

★ 张伟社 主编



高等学校教材

Textbook for Higher Education

机械原理

教程

★ 西北工业大学出版社

高等学校教材

机械原理教程

张伟社 主编

薛卫东 夏纯达 张涛 樊江顺 张小龙 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书由 15 章及两个附录组成,主要介绍了平面机构的分析(结构分析、运动分析、动力学分析)方法、常用机构(连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构)的特点及运动设计方法、机械的动力学设计(平衡设计、飞轮设计、提高机械效率的机构参数设计)方法、机械系统(执行系统、传动系统)方案设计的方法以及方案评价的方法。简要地介绍了其他常用机构、空间机构以及各种原理综合机构的特点及应用。附录 A 给出了课程设计的内容及题目,附录 B 给出了与本书配套的辅助教学与设计软件说明。各主要章均附有一定数量的练习题。

本书可作为高等院校工科机械类专业的教材,也可供其他有关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理教程/张伟社主编. —西安:西北工业大学出版社,2001.6
ISBN 7-5612-1362-X

I. 机... II. 张... III. 机械学-教材 IV. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 24724 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号,邮编:710072 电话:029-8493844

网 址:<http://www.nwpup.com>

印 刷 者:西安市向阳印刷厂印装

开 本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

印 张:18.25

字 数:443 千字

版 次:2001 年 8 月 第 1 版 2001 年 8 月 第 1 次印刷

印 数:01~5 000

定 价:19.00 元

前 言

教育部正在实施的“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”，强调培养学生综合设计能力；根据高校进行学分制并缩减学时的重大教学改革要求，我们编写成这本教材。

本书从机械原理在机械设计系列课程中的地位出发，以培养学生具有一定的机械系统方案创新设计能力为目标，建立了“以设计为主，分析为辅，机械系统方案设计为目标”的课程内容体系。配套建立了“计算机多媒体教学和计算机辅助设计”教学方法体系。其具体特点如下：

(1) 加强了有关机构设计的内容，特别是在机械系统方案设计、间歇运动机构设计以及机构组合形式方面作了较多的论述，以便加强学生机构设计能力的培养。

(2) 机构运动分析、力分析和运动设计侧重于解析法，图解法帮助理解解析法。辅助分析与设计软件采用解析法计算，并以图解法的方式表达结果。

(3) 增加机构应用实例，特别是与其他原理综合的机构以及空间机构的应用实例，加强对空间机构的认识，开阔设计思路，培养机构创新设计能力。

(4) 与课程设计内容有机的结合，精简现有《机械原理》与《机械原理课程设计指导书》两教材的重复内容。

(5) 配套有计算机辅助授课软件、自学软件和设计软件。力求用现代教学手段与方法实现本课程的培养目标。辅助设计软件中含有大量齿轮变位系数选择用的封闭图及连杆曲线图谱。

参加教材编写的有长安大学薛卫东(第一、二、十三章)、张涛(第六章)、夏纯达(第七章)、樊江顺(第九章)、张伟社(第三、四、五、八、十二、十五章以及附录 A 和附录 B)，西安建筑科技大学张小龙(第十、十一、十四章)。插图由长安大学张伟社、王守宇、赵悟完成。张伟社任主编。

本书由长安大学冯忠绪教授审阅，提出了宝贵的修改意见，我们在此谨致以衷心的感谢！

作者还要感谢长安大学工程机械学院、教务处、教材供应中心以及西北工业大学出版社的领导，他们以全力支持教学改革为己任，对本书的编写给予了热情的关注和大力扶持。

由于我们的水平有限，漏误及不当之处在所难免，敬请广大同仁和读者批评指正。

编 者

2001 年 3 月于长安大学

EAAU/05

目 录



第一章 绪论	1
1.1 机械原理课程研究的对象	1
1.2 机械原理课程研究的内容	2
1.3 机械原理课程的地位	3
第二章 平面机构的结构分析	4
2.1 机构的组成	4
2.2 机构运动简图	8
2.3 机构具有确定运动的条件	10
2.4 计算平面机构自由度的注意事项	11
2.5 平面机构的结构分析	14
习题	17
第三章 平面机构的运动分析	19
3.1 用瞬心法进行机构的速度分析	19
3.2 用解析法作平面机构的运动分析	21
习题	31
第四章 平面机构的力分析	34
4.1 机构力分析概述	34
4.2 构件惯性力的确定	35
4.3 用解析法进行机构动态静力分析	36
习题	41
第五章 机械效率	43
5.1 机械中的摩擦	43
5.2 机械效率和自锁	49
5.3 摩擦在机械中的应用	54
习题	56

第六章 平面连杆机构	59
6.1 连杆机构的特点及应用	59
6.2 平面连杆机构的类型	63
6.3 平面连杆机构的工作特性	70
6.4 平面连杆机构的设计	76
习题	85
第七章 凸轮机构	90
7.1 概述	90
7.2 从动件运动规律的设计	94
7.3 盘形凸轮廓线的设计	101
7.4 凸轮机构基本尺寸的确定	109
7.5 高副封闭的设计	117
习题	119
第八章 齿轮机构	124
8.1 齿轮机构的类型	124
8.2 齿廓啮合基本定律	124
8.3 圆的渐开线及其性质	126
8.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮	129
8.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	132
8.6 渐开线齿廓的切削加工	138
8.7 渐开线变位齿轮	143
8.8 渐开线直齿圆柱齿轮的传动设计	146
8.9 斜齿圆柱齿轮机构	151
8.10 蜗杆蜗轮机构	160
8.11 圆锥齿轮机构	164
习题	168
第九章 轮系	172
9.1 轮系的类型	172
9.2 轮系的传动比	173
9.3 轮系的功用	178
9.4 周转轮系的齿数条件	182
习题	186
第十章 间歇运动机构	190
10.1 间歇运动机构设计的基本问题	190

10.2 棘轮机构	190
10.3 槽轮机构	198
10.4 其他间歇运动机构简介	202
习题	204
第十一章 其他常用机构	205
11.1 非圆齿轮机构	205
11.2 螺旋机构	207
11.3 万向铰链机构	209
11.4 组合机构	209
习题	214
第十二章 精巧机构设计实例	216
12.1 平面机构实例	216
12.2 空间机构实例	219
12.3 一些原理灵活运用的机构实例	223
第十三章 机械动力学	227
13.1 机械运转过程	227
13.2 机械系统等效动力学模型	229
13.3 在已知力作用下机械的真实运动	231
13.4 机械速度波动的调节	233
习题	236
第十四章 机械平衡	238
14.1 平衡的分类与平衡方法	238
14.2 刚性转子的平衡设计	239
14.3 刚性转子的平衡试验	241
14.4 平面机构的平衡简介	244
14.5 惯性力的应用	245
习题	247
第十五章 机械系统的方案设计	249
15.1 机械执行系统的方案设计	249
15.2 方案评价与决策	253
15.3 机械传动系统的方案设计	260
习题	264
附录	267
附录 A 机械原理课程设计指导	267

一、课程设计的目的和任务	267
二、课程设计的方法	267
三、课程设计的一般过程	268
四、课程设计的总结	268
五、答辩及成绩评定	270
六、课程设计示例	270
七、课程设计题目	272
附录 B 计算机辅助教学与设计软件	282
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科学。当进入本课程学习时,首先需要熟悉机械原理的基本概念和术语,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。

1.1 机械原理课程研究的对象

机械原理研究的对象是机械,机械是机器与机构的总称。

1. 机器

机器是一种作机械运动的装置,它用来变换或传递能量、物料和信息,以代替或减轻人的体力劳动和脑力劳动。根据机器主要用途的不同,可分为动力机器(如电动机、内燃机、发电机等)、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)等等,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:

- (1) 它们都是一种人为的实物(机件)组合体。
- (2) 组成它们的各部分之间都具有确定的相对运动。
- (3) 能够完成有用的机械功或转换机械能。

如图 1-1(a) 所示为一台内燃机。其工作原理如下:燃气由进气管通过进气阀 3 被下行的活塞 2 吸入气缸,然后进气阀 3 关闭,活塞 2 上行压缩燃气,点火使燃气在气缸中燃烧、膨胀产生压力,推动活塞 2 下行,通过连杆 7 带动曲轴 8 转动,向外输出机械能。当活塞 2 再次上行时,排气阀 4 打开,废气通过排气管排出。图中凸轮 6 和顶杆 5 用来启、闭进气阀和排气阀;齿轮 9, 10 则用来保证进气阀、排气阀和活塞之间形成一定规律的动作。以上各部分协同配合动作,便能把燃气燃烧时的热能转变为曲轴转动的机械能。

2. 机构

机构是用来传递运动和力的实物组合体,其各件之间具有确定的相对运动。例如图 1-1(a) 所示内燃机中包含齿轮机构、凸轮机构及连杆机构。机构是机器的重要组成部分,它具有机器的前两个特征。

通过以上分析可知,机器是由各种机构组成的,它可以完成能量的转换或做有用的机械功;而机构则仅仅起着运动传递和形式转换的作用。从结构和运动的观点来看,机构和机器之间是没有区别的,因此,人们常用“机械”一词来作为它们的总称。

机械一般由以下几部分组成。

(1) 原动部分:是机械动力的来源。常用的原动机有电动机、内燃机、液压缸或气动缸等。

(2) 执行部分:处于整个传动路线的终端,完成机械预期的动作。其结构形式完全取决于机械本身的用途。

(3) 传动部分:介于原动机和执行部分之间,把原动机的运动和动力传递给执行部分。

(4) 控制部分:其作用是控制机械的其他基本部分,使操作者能随时实现或终止各种预定的功能。一般来说,现代机械的控制部分既包括机械控制系统,又包括电子、液压、声、光等控制系统,其作用包括监测、调节、控制等。

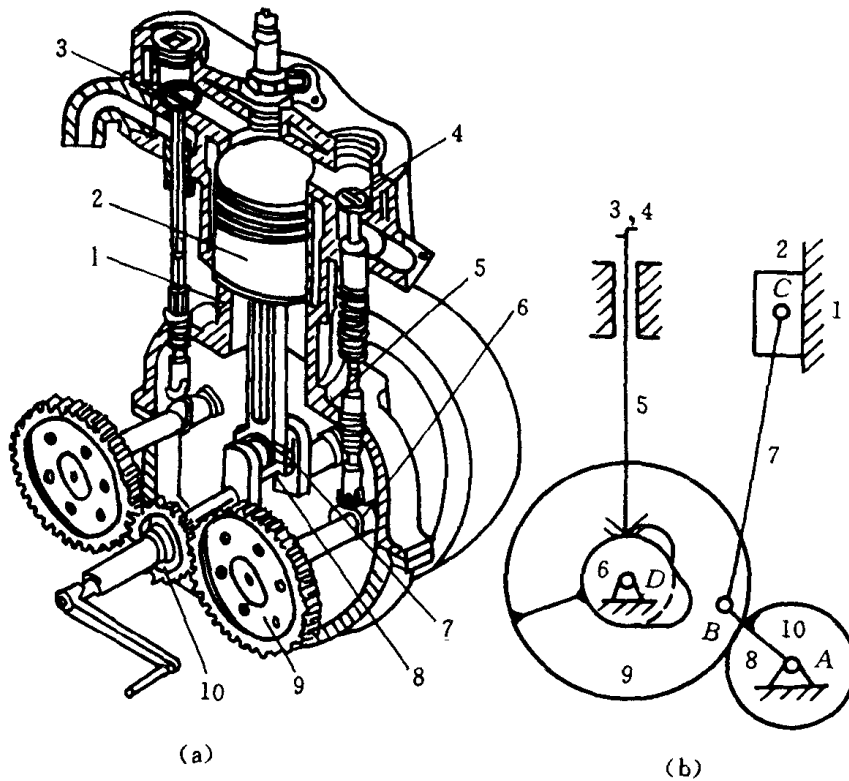


图 1-1

1.2 机械原理课程研究的内容

如前所示,机械原理是一门以研究机构和机器为对象的科学,专门讨论各种机构与机器的共同性问题,其主要内容有以下几个方面。

1. 机构分析

对已设计出来或正在使用的机器中的机构进行结构分析、运动分析、动力学分析等是评价设计质量或合理使用现有机器的前提。掌握其分析方法是工程技术人员应具备的能力。

(1) 机构的结构分析:研究机构的运动确定性、机构的组成原理以及机构的结构分类。此外还研究机械运动简图的绘制方法,即研究如何用简单的图形把机构的结构状况表示出来的方法。

(2) 机构的运动分析: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在给定原动件运动的条件下,求解其他构件各点的轨迹、位移、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中的摩擦、构件受力及其所做的功、机械的效率。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)和其他外力作用下,机构各构件的真实运动规律。

2. 机构设计

机构设计是指机构的运动设计和动力学设计,即根据运动和动力要求,对机构各部分的尺度关系进行设计;降低速度波动的调整装置设计;提高机械效率的机构参数设计;消除惯性力影响的平衡设计。

机构的运动设计主要介绍组成机器的基本机构如齿轮机构、连杆机构、凸轮机构及间歇运动机构的运动设计方法。

3. 机械系统方案设计

机械系统方案设计包括机械总体方案的拟定、机械执行系统的设计、机械传动系统的设计及原动机的选择等。这部分内容的重点是机械执行系统的方案设计,主要包括:根据机械预期实现的功能,确定机械的工作原理;根据工艺动作的分解,确定机械的运动方案;合理地选择机构的形式并将其恰当地组合起来,实现机械的预期动作;根据工艺动作的要求,使各机构协调配合工作等。

1.3 机械原理课程的地位

机械原理是机械类或近机械类专业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。

1. 后续专业课的基础

机械类各专业的同学,在后续的专业课学习中要遇到许多关于机械的设计和使用方面的问题,如汽车设计、工程机械设计、机床设计等课程均需要机构的运动和设计方面的知识。机械原理研究机械所具有的共性问题,是机械类专业课的基础。

2. 开发新产品的的基础

要实现生产的机械化和自动化,就需要创造大量结构新颖、性能优良的新型机械。而要完成这一任务,有关机械原理的知识是必不可少的。一般工业产品的设计需要经历四个阶段:初期规划设计阶段,总体方案设计阶段,结构技术设计阶段,生产施工设计阶段。而产品是否具有创新性,在很大程度上取决于总体方案的设计,而这正是机械原理所研究的内容。

3. 合理使用和革新现有机器的基础

对于使用机械的工作人员来讲,要想充分地发挥机械设备的潜力,关键在于了解机械性能。通过学习机械原理这门课,掌握机构和机器的分析方法,才能了解机械的性能,更合理的使用机械;掌握机构和机器的设计方法,才能对现有机器的革新改造提出方案。

第二章 平面机构的结构分析

机构是具有确定运动的实物组合体。作无规则运动或不能产生运动的实物组合体不能成为机构。了解机构的组成和结构特点,掌握机构组成的一般规律,无论对分析已有的机构,还是着手创新设计新机械,都具有十分重要的指导意义。

2.1 机构的组成

2.1.1 构件与零件

机构中每一个独立的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性体(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组成,如图 1-1(a) 所示内燃机的曲轴 1 为一个零件;连杆 2 为多个零件组成(见图 2-1)。因此构件是相互固结在一起的零件组合体。

2.1.2 运动副

在机构中,每一构件都以一定方式与其他构件相互联接。这种使两构件直接接触的可动联接称为运动副。如图 2-2(a) 所示的轴 1 与轴承 2 间的联接,图 2-2(b) 所示的凸轮 1 与平底 2 间的接触都构成了运动副。

构成运动副的两个构件间的接触不外乎点、线、面三种形式,两个构件上参与接触而构成运动副的点、线、面部分称为运动副元素。图 2-2(a) 中运动副元素分别为圆柱面和圆孔面。至于两构件构成运动副后,它们之间尚能产生哪些相对运动,则与它们所构成的运动副的性质有关,亦即与该运动副所引入的约束数有关。

1. 运动副的约束

由理论力学可知,作平面运动的构件可有三个独立的运动,即在直角坐标系中沿 x 轴和 y 轴的移动以及在坐标平面内的转动。构件的独立运动的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(见图 2-3)。

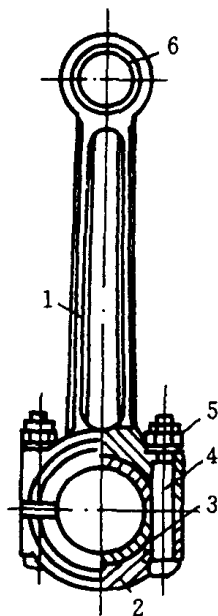
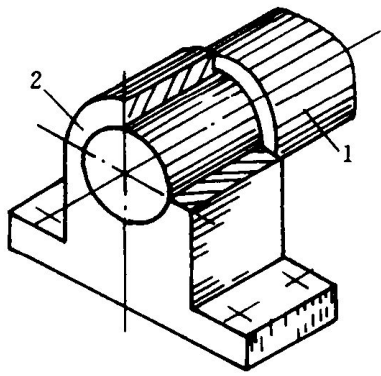
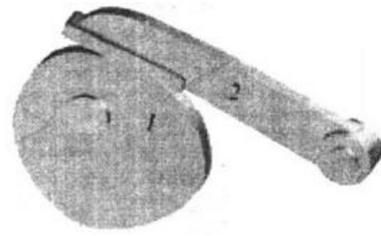


图 2-1



(a)



(b)

图 2-2

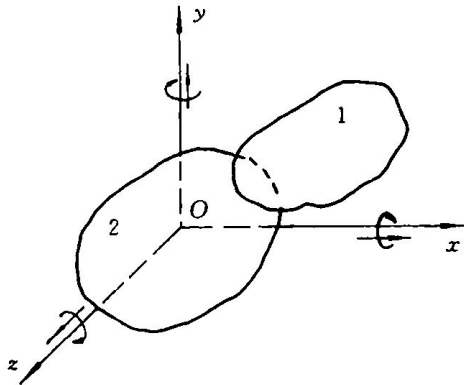


图 2-3

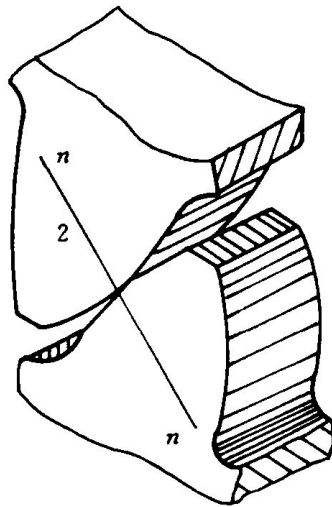


图 2-4

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。

2. 运动副的分类

(1) 按运动副的接触形式分类:面与面接触的运动副(见图2-2(a)中轴与轴承所形成的运动副)在承受载荷方面与点、线相接触的运动副(见图2-2(b)中凸轮与滚子所形成的运动副)相比,其接触部分的压强较低,故以面接触的运动副称为低副,而以点、线接触的运动副称为高副,如图2-4所示的齿轮副是高副,高副比低副易磨损。

(2) 按相对运动的形式分类:构成运动副的两构件之间的相对运动若为平面运动则称为平面运动副,若为空间运动则称为空间运动副。两构件之间只作相对转动的运动副称为转动副(见图2-2(a)所示运动副),两构件之间只作相对移动的运动副则称为移动副(见图2-5所示运动副)。两构件之间相对运动为螺旋运动的运动副称为螺旋副(见图2-6(a)所示,螺杆1与

螺母 2 所组成的运动副)。两构件间相对运动为球面运动的运动副称为球面副(见图 2-6(b) 所示,球 1 与球碗 2 所组成的运动副)。

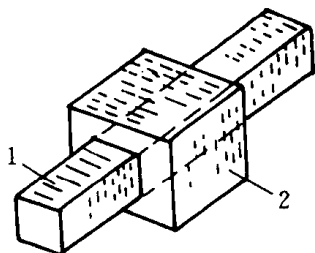
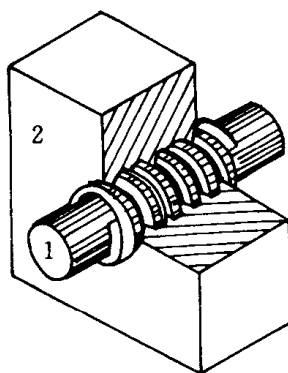
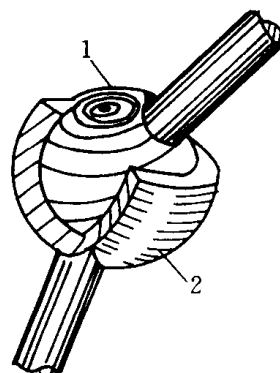


图 2-5



(a)



(b)

图 2-6

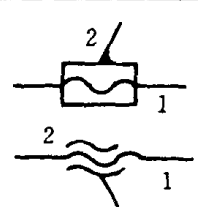
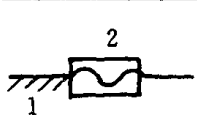
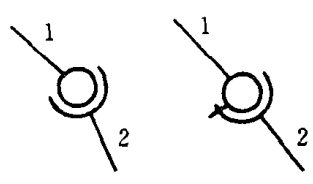
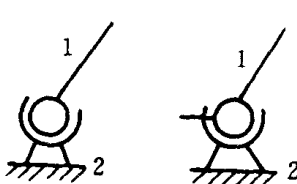
(3) 按运动副引入的约束数分类:引入一个约束的运动副称为 I 级副、引入两个约束的运动副称为 II 级副,依次类推,尚有 III 级副、IV 级副和 V 级副。

常用运动副的符号如表 2-1 所示,图中画斜线的构件代表固定构件(机架)。

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
转动副		
平面运动副		
平面高副		

续 表

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
空间运动副	螺旋副		
	球面副及球销副		

2.1.3 运动链

两个以上的构件通过运动副的联接而成的系统称为运动链。如果运动链的各构件构成了首末封闭的系统,如图 2-7(a)、(b) 所示,则称其为闭式运动链,简称闭链。如果运动链的构件未构成首末封闭的系统,如图 2-7(c)、(d) 所示,则称其为开式运动链,简称开链。在各种机械中,一般采用闭链,开链多用在机械手等机械中。

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,也可以把运动链分为平面运动链和空间运动链(见图 2-8)。

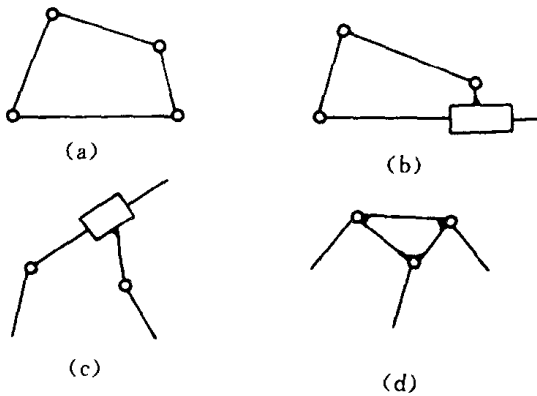


图 2-7

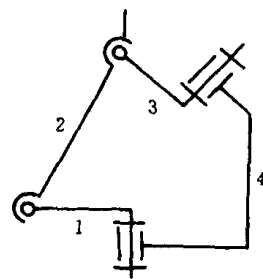


图 2-8

2.1.4 机构

将运动链中的某一构件固定,并且另外的一个(或几个)构件按给定运动规律独立运动时,其余构件便随之作确定的运动,则这种运动链便成为机构。机构中固定不动的构件称为机架,按照给定运动规律独立运动的构件称为原动件。而其余活动构件则称为从动件。从动件的运动规律决定于原动件的运动规律和机构的结构。根据机构中各构件之间的相对运动为平面运动或空间运动,也可以把机构分为平面机构和空间机构两类。本章主要介绍平面机构。

2.2 机构运动简图

当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连接方式,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。它完全能表达原机构具有的运动特性,如图 1-1(b) 所示内燃机的机构运动简图,图 2-9(b) 所示缝纫机的运动简图。

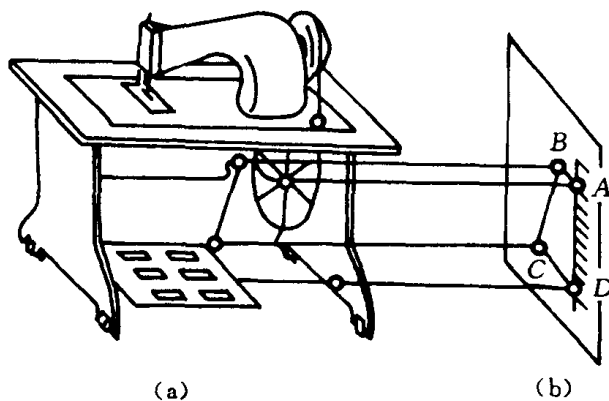


图 2-9

若只是为了表明机械的组成状况和结构特征,也可以不严格按比例来绘制简图,这样的简图通常称为机构示意图。

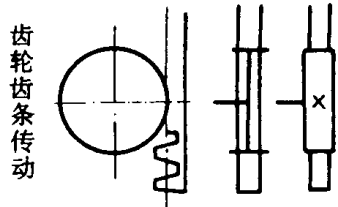
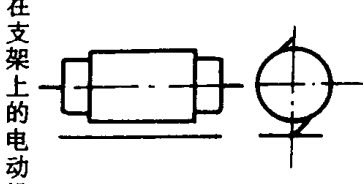
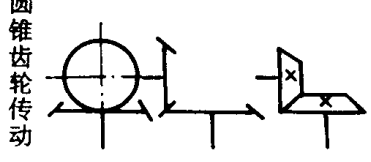
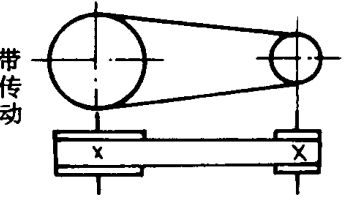
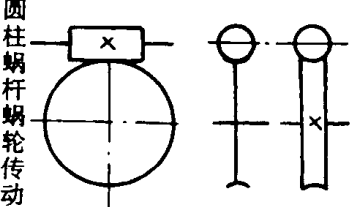
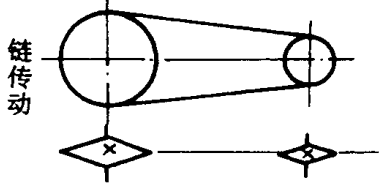
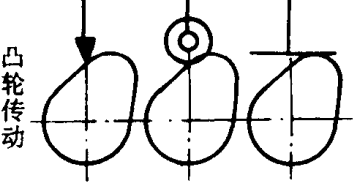
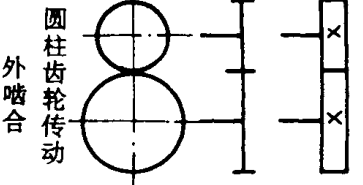
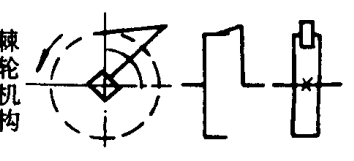
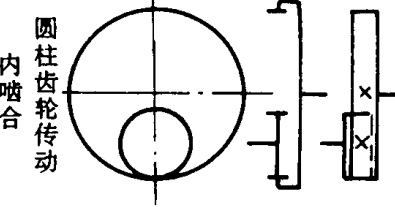
表 2-2 一般构件的表示方法

杆、轴类构件	
固定构件	
同一构件	
两副构件	
三副构件	

机构运动简图中,运动副的表示方法如表 2-1 所示,构件表示法如表 2-2 所示,常用机构运动简图符号如表 2-3 所示。

表 2-3 常用机构运动简图符号

(GB4460—84)

<p>齿轮齿条传动</p> 	<p>在支架上的电动机</p> 
<p>圆锥齿轮传动</p> 	<p>带传动</p> 
<p>圆柱蜗杆蜗轮传动</p> 	<p>链传动</p> 
<p>凸轮传动</p> 	<p>圆柱齿轮传动 外啮合</p> 
<p>棘轮机构</p> 	<p>圆柱齿轮传动 内啮合</p> 

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，找出机构的原动件及工作构件（即输出运动的构件）。
- (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的绘制出机构运动简图。

例 2-1 图 2-10(a) 所示为一具有急回作用的冲床。图中绕固定轴心 A 转动的菱形盘 1 为原动件，其与滑块 2 在 B 点铰接，通过滑块 2 推动拨叉 3 绕固定轴心 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。试绘制其机构运动简图。