



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
《机械原理》配套教材



机械原理学习 及解题指导

The Guide to Learning

and Problem-solving of Mechanical Principles

翟敬梅 邹焱飏 主编



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理学习及解题指导/翟敬梅, 邹焱飏主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2011. 9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材《机械原理》配套教材

ISBN 978-7-5019-8369-8

I. ①机… II. ①翟… ②邹… III. ①机构学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 153456 号

责任编辑: 王 淳

策划编辑: 王 淳

责任终审: 孟寿萱

封面设计: 锋尚设计

版式设计: 宋振全

责任校对: 吴大鹏

责任监印: 吴京一

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 航远印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2011 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720 × 1000 1/16 印张: 13.25

字 数: 301 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-8369-8 定价: 24.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

110684J1X101ZBW

前 言

《机械原理》课程是机械类学生重要的一门专业基础课程，也是学生普遍反映难学的一门课程。为了帮助学生更好地学习这门课程，具备扎实的理论和实践基础，作者总结了多年从事《机械原理》课程的教学实践经验，作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材《机械原理》配套辅助教材，编写了《机械原理学习及解题指导》。

本书在归纳基本概念、基本理论和方法的基础上，重点对易于混淆的概念、难点的知识进行较为详细的解析，并通过典型例题进一步加深知识的理解和掌握。每章配有练习题和相应答案，最后附有三套较为典型的考试试题。本书作为一本辅助教材，具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性，可作为教师教学、学生学习以及考研的辅助参考教材。

本书由翟敬梅和邹焱飏担任主编，李杞仪主审。参加编写工作的有：翟敬梅（第1章、第9章、模拟试题），张铁（第2章、第3章），张东（第4章、第8章），李琳（第5章、第10章、第11章），邹焱飏（第6章、第7章）。

由于作者水平有限，书中疏漏和不当之处恳请读者批评指正。

编者

2011年7月

目 录

第一章 平面机构的组成原理及结构分析	1
一、教学基本要求	1
二、本章的主要内容及其系统	1
三、重点和难点解析	1
四、本章内容小结	7
五、典型例题分析	8
六、测试题	14
测试题答案	18
第二章 平面机构的运动分析	21
一、教学基本要求	21
二、本章的主要内容及其系统	21
三、重点和难点解析	21
四、本章内容小结	25
五、典型例题分析	26
六、测试题	38
测试题答案	42
第三章 平面机构的受力分析和效率分析	45
一、教学基本要求	45
二、本章的主要内容及其系统	45
三、重点和难点解析	45
四、本章内容小结	48
五、典型例题分析	49
六、测试题	58
测试题答案	61
第四章 平面连杆机构设计和分析	63
一、教学基本要求	63
二、本章的主要内容及其系统	63
三、重点和难点解析	63
四、本章内容小结	67
五、典型例题分析	68

六、测试题	75
测试题答案	80
第五章 凸轮机构及其设计	85
一、教学基本要求	85
二、本章的主要内容及其系统	85
三、重点和难点解析	85
四、本章内容小结	89
五、典型例题分析	90
六、测试题	96
测试题答案	98
第六章 齿轮机构及其设计	101
一、教学基本要求	101
二、本章的主要内容及其系统	101
三、重点和难点解析	103
四、本章内容小结	106
五、典型例题分析	108
六、测试题	113
测试题答案	115
第七章 轮系	118
一、教学基本要求	118
二、本章的主要内容及其系统	118
三、重点和难点解析	119
四、本章内容小结	121
五、典型例题分析	122
六、测试题	128
测试题答案	130
第八章 间歇运动机构	133
一、教学基本要求	133
二、本章的主要内容及其系统	133
三、重点和难点解析	133
四、本章内容小结	134
五、典型例题分析	135
六、测试题	136
测试题答案	141
第九章 其他常见机构简介	143
一、教学基本要求	143

二、本章的主要内容及其系统	143
三、重点和难点解析	143
四、本章内容小结	145
五、典型例题分析	145
六、测试题	148
测试题答案	149
第十章 机械的平衡	152
一、教学基本要求	152
二、本章的主要内容及其系统	152
三、重点和难点解析	152
四、本章内容小结	155
五、典型例题分析	156
六、测试题	160
测试题答案	162
第十一章 机械的运转及其速度波动的调节	165
一、教学基本要求	165
二、本章的主要内容及其系统	165
三、重点和难点解析	166
四、本章内容小结	167
五、典型例题分析	168
六、测试题	173
测试题答案	177
附录 考试试卷	178
参考文献	202

第一章 平面机构的组成原理及结构分析

一、教学基本要求

本章主要阐述了平面机构的组成原理及结构分析，讨论机构及其具有确定运动的条件；机构运动简图的绘制方法；机构的组成原理及其分类。

本章教学的基本要求包括以下几个方面内容：

- (1) 掌握构件、运动副、自由度以及运动链基本概念；
- (2) 掌握绘制机构运动简图的方法；
- (3) 掌握平面机构的自由度计算方法以及机构具有确定运动条件的判定方法；
- (4) 了解平面机构高副低代及组成原理。

二、本章的主要内容及其系统

本章主要内容有：

- (1) 机构的组成；
- (2) 平面机构运动简图的测绘；
- (3) 平面机构自由度计算及具有确定运动的条件；
- (4) 平面机构高副低代；
- (5) 平面机构组成原理。

本章主要内容的系统框图如图 1-1 所示。

三、重点和难点解析

本章的重点是平面机构自由度的计算和机构级别的确定。难点有三个：一是机构运动简图含义和构件表示方法；二是机构自由度计算中虚约束的判定；三是基本杆组的拆分。

(一) 平面机构运动简图

机构运动简图表示的是机构运动传递情况，它是用规定的运动副符号和构件表示方法描述的一种简化图形，与构件和运动副的真实几何形状和尺寸无关。机构运动简图的三要素是：(1) 机构由多少个构件组成；(2) 各构件组成运动副的种类；(3) 各运动副的相对位置。

图 1-2 (a)、(b) 和 (c) 所示的三个机构中构件形状各不同，但机构运动简图的三要素完全相同，因此，三个机构中各构件之间的相对运动关系完全一

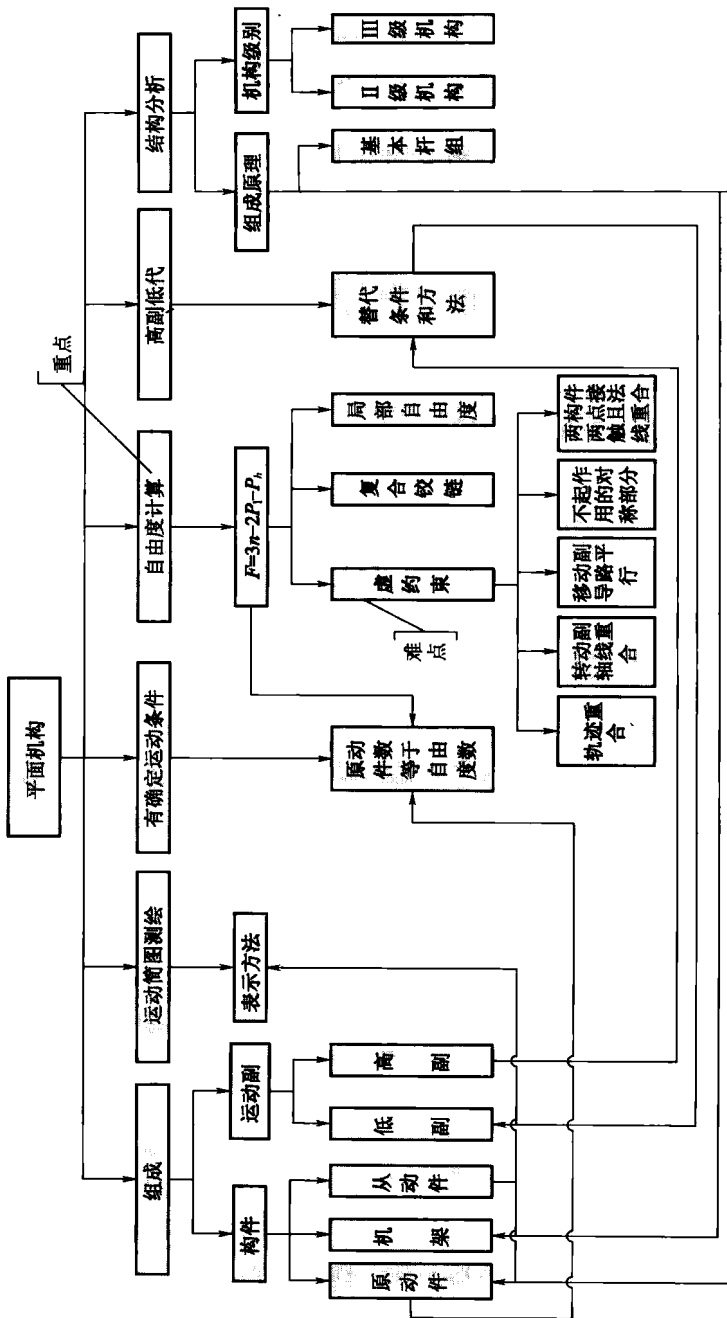


图1-1 平面机构组成原理及结构分析内容系统图

样, 因此它们的机构运动简图都为图 1-2 (d) 所示的铰链四杆机构。

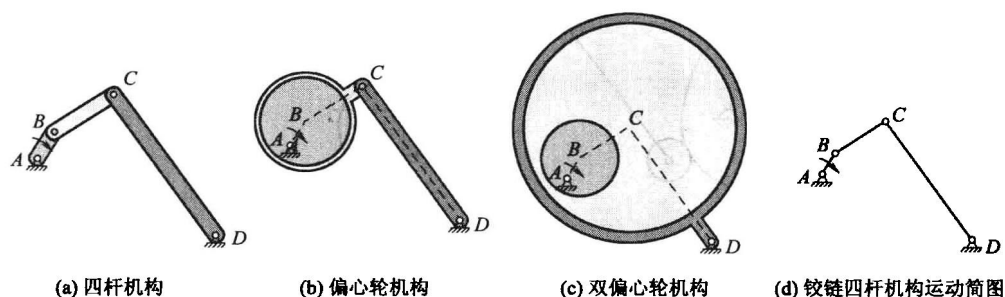


图 1-2 机构及其运动简图

(二) 平面机构自由度的计算

用平面机构自由度计算公式进行计算时要注意: (1) 复合铰链; (2) 局部自由度; (3) 虚约束。

1. 复合铰链

复合铰链是指两个以上的构件在同一处以转动副相联, 有 m 个构件, 就有 $m-1$ 个复合铰链。图 1-3 (a) 所示为三个构件在 A 处以转动副相联, 故 A 为复合铰链, 计 $3-1=2$ 个转动副。注意在计构件数时, 不要漏掉机架, 因此图 (b) 和图 (c) 所示的都是复合铰链。图 (d) 为三个构件在 A 处形成两个运动副, 但不是复合铰链, 因为三个构件形成了一个转动副 (1 和 3) 和一个移动副 (2 和 3), 并不是三个构件都以转动副相联。

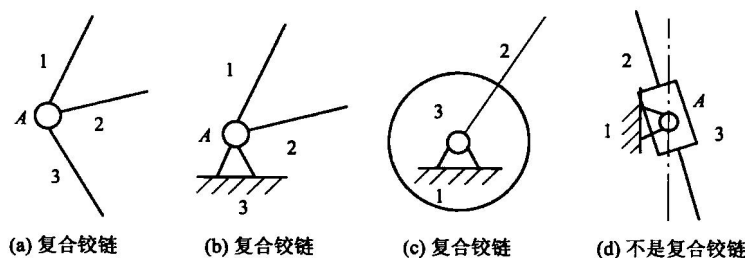


图 1-3 复合铰链的判定

2. 局部自由度

局部自由度是构件局部运动所产生的自由度。如滚子推杆凸轮机构, 滚子绕自身的转动运动对机构的运动并不产生影响, 故在自由度计算过程中要将局部自由度去掉。

机构中常见的局部自由度为滚子绕自身转动中心转动, 具体见图 1-4 所示。

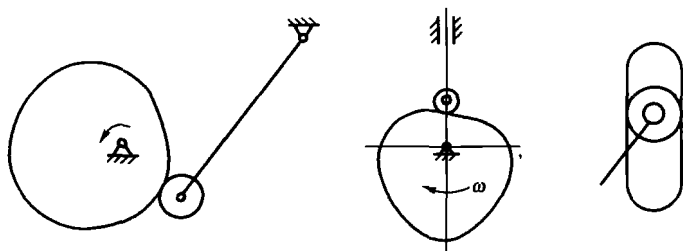


图 1-4 局部自由度

3. 虚约束

对机构的运动不起实际作用的约束称为虚约束，因此在计算自由度时要将虚约束去掉。虚约束出现在结构有特殊几何关系的场合，出现虚约束的场合有：

(1) 两构件联接前后，联接点的轨迹重合；



图 1-5

- (2) 两构件构成多个移动副，且导路平行；
- (3) 两构件构成多个转动副，且同轴；
- (4) 运动时，两构件上的两点距离始终不变；
- (5) 对运动不起作用的对称部分，如多个行星轮；
- (6) 两构件构成高副，两处接触，且法线重合。

注意原动件不能作为虚约束去掉，图 1-6 所示机构，有 (a)、(b) 和 (c) 三种去掉虚约束的方法，如果 AB 杆为原动件，则 (b) 方法不可行。

虚约束虽然对机构的运动不起作用，它的存在具有其他作用。图 1-5 所示的机构，虚约束可以使机构运动顺利，避免运动不确定，图 1-7、图 1-8、图 1-9 和图 1-10 所示机构中的虚约束可以增加机构的刚度或机构结构的对称性，图 1-11 所示机构中的虚约束可以改善构件的受力情况，图 1-12 (a) 所示的等宽凸轮机构可以通过形的封闭形式保证凸轮与从动件始终接触。

(三) 机构基本杆组的拆分和机构级别的确定

拆分杆组的主要步骤如下：

- (1) 将机构中的原动件和机架去掉；
- (2) 从远离原动件的构件开始拆杆组，先拆二级杆组，若不成再拆三级，

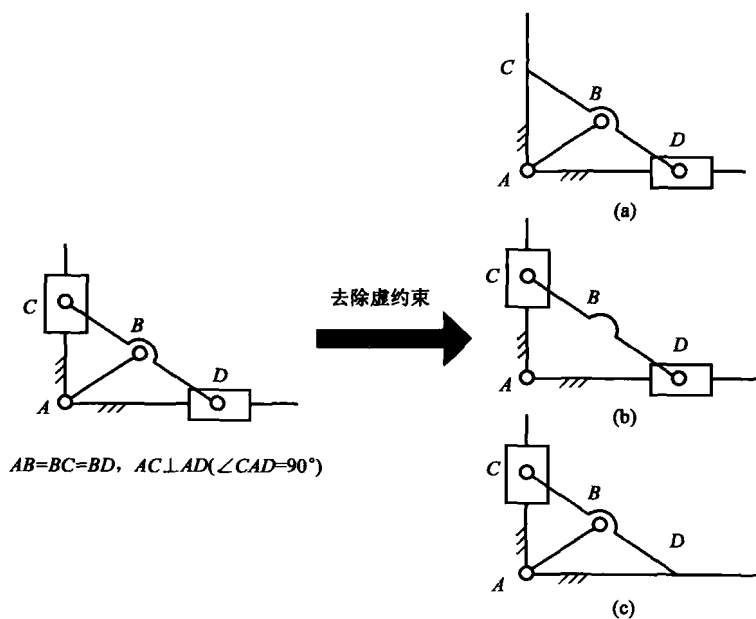


图 1-6



图 1-7

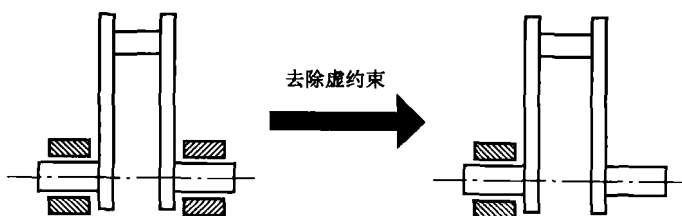


图 1-8

直至全部杆组拆出；

(3) 根据最高基本杆组级别，确定机构的级别。

拆分杆组过程中，应注意以下几个方面：

1) 基本杆组中，要将机架去掉，去除机架时，和机架相关的运动副不能

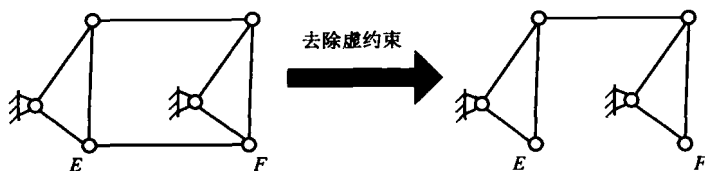


图 1-9

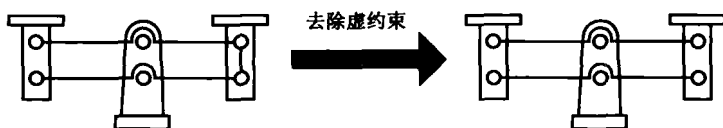


图 1-10

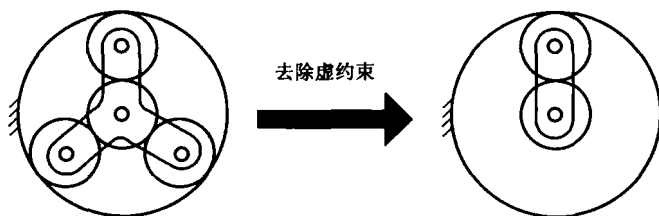


图 1-11

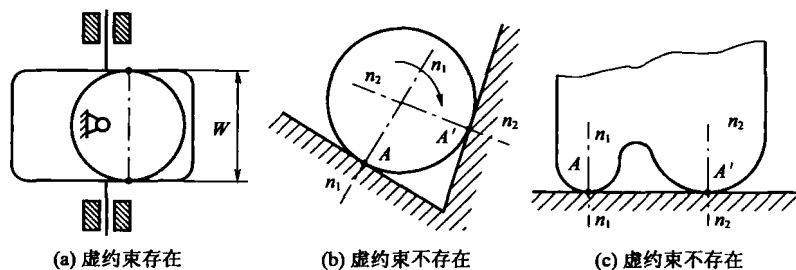


图 1-12

丢失。

图 1-13 中, (a) 是正确的表示方法, (b) 未将机架去除, (c) 中未将一个移动副表示出来, 是二杆二低副, 因此不是一个基本杆组。

2) 运动副的分配, 已在一个基本杆组用过的运动副不能在其他基本杆组中再用, 复合铰链处有几个转动副, 就要用几个。

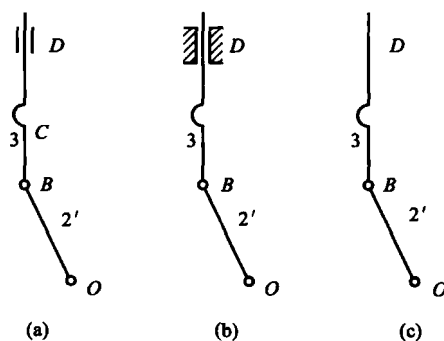


图 1-13

图 1-14 所示为某机构拆分的基本杆组，构件 3 和构件 4 在 C 处有一个转动副，该转动副只能分配在一个杆组中如图 (b) 所示的杆组中，不能再在图 (a) 所示的杆组中出现。构件 5、6 和 8 在 G 处有二个转动副，即 G 为复合铰链，其中一个转动副分配到图 (b) 所示的杆组中，另一个分配到图 (c) 所示的杆组中。

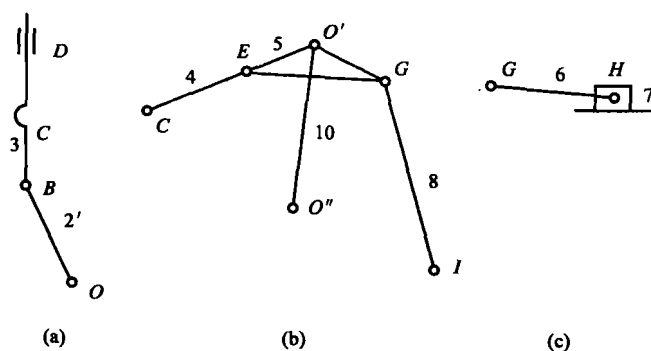


图 1-14

四、本章内容小结

(1) 两构件直接接触而又能产生一定形式的相对运动的联接称为运动副。两构件面接触而形成的运动副为低副，常见的平面低副有转动副和移动副；两构件点或线接触而形成的运动副为高副，如凸轮副、齿轮副等。

(2) 为了便于机构的运动分析和设计，常将构件的复杂外形与运动副的具体结构撇开，用规定的符号表示运动副，按一定比例表示各运动副的相对位置，并用直线或曲线将同一构件上的各运动副元素联接起来，这种图形为机构运动简图。

(3) 用运动副将两个以上的构件联接而成的系统成为运动链，组成运动链中每一构件至少含有两个运动副元素的称为闭式运动链，即构成首末封闭系统；否则为开式运动链，即未构成首末封闭系统。

(4) 在运动链中，将一构件加以固定，另一个或几个构件为原动件，如运动链中其余各构件都能得到确定的相对运动，该运动链称为机构。

(5) 由三个和三个以上的构件重叠在一起组成的转动副称为复合铰链。复合铰链处的运动副数等于组成复合铰链的构件数减1。

(6) 对整个机构运动无关的自由度称为局部自由度。

(7) 对机构运动不起作用的约束称为虚约束。

(8) 平面机构自由度计算公式为 $F = 3n - 2P_l - P_h$ ，用公式计算机构自由度时，要注意复合铰链处的运动副数及去掉局部自由度和虚约束，其中 F 为自由度， n 为活动构件数， P_l 为低副数， P_h 为高副数。

(9) 自由度大于0的平面机构，如果机构的自由度等于机构的原动件数，该机构具有确定的运动。

(10) 在含有高副的平面机构中，高副可用“一个构件两个低副”代替而成为全含低副的机构。

(11) 自由度为0的运动链称为杆组，不能再分的杆组称为基本杆组，全含低副的基本杆组应满足 $3n - 2P_l = 0$ 的条件。2杆3副的基本杆组称为Ⅱ级杆组，4杆6副的基本杆组称为Ⅲ级杆组。

(12) 机构可看作由机架、原动件和若干个基本杆组组成，这就是机构的组成原理。

(13) 平面机构的结构分析是把已有机构分解为原动件、机架和基本杆组，进行结构分析时，应从远离原动件处着手，每次都先试拆Ⅱ级杆组，没有Ⅱ级杆组时才拆Ⅲ级杆组，同时每拆下一个基本杆组后剩下的运动链必须仍为机构且自由度与原机构相同。

五、典型例题分析

本章的主要题型有机构运动简图的测绘、平面机构自由度的计算和机构级别的判定。

(一) 机构运动简图测绘

绘制机构运动简图时，不管机构多么复杂，搞清机构运动传递的路线、相接触构件间构成运动副的类型以及运动副的位置最为关键。机构运动简图测绘具体步骤如下：

(1) 确定原动部分和工作部分（一般位于传动线路末端），弄清运动传递路线；

(2) 确定构件数目及联接各构件的运动副数目和运动副类型；

(3) 测量各运动副之间的尺寸, 选择投影面 (运动平面);

(4) 选择简图比例尺 $\mu_l = \text{实际尺寸 (m)} / \text{图上长度 (mm)}$, 按比例绘制运动简图。

例 1-1 图 1-15 (a) 为冲床刀架机构, 试绘制该机构的机构运动简图。

[分析]

(1) 运动路线: 当偏心轮 1 绕固定中心 A 转动时, 构件 2 绕活动中心 C 摆动, 同时带动刀架 3 上下移动。B 点为偏心轮的几何中心, 构件 4 为机架。

(2) 机构中有构件 1、2 和 3 共三个活动构件, 构件 4 为机架。构件 1 和机架 4 在 A 处构成转动副, 构件 1 和构件 2 之间的相对运动为转动, 转动中心为 B, 因此构件 1 和构件 2 在 B 处构成了转动副; 构件 2 绕构件 3 上的 C 点转动, 因此在此处构件 2 与构件 3 形成转动副, 构件 2 的运动使构件 3 上下移动, 与构件 4 构成移动副。

解: 测量机构的几何尺寸, 再选定一适当比例尺和视图平面, 一次给出各转动副 A、B 和 C 的位置和移动副的导路方向, 就可以画出如图 1-15 (b) 所示的机构运动简图。

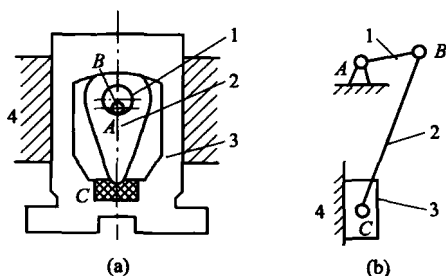


图 1-15 冲床刀架机构

1—偏心轮 2—移动构件 3—刀架 4—机架

[评注] 此类题的关键是正确判断各构件的相对运动关系, 从而确定各运动副的类型。

例 1-2 绘制图 1-16 (a) 所示冲床机构的运动简图。

[分析]

(1) 该冲床的工作原理是电机带动偏心轮 2 做顺时针转动, 通过构件 3、4、5 带动冲头 6 做上下往复移动, 从而完成冲压工艺动作。

(2) 该机构由机架 1、主动件 2、从动件 3、4、5、6 组成, 共六个构件。其中构件 1、2, 构件 2、3, 构件 3、4, 构件 1、4, 构件 3、5, 构件 5、6 均构成转动副; 仅构件 1、6 构成移动副。

解: 测量机构的几何尺寸, l_{O_1A} 、 l_{AB} 、 l_{O_2B} 、 l_{BC} 、 l_{CD} , a , b , 选取长度比例尺

并将尺寸换算成图中尺寸, 选定构件 2 的某一位置 (如 φ_2) 作为绘制简图的位置, 从主动件 2 开始依次画出整个冲床机构的机构运动简图, 如图 1-16 (b) 所示。

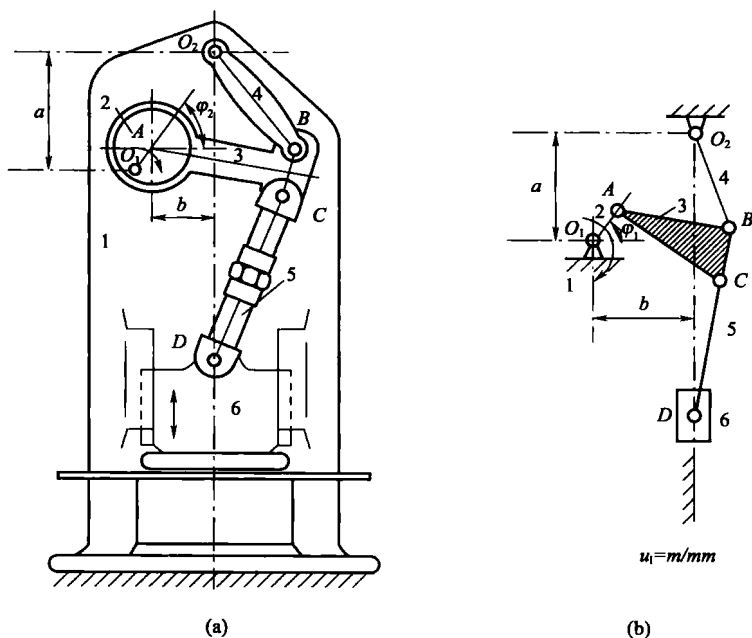


图 1-16 冲床机构

[评注] 该题各构件的运动关系比较容易确定, 注意的是各运动副位置的确定。

(二) 平面机构自由度计算

平面机构自由度计算公式不难, 关键是在应用公式时要注意复合铰链、局部自由度和虚约束的处理。平面机构自由度计算的具体步骤如下:

(1) 判断机构中是否存在局部自由度和虚约束, 如果有, 去掉局部自由度和虚约束后再计算;

(2) 正确数一数机构的构件数目, 以及机构中的低副数和高副数, 对于出现的转动副, 特别要注意是否存在复合铰链;

(3) 按公式 $F = 3n - 2P_l - P_h$ 计算。

复合铰链和局部自由度不难判断, 关键是虚约束的判定。机构中出现虚约束的场合都是有条件的, 如果观察到机构的结构是对称的或是有特殊的几何关系, 这时就要分析和判断机构中是否存在虚约束。

例 1-3 计算图 1-17 所示机构的自由度, 如存在复合铰链、局部自由度和虚约束, 请指出。

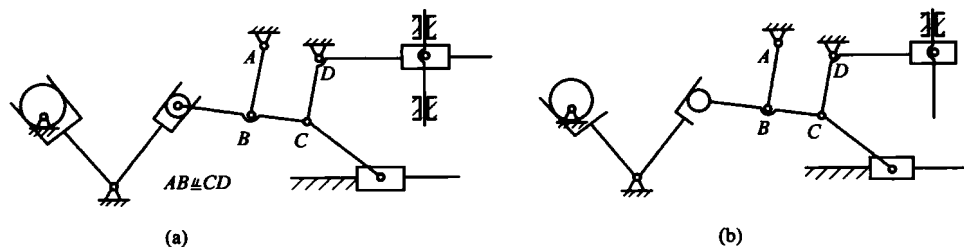


图 1-17

[分析] 计算自由度前, 正确判断机构中的局部自由度、虚约束和复合铰链很重要, 消除局部自由度和虚约束, 再确定机构构件数、高副数和低副数。

局部自由度一处: 滚子转动副。

虚约束三处: 偏心凸轮有两处高副接触, 只计入一处; 滚子有两处高副接触, 只计入一处; 垂直移动杆导轨处有两处移动副, 只计入一处。

复合铰链一处: C 处为复合铰链。

解: 去除局部自由度和虚约束, 见图 1-17 (b) 所示, 按此图进行自由度计算:

$$n = 9, P_l = 12, P_h = 2$$

$$F = 3 \times 9 - 2 \times 12 - 1 \times 2 = 1$$

[评注] 解题的关键是正确判别出复合铰链、局部自由度和虚约束。

例 1-4 计算图 1-18 机构所示的自由度, 如存在复合铰链、局部自由度和虚约束请指出, 并判断机构是否有确定运动。

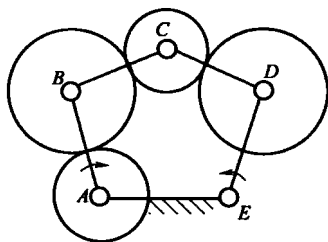


图 1-18

[分析] 此机构为齿轮连杆组合机构, 不存在局部自由度和虚约束, A 、 B 、 C 处均为两杆与一齿轮即三构件在同一处形成转动副, 因此为复合铰链。注意 D 处的齿轮和杆 DE 为同一构件, 因此, D 处不是复合铰链。

$$\begin{aligned} n &= 7, P_l = 8, P_h = 3 \\ \text{解: } F &= 3 \times 7 - 2 \times 8 - 1 \times 3 = 2 \end{aligned}$$