

中等专业学校教材

(第二版)

# 机构与机械零件

马永林 主编 盛庆梁 副主编

高等教育出版社

机械工业出版社

第 2 版

# 机构与机械零件

机械工业出版社

机械工业出版社

本书是根据国家教育委员会 1987 年审订的中等专业学校机械类专业“机械原理与机械零件教学大纲”、在上海机器制造学校编《机构与机械零件》一书的基础上修订而成的。

全书包括机械原理和机械零件两部分内容。主要有：常用机构的分析和设计；通用零件的工作原理、特点、结构、选用和设计等。

第二版与第一版相比，增加了平面机构的运动简图及自由度、销联接、链传动、回转构件的平衡等内容，采用了最新国家标准。

本书可作为普通中专、成人中专、电视中专和职业高中机械类专业的教材，也可供有关工程技术人员参考。

中等专业学校教材  
**机构与机械零件**  
(第二版)

马永林 主 编  
盛庆梁 副主编

高等教育出版社出版  
新华书店上海发行所发行  
上海新华印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 20 字数 454,000

1978 年 11 月第 1 版

1990 年 8 月第 2 版 1990 年 8 月第 1 次印刷

印数 00,001—13,080

ISBN 7-04-003013-6/TH·235

定价 3.60 元

## 序

本书第一版是根据1978年召开的中等专业学校机械制造专业教材会议精神所制订的“机构与机械零件教学大纲”而编写的。到1988年底为止,本书发行量已超过58万册。近年来不少教师和学生来信提出,该书基本符合中等专业学校教学要求,但有的内容陈旧,部分章节还需充实。为了满足广大教师和学生的要求,我们根据国家教育委员会1987年审订的中等专业学校机械类专业通用的“机械原理与机械零件教学大纲”,对本教材进行了修订。在修订时力求做到深入浅出,便于教学,突出应用。

修订中变动较大的内容有:

(1) 采用了最新国家标准及设计计算方法,如螺纹、键等标准及齿轮强度计算方法等。

(2) 为适应科学技术发展的需要,加强计算训练,取消了齿轮一章中接触强度的图解线图,而代之以齿面接触强度计算。

(3) 增加了平面机构的运动简图及自由度、链传动、回转构件的平衡和销联接等内容。

此外,为了进一步提高教材质量,根据编者多年的教学经验,经过仔细推敲,将本书大部分内容进行了改写。

参加本书编写和修订工作的有上海机械专科学校马永林(绪言、第一章、第九章的圆柱齿轮传动、第十六章)、盛庆梁(第三、八、十、十七章)、曹力同(第二、十五章)、祝延泽(第四、六章)、杨筱芳(第十二、十四章)、高翠云(第五、七章)、李泽培(第十一、十三章)、竺宜良(第九章的圆锥齿轮传动)。全书由马永林主编,盛庆梁副主编。

本书承上海纺织专科学校余存惠同志审阅。他对本书提出了很多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中肯定有不妥或错误之处,恳切希望使用本书的教师及广大读者批评指正。

编 者

1989年2月

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 序                          |     |
| 绪言                         | 1   |
| 第一章 平面机构的运动简图及自由度          | 3   |
| § 1-1 运动副及其分类              | 3   |
| § 1-2 平面机构的运动简图            | 3   |
| § 1-3 平面机构的自由度             | 4   |
| 习题                         | 9   |
| 第二章 平面连杆机构                 | 12  |
| § 2-1 平面四杆机构的基本型式及其应用      | 12  |
| § 2-2 其他型式的平面四杆机构及其应用      | 15  |
| § 2-3 铰链四杆机构中曲柄存在的条件       | 19  |
| § 2-4 平面四杆机构的基本性质          | 20  |
| § 2-5 平面连杆机构应用实例介绍         | 25  |
| § 2-6 铰链四杆机构的设计            | 27  |
| 习题                         | 33  |
| 第三章 凸轮机构                   | 36  |
| § 3-1 凸轮机构的应用和分类           | 36  |
| § 3-2 从动件的常用运动规律           | 38  |
| § 3-3 凸轮轮廓曲线的画法            | 43  |
| § 3-4 凸轮机构设计中的几个问题         | 49  |
| § 3-5 凸轮的材料、加工和固定方法        | 51  |
| 习题                         | 53  |
| 第四章 间歇运动机构                 | 55  |
| § 4-1 棘轮机构                 | 55  |
| § 4-2 槽轮机构                 | 61  |
| 习题                         | 67  |
| 第五章 键、花键和销联接               | 68  |
| § 5-1 键联接的类型和特点            | 68  |
| § 5-2 平键联接的选择和强度验算         | 72  |
| § 5-3 花键联接                 | 74  |
| § 5-4 销联接                  | 76  |
| 习题                         | 77  |
| 第六章 螺纹联接和螺旋传动              | 78  |
| § 6-1 概述                   | 78  |
| § 6-2 螺旋副中力的关系和效率          | 79  |
| § 6-3 螺纹联接的强度计算            | 82  |
| § 6-4 螺旋传动的计算              | 86  |
| 习题                         | 90  |
| 第七章 带传动                    | 92  |
| § 7-1 带传动的工作原理、特点和主要类型     | 92  |
| § 7-2 三角胶带的构造和标准           | 94  |
| § 7-3 带传动的受力分析和应力分析        | 95  |
| § 7-4 带传动的弹性滑动和打滑          | 97  |
| § 7-5 带传动的失效形式和计算准则        | 99  |
| § 7-6 三角胶带传动的参数选择和设计计算     | 101 |
| § 7-7 三角带轮的常用材料和结构         | 106 |
| § 7-8 带传动的安装和维护            | 110 |
| § 7-9 带传动的张紧装置             | 111 |
| § 7-10 同步带传动简介             | 112 |
| 习题                         | 113 |
| 第八章 链传动                    | 114 |
| § 8-1 链传动的特点和应用            | 114 |
| § 8-2 链与链轮                 | 115 |
| § 8-3 链传动的运动特点             | 118 |
| § 8-4 链传动的失效形式与功率曲线        | 119 |
| § 8-5 链传动的设计计算             | 121 |
| § 8-6 链传动的布置和润滑            | 123 |
| 习题                         | 125 |
| 第九章 齿轮传动                   | 127 |
| § 9-1 齿轮传动的特点和分类           | 127 |
| § 9-2 齿廓啮合基本定律             | 128 |
| § 9-3 渐开线及渐开线齿廓            | 129 |
| § 9-4 直齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸     | 130 |
| § 9-5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动     | 133 |
| § 9-6 标准直齿圆柱齿轮的公法线长度和固定弦齿厚 | 135 |
| § 9-7 渐开线齿轮的加工方法和根切现象      | 141 |
| § 9-8 圆柱齿轮传动的精度            | 143 |
| § 9-9 轮齿的失效形式和常用材料         | 145 |
| § 9-10 直齿圆柱齿轮的受力分析和计算载荷    | 148 |
| § 9-11 直齿圆柱齿轮的强度计算         | 149 |
| § 9-12 斜齿圆柱齿轮(简称斜齿轮)传动     | 157 |
| § 9-13 圆柱齿轮的结构             | 165 |
| § 9-14 变位直齿圆柱齿轮传动          | 169 |
| § 9-15 直齿圆锥齿轮传动            | 181 |
| 习题                         | 190 |

|                                |     |                              |     |
|--------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| <b>第十章 蜗杆传动</b> .....          | 195 | § 13-4 混合摩擦滑动轴承的设计计算         | 242 |
| § 10-1 蜗杆传动的组成和特点              | 195 | § 13-5 滑动轴承的润滑               | 244 |
| § 10-2 蜗杆传动的主要参数、几何尺寸和精度等级     | 196 | § 13-6 液体摩擦滑动轴承简介            | 248 |
| § 10-3 蜗杆传动的失效形式及常用材料          | 200 | 习题                           | 249 |
| § 10-4 蜗杆传动的受力分析               | 202 | <b>第十四章 滚动轴承</b> .....       | 250 |
| § 10-5 蜗杆传动的强度计算               | 203 | § 14-1 滚动轴承的构造、类型和代号         | 250 |
| § 10-6 蜗杆传动的效率、热平衡计算和润滑        | 205 | § 14-2 滚动轴承类型的选择             | 254 |
| § 10-7 其他蜗杆传动简介                | 206 | § 14-3 滚动轴承的失效形式             | 256 |
| 习题                             | 208 | § 14-4 按额定动载荷确定滚动轴承的尺寸       | 257 |
| <b>第十一章 轮系及减速器</b> .....       | 209 | § 14-5 按额定静载荷确定滚动轴承的尺寸       | 263 |
| § 11-1 轮系及其分类                  | 209 | § 14-6 滚动轴承的组合设计             | 264 |
| § 11-2 定轴轮系的传动比及其计算            | 210 | 习题                           | 271 |
| § 11-3 周转轮系的传动比及其计算            | 212 | <b>第十五章 联轴器和离合器</b> .....    | 280 |
| § 11-4 混合轮系传动比的计算              | 214 | § 15-1 常用联轴器                 | 280 |
| § 11-5 行星轮系的效率概念               | 215 | § 15-2 常用离合器                 | 287 |
| § 11-6 渐开线少齿差行星齿轮传动及摆线针轮行星传动简介 | 217 | § 15-3 安全联轴器和安全离合器           | 290 |
| § 11-7 减速器简介                   | 219 | 习题                           | 292 |
| 习题                             | 222 | <b>第十六章 回转构件的平衡</b> .....    | 293 |
| <b>第十二章 轴</b> .....            | 225 | § 16-1 机械平衡的目的和分类            | 293 |
| § 12-1 轴的分类、材料 and 设计轴的基本要求    | 225 | § 16-2 回转构件的平衡计算             | 293 |
| § 12-2 轴的结构设计                  | 227 | § 16-3 回转构件的平衡试验             | 296 |
| § 12-3 轴的强度计算                  | 231 | § 16-4 回转构件的平衡精度概念           | 297 |
| § 12-4 轴的刚度计算概念                | 236 | 习题                           | 299 |
| 习题                             | 237 | <b>第十七章 弹簧</b> .....         | 301 |
| <b>第十三章 滑动轴承</b> .....         | 238 | § 17-1 概述                    | 301 |
| § 13-1 概述                      | 238 | § 17-2 圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧的结构、参数和尺寸 | 303 |
| § 13-2 滑动轴承的种类和结构              | 238 | § 17-3 圆柱形螺旋压缩(拉伸)弹簧的计算      | 305 |
| § 13-3 轴瓦和轴衬                   | 240 | § 17-4 圆柱形螺旋扭转弹簧的计算          | 308 |
|                                |     | 习题                           | 311 |

## 绪 言

在机械加工车间中,通常使用车床(图0-1)、刨床(图0-2)等对工件进行切削加工,图中的车床和刨床都由电动机驱动。车床、刨床、电动机一般都称为机器,它是人类用来进行生产劳动的设备,藉此可以减轻或代替人类的劳动,提高劳动生产率。

机器在工作过程中,各部分都有确定的相对运动,并作出有用功或转换机械能。

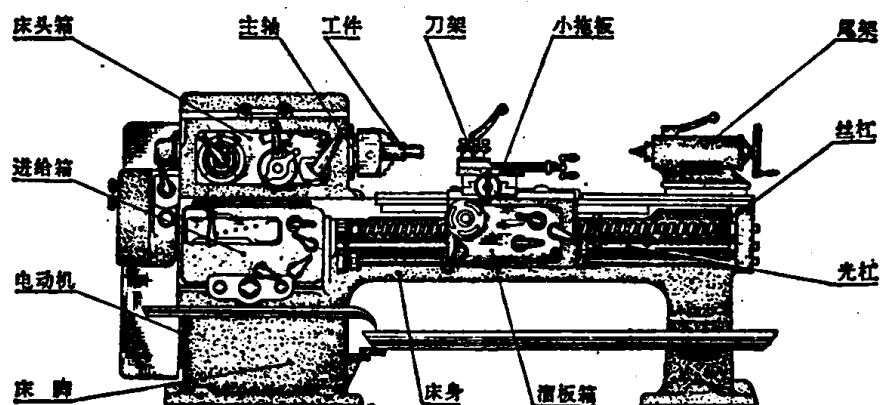


图 0-1 车 床

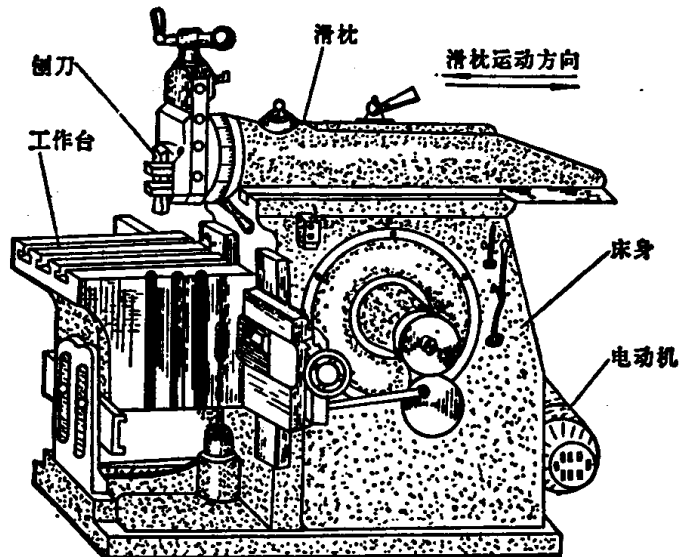


图 0-2 刨 床

现在我们简单地讨论一下牛头刨床的工作情况(图0-2)。它由床身、滑枕、工作台和刨刀等组成,电动机安装在床身上。需要加工的工件装夹在工作台上,当刨床起动后,滑枕连同刨刀作往复移动。刨刀向前移动时,对工件进行切削加工,刨刀返回时,不进行切削加工。滑枕连同刨刀是怎样产生往复移动的呢?从图0-3所示的牛头刨床传动简图中可以看出,电动机驱动

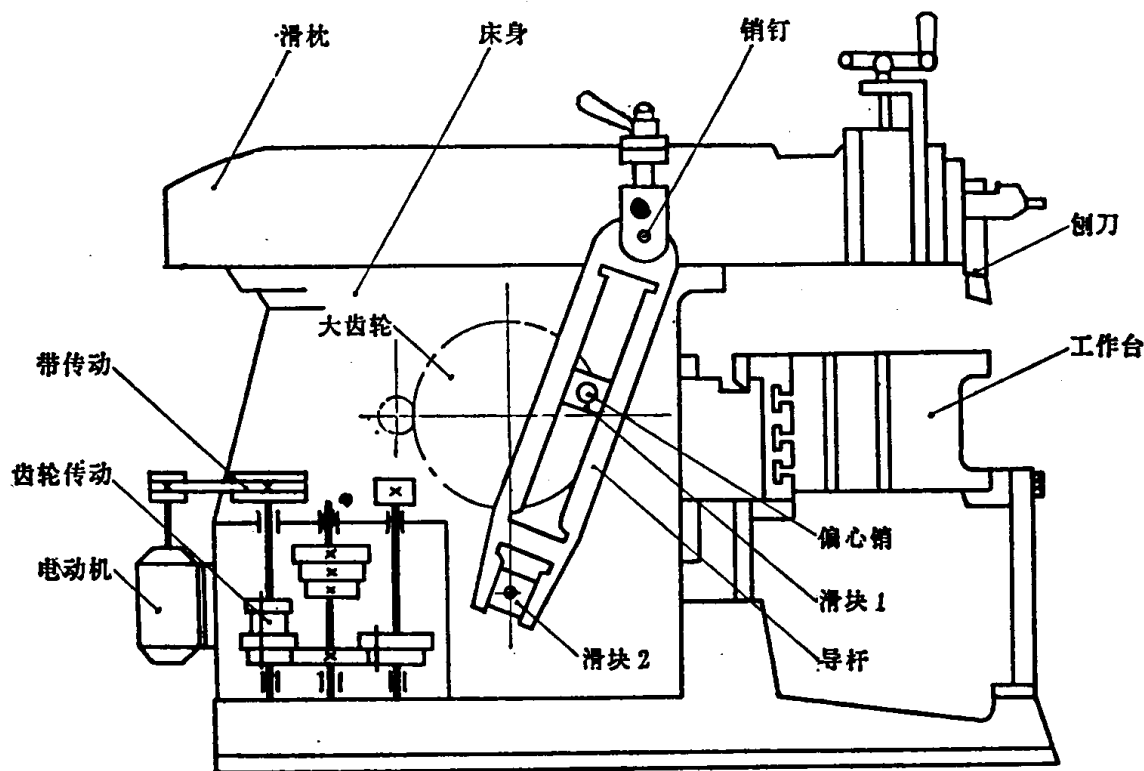


图 0-3 牛头刨床的传动简图

个可以绕其转动的滑块1。滑块嵌入导杆中间的槽内,在槽内可作相对滑动。导杆下端的槽内,嵌入滑块2,能绕固定轴旋转。导杆的上端与滑枕用销钉相联接。因此,当大齿轮转动时,由偏心销和滑块1带动导杆作往复摆动,又通过销钉使滑枕沿床身的导轨作往复移动,完成切削工作。

从牛头刨床的实例可知,此机器中有传递运动或转变运动形式(如转动转变为移动)的部分,这些部分称为机构。牛头刨床中有带传动机构、齿轮传动机构和导杆机构(大齿轮的转动转变为滑枕的移动的部分)。因此,机构是机器的重要组成部分。

通常所说的机械,是机构和机器的总称。

在机构或机器中,如果某些元件组合成一体,且具有确定的运动,则此整体称为构件。例如齿轮传动机构中,齿轮和轴用键联接成的整体就成为一构件。当齿轮转动时,键和轴随即一起转动。此构件中的齿轮、轴和键称为零件。因此,构件是运动的单元,而零件是制造的单元。

机械中零件的种类很多,但可以分为两大类。一类是通用零件,它们在一般机械上都要用到,例如齿轮、轴、螺钉等都是通用零件;另一类是专用零件,它们应用于某些特殊的机械中,例如内燃机的曲轴和活塞、汽轮机的叶片等都是专用零件。

本课程的主要任务是,讨论几种常用机构(平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等)的运动特点 and 设计方法;回转构件的平衡;同时还讨论通用零件的工作原理、结构、特点、选用和设计方法,为设计简单机械传动装置、一般工艺装备和机床工艺性改装打下一定的基础。

# 第一章 平面机构的运动简图及自由度

## §1-1 运动副及其分类

机构是由具有确定相对运动的构件所组成的，因此机构中各构件相互之间必定以某一方式联系着。例如两齿轮啮合时，由两齿廓的接触而构成可作相对运动的联接；活塞式发动机在工作时，活塞与气缸壁也构成可作相对运动的联接。构件间相互构成的可动联接称为运动副。

机构中的运动副，使构件的运动受到一定的限制而不能任意运动，这种对构件运动的限制称为约束。因此，只要选取适当的运动副，便能使机构具有确定的相对运动。

两构件组成运动副时的接触形式有三种：点接触、线接触和面接触。凡是点接触或线接触的运动副称为高副，面接触的运动副称为低副。如图0-3中两齿轮啮合时所组成的运动副为高副；导杆机构中滑块与导杆所组成的运动副是低副。

各种运动副对构件产生不同的约束。上述滑块与导杆所组成的低副，只允许滑块与导杆作相对移动，故此运动副又称为移动副；导杆与滑枕所组成的低副，只允许导杆与滑枕作相对转动，故此运动副又称为转动副；图0-1所示的车床中，丝杠的旋转运动通过螺母使溜板箱左右移动，丝杠与螺母所组成的低副，只允许丝杠与螺母作相对的螺旋运动，故此运动副又称为螺旋副。

## §1-2 平面机构的运动简图

为了便于对机构进行分析和设计，通常不考虑构件的外形、截面尺寸和运动副的实际构造，而用规定的简单线条和符号表示构件和运动副，并按一定的比例画出的机构图形称为机构运动简图。表1-1列出了一些机构运动简图的常用符号。

机构按其各构件的运动范围可分为平面机构和空间机构两类。平面机构中各构件均都在同一平面或平行平面内运动，而空间机构中各构件并不都在同一平面或平行平面内运动。目前生产中应用的机构大部分都是平面机构。本章只讨论平面机构问题。

在绘制机构运动简图时，首先要弄清各构件的实际结构和相对运动情况，找出机架（支承其他构件的构件）和主动件；其次要明确运动副的类型；然后选择一个与各构件运动平面相平行的平面作为视图平面，选取适当的比例尺 $\mu_l$ ，画出机构运动简图，在机架部分应画出阴影线。长度比例尺 $\mu_l$ ：

$$\mu_l = \frac{\text{实际长度(m)}}{\text{图示长度(mm)}} \quad \text{或} \quad \mu_l = \frac{\text{实际长度(mm)}}{\text{图示长度(mm)}}$$

表1-1 机构运动简图的常用符号

| 运动副类别          | 代 表 符 号 | 运动副类别          | 代 表 符 号 |
|----------------|---------|----------------|---------|
| 与固定支座<br>组成移动副 |         | 两运动构件<br>组成转动副 |         |
| 与固定支座<br>组成转动副 |         | 两构件组成<br>螺旋副   |         |
| 两运动构件<br>组成移动副 |         | 齿轮和凸轮<br>高 副   |         |

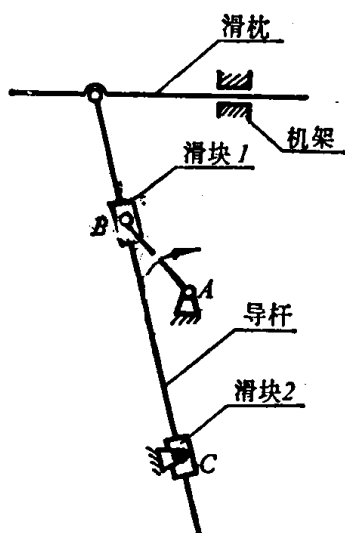


图 1-1 具有两个滑块的摆动导杆机构

例1-1 试绘制图 0-3 所示的牛头刨床中摆动导杆机构的运动简图。

解 它包含导杆、大齿轮、滑枕、滑块 1、滑块 2 及机架等构件。大齿轮与滑块 1 用偏心销联接组成转动副，故在摆动导杆机构中大齿轮可简化成构件  $AB$ 。选取适当的比例尺  $\mu_l$ ，画出机构运动简图。如图 1-1 所示。构件  $AB$  为主动件，用圆弧形箭头表示。

## §1-3 平面机构的自由度

### 一、运动链

由运动副将构件联接而成的系统称为运动链。在运动链中，主动件的数目可以有一个，也可以有几个。运动链中固定的构件为机架，当主动件按一定的规律运动时，其余各构件(从动件)都具有确定的相对运动，则此运动链便成为机构；如果各从动件不能运动或作无规则的乱动，则此运动链就不是机构。

## 二、平面机构的自由度计算公式

平面机构中各构件均作平面平行运动,简称平面运动。尚未与其他构件组成运动副的构件可看作自由构件。设作平面运动的自由构件,如图1-2所示,它相对于参考系 $xOy$ 运动时,其位置可由其上一点 $A$ 的坐标 $x_A, y_A$ 及直线 $AB$ 与 $x$ 轴的夹角 $\varphi$ 来决定,也就是由三个独立的位置参数 $x_A, y_A$ 与 $\varphi$ 来决定。因此作平面运动的自由构件具有三个自由度。

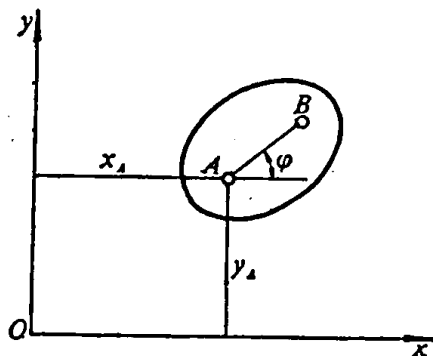


图 1-2 作平面运动自由构件的自由度

机构中的构件,由于运动副的相互约束,使构件减少了自由度。对于平面机构中的低副约束,如图1-3a所示的移动副约束,只允许构件1对2向左或向右的相对移动,所以使构件失去了两个自由度;图1-3b所示的转动副约束,只允许构件1对2作相对转动,所以也使构件失去了两个自由度,因此,平面机构中每一个低副使构件失去两个自由度。

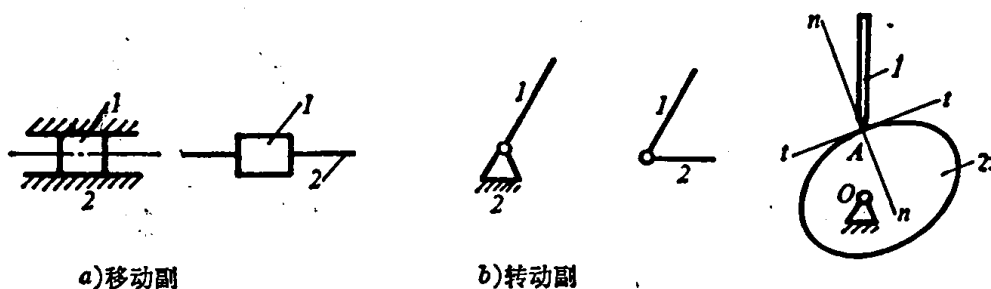


图 1-3 低副约束失去自由度

图 1-4 高副约束失去自由度

平面机构中的高副约束,如图1-4所示的高副约束,构件1和构件2在 $A$ 点公法线 $nn$ 方向不能相对运动,所以平面机构中每一个高副使构件失去一个自由度。

设平面机构中活动构件(除去机架后的构件)数目为 $n$ ,则在组成运动副之前(即自由构件)的自由度为 $3n$ 个,若平面机构中低副的数目为 $P_L$ ,高副的数目为 $P_H$ ,则此机构的自由度 $F$ 可用下式计算:

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

上式称为平面机构的结构公式。

## 三、运动链成为机构的条件

机构必须完成传递运动或转变运动的任务,因此机构中各构件必须具有确定的相对运动,这与机构的自由度及机构的主动件数目有关。如果某一机构具有一个自由度,则要求此机构必须具有一个主动件,这样才能使其余的构件(从动件)具有确定的相对运动。若此机构没有主动件,那就不可能产生运动;若具有两个主动件,则将使该机构中最薄弱的部分发生破坏。

例1-2 如图1-5所示的机构中,构件1、2、3、4用铰链联接,构件4为机架,试求此机构的自由度。

解 构件1、2、3为活动构件,所以 $n=3$ ,低副数目 $P_L=4$ ,高副数目 $P_H=0$ ,故此机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

因此该机构必须具有一个主动件,图中构件1上画的圆弧形箭头,表示构件1为主动件。

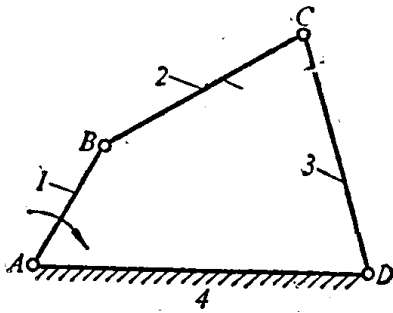


图 1-5 计算自由度

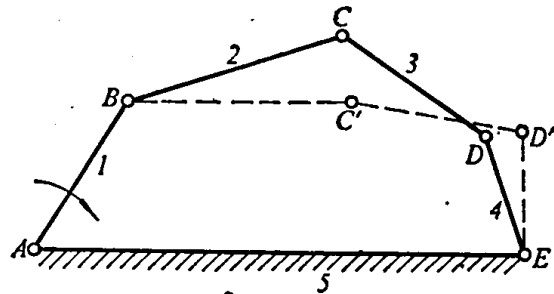


图 1-6 计算自由度并确定主动件数目

例1-3 图1-6表示由构件1、2、3、4、5用五个转动副组成的运动链,试求:(1)此运动链的自由度;(2)若此运动链欲成为机构,则其主动件数目应为多少?

解 (1) 计算自由度

活动构件数  $n=4$ ,低副数目  $P_L=5$ ,高副数目  $P_H=0$ ,故自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

(2) 确定主动件数目

若此运动链欲成为机构,则当主动件按一定规律运动时,从动件必须有确定的相对运动。如果只有构件1为主动件,则从动件2、3、4得不到确定的相对运动,如图中实线或虚线所示。但若有两个主动件,如构件1和构件4,则从动件2、3便有确定的相对运动。显然,如果有三个主动件,此运动链将发生损坏。故此运动链要成为机构,其主动件数目应为2。

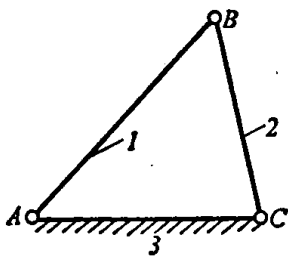


图 1-7 自由度为零的运动链

例1-4 构件1、2和3用铰链联接成转动副,构件3为机架,如图1-7所示,试求此运动链的自由度。

解 活动构件数目  $n=2$ ,低副数目  $P_L=3$ ,高副数目  $P_H=0$ ,故其自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 3 - 0 = 0$$

运动链的自由度等于零,它表示不能产生相对运动,实际上它是一个桁架。同理可推得,自由度等于负值的运动链,也是一个与机架固定不动的桁架,不过它是一个静不定桁架。

由以上分析可知,运动链成为机构的条件是:主动件数目等于自由度,但自由度不等于零。

#### 四、计算自由度时应注意的几个问题

##### 1. 复合铰链

图1-8a所示的惯性筛机构,构件2、3、4在C点组成的转动副,可以认为在构件4的两端各装一个铰链销,而构件2和3分别与之联接成两个转动副(图1-8b),当两个转动副之间的距离缩小到零时,构件4的两个铰链销合并成一个,便得到图1-8c所示的复合铰链,其侧视图如图1-8d所示。这种复合铰链可以看成以一个构件为基础,其余构件分别与它组成转动副,因此,如果有 $k$ 个构件组成的复合铰链,则其转动副的数目应为 $(k-1)$ 。

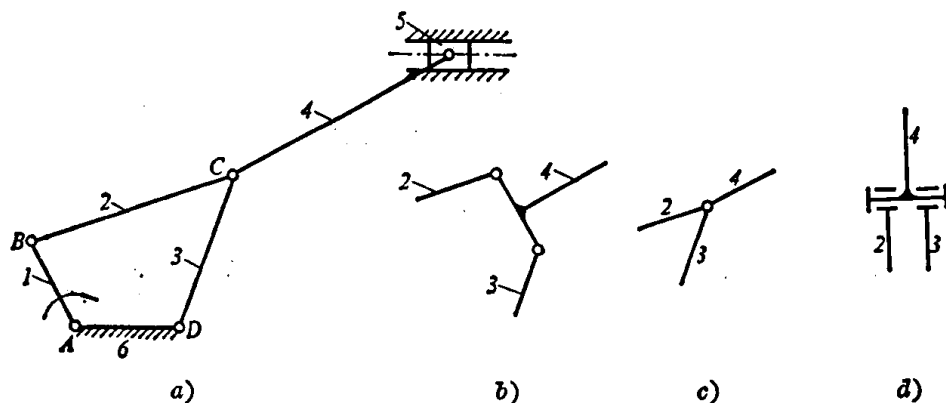


图 1-8 惯性筛机构中的复合铰链分析

例1-5 试计算图 1-8a 所示的惯性筛机构的自由度。构件 1 为主动件。

解 该机构活动构件的数目  $n=5$ , 低副数目  $P_L=7$ , 高副数目  $P_H=0$ 。故自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 5-2\times 7-0=1$$

主动件数目为 1, 故满足成为机构的条件。

本题如不按复合铰链计算, 则会导致错误的结果 ( $F=3\times 5-2\times 6-0=3$ )。

## 2. 局部自由度

如图 1-9 所示的凸轮机构, 为了减少从动件 3 和凸轮 1 接触处的摩擦, 在从动件 3 上安装一滚子 2。当主动件 (凸轮) 1 绕轴 O 转动时, 从动件 3 的运动规律取决于凸轮 1 的轮廓, 而滚子 2 绕其自身轴线 C 转动, 并不影响从动件 3 的运动, 也就是滚子 2 的自由度不影响输出构件 3 的运动, 这样的自由度称为局部自由度。在计算时应将它除去。也就是设想将滚子 2 与从动件 3 焊接成一个整体, 如图 1-10 所示。

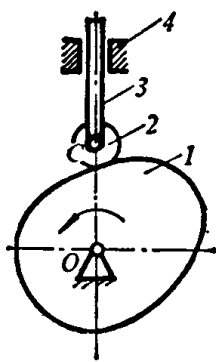


图 1-9 局部自由度

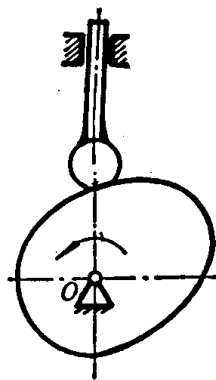


图 1-10 除去局部自由度

例 1-6 试计算图 1-9 所示的凸轮机构的自由度。

解 将滚子 2 与从动件 3 组成的局部自由度除去, 变为图 1-10 所示的情形。所以活动构件数目  $n=2$ , 低副数目  $P_L=2$ , 高副数目  $P_H=1$ , 故该机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 2-2\times 2-1=1$$

本题如果不将局部自由度除去, 则计算自由度时将会导致错误的结果 ( $F=3\times 3-2\times 3-1=2$ )。

## 3. 虚约束

有些机构中的某些运动副对机构产生的约束是重复的, 并不影响机构的运动, 这些约束称为虚约束。

常见的虚约束有如下几种。

### (1) 轨迹重合

图 1-11 所示为两组对边长度相等的平行四边形机构, 构件 2 因作平动而其上各点的轨迹都是以  $AB$  为半径的圆弧。

如果在上述平行四边形机构中加入构件 5 及转动副  $E$ 、 $G$ , 并使  $EG \parallel AB$ , 如图 1-12 所示, 则构件 2 上  $E$  点的轨迹与构件 5 上  $E$  点的轨迹相重合, 故并不影响机构的运动, 因此, 转动副  $E$ 、 $G$  对机构的约束是属于轨迹重合的虚约束。在计算机构的自由度时应将其除去。同理, 该机构也可认为转动副  $C$ 、 $D$  构成虚约束, 但该图中不能认为转动副  $A$ 、 $B$  构成虚约束, 否则主动件 1 就没有了。

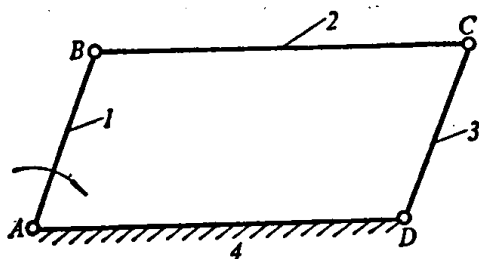


图 1-11 平行四边形机构

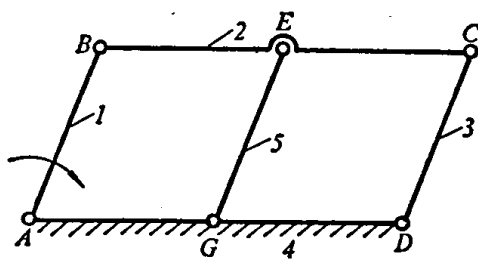


图 1-12 虚约束分析

例 1-7 试计算图 1-12 所示机构的自由度。

解 除去虚约束部分, 即不考虑构件 5 及转动副  $E$ 、 $G$ 。机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

本题如果不除去虚约束, 则将导致错误的结果 ( $F = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$ )。

虚约束并不影响机构的运动, 但在实际应用中, 为了分担载荷, 改善受载情况, 常被采用。图 1-13 所示的机车车轮联动机构, 它是为了分担载荷、增加车轮与钢轨的正压力所产生的摩擦力, 即增加机车的牵引力, 因而采用了具有虚约束的平行四边形机构。

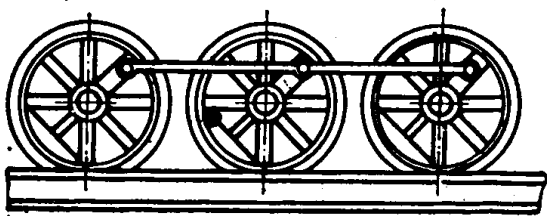


图 1-13 虚约束的应用实例

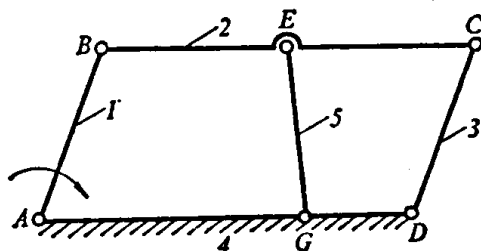


图 1-14  $EG$  及其运动副不是虚约束

在机构中为了采用虚约束而添加构件和运动副时应注意, 如在图 1-12 中加入构件 5, 若  $EG \nparallel AB$ , 如图 1-14 所示, 则此转动副  $E$ 、 $G$  不是虚约束, 因而其自由度为

$$F = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$$

表示各构件不能作相对运动, 即构成桁架。

### (2) 两构件在同一轴线上组成多个转动副

如图 1-15 所示的齿轮轴 1, 其两端由机架 2 的两个轴承来支承。从运动的观点来看, 只要在一端有一个转动副就可实现相对转动, 但为了分担载荷、改善受载情况, 实际上常采用两个转动副。因此考虑一端的转动副后, 另一端的转动副应视为虚约束, 在计算自由度时应除去。

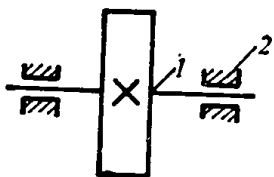


图 1-15 两个转动副的虚约束

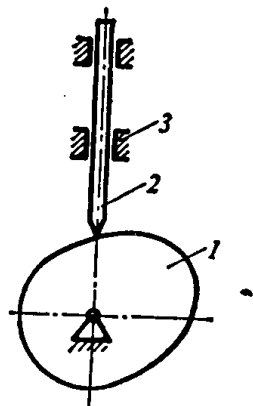


图 1-16 两个移动副的虚约束

### (3) 两构件在同一导路上或在平行导路上组成多个移动副

如图 1-16 所示的凸轮机构,为使从动件 2 在移动时有较好的导向性,即不易被导路卡住,通常使从动件 2 和机架 3 组成两个移动副,因此,其中一个移动副的约束为虚约束。在计算自由度时应除去。

### (4) 机构中对运动不起作用的对称部分

如图 1-17 所示的齿轮机构,主动轴 I 的动力通过齿轮 1、2、2'、3 即可传递给轴 II。但为了分担载荷、改善受载情况,又安装了齿轮 4 和 4'。从传递运动来看,齿轮 1 与 4 组成的高副、齿轮 3 与 4' 组成的高副均为多余的,故也是虚约束。在计算机构自由度时应除去。

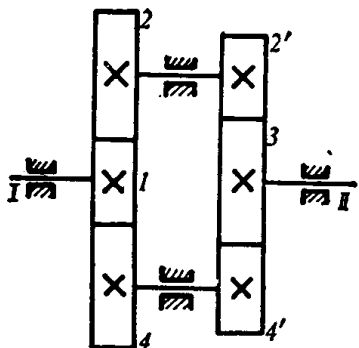


图 1-17 机构对称部分的虚约束

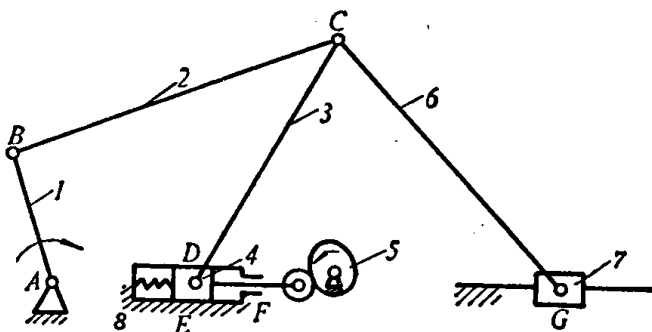


图 1-18 大筛机构的自由度

例 1-8 试计算图 1-18 所示大筛机构的自由度。

解 由图可知,构件 4 与滚子构成局部自由度,设想将构件 4 与滚子固联成一体(焊成一体)。构件 4 与机架 8 在 E、F 两处构成平行导路上的约束,其中一个应为虚约束,设想将其除去。弹簧不起限制运动作用,故不应考虑。C 点为复合铰链。因此,活动构件数目  $n=7$ ,低副数目  $P_L=9$ ,高副数目  $P_H=1$ ,所以机构的自由度为

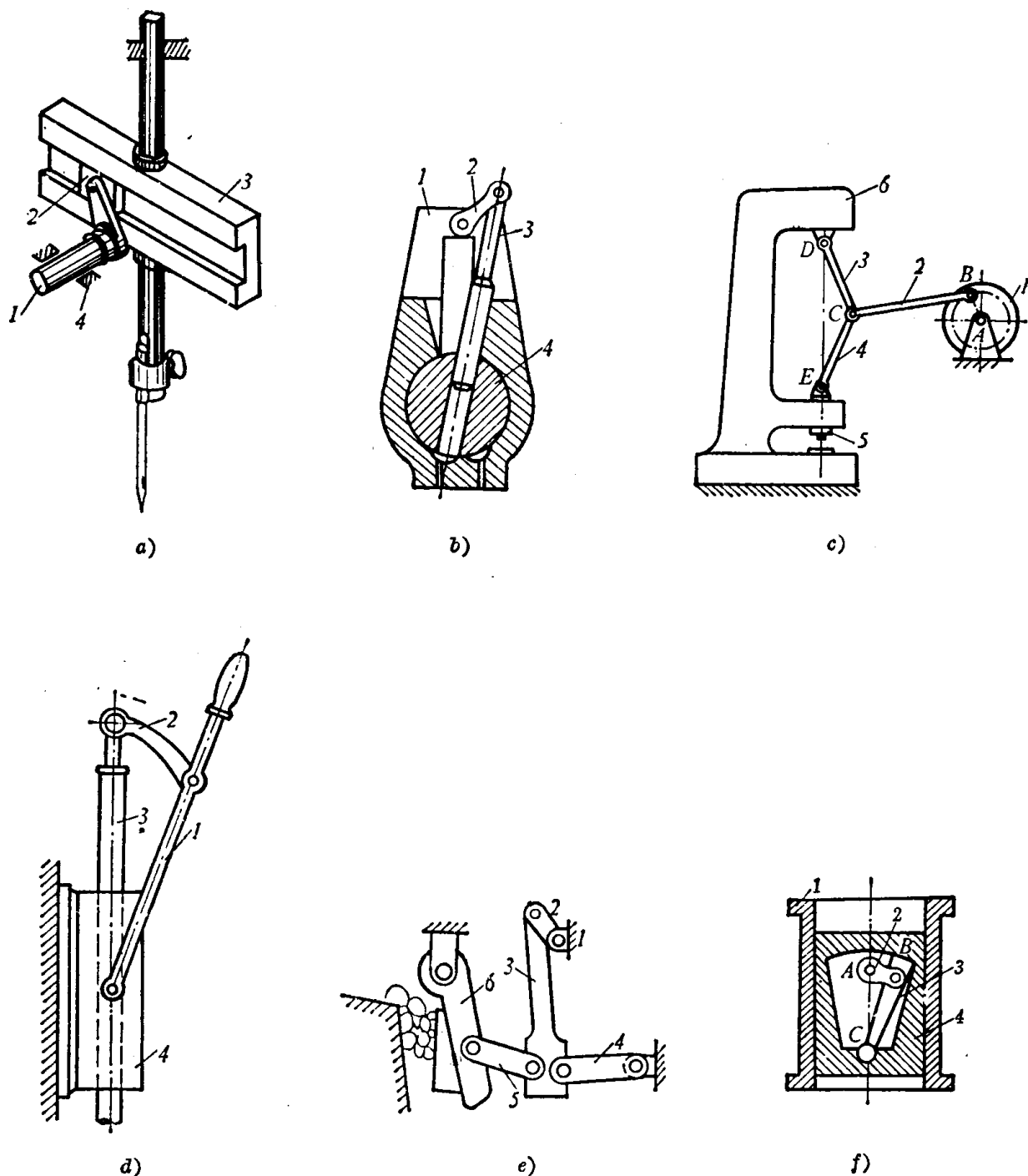
$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

故此机构应有两个主动件,如图所示的构件 1 和构件 5 画上圆弧形箭头,即为主动件,满足成为机构的条件。

## 习 题

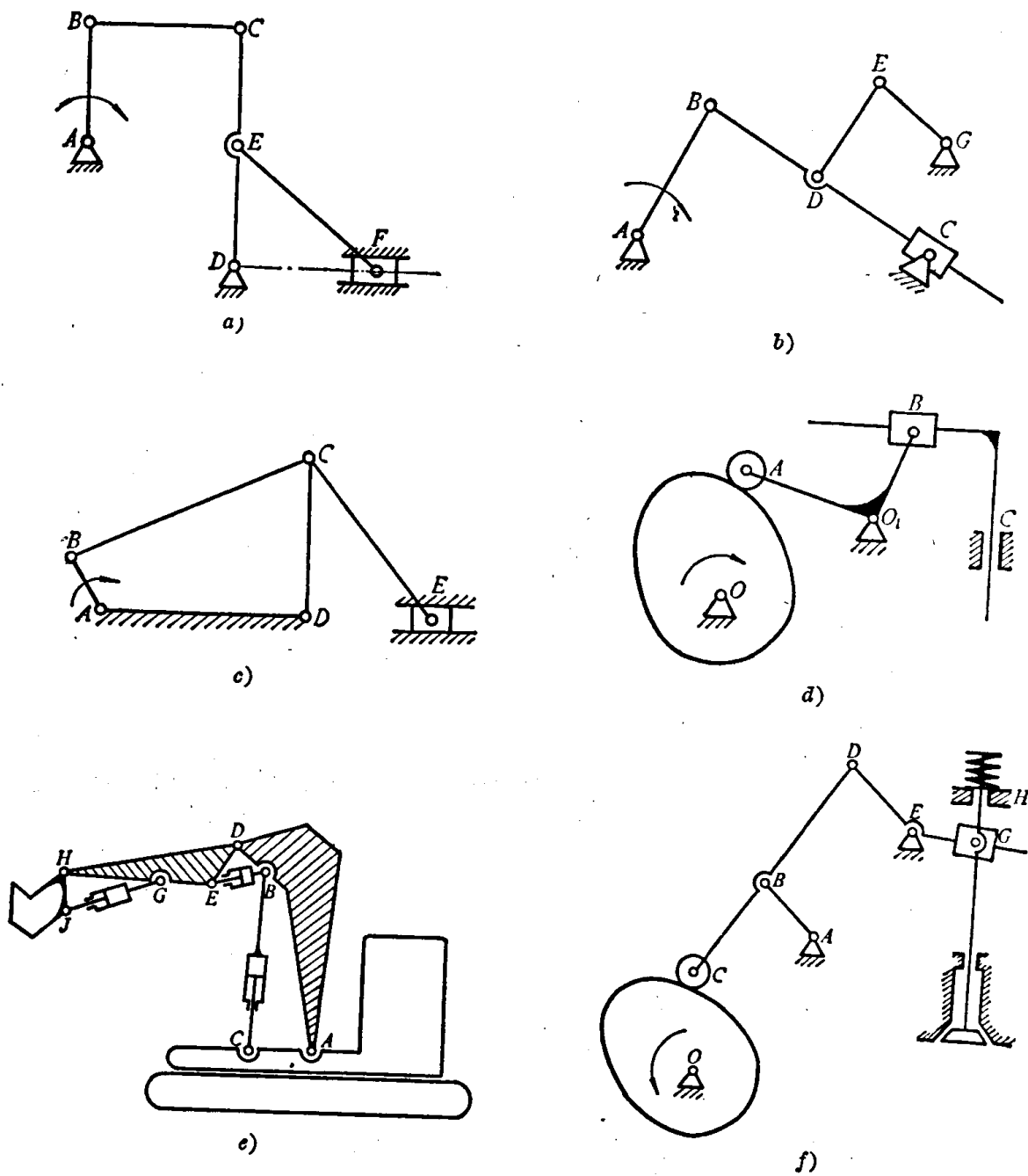
- 1-1 什么叫运动副? 怎样的运动副称为高副? 怎样的运动副称为低副?
- 1-2 什么叫机构运动简图?
- 1-3 什么叫运动链? 运动链成为机构的条件是什么?

- 1-4 怎样的机构称为平面机构?
- 1-5 怎样的铰链称为复合铰链? 如果有  $k$  个构件组成的复合铰链, 则其转动副的数目为多少?
- 1-6 什么叫局部自由度? 在计算机构自由度时怎样处理局部自由度?
- 1-7 什么叫虚约束? 常见的虚约束有哪几种? 在计算机构自由度时怎样处理虚约束?
- 1-8 试绘制下列机构的运动简图。



题 1-8 图

- 1-9 试计算下列图示各机构的自由度, 并判断主动件数目是否合适? (图中带有圆弧形箭头的构件及图 e 中的活塞为主动件。)



题 1-9 图