



"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材配套参考书

机械原理学习指导 与习题解答

哈尔滨工业大学 编

陈 明 刘福利 于红英 主编

高等教育出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套参考书

机械原理学习指导 与习题解答

Jixie Yuanli Xuexi Zhidao yu Xiti Jieda

哈尔滨工业大学 编
陈 明 刘福利 于红英 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是根据《机械原理课程教学基本要求》编写的。本书可与邓宗全等主编的《机械原理》(第三版)配套使用,体系与主教材一致,概括了机械原理课程的重点、难点,在此基础上对主教材每一章的课后作业题进行了详细求解。通过对解题过程的详细讲述,使读者更准确、深入地理解和灵活地运用机械原理课程的基本原理与基本方法。

本书中连杆机构分析、设计及凸轮机构设计采用了解析法。

本书可作为高等学校机械类各专业学习机械原理课程的辅助教材,也可供相关专业的师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理学习指导与习题解答/陈明,刘福利,于红英主编;哈尔滨工业大学编.——北京:高等教育出版社,2016.4

ISBN 978-7-04-044924-2

I. ①机… II. ①陈… ②刘… ③于… ④哈… 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(2016)第035123号

策划编辑 宋 晓
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 宋 晓
责任校对 高 歌

封面设计 王 鹏
责任印制 尤 静

版式设计 杜微言

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 17.25
字 数 320千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2016年4月第1版
印 次 2016年4月第1次印刷
定 价 25.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 44924-00

前 言

本书可与哈尔滨工业大学邓宗全、于红英、王知行主编的“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《机械原理》(第三版)配套使用,体系及书中习题与主教材完全一致,以便读者更好地掌握机械原理课程的内容。

机械原理是高等学校机械工程类各本科专业的主干课程,是一门研究机械的运动学和动力学的基本理论课程,其中一些基本原理、基本方法往往较难掌握。为了帮助读者更快更好地掌握机械原理课程的基本原理与基本方法,本书概括了机械原理课程每一章的重点、难点,在此基础上,对主教材每一章的作业题进行了详细求解。通过对解题过程的详细讲述,使读者能更准确、深入地理解和灵活地运用机械原理课程的基本原理与基本方法。

考虑到应用计算机技术对机构进行分析和设计是机构学发展的方向,本书中连杆机构的运动分析和不考虑摩擦时力分析的习题均采用“基本杆组法”(解析法的一种)求解,连杆机构设计、凸轮机构设计则采用了解析法。连杆机构的解析法运动分析和力分析以及连杆机构、凸轮机构的解析法设计,为应用计算机对机构进行运动、力分析和设计提供了极大方便。

本书由哈尔滨工业大学陈明、刘福利、于红英主编,主要分工如下:陈明(第一、二、四章),陈明、于红英(第三章),于红英(第五、六、七章),刘福利(第八、九、十、十一章)。

哈尔滨理工大学尤波教授精心审阅了本书,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于我们的水平所限,书中难免存在不妥之处,诚望广大读者批评指正。

编 者

2015 年 10 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 基本要求	1
1.2 重点及难点解析	1
第二章 机构的结构分析	2
2.1 基本要求	2
2.2 重点及难点解析	2
2.3 典型例题分析及解题技巧	5
2.4 习题解答	6
第三章 平面机构的运动分析	17
3.1 基本要求	17
3.2 重点及难点解析	17
3.3 典型例题分析及解题技巧	18
3.4 习题解答	21
第四章 平面机构的力分析和机械效率	68
4.1 基本要求	68
4.2 重点及难点解析	68
4.3 典型例题分析及解题技巧	70
4.4 习题解答	73
第五章 平面连杆机构及其设计	112
5.1 基本要求	112
5.2 重点及难点解析	112
5.3 典型例题分析及解题技巧	114
5.4 习题解答	116

第六章 凸轮机构及其设计	139
6.1 基本要求	139
6.2 重点及难点解析	139
6.3 典型例题分析及解题技巧	141
6.4 习题解答	145
第七章 齿轮机构及其设计	157
7.1 基本要求	157
7.2 重点及难点解析	157
7.3 典型例题分析及解题技巧	160
7.4 习题解答	164
第八章 轮系及其设计	189
8.1 基本要求	189
8.2 重点及难点解析	189
8.3 典型例题分析及解题技巧	192
8.4 习题解答	195
第九章 其他常用机构	210
9.1 基本要求	210
9.2 重点及难点解析	210
9.3 典型例题分析及解题技巧	213
9.4 习题解答	215
第十章 机械的运转及其速度波动的调节	222
10.1 基本要求	222
10.2 重点及难点解析	222
10.3 典型例题分析及解题技巧	224
10.4 习题解答	229
第十一章 机械的平衡	242
11.1 基本要求	242
11.2 重点及难点解析	242
11.3 典型例题分析及解题技巧	243
11.4 习题解答	249

1.1 基 本 要 求

本章主要掌握课程的研究对象和内容,机器、机构与机械的概念。

1.2 重点及难点解析

本章重点及难点是掌握并区分机器、机构与机械的概念及机器的组成部分。

1. 机械

机械是机器与机构的总称。

2. 机器

机器是一种人为实物组合的具有确定机械运动的装置,它用来完成有用功、转换能量或处理信息,以代替或减轻人类的劳动与拓展劳动能力。一台完整的机器具有四个组成部分,即原动机、传动机构、执行机构和控制系统。

3. 机构

机构是一个具有相对机械运动的构件系统,或称它是用来传递与变换运动和动力的可动装置。

第二章 机构的结构分析

2.1 基本要求

1. 明确构件、运动副和运动链等基本概念,掌握运动副的常用类型和特点及机构运动简图的绘制方法;
2. 掌握平面机构自由度的计算方法,正确识别出机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束,并做出正确处理;
3. 掌握机构的组成原理和用基本杆组法进行机构的结构分析;
4. 了解平面机构的高副低代和结构综合。

2.2 重点及难点解析

2.2.1 本章重点

1. 机构组成的基本概念及机构具有确定运动的条件

(1) 构件

构件是机构运动的单元体,是组成机构的基本要素,是研究机构运动时所独有的名词。构件可以是一个零件,也可以是由若干个零件固连在一起的一个独立运动的整体。

(2) 运动副

运动副是两构件直接接触而又能产生一定相对运动的可动连接,是组成机构的又一基本要素;通常把两构件参与接触而构成运动副的部分称为运动副元素。运动副可按其接触形式分为高副(即点或线接触的运动副)和低副(面接触的运动副)。又可按所能产生相对运动的形式分为转动副、移动副、螺旋副及球面副等。由于两构件构成运动副之后,它们之间能产生何种相对运动决定于该运动副所引入约束情况,所以运动副常根据其所引入约束的数目分类为 I 级副、II 级副、III 级副、IV 级副、V 级副。

(3) 运动链

运动链是两个或两个以上构件通过运动副连接而构成的相对可动的系统,

如果运动链中构件构成首末封闭的系统,则称为闭式链,否则称为开式链。

(4) 机构

如果将运动链中的一个构件固定作为参考系,则这种运动链就称为机构。机构从其功能来理解是一种用来传递运动和力的可动装置。从机器的特征来看,机构是具有相对运动规律的构件组合。而从机构组成来看,机构是具有固定构件的运动链。机构中的固定构件称为机架,按给定的已知运动规律独立运动的构件称为主动件,而其余活动构件称为从动件。从动件的运动规律决定于主动件的运动规律和机构的结构。

(5) 机构的自由度

机构的自由度是机构具有确定位置时所必须给定的独立运动参数数目。在机构中引入独立运动参数的方式,通常是使其主动件按给定的某一运动规律运动,所以可以认为机构的自由度也就是机构应当具有的主动件数目。机构的自由度 F 、机构主动件的数目和机构的运动有着以下密切的关系:

- 1) 若机构自由度 $F \leq 0$, 则机构不能动;
- 2) 若 $F > 0$ 且与主动件数相等, 则机构各构件间的相对运动是确定的, 因此机构具有确定运动的条件是机构的主动件数等于机构的自由度;
- 3) 若 $F > 0$, 而主动件数 $< F$, 则构件间的运动是不确定的;
- 4) 若 $F > 0$, 而主动件数 $> F$, 则构件间不能运动或产生破坏。

2. 机构运动简图的绘制

为了便于研究机构的运动,可以撇开构件、运动副的外形和具体构造,而只用简单的线条和符号代表构件和运动副,并按比例定出各运动副位置,表示机构的组成和传动情况,这样绘制出能够准确表达机构运动特性的简明图形称为机构运动简图。机构运动简图与原机构具有完全相同的运动特性,可以根据运动简图对机构进行运动分析和动力分析。有时,只是为了表明机构的运动状态或各构件的相互关系,也可以不按比例来绘制运动简图,通常把这样的简图称为机构示意图。

绘制机构运动简图时应注意的问题:

- 1) 必须搞清楚机构的实际结构和运动情况。首先确定机构的主动件和执行件,两者之间为传动部分,由此确定出组成机构的所有构件,然后确定构件间运动副的类型。

- 2) 恰当地选择投影面。一般选择与多数构件的运动平面相平行的面为投影面,必要时也可以就机械的不同部分选择两个或两个以上的投影面,然后展开到同一平面上。

- 3) 选择适当的比例尺。根据机构的运动尺寸定出各运动副之间的相对位

置,然后用规定的符号画出各类运动副,并将同一构件上的运动副符号用简单线条连接起来,这样便可绘制出机构的运动简图。总之,绘制机构运动简图要以正确、简单、清晰为原则。

3. 平面机构自由度的计算

平面机构自由度的计算公式:

$$F = 3n - 2P_L - P_H$$

式中: n 为机构中活动构件数目; P_L 为机构中低副的数目; P_H 为机构中高副的数目。

在计算机构自由度时,应特别注意处理好以下三种情况。

(1) 复合铰链

由两个以上构件在同一处构成的重合转动副称为复合铰链,究其原因就是其运动简图“简”的结果。由 m 个构件汇集而成的复合铰链应当包含 $m-1$ 个转动副。

(2) 局部自由度

在一些机构中某些构件所产生的局部运动不影响整个机构运动,由此带来的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时,局部自由度应当舍弃不计,通常是将产生局部自由度的构件与其相连的构件视为焊成一体,然后进行计算。对于平面机构来讲,可以认为只有滚子作为活动构件这种情况下存在局部自由度。

(3) 虚约束

在机构中,有些运动副的约束所起的限制作用可能是其他运动副所起的限制作用的重复,这种不起独立限制作用的约束称为虚约束。计算机构自由度时,应先将产生虚约束的构件和运动副去掉,然后再进行计算。任何一个虚约束都是有前提条件的,没有前提条件的虚约束是不存在的;这些前提条件往往都是一些结构尺寸或加工精度等方面的要求,有时是以文字说明形式给出的,有时是隐含在机构运动简图中的,因此当题目中出现额外的条件时就要格外注意是否存在虚约束。

2.2.2 难点解析

本章难点是机构自由度计算中有关虚约束的识别和处理问题。

常见的虚约束有以下几种情况:

1) 当两构件组成多个移动副,且其导路互相平行或重合时,则只有一个移动副起约束作用,其余都是虚约束。

2) 当两构件构成多个转动副,且轴线互相重合时,则只有一个转动副起作用,其余转动副都是虚约束。

以上两种情况可以总结成一句话,就是两个构件只能组成一个运动副,多余的运动副都是虚约束。

3) 如果机构中两活动构件上某两点的距离始终保持不变,此时若用具有两个转动副的附加构件来连接这两个点,则将会引入一个虚约束。必须注意,为使两动点间的距离始终保持不变,除要求它们具有相同的轨迹之外,还必须有相同的运动规律。

4) 机构中对运动起重复限制作用的对称部分也往往会引入虚约束。

2.3 典型例题分析及解题技巧

例 2-1 如图 2-1a 所示,已知: $DE = FG = HI$, 且相互平行; $DF = EG$, 且相互平行; $DH = EI$, 且相互平行。计算此机构的自由度 (若存在局部自由度、复合铰链、虚约束请指出)。

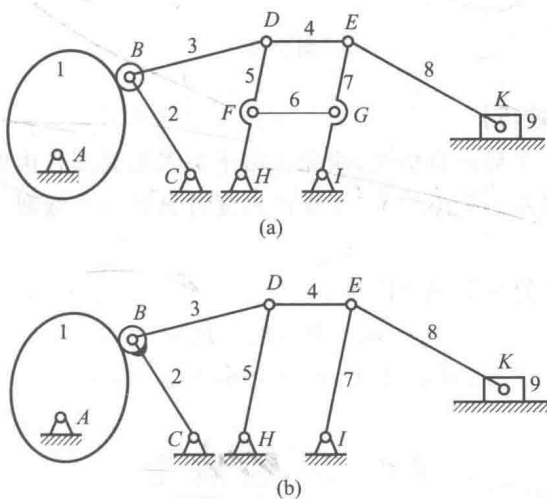


图 2-1

【解题思路及技巧】

这是同时具有复合铰链、局部自由度和虚约束的典型例题。计算自由度时要注意 D 、 E 为复合铰链; 滚子绕自身几何中心 B 的转动自由度为局部自由度; 由于 $DFHIGE$ 的特殊几何关系, 构件 FG 的存在只是为了改善平行四边形 $DHIE$ 的受力状况等目的, 对整个机构的运动不起约束作用, 故 FG 杆及其两端的转动副所引入的约束为虚约束。在计算机构自由度时, 除去 FG 杆及其带入的约束、除去滚子引入的局部自由度并将其与杆 2 固连, 如图 2-1b 所示。

【解题过程】

根据图 2-1b 计算机构的自由度:

$$n=8, \quad P_L=11, \quad P_H=1$$

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 8-2 \times 11-1=1$$

例 2-2 计算图 2-2 所示机构的自由度 (若存在局部自由度、复合铰链、虚约束请指出)。

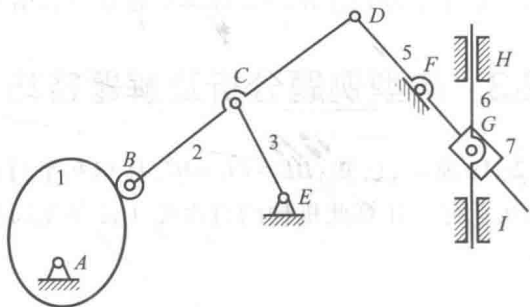


图 2-2

【解题思路及技巧】

滚子 B 带来一个局部自由度,应除去滚子引入的局部自由度,即将其与构件 2 固连;H、I 之一引入一个虚约束,计算自由度时只算一个低副。

【解题过程】

根据图 2-2 计算机构的自由度:

$$n=6, \quad P_L=8, \quad P_H=1$$

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 6-2 \times 8-1=1$$

2.4 习题解答

习题 2-1 解释下列概念:

运动副;机构自由度;机构运动简图;机构结构分析;高副低代。

【解题思路及技巧】

明确基本概念。

【解题过程】

运动副——两构件之间直接接触而又能产生一定相对运动的可动连接。

机构自由度——机构具有确定运动时所必须给定的独立运动参数的数目。

机构运动简图——用简单的线条和规定的符号代表构件和运动副,并按比

例绘制出能够准确表达机构运动特性的简明图形。

机构结构分析——将机构分解为主动件、机架和若干基本杆组,进而了解机构的组成和级别。

高副低代——为使平面低副机构的结构分析和运动分析方法能适用于高副机构,将平面机构中的高副用低副代替。

习题 2-2 验算图 2-3 所示机构能否运动,如果能运动,看运动是否具有确定性,并给出具有确定运动的修改办法。

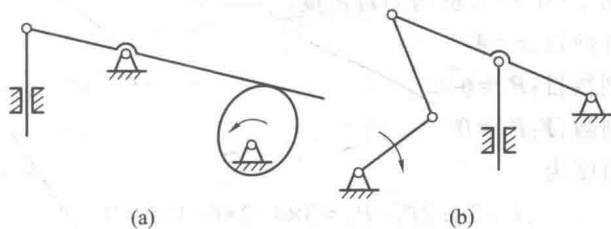


图 2-3

【解题思路及技巧】

- (1) 计算自由度进而判断能否运动;
- (2) 修改方法通常是增加低副和活动构件或用高副代替低副;
- (3) 方案修改时要注意主动件和执行构件的运动类型通常不能改变。

【解题过程】

- (1) 计算图 2-3a 所示机构的自由度。

机构的构件数目: $n=3$

机构的低副数目: $P_L=4$

机构的高副数目: $P_H=1$

机构的自由度为

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

该机构不能运动,修改后的机构运动简图如图 2-4a 所示。不可以采用图 2-4b 所示的修改方案。

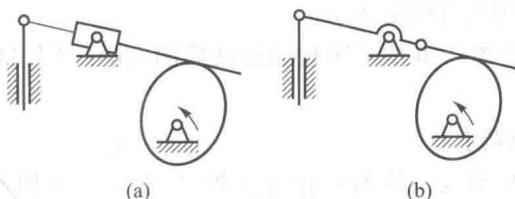


图 2-4

修改后图 2-4a 所示机构自由度的计算。

机构的构件数目: $n=4$

机构的低副数目: $P_L=5$

机构的高副数目: $P_H=1$

机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 4-2\times 5-1\times 1=1$$

与主动件数相同具有确定运动。

(2) 计算图 2-3b 所示机构的自由度。

机构的构件数目: $n=4$

机构的低副数目: $P_L=6$

机构的高副数目: $P_H=0$

机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 4-2\times 6-1\times 0=0$$

该机构不能运动, 修改后的机构运动简图如图 2-5a 所示。不可以采用图 2-5b 所示的修改方案。

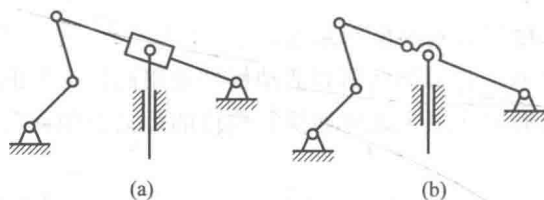


图 2-5

修改后图 2-5a 所示机构自由度的计算。

机构的构件数目: $n=5$

机构的低副数目: $P_L=7$

机构的高副数目: $P_H=0$

机构的自由度为

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

与主动件数相同具有确定运动。

习题 2-3 绘出图 2-6 所示机构的运动简图, 并计算其自由度 (其中构件 1 均为机架)。

【解题思路及技巧】

(1) 首先确定出组成机构的所有构件数目, 然后确定构件间运动副的类型和数目;

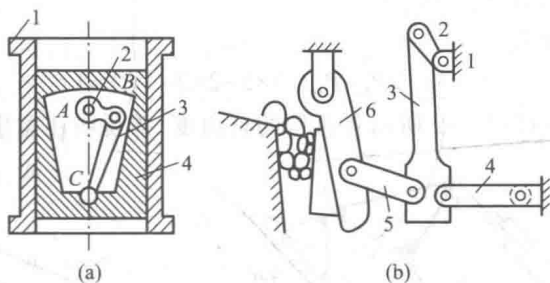


图 2-6

(2) 选择构件的运动平面为投影面,选择适当的比例尺,然后用规定的符号画出各类运动副,并将同一构件上的运动副符号用简单线条连接起来。

【解题过程】

(1) 图 2-6a 所示机构运动简图如图 2-7 所示,计算图 2-7 所示机构的自由度。

机构的构件数目: $n=3$

机构的低副数目: $P_L=4$

机构的高副数目: $P_H=0$

机构的自由度为

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

(2) 图 2-6b 所示机构运动简图如图 2-8 所示,计算图 2-8 所示机构的自由度。

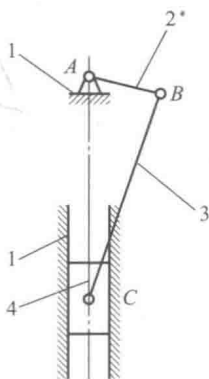


图 2-7

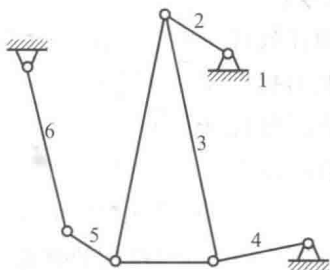


图 2-8

机构的构件数目: $n=5$

机构的低副数目: $P_L=7$

机构的高副数目: $P_H = 0$

机构的自由度为

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

习题 2-4 计算图 2-9 所示各机构的自由度, 并说明注意事项。

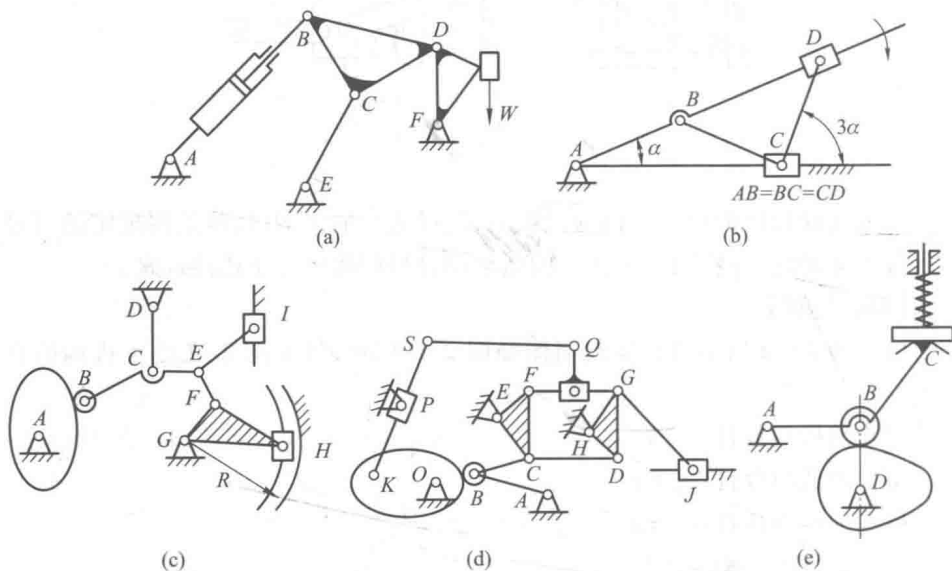


图 2-9

(1) 计算图 2-9a 所示机构的自由度。

【解题思路及技巧】

BCD 为刚性结构, 是一个构件。

【解题过程】

机构的构件数目: $n = 5$

机构的低副数目: $P_L = 7$

机构的高副数目: $P_H = 0$

机构的自由度为

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

(2) 计算图 2-9b 所示机构的自由度。

【解题思路及技巧】

1) C 处为复合铰链;

2) $AB = BC = CD$ 并没有引入虚约束, 只是保证杆 CD 与机架的夹角为 3α 。

【解题过程】

机构的构件数目: $n=5$

机构的低副数目: $P_L=7$

机构的高副数目: $P_H=0$

机构的自由度为

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

(3) 计算图 2-9c 所示机构的自由度。

【解题思路及技巧】

1) B 处的滚子存在一个局部自由度;

2) E 处为复合铰链;

3) 滑块 H 引入虚约束。

【解题过程】

机构的构件数目: $n=7$

机构的低副数目: $P_L=9$

机构的高副数目: $P_H=1$

机构的自由度为

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

(4) 计算图 2-9d 所示机构的自由度。

【解题思路及技巧】

1) B 处的滚子存在一个局部自由度,把滚子与杆 AB 固连,则 B 处只有 1 个转动副;

2) CEF 和 DHG 是刚性结构;

3) G 处为复合铰链;

4) 构件 CD 引入虚约束。

【解题过程】

机构的构件数目: $n=12$

机构的低副数目: $P_L=17$

机构的高副数目: $P_H=1$

机构的自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3\times 12-2\times 17-1\times 1=1$$

(5) 计算图 2-9e 所示机构的自由度。

【解题思路及技巧】

1) B 处的滚子存在一个局部自由度;

2) 弹簧起封闭作用,不作为构件处理。