

高校经典教材同步辅导丛书

配套高教版·孙桓、陈作模主编

九章丛书

机械原理

Theory of Machines and Mechanisms

第七版

全程辅导及习题精解

主 编 李兆敏

- 知识点窍
- 逻辑推理
- 习题全解
- 全真考题
- 名师执笔
- 题型归类

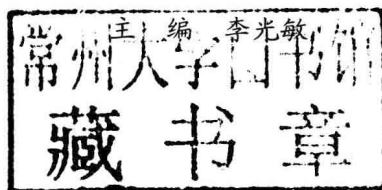


水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新版

高校经典教材同步辅导丛书

机械原理（第七版）全程辅导 及习题精解



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内容提要

本书是为了配合由高等教育出版社出版,由孙桓、陈作模主编的《机械原理》(第七版)教材而编写的辅导用书。

对应教材,本书共有14章,分别介绍绪论、机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、机械的效率和自锁、机械的平衡、机械的运转及其速度波动的调节、平面连杆机构及其设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、齿轮系及其设计、其他常用机构、工业机器人机构及其设计、机械系统的方案设计等内容。每章内容包括学习要求、内容提要、典型例题分析、思考题及练习题详解四部分,旨在帮助读者掌握课程内容的重点、难点,提高分析问题、解决问题的能力。

本书可作为工科高等院校学生学习《机械原理》的辅导教材,也可作为考研人员复习备考的辅导教材,同时可供教师备课命题作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理(第七版)全程辅导及习题精解 / 李光敏
主编. — 北京:中国水利水电出版社,2012.2
(高校经典教材同步辅导丛书)
ISBN 978-7-5084-9420-3

I. ①机… II. ①李… 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(2012)第010662号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:宋俊娥 封面设计:李 佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书
作 者	机械原理(第七版)全程辅导及习题精解
出版发行	主 编 李光敏 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	航远印刷有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 18.5印张 491千字
版 次	2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷
印 数	0001—7000册
定 价	19.80

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

孙桓、陈作模主编的《机械原理》(第七版)以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点成为这门课程的经典教材,被全国许多院校采用。

为了帮助读者更好地学习这门课程、掌握更多的知识,我们根据多年的教学经验编写了这本与教材配套的《机械原理全程辅导及习题精解》(第七版)。本书旨在使广大读者理解基本概念、掌握基本知识、学会基本的解题方法与解题技巧进而提高应试能力。

本书作为辅助性教材具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性。考虑到《机械原理》这门课程的特点,我们在内容上作了以下安排:

1. **学习要求。**根据教学大纲要求总结学习的重点及需要掌握的知识点。
2. **内容提要。**对每章的知识点做了简要概括,梳理了各知识点之间的脉络联系,突出各章的主要定理及重要公式,使读者在各章学习过程中目标明确、有的放矢。
3. **典型例题分析。**该部分选取了一些具有启发性或综合性较强的经典例题,对所给例题先进行分析,再给出详细解答,意在抛砖引玉。
4. **思考题及练习题详解。**教材中的课后习题丰富、层次多样,许多基础性问题从多个角度帮助学生理解基本概念和基本理论,促其掌握基本解题方法。我们对教材的思考题及练习题给了详细解答。

由于时间较仓促,且编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请各位同行和广大读者批评指正。

编者

2012年2月

目 录

第一章 绪 论	1
内容提要	1
第二章 机构的结构分析	2
内容提要	2
典型例题分析	5
思考题及练习题详解	11
第三章 平面机构的运动分析	27
内容提要	27
典型例题分析	29
思考题及练习题详解	41
第四章 平面机构的力分析	71
内容提要	71
典型例题分析	73
思考题及练习题详解	81
第五章 机械的效率和自锁	98
内容提要	98
典型例题分析	99
思考题及练习题详解	106
第六章 机械的平衡	114
内容提要	114
典型例题分析	116
思考题及练习题详解	125
第七章 机械的运转及其速度波动的调节	137
内容提要	137
典型例题分析	139
思考题及练习题详解	148

第八章 平面连杆机构及其设计	157
内容提要	157
典型例题分析	161
思考题及练习题详解	169
第九章 凸轮机构及其设计	190
内容提要	190
典型例题分析	193
思考题及练习题详解	199
第十章 齿轮机构及其设计	207
内容提要	207
典型例题分析	211
思考题及练习题详解	219
第十一章 齿轮系及其设计	240
内容提要	240
典型例题分析	242
思考题及练习题详解	246
第十二章 其他常用机构	260
内容提要	260
典型例题分析	263
思考题及练习题详解	265
第十三章 工业机器人机构及其设计	275
内容提要	275
思考题及练习题详解	277
第十四章 机械系统的方案设计	286
内容提要	286
典型例题分析	287
思考题及练习题详解	288

第一章

绪论

学习要求

1. 明确本课程研究的对象、内容以及在培养机械类高级技术人才全局中的地位、作用和任务。
2. 对机械原理的新发展有所了解。

内容提要

本章讲授的重点是“本课程研究的对象及内容”。在本章的开始,介绍了机器、机构、机械等名词的概念,介绍了机器和机构的用途及区别,并通过实例说明各种机器的主要部分一般都是由各种机构组成的,目的是为了便于介绍本课程研究的对象及内容。在本章的学习中,应始终把注意力集中在了解本课程研究的对象及内容上。

此外,对本课程的性质和特点也应有所了解,以便采取合适的学习方法把本课程学好。

第二章

机构的结构分析

学习要求

1. 搞清运动副、运动链、约束和自由度等重要概念。
2. 能计算平面机构的自由度并判定其具有确定运动的条件。
3. 对于一般由平面机构及简单空间机构(包括蜗轮蜗杆机构、圆锥齿轮机构、万向联轴节等)所组成的机械系统,能正确地画出其机构运动简图并计算其自由度。
4. 对平面机构组成的基本原理有所了解。

内容提要

1 机构的组成

(1) 构件 构件是机器中每一个独立运动的单元体,是组成机构的基本要素之一,而零件是机器制造的单元体。

① 实际的构件可以是一个独立运动的零件,也可以是若干个零件固连在一起的一个独立运动的整体;

② 构件是机构中的刚性系统,构件中各零件间不能相对运动;

③ 构件的图形在表达上是用最简单的线条或几何图形来表示。

(2) 运动副 运动副是由两构件直接接触而组成的可动的联接,是组成机构的又一基本要素。而把两构件上能够参加接触而构成运动副的表面称为运动副元素。

运动副的基本特征为:

① 机构运动副的两构件具有一定的接触形式;

② 两构件能产生一定形式的相对运动。

运动副的分类:

- ①按其两构件的相对运动情况分为平面运动副和空间运动副；
 - ②按其两构件的接触情况分为低副(面接触)和高副(点接触或线接触)；
 - ③按其两构件所能产生的相对运动分为转动副、移动副、平面滚滑副(高副)及空间运动副的螺旋副、球面副、球销副等；
 - ④还可根据保持运动副两构件上运动副元素互相接触方式分为形封闭运动副和力封闭运动副；
 - ⑤根据运动副引入的约束数目,运动副又可分为I级副、II级副、III级副、IV级副和V级副。
- (3)运动链 构件通过运动副的联接而构成的相对可动系统称为运动链。如组成运动链的各构件构成了首末封闭的系统,则称为闭式运动链或简称为闭链。如组成运动链的构件未构成首末封闭的系统,则称其为开链。
- (4)机构 机构从其功能上来理解是一种用来传递运动和力的可动装置,从机构组成来看,机构是具有固定构件的运动链。
- 机构中固定的构件称为机架,给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件,而其余活动构件称为从动件。

2 机构运动简图

(1)机构运动简图

机构运动简图是用规定的简单线条和符号代表构件和运动副,按比例尺定出各运动副的位置,准确表达机构运动特征的简单图形。

机构运动简图不仅表示了机构的组成和运动情况,而且可用作机构的运动分析和力分析。机构运动简图一定要严格按比例尺绘制,否则只能称为机构示意图。

(2)绘制机构运动简图的步骤及方法

①分析机构的运动及组成

通过观察和分析机械的实际构造和运动情况,先搞清机械的原动部分和执行部分,然后循着运动传递的路线,查明组成机构的构件情况和运动副的类别、数目及相对位置情况。

②选择投影面

选平面机构运动平面或运动平面平行的平面为投影面。

③选取比例尺 μ_l (m/mm)

具体画法是:先根据机构的运动尺寸,确定出各运动副的位置(转动副的中心、移动副的导路方位及高副的接触点等),画上相应的运动副符号;再用简单的线条代表构件,将各运动副连接起来;最后,要标出构件号数字及运动副的代号字母,画出原动件的运动方向箭头。

3 机构具有确定运动的条件

- (1)机构的自由度是机构具有确定运动时所需的独立运动参数的数目。
- (2)为了使机构具有确定的运动,机构的原动件的数目应等于机构的自由度数目。

4 机构自由度的计算

- (1)平面机构自由度的计算公式为

$$F = 3n - (2p_l + p_h)$$

式中, F 为机构自由度; n 为机构中活动构件数; p_l 为机构中的低副数; p_h 为机构中的高副数。

(2) 在利用上式计算机构自由度时, 应特别注意下列三种情况:

1) 正确计算运动副的数目

- ① 两个以上的构件在同一轴线处以转动副相联接, 则构成复合铰链, m 个构件以复合铰链相联接时, 构成转动副的数目为 $(m-1)$ 个。
- ② 两构件在多处配合而构成转动副, 且各转动轴线重合, 计算运动副数目时也只能算作一个转动副。
- ③ 两构件在多处接触而构成移动副, 且移动方向彼此平行或者重合, 计算运动副数目时只能算作一个移动副。
- ④ 如果两构件在多处相接触而构成平面高副, 且各接触点处的公法线彼此重合, 计算运动副数目时也只能算作一个平面高副。
- ⑤ 如果两构件在多处接触而构成平面高副, 但各接触点处的公法线方向并不彼此重合, 计算运动副数目时, 则相当于一个低副。

2) 除去局部自由度

局部自由度是在一些机构中某些构件所产生的不影响整个机构运动的局部运动的自由度。在计算机构自由度时, 可将产生局部运动的构件和与其相联接的构件视为焊接在一起, 以达到除去局部自由度。

3) 除去虚约束

虚约束是机构中实际上不起约束作用的约束。在计算机构自由度时, 可将引入虚约束的运动副或运动链部分划掉不计, 以达到除去机构中的虚约束目的。

(3) 计算机构自由度的另一种方法是在确定了运动副数目 p_l, p_h 及局部自由度数目 F' , 虚约束数目 p' 后, 再按下式计算机构的自由度。

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F'$$

式中: n, p_l, p_h 为未排除局部自由度及虚约束时机构的活动构件数、低副数及高副数; p' 为虚约束数目; F' 为局部自由度数目。

5 平面机构的组成原理

- (1) 机构的折组分析: 将机构分解为机架和原动件及若干个基本杆组(不能再折的自由度为零的杆件组), 然后, 对相同的基本杆组以相同的方法进行运动分析或力分析
- (2) 机构的组成原理: 任何机构都可以看作是由若干个基本杆组依次联接于原动件和机架上而构成的。

6 平面机构的结构分类

根据机构的杆组的条件 $3n - 2p_l - p_h = 0$ 可知, 最简单的杆组是由 2 个构件和 3 个低副组成的, 这种杆组称为 II 级杆组。把 4 个构件和 6 个低副组成的基本杆组称为 III 级杆组。

在同一机构中可包含不同级别的基本杆组, 把最高级别为 II 级的杆组组成的机构称为 II 级机

构;把最高级别为Ⅲ级的杆组组成的机构称为Ⅲ级机构;而把由机架和原动件组成的机构称为Ⅰ级机构。

7 平面机构中的高副低代

- (1) 高副低代是将机构中的高副虚拟地以低副来代替,替代后机构的自由度不变,机构的瞬时速度、瞬时加速度也不变。高副低代只便于对机构进行自由度计算、机构组成分析和机构运动分析,但不能用于机构的力分析。
- (2) 高副低代的方法是:用一个虚拟两副构件将两高副构件在过接触点的曲率中心处连接起来即可。若高副两元素之一为直线时,则因其曲率中心在无穷远处,故所连接这一端的运动副为移动副。

典型例题分析

例 2.1 计算图 2-1 所示油泵的机构运动简图,图中 $l_{AB} = 120\text{mm}$, $l_{AC} = 400\text{mm}$ 。

知识点窍 机构运动简图。

解题过程 第一步 对机构进行分析:图 2-1 所示机构中构件 3 为一带横孔的圆柱体,构件 4 为机架,构件 1 为原动件,构件 2、3 为从动件;且构件 1 分别与构件 4、2 均以转动副相联接,其回转中心分别在 A、B 点;构件 2 与 3 之间也是以圆柱面相接触,但其相对运动为移动,故构件 2 与 3 以移动副相联接,移动迹线为构件 2 的轴心线 BC;构件 3 与 4 之间以大圆柱面相接触,其相对运动为转动,故构件 3 与 4 以转动副联接,其回转中心在 C 点。

第二步 作图:选取比例尺 $\mu_l = 0.02\text{m/mm}$;任取一点画出构件 4、1 间的回转副 A,并标出机架 4;运动简图上 A、C 间的距离应为

$$l_A = l_{AC} / \mu_l = 0.4 / 0.02 = 20\text{mm}$$

根据 l_A 画机构件 4、3 间的回转副 C;运动简图上 A、B 点间的距离为

$$l_1 = l_{AB} / \mu_l = 0.12 / 0.02 = 6\text{mm}$$

据 l_1 画机构件 1、2 间的回转副 B(B 点可在以 A 为圆心,以 6mm 为半径的圆上任意选定);在 C 点处画移动副滑块,移动方向为 BC 向;滑块即为构件 3;连 A、B 为构件 1,由 B 点过滑块 3 画直线即构件 2(如图 2-2)。

说明 (1) 机构运动简图与机构运动示意图的区别在于前者必须严格按照比例尺 μ_l 绘制,而后者不必。

(2) 机构运动简图的比例尺 $\mu_l = \frac{\text{实物尺寸}}{\text{图纸尺寸}} (\text{m/mm})$,而机械制图的比例尺是 $\frac{\text{图纸尺寸}(\text{mm})}{\text{实物尺寸}(\text{mm})}$ 。二者的区别在于:分子、分母不相同;实物尺寸所用单位不同; μ_l 有

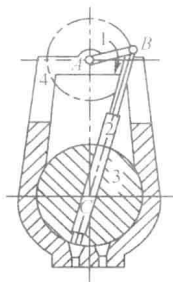


图 2-1

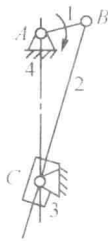


图 2-2

单位(m/mm),而机械制图比例尺无单位。

(3) 机构运动简图比例尺 μ_l 中实物尺寸单位取为 m,其好处是与以后运动分析中速度单位(m/s)、加速度单位(m/s²)对应。

例 2.2 图 2-3 所示为一挖掘机,具有三个液压缸,亦即具有三个原动件。试问该机构是否具有确定运动?

解题过程 取挖掘机车身 1 为机架,此时该机构为多重装载式平面多杆机构,且 $n = 11$, $p_l = 15$ (处为复合铰链), $p_h = 0$, 则

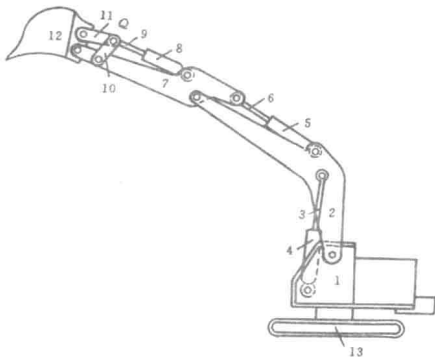


图 2-3

$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 11 - 2 \times 15 - 0 = 3$, 又因挖掘机具有三个原动件,故该机构具有确定的运动。

如果取挖掘机的履带 13 为机架,此时该机构为空间开式运动链机构,其自由度为 4,其中一个自由度为车身 1 的转动,机构运动也是确定的。

例 2.3 图 2-4 所示为一简易冲床的初拟设计方案。设计者的思路是:动力由齿轮 1 输入,使轴 A 连续回转,而固装在轴 A 上的凸轮 2 与杠杆 3 组成的凸轮机构将使冲头 4 上、下运动以达到冲压的目的。试绘出其机构运动简图(设图上 1mm 表示实际尺寸 0.04m,凸轮推程和回程轮廓以及相应的推、回程运动角示意图画出即可),分析其运动是否确定,并提出修改措施(要求用机构运动示意图表示出来)。

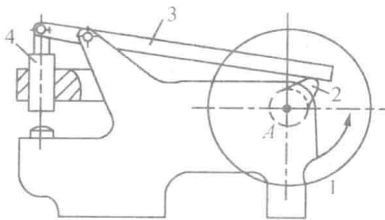


图 2-4

知识点窍 机构运动简图,机构有确定运动的条件。

逻辑推理 机构的自由度等于原动件数则机构有确定运动。

解题过程 机构运动简图见图 2-5(a) 示, 图中 $\mu_l = 0.04\text{m/mm}$ 。

$$\text{自由度 } F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 3 - (2 \times 4 + 1) = 0$$

由于机构的自由度不等于原动件数, 则该简易冲床设计方案的机构不能运动。

修改措施:

- ① 在构件 3、4 之间加一连杆及一个转动副(图 2-5(b) 所示);
- ② 在构件 3、4 之间加一滑块及一个移动副(图 2-5(c) 所示);
- ③ 在构件 3、4 间加一局部自由度滚子及一个平面高副(图 2-5(d) 示)。

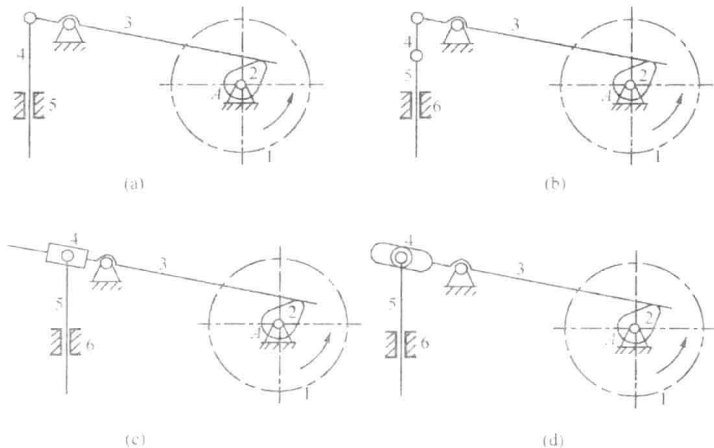


图 2-5

例 2.4 在图 2-6 所示机构中, $AB \parallel EF$, $\parallel CD$, 试计算其自由度。

逻辑推理 由题意知, 此平面机构 $ABCDEF$ 为平行四边形机

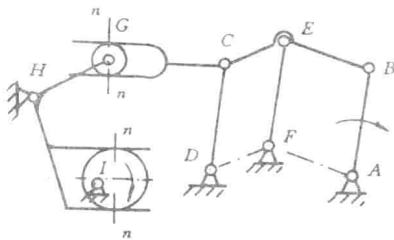
构, 对机构进行分析知构件 E 、 F 及转动副 E 、 F 引入的一个约束为虚约束; G 处的滚子转动为局部自由度; C 处为复合铰链; G 及 I 处均为两构件在两处接触的高副, 因为过两接触线的公法线重合, 故 G 、 I 处各只算一个高副。

解题过程 如果去掉机构中虚约束和局部自由度, 则 $n = 6$,

$$p_l = 7, p_h = 2, \text{得}$$

$$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 6 - 2 \times 7 - 2 = 2$$

图 2-6



例 2.5 试计算图 2-7 所示的齿轮—连杆组合机构的自由度。

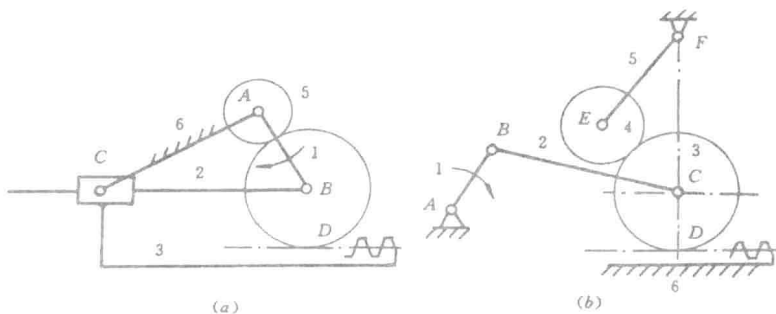


图 2-7

逻辑推理

如果一对齿轮副的两轮中心相对位置被约束,则这对齿轮副仅提供一个约束,即为一个高副。此时两齿轮轮齿为单侧接触,且无论有几对齿接触,因为过各接触点的公法线均重合,故只能算一个高副。如果一对齿轮副的两轮中心相对位置未被约束,则这对齿轮副将提供两个约束,即两个高副或相当于一个转动副。这时两齿轮为无侧隙啮合,即两齿轮轮齿为两侧接触,且过接触点的公法线为相交的情况,故应算作两个高副或为一个转动副。

解题过程

- (1) 由图 2-7(a) 知, $n = 5$, $p_l = 6$ (A, B 处为复合铰链), $p_h = 2$, 则

$$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 2 = 1$$

因该机构具有一个原动件,故机构具有确定运动。

- (2) 由图 2-7(b) 知, $n = 5$, $p_l = 5$

因为是此机构中的两对齿轮副均提供了两个高副,即 $p_h = 4$, 于是有

$$F = 3n - 2p_l - p_h = 3 \times 5 - 2 \times 5 - 4 = 1$$

因该机构具有一个原动件,故机构具有确定运动。

例 2.6 计算图 2-8 所示机构的自由度,并判断机构是否具有确定的相对运动,图中标有箭头的构件为原动件。

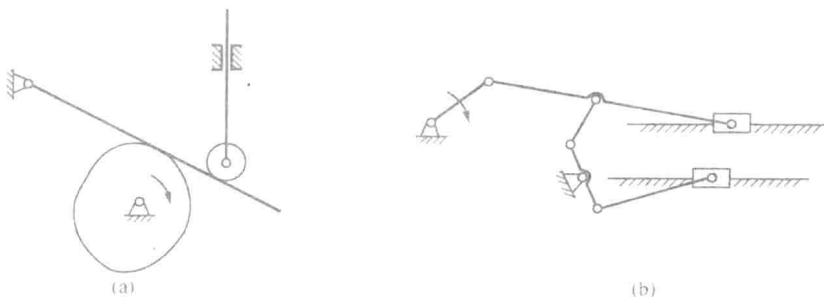


图 2-8

逻辑推理

(a) 图中小圆滚子的自转不影响其他各物件之间的相对运动,故属局部自由度。第一种

算法是把小圆滚子当作与从动推杆焊在一起,作为一个构件,这样活动构件数只有3个了;局部自由度被除去,平面低副也只有3个了。第二种算法是不排除局部自由度,活动构件为4个,平面低副也有4个,没有虚约束,平面高副仍为2个。然后分别代入相应公式中,得出结果相同。

解题过程

$$(a) F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 3 - (2 \times 3 + 2) = 1$$

$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 4 - (2 \times 4 + 2 - 0) - 1 = 1$$

$$(b) F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 7 - (2 \times 10 + 0) = 1$$

$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 7 - (2 \times 10 - 0) - 0 = 1$$

因为该机构的原动件数目为1,所以该机构具有确定的相对运动。

例 2.7 试计算图2-9所示凸轮-连杆组合机构的自由度。

知识点窍

机构的自由度。

逻辑推理

B、E两处的滚子转动均为局部自由度, C、F处虽有两处接触,但都各算一个移动副。

解题过程

B、E两处的滚子转动均为局部自由度,即 $F' = 2$; 而机构中无虚约束, $p' = 0$, 则 $n = 7$, $p_l = 8$, $p_h = 2$, 于是得

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 7 - (2 \times 8 + 2 - 0) - 2 = 1$$

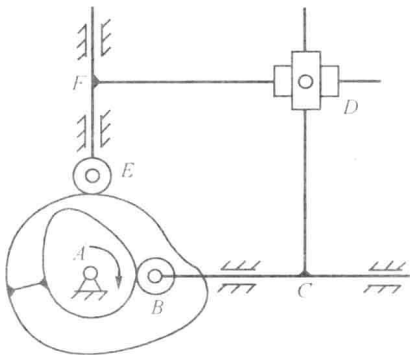
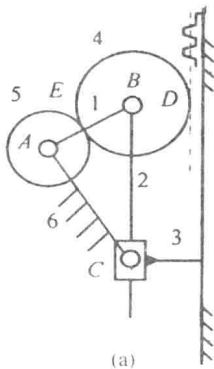


图 2-9

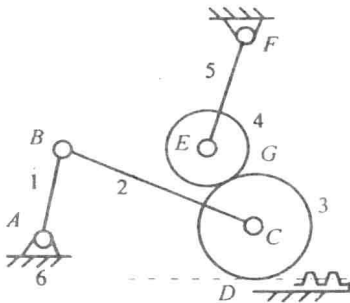
例 2.8 试计算图2-10所示的齿轮连杆组合机构的自由度。

逻辑推理

(1) 在图2-10(a)所示的机构中, 轮4、5的转动中心相对位置被构件1及两个转动副A、B约束, 齿轮4与齿条3被构件2以转动副B和移动副C约束, 所以齿轮4和齿条5, 齿轮4和齿条3所构成的齿轮副E、D各提供一个约束, 即各为一个高副。此时形成高副的两齿轮轮齿为单侧接触, 且无论有几对齿接触, 过各接触点的公法线均重合, 故只能算一个高副。另外在此机构中, A、B、C处为复合铰链。



(a)



(b)

图 2-10

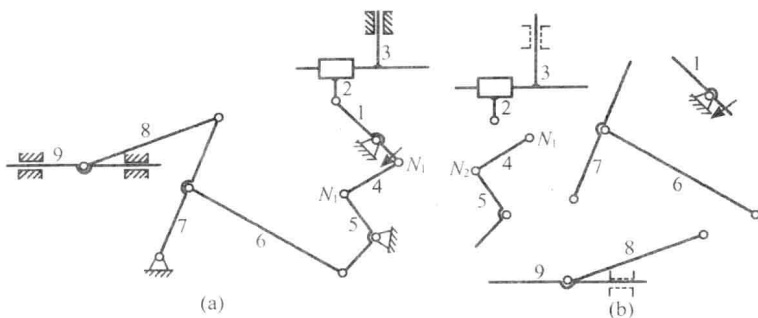


图 2-12

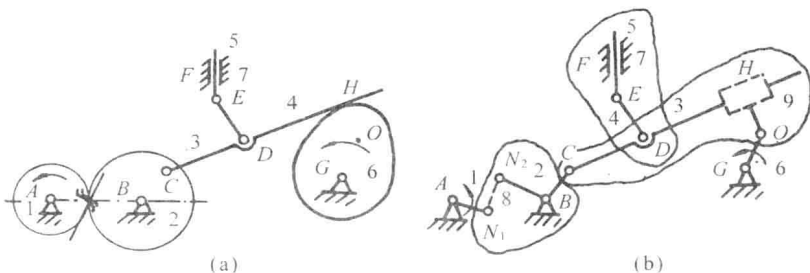


图 2-13

- (2) 高副低代。此机构中含有一个齿轮高副(轮 1 和 2) 和一个凸轮高副(杆 3 和 6) 均可用引入一个活动构件和两个转动副去替代,如图 2-13(b) 所示。
- (3) 确定机构的级别。由图 2-13(b) 可知,该机构是由原动件 1 和 6、机架 9 和三个 II 级杆组(杆 8 与 2,3 与 9 和 4 与 5) 组成的,故该机构为 II 级机构。

思考题及练习题详解

2-1 何谓构件?何谓运动副及运动副元素?运动副是如何进行分类的?

解题过程

(1) 构件: 机器中每一个独立的运动单元体。

(2) 运动副: 由两构件直接接触而组成的可动的连接。

运动副元素: 两构件上能够参加接触而构成运动副的表面。

(3) 运动副有多种分类方法:

根据运动副引入的约束的数目可分为 I 级副、II 级副、III 级副、IV 级副、V 级副;

根据构成运动副的两构件的接触形式可分为高副和低副;

根据构成运动副的两构件之间的相对运动形式可分为转动副或回转副(也称铰链)、移动副、螺旋副、球面副等;也可分为平面运动副和空间运动副。

2-2 机构运动简图有何用处?它能表示出原机构哪些方面的特征?