

新世纪
理工科研究生入学考试指导丛书

机 械 原 理

典型题解析与实战模拟

杨昂岳	吴石林	龚京忠	李国喜	主编
吴宝中	罗 昆	罗 护		编著



A0976184

国防科技大学出版社
·长沙·

内 容 简 介

本书是根据国家教育部颁布的高等学校工科“机械原理课程教学基本要求”及“机械设计基础课程教学基本要求”编写的《机械原理》课程考研复习及自学辅导教材。全书分解析篇和实战篇,解析篇共十一章,各章包括内容提要、要点分析、典型题解析、考研试题选及参考答案等内容;实战篇共二章,选编了八所大学考研试卷各一套,并给出了全部试题的参考答案。

本书共选辑了全国 22 所重点大学《机械原理》、《机械设计基础》及《机械原理与零件》考研试卷七十多套,所选考研试题量大、面广,具有广泛的代表性。本书可作为硕士学位研究生报考人员的考前复习辅导教材和本、专科大学生及自考生的自学教材,也是教师们备课、命题的重要参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理:典型题解析与实战模拟/杨昂岳主编. —长沙:国防科技大学出版社,2002.6

(新世纪理工科研究生入学考试指导丛书)

ISBN 7-81024-848-0

I.机… II.杨… III.机构学-研究生-入学考试-解题 IV.TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 026858 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

E-mail: gfkdcbs@public.cs.bn.cn

责任编辑:张静 责任校对:罗青

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张:25.75 字数:595 千

2002 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1—4000 册

*

定价:38.00 元

序

新世纪来临,挑战和机遇共存。作为当代大学生和有志青年,当务之急是积累知识,培养能力,以备将来为祖国为人民服务,实现自身的理想和价值。因而,近年来高校“考研热”不断升温,引人关注。

为满足广大学生考研复习之需,更为了适应培养高素质高水平人才的形势,不少出版社出版了辅导学生深入学习课程的参考书,但多是关于数学、外语、政治等公共基础课的,针对各门专业课的指导书较少,精品更少。鉴于此,国防科技大学出版社经多方调研,全面规划,精心组织作者编写了这套旨在帮助学生学习各门专业课、提高考研应试能力的指导丛书。该套丛书具有以下几大特色:

(一)作者经验丰富,权威性强

本丛书的作者都是经悉心遴选,从事教学、科研、著书多年,某些是在全国有相当影响、所著的教材(或专著)在相应专业使用较广的资深专家教授。他们都是高校硕士或博士指导教师。他们在编写这套丛书时废寝忘食,躬行写作,将自己多年积累的经验、体会凝聚在字里行间,奉献给广大的读者,相信他们的辛勤劳动成果必然会对大家学习有关课程有极大帮助,这正是我们丛书编审委员会最感欣慰的。

(二)题目收集广泛,针对性强

这套丛书紧扣国家教育部制定的课程教学大纲和研究生入学考试要求,合理安排各书内容,条理清晰,详略分明,深入浅出,释疑去惑,并广泛搜集近年全国 20 余所重点高

校或研究所考研试卷,加以分析、归纳、提高,使读者既能把握各门专业课程的全貌,又能抓住主脉络,领会其中的主要原理、方法,真正提高能力。

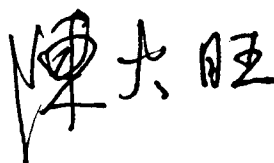
(三)突出实战模拟,操作性强

这套丛书中每本书分解析篇和实战篇。其中解析篇按章分提要、例题、习题、习题解答,分别讲清理论、分析各种解题技巧、提供练习和检验机会,使学生全面掌握课程的概念、原理、方法和技巧,学深、学透。实战篇,提供几份模拟题及其参考答案、多份重点高校近年考研试卷,供学生在课程考试或考研的前夕实景备战,以巩固复习成果,丰富考场经验,增强自信心。这样的结构安排极利于学生使用好本丛书。

国防科技大学出版社、丛书编审委员会和编写者共同努力,辛勤劳动,所有的书稿均经多次审定、修改,使这套丛书达到了较高的质量水平,相信本丛书必能为在书海中遨游的学子指点迷津,助他们踏上成功之路。

本丛书除了适合高校学生学习使用外,对广大的自学者、相关专业工程技术人员亦会有所裨益。

丛书编审委员会邀我为该书作序,谨寄数言,既是对这套丛书的郑重推荐,也是对该套丛书编写者的敬意。

A handwritten signature in black ink, reading '陈大旺' (Chen Dawang) from right to left.

2001年5月

前言

《机械原理》是机械类专业的一门主干技术基础课程,它的主要任务是培养学生掌握机构学和机械动力学的基本理论、基本知识和基本技能,并初步具有确定机械运动方案、分析和设计机构的能力。《机械原理》在机械类本科教学体系中占有十分重要的地位,也是机械工程一级学科各专业硕士研究生入学考试的课程之一。该课程内容较多,具有很强的理论性与实践性,初学者往往感到内容抽象,难以理解,不容易抓住重点等等。本书以如何正确理解基本概念和原理,掌握解题方法和技巧,突出重点和难点为原则,对具有普遍性的考研试题,特别是一些考研的重点、难点问题,详尽地给予了分析和解答。

本书为考研人员复习参考书,旨在帮助考生在较短的时间内掌握本课程的精髓及有关内容,进行有效的复习备考;本书也是在校本科生及广大自考人员学习本课程的辅导材料和自学指南;同时,本书还是教师们备课、命题的重要参考资料。

本书根据教育部高教司制定的“机械原理课程教学基本要求”及作者多年的教学经验,参考了国内较广泛使用的几种相关教材,辑录了全国二十二所重点大学的《机械原理》、《机械设计基础》及《机械原理与零件》等 70 余套考研试卷,精心编写而成。这些学校是:东南大学、哈尔滨工程大学、华中理工大学(现华中科技大学)、吉林工业大学(现吉林大学)、哈尔滨工业大学、北京邮电大学、北方交通大学、北京理工大学、西北工业大学、西安交通大学、华南理工大学、大连理工大学、西南交通大学、武汉交通科技大学(现

武汉理工大学)、东北大学、南京航空航天大学、上海交通大学、浙江大学、清华大学、天津大学、重庆大学、国防科学技术大学。本书所选考研试题面广量大,在全国有较广泛的代表性,具有重要的参考价值。全书分解析篇与实战篇两大部分。解析篇共十一章,各章内容包括内容提要、要点分析、典型题解析、考研试题选及考研试题参考答案等。在内容提要中,概述了主要内容、基本要求及重点、难点;在要点分析中,对应掌握的基本知识、基础理论和基本方法,尤其是重点、难点内容进行了分析、归纳和指导;在典型题解析中,通过考研试题示范解答,分析了解题要点、思路 and 技巧;在考研试题选中,每章按简答、填空、选择填空和判断题四种题型归纳了概念性考研试题及模拟题,并选择了较多的分析计算、作图类考研试题;在考研试题参考答案中,除简答题外,全部给出了参考答案。实战篇共二章,选择了八所重点大学近几年的考研试卷各一套,并给出了参考答案。

需要说明的是,由于各高校使用的教材不尽相同,为保持试题的“原汁原味”,所选各校考研试题中的个别符号也不一致。本书所选试题全部注明了命题学校及年份。

国防科技大学出版社筹划、组织了此书的编写工作,并提供了部分参考资料,编著者在此深表谢意。另外,还要特别感谢为本书提供考题的各高校同行老师及研究生招生办的老师们。感谢国防科技大学机械电子工程与仪器系的领导和同志们的支持与帮助;感谢刘庆辉、焦长君、胡海峰、杨世宁、康念辉五位同学为本书试做了部分试题。

由于编著者水平及时间有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2002 年 3 月

目 录

解 析 篇

第一章 平面机构的结构分析

- 1.1 内容提要..... (1)
- 1.2 要点分析..... (1)
- 1.3 典型题解析..... (4)
- 1.4 考研试题选..... (14)
- 1.5 考研试题参考答案..... (21)

第二章 平面机构的运动分析

- 2.1 内容提要..... (27)
- 2.2 要点分析..... (27)
- 2.3 典型题解析..... (31)
- 2.4 考研试题选..... (48)
- 2.5 考研试题参考答案..... (56)

第三章 平面机构的力分析

- 3.1 内容提要..... (71)
- 3.2 要点分析..... (71)
- 3.3 典型题解析..... (73)
- 3.4 复习思考题..... (83)

第四章 机械中的摩擦和机械效率

- 4.1 内容提要..... (85)
- 4.2 要点分析..... (85)
- 4.3 典型题解析..... (88)
- 4.4 考研试题选..... (99)
- 4.5 考研试题参考答案..... (107)

第五章 平面连杆机构及其设计

5.1 内容提要·····	(114)
5.2 要点分析·····	(114)
5.3 典型题解析·····	(119)
5.4 考研试题选·····	(137)
5.5 考研试题参考答案·····	(151)

第六章 凸轮机构及其设计

6.1 内容提要·····	(171)
6.2 要点分析·····	(171)
6.3 典型题解析·····	(174)
6.4 考研试题选·····	(189)
6.5 考研试题参考答案·····	(203)

第七章 齿轮机构及其设计

7.1 内容提要·····	(217)
7.2 要点分析·····	(217)
7.3 典型题解析·····	(226)
7.4 考研试题选·····	(241)
7.5 考研试题参考答案·····	(259)

第八章 齿轮系及其设计

8.1 内容提要·····	(271)
8.2 要点分析·····	(271)
8.3 典型题解析·····	(273)
8.4 考研试题选·····	(285)
8.5 考研试题参考答案·····	(296)

第九章 其他常用机构、组合机构及其设计

9.1 内容提要·····	(305)
9.2 要点分析·····	(305)
9.3 考研试题选·····	(307)
9.4 考研试题参考答案·····	(311)

第十章 机械的运转及其速度波动的调节

10.1 内容提要·····	(313)
10.2 要点分析·····	(313)

10.3	典型题解析	(315)
10.4	考研试题选	(324)
10.5	考研试题参考答案	(332)

第十一章 机械的平衡

11.1	内容提要	(341)
11.2	要点分析	(341)
11.3	典型题解析	(343)
11.4	考研试题选	(345)
11.5	考研试题参考答案	(349)

实 战 篇

第十二章 重点大学考研试卷选

12.1	东南大学 2000 年考研试卷	(351)
12.2	哈尔滨工业大学 2000 年考研试卷	(353)
12.3	华中理工大学 1999 年考研试卷	(357)
12.4	吉林工业大学 2000 年考研试卷	(359)
12.5	哈尔滨工程大学 2001 年考研试卷	(362)
12.6	北京邮电大学 2001 年考研试卷	(364)
12.7	北方交通大学 2001 年考研试卷	(367)
12.8	北京理工大学 2001 年考研试卷	(369)

第十三章 重点大学考研试卷参考答案

13.1	东南大学 2000 年考研试卷参考答案	(373)
13.2	哈尔滨工业大学 2000 年考研试卷参考答案	(377)
13.3	华中理工大学 1999 年考研试卷参考答案	(380)
13.4	吉林工业大学 2000 年考研试卷参考答案	(383)
13.5	哈尔滨工程大学 2001 年考研试卷参考答案	(386)
13.6	北京邮电大学 2001 年考研试卷参考答案	(388)
13.7	北方交通大学 2001 年考研试卷参考答案	(390)
13.8	北京理工大学 2001 年考研试卷参考答案	(396)

参考文献	(400)
------------	-------

解析篇

第一章

平面机构的结构分析

1.1 内容提要

本章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。

本章主要内容是：

1. 机构组成要素中的一些基本概念；
2. 机构运动简图的绘制；
3. 机构具有确定运动的条件；
4. 平面机构自由度的计算；
5. 平面机构结构分类及平面机构中的高副低代。

本章重点是平面机构自由度的计算；难点是复合铰链、局部自由度及虚约束问题的判断及正确处理。

1.2 要点分析

1. 有关机构组成的基本概念

机构是组成机器的基础,任何一部机器都是由若干个机构组成的。

机构是由许多零件组合而成的,零件是机构的制造单元体。一个零件或几个零件的刚性联接体称为构件,构件是机构的运动单元体,简称为“杆”。构件是机构中的刚性系统,机构中各构件之间保持一定的相对运动。

运动副是两构件直接接触组成的可动联接。形成运动副的可动联接限制了两构件之间的某些相对运动(称之为约束),又允许另一些相对运动存在(称之为自由度)。两构件

组成运动副至少应有一个约束,也至少要保留一个自由度。组成运动副的两构件上参与直接接触的点、线或面称为运动副元素。运动副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;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);按其两构件所能产生的相对运动形式分为转动副、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。此外,还可以根据保持运动副两构件上运动副元素互相接触的方式分为形封闭运动副和力封闭运动副。形封闭是利用几何形状来保持运动副两元素互相接触的,也称几何封闭;力封闭是利用外力(如弹簧力)或构件本身的重力来保持两运动副元素互相接触的。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。

运动链是两个或两个以上构件通过运动副联接而构成的相对可动的系统。运动链可分为闭式运动链(首末杆封闭的)和开式运动链(首末杆未封闭的)。如果构件通过运动副联接构成的是相对不可动系统,则为桁架或结构体,亦即成为一个构件。

如果将运动链中某一构件固定而成为机架,并有一个或几个构件给定运动规律(原动件),使其余各构件(从动件)具有确定的相对运动,则该运动链便成了机构。所以说,机构是具有确定相对运动的构件组合体。任何机构都包括机架、原动件和从动件三个部分。

机器是能做有用的机械功或转换机械能的机构组合系统。单从结构与运动观点看来,机器与机构并无区别。

机械是机器和机构的总称。

2. 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。机构运动简图一定要严格按比例尺绘制,否则只能称机构示意图。

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。先分析机构中相邻构件之间的相对运动及运动副,再弄清构件的种类和数目,以及运动传递路线等。

(2)选择投影面。对平面机构选运动平面或与运动平面平行的平面为投影面。

(3)选择比例尺 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。

绘制机构运动简图的关键点是要根据相接触两构件间的联接方式(即运动副)的几何特征,分析出两相邻构件之间的运动性质。此外,在用简单线条画构件时,要表达的是构件上与运动有关的因素,构件上与运动无关的因素(复杂形状)应全部略去。

3. 平面机构自由度的计算

平面机构自由度的计算公式为

$$F = 3n - (2p_l + p_h) \quad (1.1)$$

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。

在利用上式计算机构自由度时,应特别注意下列三个问题:

(1)正确计算运动副的数目:

①两个以上的构件在同一处以转动副相联接,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。

③两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。

④两构件在多处接触而构成平面高副,且各接触点处的公法线彼此重合者,计算运动副数目时也只能算作一个平面高副。如果两构件在两处接触而构成平面高副,各接触点处公法线方向并不重合,而是彼此相交或平行者,则在计算运动副数目时,应算作两个平面高副或相当于一个低副。

(2)除去局部自由度:

局部自由度是机构中某些构件具有的不影响其它构件运动的自由度。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的目的。

(3)除去虚约束:

虚约束是机构中与其它约束重复而不起限制运动作用的约束。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去掉不计,以达到除去虚约束的目的。虚约束出现在特定的几何条件下,具体情况较为复杂,需要仔细分析判断。

在计算机构自由度时,要正确计算运动副数目,除去局部自由度及虚约束;再用式(1.1)进行计算;最后还应检查机构的自由度数目与原动件数目是否相等。当自由度数目大于原动件数目时,某些构件运动不确定(乱动);当自由度数目小于原动件数目时,各构件间卡住不动,这两种情况都不成为机构。只有当自由度数目等于原动件数目时,各构件间才具有确定的相对运动,运动链才成为机构。

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。

$$F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' \quad (1.2)$$

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;虚约束数目 $p' = 2p'_l + p'_h - 3n'$ (组成虚约束的构件数 n' , 低副数 p'_l , 高副数 p'_h)。

值得注意的是:对同一机构,用式(1.1)与用式(1.2)计算 F 的结果是一样的,但两式中 n 、 p_l 、 p_h 虽符号一样,但数值可能不一样。另外,式(1.2)中 p' 的计算也是容易出错的。

4. 平面机构结构分类

机构的拆组分析:将机构分解为机架和原动件及若干个基本杆组(不能再拆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。

由 2 个构件和 3 个低副构成的基本杆组称 II 级组;由 4 个构件和 6 个低副组成,且都含有一个具有 3 个低副构件的基本杆组称为 III 级组(更高级的基本杆组很少见,不作要求)。同一机构中可以包含不同级别的基本杆组,机构的级别就是其基本杆组中的最高级别。同一机构取不同构件为原动件时,机构的级别可能有变化。

5. 平面机构的高副低代

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。

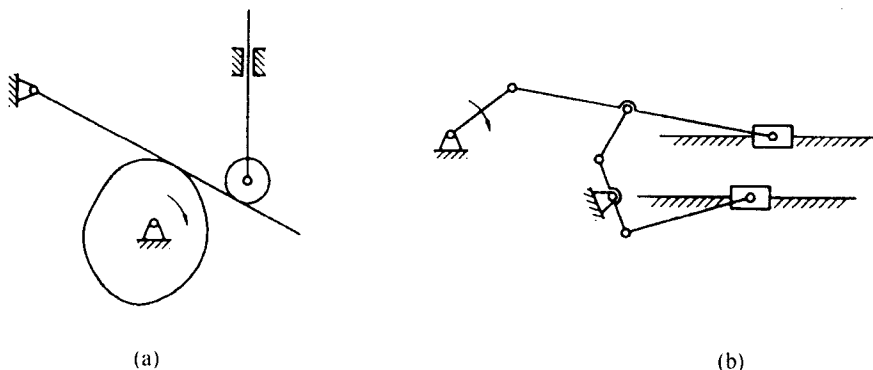
高副低代的方法是:首先找到两个高副元素接触点处的曲率中心,再用一个虚拟的杆(画虚线)将这两个曲率中心连起来,两曲率中心处为两转动副。若两高副元素之一为直线,则其曲率中心在无穷远处,低代时虚拟杆与高副直线元素联接的运动副为移动副。

1.3 典型题解析

本章试题的主要类型是机构自由度计算,各校试题中均有涉及。另有部分院校试题中含机构运动简图绘制、高副低代和杆组分解、基本杆组级别判定及机构级别判定内容。

西北工业大学教材^[1.7]中采用式(1.1)和式(1.2)两种方法计算机构自由度,其它教材只讲用式(1.1)的一种算法,本书例题及试题解答都用两种方法。

例 1.1 (浙江大学 1999 年考研试题)计算图示机构的自由度,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。(12 分)



例 1.1 图

解题要点:

(a) 图中小圆滚子的自转不影响其它各构件之间的相对运动,属局部自由度。第一种算法是按公式(1.1),把小圆滚子当做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。第二种算法是按公式(1.2),未排除局部自由度,活动构件为 4 个,平面低副也为 4 个,没有虚约束,平面高副仍为 2 个。两种算法结果相同,考生可任选一种算法。

解:

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

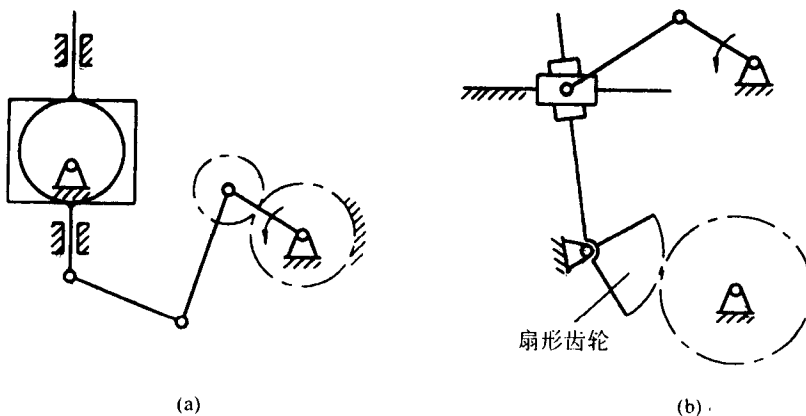
$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 4 - (2 \times 4 + 2 - 0) - 1 = 1$$

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

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

该机构具有确定的相对运动。

例 1.2 (华中理工大学 1998 年考研试题)计算图示机构的自由度,并判断机构是否具有确定的运动,说明如何才能使机构具有确定的运动。(10 分)



例 1.2 图

解:

$$(a) F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 6 - (2 \times 7 + 2) = 2$$

$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 6 - (2 \times 8 + 3 - 3) - 0 = 2$$

式中两处虚约束:凸轮处及导轨处: $p' = 2p'_l + p'_h - 3n' = 2 \times 1 + 1 - 0 = 3$ 。

因只有一个单自由度原动件,机构自由度为 2,所以运动不确定。

若将活动齿轮与连杆固定成一个构件,则: $F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 5 - (2 \times 6 + 2) = 1$,机构就具有确定的相对运动了。

说明:

使该机构具有确定运动的方法还有多种,如将圆偏心凸轮也作为原动件等。

$$(b) F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 6 - (2 \times 8 + 1) = 1$$

$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 6 - (2 \times 8 + 1 - 0) - 0 = 1$$

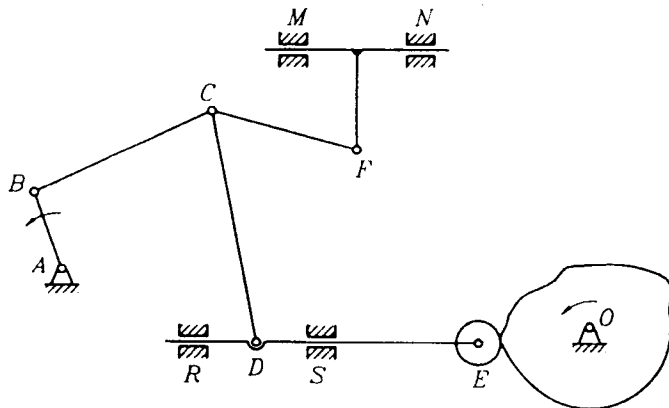
该机构具有确定的相对运动。

说明:

此题难点在于正确计算运动副数目。在两个滑块与连杆、导杆交叉点处,共有 5 个构

件,组成4个运动副(2个回转副、2个移动副)。另外,注意扇形齿轮与导杆是一个构件。

例1.3 (北京邮电大学1998年考研试题)试计算如图所示机构的自由度,并指出局部自由度、复合铰链和虚约束,最后判定该机构是否具有确定的运动规律(标箭号的构件是原动件)。(20分)



例 1.3 图

解:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 7 - (2 \times 9 + 1) = 2$$

$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 8 - (2 \times 12 + 1 - 4) - 1 = 2$$

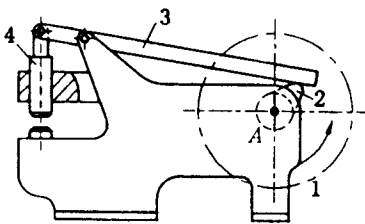
该机构中 E 处有一个局部自由度; C 处为复合铰链; M 与 N 、 R 与 S 均有一个虚约束。该机构具有确定的相对运动。

说明:

(1) C 处为3个构件组成的复合铰链,其转动副数目为2;

(2) M 与 N 、 R 与 S 均为两个构件在两处组成移动副,且轴线重合,所以,均有一个虚约束。其虚约束数: $p' = 2p'_l + p'_h - 3n' = 2 \times 2 + 0 - 0 = 4$ 。

例1.4 (国防科技大学1999年考研试题)图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)。



例 1.4 图

(10分)

解:

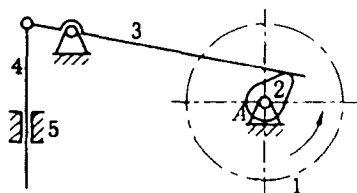
机构运动简图见例1.4答图(a)示,图中 $\mu_l = 0.04\text{m/mm}$ 。

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

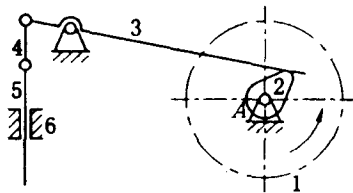
该简易冲床设计方案的机构不能运动。

修改措施：

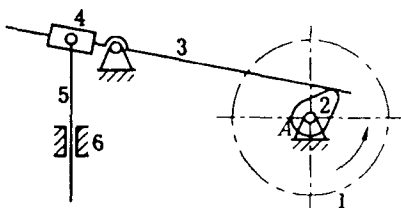
- ①在构件 3、4 之间加一连杆及一个转动副(例 1.4 答图(b)示)；
- ②在构件 3、4 之间加一滑块及一个移动副(例 1.4 答图(c)示)；
- ③在构件 3、4 间加一局部自由度滚子及一个平面高副(例 1.4 答图(d)示)。



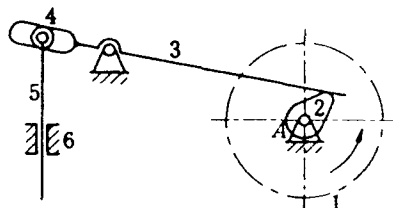
(a)



(b)



(c)



(d)

例 1.4 答图

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 $\frac{\text{图纸尺寸 (mm)}}{\text{实物尺寸 (mm)}}$ 。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。

(4) 修改措施还可提出几种, 如 3 杆可利用凸轮轮廓与推杆 4 接触来推动 4 杆等。

例 1.5 (北方交通大学 1996 年考研试题) 试分析图示两个机构: ①若在机构中具有复合铰链、局部自由度、虚约束, 请说明在何处。②计算机机构的自由度, 分析其运动的确定性, 并说明机构的组成是否合理, 若不合理应怎样修改? (12 分)

解：

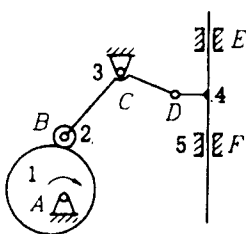
(a) ① B 处有一局部自由度; E、F 处为 4、5 两构件组成移动副, 且方向重合, 属虚约束, $p' = 2p'_l + p'_h - 3n' = 2p'_l = 2$ 。

② $F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 3 - (2 \times 4 + 1) = 0$

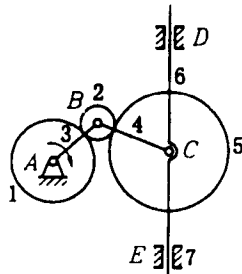
$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F'$$

$$= 3 \times 4 - (2 \times 6 + 1 - 2) - 1 = 0$$

该机构自由度为零,不能运动,机构的组成不合理。修改方法为在 D 处加一杆和一个转动副;或在 D 处加一个滑块和一个移动副;或将 D 铰链变为局部自由度转动副和一个高副等(与例 1.4 类似)。



(a)



(b)

例 1.5 图

(b)① B 处为构件 2、3、4 组成的复合铰链, C 处为构件 4、5、6 组成的复合铰链; D 、 E 处为两构件 6、7 组成的移动副,且方向重合,属虚约束, $p' = 2p'_l + p'_h - 3n' = 2p' = 2$ 。

$$\text{② } F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 6 - (2 \times 7 + 2) = 2$$

$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 6 - (2 \times 8 + 2 - 2) - 0 = 2$$

$$D、E \text{ 处虚约束: } p' = 2p'_l + p'_h - 3n' = 2p'_l = 2。$$

该机构自由度为 2,只有一个单自由度原动件,机构运动不确定,机构组成不合理。修改办法为将构件 1 也变为原动件,或将构件 1 改为固定件等。

例 1.6 (清华大学 1997 年考研试题)试对图示机构进行分析。在图中标出复合铰链、局部自由度和虚约束,求出机构的自由度。(8 分)

解题要点:

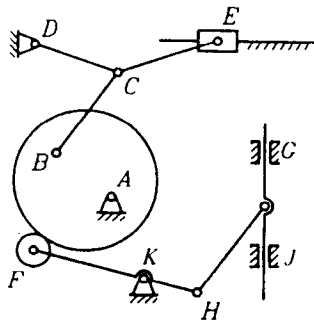
C 处三杆组成复合铰链, F 处为局部自由度; G 、 J 为二构件组成的二个移动副,且方向重合,属虚约束, $p' = 2p'_l + p'_h - 3n' = 2p'_l = 2$ 。

解:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 8 - (2 \times 11 + 1) = 1$$

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

$$= 3 \times 9 - (2 \times 13 + 1 - 2) - 1 = 1$$



例 1.6 图

例 1.7 (上海交通大学 1998 年考研试题)计算电锯机构的自由度,并将其中的高副化为低副(图示出)以及确定机构所含杆组的数目和级别,并判定机构的级别。(10 分)

解:

$$F = 3n - (2p_l + p_h) = 3 \times 8 - (2 \times 11 + 1) - 1 = 1$$

$$\text{或 } F = 3n - (2p_l + p_h - p') - F' = 3 \times 9 - (2 \times 12 + 1 - 0) - 1 = 1$$

将高副化为低副后该机构示意图如例 1.7 答图(a)示。

该机构所含基本杆组:构件 2、3 组成 II 级组;构件 4、5 组成 II 级组;构件 6、7 组成 II 级组;构件 8、9 组成 II 级组,共 4 个 II 级组(例 1.7 答图(b)示)。该机构为 II 级机构。