

118

71-1111
[3]

新编考研辅导丛书

机械原理辅导

李芳伟 孙怀安 李团结 编著



A0956104

西安电子科技大学出版社

2001

内 容 简 介

本书根据原国家教委颁布的《高等工业学校机械原理教学基本要求》编写而成。全书分为：平面机构的结构分析、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、机械中的摩擦和机械效率、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、轮系、其他常用机构、机械的运转及其速度波动的调节、机械的平衡等十一章。每章内容包括重点、难点、考点，典型例题分析，自测题三个部分。其中考点既概括了课程的基本内容，也指出了命题的一般方向。书后附有国内几所高校硕士研究生入学考试的试题。

本书可作为报考硕士学位研究生人员的复习辅导教材和各类学生机械原理课程的自学和辅助教材，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

机械原理辅导/李芳伟等编著. —西安：西安电子科技大学出版社，2001.9

(新编考研辅导丛书)

ISBN 7-5606-1038-2

I. 机… I. 李… III. 机构学-研究生-入学考试-自学参考资料 IV. TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 041015 号

责任编辑 李惠萍 汪雨帆

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安兰翔印刷厂

版 次 2001年9月第1版 2001年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 11.5

字 数 221千字

印 数 1~4 000册

定 价 15.00元

ISBN 7-5606-1038-2/TH·0027

*** 如有印装问题可调换 ***

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志，无标志者不得销售。

《新编考研辅导丛书》编审委员会

主任委员：	傅丰林	副校长	教授
副主任委员：	焦李成	博士生导师	教授
委 员：	刘三阳	博士生导师	教授
	曾兴雯		教授
	孙肖子		教授
	李伯成		教授
	张永瑞		教授

序

人类走过了又一个千年之交。世界正在发生深刻变化。这一变化是 20 世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果,她已经成为推动社会发展与文明进步的革命性力量。人类走过了农业经济时代、工业经济时代,正在进入知识经济时代。

自 1978 年国家恢复招收研究生和 1980 年建立学位制度至今,研究生教育已经走过了 20 多年的历程,她是我国教育结构中最高层次的教育,肩负着为国家现代化培养高素质、高层次创造性人才的重任,是我国增强综合国力、增强国际竞争力的重要支撑力量。研究生教育的改革和发展,直接关系到 21 世纪我国第三步战略目标的实现。

西安电子科技大学是一所有 70 年历史的教育部直属的重点高等学校,也是国家“211”重点建设高校,同时又是国家首批具有硕士、博士授予权的单位之一。现有在校生 15 000 多人,其中研究生 2000 余人。学校建有研究生院等 10 个学院,有 3 个国家重点学科和 27 个省部级重点学科;同时建有 3 个国家重点实验室和 16 个省部级重点实验室,在“通信与信息系统”、“信号与信息处理”、“电路与系统”、“微电子与固体电子学”、“电磁场与微波技术”和“密码学”等领域设有“长江计划”特聘教授岗位。近年来,西安电子科技大学研究生教育得到了迅速的发展,年招生已超过 1000 人,招生质量和培养质量在省内名列前茅。毕业生遍布国内外,受到了广泛赞誉。

当前,研究生教育面临新的挑战,同时给研究生教育的发展带来了新的机遇。如何选拔优秀人才是一项长期的研究课题。西安电子科技大学出版社组织我校长期在教学科研第一线、在国内有一定知名度的教授编写了这套考研辅导丛书,并从重点、难点、考点、典型例题分析及自测题等方面进行有剖析、对比总结性的阐述,有助于考生在有限的时间内复习所学内容,并有新的提高和启发。

我们相信此套丛书的出版对我国工科电子信息类研究生教育的发展会起到积极的促进作用。

西安电子科技大学研究生院
博士生导师 焦李成
2000 年 7 月

前 言

机械原理课程是高等工业学校机械类专业普遍开设的一门主干技术基础课程，它在培养机械类高级技术人才的全局中起着十分重要的作用，因而也常作为高校机械类专业硕士研究生入学考试的必考课程。为了帮助学生学好这门课程，特别是为了满足许多硕士研究生报考者复习需要指导的迫切愿望，我们编写了这本书。本书是“新编考研辅导丛书”之一。

本书共 11 章，每章内容包括重点、难点、考点，典型例题分析，自测题三个部分。根据原国家教委颁布的《高等工业学校机械原理课程基本要求》的规定，本书总结性地重点介绍了机械原理课程的基本概念、基本理论、基本的分析和设计方法，明确地给出了难点及其解决途径。而考点则是根据编者对课程内容的理解，对各校大量考题的研究以及自己多年命题经验的积累归纳而成的。典型例题的选择是与考点所指示的方向相符合的，并在题解中对解题思路、解题方法作了较为详细地分析说明，以利于学生掌握考点的具体内容及解题的一般规律。自测题不同于一般的习题，它符合考点的精神，其中的每一道题都可作为一个考题，各章自测题的适当组合就可成为一套模拟试题。书后附有国内几所重点院校硕士学位研究生入学考试的试题。

参加本书编写的有李团结(编写第 1、2 章)、孙怀安(编写第 6、7、8、9 章)、李芳伟(编写第 3、4、5、10、11 章)，由李芳伟担任主编。

本书可作为考研者机械原理课程的复习资料以及机械类、近机类各类大学生机械原理课程的自学和辅助教材，也可供有关教师及工程技术人员参考。

由于编者水平所限，书中难免有错误和欠妥之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

2001 年 8 月

第 1 章 平面机构的结构分析	1
1.1 重点、难点、考点	1
1.1.1 本章重点	1
1.1.2 本章难点	5
1.1.3 本章考点	6
1.2 典型例题分析	6
1.3 自测题	15
第 2 章 平面机构的运动分析	18
2.1 重点、难点、考点	18
2.1.1 本章重点	18
2.1.2 本章难点	24
2.1.3 本章考点	25
2.2 典型例题分析	25
2.3 自测题	43
第 3 章 平面机构的力分析	47
3.1 重点、难点、考点	47
3.1.1 本章重点	47
3.1.2 本章难点	50
3.1.3 本章考点	50
3.2 典型例题分析	50
3.3 自测题	56
第 4 章 机械中的摩擦和机械效率	59
4.1 重点、难点、考点	59
4.1.1 本章重点	59
4.1.2 本章难点	63
4.1.3 本章考点	63
4.2 典型例题分析	64
4.3 自测题	71

第 5 章 平面连杆机构及其设计	74
5.1 重点、难点、考点	74
5.1.1 本章重点	74
5.1.2 本章难点	79
5.1.3 本章考点	79
5.2 典型例题分析	80
5.3 自测题	87
第 6 章 凸轮机构及其设计	90
6.1 重点、难点、考点	90
6.1.1 本章重点	90
6.1.2 本章难点	96
6.1.3 本章考点	96
6.2 典型例题分析	97
6.3 自测题	101
第 7 章 齿轮机构及其设计	104
7.1 重点、难点、考点	104
7.1.1 本章重点	104
7.1.2 本章难点	112
7.1.3 本章考点	112
7.2 典型例题分析	113
7.3 自测题	118
第 8 章 轮系	122
8.1 重点、难点、考点	122
8.1.1 本章重点	122
8.1.2 本章难点	125
8.1.3 本章考点	126
8.2 典型例题分析	126
8.3 自测题	132
第 9 章 其他常用机构	136
9.1 重点、难点、考点	136
9.1.1 本章重点	136
9.1.2 本章难点	139

9.1.3 本章考点	139
9.2 典型例题分析	139
9.3 自测题	141
第 10 章 机械的运转及其速度波动的调节	142
10.1 重点、难点、考点	142
10.1.1 本章重点	142
10.1.2 本章难点	144
10.1.3 本章考点	145
10.2 典型例题分析	145
10.3 自测题	151
第 11 章 机械的平衡	155
11.1 重点、难点、考点	155
11.1.1 本章重点	155
11.1.2 本章难点	157
11.1.3 本章考点	157
11.2 典型例题分析	157
11.3 自测题	161
附录	164
I. 1998 年上海交通大学研究生入学考试试题	164
II. 2000 年西北工业大学研究生入学考试试题	166
III. 1999 年西安电子科技大学研究生入学考试试题	168
参考文献	172

第1章

平面机构的结构分析

1.1 重点、难点、考点

1.1.1 本章重点

本章的重点是：机构中的构件、运动副、运动链、机构、自由度和虚约束等概念，机构运动简图的绘制，机构具有确定运动的条件和平面机构自由度的正确计算。

至于平面机构的组成原理、结构分析、分类以及高副低代等内容，则属于拓宽知识面性质的。

1. 有关机构组成的基本概念

(1) 构件

构件是机器中独立的运动单元体，是组成机构的基本要素之一。零件是机器中加工制造的单元体，一个构件可以是一个零件，也可以是由若干个零件刚性联接在一起的一个独立运动的整体。构件在图形表达上是用规定的最简单的线条或几何图形来表示的，但从运动学的角度看，构件又可视作任意大的平面刚体。

(2) 运动副

运动副是由两构件组成的相对可动的联接部分，是组成机构的又一基本要素。由运动副的定义可以看出运动副的基本特征为：

- ① 具有一定的接触表面，两构件参与接触的表面称为运动副元素；
- ② 能产生一定的相对运动。

因此，运动副可按下述情况分类：

- ① 根据两构件的接触情况分为高副和低副，其中通过点或线接触的运动副称作高副，

以面接触的运动副称作低副。

② 按构成运动副两构件之间所能产生相对运动的形式分为转动副(又称作铰链)、移动副、螺旋副和球面副等。

③ 因为运动副起着限制两构件之间某些相对运动的作用,所以运动副可根据其所引入约束的数目分为Ⅰ级副、Ⅱ级副、Ⅲ级副、Ⅳ级副和Ⅴ级副。

在实际机械中,经常出现某一构件与其他构件在多处接触的联接情况,这时应注意分析各处接触所引入的约束情况,并根据所引入独立约束的数目来判定两构件形成运动副的类别及数目。总之,两构件构成的运动副应至少引入一个约束,也至少应具有一个自由度。因此,平面运动副的最大约束数为2,最小约束数为1。运动副的图形表达应按照国家标准的规定来进行。

(3) 运动链

运动链是两个或两个以上的构件通过运动副联接而构成的相对可动的系统。如果构成的系统是相对不可动的,则称为桁架或结构件,即蜕变为一个构件。运动链可以是首末封闭的闭链,也可以是未封闭的开链。根据运动链中各构件间相对运动的形式,又有平面运动链和空间运动链之分。

(4) 机构

机构是一种用来传递运动和力的可动装置。从运动的观点来看,机构是具有确定相对运动规律的构件组合体。从机构的组成来看,机构是具有一个固定构件的运动链。机构中的固定构件或相对固定的构件称为机架,它可以作为研究运动时的参考坐标系。机构中按给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件或主动件,而其余随原动件运动的可动构件称为从动件,从动件的运动规律取决于原动件的运动规律和机构的结构。

2. 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,当机构的原动件按照给定的运动规律运动时,该机构中其余各构件的运动也都应是完全确定的,即机构必须具有确定的运动,其运动确定的条件是机构原动件的数目应等于机构自由度的数目;否则机构的运动将不确定,或者就没有运动的可能性。因此,在分析现有机械或设计新机械时,必须考察所设计的机构是否满足机构具有确定运动的条件。

3. 机构运动简图及其绘制

机构各部分的相对运动只决定于各构件间组成的运动副类型(转动副、移动副和高副等)和各构件的运动尺寸(即确定各运动副相对位置的尺寸),而与构件的形状和外形尺寸

等因素无关。所以,描述机构运动原理的图形可以根据机构的运动尺寸,按一定的比例定出各运动副的位置,再用规定的运动副的代表符号和代表构件的简单线条或几何图形将机构的运动情况表示出来。这种与实际机构位置对应、尺寸成比例的简单图形称为机构运动简图。可以看出,机构运动简图是剔除了与运动无关的因素而画出来的简图,它清楚地揭示机构的运动特性。而设计机构,也就是要确定机构方案和与运动有关的尺寸,即设计机构运动简图。

机构运动简图绘制的步骤和方法为:

① 认清机架、输入构件和输出构件。

② 分清构件并编号。首先使主动件运动起来,然后从主动件开始,按构件是运动单元体的概念分清机构中有几个构件,并将构件(包括机架)按连接顺序编号。

③ 认清运动副类型并编号。根据两构件间的相对运动形态或运动副元素的形状,认清运动副的类型并依次编号,如 A、B、C、……

④ 恰当地选择作图的投影平面。选择时应以能最简单、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。

⑤ 以机架为参考坐标系,将主动件置于一个适当的位置,按比例定出各运动副的位置并画出各运动副的符号,注出编号。

以机架为参考坐标系,就是可先定出机架上运动副的位置,并以此位置作为基准,画出机构中各构件相对于机架的位置关系,所以机架本身是否水平或倾斜是不必考虑的。

将主动件置于适当位置的目的是使画出的机构运动简图清晰,就是使代表构件的线条尽量不交叉和重叠。

⑥ 将同一构件的运动副用简单的线条连起来代表构件,并注出构件编号和原动件的转向箭头,这样便绘出了机构的运动简图。

4. 平面机构自由度的计算

(1) 平面一般机构自由度的计算

平面一般机构自由度的计算公式为:

$$F = 3n - 2p_L - p_H \quad (1.1)$$

式中 F ——机构的自由度;

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。

为了使 F 计算正确,必须正确判断机构中 n 、 p_L 和 p_H 的数目,因此,应特别注意处理好下列三种情况:

① 要正确判定机构中构件的数目和运动副的数目。

构件是机构中的运动单元体，所以，不论构件的结构如何复杂，只要是同一个运动单元体，它就是一个构件。

运动副数目的确定应注意复合铰链的存在，即当 $m(m > 2)$ 个构件同在一处以转动副联接时，则构成复合铰链，其转动副数应为 $(m-1)$ 个。

② 要除去局部自由度。

局部自由度是指在有些机构中某些构件所产生的、不影响机构其他构件运动的局部运动的自由度。在计算机构的自由度时，应将机构中的局部自由度除去不计（例如在凸轮机构中，可以认为从动件的滚子与从动件相固结）。

③ 要除去虚约束。

虚约束是指机构中某些对机构的运动无约束作用的约束。在大多数情况下，虚约束用来改善机构的受力状况，但虚约束的存在总是使机构自由度的名义数目降低，因此，在计算机构的自由度时，应将引入虚约束的运动副和构件除去不计，以达到正确计算机构自由度的目的。

其中当两个构件构成运动副时，应注意以下情况：

- 当两构件在几处接触而构成移动副，且各接触处两构件相对移动的方向彼此平行，或者两构件在几处配合而构成转动副且转动轴线重合时，只算一个低副（其余低副处的约束可以认为是虚约束）。

- 当两构件在几处接触而构成平面高副时，若各接触点处的公法线重合，应视为一个高副；若各接触点处的公法线不相重合，这时各接触点处提供的约束已不再是同一约束，例如若两构件在两处接触而形成平面高副，两个接触点处公法线方向并不彼此重合，而是相交或平行，则应算作两个平面高副或相当于一个平面低副。

总之，在计算机构的自由度时，先要正确分析并明确指出机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束，并将局部自由度和虚约束除去不计，再利用式(1.1)来计算机构的自由度。最后还应检验计算得到的自由度是否与机构中原动件的数目相等。

计算平面机构自由度的另一种方法是：先分析并明确指出机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束，进而确定机构中局部自由度的数目 F' 和虚约束的数目 p' ，然后直接利用下面的公式计算其自由度：

$$F = 3n' - (2p_L' + p_H' - p') - F' \quad (1.2)$$

式中 n' , p_L' , p_H' ——未除去局部自由度和虚约束时机构中所有的活动构件数、低副数和高副数。

(2) 纯移动副平面机构自由度的计算

对于仅有移动副组成的平面机构，由于每一个构件不存在转动的运动，只有移动运

动,所以每一个没有装配起来的构件的自由度为2,因此,纯移动副平面机构自由度的计算不能用式(1.1)。可用下面的公式计算纯移动副平面机构的自由度:

$$F = 2n - p_L \quad (1.3)$$

式中 n ——机构中活动构件的数目;

p_L ——机构中移动副的数目。

(3) 含有齿轮副平面机构自由度的计算

在计算含有齿轮副平面机构的自由度时,关键是要正确分析齿轮副所提供的约束情况。

如果构成一个齿轮副(包括内、外啮合副和齿轮与齿条啮合副)的两齿轮(包括齿条)的转动中心分别以平面低副与同一个构件相连接,即两齿轮转动中心的相对位置被约束,此时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,故只能算作为一个高副。

如果一对齿轮副的两齿轮中心相对位置未被约束,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等效为一个转动副。

在正确分析了含有齿轮副平面机构中各个齿轮副所提供的约束情况后,就可以利用公式(1.1)来计算此类机构的自由度了。

对于本章中平面机构的组成原理、结构分析以及高副低代的内容,应着重掌握机构的组成分析、机构的级别判定和高副低代的方法,具体应明确以下几点:

- ① 一个机构是由若干个基本杆组依次联接于原动件和机架而构成的。
- ② 机构的分级是以拆下杆组中的最高级别为机构的级别。
- ③ 同一机构若取不同的构件为原动件,则可能属于不同级别的机构。
- ④ 高副低代应满足的两个条件和具体的替代方法。

1.1.2 本章难点

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,以及含齿轮副平面机构自由度的计算。

1. 正确识别和处理机构中存在的虚约束

要正确识别和处理机构中存在的虚约束,应注意以下几点:

(1) 正确理解虚约束的概念

在机构中,两构件构成运动副所引入的约束起着限制两构件之间某些相对运动,使相对运动或自由度减少的作用。但在机构中,某些运动副和构件带入的约束可能与机构所受

的其他约束相重复,因而对机构的运动实际上不起约束作用,这种约束就是虚约束。

(2) 机构中存在虚约束的一些比较常见的情况

由于机构中的虚约束都是在一些特定的几何条件下出现的,而具体情况又较为复杂,因此要注意根据机构中给定的几何条件来加以分析判定。机构中出现虚约束的情况通常有以下几种:

① 如果用转动副联接的是两构件上运动轨迹相重合的点,则该联接将带入一个虚约束。

② 在机构运动过程中,若两构件上某两点之间的距离始终保持不变,如用双转动副杆将此两点相连,则将带入一个虚约束。

③ 机构中某些不影响机构运动传递的重复部分所带入的约束为虚约束。

④ 存在虚约束的机构,一般常具有相似或对称的结构特征,所以,如研究的机构在结构上具有相似或对称部分,就有可能存在虚约束,因而就要注意分析,以免发生错误。

2. 含有齿轮副平面机构自由度的计算

关键是先要正确分析机构中各个齿轮副所提供的约束情况,再根据式(1.1)来计算。应注意以下两点:

① 如果一对齿轮副的两轮中心相对位置被约束,则这对齿轮副提供的约束度为 1,即为一个高副。

② 如果一对齿轮副的两轮中心相对位置未被约束,则这对齿轮副提供的约束度为 2,即为两个高副或相当于一个转动副。

1.1.3 本章考点

本章的考点有以下几方面:

① 有关机构中的构件、运动副、运动链、机构、自由度、复合铰链、局部自由度和虚约束等基本概念。

② 正确运用规定的符号绘制常用机构的机构运动简图。

③ 机构具有确定运动的条件和平面机构的自由度计算。

在计算平面机构的自由度时,应注意机构中是否存在复合铰链、局部自由度和虚约束,并给予正确的处理。

1.2 典型例题分析

例 1.1 图 1.1(a)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, 而固定在轴 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, 分析其是否能实现设计意图, 并提出修改方案。

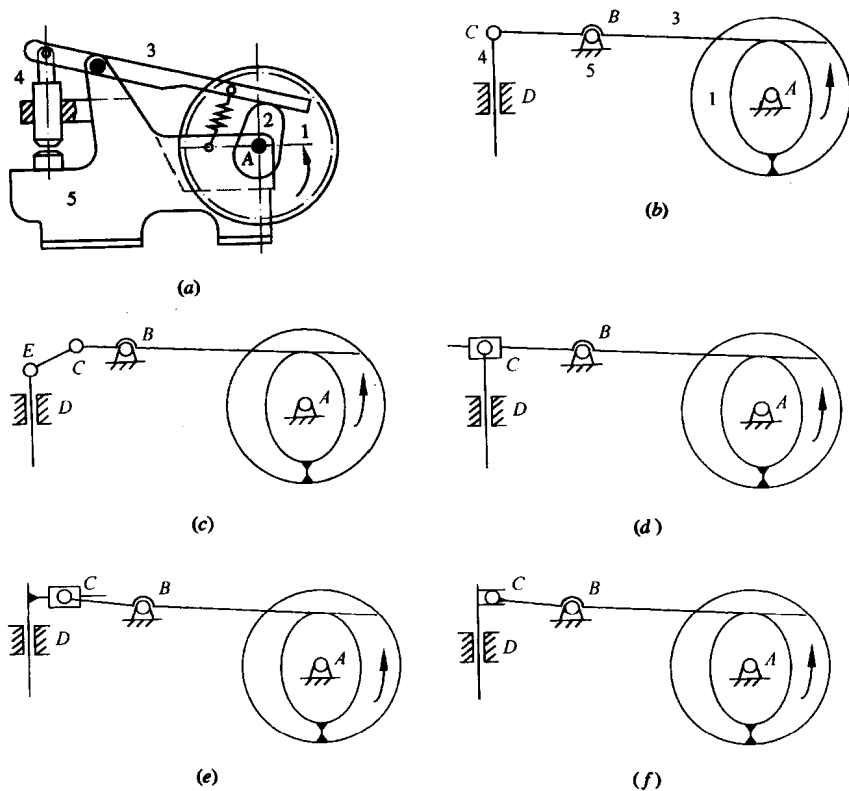


图 1.1

解: 选取比例尺 μ_l 作机构运动简图, 如图 1.1(b) 所示。由此图可知, $n=3$, $p_L=4$, $p_H=1$, 则该机构的自由度为 $F=3n-2p_L-p_H=3\times 3-2\times 4-1=0$, 此计算结果表明该冲床机构不能运动, 为一结构件。事实上该机构根本就不能动, 因为构件 3 与构件 4 的铰接点 C 不能同时实现沿 CD 方向运动又沿以 B 为圆心、 L_{BC} 为半径的圆弧运动。因此该机构不能实现设计意图。

为了使此机构能运动, 需在 C 处增加一个自由度, 其改进后的四种方案如图 1.1(c)、(d)、(e)、(f) 所示, 它们的自由度都是 1, 等于机构中原动件的数目。

从此例题可以得出以下结论:

① 判断一个运动链是否为机构, 应满足的条件是:

- 运动链中必须有一个固定构件，即机架；
- 运动链必须可动，不能为结构件或桁架，即 $F \geq 1$ ；
- 应具有确定运动，即机构中原动件的数目应等于其自由度的数目。

② 在分析现有机械或设计新机械时，在画出其机构运动简图后，应检验该机构是否满足机构具有确定运动的条件，否则将导致机构结构组成上的错误。

③ 增加机构自由度的方法是：在机构的适当位置上添加一个活动构件和一个低副(图 1.1(c)、(d)、(e))或者用一个高副去代替原来机构中的一个低副(图 1.1(f))。

④ 从机构运动的观点来看，机构结构组成的改进往往有多种方案，例如本例题还可以在运动副 B 处通过增加一个自由度来进行改进。至于选定哪一种修改方案为最佳，还必须根据实际中的许多因素加以分析、比较来决定。

例 1.2 请绘制图 1.2(a)所示偏心回转油泵机构的运动简图(其各部分尺寸可由图中直接量取)，并判断该机构是否具有确定的运动。图中偏心轮 1 绕固定轴心 A 转动，外环 2 上的叶片 a 可在可绕轴心 C 转动的圆柱 3 中滑动。当偏心轮 1 按图示方向连续回转时，可将低压油由右端吸入，高压油从左端排出。

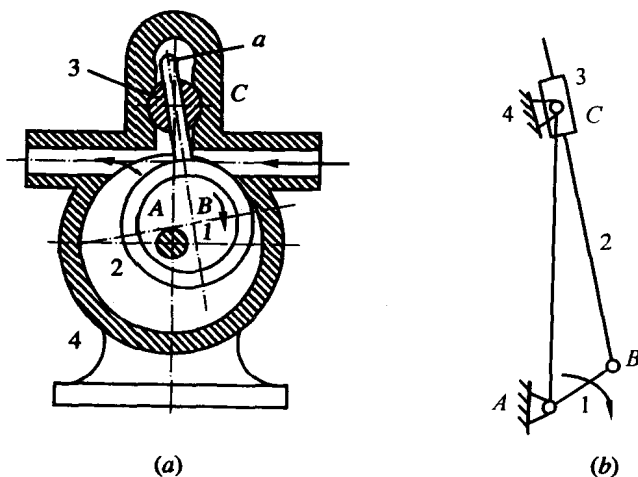


图 1.2

解：① 选取合适的长度比例尺 μ_l 绘制此机构的运动简图，如图 1.2(b)所示。

② 计算机构的自由度。

此机构为曲柄摇块机构。由图 1.2(b)可知， $n=3$ ， $p_L=4$ ， $p_H=0$ ，由式(1.1)计算该机构的自由度为

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

又该机构有一个原动件，所以此机构具有确定的运动。

例 1.3 计算图 1.3 所示凸轮一连杆组合机构的自由度。

解：在图 1.3 中， B, E 两处的滚子转动为局部自由度， C, F 处虽各有两处与机架接触构成移动副，但都各算一个移动副，该机构在 D 处虽存在轨迹重合的问题，但由于 D 处相铰接的双滑块为一个自由度为零的Ⅱ级杆组，即 D 处未引入约束，故机构中不存在虚约束。

解法 1：将机构中的局部自由度除去不计，则有 $n=5$ ， $p_L=6$ ， $p_H=2$ ，于是由式 (1.1) 可得该机构的自由度为

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 2 = 1$$

解法 2：根据式 (1.2) 来计算该机构的自由度，此时， $n'=7$ ， $p_L'=8$ ， $p_H'=2$ ， $p'=0$ ， $F'=2$ ，于是由式 (1.2) 计算该机构的自由度为

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

两种解法结果相同。

通过此例题可以看出：无论用哪一个公式计算机构的自由度，都应先正确分析和判断机构中存在的局部自由度、虚约束和复合铰链，并要明确指出。利用式 (1.2) 计算机构的自由度时，必须正确确定机构中存在的局部自由度数和虚约束数。

注意：如果将该机构中 D 处相铰接的双滑块改为相固联的十字滑块，则机构中就存在一个虚约束。

例 1.4 计算图 1.4 所示的精压机构的自由度。

解：由图 1.4 可以发现，该机构中存在结构对称部分，从传递运动的独立性来看，有机构 $ABCDE$ 就可以了，而其余部分为不影响机构运动传递的重复部分，故引入了虚约束。

解法 1：将机构中引入虚约束的重复部分去掉不计，则 $n=5$ ， $p_L=7$ (C 处为复合铰链)， $p_H=0$ ，于是由式 (1.1) 可得该机构的自由度为

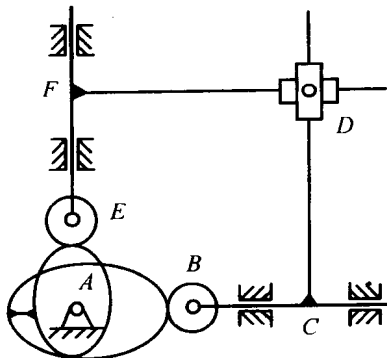


图 1.3

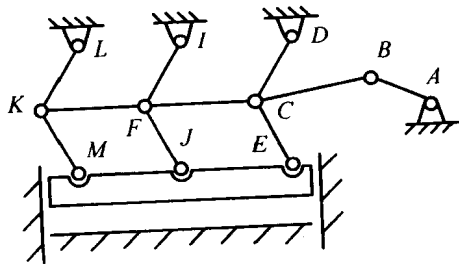


图 1.4