

高等院校经典教材配套指导丛书

配高教社郑文纬等编《机械原理》(第7版)

机械原理

释疑与习题详解

赵镇宏 编著
尹明富

- ▲考核知识点
- ▲专题释疑
- ▲原教材习题详解
- ▲原教材思考题详解
- ▲自测试卷及答案

 海洋出版社

高等院校经典教材配套指导丛书

机械原理 释疑与习题详解

Jixie Yuanli Shiyi Yu Xiti Xiangjie

(配高教社郑文纬等编《机械原理》第7版)

赵镇宏 尹明富 编著

机械工业出版社

2005年·北京

内 容 提 要

本书为高等教育出版社郑文纬等编《机械原理》(第7版)的配套辅导用书,内容上紧扣本课程教学大纲,体例上与配套教材保持一致。

本书特点:针对学生平时学习和考研需要,总结了各知识点的主要内容和基本概念,给出各章的基本要求、考点和难点。并对教材中较难理解的部分进行了专题论述,剖析典型例题,提供解题思路。对教材上的习题及思考题进行了详细的分析与解答,并在题后进行了总结或提示,以达到举一反三的目的。每一章提供了自测题及答案以供自测,其中大部分试题筛选自近年各重点高校考研真题。

读者对象:本书可作为工科院校机械类专业本科生的辅导教材和报考硕士研究生的复习资料,同时也可供有关教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理释疑与习题详解 / 赵镇宏, 尹明富编著. —北京:海洋出版社, 2005.2

(高等院校经典教材配套指导丛书)

ISBN 7-5027-6295-7

I. 机… II. ①赵… ②尹… 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(2005)第 010303 号

策划编辑:邹华跃

责任编辑:张丽萍

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京季蜂印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14

字数:380 千字 印数:1~5000 册

定价:21.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

机械原理是一门基础技术课程，主要研究机械设计和制造技术中机械的运动特性、性能和设计问题。其基础性表现在研究对象并不是确定的某一类机械，研究的问题是任何机械中共有的机械运动规律及其设计；其技术性表现在要解决的是实际环境下的工程技术问题，也就是用怎样的结构来实现运动要求的一系列具体措施。它既不像基础理论课程那样经过高度的抽象而离实际很远，又不像工程技术那样涉及到很具体、实际的方方面面，例如设计、制造、使用、资源、管理等诸多问题。因此，在学习基础课程之后，学习专业技术之前，需要培养一种将实际问题抽象成基础理论问题的能力，以及将基础理论应用于解决涉及面较窄的工程技术问题的能力。而反映能力的两个主要方面是知识和思维方式。这就是设置技术基础课程的主要目的和主要任务。

机械原理课程的研究对象是机器和机构，其重要任务就是进行机械运动方案的设计，各个执行机构的类型和尺度综合，机械系统的动力性能分析和综合。为了学好机械原理课程，在学习过程中应牢牢掌握以下方法：

了解课程学习内容及其体系，以便了解课程章节之间的联系，有利于掌握全书的内容脉络，做到心中有数。

熟悉和掌握机械运动简图的画法，要习惯于采用运动简图来认识机构和机器。

熟悉和掌握各种典型机构的运动特点、动力特性及其设计方法。

对于课程中的基本概念要深刻理解，更好地掌握课程内容。

深入理解和全面掌握本课程所采用的基本研究方法。这些基本研究方法有：杆组法、机架转换法、机构演化法、等效法等。这些方法在对各种机构进行分析和设计工程中，充分显示出它们的重要性。

注意学习中内容前后联系，融会贯通。如瞬心的概念，不但对连杆机构而且对凸轮机构、齿轮机构的分析都是十分有用的。

注意运用理论力学的有关知识。要注意培养自己运用所学的基本理论和方法去分析和解决工程实际问题的能力。

根据基础技术课的性质,其习题大致有两类:一类是分析已有机械的特性;另一类是根据给定的要求和条件设计出“新”的机械。就机械原理课程的习题而言,一类是分析机构组成、运动特性、传力特性和动力特性;另一类则是根据给定的功能要求或运动要求,设计出实现这一要求的机构组成(包括运动方案、机构组成方案、结构),最后得到机构的运动简图。此外,还应注意所设计机构能否实用,即考虑构件的形状构造(也称结构)能否实现等现实问题。因此在解题过程中应注意以下几点:

①做题之前应熟悉教材相应内容。

②仔细审题。首先明确题意,即明确本题是做分析还是设计,分析什么问题,设计什么东西。其次,了解该题给出哪些已知条件和限定条件。然后根据题意,搜索与该题有关的要素,与给出的条件对比确定缺少哪些条件,而其中哪些是可自行决定的,哪些是可以通过什么办法确定的,哪些是多余的,哪些是不足的。这也就确定了解题思路,这是关键的一步。

③认真解题。由于本课程研究的问题多是运动几何学问题,所以(主要)采用图解法解题,它有直观、简便、易于校验和发现问题等优点,而精度一般也能满足工程技术要求。

④小结归纳。这一点很重要,能够扩展知识和思路,从中得到启示,以达到举一反三的效果。

根据课程教学的基本要求,书中具体指出了各章的基本要求、难点和考点以及内容提要。每章的答疑解惑一节集中解答了同学们在学习过程中容易出现的困惑,对所有难以理解的概念进行了全面、深层的阐述。典型例题的筛选体现了作者对课程的理解与把握,并融入了作者的经验和体会,希望能有助于同学们掌握解题思路和技巧。配套教材习题与思考题的解析,重点放在分析与解答上,对一些题目中出现的经典问题,给出了必要的说明和提示。各章的自测试题,有利于学生检查基本内容的掌握程度。许多题目是从近年各重点高校的考研试卷中精选出来的,目的是让同学们了解各校对该门课程的要求程度和常见的考试题型。

本书由天津工业大学机械电子学院赵镇宏、严明富编著。参加本书编写工作的还有郝彩虹、雷晓康、张琪、沈靖、周黎黎、刘颖、张远征、赵年欣、周艳、董晓童、刘秀婷、何丽、陈建、顾祎娜、岳缓缓、刘宗健。

由于编写时间仓促,书中疏漏和欠妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005年4月

第 1 章 平面机构的结构分析	(1)
1.1 考核知识点	(2)
1.1.1 基本要求	(2)
1.1.2 内容提要与考点提示	(2)
1.2 专题释疑	(4)
1.2.1 机构自由度 F 、机构原动件的数目和机构运动的关系	(4)
1.2.2 机构拆组分析与机构级别的判断	(4)
1.3 典型例题解析	(4)
1.4 原教材习题详解	(8)
1.5 原教材思考题详解	(13)
1.6 自测试卷及答案	(14)
1.6.1 自测试卷	(14)
1.6.2 自测试卷答案	(16)
第 2 章 平面机构的运动分析	(17)
2.1 考核知识点	(18)
2.1.1 基本要求	(18)
2.1.2 内容提要与考点提示	(18)
2.2 专题释疑	(19)
2.2.1 用机构瞬心求解机构的运动速度	(19)
2.2.2 构件上重合点之间的速度和加速度分析	(20)
2.2.3 特殊点法求解Ⅲ级机构的速度和加速度	(20)
2.3 典型例题分析	(21)
2.4 原教材习题详解	(25)
2.5 原教材思考题详解	(36)
2.6 自测试卷及答案	(36)
2.6.1 自测试卷	(36)
2.6.2 自测试卷答案	(37)

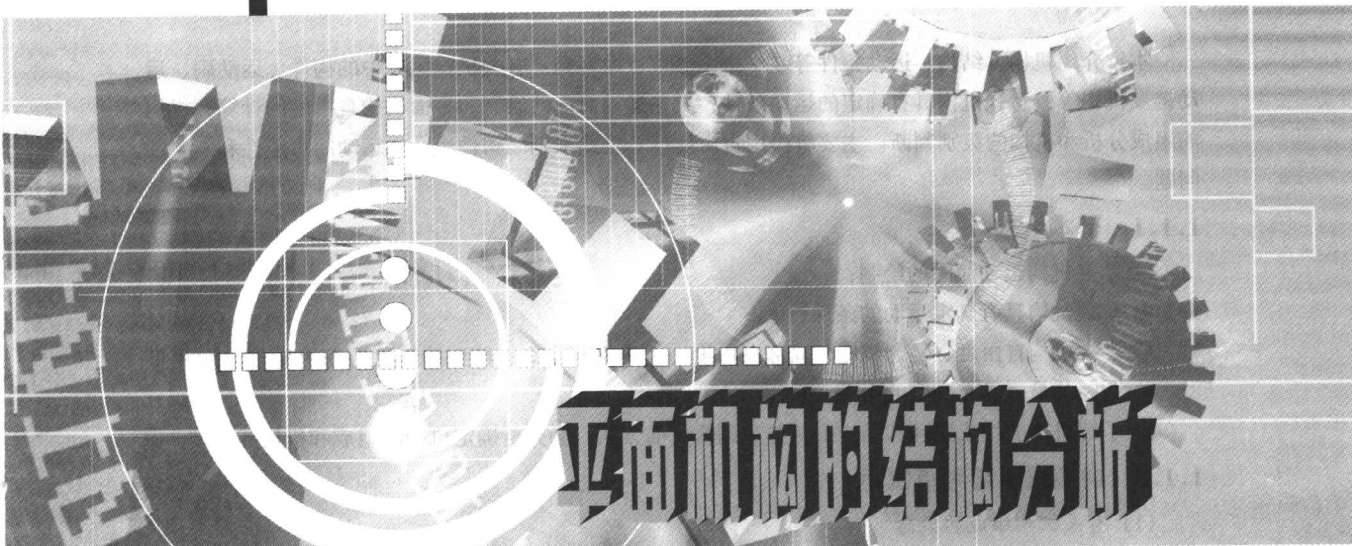
第3章 平面连杆机构及其设计	(39)
3.1 考核知识点	(40)
3.1.1 基本要求	(40)
3.1.2 内容提要 with 考点提示	(40)
3.2 专题释疑	(43)
3.2.1 四杆机构设计的条件	(43)
3.2.2 机构自锁、机构自由度为零、机构死点的本质区别	(43)
3.2.3 急回特性	(43)
3.3 典型例题解析	(44)
3.4 原教材习题详解	(47)
3.5 原教材思考题详解	(57)
3.6 自测试卷及答案	(57)
3.6.1 自测试卷	(57)
3.6.2 自测试卷答案	(58)
第4章 凸轮机构及其设计	(61)
4.1 考核知识点	(62)
4.1.1 基本要求	(62)
4.1.2 内容提要 with 考点提示	(62)
4.2 专题释疑	(64)
相对运动原理 (反转法)	(64)
4.3 典型例题解析	(64)
4.4 原教材习题详解	(68)
4.5 原教材思考题详解	(70)
4.6 自测试卷及答案	(70)
4.6.1 自测试卷	(70)
4.6.2 自测试卷答案	(72)
第5章 齿轮机构及其设计	(73)
5.1 考核知识点	(74)
5.1.1 基本要求	(74)
5.1.2 内容提要 with 考点提示	(74)
5.2 专题释疑	(79)
5.2.1 齿轮传动中易混淆的概念	(79)
5.2.2 齿轮齿条啮合传动与标准齿条型刀具范成加工齿轮	(80)
5.2.3 齿轮传动的传动比及从动轮的转向	(80)
5.2.4 当量齿轮及当量齿数	(81)
5.3 典型例题解析	(81)
5.4 原教材习题详解	(84)
5.5 原教材思考题详解	(95)

5.6 自测试卷及答案	(96)
5.6.1 自测试卷	(96)
5.6.2 自测试卷答案	(98)
第6章 轮 系	(101)
6.1 考核知识点	(102)
6.1.1 基本要求	(102)
6.1.2 内容提要 with 考点提示	(102)
6.2 专题释疑	(103)
6.2.1 定轴轮系传动比计算时主从动轮转向关系的确定	(103)
6.2.2 周转轮系传动比计算应注意事项	(104)
6.2.3 复合轮系传动比计算应注意事项	(104)
6.3 典型例题解析	(104)
6.4 原教材习题详解	(106)
6.5 原教材思考题详解	(113)
6.6 自测试卷及答案	(114)
6.6.1 自测试卷	(114)
6.6.2 自测试卷答案	(115)
第7章 其他常用机构	(117)
7.1 考核知识点	(118)
7.1.1 基本要求	(118)
7.1.2 内容提要 with 考点提示	(118)
7.2 典型例题解析	(120)
7.3 原教材习题详解	(121)
7.4 原教材思考题详解	(123)
7.5 自测试卷及答案	(123)
7.5.1 自测试卷	(123)
7.5.2 自测试卷答案	(124)
第8章 机械运动方案的拟定	(125)
8.1 考核知识点	(126)
8.1.1 基本要求	(126)
8.1.2 内容提要 with 考点提示	(126)
8.2 典型例题解析	(127)
8.3 原教材习题详解	(129)
8.4 原教材思考题详解	(130)
第9章 平面机构的力分析	(131)
9.1 考核知识点	(132)

9.1.1 基本要求	(132)
9.1.2 内容提要 with 考点提示	(132)
9.2 专题释疑	(133)
9.2.1 运动副中摩擦和自锁的分析步骤	(133)
9.2.2 运动副中总反力的确定方法	(134)
9.2.3 当量摩擦系数概念	(134)
9.3 典型例题解析	(134)
9.4 原教材习题详解	(137)
9.5 原教材思考题详解	(154)
9.6 自测试卷及答案	(155)
9.6.1 自测试卷	(155)
9.6.2 自测试卷答案	(155)
第 10 章 平面机构的平衡	(157)
10.1 考核知识点	(158)
10.1.1 基本要求	(158)
10.1.2 内容提要 with 考点提示	(158)
10.2 典型例题解析	(160)
10.3 原教材习题详解	(163)
10.4 原教材思考题详解	(172)
10.5 自测试卷及答案	(172)
10.5.1 自测试卷	(172)
10.5.2 自测试卷答案	(173)
第 11 章 机器的机械效率	(175)
11.1 考核知识点	(176)
11.1.1 基本要求	(176)
11.1.2 内容提要 with 考点提示	(176)
11.2 专题释疑	(178)
自锁的概念	(178)
11.3 典型例题解析	(178)
11.4 原教材习题详解	(179)
11.5 原教材思考题详解	(188)
11.6 自测试卷及答案	(188)
11.6.1 自测试卷	(188)
11.6.2 自测试卷答案	(189)
第 12 章 机器的运转及其速度波动的调节	(191)
12.1 考核知识点	(192)
12.1.1 基本要求	(192)

12.1.2	内容提要与考点提示	(192)
12.2	专题释疑	(195)
	最大剩余功的计算	(195)
12.3	典型例题解析	(195)
12.4	原教材习题详解	(198)
12.5	原教材思考题详解	(210)
12.6	自测试卷及答案	(211)
12.6.1	自测试卷	(211)
12.6.2	自测试卷答案	(212)

第 1 章



平面机构的结构分析

本章考点

- 构件、运动副、运动链等概念
- 自由度与约束的关系
- 机构运动简图绘制
- 机构具有确定运动条件
- 机构自由度计算
- 复合铰链、局部自由度、虚约束判断

本章难点

- 机构自由度计算中有关复合铰链、局部自由度及虚约束问题的判断及正确处理

1.1 考核知识点

本章介绍机构、结构、运动条件等基本概念。重点内容是：有关机构组成中的构件、运动副、运动链及机构等概念；机构具有确定的运动条件，机构运动简图的绘制和平面机构自由度的计算；机构的组成分析和机构的级别判断。主要解决用自由度计算公式来判断构件组合体运动的可能性和确定性问题。

1.1.1 基本要求

- 掌握机构运动简图的绘制；
- 掌握机构具有确定运动的条件；
- 掌握机构自由度、复合铰链、局部自由度、虚约束等概念；能正确计算平面机构自由度并能判断其是否具有确定的运动；
- 了解机构的组成原理和结构分析与高副低代的方法；会分析确定机构的组成和机构的级别。

1.1.2 内容提要 with 考点提示

(1) 有关机构组成的概念

1) 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。实际的构件可以是一个独立运动的零件，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。构件在图形表达上是用最简单的线条或几何图形来表示的。但从运动学的角度来看，构件又可视作任意大的平面刚体。

2) 运动副是由两构件组成的相对可动的连接，是组成机构的又一基本要素。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 构成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。因此，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（即面接触的运动副）。又可按所能产生的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，它们之间尚能产生何种相对运动是决定于该运动副所引入的约束情况，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级副及Ⅴ级副。

在实际机械中，常常有两构件多处接触构成运动副的情况，这时必须注意分析接触各处所引入的约束情况，并根据所引入独立约束的数目来判定两构件构成运动副类别及数目。总之，两构件构成运动副应至少要引入一个约束，也至少要保留一个自由度。至于运动副的表达则应按照规定符号来画。

③ 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系统。如果构成的是相对不可动的系统，则为桁架或结构体，即蜕变为一个构件。运动链可以是首末封闭的闭链，也可以为未封闭的开链，又有平面运动链和空间运动链之分。

④ 机构从其功能来理解是一种用来传动运动和力的可动装置。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原动件，而其余活动构件称为从动件。从动件的运动规律决定于原动件的运动规律和机构的结构尺寸。

(2) 机构运动简图及其绘制

机构的运动仅与机构中运动副的结构情况（转动副、移动副及高副等）和机构的运动尺寸（由各

运动副的相对位置确定的尺寸)有关,而与构件的外形尺寸等因素无关。因此,根据机构的运动尺寸,按一定的比例尺定出各运动副的位置,再用规定的运动副代表符号及常用机构代表符号和简单线条或几何图形将机构的运动情况表示出来,这种简单的图形称为**机构运动简图**。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。

绘制机构简图的方法及步骤如下:

第一步: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。

第二步:恰当地选择投影面。选择时应以简单、清楚地把机构的运动情况表示出来为原则。一般选机构中的多数构件的运动平面为投影面。

第三步:选取适当的比例尺,根据机构的运动尺寸,先确定出各运动副的位置(如转动副的中心、移动副的导路方位及高副的接触点位置),并画上相应的运动副符号,然后用代表构件的简单线条或几何图形将运动副连接起来,最后标出构件号数字及运动副的代号字母以及原动件的转向箭头,便绘制出了机构运动简图。

(3) 机构具有确定运动的条件

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。为了使机构能按照一定的要求进行运动变换和力的传递,机构应具有确定的运动,其确定运动的条件是机构的原动件的数目应等于机构的自由度数。否则,机构的运动将不确定或没有运动的可能。因此,在分析现有机械或设计新机械时,通常根据这一条件来判断所画的机构结构图是否正确。因为机构只有运动确定时,才能对其进行结构分析、运动分析和力分析等。

(4) 机构的自由度计算

平面机构自由度的计算公式:

$$F = 3n - 2p_L - p_H$$

式中: n —— 机构中活动构件的数目;

p_L —— 机构中低副的数目;

p_H —— 机构中高副的数目。

在计算机构的自由度时,应特别注意处理好以下3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。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不影响整个机构运动的局部运动的自由度,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。即在计算自由度时,可以将产生局部自由度的构件视为焊成一体,然后进行计算。

③**虚约束**:指在机构中不起独立限制作用的约束。在计算机构自由度时应将虚约束去掉。

(5) 平面机构组成原理及结构分类

我们把不能再拆的最简单的自由度为零的构件组称为基本杆组或阿苏尔杆组,简称杆组。根据机构杆组的条件 $3n - 2p_L - p_H = 0$ 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(有5种不同形式);把由4个构件和6个低副组成的基本杆组称为Ⅲ级杆组。机构的组成原理就是任何机构都可以看作是由若干个基本杆组依次连接于原动件和机架而上构成的。

在同一机构中可包含不同级别的基本杆组。我们把最高级别为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。机构结构分析的目的就是要确定机构的级别。因此,还应掌握机构的级别的判别方法。

(6) 平面机构中的高副低代

高副低代就是将机构中的高副根据一定的条件虚拟地以低副来代替的方法。其条件为：代替前后机构的自由度完全相同；代替前后机构的瞬时速度和瞬时加速度完全相同。

高副低代的方法为：用一个虚拟两副构件将两高副构件在接触点的曲率中心处相连起来即可。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。

1.2 专题释疑

1.2.1 机构自由度 F 、机构原动件的数目和机构运动的关系

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，通常是使其原动件按给定的某一运动规律，所以，可以认为机构的自由度数也就是机构应当具有的原动件数目。

机构的自由度 F 、机构原动件的数目和机构的运动有着密切的关系。具体如下：

- ①若机构自由度 $F \leq 0$ ，则机构不能动；
- ②若 $F > 0$ 且与原动件数相等，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：机构的原动件数等于机构的自由度数；
- ③若 $F > 0$ ，而原动件数小于 F ，则构件间的运动是不确定的；
- ④若 $F > 0$ ，而原动件数大于 F ，则构件间不能运动或产生破坏。

1.2.2 机构拆组分析与机构级别的判断

平面机构的拆分步骤如下：

- ①先剔除机构中的虚约束和局部自由度；
- ②若机构存在高副，则应采用高副低代的方法，使其成为低副机构；
- ③根据机构具有确定运动的条件，设定主动件；
- ④从远离主动件处（传动关系最远处）开始拆分杆组（先试拆Ⅱ级杆组，如不能，再试拆Ⅲ级杆组、Ⅳ级杆组等）；
- ⑤接着在剩余机构中试拆第2个杆组、第3个杆组等，直到剩下主动件和机架为止；
- ⑥机构级别的判定：在所拆杆组级别中，取最高级杆组的级别为机构的级别。如最高级别的杆组为Ⅲ级杆组，则机构的级别为Ⅲ机构。

在确定机构的级别时是以所拆最惯级别的基本杆组的级别来确定机构的级别，对于同一机构，在取不同构件作为主动体时，可能其拆分结果不同。

1.3 典型例题解析

例1 图1-1(a)所示为一牛头刨床的初拟设计方案。设计思路是：动力由小齿轮1输入，并推动大齿轮2绕其轴A连续转动，又通过铰接在大齿轮2上B处的滑块3使摆动导杆4往复摆动，并带动滑枕5往复运动以达到刨削的目的。分析其运动是否能实现设计意图，并提出修改方案。

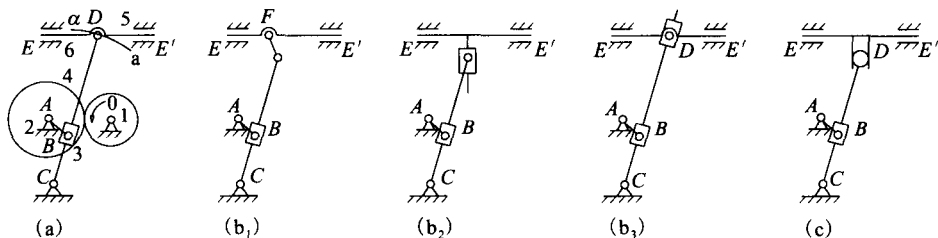


图 1-1

【分析】 在分析现有机械或设计新机械时，通常用计算机构自由度并判断机构是否具有确定运动的方法来分析判断所画出的机构运动简图（或机构示意图）的正确性或能否实现设计意图，避免出现机构结构上的错误。

【解答】 由图知， $n=5$ ， $p_L=7$ ， $p_H=1$ ，于是该机构的自由度 $F=3n-2p_L-p_H=3\times 5-2\times 7-1=0$ ，计算结果表明此刨床机构不能运动。事实上，此机构也根本不能动。因为构件 4 与构件 5 的铰接点 D 不能同时实现沿 EE' 方向运动又沿 $\alpha\alpha$ 弧线（即以 C 为圆心， l_{CD} 为半径的圆弧）运动，故该机构不能实现设计意图。故需在 D 处增加 1 个自由度，其改进后的方案如图 1-1（ $b_1\sim b_3$ ）所示，它们的自由度都是 1。此时，机构的原动件（齿轮 1）数目等于该机构的自由度数目，故该机构具有确定的运动，可实现设计意图。



①增加机构自由度的方法是：在机构的适当位置上添加一个构件和一个低副 [见图 1-1（ $b_1\sim b_3$ ）所示的 3 种情况]，或用一个高副去代替一个低副 [见图 1-1（c）]。

②从机构运动观点来看，机构的结构组成改进往往有多种方案。如本例除上述在转动副 D 处的 4 种改进方案外，还可以在转动副 C 处通过增加一个自由度的方法来改进，同样也有类似上述 4 种情况（此时的刨床机构为Ⅲ级机构，请读者自己分析）。至于实际选定哪一种方案为好，还必须考虑其他的因素加以分析比较后决定。

例 2 计算图 1-2（a）所示机构的自由度，分别以 2、8 为原动件，确定机构的杆组及机构的级别。

【分析】 机构中虽然滑块 4 和 8 运动方向平行，但不是重复结构，所以不存在虚约束。

【解答】 由于此机构既无虚约束又无局部自由度，故机构的自由度为

$$n=7 \quad p_L=10 \quad p_H=0$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 7-2\times 10-0=1$$

以 2 为原动件：如图 1-2（b）7、8 构件，5、6 构件，3、4 构件构成Ⅱ级杆组。

该机构的基本杆组最高级别为Ⅱ级，故以 2 为原动件机构为Ⅱ级机构。

以 8 为原动件：如图 1-2（c）所示。

2、3、4、5 构件组成Ⅲ级杆组，6、7 构件组成Ⅱ级杆组，该机构的基本杆组最高级别为Ⅲ级，故以 8 为原动件时机构为Ⅲ级机构。



由上分析可知，对同一机构，当选用的原动件不同，所得到机构级别也不同。但不论以何杆作为原动件，拆组时都仍需满足拆杆组的原则。

一个具有确定运动的机构，不管给定机构哪一个构件为机架，其运动都是完全确定的。选用的原动件不同，所得到的机构级别也不同。这个性质在机构运动分析时也可以利用。可以通过变换原动件，使高一级的机构变为低一级的机构，这样就可以用分析Ⅱ级机构的方法去分析Ⅲ级机构了。

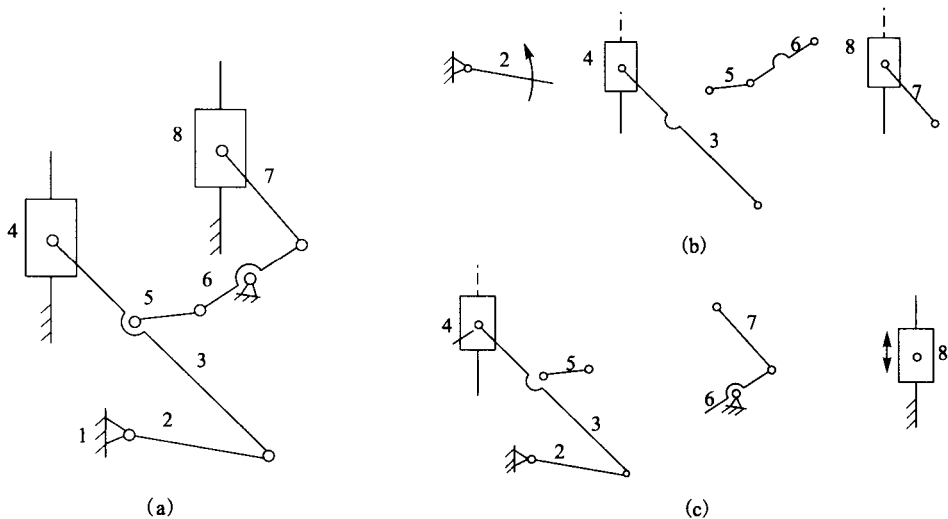


图 1-2

例 3 如图1-3所示，已知 $HG = IJ$ ，且相互平行； $GL = JK$ ，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。）

【分析】 该机构有重复部分，10 杆为虚约束杆，机构是为了保证主动力由 J 、 G 传入，使冲头平移运动，且 J 、 G 处有均衡作用力。滚子 C 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 3 固连，计算自由度时应不予考虑； G 为复合铰链。

【解答】 根据图 1-3 计算机构的自由度：

$$n=8 \quad p_L=11 \quad p_H=1$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3 \times 8-2 \times 11-1=1$$



机构自由度计算步骤：

- ① 注意复合铰链，刚化局部自由度，剔除虚约束；
- ② 分别确定构件数、低副数和高副数；
- ③ 用平面机构自由度计算公式计算机构的自由度。

不要认为机构中有“多余”构件就有虚约束，其实很多机构中这样所谓的多余构件要么是运动的另一个分支，要么就是对机构的运动范围进行约束。

例 4 如图1-4所示，计算机构自由度，若有复合铰链、局部自由度和虚约束，请指出。

【分析】 A 处的滚子为局部自由度，铰链 B 为复合铰链，根据给定的几何条件，点 C 绕 E 点作半径为 R 的圆周运动，因此 D 处的约束已不起作用，所以滑块 8 及运动副 C 、 D 是虚约束。在计算机构自由度时，除去滑块 8 及其带来的约束 C 、 D ，除去滚子引入的局部自由度并将其与杆 2 焊接固连， B 处为 2 副复合铰链。

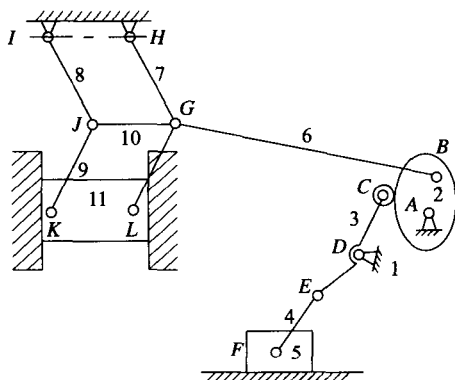


图 1-3

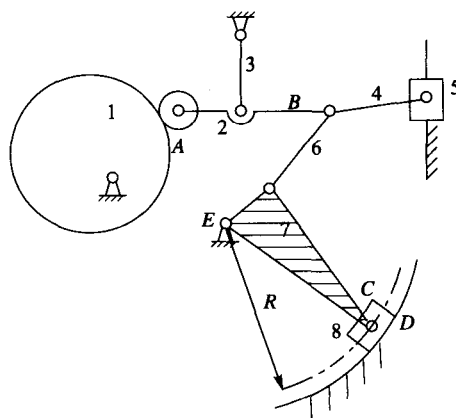


图 1-4

【解答】 计算自由度：

$$n=7 \quad p_L=9 \quad p_H=1$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3 \times 7-2 \times 9-1=2$$



一般出现虚约束时往往具有一定的几何条件，计算时需将带入虚约束的构件及其所带入的约束一同除去。

例 5 如图 1-5 所示的冲压机高副机构由原动件齿轮 1、齿轮 2、凸轮 3、滚子 4、摆杆 5、滑块 6 和执行件 7 所组成。试求机构的自由度，并用“高副低代法”进行机构的组成分析。

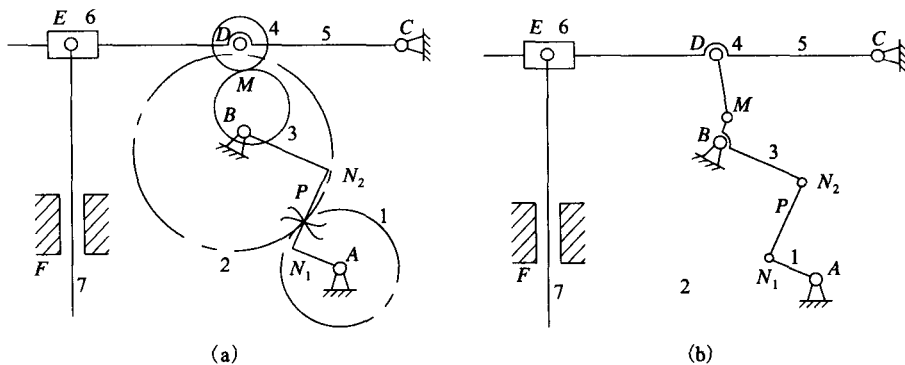


图 1-5

【分析】 此机构原动件齿轮 1 与机架 8、齿轮 2（或凸轮 3）与机架 8、摆杆 5 与机架 8、摆杆 5 与滚子 4、滑块 6 与冲头 7 分别在 A、B、C 和 D 处组成回转副，冲头 7 与机架 8 在 F 处组成移动副，凸轮 3 与滚子 4、齿轮 1 与 2 分别 M 和 P 处组成高副。

【解答】 计算此平面机构的自由度。滚子 4 绕其自身轴线转动为一局部自由度，设想将滚子 4 与摆杆 5 固联成一个构件；齿轮 2 与凸轮 3 无相对运动，为一个构件，于是

$$F=3 \times 5-2 \times 6-2=1$$