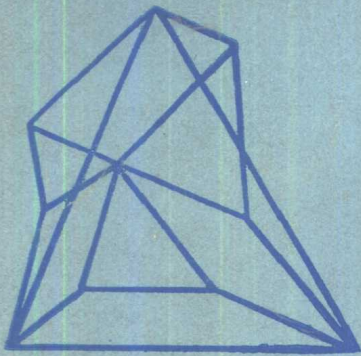


# 机械原理习题集

曲继方 主编



1-44

黑龙江科学技术出版社

# 机械原理习题集

曲继方 主编

黑龙江科学技术出版社

一九八六年·哈尔滨

## 内 容 提 要

本习题集着重理论联系实际, 研究、讨论各种基本机构、组合机构及机构系统的分析与综合方法, 其目的在于培养学生的自学能力和概括能力, 并给学生以必要的解题指导, 启发学生对基本理论的深入思考和理解。

本书共分十三章, 其中包括: 平面机构的组成分析、简单机构及运动副摩擦、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、平面连杆机构及其综合、空间连杆机构、凸轮机构、齿轮啮合原理、齿轮机构、轮系、间歇运动机构、组合机构和机构系统动力分析。

本书可作高等工业院校机械原理课程的辅助教材, 也可供报考研究生的学生及工程技术人员参考。

责任编辑: 王义山

封面设计: 郭德存

## 机械原理习题集

曲继方 主编

---

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

哈尔滨印刷二厂印刷·黑龙江省新华书店发行

---

787×1092毫米 16开本17.25印张385千字

1986年12月第1版·1986年12月第1次印刷

印数: 1-11.799册

书号: 15217·215

定价: 2.90元

# 前 言

为了加深学生对机构学基本概念和基本理论的理解，提高机构分析与综合的能力，培养计算技能及处理实际问题的能力，特编写了《机械原理习题集》一书。

本书以机构为系统，讨论各种基本机构、组合机构和机构系统的分析与综合方法。内容由简到繁、由个别到一般、由局部到整体，能给学生和机械工程技术人員一个明确的设计思路，有利于培养他们分析问题和解决问题的能力。为适应科学技术的飞跃发展，为电子计算机引入机械工程打下基础，本书各章都增加了解析法的内容。

本书可作为高等工业院校机械原理课程的辅助教材，但为满足读者的不同需要，选编了一些与工程实践相结合的题目和难度较大的题目，可供工程技术人员及报考研究生的学生参考。

参加本书编写的有曲继方（第一、二、八、九、十、十一、十二章）、高峰（第六章）、曲继方、高峰、陈廷雨（第三、四、五、七、十三章），由曲继方担任主编

杨基厚教授为本书的编写提供了宝贵资料并给予热情鼓励；哈尔滨工业大学李华敏教授、王知行副教授审阅了书稿的重要章节，并提出许多宝贵意见，编者在此一并表示衷心感谢。

编者殷切希望读者对本书谬误欠妥之处提出宝贵意见。

编 者

一九八四年二月

# 目 录

## 第一章 平面机构的组成分析

理论概述	( 1 )
§ 1—1 机构的组成及其具有确定运动的条件	( 3 )
§ 1—2 机构自由度的计算及复合铰链、局部自由度和虚约束的判别 与处理	( 5 )
§ 1—3 低副机构的组成分析	( 8 )
§ 1—4 变换原动件机构类型的变化	( 10 )
§ 1—5 高副机构的组成分析 (高副低代法)	( 12 )
复习思考题	( 15 )

## 第二章 简单机构及运动副中的摩擦

理论概述	( 17 )
§ 2—1 滑块机构及移动副摩擦	( 25 )
§ 2—2 转动机构及转动副摩擦	( 31 )
§ 2—3 螺旋机构及螺旋副摩擦	( 42 )
复习思考题	( 44 )

## 第三章 平面机构的运动分析

理论概述	( 46 )
§ 3—1 瞬心及其在运动分析中的应用	( 50 )
§ 3—2 用相对运动图解法分析机构的运动	( 54 )
§ 3—3 复杂机构的速度和加速度分析	( 60 )
§ 3—4 非连架原动件机构的速度分析	( 61 )
§ 3—5 解析法分析机构的运动	( 62 )
§ 3—6 多自由度机构的运动分析	( 74 )
复习思考题	( 76 )

## 第四章 平面机构的力分析

理论概述	( 78 )
§ 4—1 平面机构的静力分析	( 81 )
§ 4—2 构件惯性力的确定	( 85 )
§ 4—3 机构动态静力分析图解法	( 86 )
§ 4—4 机构动态静力分析解析法	( 90 )
§ 4—5 平面连杆机构的摆动力平衡	( 93 )
§ 4—6 考虑摩擦时机机构的受力分析	( 99 )
复习思考题	( 102 )

## 第五章 平面连杆机构及其综合

理论概述	(103)
§ 5—1 四杆机构的基本形式	(107)
§ 5—2 按行程速比系数和最小传动角综合四杆机构	(112)
§ 5—3 按连杆的给定位置综合四杆机构	(116)
§ 5—4 按两连架杆对应转角综合四杆机构的图解法	(117)
§ 5—5 四杆机构的替代机构	(123)
§ 5—6 四杆机构综合的解析法	(124)
复习思考题	(128)

## 第六章 空间连杆机构

理论概述	(130)
§ 6—1 空间连杆机构的运动分析	(133)
§ 6—2 空间连杆机构的综合	(137)
复习思考题	(137)

## 第七章 凸轮机构

理论概述	(139)
§ 7—1 从动件常用运动规律	(145)
§ 7—2 按许用压力角确定凸轮的基圆半径	(147)
§ 7—3 图解法设计平面凸轮的廓线	(149)
§ 7—4 解析法设计平面凸轮的廓线	(153)
§ 7—5 凸轮机构的运动分析	(153)
复习思考题	(154)

## 第八章 齿轮啮合原理

理论概述	(155)
§ 8—1 齿廓啮合基本定律及共轭齿廓	(163)
§ 8—2 渐开线特性及其方程式	(164)
§ 8—3 渐开线标准齿轮的基本参数和尺寸	(165)
§ 8—4 渐开线齿轮的啮合传动	(167)
§ 8—5 渐开线变位齿轮	(169)
复习思考题	(177)

## 第九章 齿轮机构

理论概述	(179)
§ 9—1 斜齿圆柱齿轮机构	(185)
§ 9—2 交错轴斜齿轮机构	(193)
§ 9—3 蜗轮蜗杆机构	(196)
§ 9—4 直齿锥齿轮机构	(199)
复习思考题	(201)

## 第十章 轮系

理论概述	(203)
§10—1 定轴轮系的传动比	(205)
§10—2 周转轮系的组成及类型分析	(207)
§10—3 基本周转轮系的传动比	(209)
§10—4 混合轮系的传动比	(215)
§10—5 行星轮系的效率	(221)
§10—6 周转轮系各轮齿数的确定	(223)
复习思考题	(224)
<b>第十一章 间歇运动机构</b>	
理论概述	(226)
§11—1 棘轮机构	(230)
§11—2 槽轮机构	(232)
复习思考题	(234)
<b>第十二章 组合机构</b>	
理论概述	(235)
§12—1 组合机构的组成分析	(239)
§12—2 组合机构运动分析图解法	(241)
§12—3 组合机构运动分析解析法	(245)
§12—4 组合机构的综合原理	(247)
复习思考题	(248)
<b>第十三章 机械系统的动力分析</b>	
理论概述	(249)
§13—1 等效构件与等效量	(254)
§13—2 机械系统运动方程的求解	(258)
§13—3 机械在稳定运动状态下速度的调节	(260)
§13—4 机械系统的机械效率	(263)
复习思考题	(266)
<b>参考文献</b>	(267)

# 第一章 平面机构的组成分析

## 理论概述

### 一、机构组成及其运动条件

两个以上的构件通过运动副的联接而构成的系统称为运动链。在运动链中，如果以某一构件作为参考坐标系，而当另一构件（或几个构件）按给定的运动规律运动时，其余所有构件都将得到确定的运动，那末，这个运动链便成为一个机构。即，机构是由若干构件通过运动副的联接而构成的，而且各构件之间具有完全确定的相对运动。

机构能够产生独立运动的数目称为机构的自由度。

空间机构的自由度计算公式为

$$F = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 \quad (1-1)$$

平面机构的自由度计算公式为

$$F = 3n - 2p_5 - p_4 \quad (1-2)$$

在计算机构的自由度时，应注意下列几种情况的判别与处理：

1. 复合铰链——两个以上的构件同时在一处以回转副联接，则构成复合铰链。若有  $m$  个构件以复合铰链相联接，所形成的回转副数为  $(m-1)$ 。在计算机构自由度时，应注意复合铰链的存在。

2. 虚约束——在机构中实际上不起约束作用的约束条件称为消极约束条件，或称虚约束。虚约束在下列情况下发生：1) 联接构件和被联接构件在联接点的运动轨迹重合时；2) 两构件组成若干移动副，运动方向又相互平行时，或两构件组成若干回转副，其轴线又互相重合时；3) 在机构的运动过程中，两构件上某两点之间的距离始终保持不变，而此两点间又以构件相联接时。在计算机构自由度时，应去掉虚约束。

3. 局部自由度——在机构的运动过程中，如某构件的局部运动不影响整个机构的运动规律时，则此构件的局部运动称为局部自由度。在计算机构自由度时，应去掉局部自由度。

机构具有确定运动的条件是机构原动件的数目与机构的自由度数相等。否则，机构将没有确定的运动或没有运动的可能性。

### 二、低副机构的组成分析

不能再分的自由度为零的运动链称为基本组。基本组的判别式为

$$p_5 = \frac{3}{2}n \quad (1-3)$$

$n=2, p_5=3$  的基本组称为Ⅰ级组； $n=4, p_5=6$  的基本组有两类，基本组外接构件均为二副构件，但中心构件具有三个运动副元素，称Ⅱ级组，基本组构件形成封闭四边形，称为Ⅳ级组。



任何机构都是由自由度为零的基本组依次联接到原动件和机架上去的方法组成的。机构的级别是由组成机构的基本组的最高级别决定的。

将已知机构分解为原动件、机架、基本组进而确定机构的级别的过程称为机构的组成分析。机构组成分析的步骤为：

1. 确定机构的原动件，计算机构的自由度数值与原动件数目相同；
2. 从离开原动件的最远处，依次拆下基本组，余下的部分仍然是机构，直至最后剩下原动件为止；
3. 根据基本组的最高级别，确定机构级别。

### 三、高副机构的组成分析(高副低代法)

对平面高副机构进行组成分析，常采用一种“高副低代法”，即用适当的低副机构去代替高副机构，从而可以用分析低副机构的方法去分析高副机构的组成。高副低代应满

表 1-1

高副低代的形式

替 代 符 号		举 例	
高副联接形式	低副替代形式	高副机构	低副替代机构

足的条件是：

1. 代替前后，机构的自由度不变。为此，常引入一个运动件和两个低副去代替一个高副。

2. 代替前后，瞬时运动情况不变。为此，应把引入的两个低副放在组成高副的两个运动副元素的曲率中心上，应使引入的运动件的长度等于两曲率中心的距离。

因为高副的联接形式有四种，所以相应的高副低代形式也有四种，如表1—1所示。

#### 四、机构运动简图的绘制方法

机构的运动只与机构中的运动副的结构情况（回转副、移动副、高副等）和运动副的位置（回转副的中心位置、移动副中心线位置、高副的接触点的位置等）有关。所以机构的运动情况可以用运动副的代表符号，表示运动副位置的简单线条表示出来。这种表示机构运动情况的简单图形，称为机构运动简图。机构运动简图不仅表示机构的运动情况，而且可以用来进行机构的运动分析和力分析。

绘制机构运动简图的步骤：

1. 观察和分析机构的运动情况。首先确定原动部分（运动起始部分）和执行部分（直接执行生产任务部分）。然后循着运动传递的路线，分析其传动部分。

2. 观察与分析机构的实际组成。搞清楚机构是由多少构件组成的，各构件之间组成了何种运动副及其相对位置，区分开固定件与活动件。

3. 恰当地选择投影面。选择投影面以简单、清楚地把机构的运动情况和实际结构正确地表示出来为原则。一般选机构中多数构件的运动平面为投影面。

以适当的比例尺绘出机构运动简图后，验算其自由度是否与实际机构相符。

### §1—1 机构的组成及其具有确定运动的条件

1.1 图 1—1 所示为牛头刨床一个设计方案的运动简图。设计者的设计思路是：动力由曲柄 1 输入，通过滑块 2 使摆动导杆 3 往复摆动，并带动滑枕 4 往复运动以达到刨削的目的。试问：图示构件的组合是不是机构？如果不是应如何把它变成具有确定运动规律的机构？能提出几个自由度为 1 的机构修改方案？

〔解〕 此刨床机构系由原动件曲柄 1、滑块 2、导杆 3、执行构件滑枕 4 和机架 5 所组成。曲柄 1 和滑块 2、机架 5 组成回转副，导杆 3 与滑枕 4、机架 5 组成回转副，滑块 2 和导杆 3，滑枕 4 和机架 5 组成移动副。此机构为平面机构，根据式(1—2)可知其自由度为

$$F = 3n - 2p_1 - p_4 = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

可见此刨床机构不能动。为使此机构具有确定的运动，应使机构的自由度大于零。增加机构自由度的方法有：

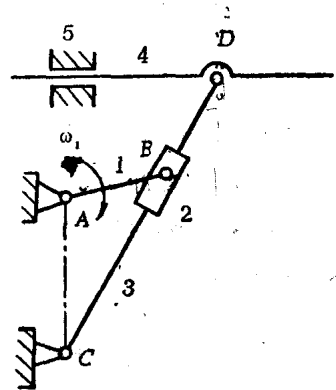


图 1—1

1. 在机构的适当位置上加上一个低副和一个活动件；

2. 在机构的适当位置上用一个高副去代替一个低副。

这样就可以把自由度为零的构件组合变成自由度为 1 的机构。因此，上述刨床设计方案可以修改成图 1—2 所示几种自由度为 1 的设计方案。

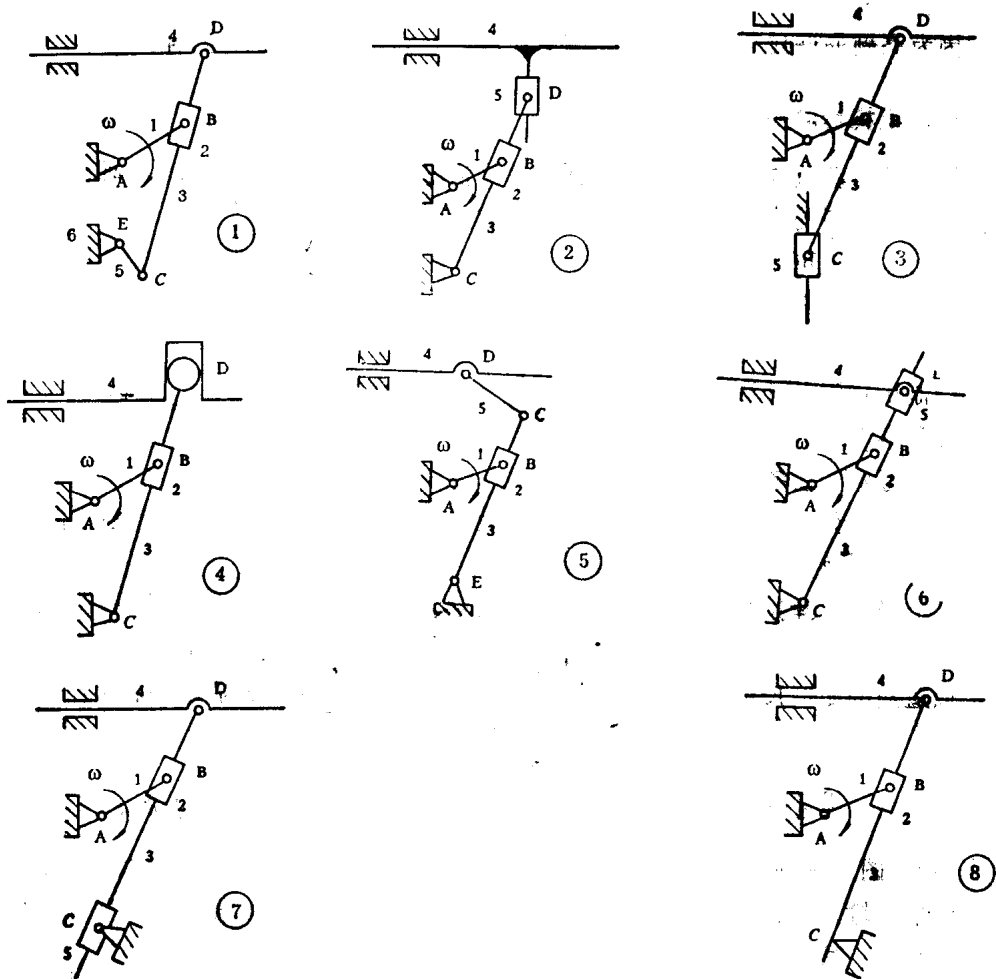


图 1—2

1-2 图 1—3 所示为一简易冲床的运动简图。设计思路是：动力由曲柄 1 输入，推动杆 2 摆动，并使冲头 3 上下运动达到冲压的目的。试问：图示构件的组合是不是机构？如果不是，应如何把它变成具有确定运动规律的机构？能提出几个自由度为 1 的机构修改设计方案？

1-3 图 1—4 所示为手动冲床一个设计方案的运动简图。设计思路是：动力由摇杆 1 输入，通过连杆 2 使摇杆 3 往复摆动，摇杆 3 又推动冲杆 5 作往复直线运动，以达到冲压的目的。试问：图示构件的组合是不是机构？如果不是，应如何把它变成具有确定运动规律的机构？能提出几个自由度为 1 的机构修改设计方案？

1-4 图 1—5 所示为一脚踏式推料机运动简图。设计思路是：动力由踏板 1 输入，

通过连杆 2 使杠杆 3 摆动，进而使推板 4 沿导轨直线运动，完成 输送工件或物料的工作。试问：图示构件的组合是否机构？如果不是，应如何把它变成具有确定运动规律的机构？能提出几个自由度为 1 的机构修改设计方案？

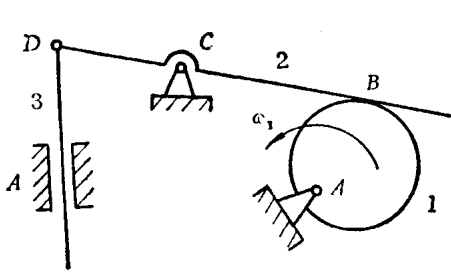


图 1-3

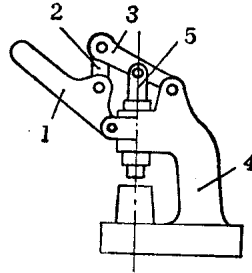


图 1-4

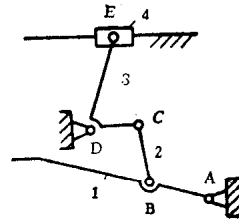
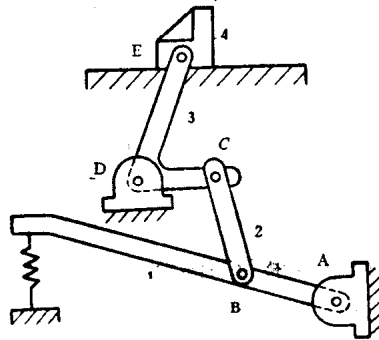
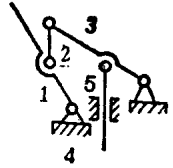


图 1-5

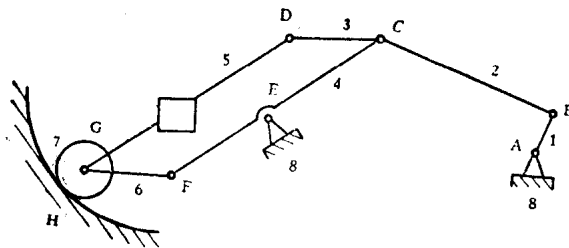


图 1-6

### §1-2 机构自由度的计算及复合铰链、局部自由度和虚约束的判别与处理

1.5 图 1-6 所示为一翻钢机机构运动简图。试计算此机构的自由度。

〔解〕 此翻钢机构由构件 1、2、3、4、5、6、滚子 7 和机架 8 所组成。各构件在 A、B、C、D、E 和 G 处组成回转副，滚子 7 和机架 8 在 H 点组成高副。应当注意构件 2、3、4 在 C 处和构件 5、6、7 在 G 处各组成了两个回转副。于是，此平面机构的自由度为

$$F = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

计算结果与实际不符。实践证明，这种翻钢机构只要给定一个原动件，就会得到确定的运动。计算结果与实际不符的原因是滚子7绕自身轴线转动的自由度不影响整个机构的运动规律，是一个局部自由度。在计算机构自由度时，应去掉局部自由度。消除局部自由度的方法有：

1. 在自由度的计算中，直接去掉局部自由度

$$F = 3n - 2p_5 - p_4 - (\text{局部自由度的个数})$$

$$= 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 - 1 = 1$$

2. 使产生局部自由度的构件与其它构件固连，从而消除局部自由度。如本题中的滚子7与杆件6或杆件5固连，这时有

$$F = 3n' - 2p_5' - p_4' = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 = 1$$

故此翻钢机构的自由度为1。

1.6 图1—7所示为平行四边形全铰链5杆机构。已知  $AB = CD = EF$ ,  $BC = AD$ ,  $CE = DF$ 。试计算此机构的自由度。

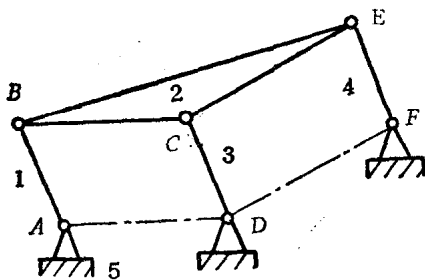


图 1—7

〔解〕 此全铰链五杆机构由杆件1、2、3、4和机架5所组成。各构件在A、B、C、D、E和F处组成回转副。于是，此平面机构的自由度为

$$F = 3n - 2p_5 = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

计算结果与实际不符。实践证明，此机构给定一个原动件就会得到确定的运动。计算结果与实际不符的原因是没有注意虚约束的存在。

因为  $AB = CD = EF$ ,  $BC = AD$ ,  $CE = DE$ ,

如将铰链E拆开，构件2和4上的E点的运动轨迹都是以EF为半径，以F为圆心的圆周，即两点的运动轨迹重合，所以构件4和回转副E、F所引入的一个约束条件为

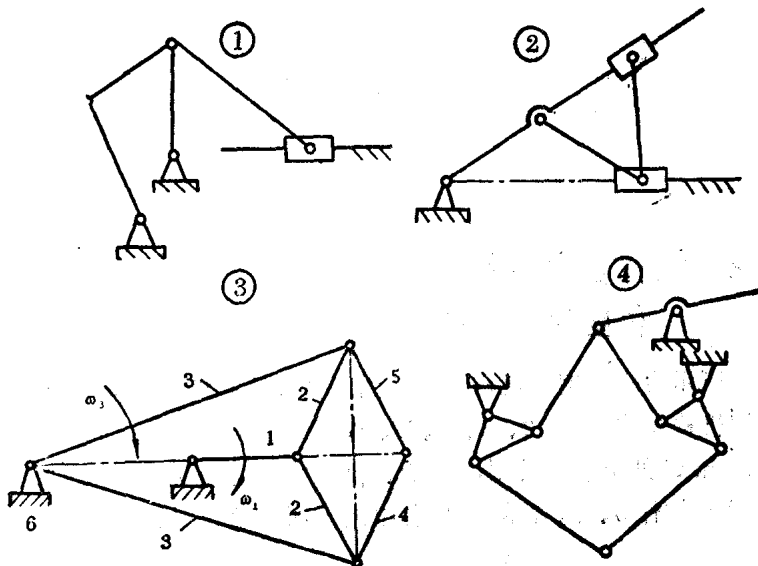


图 1—8

虚约束。同理，也可以认为构件1和铰链A、B或构件3和铰链C、D所引入的一个约束条件为虚约束。总之，在计算机构自由度时，应将虚约束除去不计，故有

$$F = 3n' - 2p_j = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

1.7 试计算图1-8所示各机构的自由度，并指出何处为复合铰链。

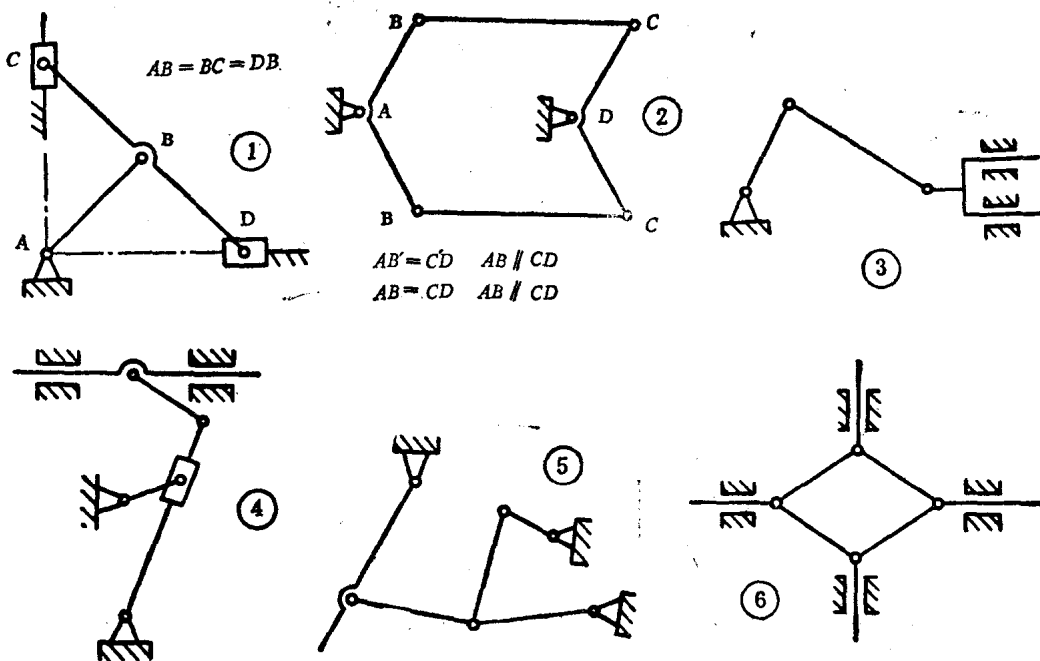


图 1-9

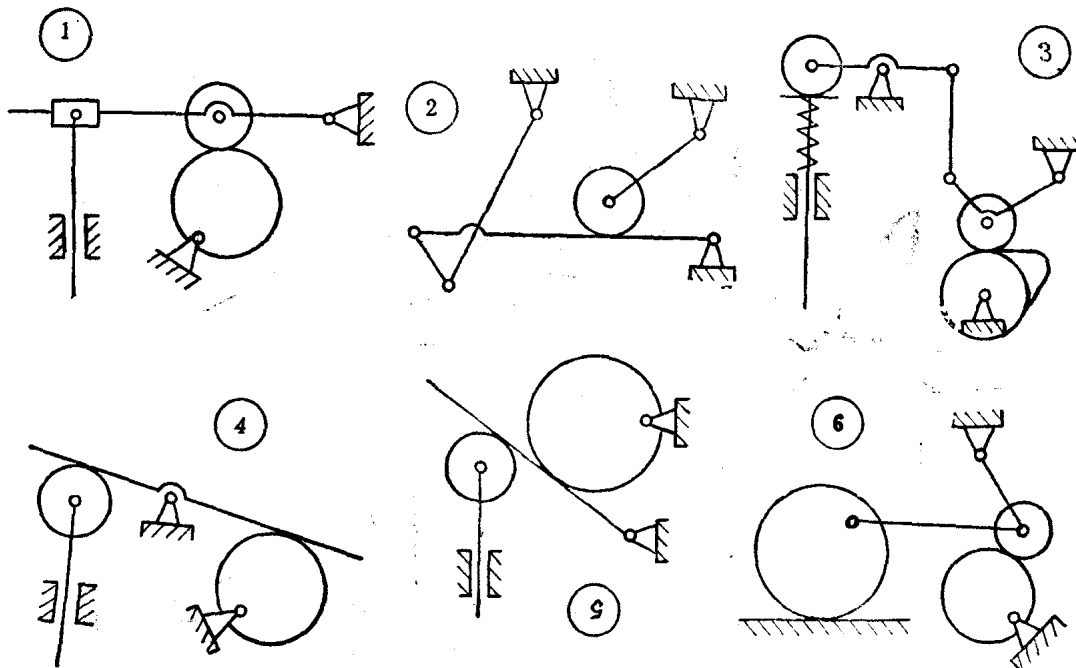


图 1-10

1.8 试计算图 1—9 所示各机构的自由度, 并指出何处为复合铰链, 何处为虚约束。

1.9 试计算图 1—10 所示各种高副机构的自由度, 并指出何处为复合铰链, 何处为局部自由度。

### § 1—3 低副机构的组成分析

1.10 图 1—11 所示为缝纫机穿针引线机构, 由构件 1、2、3、4、5、6、7 和机架 8 所组成。试求机构的自由度, 并以  $AB$  为原动件对机构进行组成分析。

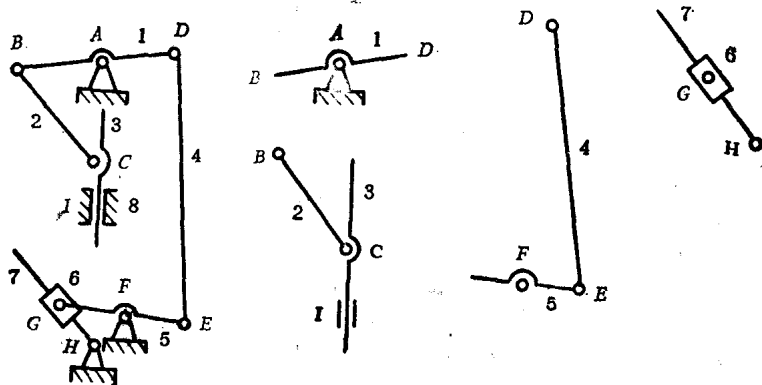


图 1—11

〔解〕 此机构是平面低副机构。各构件在  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  和  $H$  处组成回转副, 构件 6 与 7 在  $G$  处, 构件 3 与机架 8 在  $I$  处, 分别组成移动副。于是, 此平面机构的自由度为

$$F = 3n - 2p_5 = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

所以给定一个原动件此机构即可得到确定的运动。已定曲柄  $AB$  为原动件, 则其余的构件组的自由度为

$$F = 3n - 2p_5 = 3 \times 6 - 2 \times 9 = 0$$

该构件组包括三个基本组: 构件 2 与 3 组成一个 I 级组; 构件 4 与 5 组成第二个 I 级组; 滑块 6 和摆杆 7 组成第三个 I 级组。故该机构为由一个原动件和三个 I 级组组成的 I 级机构。

1.11 试求图 1—12 所示各机构的自由度, 并以  $AB$  为原动件对机构进行组成分析。

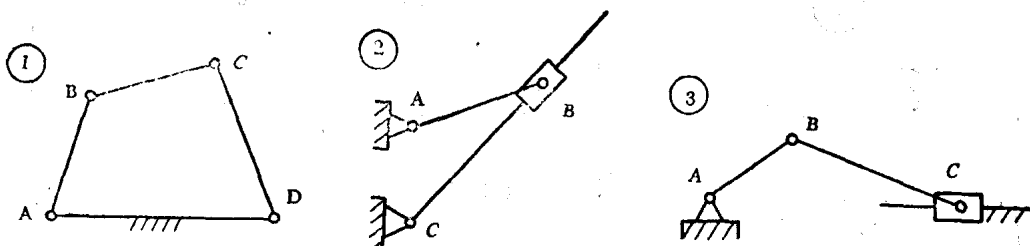


图 1—12

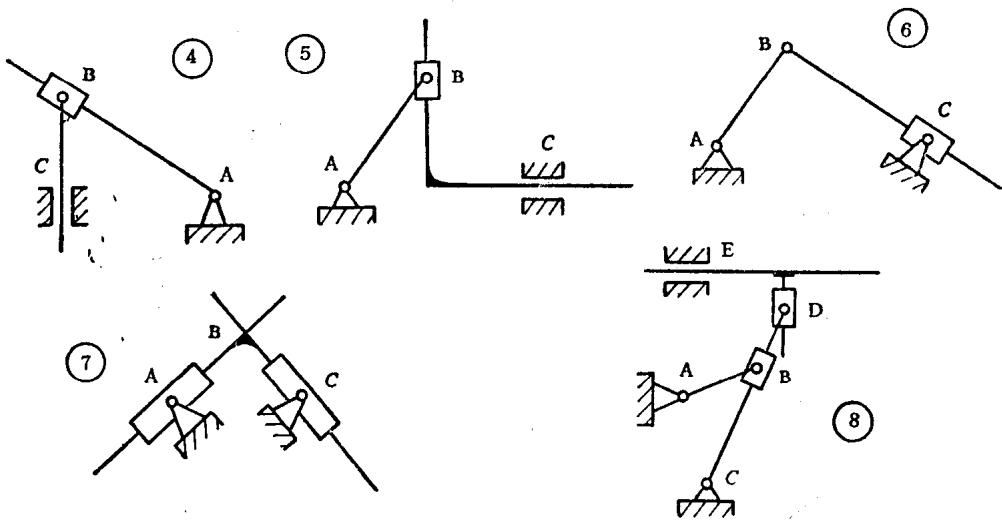


图 1-12

1-12 试求图 1-13 所示各机构的自由度，并以  $AB$  为原动件对机构进行组成分析。若自由度大于 1，除  $AB$  为原动件外，可另指定一个或几个原动件进行组成分析。

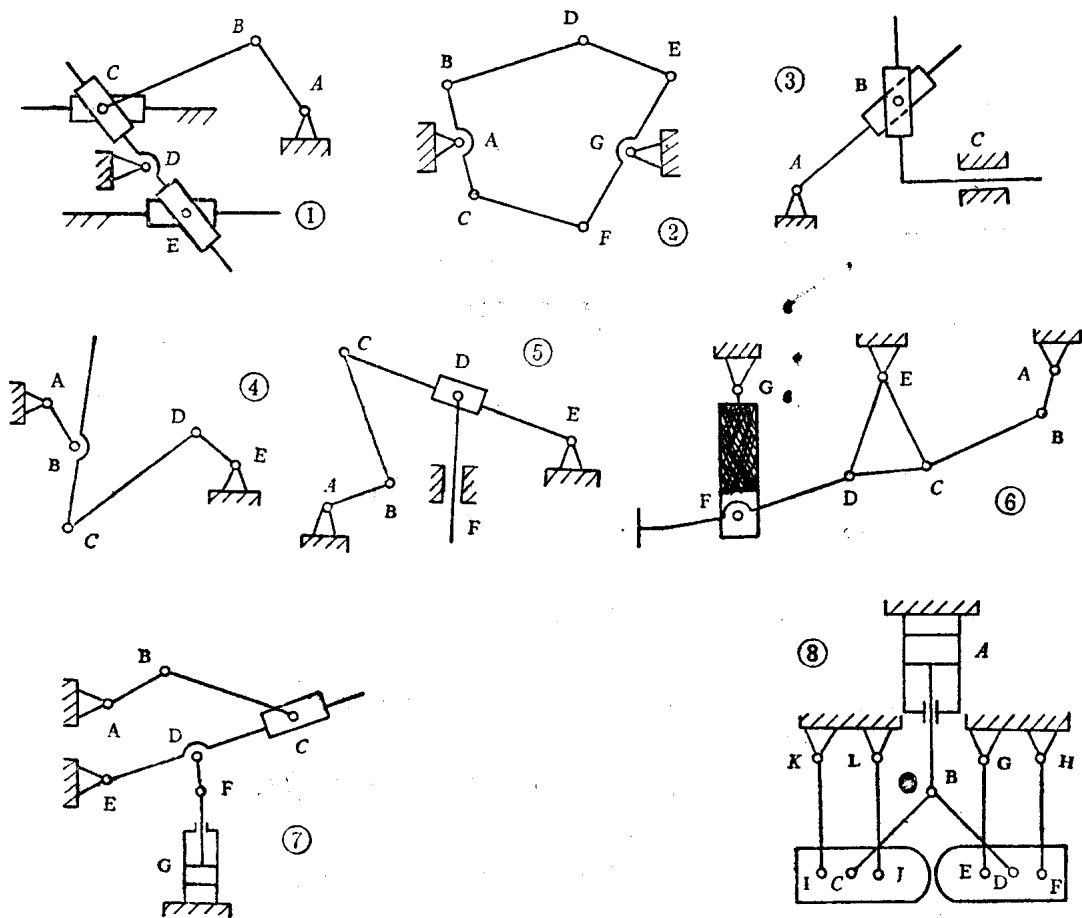


图 1-13



1.13 试求图 1-14 所示各机构的自由度, 欲获得 II 级机构, 机构的原动件应如何确定。

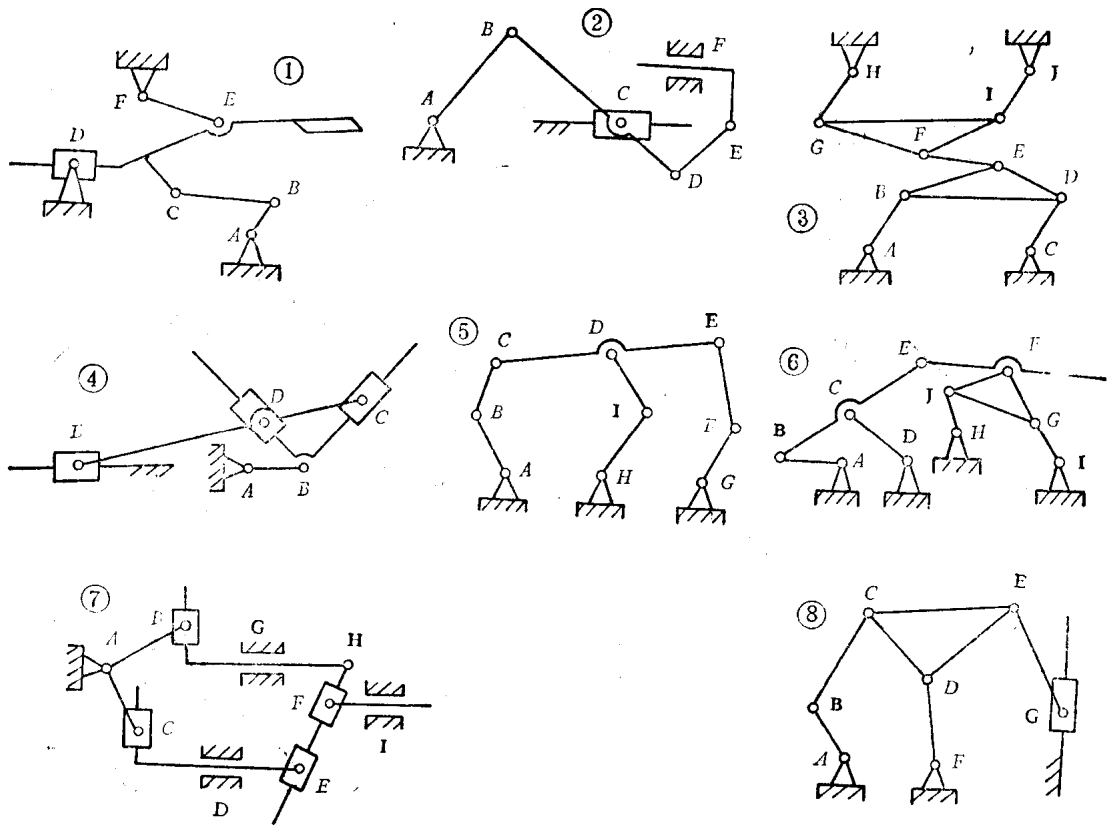


图 1-14

### §1-4 变换原动件机构类型的变化

1.14 图 1-15 所示为飞剪七杆机构。试分别以构件 AB、AC 为原动件及构件 AC、GF 为原动件, 对机构进行组成分析。

〔解〕 首先计算机机构的自由度

$$F = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 6 - 2 \times 8 = 2$$

此机构需要给定两个原动件才能有确定的运动。

1. 以构件 AB、AC 为原动件, 则其余的构件组的自由度为

$$F = 3n + 2p_5 = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

构件 GF 与 FE 组成一个 II 级组, C'D 与 DB' 组成另一个 II 级组, 故该机构为由两个原动件和两个 II 级组组成的 III 级机构。

2. 从构件 AB、GF 为原动件, 则其余的构件组的自由度仍然为零。但余下的构件组是一个 II 级基本组, 故此机构为 III 级机构。

上例说明, 同一个机构当选择不同的构件作原动件时, 机构的级别可能不同。利用