供选用的机构是很多的。那末在进行具体机械的设计时，如何恰当地选用机构类型，并将若干个机构进行组合应用呢？这是一个需要认真加以解决的问题。本课程在介绍了各种常用机构的分析与设计之后，将对这个问题进行讨论，以便对此有一个大致的了解和概括的认识。从而将本课程的内容融汇贯通起来。

## § 1-2 学习本课程的目的

上面我们把本课程的主要内容概括地作了介绍。从中可以看出，本课程是研究各类机械的共同的技术基础知识。由于工科各类专业的学生，在以后的学习和工作中，总要遇到许多有关机械的设计与分析方面的问题，因此学习机械原理课程是十分必要的。正因如此，机械原理也就成为高等工科院校机械类专业中普遍开设的一门重要的技术基础课程。通过本课程

的学习, 将为学习有关的后继课程和掌握专业知识打好基础, 而且为将来掌握新的科学技术成就, 搞好技术工作创造条件。

### § 1-3 本课程的特点及学习时应注意的几个问题

首先, 应当注意, 本课程是一门技术基础课程, 它不像物理、数学、力学等理论基础课程那样具有很强的理论系统性, 而是更结合于实际。其所介绍的各部分内容之间, 既有共同性也有一定的独立性。例如在齿轮机构与连杆机构之间, 虽有一些共性问题, 而更重要的则是它们各自的特殊性。在学习本课程时必须注意到技术基础课程的这一特点。

其次, 要注意本课程关于机械的一些共性问题的研究和对各种常用机构运动及动力特性的研究, 虽然是分别介绍的, 但却是密切相关的。在学习过程中, 应注意把一般的原理和方法与对各种具体机构的研究结合起来, 并随时收集在日常生活和生产中所遇到的各种机械和机械设计问题, 根据所学到的知识进行观察和分析, 做到理论与实际的紧密联系。

另外, 工程技术问题往往是比较复杂的, 牵涉到许多方面的因素。解决工程实际问题, 有些需要有严格的理论分析, 有些则需要采用实验、试凑、近似等简化方法。对待这些方法, 也应像对待理论分析方法一样加以重视。这就是说, 在学习本课程时要有一定的工程观点。总之, 本课程的性质与理论基础课程有许多不同的地方, 因此, 在学习方法上也必须适当地加以改变, 以求把这门课程学好。

#### 复习思考题

1. 本课程研究的内容主要包括哪几个方面的问题?
2. 何谓机器? 机器的功用是什么?
3. 为什么把机构作为本课程研究的对象?
4. 根据本课程的内容、性质和特点, 你认为在学习过程中应注意哪些问题?

## 第二章 机构的组成及其自由度的计算

### 本章内容提要

本章首先介绍了机构的组成和机构运动简图及其绘制方法。然后分析了机构具有确定运动的条件，介绍了平面机构自由度的计算方法。

### § 2-1 机构的组成

#### 一、构件

如前所述，机构是一个用于传递运动和力或改变运动形式的机械传动系统。它是由一些彼此之间既具有一定的约束又具有一定的相对运动的物体所组成的。其中，每一个这样的物体，都是一个独立的运动单元体（在机构的运动过程中，是相对于其它部分而运动的），我们把每一个这样的运动单元体称为一个构件。一个构件可能就是一个零件，也可能是由彼此刚结在一起的若干个零件组成的。组成同一构件的各零件之间没有相对运动，在机构的运动过程中，它们是作为一个整体而运动的，即共同形成一个运动单元体。因此，从机构运动的观点来看，构件是机构的基本组成单元，而机构则可看作由若干个构件组合而成的构件组合体。

#### 二、运动副

既然机构是由若干构件所组成的，那末各个构件之间就必须通过一定的方式彼此联接起来，而且在两个构件联接之后，仍要保证具有产生某些相对运动的可能。我们把由两个构件所组成的，同时还有产生某些相对运动可能的联接称为运动副。而把两构件上能够参加接触而构成运动副的表面称为运动副的元素。例如杆件1与杆件2的铰接（图2-1），滑块1与导轨2的接触（图2-2），以及齿轮1的轮齿与齿轮2的轮齿的啮合（图2-3）等就都是运动副的具体结构形式。而它们的运动副元素分别为圆柱面和圆孔面、棱柱面及棱孔面和两个齿廓曲面。

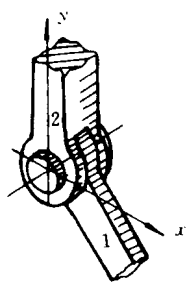


图 2-1

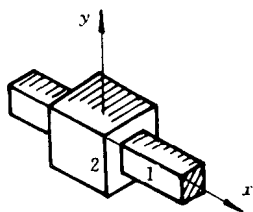


图 2-2

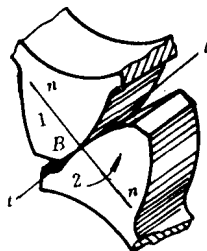


图 2-3

两个构件构成运动副不外是通过点、线或面的接触。凡通过点或线的接触而构成的运动副统称为高副(如图 2-3 所示由两齿轮轮齿所构成的运动副),而通过面接触构成的运动副统称为低副(如图 2-1 和图 2-2 所示的两种运动副)。运动副还常根据构成运动副的两构件之间的相对运动方式的不同来分类。如把两构件之间的相对运动为转动的运动副称为转动副或回转副(图 2-1);相对运动为移动的运动副称为移动副(图 2-2);相对运动为螺旋运动的运动副称为螺旋副(如图 2-4 所示由螺杆 1 与螺母 2 所构成的运动副);相对运动为球面运动的运动副称为球面副(如图 2-5 所示圆球 1 与球窝 2 所构成的运动副);等等。此外,还可根据构成运动副的两构件之间产生的相对运动是平面运动还是空间运动,把运动副分为平面运动副和空间运动副两大类。

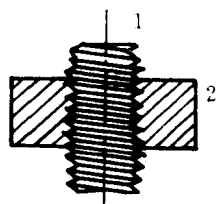


图 2-4

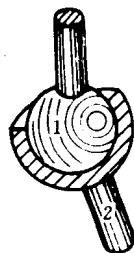













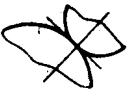













图 2-5

由于构成运动副的两构件之间的相对运动仅与运动副两元素的几何形状和它们的接触情况有关,所以各种运动副常用规定的简单符号来表示(已制订有国家标准)。现将部分常用运动副的代表符号列于表 2-1。

表 2-1 常用运动副的符号

名 称		符 号	
		两运动构件的联接	运动构件与固定构件的联接
平 面 副	转动副	  平行运动平面 垂直运动平面	   平行运动平面 垂直运动平面
	移动副	   	   
	平面高副		
空 间 副	螺旋副	 	  固定螺母 固定螺杆
	球面副		 
	球销副		 

### 三、运动链

如上所述,组成机构的各构件是通过运动副而彼此相联的。我们把构件通过运动副联接而构成的相对可动的构件系统称为运动链。又如运动链的构件形成了首末封闭的环链(图 2-6(a)、(b)),则称其为闭式运动链,或简称闭链;而其构件未构成首末封闭环链的(图 2-6(c)、(d)),则称其为开式运动链,或简称开链。在各种机械中一般都采用闭链。

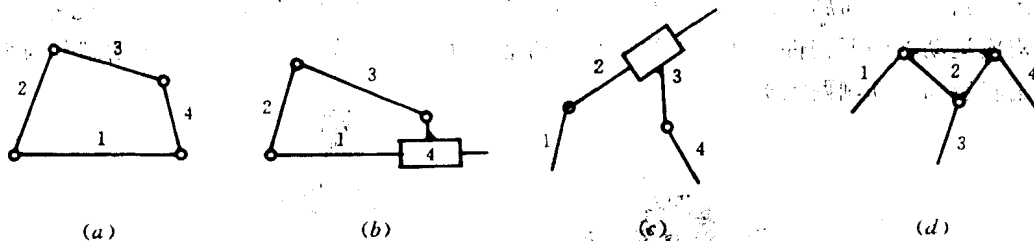


图 2-6

### 四、机构

运动链成为机构时需将其一个构件加以固定,即机构是具有一个固定构件的运动链。机构中的这个固定构件称为机架。例如在图 2-6(a)所示的运动链中,若将构件 1 固定而成为机架(图 2-7),则该运动链便成为机构。而在此机构中,如果我们给定构件 2 以已知的运动规律运动,则其余构件(即构件 3、4)也就相应地随之而运动。机构中按给定的已知运动规律运动的构件称为原动件(图中原动件上应画上箭头表示),而其余构件称为从动件。机构中从动件的运动规律将取决于机构的结构和原动件的运动规律。

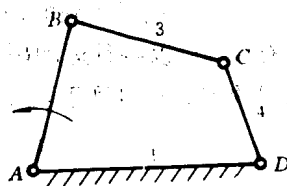


图 2-7

根据组成机构的各构件之间的相对运动为平面运动还是空间运动,可以把机构分为平面机构和空间机构两类。在各种机器中平面机构的应用特别广泛。

### § 2-2 机构运动简图

机构运动简图是用来表明机械运动情况的简单图形。在设计新机械或对现有机械进行分析研究时,都需要首先绘出机构运动简图。由于机构中各构件的运动情况是由其原动件的运动规律,各构件间的联接情况,即各构件间构成的运动副类型(例如是高副还是低副,是转动副还是移动副等)和各构件的运动尺寸(即确定各运动副相对位置的尺寸)来决定的,而与各构件的外形、断面尺寸、组成构件的零件数目及固联方式等无关,所以可以排除所有与运动无关的因素,而按机构的运动尺寸以一定的比例尺定出各运动副的位置,并用运动副的代表符号(表 2-1)及国标规定的常用机构运动简图符号(表 2-2)和简单的线条(表 2-3)把机构的运动情况表示出来。这就构成了机构的运动简图。

机构运动简图必须根据原机械的运动尺寸,严格地按确定的比例尺绘出,才具有与原机械完全相同的运动特性。这样的简图不仅可以简明地表达原机械的机构结构及运动情况,而

且还可根据该图对机构进行运动分析和动力分析。如果只是为了反映机械的机构组成情况及其运动传递方式，也可以不要求严格地按比例尺绘图，这样绘制的机构简图称为机构运动示意图。机构示意图不能据以对机构进行运动分析及动力分析。

表 2-2 常用机构示意图符号 (摘自 GB4460—84)

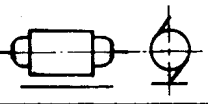
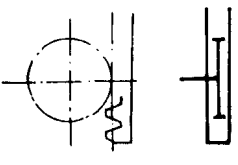
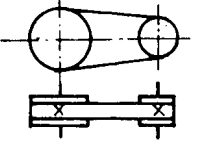
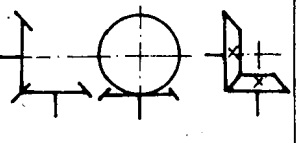
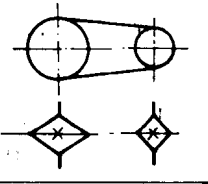
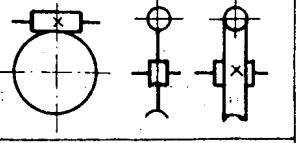
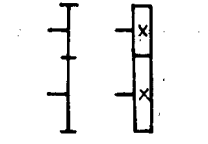
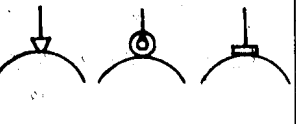
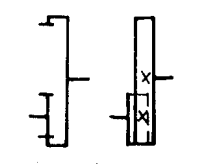
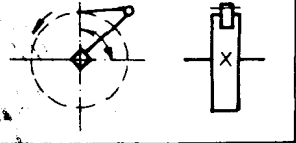
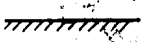



名称	代表符号	名称	代表符号
装在支架上的电动机		齿轮与齿条传动	
皮带传动		圆锥齿轮传动	
链传动		蜗轮蜗杆传动	
外啮合圆柱齿轮传动		凸轮与推杆	
内啮合圆柱齿轮传动		棘轮机构	

表 2-3 一般构件的表示方法

名称	符号
机架	
杆、轴类构件	
固联构件	同 一 构 件      联轴器联接
两副构件	
三副构件	

在绘制机构运动简图时，首先，要搞清机械的实际构造和运动情况，查明该机械是由多少构件组成的，各构件之间构成了何种运动副。为此，应先找出机架和原动件，并从原动件开始，循着运动传递的路线逐个分清各从动件，并依次标上数字编号。同时，也依次分析相邻两构件之间各构成了何种运动副，并依次标上字母。这样才能正确地绘制出其机构的运动简图。

其次，要恰当地选择投影面。即要选择最能反映该机械运动特征的运动平面为投影面。为此，一般可以选择其多数构件的运动平面为投影面。必要时也可以就机械的不同部分选择两个或两个以上的投影面，然后转到同一平面上，或者把在主运动简图上难于表示清楚的部分另绘一局部简图。总之，以能够简明地把机械的机构结构及运动情况表示清楚为原则。

最后，要选择适当的比例尺。根据该机械的运动尺寸，先定出各运动副之间的相对位置，再用各种运动副的代表符号和代表构件的简单线条将机构运动简图画出来。并用箭头标出机构原动件在图示位置时的运动方向。

下面举两个例子加以说明。

**【例题 2-1】** 图 2-8(a) 所示为一颚式碎矿机。当曲轴 2 绕其轴心  $O$  连续转动时，动颚板 3 作往复摆动，从而将处于动颚板 3 和固定颚板 6 之间的矿石 7 轧碎。试绘制此碎矿机的机构运动简图。

**解** 由图 2-8 可知，此碎矿机系由原动件曲轴 2 (1 为固装于曲轴 2 上的飞轮)、动颚板 3、摇杆 4、机架 5 (固定颚板 6 与机架为同一构件) 等 4 个构件所组成。其中曲轴 2 与机架 5 在  $O$  点构成转动副；曲轴 2 与动颚板 3 也构成转动副，其轴心在  $A$  点 (即曲轴与动颚板配合而构成的转动副的几何中心)。另外，摇杆 4 与动颚板 3、机架 5 分别在  $B$  点及  $C$  点构成转动副。

将此碎矿机的构造情况搞清楚后，再选定投影面和比例尺，并定出转动副  $O$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $C$  的位置，即可进而绘出其机构运动简图如图 2-8(b) 所示。最后用箭头标出构件 2 的转动方向。

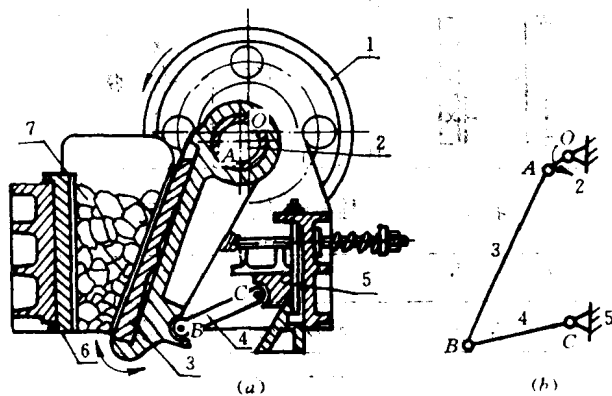


图 2-8

**【例题 2-2】** 试绘制图 1-1 所示内燃机的机构运动简图。

**解** 由图 1-1 可见，在此内燃机中，气缸 1 (即机架) 与活塞 2 构成移动副；活塞 2 与连杆 3、连杆 3 与曲轴 4、曲轴 4 与机架 1 以及凸轮轴 7 与机架 1 分别构成转动副；固联于曲轴上的小齿轮 5 与固联于凸轮轴 7 上的大齿轮 6 以及凸轮轴 7 上的两个凸轮与进气阀和排气阀的推杆 (图中一个推杆标号为 8) 分别构成高副。



把该内燃机的组成情况搞清楚以后,再选定投影面和比例尺,即不难绘出其机构运动简图如图 1-1(b) 所示。在该图中,由于曲柄 4 与小齿轮 5 是同一构件,这里用焊接符号把它们刚接起来。大齿轮 6 与凸轮 7 也是同一构件,这里用小黑点把它们刚接起来。

### § 2-3 机构具有确定运动的条件

为了按照一定的要求进行运动的传递及变换,当机构的原动件按给定的运动规律运动时,其余构件也均应具有确定的运动。那末在什么条件下机构才能具有确定的运动呢?下面我们先来分析两个例子。

例如图 2-9 为由四个构件组成的一种平面四杆机构。在此机构中,如果给定某构件一个独立的运动参数,例如构件 1 的位移规律  $s_1 = s_1(t)$ ,则其余所有构件的运动也就完全确定了。即当构件 1 按给定的运动规律  $s_1 = s_1(t)$  运动时,构件 2 及构件 3 的运动也完全确定。

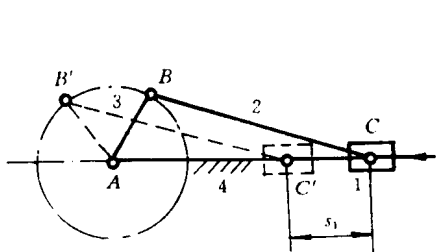


图 2-9

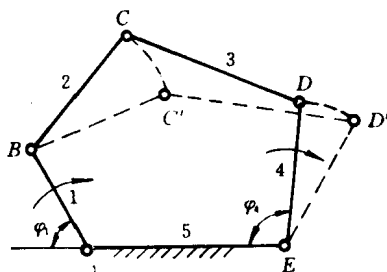


图 2-10

又如图 2-10 为由五个构件组成的一种平面五杆机构。在此机构中,如果也只给定某构件一个独立的运动参数,例如构件 1 的角位移规律  $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ ,显然此时构件 2、3、4 的运动并不确定。因为当构件 1 占有位置  $AB$  时,构件 2、3、4 可占有位置  $BC$ 、 $CD$ 、 $DE$ ,也可占有位置  $BC'$ 、 $C'D'$ 、 $D'E$ ,或者其它位置。但是,如果再给定一个独立的运动参数,例如构件 4 的角位移规律  $\varphi_4 = \varphi_4(t)$ ,即同时给定两个独立的运动参数,显然这时此五杆机构的运动便完全确定了。

机构具有确定运动时所必须给定的独立运动参数的数目,称为该机构的自由度。因此上述平面四杆机构的自由度为 1,而平面五杆机构的自由度为 2。

又如前所述,机构中按照给定运动规律(即给定的独立运动参数)运动的构件称为原动件。又因机构的原动件通常是与机架相联的,而对于这样的原动件,一般只能给定一个独立的运动参数(例如绕固定轴转动的原动件只能按照一个独立的运动规律而回转)。所以,在此情况下,为了使机构具有确定的运动,其原动件的数目应等于其自由度的数目。这就是机构具有确定运动的条件。根据这个条件,对于自由度为 1 的机构,只要有一个原动件其运动便完全确定了。而对于自由度为 2 或 2 以上的机构,则必须有两个或两个以上的原动件其运动才是确定的。

### § 2-4 平面机构自由度的计算

如上所述,机构具有确定运动的条件是机构原动件的数目应等于其自由度的数目。那末一