

机械原理题解

马燮璋 张展 周用 编著

上海科技教育出版社



机械原理题解

马燮璋 张展周用编

上海科技教育出版社

责任编辑：洪如惠

封面设计：杜一光

机械原理题解

马俊璋 张展 顾用 编

上海科技教育出版社出版、发行

(上海冠生园路299号)

各地新华书店经售 宜兴市第二印刷厂

开本 787×1092 1/32 印张 5.5 字数 125,000

1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷

印数 1—1500本

ISBN 7-5428-0083-5

G·84

定价 1.35元

前 言

机械原理是一门研究机器内科学。它是高等工业学校机械类专业的主要课程。本课程要求学生运用所学的机构运动学、动力学的基本理论和基础知识,对机构进行分析和综合,为机械工程设计奠定良好的基础。

为了帮助成人高校学员和参加高等教育自学考试的学员提高分析问题和解决问题的能力,我们根据原教育部1983年11月审定的职工高等专科学校机械原理教学大纲(草案)的要求,参考了国内外有关资料,总结了多年从事成人教育的经验,编写了本书。

本书共收集了题目100道。这些题具有一定的典型性和代表性。书中对每道题都给出了详细解答,对个别题目还提供了多种解法,以便使读者开阔思路,灵活运用所学的知识。

本书的编排顺序基本上与教学大纲一致,题目的深度和广度也力求符合大纲规定的达到大专水平的要求。书中采用的符号和表达方式参照了黄锡恺、郑文纬主编的《机械原理》教材。

参加本书编写的同志有:马燮璋(第一、二、三、四、五、八章)、张展(第六、七、十、十一章)、周用(第九章)。

本书承蒙华东化工学院庄邃元、张文照同志和上海大学工学院谈仁年同志审阅,并提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

1987年3月

目 录

第一章	平面机构的自由度及运动简图	(1)
第二章	平面机构的运动分析	(11)
第三章	平面连杆机构	(51)
第四章	凸轮机构	(68)
第五章	齿轮机构	(85)
第六章	轮系	(107)
第七章	其他常用机构	(127)
第八章	平面机构的力分析	(133)
第九章	刚性回转件的平衡	(145)
第十章	机器的效率	(153)
第十一章	机器的运转及其速度波动的调节	(161)

第一章 平面机构的自由度及运动简图

计算机构自由度的目的是判断一个构件组合体运动的可能性和确定性。机构具有确定运动的条件是原动件数目等于机构自由度数目。计算机构自由度时必须注意机构中有无复合铰链、局部自由度和虚约束等情况,其中虚约束的判断尤为重要。考虑虚约束时应注意如下四种情况:1) 被联接构件上的点的轨迹和机构上联接点的轨迹重合时,这种联接将出现虚约束;2) 两构件构成多个移动副其导路互相平行时,只有一个移动副起约束作用,其余均为虚约束;3) 两构件构成多个转动副,其轴线互相重合时,只有一个转动副起作用,其余均为虚约束;4) 机构中对运动不起作用的对称部分,也是虚约束。

本课程广泛采用机构运动简图表示机构的运动特性。绘制和阅读机构运动简图是从事机械设计的技术人员必须具备的基本技能。为了能基本掌握机构运动简图的绘制方法,读者应熟记常用运动副和构件的表示方法,认真领会常用平面机构运动简图的画法,并在实践中不断巩固和提高。

注:本书插图均按一定的比例缩小,凡遇需量尺寸时,请注意缩小比例。

1. 图 1-1(a) 为一简易铆钉机构的初步设计方案。构件 1 作匀角速转动,通过构件 2、3 驱动构件 4 (冲头) 作上下运动,以达到冲压目的。

试分析其运动是否确定,并提出修改意见。

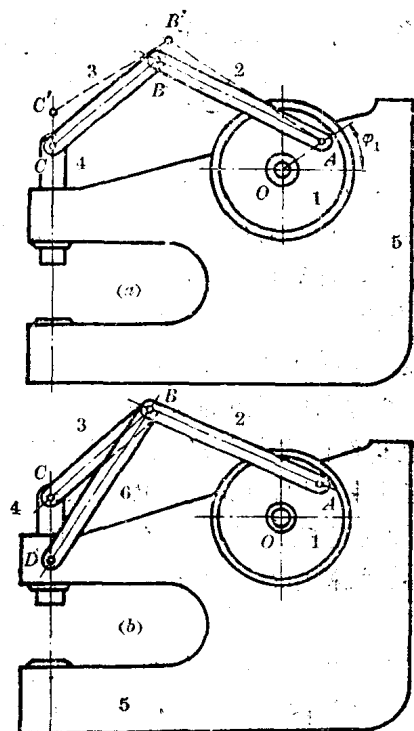


图 1-1

解 因 $n=4$, $P_L=5$, $P_H=0$, 故本装置的自由度为

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

计算结果表明: 这个自由度等于 2 的运动链必须具有两个原动件才能获得确定的运动。现只给定一个原动件 (构件 1), 则当 φ_1 给定后, 由于构件 4 的位置不确定 (如 (a) 图

中铰链 C 可到达 C'), 构件 2、3 既可处在实线所示的位置 $OABC$, 也可以处在虚线所示的位置 $OAB'C'$ 或其他位置, 即运动链的运动是不确定的, 所以不能成为机构。

修改方案之一如图 1-1(b) 所示。由于图 1-1 中 (b) 图比 (a) 图增加了构件 6 和两个回转副, 故 (b) 图所示的运动链其自由度减少 1, 即

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

与原动件数目相同。所以, (b) 图所示的运动链具有确定运动。

2. 图 1-2 所示为平炉堵塞渣口的机构简图, 试计算其自由度。

解 计算自由度时应除去滚子的局部自由度和由油缸引入的虚约束。故 $n=6, P_L=8, P_H=1$, 得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 = 1$$

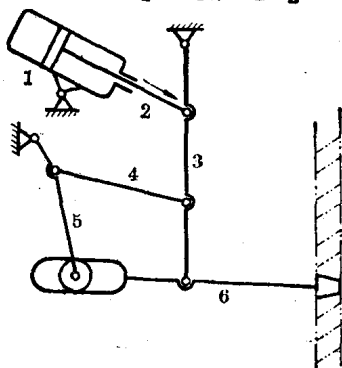


图 1-2

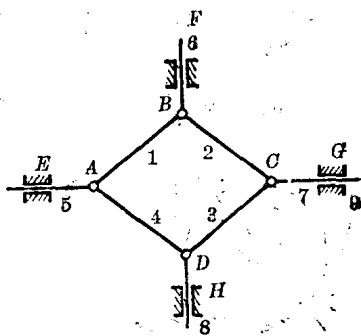


图 1-3

3. 在图 1-3 所示的机构中, 导路 $EG \perp FH$, 构件 1、2、3 和 4 的长度相等, 试计算该机构的自由度。

解 构件 1、2、3 和 4 的长度相等, 因此在构件 5、6、7 和

8 中,除原动件外,在计算自由度时还应从其余三个构件中去掉一个。这是因为联接点和被联接点的轨迹相重合而引入了一个虚约束。例如,若构件 5 为原动件,则应从构件 6、7 或 8 中去掉任意一个。不妨假设去掉构件 8,由于构件 8 上各点运动轨迹均为直线,而构件 3 与 4 组成回转副 D ,其运动轨迹也是直线,且和构件 8 的运动轨迹重合,故 $n=7$, $P_L=10$, $P_H=0$,得

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

4. 图 1-4(a) 为一直线运动机构,当转臂 1 旋转时行星轮 2 在内齿轮 4 内啮合传动, $AB=OA$, 构件 3 与构件 2 铰接于节圆 C 上。本机构由 White 设计。设计者曾因此发明而获得拿破仑奖章。试证明铰链 C 因轨迹重合而产生虚约束,并计算其自由度。

解 (1) 脱开 (a) 图中铰链 C , 观察行星轮 2 上 C 点的运动,如 (b) 图所示。

联接 OC 及 CB , 因 B 为行星轮 2 的绝对瞬心, 故速度 $v_C \perp BC$; 又在 OBC 半圆内, $\angle OCB=90^\circ$, $OC \perp BC$ 。由此可见, $v_C \parallel OC$, C 点将始终沿

OC 方向作直线运动;该处若用回转副联接,则因轨迹重合而产生一虚约束。

(2) 计算自由度时应除去(a)图中C处虚约束,将C点铰链改为高副,如(b)图所示。

因B、C处为高副,A、O处为回转副,构件3与4组成移动副,故 $n=3, P_L=3, P_H=2$,得自由度

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

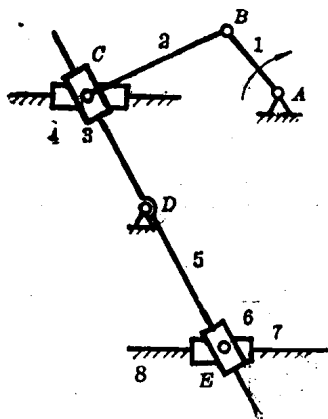


图 1-5

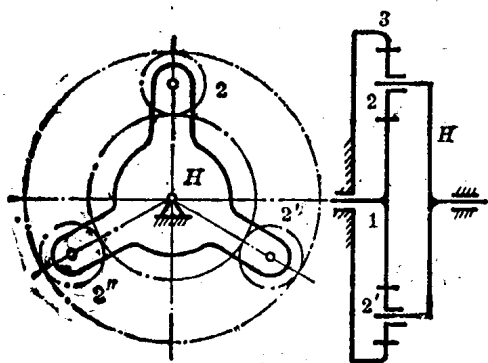


图 1-6

5. 图1-5所示为一压缩机的压气机构, 试计算其自由度。

解 因构件2与3、3与4和6与7分别组成回转副, 故 $n=7, P_L=10, P_H=0$, 得机构自由度

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

6. 图1-6所示为一行星齿轮机构, 试计算其自由度。

解 本机构中有三个对称分布的行星轮, 从受力角度考虑, 如此分布可以使由行星轮引起的离心惯性力得到平衡, 增加刚性, 改善受力情况, 使传动较为平稳。

但从运动学角度考虑, 若去掉两个行星轮, 不会改变机构的运动。每增加一个行星轮(包括两个高副和一个低副)便引入一个虚约束, 所以, 在计算机机构自由度时应除去这两个行星轮。由于 $n=3, P_L=3, P_H=2$, 得机构自由度

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

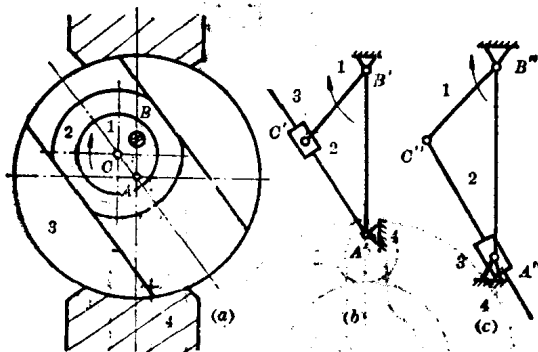


图 1-7

7. 在图1-7(a)所示的机构中, 当偏心轮1绕固定轴线B转动时, 滑块2在圆柱体3的直槽内滑动, 因而使3绕固定轴线A转动, 试绘制机构运动简图。

解 绘制机构运动简图的步骤如下:

(1) 分析机构的运动,找出机架、原动件和从动件。

本机构中4为机架,偏心轮1为原动件,滑块2和圆柱体3为从动件。

(2) 由原动件开始,按照运动传递次序,分析各构件之间的相对运动性质,从而确定机构中构件数目以及运动副的数目和种类。

本机构中偏心轮1与机架4、偏心轮1与滑块2以及圆柱体3与机架4均组成回转副,其回转中心分别在B点、C点和A点;滑块2与圆柱体3组成移动副。所以,本机构中共有四个构件、三个回转副和一个移动副。

(3) 合理选择视图。

通常选择大多数构件的运动平面或平行于运动平面的平面作为视图平面。如果一个视图不能将机构的运动传递关系表达清楚,可以另外补充辅助视图。

本题中(a)图已能清楚地表示各构件之间的运动传递关系,故只需用一个视图绘制本机构运动简图。

(4) 选定适当比例尺,定出各运动副之间的相对运动位置,用构件和运动副的规定符号绘制运动简图。

绘制过程如下:

(a) 选定长度比例尺,画出固定支座 A' 、 B' ,见(b)图或 A'' 、 B'' ,见(c)图;

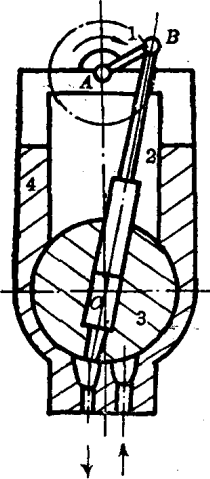
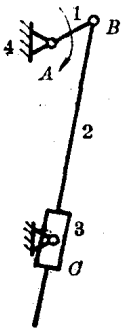
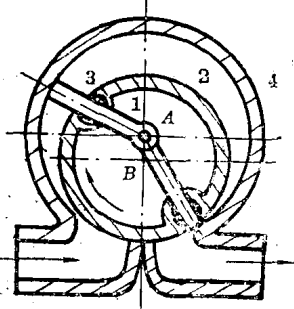
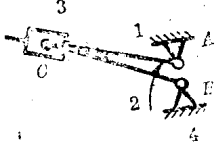
(b) 画 $B'C' \parallel B''C'' \parallel BC$, $A'C' \parallel A''C'' \parallel AC$;

(c) 用构件和运动副的规定符号画出运动简图(b)或(c)。(b)图所示的运动简图为摆动导杆机构,(c)图所示的运动简图为曲柄摇块机构;两简图中各构件间的相对运动相同,均能等价地表示(a)图所示的机构运动情况。

8. 试绘制图1-8(a)、(c)和(e)所示三种油泵的机构

运动简图。

解

序号	机构结构图	机构运动简图	说明
1	 图 1-8(a)	 图 1-8(b)	构件 1 为原动件，绕固定轴线 A 转动，与作为机架的构件 4 组成回转副。构件 3 相对于机架绕 C 点作摆动，而构件 2 可在构件 3 的长槽中作相对移动，组成移动副。
2	 图 1-8(c)	 图 1-8(d)	叶片 1 和构件 2 分别绕固定轴线 A 和 B 转动，圆柱形滑块 3 以动配合装入构件 2 的圆柱形孔中，滑块 3 与构件 2 组成回转副，而与叶片 1 组成移动副。叶片 1 顶端与泵体 4 油腔内壁组成虚约束，不影响其他构件的运动。

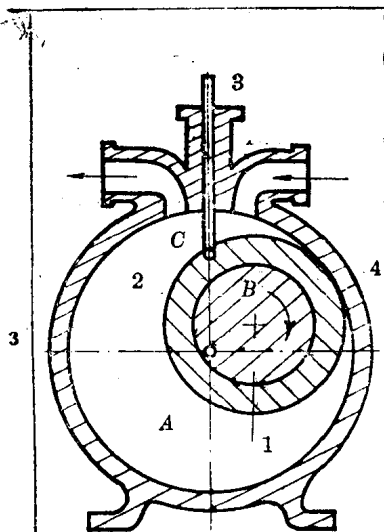


图 1-8(e)

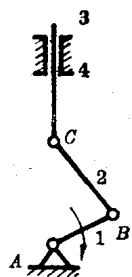


图 1-8(f)

偏心轮 1 绕固定轴线 A 转动，它与构件 2 组成回转副，绕 B 点作相对转动。构件 2 与阀门 3 在 C 点铰接，组成回转副。阀门 3 可在泵体 4 的槽内滑动，组成移动副。因构件 2 半径与偏心距 AB 长度之和等于泵体油腔内半径，故构件 2 与构件 4 接触时出现虚约束。

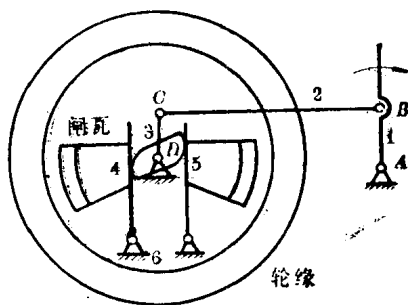


图 1-9

9. 图 1-9 所示为闸瓦制动器。制动器靠闸瓦与轮缘间

的摩擦力实现制动。试计算其自由度。

解 本机构无多余自由度和虚约束。由 $n=5$, $P_L=6$, $P_H=2$, 得

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

本机构若去掉构件 5, 不会改变其制动功能, 此时机构的自由度由 $n=4$, $P_L=5$, $P_H=1$, 得

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

第二章 平面机构的运动分析

在平面机构的运动分析中，通常是不考虑引起机构运动的外力以及机构构件弹性变形和机构运动副中间隙对机构运动影响的，而仅研究在已知原动构件的运动规律时，如何确定机构其余构件上各点的轨迹、位移、速度和加速度，以及机构其余构件的位置、角位移和角加速度等运动参数。

之所以对机构进行运动分析，是因为不论在设计新的机械，还是分析现有机械的工作性能时，都必须首先计算其机构的运动参数。

理论力学运动学中有关点的复合运动和刚体的平面运动知识是进行平面机构运动分析的理论基础。

本章中应掌握运用相对运动图解法求平面机构的速度和加速度，并能用速度瞬心法求平面机构的速度和用解析法进行简单连杆机构的运动分析。组成移动副两构件的重合点的速度和加速度求法是本章的关键。速度和加速度向量相加或相减的画法，特别是相对速度、相对加速度、法向加速度和哥氏加速度的指向容易搞错，因此需多加注意。

平面机构处于特殊位置时，其速度和加速度多边形常常演变成简单图形，建议读者对曲柄滑块机构和导杆机构等常用机构进行分析练习。

1. 图 2-1(a) 所示为契贝歇夫轮椅行走机构图。已知 $l_{BC}=l_{CD}=l_{CM}=500\text{mm}$, $l_{AB}=162\text{mm}$, $l_{AD}=692\text{mm}$ 。当乘坐者用手握持连杆上 M 点并使其沿某一轨迹运动时，曲柄 AB

绕 A 点转动, 与之固连的车轮(图中未画出)产生滚动, 轮椅便行走起来。试画出 M 点的轨迹。

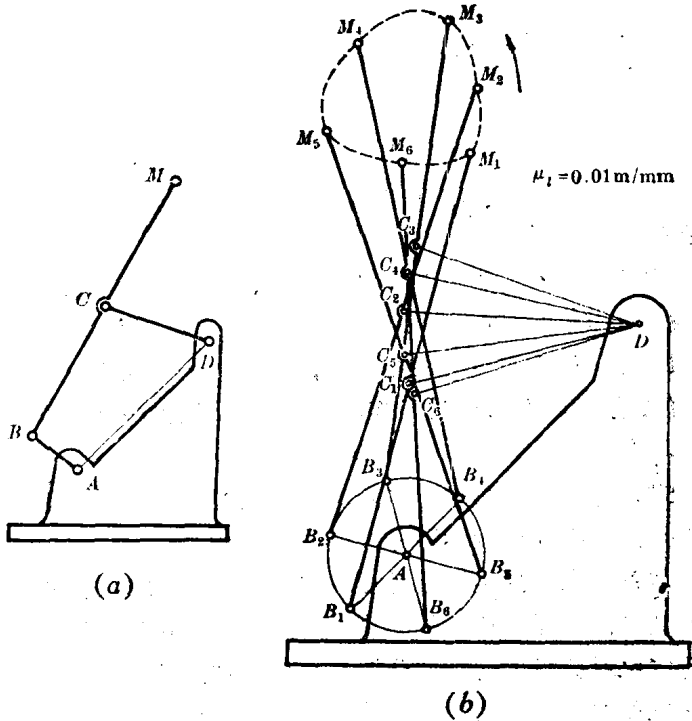


图 2-1

解 (1) 选取长度比例尺 $\mu_l = 0.01 \text{ m/mm}$, 画出机架 AD , 如图 2-1(b) 所示。

(2) 画出曲柄上 B 点的 6 个位置 $B_1, B_2, \dots, B_6$; 根据已知连杆 BC 和摇杆 CD 长度求得 C 点的 6 个位置 $C_1, C_2, \dots, C_6$ 。

(3) 在连杆 BC 各位置的延长线上求得 M 点的 6 个位置 $M_1, M_2, \dots, M_6$, 光滑连接 M 点的 6 个位置即得 M 点的