



21 世纪高等院校经典教材同步辅导
ERSHIYISHIJIGAODENGYUANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBUFUDAO

机械原理

Theory of Machines and Mechanisms (第七版)

全程导学及习题全解

主编 马金盛 成九瑞 主审 郭卫东

 知识归纳 梳理主线重点难点

 习题详解 精确解答教材习题

 提高练习 巩固知识迈向更高



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House



21 世纪高等
ERSHIYISHIJIGAODENGY

TH111/25=3C

2008

同步辅导
TONGBUFUDAO

机械原理

Theory of Machines and Mechanisms (第七版)

全程导学及习题全解

主编 马金盛 成九瑞 主审 郭卫东

知识归纳 梳理主线重点难点

习题详解 精确解答教材习题

提高练习 巩固知识迈向更高

北方工业大学图书馆



C00074594



中国时代经济出版社
China Modern Economic Publishing House

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理 (第七版) 全程导学及习题全解 / 马金盛, 成九瑞主编. —北京: 中国时代经济出版社, 2008.3

(21 世纪高等院校经典教材同步辅导)

ISBN 978-7-80221-522-1

I. 机… II. ①马…②成… III. 机构学-高等学校-教学参考资料 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 197403 号

机械原理
(第七版) 全程导学及习题全解

马金盛
成九瑞
主编

出版者	中国时代经济出版社
地址	北京市西城区车公庄大街乙 5 号 鸿儒大厦 B 座
邮政编码	100044
电话	(010) 68320825 (发行部) (010) 88361317 (邮购)
传真	(010) 68320634
发行	各地新华书店
印刷	北京鑫海达印刷有限公司
开本	787×1092 1/16
次数	2008 年 3 月第 1 版
印次	2008 年 3 月第 1 次印刷
印张	16.875
字数	260 千字
印数	1~5000 册
定价	20.00 元
书号	ISBN 978-7-80221-522-1

版权所有 侵权必究

内容简介

本书是根据高等教育出版社出版的,孙恒、陈作模、葛文杰主编的《机械原理》(第七版)教材编写的教学参考书。全书共十四章,每章分为“本章知识要点归纳与总结”、“典型例题解析”和“思考题与练习题全解”三个部分;分别对每章知识要点做了简要全面的归纳、给出了每章的典型例题和全面详细解答了每章的思考题及习题。旨在加深学生对所学知识的理解和掌握,提高学生的学习能力,锻炼学生的独立思考能力。

本书适合作为高等院校工科机械类专业的教学参考书,也可作为考研辅导用书,同时可供其它相关人员参考。

前言

机械原理是机械类大学生必须学习和掌握的一门重要的基础性技术课程。学习中应注重理论结合实际,从而掌握本课程的基本理论、基本知识和基本技能,进而具有确定机械运动方案的能力和进行分析、设计机构的能力。

高等教育出版社出版,孙恒、陈作模、葛文杰主编的《机械原理》(第七版)是一本在高校广泛使用的教科书,也是一本被许多高校指定为考研入学考试的参考书。《机械原理》(第七版)是普通高等教育“十五”国家级规划教材,较前一版更趋于完善。为了更好地配合《机械原理》(第七版)的使用,特别是给学生的学习与考研提供帮助,我们编写了本书。为了培养学生扎实的理论基础、建立合理的解题思路。在各章的开始部分给出了知识要点,在第二部分给出了具有代表性的典型例题,在第三部分给出了习题的详细解答,使读者能够触类旁通、举一反三地对相关知识有更深入的认识和理解,为今后的学习打下坚实的基础。编者企望本书对读者的学习能力的提高和学习素质的培养有所帮助。

本书共十四章,与《机械原理》(第七版)相对应。每章分为“本章知识要点归纳与总结”、“典型例题解析”和“思考题与练习题全解”三个部分。分别对每章知识要点做了简要全面的归纳、给出了每章的典型例题和全面详细解答了每章的思考题及习题。旨在加深学生对所学知识的理解和掌握,提高学生的学习能力,锻炼学生的独立思考能力。

“本章知识要点归纳与总结”部分对每章的重要知识点做了一个总体的归纳与概括,让读者对每章的要点一目了然。

“典型例题解析”部分结合本章重要知识点给出了相应的例题及其详细解答。

“思考题与练习题全解”部分对本章后的问题与习题都逐题做了详细地解答,使读者能够更加深刻地理解和掌握每章内容。

要学好机械原理,不仅要掌握相关知识点,还很有必要认真地做一些具有代表性的习题,如此才能使学生对相关的基本概念和理论有进一步的认识与把握。本书对解题方法和技巧的运用希望能使读者举一反三、触类旁通,拓宽分析问题的思路,提高解决问题的能力。

本书由马金盛、成九瑞编写;由郭卫东负责全书的审阅。同时得到了员超、战强、毕树生、李秀琴、宋轶民、卢飞、贺孝进、戴军等给予的大力支持和帮助,在此表示由衷的谢意。本书在编写过程中得到中国时代经济出版社的领导和有关编辑的支持和帮助,在此表示衷心的感谢!对《机械原理》(第七版)教材作者孙恒、陈作模、葛文杰等老师们表示衷心的感谢!

由于时间仓促,编者的水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2008年1月

目 录

第一章 绪 论	(1)
本章知识要点归纳与总结	(1)
第二章 机构的结构分析	(2)
本章知识要点归纳与总结	(2)
典型例题解析	(4)
思考题及练习题全解	(10)
第三章 平面机构的运动分析	(23)
本章知识要点归纳与总结	(23)
典型例题解析	(25)
思考题及练习题全解	(33)
第四章 平面机构的力分析	(65)
本章知识要点归纳与总结	(65)
典型例题解析	(67)
思考题及练习题全解	(74)
第五章 机械的效率和自锁	(95)
本章知识要点归纳与总结	(95)
典型例题解析	(96)
思考题及练习题全解	(101)
第六章 机械的平衡	(109)
本章知识要点归纳与总结	(109)
典型例题解析	(111)
思考题及练习题全解	(117)
第七章 机械的运转及其速度波动的调节	(128)
本章知识要点归纳与总结	(128)
典型例题解析	(130)
思考题及练习题全解	(137)

第八章 平面连杆机构及其设计	(145)
本章知识要点归纳与总结	(145)
典型例题解析	(147)
思考题及练习题全解	(155)
第九章 凸轮机构及其设计	(174)
本章知识要点归纳与总结	(174)
典型例题解析	(177)
思考题及练习题全解	(182)
第十章 齿轮机构及其设计	(195)
本章知识要点归纳与总结	(195)
典型例题解析	(201)
思考题及练习题全解	(207)
第十一章 齿轮系及其设计	(223)
本章知识要点归纳与总结	(223)
典型例题解析	(225)
思考题及练习题全解	(228)
第十二章 其他常用机构	(238)
本章知识要点归纳与总结	(238)
典型例题解析	(241)
思考题及练习题全解	(242)
第十三章 工业机器人机构及其设计	(250)
本章知识要点归纳与总结	(250)
思考题及练习题全解	(251)
第十四章 机械系统的方案设计	(260)
本章知识要点归纳与总结	(260)
思考题及练习题全解	(262)
参考文献	(264)

第一章 绪论

本章知识要点归纳与总结

1. 机器(machine)

一种可用来变换或传递能量、物料与信息的机构的组合。

2. 机构(mechanism)

用来传递与变换运动和力的可动的装置。

3. 机械(machinery)

机器和机构的总称。

4. 机械原理(theory of machines and mechanisms)

(1) 研究对象是机械

(2) 研究内容包含以下五个方面

① 机构结构分析的基本知识

包括机构的组成情况、运动情况、组成原理和结构分类以及绘制机构运动简图。

② 机构的运动分析

包括对机构进行运动分析的基本原理和常用方法。

③ 机器动力学

包括各构件的受力情况、力的作功情况、机器运动情况、速度波动调节和不平衡惯性力的平衡问题。

④ 常用机构的分析与设计

包括分析机构的运动情况和工作特性,并探索设计方法。

⑤ 机械系统的方案设计

5. 了解机械工业在世界各国经济中的重要性和本学科的发展现状,体会学习本课程的目的,从而寻找正确的学习方法。

第二章 机构的结构分析

本章知识要点归纳与总结

1. 构件(link)

机器中每一个独立运动的单元体称为一个构件。构件是组成机构的基本要素之一。

2. 运动副(kinematic pair)

由两个构件直接接触而组成的可动的连接称为运动副,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(pairing element)。运动副是组成机构的又一基本要素。

运动副的分类:

(1)按其引入约束的数目分为Ⅰ级副(class I pairs)、Ⅱ级副(class II pairs)、Ⅲ级副(class III pairs)等;

(2)按其两构件的接触情况分为高副(higher pair)和低副(lower pair);

(3)按运动副元素始终保持接触的方式分为形封闭运动副(form-closed pair)和力封闭运动副(force-closed pair);

(4)按其两构件能产生的相对运动分为转动副(revolute pair)、移动副(sliding pair)、螺旋副(helical pair)、球面副(spherical pair)等;

(5)按其两构件之间的相对运动情况分为平面运动副(planar kinematic pair)、空间运动副(spatial pair)。

3. 运动链(kinematic chain)

构件通过运动副的连接而构成的可相对运动的系统称为运动链。

运动链的分类:

(1)按其各构件是否组成首末封闭的系统分为闭式运动链(closed kinematic chain)、开式运动链(open kinematic chain);

(2)按其各构件间的相对运动情况分为平面运动链(planar kinematic chain)、空间运动链(spatial kinematic chain)。

4. 机构

将某一构件加以固定而成为机架(fixed link),各构件间具有确定相对运动的运动链称为机构。

机构中,相对不动的构件称为机架(fixed link);按给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件(driving link);其余活动构件称为从动件(driven link)。

机构分为平面机构和空间机构。

5. 机构运动简图(kinematic diagram of mechanism)

用运动副及常用机构运动简图的代表符号和一般构件的表示方法将机构的运动传递情况表示出来的简化图形称为机构运动简图。

绘制机构运动简图的步骤:

(1) 分析机构的实际构造和运动传递情况

首先定出原动件和执行构件,然后循着运动传递的路线认清机构的构件情况、运动情况以及相对位置。

(2) 选择视图平面

一般选择机构多数构件的运动平面为视图平面。

(3) 选择比例尺

根据机构的运动尺寸,定出各运动副之间的相对位置,然后用运动副的代表符号、常用机构运动简图符号和构件的表示方法将各部分画出,即可得到机构运动简图。

6. 机构具有确定运动的条件

(1) 机构的自由度(degree of freedom of mechanism)是机构具有确定运动时所必须给定的独立运动参数的数目。

(2) 要使机构具有确定的运动,机构的原动件数目应等于机构的自由度的数目。

7. 机构自由度的计算

(1) 平面机构自由度的计算公式

$$F = 3n - (2p_1 + p_h)$$

式中, F 为机构自由度; n 为活动构件数; p_1 为低副数; p_h 为高副数。

(2) 在利用上式计算平面机构自由度时,应注意以下三种情况:

1) 正确计算运动副的数目

① 两个以上的构件同在一处以转动副相连接,就构成了所谓的复合铰链(compound hinges)。若复合铰链由 m 个构件组成,则有 $(m-1)$ 个转动副。

② 若两构件在多处接触而构成转动副,且转动轴线重合;或在多处接触而构成移动副,且移动方向彼此平行;或两构件成为平面高副,且各接触点处的公法线彼此重合,则均只能算作一个运动副。

③ 若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方向彼此不重合,则只能算作一个低副。

2) 除去局部自由度(passive degree of freedom)

在有些机构中,某些构件所产生的不影响其他构件运动的局部运动的自由度称为局部自由度。计算机构的自由度时,应从机构自由度的计算公式中将局部自由度减去。

3) 除虚约束(redundant constraint)

在机构中,对机构的运动只起重复约束作用的约束称为虚约束。计算机构的自由度时,应从机构的约束数中减去虚约束数。

考虑以上三种情况,则机构的自由度为

$$F = 3n - (2p_1 + p_h - p') - F'$$

式中, n 、 p_1 、 p_h 分别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、高副数; p' 为虚约束数; F' 为局部自由度数。

(3)空间机构自由度的计算公式

$$F = 6n - \sum_{i=1}^5 i p_i$$

式中, p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 分别为 I、II、III、IV、V 级副。

8. 平面机构

(1)组成原理:任何机构都可看作是由若干个基本杆组依次连接于原动件和机架上而构成。

(2)结构分类:把由最高级别为 II 级组的基本杆组构成的机构称为 II 级机构;把最高级别为 III 级组的基本杆组构成的机构称为 III 级机构;把只由机架和原动件构成的机构称为 I 级机构。

(3)结构分析

目的是了解机构的组成并确定机构的级别。

方法与步骤:首先应正确计算机构的自由度,并确定原动件;然后,从远离原动件的构件开始拆杆组;最后确定机构的级别。

(4)高副低代

进行高副低代必须满足的两个条件:

1)代替前后机构的自由度完全相同;

2)代替前后机构的瞬时速度和瞬时加速度完全相同。

方法:用一个虚拟构件分别与两高副构件在过接触点的曲率中心处以转动副相连。

9. 机构结构

(1)型综合(type synthesis):为了在设计新机器时对机构的型式有择优的可能,可按给定的机构自由度要求把一定数量的构件和运动副进行排列搭配,组成多种可能的机构类型,这一过程称为机构的型综合。

(2)合理设计:为了改善构件的受力情况,增加机构的刚度、保证机械顺利通过某些特殊位置等,往往增加虚约束。但有虚约束的机构,其相关尺寸的制造精度要求高,从而增大了制造成本。因此,应在不影响机构其他性能的前提下,通过运动副类型的合理选择和配置来尽可能减少虚约束的问题。

典型例题解析

例 2-1 绘制图 2-1(a)所示冲床的机构运动简图。

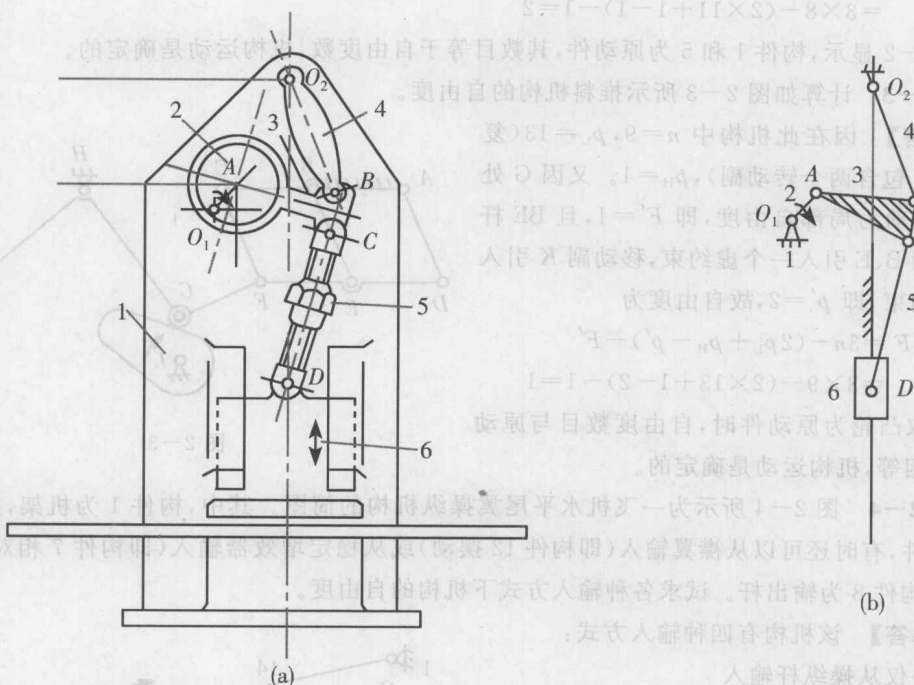


图 2-1 冲床机构

1—机座 2—偏心轮 3—连杆 4—摇杆 5—连杆 6—冲头

【解答】 该机构的动作原理是当偏心轮 2 在电动机带动下作顺时针旋转时,通过构件 3、4、5 带动构件 6(滑块即冲头)作上下往复移动完成冲压工艺动作,机构由机架 1、原动件 2、从动件 3、4、5、6 共 6 个构件组成,属于平面六杆机构。

机构中构件 1、2, 构件 2、3, 构件 3、4, 构件 4、1, 构件 3、5, 构件 5、6 之间的相对运动为转动, 即两构件之间形成转动副, 转动副中心分别位于点 O_1 、 A 、 B 、 O_2 、 C 、 D ; 构件 6、1 之间的相对运动为移动, 即两构件间形成移动副, 移动副导路方向与 O_2D 重合。

选择与各构件运动平面平行的平面作为绘制机构运动简图的视图平面。

选择比例尺 μ_l , 分别量出各构件的运动尺寸, 绘制机构的运动简图, 并标明原动件及其转动方向, 如图 2-1(b) 所示。

例 2-2 计算如图 2-2 所示大筛机构的自由度,并判定其运动是否确定。

【解答】 因在此机构中 $n=8$, $p_1=9$ (复合铰链 C 包含两个转动副), $p_H=1$ 。又因 G 处滚子的转动为局部自由度, 即 $F'=1$, 且 E 、 F 处活塞及活塞杆与气缸组成两平行移动副, 其中有一个是虚约束, 即 $p'=1$, 故自由度为

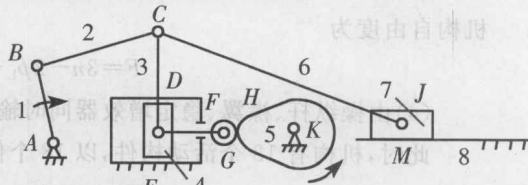


图 2-2

$$F = 3n - (2p_1 + p_2 - P') - F'$$

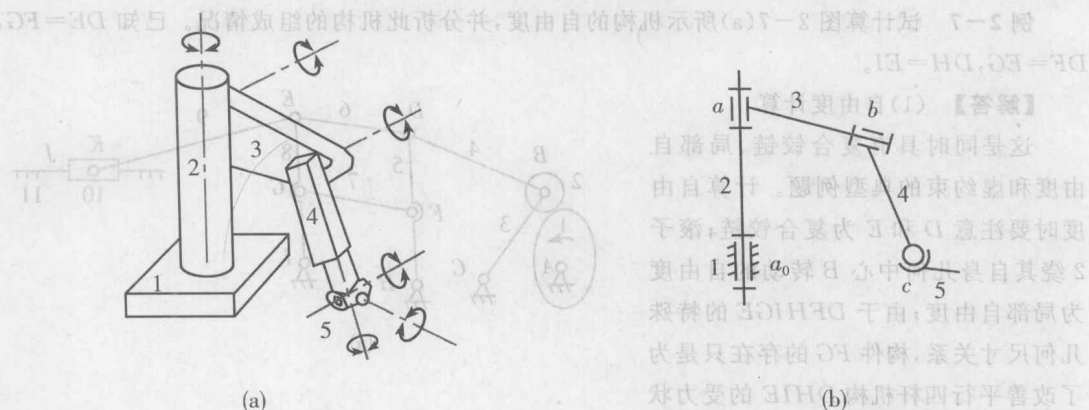


图 2-5

【解答】这是一个空间机构，由机架 1 和构件 2、3、4、5 组成开式运动链。其中构件 1 和 2、2 和 3、3 和 4 之间组成转动副，构件 4 和 5 之间组成球面副，其机构运动简图如图 2-5(b) 所示。用计算机构自由度的一般公式进行计算，可得

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

计算结果表时，此空间运动链必须有 6 个原动件同时驱动，才能产生确定运动，成为机构。

例 2-6 图 2-6(a) 所示为牛头刨的一个机构设计方案简图。设计者的意图是动力由曲柄 1 输入，通过滑块 2 使摆动导杆 3 作往复摆动，并带动滑枕 4 往复移动以达到刨削的目的。试分析此方案有无结构组成原理上的错误(须说明理由)，若有，应如何修改(试提出四种修改方案，可直接在给出图上修改)。

【解答】此方案有组成原理上的错误。因为它的自由度为零，不能运动。

$$F = 3n - (2p_L + p_H) = 3 \times 4 - (2 \times 6 + 0) = 0$$

修改方案如图 2-6(b) 的(1)、(2)、(3)、(4) 所示。

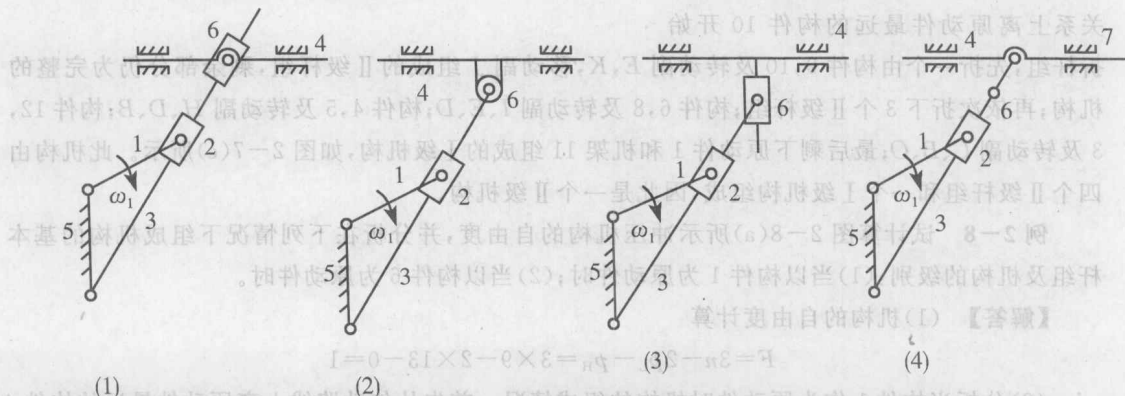


图 2-6(b)

例 2-7 试计算图 2-7(a)所示机构的自由度,并分析此机构的组成情况。已知 $DE=FG$, $DF=EG$, $DH=EI$ 。

【解答】 (1) 自由度计算

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 和 E 为复合铰链; 滚子 2 绕其自身几何中心 B 转动的自由度为局部自由度; 由于 $DFHIGE$ 的特殊几何尺寸关系, 构件 FG 的存在只是为了改善平行四杆机构 $DHIE$ 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。故自由度为

$$F = 3n - (2p_L + p_H - p') - F' \\ = 3 \times 10 - (2 \times 14 + 1 - 1) - 1 = 1$$

若将凸轮与滚子组成的高副以一个虚拟构件 12 和两个转动副作高副低代, 可得图 2-7(b)所示。机构自由度为(将杆 FG 同时去掉)

$$F = 3n - (2p_L + p_H - p') - F' \\ = 3 \times 9 - (2 \times 13 + 0 - 0) - 0 = 1$$

用以上两种方法计算机构自由度所得结果相同, 说明高副低代不会影响机构的自由度。

(2) 分析机构的组成情况

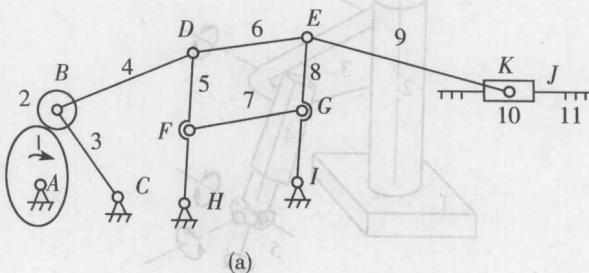
对图 2-7(b)作结构分析, 从传动关系上离原动件最远的构件 10 开始折杆组, 先折一个由构件 9, 10 及转动副 E, K , 移动副 J 组成的 II 级杆组, 剩余部分仍为完整的机构; 再依次折下 3 个 II 级杆组; 构件 6, 8 及转动副 I, E, D ; 构件 4, 5 及转动副 H, D, B ; 构件 12, 3 及转动副 C, B, O ; 最后剩下原动件 1 和机架 11 组成的 I 级机构, 如图 2-7(c)所示。此机构由四个 II 级杆组和一个 I 级机构组成, 因此是一个 II 级机构。

例 2-8 试计算图 2-8(a)所示冲压机构的自由度, 并分析在下列情况下组成机构的基本杆组及机构的级别: (1) 当以构件 1 为原动件时; (2) 当以构件 6 为原动件时。

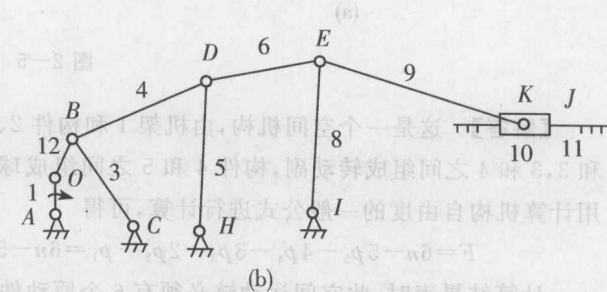
【解答】 (1) 机构的自由度计算

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 9 - 2 \times 13 - 0 = 1$$

(2) 分析当构件 1 作为原动件时机构的组成情况。首先从传动路线上离原动件最远的构件 4



(a)



(b)



(c)

图 2-7

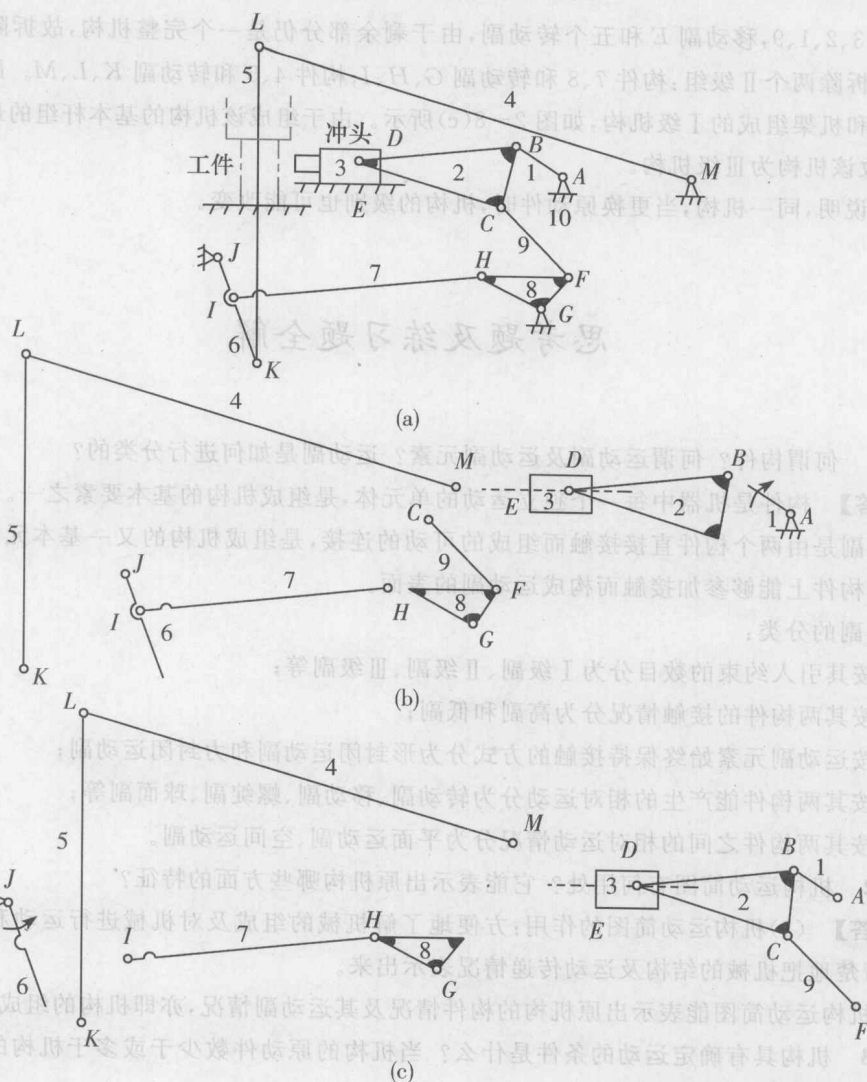


图 2-8

开始试折杆组,先折下由构件 4,5 和转动副 K、L、M 组成的 II 级杆组,接着依次拆下 3 个 II 级杆组:构件 6,7 和转动副 J、I、H;构件 8,9 和转动副 C、F、G;构件 2,3 和转动副 B、D 及移动副 E;最后乘下由原动件 1 和机架 10 组成的 I 级机构,如图 2-8(b)所示。由于组成该机构的基本杆组的最高级别是 II 级组,故该机构为 II 级机构。

(3) 分析当构件 6 为原动件时机构的组成情况。首先从传动路线上离原动件最远的构件 3 (即冲头) 开始试折杆组。先试折 II 级组。从图 2-8(a) 中可以看出,如果拆除构件 3,2,移动副 E,转动副 D 和转动副 B,则构件 1 和转动副 C 均会失去联接对象,导致剩余部分不再是一个完整机构;如果拆除构件 3,2,移动副 E,转动副 D 和转动副 C,则构件 9 和转动副 B 也均会失去联接对象,导致剩余部分也不再是一个完整的机构。因此试折 II 级杆组失败。再试折 III 级杆组,即

拆除构件 3、2、1、9, 移动副 E 和五个转动副, 由于剩余部分仍是一个完整机构, 故拆除成功。然后再依次拆除两个 II 级组: 构件 7、8 和转动副 $G、H、I$; 构件 4、5 和转动副 $K、L、M$ 。最后剩下由原动件 6 和机架组成的 I 级机构, 如图 2-8(c) 所示。由于组成该机构的基本杆组的最高级别为 III 级组, 故该机构为 III 级机构。

该例说明, 同一机构, 当更换原动件时, 机构的级别也可能改变。

思考题及练习题全解

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?

【解答】 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。

运动副是由两个构件直接接触而组成的可动的连接, 是组成机构的又一基本元素。运动副元素是两构件上能够参加接触而构成运动副的表面。

运动副的分类:

- (1) 按其引入约束的数目分为 I 级副、II 级副、III 级副等;
- (2) 按其两构件的接触情况分为高副和低副;
- (3) 按运动副元素始终保持接触的方式分为形封闭运动副和力封闭运动副;
- (4) 按其两构件能产生的相对运动分为转动副、移动副、螺旋副、球面副等;
- (5) 按其两构件之间的相对运动情况分为平面运动副、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?

【解答】 (1) 机构运动简图的作用: 方便地了解机械的组成及对机械进行运动和动力分析, 并简单清楚地把机械的结构及运动传递情况表示出来。

(2) 机构运动简图能表示出原机构的构件情况及其运动副情况, 亦即机构的组成形式。

2-3 机构具有确定运动的条件是什么? 当机构的原动件数少于或多于机构的自由度时, 机构的运动将发生什么情况?

【解答】 (1) 机构具有确定运动的条件: 机构的原动件数目等于机构的自由度数目。

(2) 当机构的原动件数少于机构的自由度时, 机构的运动将不确定;

当机构的原动件数多于机构的自由度时, 机构将不能正常运转, 严重时将损坏机构中最薄弱的环节。

2-4 何谓最小阻力定律? 试举出在机械工程中应用最小阻力定律的 1、2 个实例。

【解答】 最小阻力定律是机构运动时优先沿阻力最小的方向运动。

例如, 空调水系统冷热水循环泵的变转速运行即运用了最小阻力控制, 它是根据空调冷热水循环系统中各空调设备的调节阀开度, 控制冷热水循环泵的转速, 使这些调节阀中至少有一个处于全开状态。

2-5 在计算平面机构的自由度时, 应注意哪些事项?