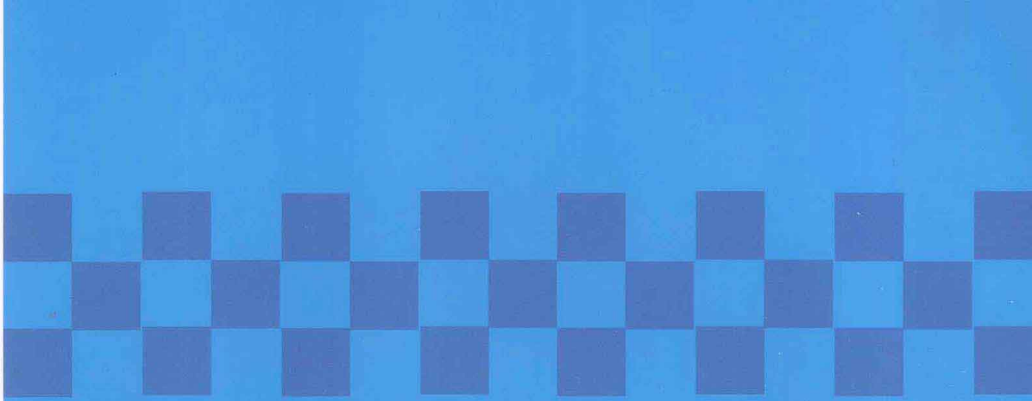
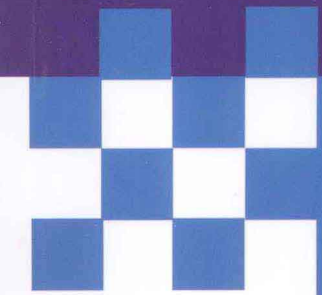




机械原理复习题详解



陆 宁 编著

清华大学出版社

机械原理复习题详解

陆 宁 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是学习机械原理课程的教学和应试辅导书,根据机械原理教学基本要求编写,内容包括平面机构的结构分析、机构的运动分析、连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、速度波动的调节、机械的平衡、平面机构的力分析、运动副的摩擦与机械效率及其他常用机构。书中所有习题全部给出了答案和解答过程,对某些典型习题还编排了评注,分析解题技巧,并在每章中对教学中常见的问题安排了答疑解惑,对考前复习有较高的参考价值。

本书可作为高等工科院校机械类学生考试复习用书,习题中编排了各种难度的习题,而以中、高难度的习题为主。既可供学生复习迎考,尤其是准备研究生入学考试使用,也可供青年教师备课和考试命题时参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械原理复习题详解/陆宁编著.--北京:清华大学出版社,2013

ISBN 978-7-302-32288-7

I. ①机… II. ①陆… III. ①机构学—高等学校—题解 IV. ①TH111-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 091779 号

责任编辑:庄红权 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.5 字 数:346 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版 印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00 元

产品编号:049192-01

前 言

机械原理是高等工科院校机械类本科生的主干课程,也是参加全国高等学校机械类专业硕士研究生考试的必备考试科目。机械原理的习题多、难度大,且教学时数相对比较紧,而要在短短几个月时间里利用课余有限的时间复习好这门课程,就必须提高学习效率。选择那些有代表性且能起到举一反三作用的典型题,深入地分析和详尽地解答,从而提高学生的学习效率,就是教学辅导书的根本任务。本书在这方面作了很大的努力,编排了学习和考试中可能出现的各种难度的习题和考题,尤以中、高难度的典型题为主,所有复习题均经过精心选择,并全部给出了答案和解答过程,许多典型习题还编排了评注,分析了解题技巧和思路,以起到举一反三的作用。为帮助学生深入理解每个章节,还分析了相应章节的重点和难点,答疑解惑,对考前提高复习效率有较大的帮助。由于本书参考了机械原理试题库和各类通编教材,所以,对采用不同教材的读者都有较强的通用性。同时,本书也可供青年教师备课和命题时参考。

“半亩方塘一鉴开,天光云影共徘徊。问渠哪得清如许,为有源头活水来。”这是古人在阅读中有所感悟,心胸豁然开朗时发出的感言,衷心希望本书的读者在阅读本书后,能有一些这样的感觉,那将是作者莫大的荣幸。

编 者

2013.5

目 录

第 1 章 平面机构的结构分析	1
1.1 答疑题	1
1.2 习题及解答	6
第 2 章 机构的运动分析	22
2.1 答疑题	22
2.2 习题及解答	26
第 3 章 连杆机构	51
3.1 答疑题	51
3.2 习题及解答	56
第 4 章 凸轮机构	88
4.1 答疑题	88
4.2 习题及解答	89
第 5 章 齿轮机构	105
5.1 答疑题	105
5.2 习题及解答	112
第 6 章 轮系	135
6.1 答疑题	135
6.2 习题及解答	136
第 7 章 速度波动的调节	153
7.1 答疑题	153
7.2 习题及解答	156
第 8 章 机构的平衡	172
8.1 答疑题	172
8.2 习题及解答	174

第 9 章 机构的力分析	178
9.1 答疑题	178
9.2 习题及解答	178
第 10 章 运动副的摩擦与机械效率	188
10.1 答疑题	188
10.2 习题及解答	189
第 11 章 其他常用机构	209
11.1 答疑题	209
11.2 习题及解答	210
附录 机械原理总复习知识要点	213
参考文献	223

第1章 平面机构的结构分析

1.1 答 疑 题

1.1.1 什么是机构的自由度？计算中应注意哪些问题？

答 机构具有确定运动时所必须给定的独立运动参数的数目叫做机构的自由度，即确定机构中全部构件位置所需要的广义坐标数的数目，平面机构的计算公式为

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

式中： n ——机构中的活动构件数；

P_L ——低副数目；

P_H ——高副数目；

F ——机构的自由度数。

在计算平面机构的自由度时，应注意机构中是否有复合铰链、局部自由度和虚约束。

1.1.2 什么是虚约束？对机构的运动有何影响？

答 在机构中，有些运动副所引入的某些约束，对机构的运动实际上起不到约束作用，我们把这种对机构的运动不产生实际约束效果的重复约束称为虚约束。机构中的虚约束都是在一些特定的几何条件下出现的，若这些几何条件不满足，这些虚约束将会变为实际有效的约束，使机构的自由度减小。但在实际机械中，为了改善构件的受力情况，增加机构的刚度，或为了保证机构运动的顺利等目的，机构中虚约束往往是多处存在的。但要注意：不要把某些满足几何对称条件的Ⅱ级杆组当成虚约束。

1.1.3 机构具有确定运动的条件是什么？不满足这一条件会出现什么情况？

答 机构具有确定运动的条件是：机构的自由度数等于原动件的数目。这个条件是假定机构的原动件与机架相连，且这样的原动件一般只能给定一个独立的运动参数。当机构不满足上述条件时，如果机构的原动件数目小于机构的自由度，机构的运动将不确定；如果机构的原动件数目大于机构的自由度，则将导致机构中最薄弱环节的损坏。如果机构的自由度数小于或等于零，则机构成为不可运动的桁架。

1.1.4 如何用低副替代高副？

答 用低副替代高副必须满足以下两个条件：

(1) 代替前后，两机构的自由度不变；

(2) 代替前后，两机构的瞬时速度与加速度不变。

具体方法是用2个新引进的转动副和1个增加的虚设构件代替1个高副。如果其中一个构件在接触点是直线，则可看作新增虚设构件与该构件组成的是半径无穷大的转动副，即移动副。如果其中一个构件在接触点是点接触，则可看作是半径无穷小的转动副，相当于增设构件与该构件的转动副就在接触点处。注意：不能在虚设构件上求原机构中某点的运动

参数。另外,在高副低代后,由于原来的高副被低副替代,有高副的构件要重新画,新增的那个替代高副的低副要和该构件原来的其他低副表达为同一个构件上的运动副。

1.1.5 什么是杆组? 是否自由度为零的运动链就是杆组? 拆分中要注意哪些问题?

答 杆组是自由度为零且不可再分的运动链,自由度为零的运动链不一定是杆组。拆分杆组时要注意以下几点:

- (1) 从远离原动件的构件拆起。
- (2) 只有拆不出更低一级的杆组时,才拆高一级的杆组。
- (3) 每拆去一个杆组,剩余机构的自由度必定不变。
- (4) 每个构件或运动副只能属于一个杆组,注意,复合铰链处不止一个转动副。
- (5) 原动件不同,拆分的杆组也不同。
- (6) 要注意: 杆组的自由度为零,而拆除的虚约束构件及运动副的自由度不为零,不要一见到机构中对称的部分就当虚约束拆除。

1.1.6 如图 1.1 所示,机构是可以运动的,但根据自由度计算公式计算所得自由度数为零,这是怎么回事?

答 由于整个机构没有转动副,所以存在对转动自由度的公共约束。每个构件只有 2 个自由度,每个运动副只提供 1 个约束,即: $F=2n-P_L=2\times 2-3=1$ 。

[评注] 公共约束使得自由度减少。

1.1.7 如图 1.2 所示,机构中有几个局部自由度? 几个复合铰链?

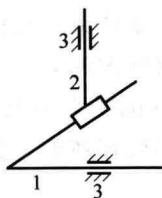


图 1.1 题 1.1.6 图

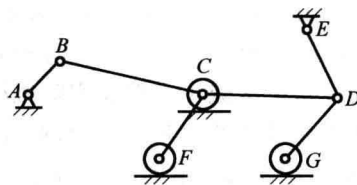


图 1.2 题 1.1.7 图

答 共有 C、F、G 3 个局部自由度,其中, C 点的滚轮只能算为 BC、CD、CF 三个构件其中之一局部自由度(一处只有一个局部自由度)。C、D 为复合铰链,各有 2 个转动副。机构的自由度为: $F=3\times 6-2\times 7-3=1$ 。

1.1.8 如图 1.3(a)所示的机构与如图 1.3(b)~图 1.3(e)所示的多个机构运动简图是否等效?

答 等效的。同一个机构的运动简图可以有多种画法,移动副可以平移位置,可以把组成移动副的 2 个构件之中的任意一个画成滑块,另一个画成导杆;转动副要画在两构件相对转动的中心位置。

1.1.9 如图 1.4 所示,4 个机构中哪个是有确定运动的? 哪个没有? 为什么?

答 如图 1.4(c)、图 1.4(d)所示,机构的自由度为 1,有确定的运动;如图 1.4(a)所示,机构的自由度为 0,不能运动;如图 1.4(b)所示的机构虽然与如图 1.4(a)所示的机构相比较,增加了 1 个转动副和 1 个构件,使总的自由度成为 1,但并不能使构件 3 上下运动,而只

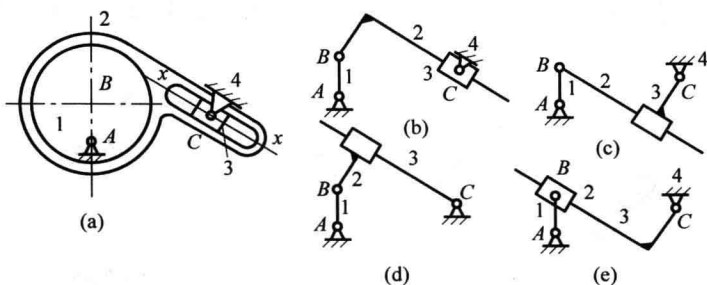


图 1.3 题 1.1.8 图

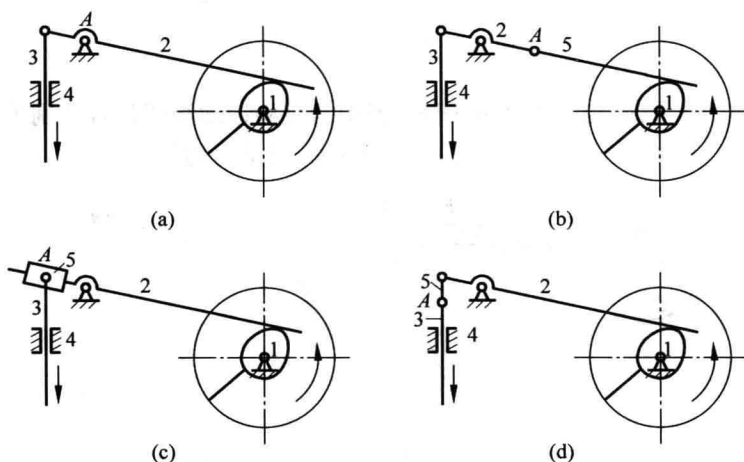


图 1.4 题 1.1.9 图

能得到构件 5 以转动副 A 为圆心的转动。构件 2、3 与机架 4 构成一个从机架到机架的两杆三副的桁架,自由度为零,因此,构件 3 不会动。

〔评注〕 如果若干个构件与机架组成一个自由度为零的、封闭的构件环路,则这几个构件都不会动。

1.1.10 有同学认为,教材论述说高副有 2 个自由度,有 1 个约束,即不能沿高副接触点的法线方向移动,可是如图 1.5 所示的高副,构件可以向上沿法线方向移动,这是否说明高副对构件沿法线方向的运动没有约束?

答 不可以这样认为,因为如果这样做,就破坏了两构件的接触,运动副就不存在了。此外,构件 2 的平面曲线用方程表示为 $y=f(x)$,只要两构件保持接触,可以看出只有一个主动变量,所以,高副只有一个移动的自由度和一个绕接触点转动的自由度。

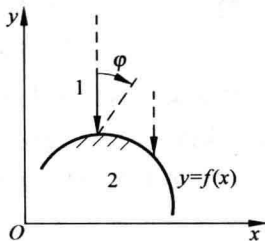


图 1.5 题 1.1.10 图

1.1.11 将如图 1.6(a)所示的机构拆分杆组,拆分结果见图 1.6(b),能否认为杆组④是一个虚约束?

答 不能,有的同学认为拆除了构件 6、7 及相关运动副,构件 5 的运动不受影响,从而

认定这是虚约束。这里要注意：不要把自由度为 0 的杆组错当成虚约束。虚约束的构件和运动副拆除下来，自由度不为 0。

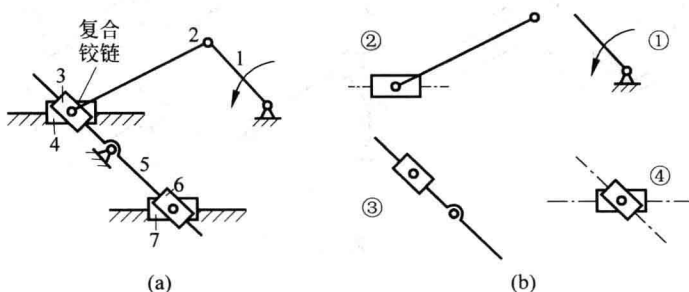


图 1.6 题 1.1.11 图

1.1.12 如图 1.7(a)和图 1.7(b)所示,图中的机构运动简图是否分别等效?

答 都等效。图 1.7(a)与图 1.7(b)中的图形分别是同构异形。

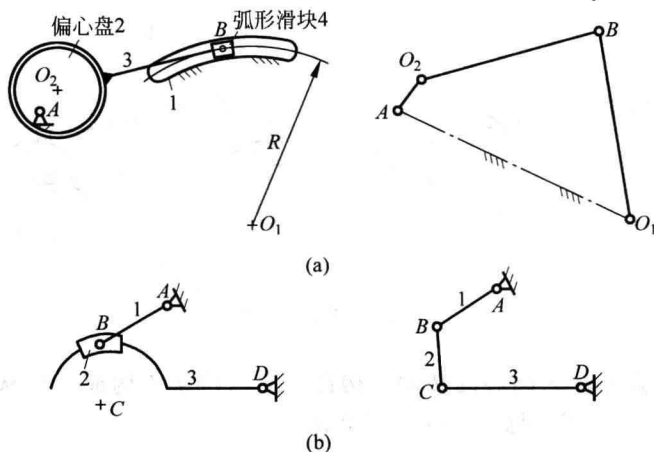


图 1.7 题 1.1.12 图

1.1.13 如何绘制机构的运动简图?

答 绘制运动简图是分析机构工作原理的基本方法,初学者应严格按以下方法进行。

(1) 首先,拿到一个机构模型后,要分析构件间的接触关系,因为只有彼此直接接触的构件才有运动副。例如,对如图 1.8(a)所示的机构,我们列出它们之间的接触关系如图 1.8(c)所示,构件间的连线表示运动副;这样,不直接接触的构件就不必分析运动副了。

(2) 接下来,判定运动副的性质并做好标记。在判定两构件相对运动的性质时,不要受图面复杂程度的干扰,只需设定一个构件不动,看另一个与之接触构件的运动轨迹,从而判定出是什么运动副。例如:构件 4 不动,构件 1 绕 A 点定轴转动,两构件组成固定转动副 A;构件 1 不动,构件 2 绕 B 点转动,两者组成转动副 B;构件 2 不动,构件 3 只能直线移动,两者构成沿 BC 方向的移动副;构件 4 不动,构件 3 只能绕 C 点转动,两者构成固定转动副 C。

(3) 先画出机架 4、转动副 A、B、C 和只有转动副的构件 1,这样的构件只要画出转动副

的小圆及连线代表构件即可,转动副要画在彼此相对转动的圆心。

(4) 最后,画有移动副的构件,可以把组成移动副的两构件其中之一画成直杆,另一个画成滑块,且移动副方向必须与真实方向相一致(可以平移)。对于如图 1.8(a)所示的情况要注意:由于 2 个构件的转动副 B 和 C 与移动副导路方向在同一直线上,造成表达困难,此时,可把画成滑块的那个构件就画在该构件转动副所在位置。例如:构件 2 有一个转动副和一个移动副,转动副在 B 点,滑块就画在 B 点,方向沿移动副方向,构件 3 画成穿越滑块长方形的直杆,如图 1.8(b)所示。当然,构件 3 和 2 组成移动副,还有个转动副在 C ,也可把构件 3 画成位置在 C 的滑块,构件 2 画成穿越的直杆,如图 1.8(d)所示。

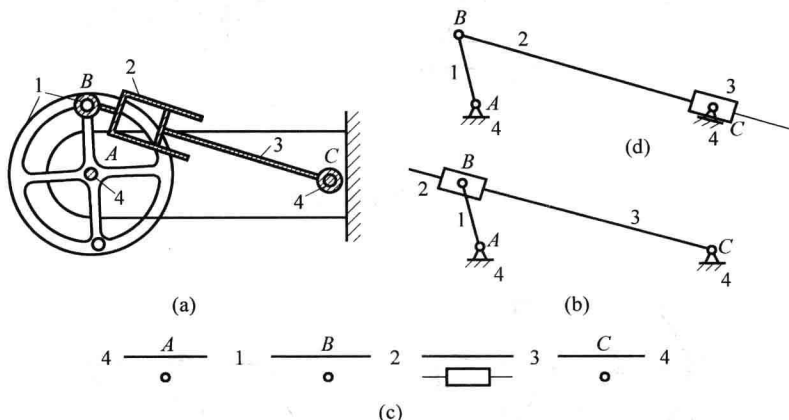


图 1.8 题 1.1.13 图

1.1.14 如何发现和判定虚约束?

答 虚约束是不起真正约束作用的重复约束。如图 1.9 所示的两个机构,如图 1.9(a)所示,是真实约束,而如图 1.9(b)所示,虽然也是一个活动构件,两个低副却能动,这是因为两个低副都使构件不能转动,不能上下运动,只能水平运动,所以有一个是“虚”的。

常见的虚约束有以下几种情况。

(1) 两构件组成平行移动副或同轴转动副,如图 1.9(b)、图 1.9(c)所示。

(2) 两构件组成公法线平行的高副,如图 1.9(d)所示。但应注意,如果高副的公法线平行但不重合在一条线上,则不一定是虚约束。例如:如图 1.10 所示,高副的公法线为图中虚线,彼此间不重合,只能有 1 个虚约束。

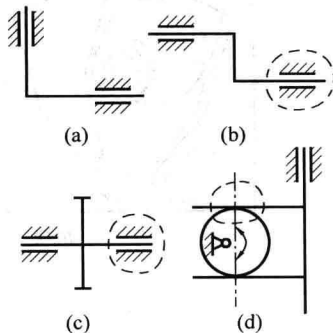


图 1.9 题 1.1.14 图

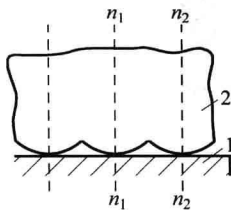


图 1.10 题 1.1.14 图

(3) 两构件间有重复传动关系,如图 1.11 所示,构件 1、3 间作用相同的传动。

(4) 存在 1 个构件同时与 2 个以上构件组成运动副,而其中任意 2 个运动副都使该构件上各点产生相同的运动轨迹,如图 1.12(a)所示的机构中,滑块上下运动由多组构件带动,去除任意两组(如虚线范围中的 LKM , IFJ)运动轨迹不变;如图 1.12(b)所示,构件 AB 上有 3 个转动副,去掉任意 1 个及其附带构件(如虚线范围内的 MN)都不影响其轨迹。

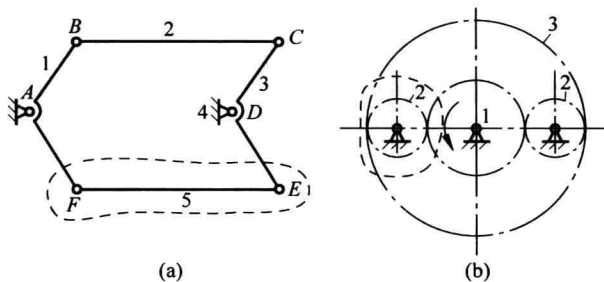


图 1.11 题 1.1.14 图

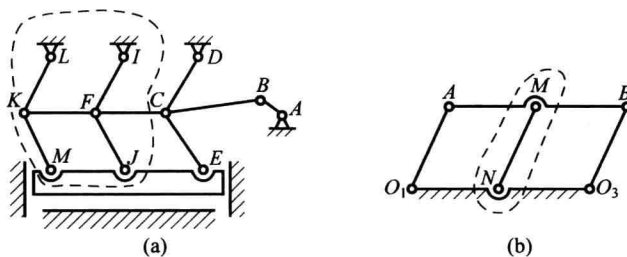


图 1.12 题 1.1.14 图

1.2 习题及解答

1.2.1 绘制如图 1.13 所示机构的运动简图。

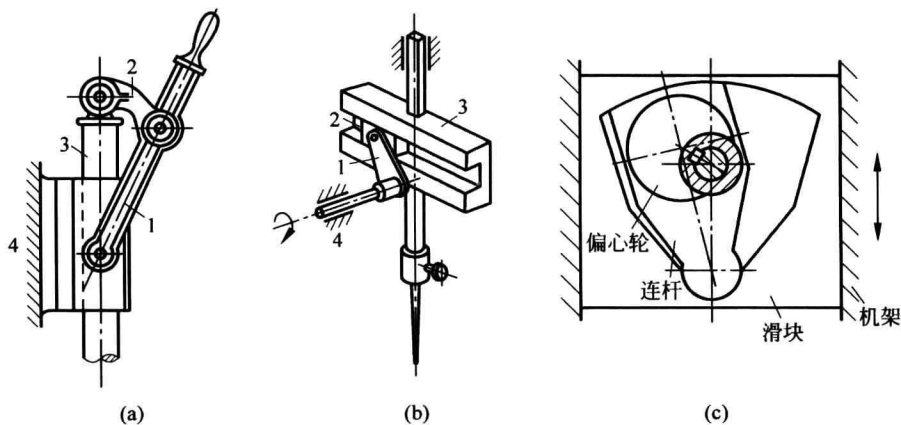


图 1.13 题 1.2.1 图

解 图 1.13 所示机构的运动简图如图 1.14 所示。

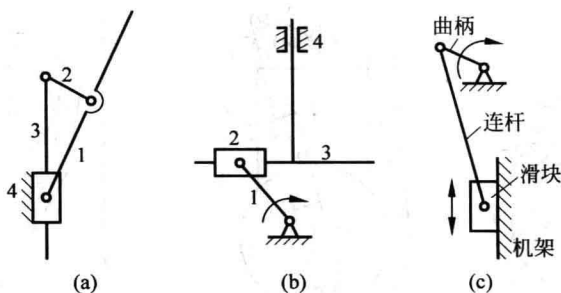


图 1.14 题 1.2.1 解答

1.2.2 绘制如图 1.15 所示机构的运动简图。

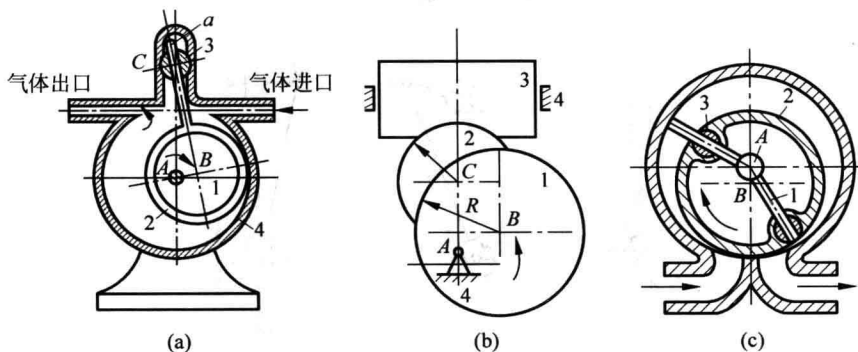


图 1.15 题 1.2.2 图

解 图 1.15 所示机构的运动简图如图 1.16 所示。

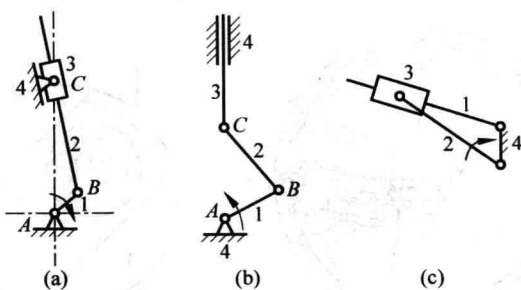


图 1.16 题 1.2.2 解答

1.2.3 绘制如图 1.17 所示机构的运动简图。

解 图 1.17 所示机构的运动简图如图 1.18 所示。

[评注] 注意如图 1.17(a)所示,由图中的几何条件可判断出构件 2 和构件 4 的高副是虚约束。

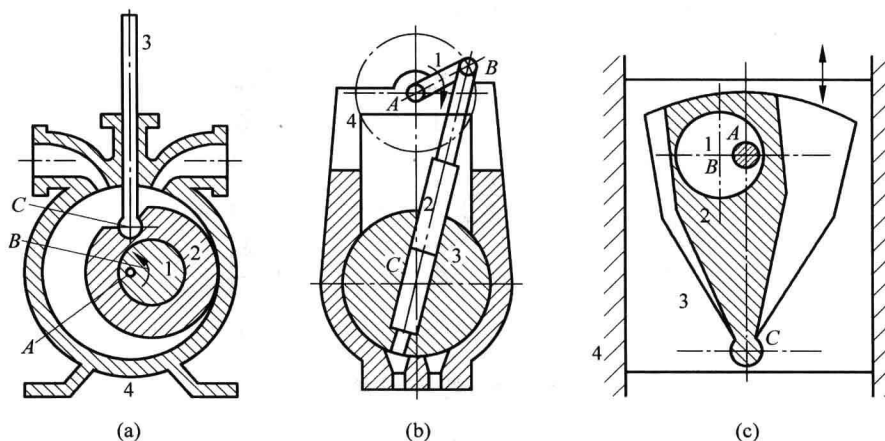


图 1.17 题 1.2.3 图

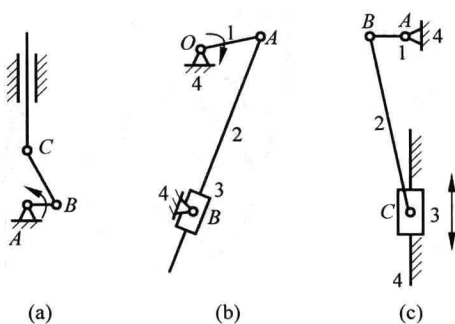


图 1.18 题 1.2.3 解答

1.2.4 绘制如图 1.19 所示机构的运动简图。

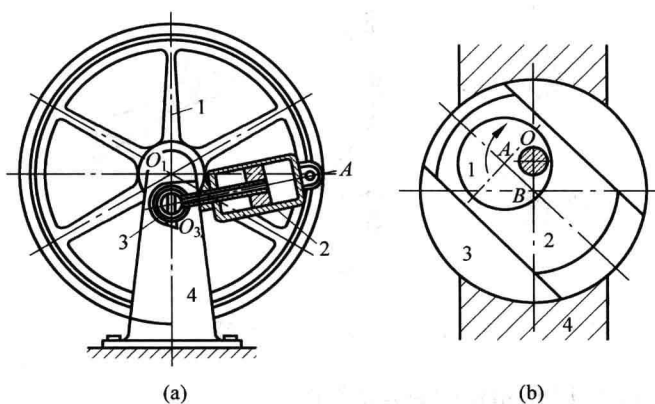


图 1.19 题 1.2.4 图

解 图 1.19 所示机构的运动简图如图 1.20 所示。

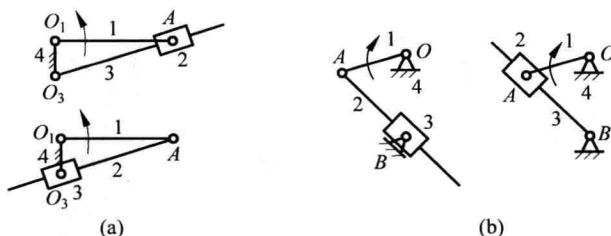


图 1.20 题 1.2.4 解答

1.2.5 绘制如图 1.21(a)所示机构的运动简图。

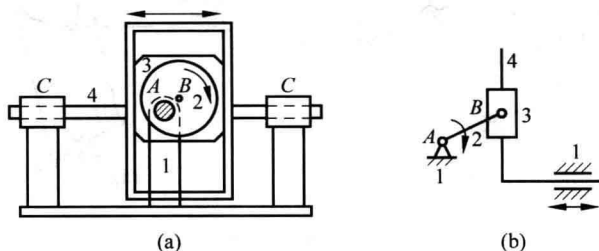


图 1.21 题 1.2.5 图

解 图 1.21(a)所示机构的运动简图如图 1.21(b)所示。

1.2.6 绘制如图 1.22(a)所示机构的运动简图。

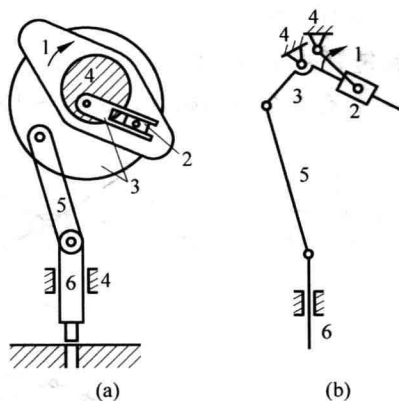


图 1.22 题 1.2.6 图

解 图 1.22(a)所示机构的运动简图如图 1.22(b)所示。

1.2.7 用自由度计算公式计算如图 1.23 所示机构的自由度。

解 (a) $F = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 = 1$ 。

(b) $F = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$ 。

(c) $F = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$ 。

(d) 由于 E、G 点分别是刚性连接, 所以平行四边形 DEFG 是一个刚性构件, 彼此不可能有相对运动, $F = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$ 。

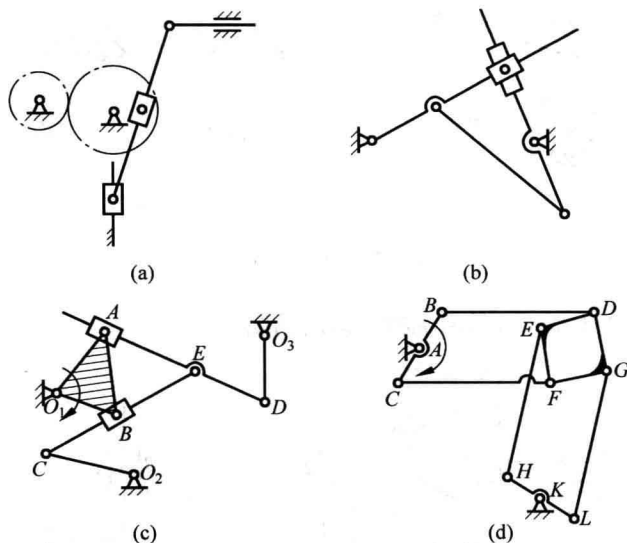


图 1.23 题 1.2.7 图

1.2.8 用自由度计算公式计算如图 1.24 所示机构的自由度。

解 (a) O 点由安装齿轮的旋转支架、齿轮和机架构成复合铰链, $F = 3 \times 4 - 2 \times 4 - 2 = 2$ 。

(b) C 点由滑块和 3 个活动杆构成复合铰链, 共 3 个转动副; A 点由 2 个活动构件和机架构成 2 个转动副, $F = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$ 。

(c) C, D, E, A 均为复合铰链, $F = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$ 。

(d) A, B, C 都是复合铰链, 各有 2 个转动副, $F = 3 \times 7 - 2 \times 8 - 3 = 2$ 。

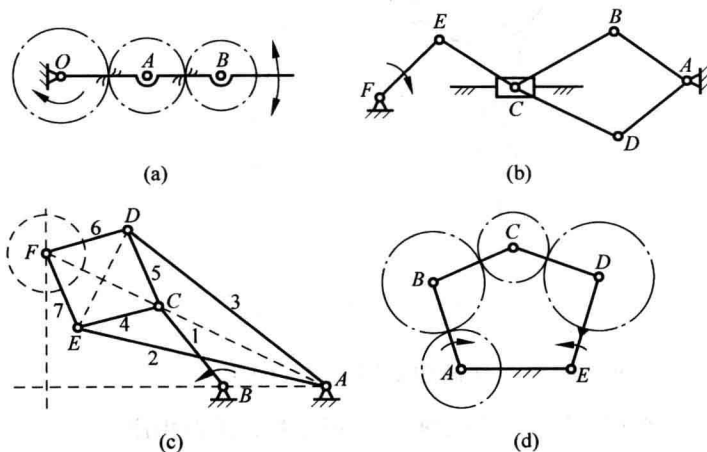


图 1.24 题 1.2.8 图

1.2.9 用自由度计算公式计算如图 1.25 所示机构的自由度。

解 (a) A 点是复合铰链, 有 2 个转动副, $F = 3 \times 10 - 2 \times 14 = 2$ 。

(b) F, G 点是高副且轨迹相同, 去除任意一个, 不影响另一个点的轨迹, 是虚约束。

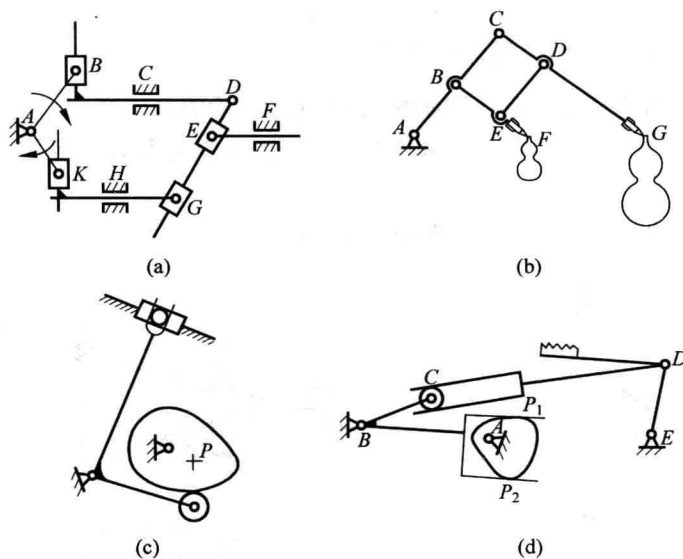


图 1.25 题 1.2.9 图

$$F = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1.$$

(c) 滚轮的转动是局部自由度。拨叉与滑块通过高副连接, 由于两接触处公法线平行且共线构成一个虚约束。 $F = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 2 = 1$ 。

(d) P_1 与 P_2 的两处高副的公法线共线, 一处是虚约束。C 点的滚轮是局部自由度, 与之接触的两处高副的公法线共线, 也有一处是虚约束。 $F = 3 \times 4 - 2 \times 4 - 2 = 2$ 。

1.2.10 用自由度计算公式计算如图 1.26 所示机构的自由度。

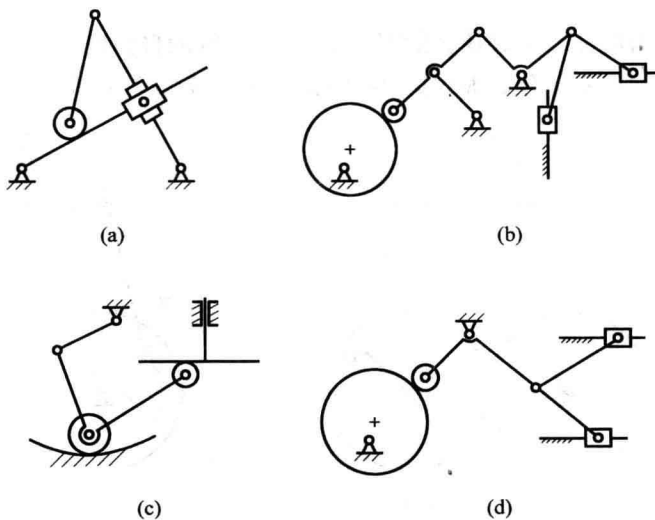


图 1.26 题 1.2.10 图

解 (a) 滚轮是局部自由度, $F = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 1 = 2$ 。

(b) 一个局部自由度, 一个复合铰链, $F = 3 \times 8 - 2 \times 11 - 1 = 1$ 。