

普通高等教育“十二五”规划教材

机械原理习题集 及学习指导

第2版

王继荣 师忠秀 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

机械原理习题集 及学习指导

第2版

主 编	王继荣	师忠秀
副主编	张继忠	张艳萍
参 编	戴作强	李 军
主 审	杨家军	



机械工业出版社

前 言

机械原理课程是机械类各专业中研究机械共性的一门主干技术基础课程,在机械设计课程体系中占有重要地位。学好机械原理课程,一方面能够培养学生的机械系统创新设计能力,另一方面也为学好后续课程打下坚实基础。根据教育部机械基础课程教学指导分委员会 2009 年发布的“机械原理课程教学基本要求”和“机械原理课程教学改革建议”的精神,为了配合机械原理课程体系的改革,我们在总结二十多年来的教学经验的基础上,吸取了近几年教学改革的成功经验和同行专家及广大读者的意见,根据新的教材体系,编写了这本《机械原理习题集及学习指导》。

本书共 12 章,每章均包括教学基本要求、本章重点和难点内容、典型例题解析、习题和综合测试题五个部分,书末附有习题和综合测试题参考答案。本书的“教学基本要求”可以使学生对本章的要求有一个清晰的了解;“重点和难点内容”对学生应掌握的基本概念、基本公式、基本理论及方法进行了总结,对各章的重点和难点进行了全面的分析说明;“典型例题解析”注重解题思路、解题方法和解题技巧的讲解,提供了解题规范,对解题中的常见错误进行了分析,能够起到举一反三的作用;习题主要从机械原理教材、习题集以及国内各高校研究生入学考试试题中精选而来,类型多,覆盖面广,难度适宜;每章后的综合测试题可供教师上习题课或学生自测使用。

本书的主要特点是在编排上独树一帜,既有典型例题的精讲,也有精选、精编试题。在组织各章例题时,优选一些能突出教材难点及重点的例题,开阔学生思路,激发学生的思想火花,提高学生的学习主动性和积极性。通过必要的习题,有助于学生对所学知识基本理论的复习、巩固和提高;有助于把理论和实际运用有机、紧密地结合起来,提高分析问题和解决问题的能力。

本书注重培养学生思维的深度与广度,符合学分制改革和缩减机械原理课程辅助教材的要求,可作为教学参考书和考研者学习参考用书。

本书由王继荣和师忠秀担任主编,并编写第 1、3、4、5、9、12 章,由张继忠和张艳萍担任副主编,并编写第 2、7 章,由张艳萍、戴作强、李军编写第 6、8、10、11 章。全书由华中科技大学杨家军教授审阅并提供了宝贵的修改意见,这里深表谢意。在本书编写和出版过程中,得到了机械工业出版社的热情关注和大力支持,此外还要对所有关心和支持本书编写和出版的老师和学生表示诚挚的谢意。

欢迎并恳请各位同行及读者对本书予以批评和指正。

编 者
于山东青岛

《机械原理习题集及学习指导》

第2版

王继荣 师忠秀 主编

读者信息反馈表

尊敬的老师：

您好！感谢您多年来对机械工业出版社的支持和厚爱！为了进一步提高我社教材的出版质量，更好地为我国高等教育发展服务，欢迎您对我社的教材多提宝贵意见和建议。另外，如果您在教学中选用了本书，欢迎您对本书提出修改建议和意见。

机械工业出版社教材服务网网址：<http://www.cmpedu.com>

一、基本信息

姓名：_____ 性别：_____ 职称：_____ 职务：_____

邮编：_____ 地址：_____

任教课程：_____ 电话：_____ — _____ (H) _____ (O)

电子邮件：_____ 手机：_____

二、您对本书的意见和建议

(欢迎您指出本书的疏误之处)

三、对我们的其他意见和建议

请与我们联系：

100037 机械工业出版社·高等教育分社 刘小慧 收

Tel: 010—88379712, 88379715, 68994030 (Fax)

E-mail: lxh9592@126.com

目 录

前言

第1章 绪论	1	7.5 综合测试题	61
1.1 教学基本要求	1	第8章 轮系及其设计	63
1.2 本章重点和难点内容	1	8.1 教学基本要求	63
1.3 习题	2	8.2 本章重点和难点内容	63
第2章 机构的组成与结构分析	3	8.3 典型例题解析	65
2.1 教学基本要求	3	8.4 习题	68
2.2 本章重点和难点内容	3	8.5 综合测试题	70
2.3 典型例题解析	6	第9章 其他常用机构简介	73
2.4 习题	8	9.1 教学基本要求	73
2.5 综合测试题	10	9.2 本章重点和难点内容	73
第3章 连杆机构	12	9.3 典型例题解析	75
3.1 教学基本要求	12	9.4 习题	77
3.2 本章重点和难点内容	12	9.5 综合测试题	77
3.3 典型例题解析	14	第10章 机械的运转及其	
3.4 习题	19	速度波动的调节	79
3.5 综合测试题	21	10.1 教学基本要求	79
第4章 平面连杆机构的运动分析	23	10.2 本章重点和难点内容	79
4.1 教学基本要求	23	10.3 典型例题解析	81
4.2 本章重点和难点内容	23	10.4 习题	85
4.3 典型例题解析	24	10.5 综合测试题	87
4.4 习题	28	第11章 机械的平衡	89
4.5 综合测试题	30	11.1 教学基本要求	89
第5章 平面机构的力分析		11.2 本章重点和难点内容	89
和机械效率	31	11.3 典型例题解析	90
5.1 教学基本要求	31	11.4 习题	93
5.2 本章重点和难点内容	31	11.5 综合测试题	95
5.3 典型例题解析	33	第12章 机械执行系统运动方案	
5.4 习题	36	及其创新设计	97
5.5 综合测试题	38	12.1 教学基本要求	97
第6章 凸轮机构及其设计	40	12.2 本章重点和难点内容	97
6.1 教学基本要求	40	12.3 典型例题解析	102
6.2 本章重点和难点内容	40	12.4 习题	108
6.3 典型例题解析	42	12.5 综合测试题	110
6.4 习题	47	附录	111
6.5 综合测试题	49	附录1 习题参考答案	111
第7章 齿轮机构及其设计	52	附录2 综合测试题参考答案	114
7.1 教学基本要求	52	附录3 硕士生入学考试试题	117
7.2 本章重点和难点内容	52	参考文献	140
7.3 典型例题解析	53		
7.4 习题	59		

第1章 绪 论

1.1 教学基本要求

- 1) 了解机械原理课程的研究对象和内容以及地位、任务和作用。
- 2) 掌握机器、机构和机械的概念，了解机器和机构的用途、共性和区别。

1.2 本章重点和难点内容

本章的重点和难点是机器、机构和机械的概念，机器和机构的用途、共性和区别。

1. 机械

机械是机器与机构的总称。

2. 机器

虽然机器的种类繁多，各种机器的构造、用途和性能各不相同，但从其组成、各部分间的运动关系及功能关系来看，都具有以下几个共同的特征：

- 1) 它们都是一种人为的实物（机件）的组合体。
- 2) 组成它们的各部分之间都具有确定的相对运动。
- 3) 能够用来转换机械能或完成有益的机械功以减轻甚至代替人们的劳动。

凡同时具备上述三个特征的实物组合体就称为机器。

3. 机构

将能实现预期机械运动的机件的基本组合体称为机构。机构具有机器的前两个特征：

- 1) 它们都是人为的实物（机件）的组合体。
- 2) 组成机构的各运动实体之间具有确定的相对运动。

4. 机器和机构的用途、共性和区别

机构是能够用来传递运动和力或实现运动形式转换的多件实物（机件）的组合体，而机器则是由各种机构按一定规律巧妙组合而成的能实现预期机械运动并完成有用机械功或转换机械能的机构系统。二者研究问题的着重点不同，前者主要以组成原理、运动的分析和设计原理为研究内容，而后者主要强调减轻或代替人们劳动的功能作用，但就结构和运动的观点来看，两者之间并无区别。因此，人们常将二者统称为“机械”。

值得指出的是，随着近代科学技术的发展，机器和机构的概念也有了相应的扩展。例如，组成机构的构件在某些情况下已不能再简单地视为刚体，有些时候气体和液体也参与了实现预期的机械运动，特别是很多机器都包含了使其内部各机构正常动作的控制系统、信息处理与传递系统等。

现代机器通常是由动力部分、传动部分、执行机构系统和信息处理、传递与控制系统四部分组成的。现代机器是通过其内部的控制与信息处理装置使其实现预期的机械运动，用以

变换和传递能量、运送物料及处理信息，从而减轻或代替人们劳动的机电一体化综合系统。

1.3 习题

- 1-1 说明机构和机器的相同点及不同点。
- 1-2 电子手表和石英手表的差别在何处，哪种属于机械范畴？
- 1-3 机械式手表属于机构还是机器，为什么？
- 1-4 脚踏自行车和电动自行车相比，哪种属于机器范畴，它们都是机械吗？
- 1-5 脚踏缝纫机和电动缝纫机相比，哪种属于机器范畴，它们都是机械吗？
- 1-6 构件和零件的相同点和不同点是什么？
- 1-7 机械原理研究的对象是什么？

第2章 机构的组成与结构分析

2.1 教学基本要求

- 1) 掌握构件、运动副及运动链的定义，特别是掌握机构运动简图的绘制方法，能够将实际机构或机构的结构视图绘成机构运动简图，并学会在工程设计中运用机构运动简图。
- 2) 熟练掌握机构自由度的计算方法。能准确计算机构自由度，尤其是平面机构自由度。正确识别平面机构中存在的特殊情况，如复合铰链、局部自由度和虚约束，并做出正确计算。
- 3) 掌握运动链成为机构的条件。
- 4) 掌握机构的组成原理和结构分析的方法。了解高副低代的方法；能判定基本杆组、杆组的级别和机构的级别；学会根据机构的组成原理，用基本杆组、原动件和机架组成一个构思新颖的新机构的方法；学会把Ⅱ级、Ⅲ级机构分解为机架、原动件和若干基本杆组的方法。

2.2 本章重点和难点内容

本章的重点和难点是机构运动简图的绘制、机构自由度的计算、机构具有确定运动的条件以及机构的组成原理。

1. 基本概念

(1) 构件 一个独立影响机械功能并能独立运动的单元体。它既可以是一个零件，也可以由几个零件刚性联接而成。

(2) 运动副 凡两构件直接接触而又能作一定相对运动的可动联接。运动副按接触形式分为高副（即点或线接触的运动副）和低副（即面接触的运动副）；又可按所能产生的运动形式分为回转副、移动副、螺旋副及球面副等；此外还可以按运动副引入的约束数来分类，引入一个约束的运动副称为1级副、引入两个约束的运动副称为2级副，依此类推，还有3级副、4级副、5级副。

(3) 运动链 两个或两个以上的构件通过运动副联接而成的相对可动的系统。如果组成运动链的各构件构成首尾封闭的系统，则构成闭链；如果组成运动链的各构件未构成首尾封闭的系统，则构成开链。

(4) 机构 将运动链中的一个构件加以固定，当它的另一个或几个构件按给定运动规律相对于固定件运动时，其余各构件即随之作确定的相对运动，则此运动链便称为机构。机构中的固定件称为机架，按给定的已知运动规律运动的构件称为原动件，其余活动构件称为从动件。

(5) 运动链的自由度 确定运动链中各构件相对于其中某一构件的位置所需的独立变量的数目称为运动链的自由度。运动链成为机构的条件是：取运动链中的一个构件使之相对固定作为机架，则运动链相对于机架的自由度必须大于零，且原动件的数目等于运动链的自由度数。

2. 机构运动简图及其绘制

1) 从原理方案设计的角度看, 机构能否实现预定的运动和功能, 是由原动件的运动规律及各运动副的类型和机构的运动学尺寸来决定的, 与连接各构件的运动副的具体结构、外形(高副机构的轮廓形状除外)、断面尺寸、组成构件的零件数目及固联方式等无关。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, 再用国家标准规定的简单符号和线条代表运动副和构件, 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。

2) 机构运动简图的绘制方法和步骤如下:

a. 分析机械的动作原理、组成情况和运动情况, 确定其组成的各构件, 何为原动件、机架、执行部分和传动部分。

b. 沿着运动传递路线, 逐一分析每两个构件间相对运动的性质, 以确定运动副的类型和数目。

c. 合理选择投影面, 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, 一般选机构中多数构件的运动平面为投影面。

d. 选择适当的比例尺, 根据机构的运动尺寸, 先确定出各运动副的位置, 并画上相应的运动符号, 然后用简单的线条或几何图形连接起来绘出机构运动简图, 在机架上加上阴影线, 在原动件上标上箭头, 按传动路线给各构件依次标上件号 1、2、3... 将各运动副标上字母 A、B、C...

3. 机构自由度的计算

(1) 平面机构自由度计算 平面机构自由度的计算公式为

$$F = 3n - 2P_L - P_H$$

式中 n ——机构活动构件的数目;

P_L ——低副的数目;

P_H ——高副的数目。

在利用上式计算机构自由度时, 应注意处理好以下三种情况:

1) 复合铰链。是指两个以上构件在同一处以转动副相连时组成的运动副。准确识别复合铰链的关键是要分辨哪几个构件在同一处形成了转动副。

复合铰链的正确处理方法是: 若有 k 个构件在同一处形成复合铰链, 则其转动副的数目应为 $(k-1)$ 个。

2) 局部自由度。是机构中某些构件所具有的自由度, 它仅仅局限于该构件本身, 而并不影响其他构件的运动。局部自由度常发生在为减少高副磨损而将滑动摩擦变成滚动摩擦所增加的滚子处。在计算机构自由度时, 可将产生局部运动的构件与其相连的构件视为焊接在一起, 以达到去除构件中局部自由度的目的。

3) 虚约束。是机构中不产生实际约束效果的重复约束。在计算机构自由度时, 可将引入虚约束的构件及其运动副除去不计, 然后用自由度公式进行计算。

要正确判断机构中存在的虚约束, 应注意以下几点:

第一, 搞清虚约束的概念。在机构中, 两构件构成运动副所引入的约束是用来限制某些相对运动的。但在机构中, 某些运动链所带入的约束可能与机构所受的其他约束相重复, 即对相对运动的限制产生了重复, 因而对机构运动实际上起不到约束作用, 这种约束就是虚约束。

第二, 了解机构在什么情况下存在虚约束。

虚约束常发生在以下场合:

a. 两构件间构成多个运动副, 但其轴线互相重合; 两构件组成若干个移动副, 但其导路互相平行或重合; 两构件组成若干个平面高副, 但各接触点之间的距离为常数。在这些情况下, 各只有一个运动副起约束作用, 其余运动副所提供的约束均为虚约束。

b. 两构件上某两点间的距离在运动过程中始终保持不变, 如用双转动副杆将此两点相联, 则引入了一个虚约束。

c. 机构中对运动不起作用的对称部分。

综上所述, 机构中的虚约束都是在一些特定的几何条件下出现的。要特别强调的是如果这些几何条件不满足, 则所引入的约束就不再是虚约束, 而变成了有效约束, 此时机构也就不能运动了。

(2) 空间机构自由度计算 空间机构自由度的计算公式为

$$F = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1$$

式中 n ——空间机构中活动构件的数目;

P_i ——空间机构中所含有第 i 级运动副的数目, 且 $i=1、2、3、4、5$ 。

机构中每个构件都受到由于运动副的特殊配置带来的约束称为公共约束。若机构存在 q 个公共约束, 则自由度计算应使用下式

$$F = (6 - q)n - \sum_{k=q+1}^5 (k - q)P_k$$

式中 k ——运动副的级别, 其取值范围为 $(q+1) \sim 5$;

q ——公共约束数, 其可取之值为 $0、1、2、3、4$ 。

4. 高副低代

为了研究机构的结构分类, 以便于进行机构的运动分析和力分析, 将平面机构中的高副用低副所组成的运动链来代替。要求代替前后机构的自由度和机构的瞬时运动相同。代替高副的最简单的低副链应为一个具有两个低副的构件。

5. 机构组成原理及结构分析

(1) 基本杆组 杆组是指自由度为零且不能够再分的构件组。最常见的基本杆组是 II 级组 (又称双杆组) 和 III 级组。

(2) 机构的级别 机构的级别是以机构中所含杆组的最高级别来定义的。同一机构, 当取不同构件为原动件时, 机构的级别有可能会发生变化。

(3) 结构分析方法 机构结构分析的过程又称为拆杆组, 它是本章的难点之一。为了正确地拆除杆组, 应遵循下述原则:

1) 由离原动件最远的部分开始试拆。

2) 每拆除一个杆组后, 机构的剩余部分仍应是一个完整机构。

3) 试拆杆组时, 最好先按 II 级组来试拆; 如果无法拆除 (指拆除之后剩余部分不能构成一个完整机构), 意味着拆除有误, 再试拆高一级杆组。

4) 拆杆组结束的标志是只剩下原动件和机架所组成的 I 级机构。

这里所谓离原动件“最远”, 主要不是指在空间距离上离原动件最远, 而是指在传动关系和传动路线上离原动件最远。此外, 每拆除一个杆组, 剩余的部分应该仍为一个完整的机构, 这是判别拆除过程是否正确的准则, 必须严格遵守。

2.3 典型例题解析

例 2-1 指出图2-1所示机构中的复合铰链、局部自由度和虚约束，计算机构的自由度。

解 在该机构中， E 处有复合铰链， G 处有局部自由度， K 处有虚约束。此外，凸轮与大齿轮相固联，得活动构件数目 $n=9$ ， $P_L=10+2=12$ （其中有 10 个转动副，2 个移动副）， $P_H=2$ 。机构自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 9-2 \times 12-2=1$$

例 2-2 在图2-2所示机构中， AB 、 EF 、 CD 三杆相互平行且长度相等。试计算其自由度。

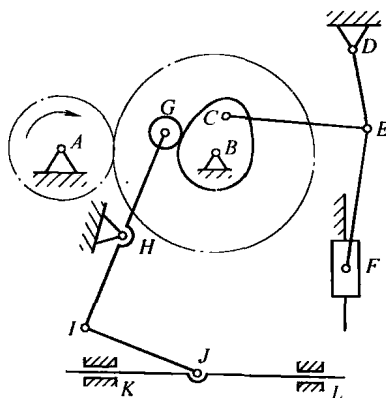


图 2-1

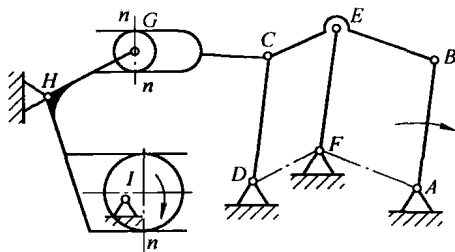


图 2-2

解 由题意知，此平面机构 $ABECDF$ 具有特定的几何条件，故为平行四边形机构。由构件 EF 及转动副 E 、 F 引入一个虚约束； G 处的滚子转动为局部自由度； C 处为复合铰链； G 及 I 为两构件在两接触处的高副，因过两接触线的公法线重合，故 G 、 I 处只能算一个高副。去掉机构中虚约束和局部自由度，则 $n=6$ ， $P_L=7$ ， $P_H=2$ 。机构自由度为 $F=3n-2P_L-P_H=3 \times 6-2 \times 7-2=2$ 。

例 2-3 图2-3所示为一飞机水平尾翼操纵机构简图。其中，构件 1 为机架，操纵杆 2 为原动件，有时还可以从襟翼输入（即构件 12 摆动）或从稳定增效器输入（即构件 7 相对构件 14 移动），构件 8 为输出杆。试求各种输入方式下机构的自由度。

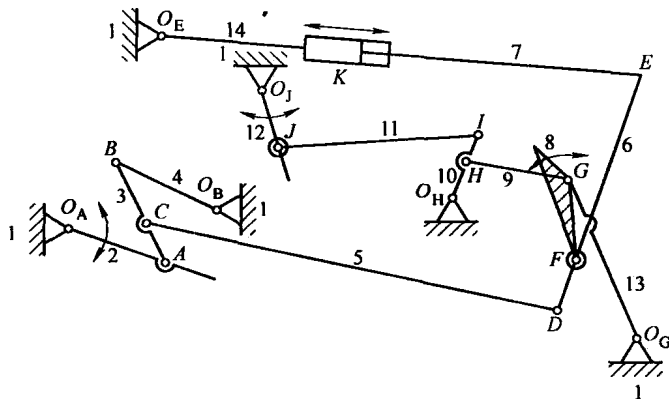


图 2-3

解 该机构有四种输入方式:

(1) 仅从操纵杆输入 当襟翼不输入运动时, 杆 9、10、11、12 和 13 均不运动, G 为固定铰链; 当稳定增效器不输入运动时, 杆 7 与杆 14 为一定长杆, 可视为一个构件。此时 $n=7$, $P_L=10$, $P_H=0$ 。机构自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 7-2 \times 10-0=1$$

(2) 由操纵杆和襟翼同时输入 此时 $n=12$, $P_L=17$ (其中 G 为复合铰链), $P_H=0$ 。机构自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 12-2 \times 17-0=2$$

(3) 由操纵杆和稳定增效器输入 此时杆 7 和杆 14 为两个活动构件, $n=8$, $P_L=11$ (其中有 10 个转动副, 1 个移动副), $P_H=0$ 。机构自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 8-2 \times 11-0=2$$

(4) 由操纵杆、襟翼、稳定增效器同时输入 此时 $n=13$, $P_L=18$ (其中有 17 个转动副, 1 个移动副), $P_H=0$ 。机构自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 13-2 \times 18-0=3$$

例 2-4 绘制图 2-4a 所示活塞泵的机构运动简图。

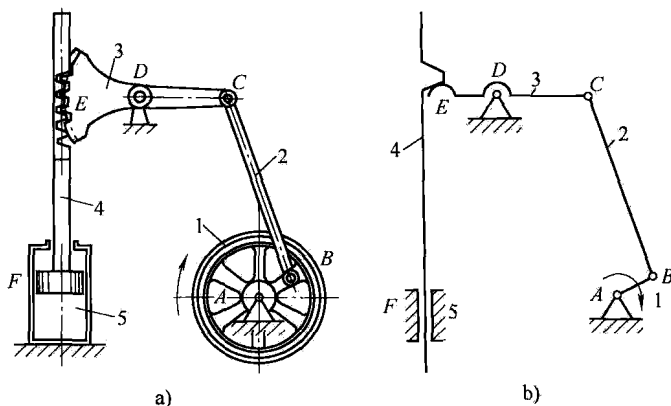


图 2-4

解 活塞泵由曲柄 1、连杆 2、扇形齿轮 3、齿条活塞 4 和机架 5 共 5 个构件所组成。曲柄 1 是原动件, 构件 2、3、4 为从动件。当原动件 1 回转时, 活塞在气缸中作往复运动。

各构件之间的联接如下: 构件 1 和构件 5、构件 2 和构件 1、构件 3 和构件 5 之间有相对转动, 分别构成转动副 A 、 B 、 C 、 D 。构件 3 的轮齿与构件 4 的齿构成平面高副 E 。构件 4 与构件 5 之间为相对移动, 构成移动副 F 。

选取适当的比例, 按图 2-4a 尺寸, 用构件和运动副的规定符号画出机构运动简图, 如图 2-4b 所示。

例 2-5 确定图 2-5a 所示机构的自由度, 并将其中的高副换成低副, 确定机构所含的杆组和机构的级别 (凸轮为原动件)。

解 (1) 计算机构的自由度 B 处有局部自由度, G 处为复合铰链, $n=7$, $P_L=9$, $P_H=2$ 。机构自由度为

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 7-2 \times 9-2=1$$

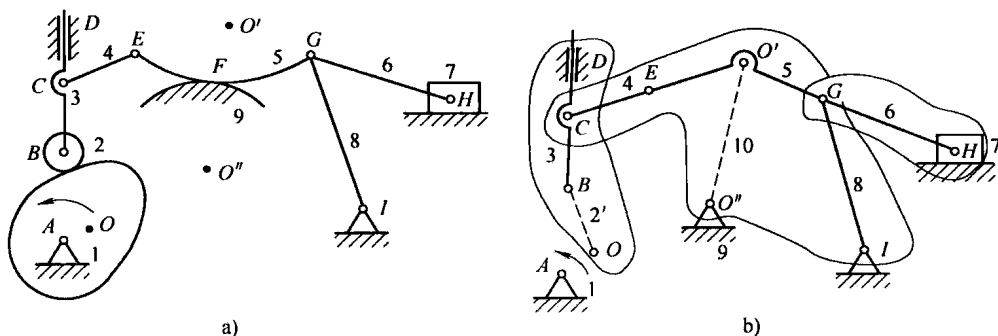


图 2-5

(2) 高副低代 如图 2-5b 所示。

(3) 确定机构的杆组及机构的级别 该机构是由原动件 1、机架 9、两个Ⅱ级杆组 (2'—3 和 6—7) 和一个Ⅲ级杆组 (4—5—10—8) 组成的, 故该机构为Ⅲ级机构。

例 2-6 计算图 2-6 所示机构的自由度, 并确定机构所含杆组的数目和级别以及机构的级别 (图中原动件用箭头表示)。

解 在图示机构中, $n = 9$, $P_L = 13$ (其中 11 个回转副, 2 个移动副, 一处有复合铰链), $P_H = 0$ 。机构自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 9 - 2 \times 13 - 0 = 1$$

该机构是由原动件 1、机架 10、两个Ⅱ级杆组 (8—9 和 2—3) 和一个Ⅲ级杆组 (4—5—6—7) 组成的, 因为各杆组中的最高级别为Ⅲ级, 故该机构为Ⅲ级机构。

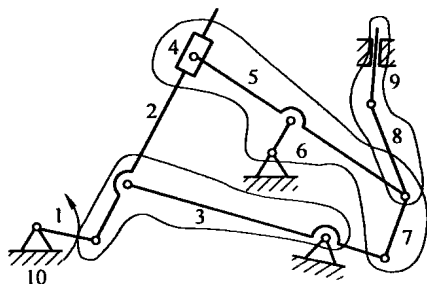


图 2-6

2.4 习题

2-1 绘出图 2-7 所示唧筒机构的机构运动简图。

2-2 绘出图 2-8 所示回转柱塞泵的机构运动简图。

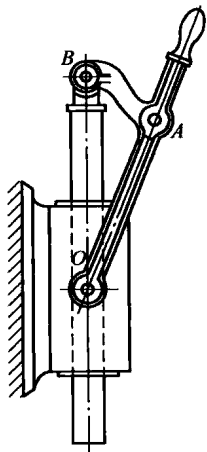


图 2-7

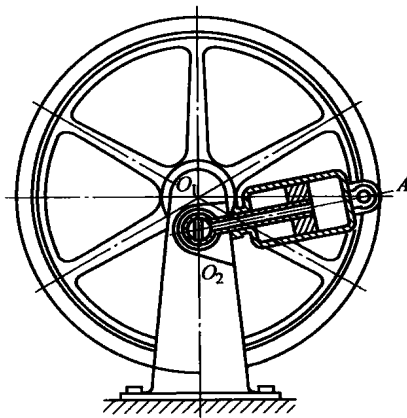


图 2-8

2-3 绘出图 2-9 所示压力机刀架机构的机构运动简图。

2-4 试判断图 2-10 所示运动链能否成为机构，并说明理由。若不能成为机构，请提出修改办法。

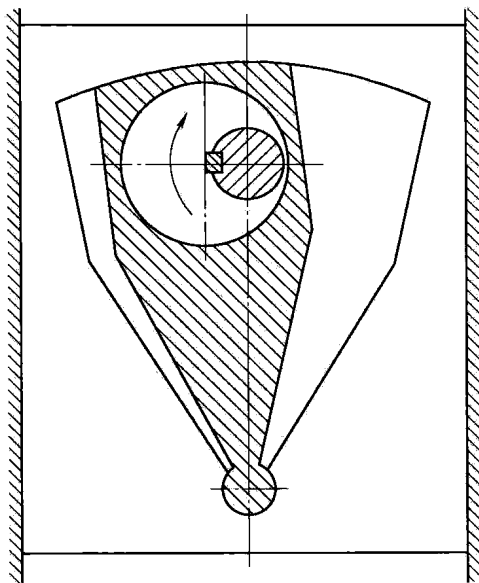


图 2-9

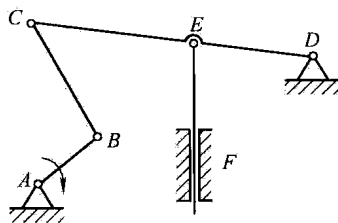


图 2-10

2-5 计算图 2-11 ~ 图 2-16 所示各机构的自由度，并指出其中是否含有复合铰链、局部自由度或虚约束，说明计算自由度时应做何处理。

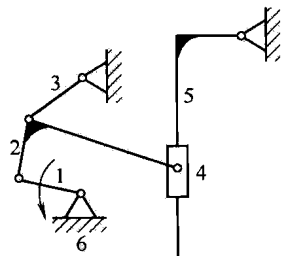


图 2-11

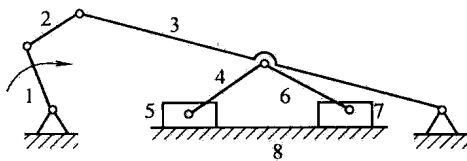


图 2-12

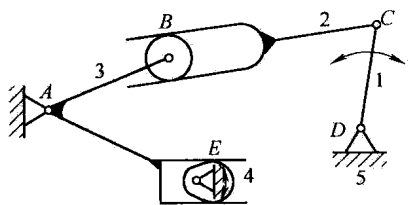


图 2-13

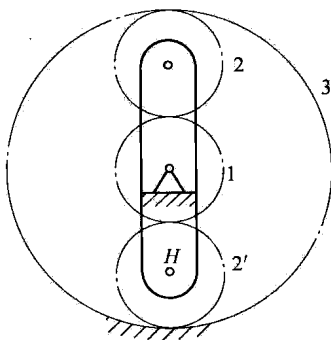
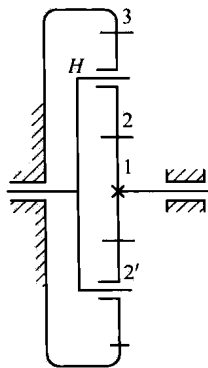


图 2-14



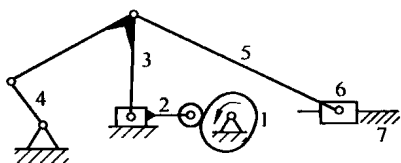


图 2-15

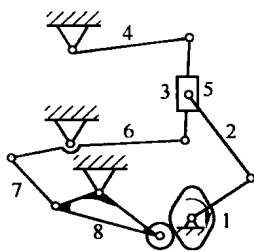


图 2-16

2-6 计算图 2-17 ~ 图 2-19 所示各机构的自由度, 用低副代替高副, 并确定机构所含杆组的数目和级别以及机构的级别。

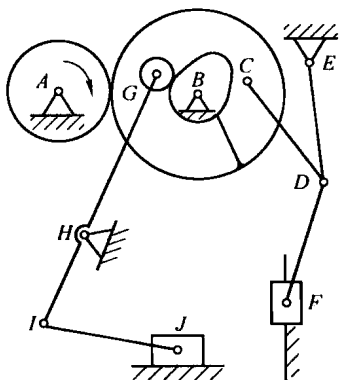


图 2-17

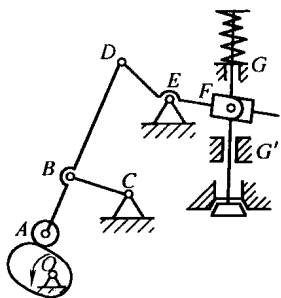


图 2-18

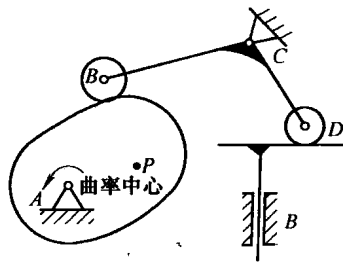


图 2-19

2.5 综合测试题

2-1 填空题及简答题。

- (1) 平面机构中若引入一个高副将带入_____个约束, 而引入一个低副将带入_____个约束。
- (2) 高副低代必须满足的条件是_____。
- (3) 何谓运动链? 运动链具备什么条件才具有运动的可能性? 具备什么条件才具有运动的确定性? 具备什么条件才能成为机构?
- (4) 何谓机构运动简图? 绘制的步骤如何?
- (5) 机构具有确定运动的条件是什么?
- (6) 在计算平面机构自由度时应注意哪些事项?
- (7) 杆组具有什么特点? 如何确定杆组的级别?
- (8) 如何确定机构的级别? 选择不同原动件对机构的级别有无影响?

2-2 画出图 2-20 所示液压泵的机构运动简图, 并计算其自由度。

2-3 判别图 2-21、图 2-22 所示运动链能否成为机构, 并说明理由。如果有复合铰链、局部自由度或虚约束, 需一一指出。

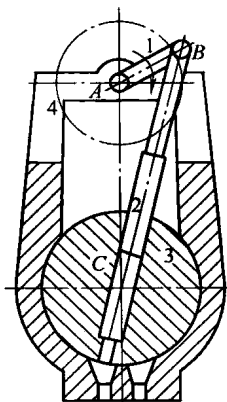


图 2-20

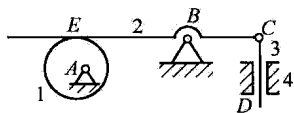


图 2-21

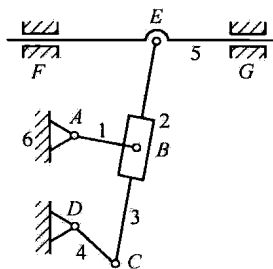


图 2-22

2-4 试用低副代替图 2-23 所示机构中的高副，并说明高副低代的一般方法。

2-5 图 2-24 所示为一机构的初拟设计方案，试从机构自由度的概念分析其设计是否合理，若不合理请提出修改措施。又问，在此初拟设计方案中，是否存在复合铰链、局部自由度和虚约束？若存在，请指出。

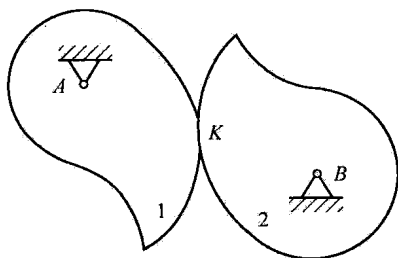


图 2-23

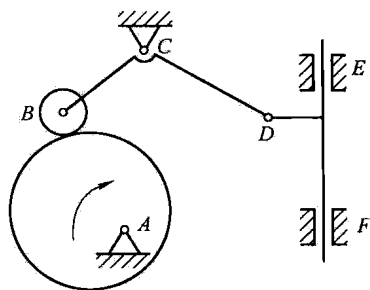


图 2-24

2-6 计算图 2-25 所示机构的自由度，并在高副低代后，确定机构所含杆组的数目和级别并判断机构的级别。

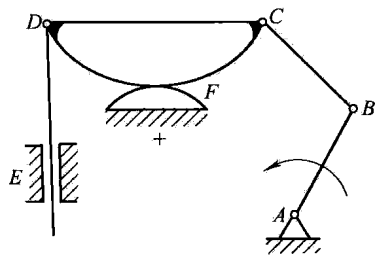


图 2-25

第3章 连杆机构

3.1 教学基本要求

- 1) 了解平面连杆机构的基本类型，掌握其演化方法。
- 2) 了解平面连杆机构的结构特点、功能和应用。
- 3) 掌握平面四杆机构的运动特性和传力特性。
- 4) 掌握按连杆位置、连架杆对应位置、急回特性、连杆曲线等要求设计平面四杆机构的基本方法。

3.2 本章重点和难点内容

本章的重点和难点是平面四杆机构的运动特性和传力特性，按连架杆对应位置、急回特性等要求设计平面四杆机构的基本方法。

1. 平面四杆机构的基本类型及其演化

(1) 基本型式 平面四杆机构的基本型式为平面铰链四杆机构。在此机构中，与机架相连的构件称为连架杆，能作整周旋转的连架杆称为曲柄，而只能在小于 180° 角度范围内作摇摆运动的连架杆称为摇杆。按连架杆的运动形式平面铰链四杆机构分为曲柄摇杆机构、双曲柄机构和双摇杆机构。在铰链四杆机构中，需掌握连架杆、连杆、整转副、摆转副、曲柄、摇杆以及低副运动可逆性等的基本概念。

(2) 机构的演化 铰链四杆机构可通过以下四种方式演化出其他形式的四杆机构。

- 1) 通过转动副转化成移动副。
- 2) 选取不同构件为机架。
- 3) 移动副元素的置换。
- 4) 扩大转动副的尺寸。

这些演化方法也是机构创新设计的常用方法。

2. 平面四杆机构的运动特性

(1) 曲柄存在的条件 铰链四杆机构曲柄存在的充分条件为：

- 1) 最短杆与最长杆的长度之和必小于或等于其余两杆长度之和。
- 2) 最短杆为机架或连架杆。

由于曲柄滑块机构和导杆机构均是由铰链四杆机构演化而来的，故按照同样的思路和方法，可得出这两种机构的曲柄存在条件。

(2) 往复运动输出件的急回特性 当曲柄以匀速转动时，摇杆往复摆动的平均速度是不同的，一慢一快。为了提高机械的生产率，应使机械慢速运动的行程为工作行程，快速运动的行程为空回行程。将输出件这种快速返回的运动特性称为急回特性。通常引入行程速比