

机械原理习题详解

张世民 张永明 编著



中国铁道出版社

内 容 提 要

本书取材于普通高等学校教材，其中以中央广播电视大学出版的《机械原理》教材（张世民主编）为主要的取材对象，对所选习题进行了详细的求解，并根据作者多年的教学经验，对学生容易出错的部分，着重加以分析，必要之处还作了简要说明。全书包括八章：机构的结构分析、机械中的摩擦和效率、平面连杆机构的分析和设计、凸轮机构的分析与设计、齿轮的啮合原理和几何设计、轮系及其设计、回转构件的平衡、机械系统的运动和速度调节。本书可供高校本科、广播电视大学和职工大学的师生参考。

机械原理习题详解

张世民 张永明 编著

*

中国铁道出版社出版

（北京市东单三条14号）

责任编辑 江新锡 封面设计 翟达

中国铁道出版社发行 各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092mm 1/32 印张：10.75 字数：240千

1991年11月 第1版 第1次印刷

印数：1—56000册

ISBN 7-113-00913-1/TH·30 定价：5.00元

编者的话

“机械原理”是一门机械专业必修的技术基础课程。它既具有较强的理论性，又具有与生产实际紧密相联系的实践性。因此，除了很好地掌握、理解其理论内容之外，还必须及时地、独立地完成必要数量的习题作业。利用所学到的理论来指导习题作业的求解；反过来，又通过习题作业的求解，进一步深化理论内容的理解，并提高解题的技巧性和灵活性。因此，这是一对相辅相成的环节，缺一不可。那种认为听好课就能很好地掌握这门课程的想法，不仅是不现实的，而且是十分有害的！

学习本课程的学生，是多种多样的，有些是高校本科生，有些是广播电视大学的在册生和自学收看生以及走读大学学生。他们往往缺少辅导师资力量（尤以边远地区为最）；他们在独立完成习题作业之后，迫切想知道他们的求解是否正确，并希望能通过习题作业的检查，进一步提高自己的理解能力。笔者根据这一现实情况，编写了这本《机械原理习题详解》。

本书取材于一般常见的习题。这些习题常见于一般高校的教材中，其中尤以中央广播电视大学出版的《机械原理》教材（张世民主编）为主要的取材对象，对这些习题进行了详细的求解，并根据笔者多年的教学经验，对学生们一般容易出错的部分，着重加以分析；必要之处还作了一些简短的理论说明，指出哪一类题目应该如何正确求解，哪种解法简捷明快，等等。

为了拓宽同学们的视野，本书还选取了近年来一些高校的研究生入学试题，并加以求解。

在这里必须明确指出，本课程的所有习题作业，必须是自己独立完成的；本书只供在独立完成作业的前提下自己检查作业并加强理解深度之用；绝对不可作为抄袭的蓝本。

本书的第一章（机构的结构分析）、第二章（机械中的摩擦和效率）、第七章（回转构件的平衡）和第八章（机械系统的运动和速度调节），由张世民同志执笔编写；第三章（平面连杆机构的分析和设计）、第四章（凸轮机构的分析和设计）、第五章（齿轮的啮合原理和几何设计）和第六章（轮系及其设计），由张永明同志执笔编写。全书由张世民同志主编。

本书解题工作量极大，仓促之处，容有计算错误，甚至可能有方法上的错误，恳请读者惠予指正，不胜感激。

编 者

1989年9月于清华园

目 录

第一章	机构的结构分析	1
第二章	机械中的摩擦和效率	29
第三章	平面连杆机构的分析和设计	57
第四章	凸轮机构的分析和设计	151
第五章	齿轮的啮合原理和几何设计	198
第六章	轮系及其设计	255
第七章	回转构件的平衡	296
第八章	机械系统的运动和速度调节	308

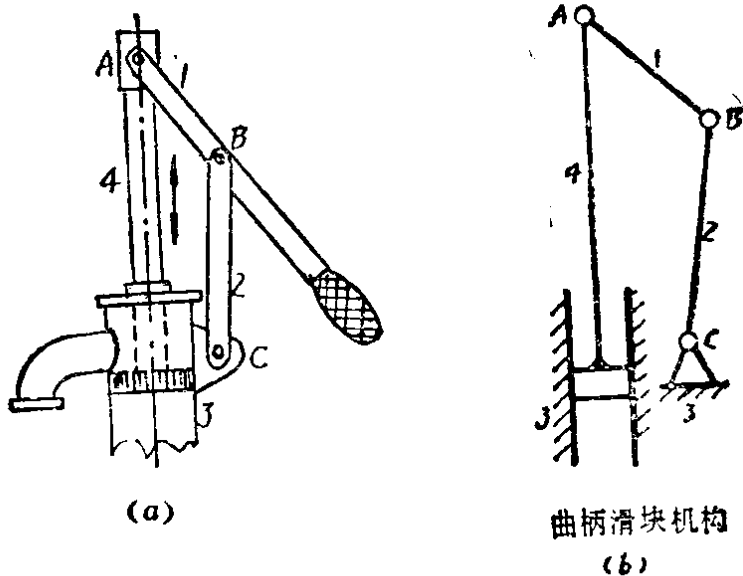
第一章 机构的结构分析

1-1至1-4：试画出图示各平面机构的运动简图，并计算其自由度。

【解】

1-1 唧筒机构如图 (a) 所示，图 (b) 是它的运动简图，相当于曲柄滑块机构。活动构件数 $n=3$ ，低副 $P_L=4$ ，高副 $P_H=0$ ，因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$



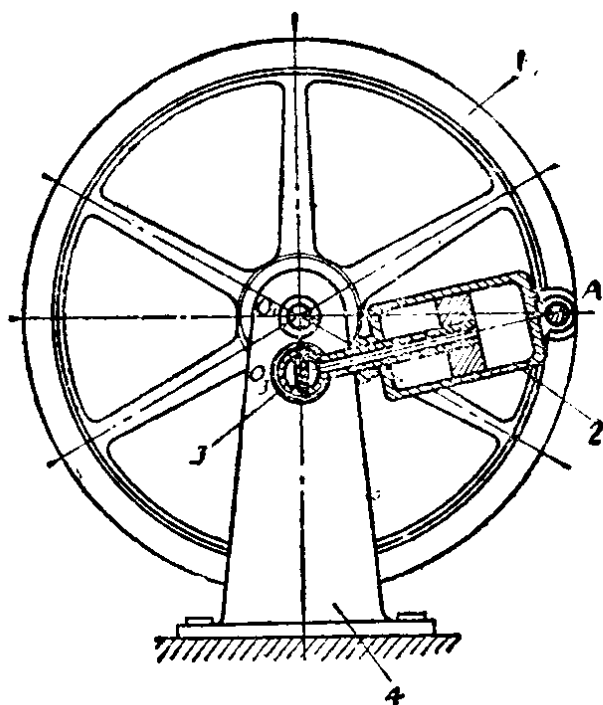
题 1-1

1-2 回转柱塞泵机构如图 (a) 所示，图 (b) 是它的运动简图，相当于回转滑块机构。 $n=3$ ， $P_L=4$ ， $P_H=0$ ，因此

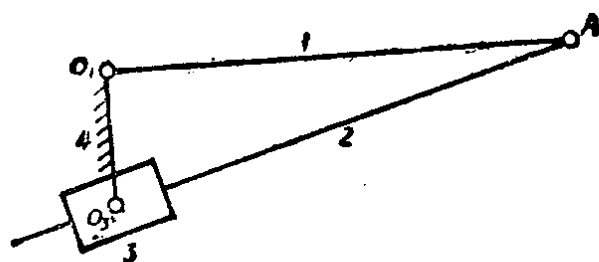
$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 1 = 1$$

该机构的运动简图也可画成回转导杆机构的形式，读者

可自己思考画出。



(a)



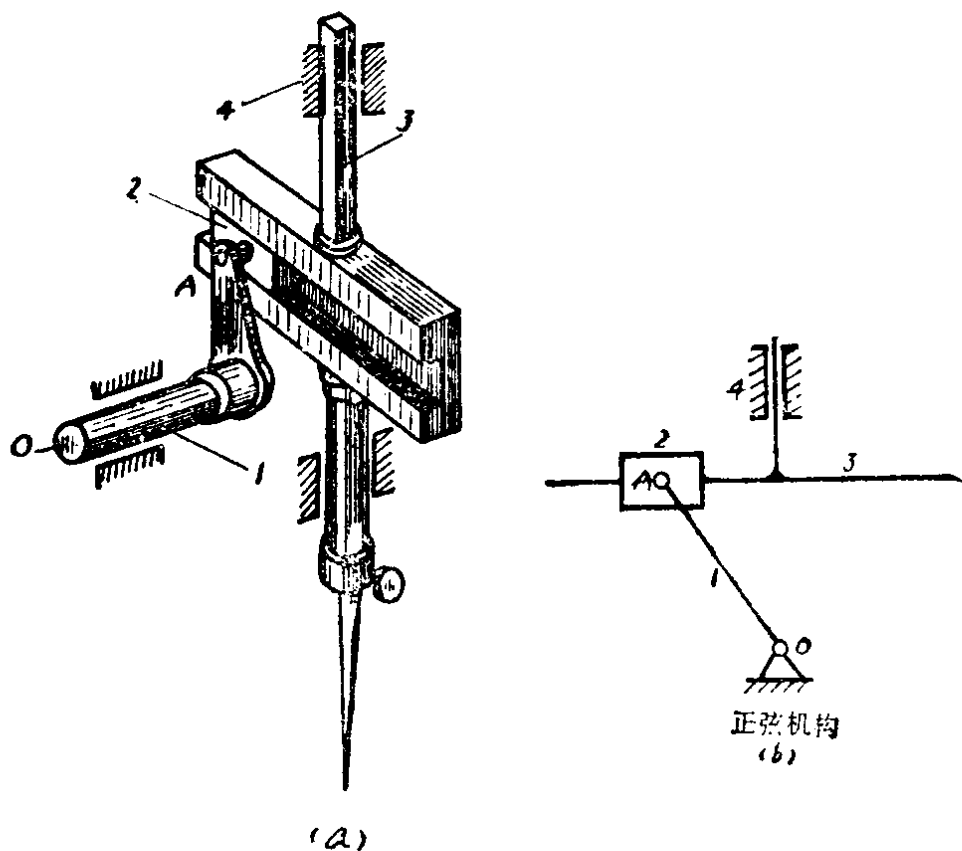
回转滑块机构

(b)

题 1-2

1-3 缝纫机的针杆机构如图(a)所示, 它相当于正弦机构, 如图(b)所示。 $n=3$, $P_L=4$, $P_H=0$, 所以

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$



题 1-8

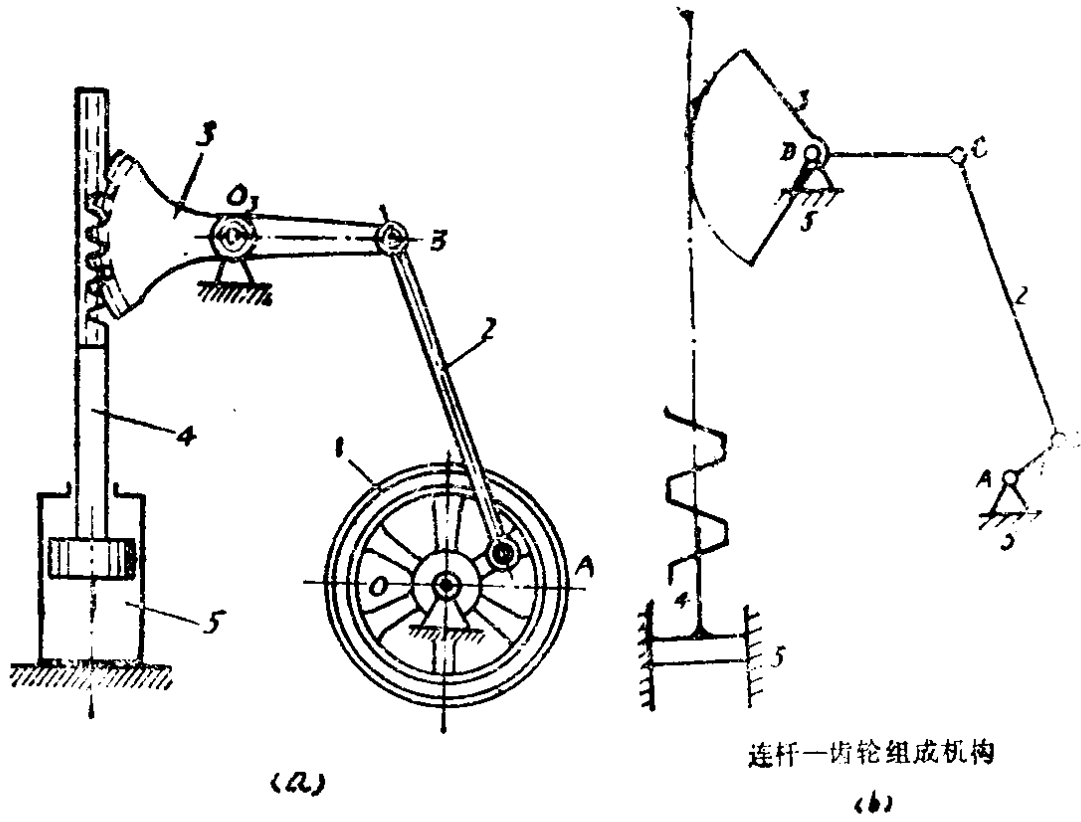
1-4 活塞泵机构如图 (a) 所示, 图 (b) 是它的运动简图, 是由曲柄摇杆机构和扇形齿轮-齿条机构组成的组合机构。其中 $n=4$, $P_L=5$, $P_H=1$, 所以

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 \times 1 = 1$$

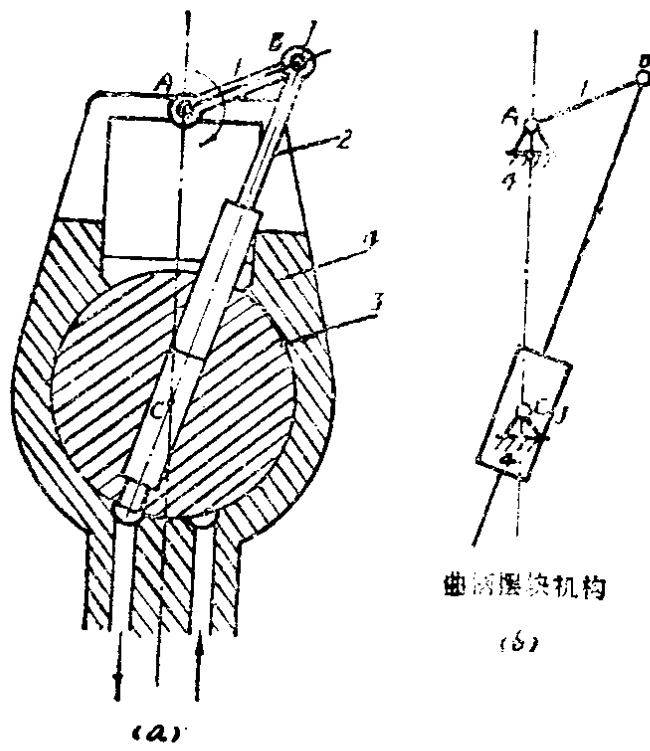
1-5至1-7: 试画出图示各平面机构的运动简图, 并说明它们是如何从运动简图变化来的。

【解】

1-5 摆块式柱塞泵如图 (a) 所示, 相当于图 (b) 所示的曲柄摆块机构。把滑块 3 在 C 点处的销钉加以扩大, 固定件 4 在 C 点处的孔也随之扩大, 从而形成了摆块式的柱塞泵。(中国纺织大学1987年研究生试题)

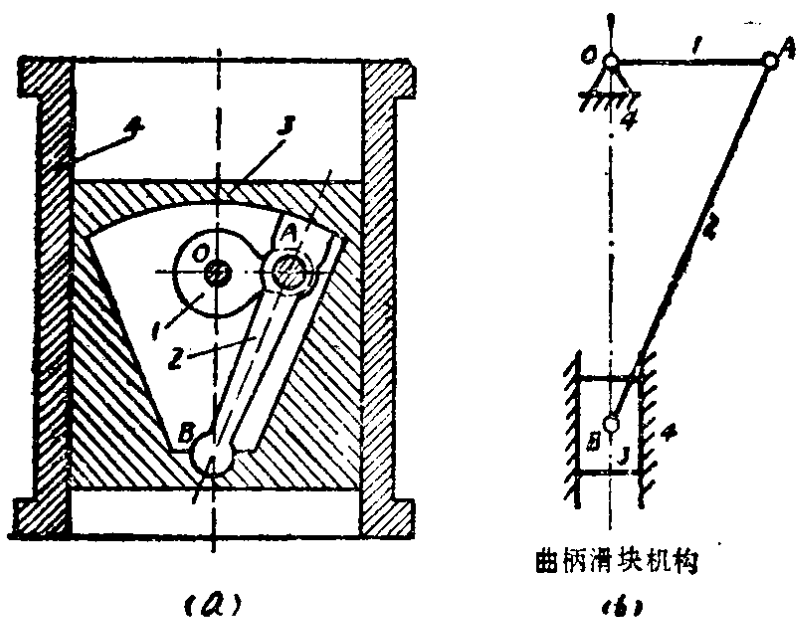


题 1-4



题 1-5

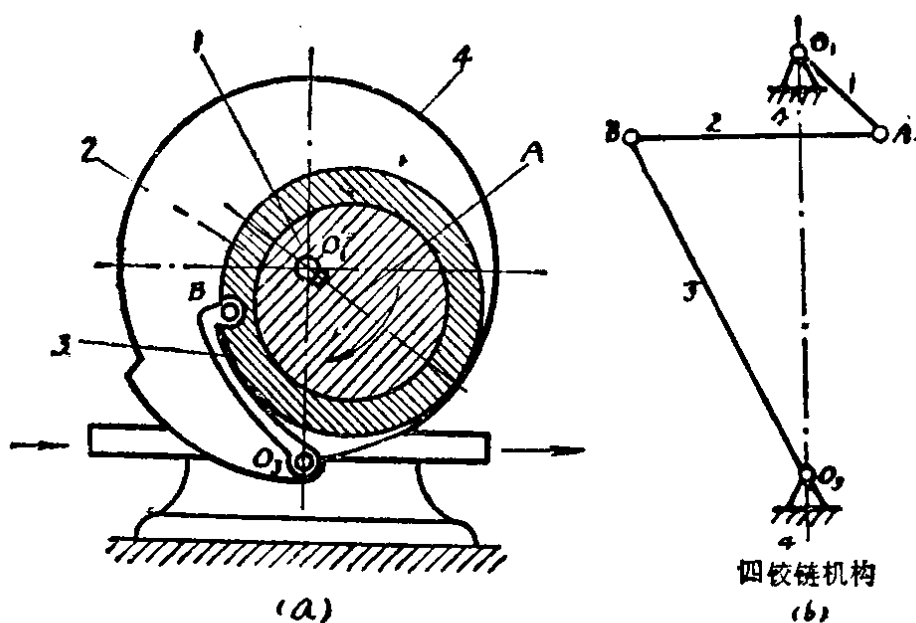
1-6 图 (a) 所示的是冲孔机构，其运动简图如图 (b) 所示，它相当于曲柄滑块机构。该曲柄滑块机构虽然很简单，并且也是利用销钉扩大的办法作结构上的改变，但是其变换还是比较特殊的。整个变换集中在铰链 B 。连杆 2 在 B 点处的销钉，使其半径稍加增大，做成圆球形，如图 (a) 所示；与此同时，滑块 3 在 B 点处的销钉孔的下半圆周的半径与圆球半径相同并相配合，形成下半圆面相接触的转动副。至于滑块 3 在 B 点处的上半圆周的孔，使其半径增大，直到超过连杆 2 的长度 \overline{AB} ，形成一个扇形弧面；与此同时，把连杆 2 的上端做成以 B 点为圆心的大半径端面，使之与滑块 3 的大半径扇形弧面相配合，形成转动副 B 的上端接触表面。（哈尔滨工业大学1987年研究生试题）



题 1-6

1-7 图 (a) 所示的是油泵机构，它相当于图 (b) 所示的四铰链机构。它的变换是把曲柄 1 的端点 A 处的销钉扩大，成为绕 O 点转动的偏心盘；与此同时，连杆 2 在 A

处的销钉圆环也随之放大，在圆环上的 B 点铰接着摇杆 3，构成铰链四杆机构。泵体 4 的内腔与圆环 2 相切，形成一个月牙形的空间，如图 (a) 所示。摇杆 3 把月牙形的空间分成两部分，当偏心盘 1 转动时，圆环 2 沿空腔内侧运动，摇杆 3 的左侧空间总是愈变愈大，把左边进油管中的油吸入摇杆 3 的左侧空间，然后进油管被摇杆 3 突然关闭；而摇杆 3 的右侧空间则总是愈变愈小，把油挤出右边排油管，然后排油管被圆环 2 突然关闭。



题 1-7

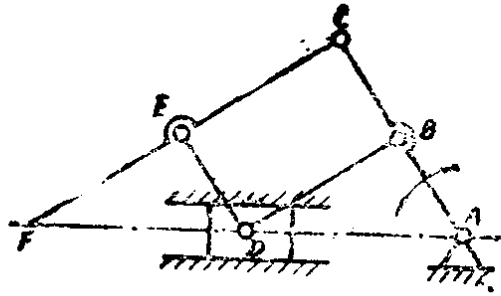
1-8至1-13: 试计算以下各运动链自由度(若有复合铰链, 应明确指出), 并判断其能否成为机构(图中绘有箭头的构件为主动件)。

【解】

1-8 $n=5$, $P_L=7$ (其中转动副 D 是三构件的复合铰链, 因此按 2 个低副计算), $P_H=0$, 因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1,$$

该运动链有一个主动件, 因此能成为机构。

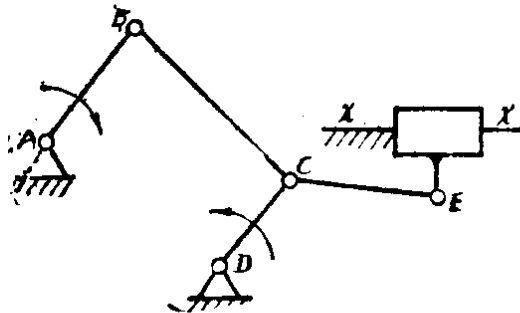


题 1-8

1-9 $n=5$, $P_L=7$ (其中转动副C是三构件的复合铰链, 因此按2个低副计算), $P_H=0$, 因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1,$$

但该运动链有两个主动件, 因此不能成为机构。

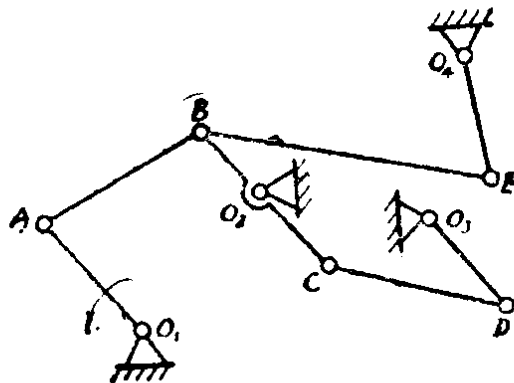


题 1-9

1-10 $n=7$, $P_L=10$ (其中转动副B是三构件的复合铰链, 因此按2个低副计算), $P_H=0$, 因此

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

该运动链有一个主动件, 因此能成为机构。

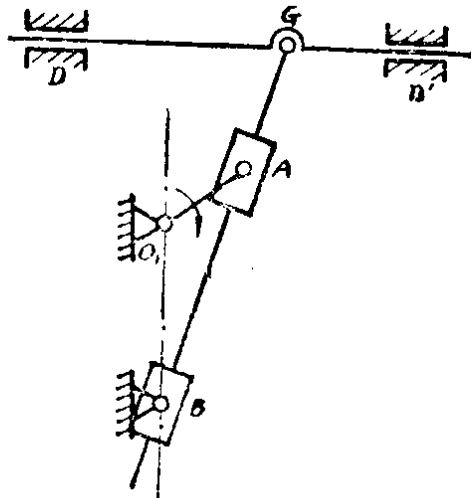


题 1-10

1-11 $n=5$, $P_L=7$ (其中 D 和 D' 两处的移动副存在虚约束, 根据两个构件只形成一个运动副的原则, 按 1 个移动副计算), $P_H=0$, 因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

该运动链有一个主动件, 因此能成为机构。

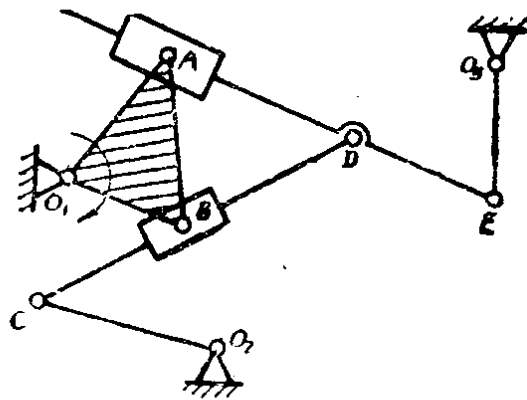


题 1-11

1-12 $n=7$, $P_L=10$, $P_H=0$, 因此

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

该运动链有一个主动件, 因此能成为机构。

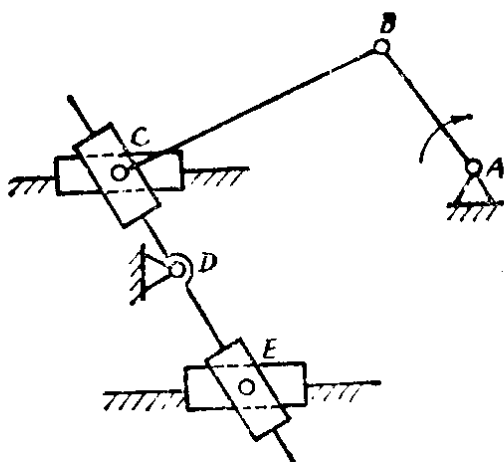


题 1-12

1-13 $n=7$, $P_L=10$ (其中转动副 C 和 E 都是三构件的复合铰链, 因此各按 2 个低副计算), $P_H=0$, 因此

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

该运动链有一个主动件，因此能成为机构。

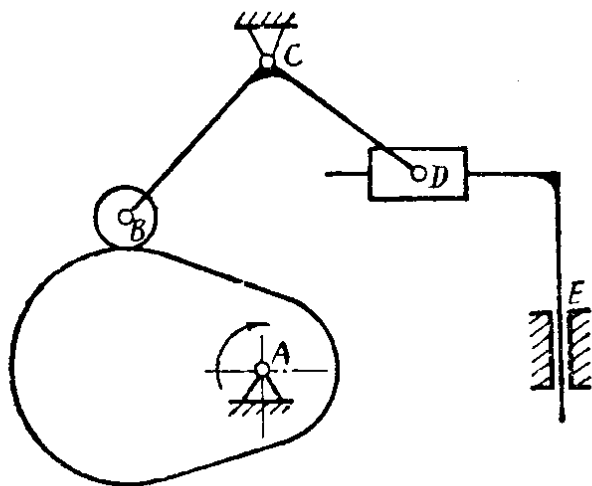


题 1-13

1-14 试计算图示平面机构的自由度，并说明主动件的数目是否合适。

【解】该机构的 $n=5$ ， $P_L=6$ ， $P_H=1$ ，因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 1 = 2$$



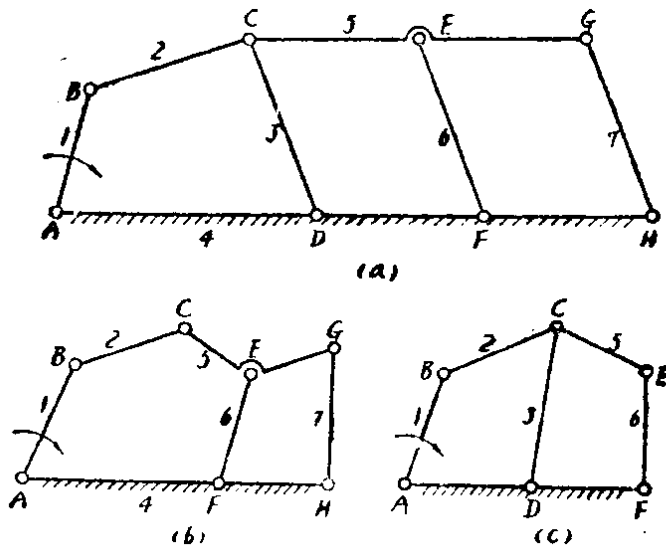
题 1-14

但已知图示的是一个机构，亦即有确定运动，因此 F 应等于主动件数目。该机构有一个主动件，因此 F 应该等于 1，显然其中含有一个局部自由度。滚子绕 B 点的转动是局部自由度，因此可把滚子视为与摆动从动件固结成一个刚体，则

此时 $n=4$, $P_L=5$, $P_H=1$, 因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

1-15 图 (a) 示一个七构件机构, 其中 $DCEF$ 和 $EFGH$ 为平行四边形。试计算该机构的自由度, 并说明主动件数目是否合适。



题 1-15

【解】该机构活动构件数 $n=6$, $P_L=9$ (其中铰链 C 是三构件相铰接的复合铰链, 按 2 个低副计算), $P_H=0$, 因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 6 - 2 \times 9 = 0$$

$F = 0$ 意味着各构件无相对运动, 亦即是一刚体。但题目已经明确是机构, 有一个主动件, 因此应该是 $F = 1$ 。显然其中存在着一个 $F = -1$ 的虚约束运动链。我们知道 $n=1$ 、 $P_L=2$ 的运动链的 $F = -1$, 因此可以拆除一个这种虚约束运动链。拆除的原则应是: 拆除之后, 剩余构件仍是一个完整的机构。

主动件 1 显然不能拆除。连杆 2 连同它的两个转动副 B 和 C 也不能拆除, 否则其余构件将与主动件 1 失去联系。连杆 5 连同其上的任何两个转动副也不能拆除。

构件 3 连同它的两个转动副 C 和 D 可以拆除；拆除之后的机构如图 (b) 所示。由于已拆除了虚约束运动链，因此各构件的长度可以任意取值，无需再保持平行四边形，图 (b) 即是按任意长度作图的。此时该机构是一个 III 级杆组的 III 级机构。拆除构件 3 及其转动副 C 和 D 之后， $n=5$ ， $P_L=7$ ， $P_H=0$ ，因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

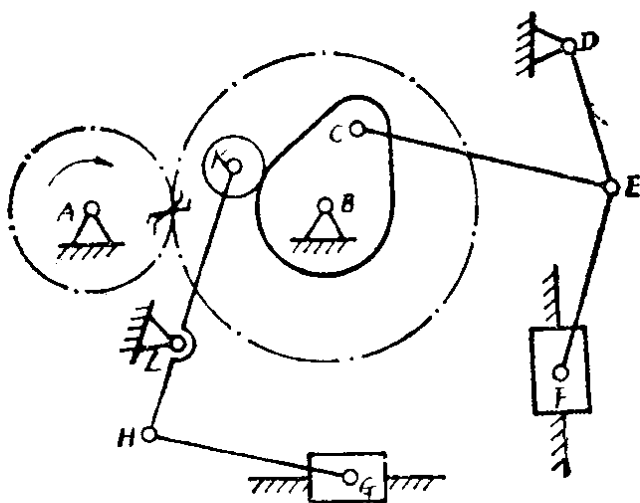
此时 F 与主动件数目相一致（请读者注意，拆除构件 3 及其转动副 C 和 D 之后，在图 (b) 中仍有转动副 C ，这是因为原机构的 C 点是两个转动副的复合铰链，随同构件 3 拆除 C 点一个转动副之后，应仍剩下一个转动副）。

或者拆除构件 7 及其两个转动副 G 和 H ，此时成为由两个 II 级杆组组成的 II 级机构，如图 (c) 所示。此时 $n=5$ ， $P_L=7$ ， $P_H=0$ ，因此

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

F 与主动件数目相一致。拆除构件 6 的结果与拆除构件 7 相同。

1-16 图示一凸轮-齿轮-连杆组成的组合机构，试计算其自由度。

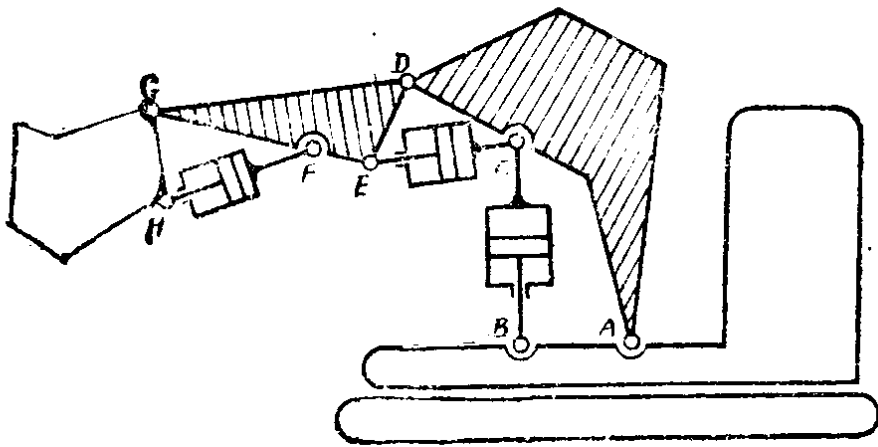


题 1-16

【解】凸轮从动件的滚子，必然引入局部自由度，因此把滚子与从动件固结在一起。此外， E 点是三构件相铰接的复合铰链，按2个转动副计算。凸轮与大齿轮是固结在一起的构件。因此， $n=9$ ， $P_L=12$ ， $P_H=2$ ，

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

1-17 图示一液动挖掘机，具有三个油缸，亦即具有三个主动件。试计算其自由度。



题 1-17

【解】由图可知 $n=9$ ，转动副有9个（其中转动副 C 是3个构件铰接的复合铰链，按2个转动副计算），3个油缸的活塞与缸体之间有3个移动副，因此共有12个低副，即 $P_L=12$ ， $P_H=0$ ，因此

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

F 与主动件数目相同，因此成其为机构。

1-18 图(a)示一12构件的剪床机构。该机构具有多个平行四边形，如图所示。试计算其自由度，并分析其虚约束的情况。

【解】由图得知 $n=11$ 。铰链 C 和 F 均是4构件的复合铰链，因此共相当于6个转动副；而铰链 I 则是3构件的复