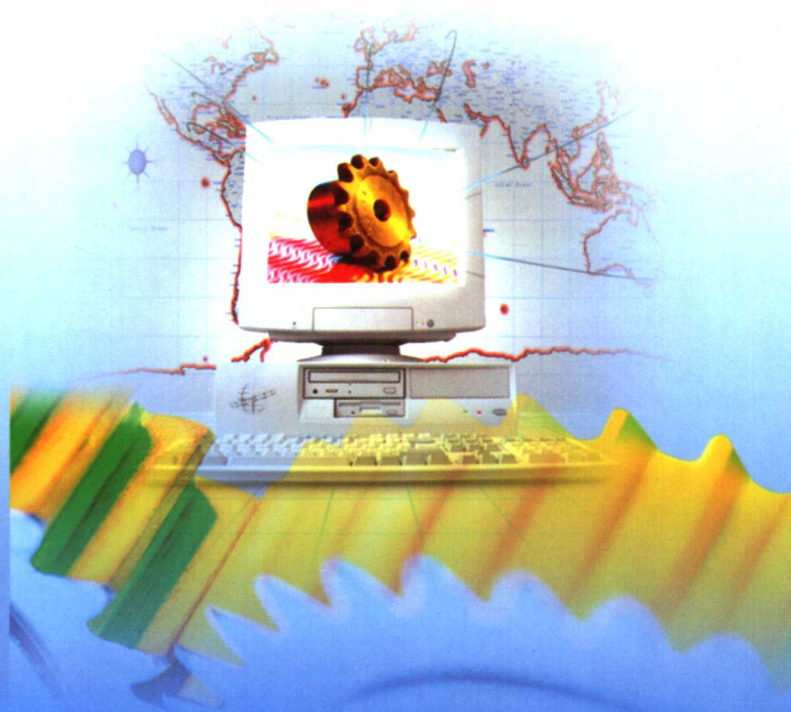


高职高专教育规划教材

机械工程设计基础

■ 任树棠 闫永平 主编



JIXIE
GONGCHENG
SHEJI JICHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专教育规划教材

机械工程设计基础

主 编	任树棠	闫永平	
副主编	张枫叶	王瑞清	
参 编	宿宝龙	海淑萍	王海静
主 审	朱运利		



机械工业出版社

本书根据教育部 1999 年制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”和“高职高专教育专业人才培养目标及规划”的精神, 兼顾两年制高职高专的教学要求, 对机械原理和机械零件课程进行合理整合和优化而编写的。全书共十二章, 内容包括: 常用平面机构的性能、特点及其应用, 常用的传动零件、通用的联接件和支承件的工作原理、失效形式、设计准则以及结构设计等基础知识和基本理论。为便于学习, 书中除安排了适当的实验、实训和例题、习题外, 书后附录了必要的复习思考题和常用数据与资料。

本书主要用作高职高专教育机械类和近机械类专业“机械工程设计基础”课程的教材, 也可作为相关专业的中专、成人专科的选用教材和有关工程技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程设计基础/任树棠, 闫永平主编. —北京: 机械工业出版社, 2005.7

高职高专教育规划教材

ISBN 7-111-16825-9

I. 机… II. ①任…②闫… III. 机械设计-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 070166 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 曲彩云 责任印制: 侯新民

廊坊市长虹印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$ · 19 印张 · 460 千字

定价: 32.00 元

前 言

本书根据教育部 1999 年制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”和“高职高专教育专业人才培养目标及规划”的精神, 兼顾两年制高职高专的教学要求, 对机械原理和机械零件课程进行合理整合和优化而编写的。与同类教材相比, 本教材有以下特点:

1. 以实用、够用为原则, 以传动机构和零件设计为主体, 在保证必要的理论基础的前提下, 删繁就简, 对必需的数学运算通过例题来表述。

2. 重点体现职业教育重在实践的基本特色, 书中内容涉及面虽广但深度适当、选材具有一定的工程背景和实用价值。

3. 书中采用最新的国家标准、规范的专业术语和符号。

4. 本书除安排了适当的实验、实训和例题、习题, 增加了课程设计指导的内容以外, 书后附录了必要的复习思考题和常用资料与数据, 以方便学习使用。

参加本书编写的有: 包头轻工职业技术学院的任树棠、闫永平、张枫叶、王瑞清、宿宝龙、海淑萍、王海静。由任树棠、闫永平任主编, 张枫叶、王瑞清任副主编。

本书由北京轻工职业技术学院副教授朱运利任主审, 参加审稿的还有包头轻工职业技术学院副教授(副院长)侯建平、副教授(教研室主任)吴永刚。谨此表示衷心的感谢。

本书编写过程中参考了部分国内外公开出版的书籍和资料, 从中引用了部分例题、习题和数表, 谨在此向有关作者表示敬意和感谢。

限于作者水平, 书中难免有错误和不妥之处, 欢迎读者批评指正。

编 者

2005 年 6 月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一篇 机械中常用的平面机构

第一章 平面机构概述	3
第一节 构件和运动副	3
第二节 平面机构的机构运动简图	5
第三节 机构具有确定运动的条件	10
第四节 机械的调速与平衡	14
习题	18
第二章 平面连杆机构	20
第一节 平面连杆机构的基本类型及应用	20
第二节 平面连杆机构的基本特性	25
第三节 平面四杆机构的运动综合	28
第四节 平面多杆机构简介	30
习题	31
第三章 凸轮机构	33
第一节 凸轮机构的基本类型	33
第二节 从动件常用的运动规律	35
第三节 图解法设计盘形凸轮的轮廓曲线	38
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	41
习题	44
第四章 间歇机构	45
第一节 棘轮机构	45
第二节 槽轮机构	47
第三节 不完全齿轮机构	48
习题	49

第二篇 机械传动与机械零件设计

第五章 机械传动与机械零件设计概述	50
第一节 机械传动的功用	50
第二节 机械传动形式的选择及运动和动力计算	52
第三节 机械零件的工作能力及计算准则	54
第四节 机械零件设计的基本要求和过程	55

第六章 带传动与链传动	57
第一节 带传动的工作原理、特点和类型	57
第二节 V带的结构、标准及带轮的结构和材料	59
第三节 带传动的工作能力分析	61
第四节 V带传动的设计	64
第五节 V带传动的张紧、安装与维护	71
第六节 链传动简介	73
习题	78
第七章 齿轮传动	80
第一节 齿轮传动的特点和类型	80
第二节 渐开线及渐开线齿廓	80
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的各部分名称、几何参数和尺寸计算	83
第四节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	85
第五节 渐开线齿轮的切齿原理与根切现象	86
第六节 变位齿轮传动简介	89
第七节 标准斜齿圆柱齿轮传动	94
第八节 标准直齿圆锥齿轮传动简介	97
第九节 轮齿的失效形式及齿轮传动设计准则	100
第十节 圆柱齿轮传动的强度计算	102
第十一节 齿轮的结构设计	109
第十二节 齿轮传动的润滑	111
习题	113
第八章 蜗杆传动与螺旋传动	115
第一节 蜗杆传动的组成及特点	115
第二节 蜗杆传动的主要参数及几何尺寸	117
第三节 蜗杆传动的工作能力分析	121
第四节 蜗杆与蜗轮的结构	124
第五节 螺旋传动简介	125
习题	128
第九章 轮系	130
第一节 轮系及其分类	130
第二节 定轴轮系的传动比	130
第三节 周转轮系的传动比	132
第四节 混合轮系的传动比	135
第五节 轮系的功用	136
习题	137
第十章 联接	141
第一节 键和销联接	141
第二节 螺纹联接	146

第三节 联轴器与离合器	156
习题	161
第十一章 轴	163
第一节 轴的分类与轴设计的基本准则	163
第二节 轴的结构设计与强度计算	164
第三节 轴的刚度和临界转速	175
习题	177
第十二章 轴承与弹簧	179
第一节 滚动轴承	179
第二节 滑动轴承	196
第三节 弹簧	202
习题	205
附录	207
附录 I 复习思考题	207
附录 II 常用资料与数据	246
附录 III 实验课	258
附录 IV 实训课	273
参考文献	295

绪 论

一、本课程的研究对象与内容

机械工程设计基础是机械工程学科的基础，主要研究常用机构和传动装置以及通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。

图 0-1 所示为单缸内燃机示意图，它工作时把燃料油燃烧时产生的热能转化为机械能，其内部各部分之间作复杂有序的运动，是典型的机器。当燃料油和空气喷入活塞 2 的上方空间（气缸 1）时，由点火器 10 引爆燃料油和空气的混合物，混合物推动活塞 2 下行，这是机器的原动部分。活塞 2 带动连杆 3，连杆 3 又带动曲轴 5 转动，即活塞的移动转变为曲轴的转动，这是机器的传动部分。曲轴 5 的轴端头装有大齿轮 4，它作为机器的执行部分驱动车轮运动。曲轴 5 的另一端装有小齿轮 6，它带动齿轮 7，通过齿轮 7 带动凸轮 8 转动，凸轮 8 推动推杆 9，从而实现对进燃料油、空气和排废气的控制，以保证内燃机能周而复始地工作，这是机器的控制部分。

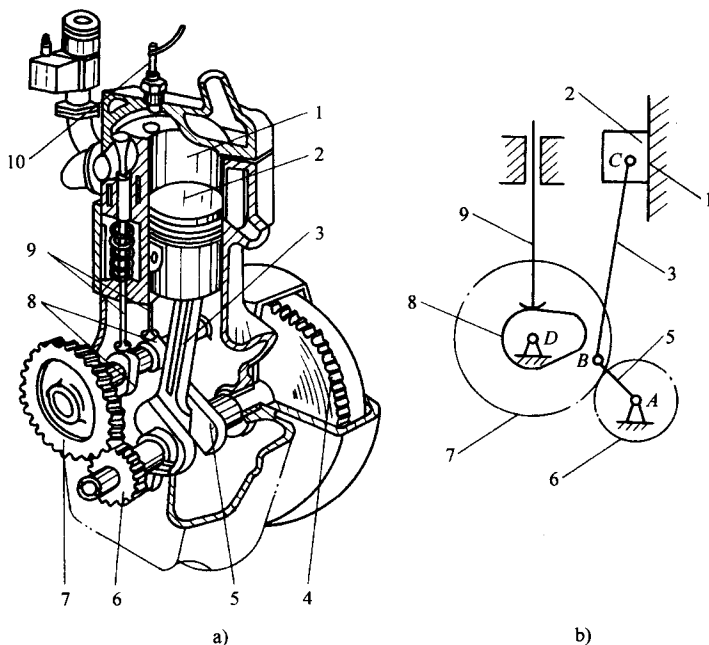


图 0-1 内燃机示意图

由此可见，最一般意义上的机器是由原动部分、执行部分、传动部分和控制部分组成的。机器是人类用来减轻或代替体力劳动和提高劳动生产率的主要生产工具，它具备以下三个共同特征：

- (1) 人为的诸个实物的组合体；
- (2) 各个实物之间具有确定的相对运动；
- (3) 代替或减轻人类的劳动去完成机械功或转换机械能。

并不是所有的机器都具有四个组成部分。有的机器比较简单,如电风扇没有传动部分,但同样具备机器的三个特征,仍然称为机器。大多数机器都具有传动部分,不涉及其具体用途,从传递运动和动力的角度出发,只具备机器的前两个特征,而不具备机器的第三个特征的共性部分称为机构。机构在机器中起着改变运动形式、改变速度大小或方向以及传递动力的作用,是具有确定的相对运动的实体。

由于机器和机构在组成和运动方面是一样的,故把机器和机构统称为机械。

二、本课程的性质、任务和基本要求

本课程是机械类各专业的主干专业基础课。其任务是使学生初步具备分析和设计常用零、部件的能力,为解决生产实际问题建立基础;为学习专业课程和新技术建立基础;在学习过程中逐步建立严谨求实的工作作风。

通过本课程的学习,学生应达到下列要求:

- (1) 初步掌握常用机构的分析和设计方法。
- (2) 初步具备机械零件和简单部件(如减速器)的设计能力。培养应用科技成果设计和开发新产品的能力。
- (3) 逐步增强参与工程实践的基本技能,培养分析和解决问题的能力、创新能力、决策能力及与人合作的能力。

三、本课程的学习特点

各门课程都应讲究学习方法,学习本课程时,除了要遵循共性的学习方法外,还应注意本课程在学习方法上的特点。

1. 以运动的观点学习

机械的特点是各构件间具有确定的相对运动,必须用运动的观点观察和分析构件的运动特点和规律。本书主要使用图解法,而图解法的准确度取决于作图的技巧和认真程度。

2. 课程的综合性强

机械工程设计基础综合了机械制图、机械工程力学、机械工程材料等方面的基础知识,要以零件为中心学习,避免堆砌知识、纠缠理论来源和公式推导,造成轻重倒置,抓不住关键问题的倾向。

3. 重视实践和创新

习题、实验、实训和课程设计都是不同层次的实践环节,必须认真完成。丰富的课程内容是广阔的创新机会。从四杆机构到多杆机构,从基本机构到组合机构,从齿轮和带传动到齿形带,都是在基本内容的基础上通过创新而实现的。所以,要辩证地对待理论与实践、继承与创新的关系。

第一篇 机械中常用的平面机构

机构是具有确定运动的实物组合体。作无规则运动或不能运动的实物组合，都不能称为机构。了解机构的组成和结构特点，掌握机构组成的一般规律，无论对于分析已有的机构还是设计新机器，都具有十分重要的指导意义。

机构中所有构件都在同一平面内或在平行平面内运动，称为平面机构，否则为空间机构。例如，牛头刨床、内燃机都采用的是平面机构。

本篇主要研究平面连杆机构和凸轮机构的工作原理、基本类型以及基本的设计方法。讨论典型间歇机构的工作原理和特点以及机械的平衡与调速原理。

第一章 平面机构概述

机构是具有确定的相对运动构件的组合，而不是无条件的任意组合，故构件组合后是否为机构，就要看它是否满足具有确定运动的条件。

机构中实际构件的形状往往很复杂，需将与运动无关的构件外形撇开，只将与运动直接相关的部分绘制成机构运动简图。

第一节 构件和运动副

一、构件和零件

任何机械都是由若干单独加工制造的零件组装而成的，零件是机器制造的单元。如图 0-1 所示的内燃机，是由气缸、活塞环、活塞体、活塞销、连杆体、连杆头、曲轴等一系列零件装配而成的。但是，并不是每个零件都能独立起到实现预期运动和功能的作用。每一个独立影响机器功能并能独立运动的单元体称为构件。构件可以是一个独立运动的零件，也可以是几个零件刚性联接的组合。如图 1-1 所示的内燃机连杆就是由连杆体 1、连杆头 2、螺栓 3、螺母 4 等不产生相对运动的零件刚性联接而成的构件，它们组成一个不可分割的运动单元。

二、构件的自由度

一个在平面内自由运动的构件，有 3 个独立运动的可能性。如图 1-2 所示，不受约束的构件 AB 可随构件上任一点 A 沿 x 轴方向、沿 y 轴方向移动和绕 A 点转动。构件作独立运动的可能性，称为构件的自由度。所以，一个在平面内自由运动的构件有 3 个自由度。这 3 个独立运动可用 3 个独立运动的参数 x 、 y 和 φ 来表示。

三、构件的分类

机构中的构件可分为三类，以图 0-1 所示内燃机为例：

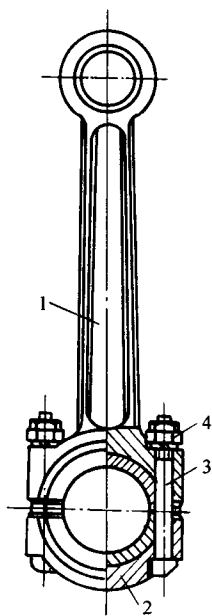


图 1-1 内燃机连杆

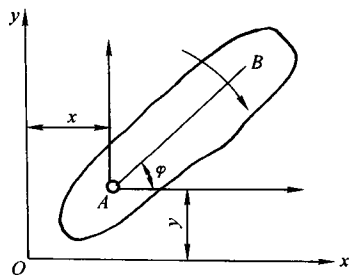


图 1-2 构件的自由度

(1) 机架 是机构中相对固定不动的构件，起支承其他活动构件的作用，如内燃机的箱体。

(2) 原动件 是机构中接受外部给定运动规律的活动构件，如内燃机的活塞。

(3) 从动件 是机构中随原动件运动的活动构件，如内燃机中的大齿轮。

必须强调的是，一个机构只能有一个机架，它可以是一个整体，也可以是几个零件的刚性组合。机构中的原动件一般是与机架相联接的，它可以是一个或多个。

四、运动副

机构是由构件组合而成的，其中每个构件都是以某种方式与其他构件相互联接的。对于两构件的直接接触，即保持联系又能作相对运动的可动联接称为运动副。例如，图 1-3a 所示门窗与铰链，图 1-3b 所示齿轮轮齿的啮合，图 1-3c 所示车轮与钢轨，图 1-3d 所示轴

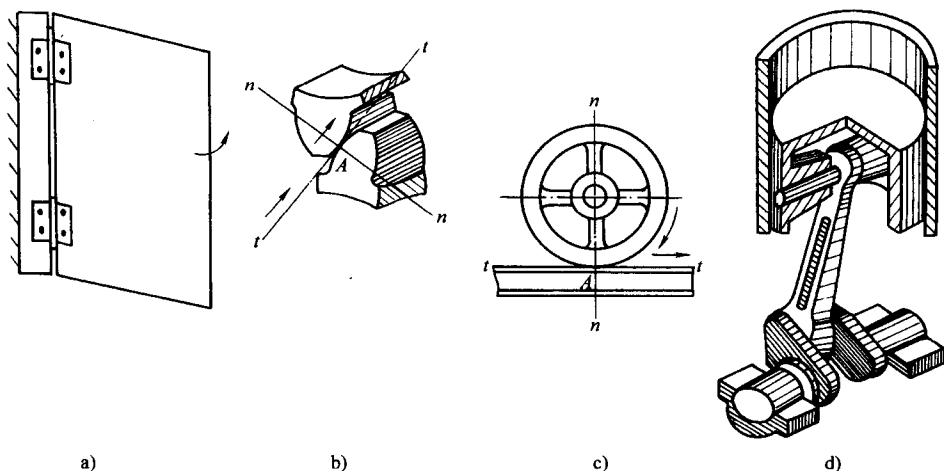


图 1-3 运动副的形成

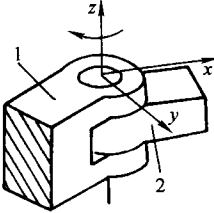
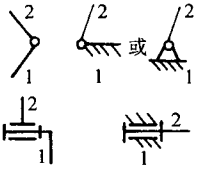
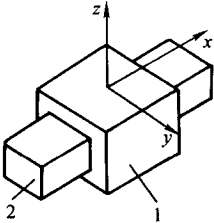
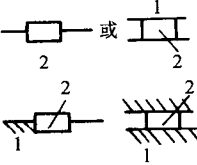
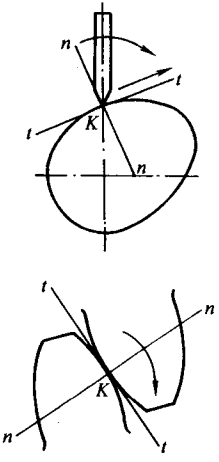
与轴承、活塞与气缸、连杆与曲轴等形成的联接，都构成了运动副。

五、运动副的分类

平面机构中的运动副，按接触特性分为低副和高副。低副是指构件间通过面接触的运动副，按两构件相对运动关系又可分为移动副和转动副。高副是指构件间通过点或线接触的运动副。

常见的平面运动副类型、符号及特点如表 1-1 所示。

表 1-1 常见的平面运动副类型、符号及特点

运动副类型	实例	表示符号	相对运动关系	构件的自由度	运动副特点
平面低副	转动副 		运动副限制构件沿 x 和 y 方向的移动，使构件只能绕销的轴线相对转动	构件的自由度为 1 (转动)	表面应力小，能承受较大的压力，易于润滑，经久耐用
	移动副 		运动副限制构件沿 y 方向的移动和绕运动平面内任意点的转动，使构件只能沿滑道 (即 x 轴) 移动	构件的自由度为 1 (移动)	
平面高副			运动副只限制构件沿接触点处的公法线方向的移动，使构件能沿公切线方向移动和绕接触点 K 的转动	构件的自由度为 2 (移动和转动)	表面应力大，易磨损，寿命低，但有较多的自由度，在实现复杂运动规律时比低副强

第二节 平面机构的机构运动简图

一、机构运动简图

无论分析现有机构，还是构思新机器的运动方案，都需要一种表示机构的简明图形。由于机构中各构件之间的相对运动与构件和运动副的结构形状无关，所以，把忽略构件和运动

副结构形状，用国家标准规定的简单符号和线条代表运动副和构件，并按一定的比例尺表示机构中构件和运动副相对位置及运动关系和尺寸，而绘制成的表示机构的简明图形称为机构运动简图。它应该能完全表达原机器所具有的运动特性。

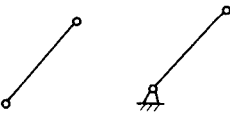
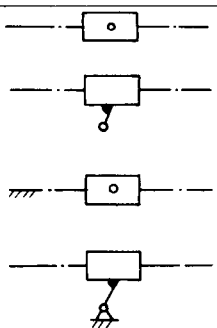
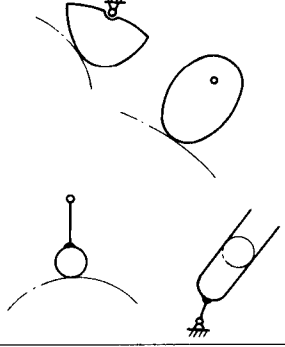
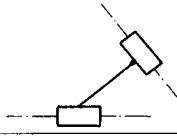
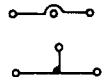
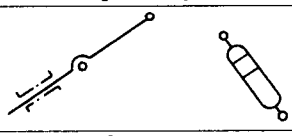
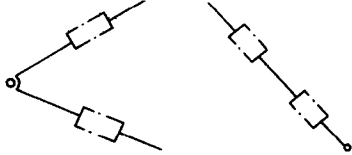
若只是为了表明机器的组成状况和机构特征，也可不按严格比例绘制简图，这种简图称为机构示意图。

机构运动简图中构件及其以运动副相联接的表达方法如表 1-2 所示。机器中常见的凸轮机构、齿轮机构及原动机的简图符号如表 1-3 所示。

表 1-2 构件及其以运动副相联接的表达法

名称	表示内容	常用符号	备注
机架			
固定联接	构件的永久联接		
	构件与轴的固定联接		
可调联接			
两构件以运动副相联接 (两构件与一内副) ^①	两活动构件以转动副联接		
	活动构件与机架以转动副相联接		
	两活动构件以移动副相联接		
	活动构件与机架以移动副相联接		
	两活动构件以平面高副相联接		
	活动构件与机架以平面高副相联接		

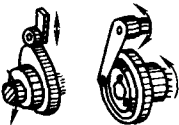
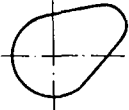
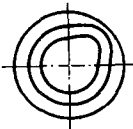
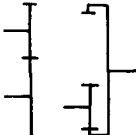
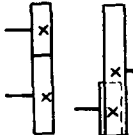
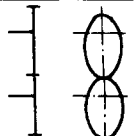
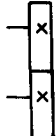
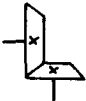
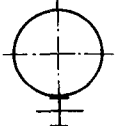
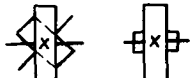
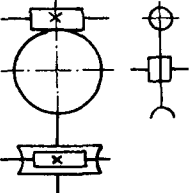
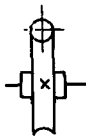
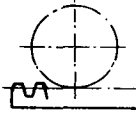
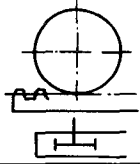
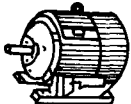
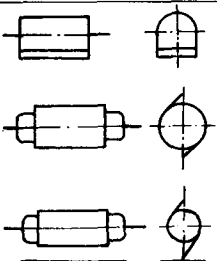
(续)

名称	表示内容	常用符号	备注
双副构件 (一构件与两外副) ^②	带两个转动副的构件		
	带一个转动副一个移动副的构件		点画线代表以移动副与其相联接的其他构件
	带一个转动副一个平面高副的构件		点画线代表的平面高副与其相联接的其他构件
	带两个移动副的构件		
三副构件 (一构件与三外副)	偏心轮		可用曲柄代替
	带三个转动副形成封闭三角形的构件		
	带三个转动副的杆状构件		
三副构件 (一构件与三外副)	带两个转动副一个移动副的构件		点画线代表的意义同前 ^{①②}
	带一个转动副两个移动副的构件		

① 内副为联接所讨论的两个构件的运动副。

② 外副是指该构件可与其他构件相联接的运动副。

表 1-3 常见的凸轮机构、齿轮机构及原动机的简图符号

名称	立体图形	基本符号	可用符号
凸轮机构 (平面凸轮) (a) 盘形凸轮			
(b) 移动凸轮			
齿轮机构 (a) 圆柱齿轮机构		外啮合 内啮合 	
(b) 非圆齿轮机构			
(c) 锥齿轮机构			
(d) 交错轴斜齿轮机构			
(e) 蜗杆蜗轮机构			
(f) 齿轮齿条机构			
原动机 (a) 通用符号 (不指明类型) (b) 电动机 (一般符号) (c) 装在支架上的电动机			

二、机构运动简图的绘制

绘制机构运动简图的一般步骤为：

(1) 分析机构的运动，找出组成机构的机架、原动件和从动件，并确定原动件的运动方向。

(2) 沿着运动传递路线，逐一分析各构件间相对运动的性质，确定运动副的类型和数目。

(3) 合理选择运动简图的视图平面，通常可选择机构运动的一般位置和运动所在的平面为视图平面。必要时也可选择两个或两个以上的视图平面，然后将其展到同一平面上。

(4) 选择适当的比例尺，确定各运动副的相对位置，并用运动副的代表符号、常用机构的运动简图符号和简单的线条，绘制机构运动简图。从原动件开始，按传动顺序标出各构件的编号和运动副代号。在原动件上标出箭头以表示其运动方向。

常用的长度比例尺为： $\mu_l = \text{构件的实际尺寸} / \text{构件的图样尺寸} (\text{m/mm 或 mm/mm})$ 。

例 1-1 绘出图 1-4 所示小型压力机的机构运动简图。

解 (1) 分析机构的组成、工作原理和运动。由图可知，齿轮 1' 和偏心轮 1 固结在同一转轴 A_0 上，是一个构件，即压力机机构由 9 个构件组成。运动由偏心轮 1 输入，分两路传递：一路由偏心轮 1 经杆件 2 和 3 传至杆件 4；另一路由齿轮 1' 经齿轮 6'、槽凸轮 6、滚子 5 传至杆件 4。两路运动经杆件 4 合成，经滑块 7 传至压杆 8，使压杆上下移动，实现冲压动作。构件 1-1' 为原动件，压杆 8 为执行件，其余为传动部分。

(2) 分析各联接构件之间相对运动的性质，确定各运动副的类型。机座 9 和构件 1-1'、构件 1 和 2、2 和 3、3 和 4、4 和 5、6-6' 和 9、7 和 8 之间均构成转动副；构件 3 和 9、8 和 9 之间分别构成移动副；齿轮 1' 和 6'、滚子 5 和槽凸轮 6 分别构成平面高副。

(3) 选择视图投影面和比例尺，测量各构件尺寸和各移动副间的相对位置，用规定的运动简图符号绘制出机构运动简图如图 1-5 所示，在原动件 1-1' 上标出箭头表示其转动方向。

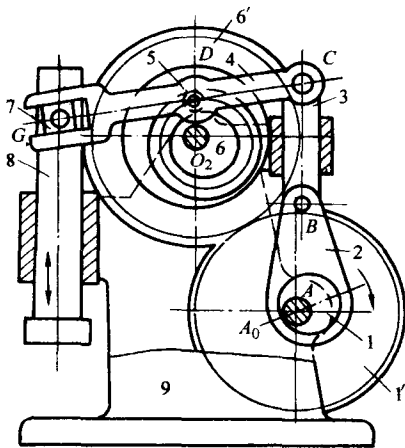


图 1-4 小型压力机结构示意图

1—偏心轮 1'—齿轮 2—杆件 2 3—杆件 3
4—杆件 4 5—滚子 6—槽凸轮 6'—齿轮
7—滑块 8—压杆 9—机座

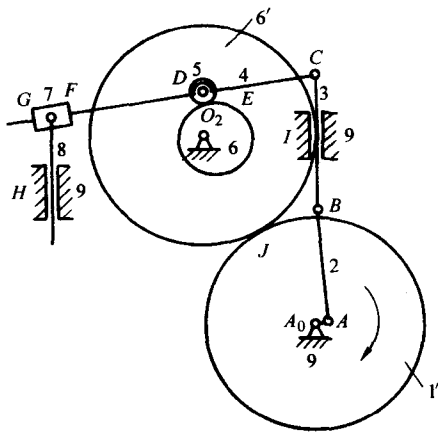


图 1-5 小型压力机机构运动简图

例 1-2 绘出图 1-6a 所示液压泵的机构运动简图。

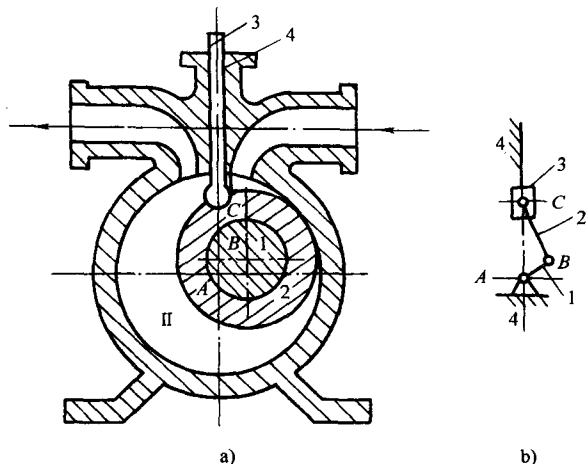


图 1-6 液压泵及其运动简图

1—偏心轴 2—圆套 3—隔板 4—泵体

解 (1) 分析机构的组成和工作原理。泵的原动件为偏心轴 1，其几何轴线绕固定轴线 A 作圆周运动。圆套 2 空套在偏心轴 1 上，可相对转动。隔板 3 的下端呈圆弧状与圆套 2 铰接，通过隔板 3 把泵内空间分隔为 I、II 两腔。工作时，I、II 两腔的压力发生变化，形成吸液和排液过程。

(2) 分析各联接构件之间相对运动的性质，确定各运动副的类型。泵体 4 为机架，偏心轴 1 为原动件，构件 2、3 为从动件。偏心轴 1 与泵体 4 以 A 点为中心构成转动副；圆套 2 与偏心轴 1 以 B 点为中心构成转动副，同时又与隔板 3 以 C 点为中心构成转动副；隔板 3 与泵体 4 构成移动副，移动的导路可由其转动副中心 C 的轨迹线表示。偏心轴上两转动副之间的距离 l_{AB} 为其运动尺寸， l_{BC} 为圆套的运动尺寸。

(3) 选择液压泵的图示位置为视图平面，根据各构件的运动尺寸，确定适当的比例尺，用规定的运动简图符号绘制出机构运动简图如图 1-6b 所示。

特别要指出的是，在计算机技术飞速发展和计算机应用日益普及的今天，利用计算机绘制机构运动简图不仅非常方便，而且可以通过动态仿真来观察机构的运动情况。

第三节 机构具有确定运动的条件

一、平面机构的自由度

机构的自由度是指机构中各构件相对于机架所具有的独立运动参数的个数，与组成机构的构件数目、运动副的类型及数目有关。

设一平面机构中有 N 个构件，则活动构件数为 $n = N - 1$ 。若机构中的低副数为 P_L ，每个低副限制 2 个自由度，高副数为 P_H ，每个高副限制 1 个自由度。在未用运动副相互联接时，每个活动构件有 3 个自由度， n 个活动构件就有 $3n$ 个自由度。当用 P_L 个低副和 P_H 个高副联接成机构后，机构中的构件共失去了 $2P_L + P_H$ 个自由度，因此机构的自由度计算公