



TEACHING MATERIALS  
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

123232143109430991-3049\*0239`2390`  
23232143109430991-3049\*0239-2390`



# 机械原理与 机械设计习题详解

JIXIE YUANLI YU JIXIE SHEJI XITI XIANGJIE

刘 峰 负平利 主编



中国石油大学出版社  
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

LS

FOR COLLEGE STUDENTS  
高等学校教材

# 机械原理与机械设计习题详解

刘 峰 贡平利 主编

## 图书在版编目(CIP)数据

机械原理与机械设计习题详解/刘峰, 负平利主编.  
—东营: 中国石油大学出版社, 2018. 3  
ISBN 978-7-5636-4589-3

I. ①机… II. ①刘… ②负… III. ①机械原理—高等学校—题解 ②机械设计—高等学校—题解 IV.  
①TH111-44 ②TH122-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 073844 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 机械原理与机械设计习题详解  
主 编: 刘 峰 负平利

---

责任编辑: 袁超红(电话 0532—86981532)

封面设计: 青岛友一广告传媒有限公司

---

出 版 者: 中国石油大学出版社

(地址: 山东省青岛市黄岛区长江西路 66 号 邮编: 266580)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: [shiyoujiaoyu@126.com](mailto:shiyoujiaoyu@126.com)

排 版 者: 青岛友一广告传媒有限公司

印 刷 者: 沂南县汶凤印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981531, 86983437)

开 本: 185 mm×260 mm

印 张: 22.75

字 数: 548 千

版 印 次: 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5636-4589-3

定 价: 46.00 元

## PREFACE 前 言

机械原理、机械设计和机械设计基础课程是高等工科大学机械类、近机类和非机类专业普遍开设的重要技术基础课。为便于学习此类课程的读者更高效地掌握课程内容,刘峰、綦耀光和崔学政编写了《机械原理与机械设计学习指导书(上、下册)》。该学习指导书对基本概念、基本理论等基本知识概括精炼,对重点内容和难点内容讲解透彻、分析深入,并涵盖了较为全面的习题类型,因而成为一本受到广大师生欢迎的教辅资料。

本书是与刘峰、綦耀光和崔学政所主编《机械原理与机械设计学习指导书(上、下册)》配套的习题解答。本书的特点:一是对学习指导书的各类题目都进行了详细解答;二是对自测题按标准规范进行了解答。

全书分为上、下两篇编写,章节顺序和内容体系与上述学习指导书一致,以便于读者使用。本书可供高等工科大学学生学习机械原理、机械设计和机械设计基础课程时使用,以有助于学习基础知识,掌握重点内容,理解难点内容;也可供参加硕士研究生入学考试时复习参考,或供相关任课教师参考。

本书由中国石油大学(华东)机电工程学院刘峰和负平利编写,其中刘峰编写下篇,负平利编写上篇。全书由刘峰统稿。参加本书编写讨论的有綦耀光、崔学政、石永军、肖文生、吴宝贵、刘健、周先军、于蕾艳、庞罕、郭颖、高和平、负平利和刘峰等,全书由綦耀光教授和崔学政教授主审。

由于编者水平所限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者  
2017年3月

# CONTENTS 目 录

## 上 篇

绪 论 .....	2
第一章 机构的结构分析 .....	3
第二章 平面机构的运动分析 .....	8
第三章 平面机构的力分析 .....	25
第四章 机械的摩擦与机械效率 .....	38
第五章 机械的平衡 .....	49
第六章 机械的运转及其速度波动的调节 .....	56
第七章 平面连杆机构及其设计 .....	73
第八章 凸轮机构及其设计 .....	86
第九章 齿轮机构及其设计 .....	102
第十章 齿轮系及其设计 .....	116
第十一章 其他常用传动机构及其设计 .....	134
第十二章 机构的选型及机械传动系统的设计 .....	138
附 录 机械原理自测试题 .....	140

## 下 篇

绪 论 .....	170
第一章 键连接 .....	179
第二章 螺纹连接 .....	184
第三章 带传动 .....	199
第四章 链传动 .....	210
第五章 齿轮传动 .....	219

第六章 蜗杆传动 .....	248
第七章 轴 .....	260
第八章 滚动轴承 .....	273
第九章 滑动轴承 .....	286
第十章 联轴器和离合器 .....	295
附录 机械设计自测试题 .....	300
参考文献 .....	356

## 机械原理与机械设计习题详解

### 上 篇

- 绪 论
- 机构的结构分析
- 平面机构的运动分析
- 平面机构的力分析
- 机械的摩擦与机械效率
- 机械的平衡
- 机械的运转及其速度波动的调节
- 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
- 齿轮系及其设计
- 其他常用传动机构及其设计
- 机构的选型及机械传动系统的设计
- 机械原理自测试题



# 绪 论

1. 什么是机构？什么是机器？什么是机械？机构与机器的研究侧重点有何不同？

答：机构是一种用来传递与变换运动和力的可动装置。机器是根据某种使用要求而设计的一种执行机械运动的装置，可以用来变换或传递能量、物料和信息。机械是机构与机器的总称。机构强调运动与力的传递与变换作用，而机器则强调能量、物料和信息的传递与变换作用。

2. 机械原理课程的内容是什么？你打算如何学好机械原理课程？

答：机械原理课程包括两大内容：① 研究各种机构和机器所具有的一般共性问题，如机构的组成理论、机构运动学、机器动力学等；② 研究各种机器中常用的一些机构（如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等）的运动和动力性能分析及设计方法。

要学好机械原理，在学习过程中应注意以下几点：① 要着重注意弄清基本概念，理解基本原理，掌握机构分析和综合的基本方法。② 应随时注意在日常生活和生产中所遇到的各种机构及机器，根据所学的原理和方法进行观察与分析，培养自己运用所学的基本理论和方法去分析及解决工程实际问题的能力，特别注意培养对事物分析、判断、决策的能力。③ 工程问题都是涉及多方面因素的综合问题，故要养成综合分析、全面考虑问题的习惯。另外，工程问题都要经过实践的严格考验，不允许有半点疏忽大意，故在学习中要坚持科学严谨、一丝不苟的工作作风，认真负责的工作态度以及讲求实效的工程观点。

3. 机械原理学科的发展现状与发展方向是什么？

答：机构学快速发展，如多杆多自由度的平面连杆机构，空间机构，各种组合机构，机、电、液一体化的机构都在研究之中，有些已得到应用；在高温、高压、有毒、有放射性等特殊条件下工作的机器人和机械手等仿生机械也得到了较快的发展。机构分析与设计新方法，如计算机辅助分析与设计、优化设计都得到了迅速发展，并且渐趋成熟。机械向高速、高精度、高负荷、高效率等方向发展，也给机械原理学科提出了一些新的课题，如考虑构件的弹性形变、运动副间隙等对机械工作的影响。



### 1. 解释下列概念:

零件:机械中制造的单元体。

构件:机械中运动的单元体。

原动件:机械中运动的输入构件。

从动件:机械中除原动件之外的活动构件。

机架:机构中相对固定的构件。

运动副:构件之间直接、可动的连接。

约束:对构件运动的限制。

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参变量的数目。

运动链:两个及以上构件通过运动副连接而成的可动系统。

杆组:不能再分的自由度为零的构件组合。

复合铰链:两个以上构件形成的同轴线转动副。

局部自由度:机构中某些构件所具有的仅与其自身局部运动有关而不影响其他构件运动的自由度。

虚约束:在一些特定的几何条件或结构条件下,某些运动副引入的约束与其他运动副所起的约束作用重复,这种不起独立限制作用的重复约束称为虚约束。

机构运动简图:用国家标准规定的简单符号和线条代表运动副和构件,并按一定比例尺绘制的表示机构运动的简明图形。

### 2. 机构具有确定运动的条件是什么?

答:机构的自由度等于原动件数。

### 3. 计算平面机构的自由度时应注意哪些事项?

答:应注意复合铰链、局部自由度、虚约束的判断与处理。

### 4. 运动链与机构有什么区别?

答:运动链是由构件组成的相对可动的系统,在运动链中固定一个构件作为机架,则运

动链成为机构。

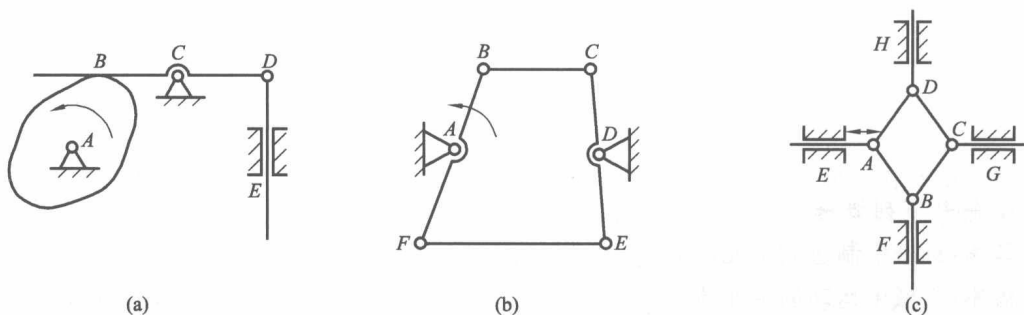
5. 机构的原动件数与机构自由度存在什么关系? 如果不满足这个条件将会产生什么情况?

答: 机构的原动件数与机构自由度相等时, 机构具有确定的运动; 若原动件数小于自由度, 则机构按最小阻力定律运动; 若原动件数大于自由度, 则机构不能运动或薄弱环节遭到破坏。

6. 杆组具有什么特点? 如何确定杆组的级别?

答: 杆组是不能再拆分的、自由度为零的构件组合。由 2 个构件、3 个低副组成的杆组为 II 级杆组, 更复杂的杆组级别的判断应根据杆组中闭环组成情况进行。

7. 题 7 图所示的构件组合中, 试判别哪些是机构、哪些不是机构。



题 7 图

解: 根据自由度的概念可知, 当构件组合的自由度小于等于零时不能成为机构。

(a) 构件组合自由度:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 1 = 0$$

因为自由度为零, 所以该构件组合不是机构。

(b) 构件组合自由度:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

因为自由度为零, 所以该构件组合不是机构。

(c) 该构件组合活动构件数  $n=8$ , 低副数  $P_1=12$  (其中转动副  $A, B, C$  和  $D$  处为复合铰链, 各计 2 个转动副)。若  $ABCD$  构成菱形结构且  $E$  与  $G$  处移动副方向平行、 $H$  与  $F$  处移动副方向平行, 则铰链  $A, B, C$  和  $D$  之一存在虚约束 (铰接点轨迹重合), 也可看成构件  $AB, BC, CD$  和  $DA$  之一及其两端的转动副引入虚约束 (两构件上的两点之间的距离始终保持不变, 而将此两点用带有两个低副的构件相连)。虚约束  $P' = 1$ , 则构件组合自由度为:

$$F = 3n - (2P_1 + P_h - P') = 3 \times 8 - (2 \times 12 + 0 - 1) = 1$$

也可先去掉引入虚约束的部分, 将原构件组合看作如题 7(c) 解图所示结构之一, 则  $n=7, P_1=10$ , 则构件组合自由度为:

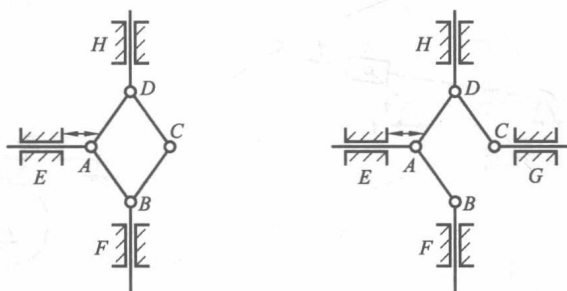
$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

因为自由度大于零, 该构件组合成为机构。给定一个原动件, 该机构具有确定运动。

若不满足上述几何条件, 则不存在虚约束, 构件组合自由度为:

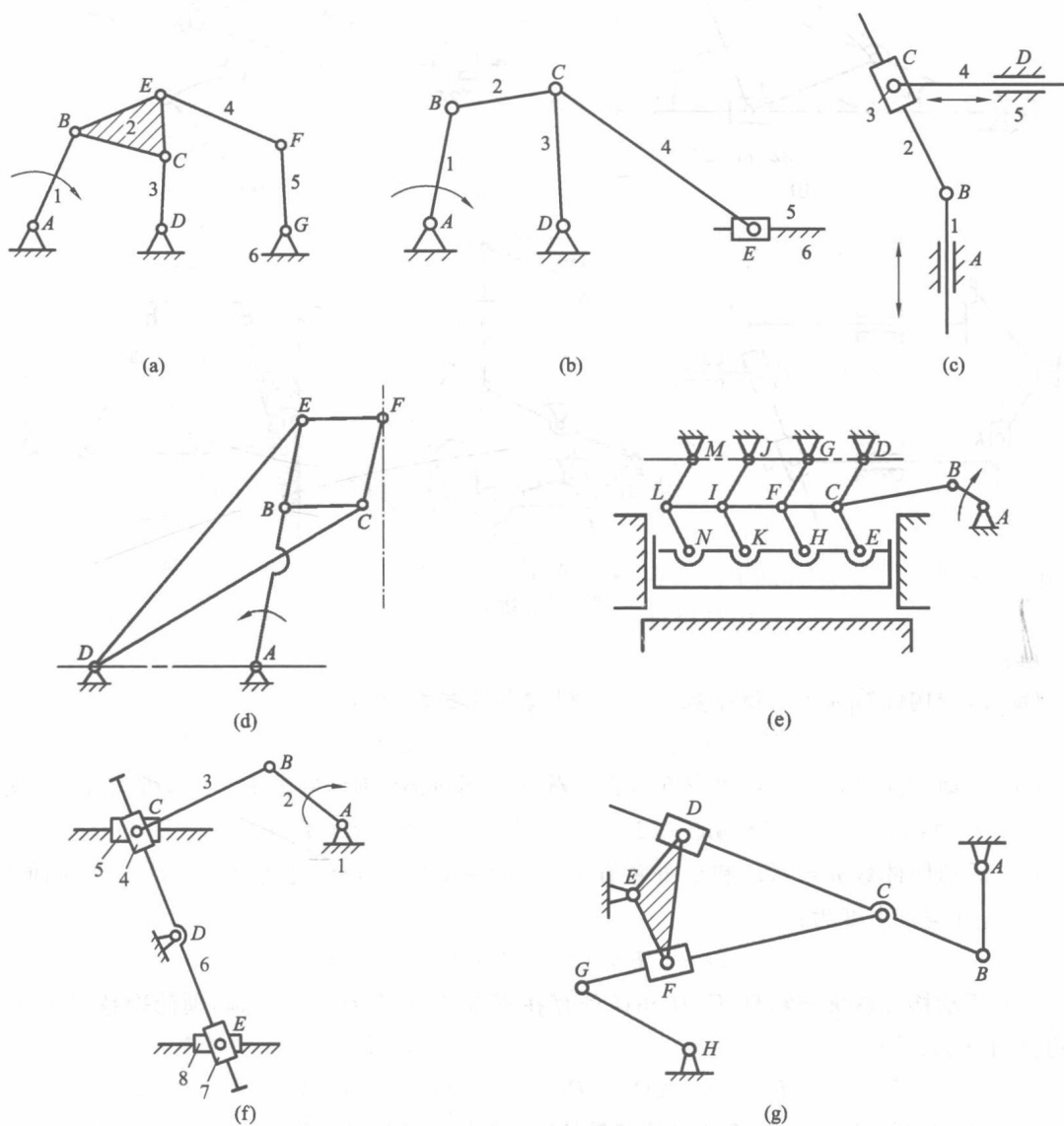
$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 8 - 2 \times 12 = 0$$

即该构件组合不是机构。

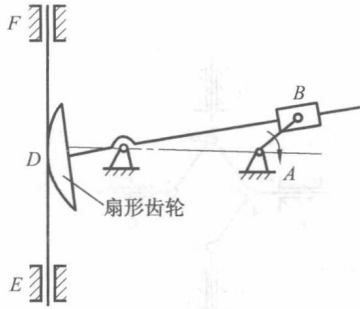


题 7(c)解图

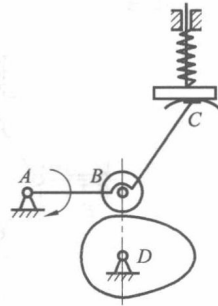
8. 计算题 8 图中机构的自由度。



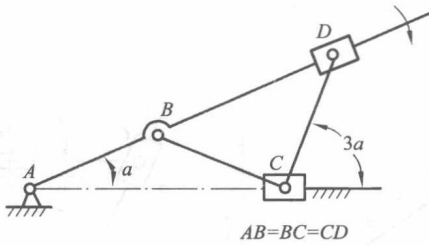
题 8 图



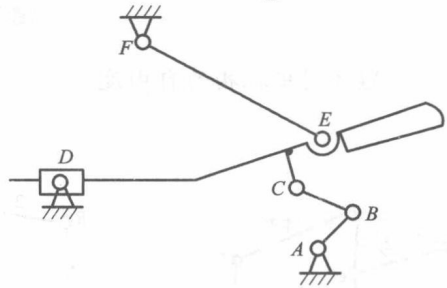
(h)



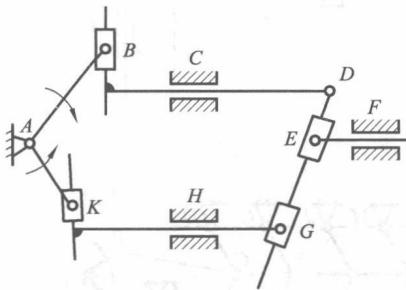
(i)



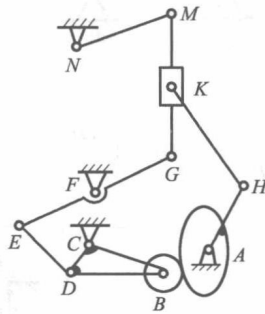
(j)



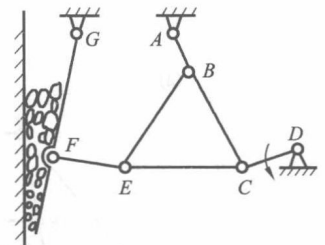
(k)



(l)



(m)



(n)

题 8 图(续)

解:

(a) 活动构件数  $n = 5$ , 低副数  $P_1 = 7$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

(b) 活动构件数  $n = 5$ , C 处存在复合铰链, 计 2 个低副, 则低副数  $P_1 = 7$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

(c) 活动构件数  $n = 4$ , B 和 C 处各有 1 个转动副, A, D 和 C 处各有 1 个移动副, 则低副数  $P_1 = 5$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$$

(d) 活动构件数  $n = 7$ , D, E, B 和 C 处存在复合铰链, 各计 2 个低副, 则低副数  $P_1 = 10$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

(e) 图中构件 CD, FG, IJ 和 LM 平行且长度相等, CE, FH, IK 和 LN 平行且长度相等, 则点 C 与 F, F 与 I, I 与 L 之间距离始终保持不变, 所以构件 CF, FI 和 IL 及其所带转动副将各引入 1

个虚约束,应去掉构件  $CF$ ,  $FI$  和  $IL$  及其所带转动副后计算机构自由度。简化后的机构如题 8(e) 解图所示。活动构件数  $n = 11$ ,  $C$  处存在复合铰链, 计 2 个低副, 则低副数  $P_1 = 16$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 11 - 2 \times 16 = 1$$

(f) 活动构件数  $n = 7$ , 低副数  $P_1 = 10$ , 其中  $C$  处构件 3, 4 和 5 形成复合铰链, 计 2 个转动副和 2 个移动副。注意此机构中, 虽然  $C$  处由构件 4 和 6 形成的移动副与  $E$  处由构件 6 和 7 形成的移动副方向平行, 但并不属于“由相同的两个构件在不同的位置形成方向平行的移动副”的情况, 所以不存在虚约束。机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

(g) 活动构件数  $n = 7$ , 低副数  $P_1 = 10$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

(h) 活动构件数  $n = 4$ , 低副数  $P_1 = 5$  ( $F$  和  $E$  处移动副计 1 个), 高副数  $P_h = 1$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1$$

(i)  $B$  处滚子存在局部自由度, 将滚子“刚化”处理后活动构件数  $n = 3$ , 低副数  $P_1 = 3$ , 高副数  $P_h = 2$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 2 = 1$$

(j) 活动构件数  $n = 5$ , 低副数  $P_1 = 7$  ( $C$  处存在复合铰链, 计 2 个转动副), 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

(k) 活动构件数  $n = 5$ , 低副数  $P_1 = 7$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

(l)  $A$  处存在复合铰链, 计 2 个转动副; 虽存在移动方向平行的移动副, 但不存在虚约束, 原因同题(f)。活动构件数  $n = 10$ , 低副数  $P_1 = 14$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 10 - 2 \times 14 = 2$$

(m)  $B$  处滚子存在局部自由度, 将滚子“刚化”处理;  $A$  处凸轮和曲柄属于 1 个构件。活动构件数  $n = 8$ , 低副数  $P_1 = 11$ , 高副数  $P_h = 1$ , 机构自由度为:

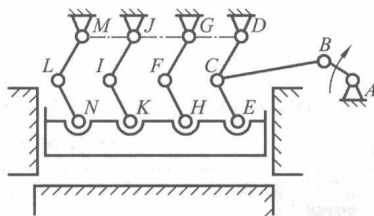
$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 8 - 2 \times 11 - 1 = 1$$

(n) 注意图中三角形算 1 个构件。活动构件数  $n = 5$ , 低副数  $P_1 = 7$ , 机构自由度为:

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

9. 填空题:

- (1) 一个平面运动副最多提供 2 个约束, 最少提供 1 个约束。
- (2) 机构具有确定运动的条件是 自由度大于 0 且自由度等于原动件数。
- (3) 任何机构只能有 1 个机架。
- (4) 对机构的运动实际不起任何约束作用的约束称为 虚约束。
- (5) 一个机构中同时存在 II 级及 III 级杆组, 则该机构为 III 级 机构。
- (6) 如果按照空间机构来分析, 则平面机构存在 3 个公共约束。



题 8(e) 解图

## 1. 为什么要进行机构的运动分析?

答:机构的运动分析是在已知机构尺寸及原动件运动规律的情况下,确定机构中其他构件上某些点的轨迹、位移、速度及加速度和构件的角位移、角速度及角加速度。无论是设计新的机械,还是了解现有机械的运动性能,机构的运动分析都是十分必要的。它还是研究机械动力性能的必要前提。

## 2. 什么是瞬心?绝对瞬心与相对瞬心有何区别?

答:速度瞬心(简称瞬心)是两构件上的瞬时等速重合点。活动构件与机架之间的瞬心为绝对瞬心,绝对瞬心处绝对速度为零。两活动构件之间的瞬心为相对瞬心。

## 3. 什么是速度影像与加速度影像?它们有何作用?

答:在机构的速度(或加速度)多边形中,某一构件的速度图(或加速度图)与该构件几何形状是相似的,且它们的角标字母顺序方向也都一致,将该构件的速度图形(或加速度图形)称为该构件的速度影像(或加速度影像)。当已知某构件上两点的速度(或加速度)时,则该构件上其他任一点的速度(或加速度)便可利用速度影像(或加速度影像)原理求出,而不用再列矢量方程求解。需要强调的是,速度图(或加速度图)与构件几何形状的相似性是指单个构件几何形状与其速度图(或加速度图)的相似,而并不是整个机构的几何形状与整个机构速度图(或加速度图)相似。

## 4. 科氏加速度在什么情况下产生?它如何计算?它的方向如何判定?

答:当牵连运动为转动时存在科氏加速度。具体到机构的运动分析,当选择组成移动副的两构件的重合点进行加速度分析时,若该移动副导路方向有变化,则存在科氏加速度。科氏加速度 $\vec{a}_{12}^k$ 的大小和方向均与两点之间的相对速度 $\vec{v}_{12}$ 和移动副导路的角速度 $\omega$ 有关。科氏加速度 $\vec{a}_{12}^k$ 的大小为 $2v_{12}\omega$ ,方向是将 $\vec{v}_{12}$ 矢量绕其自身起点沿 $\omega$ 方向转过 $90^\circ$ 后所指方向。

## 5. 速度多边形与加速度多边形有何特征?

答:在速度(或加速度)多边形中,由极点向外放射的矢量代表构件上相应点的绝对速度(或加速度),而连接两绝对速度(或加速度)矢端的矢量则代表构件上相应两点间的相对速

度(或加速度)。

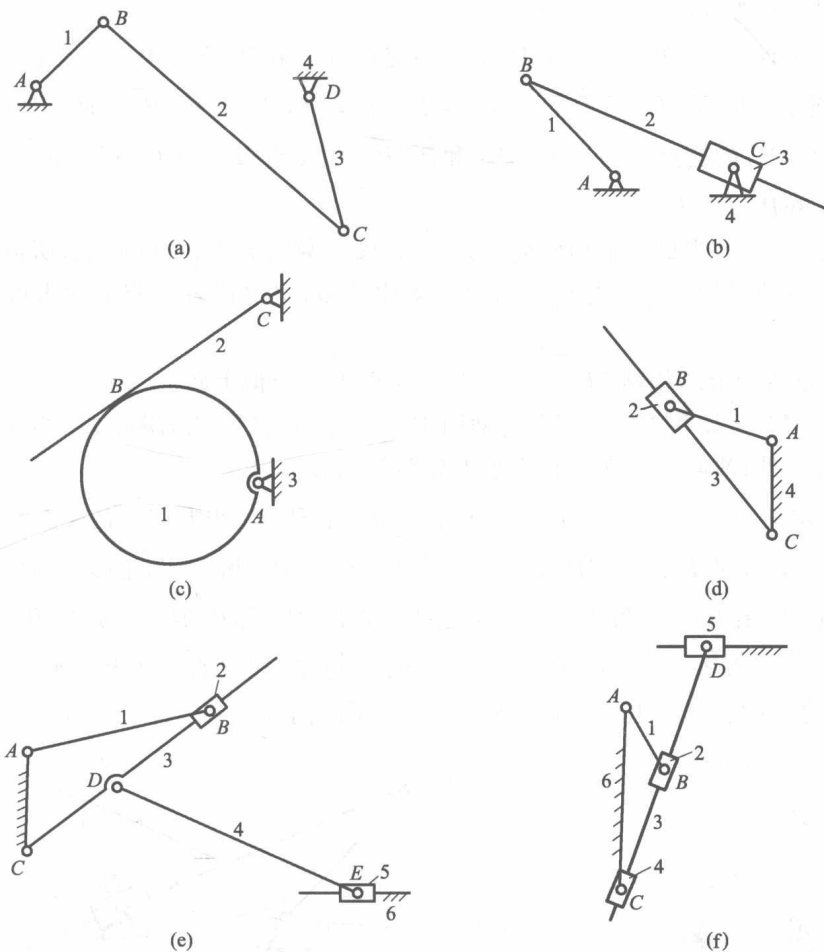
6. 什么是机构的运动线图? 它在机械设计中有何用处?

答: 机构的运动线图是指机构中从动构件上某些点的位移、速度及加速度或构件的角位移、角速度及角加速度随原动件位移而变化的坐标曲线图。从机构的运动线图上可以直观地、清晰地看出整个机构运动循环中构件运动参数的变化规律和惯性力的变化规律, 为机构的运动设计和动力分析提供依据。

7. 运动分析图解法和解析法的优缺点是什么?

答: 运动分析图解法形象、直观, 但精度低, 且机构位置发生变化时整个分析过程必须重新进行。解析法精度高, 可获得机构整个运动循环中的运动特性, 可使机构的运动分析和设计问题联系起来, 但公式推导较复杂、计算量大。

8. 试求题 8 图中机构在图示位置时的全部瞬心。



题 8 图

解:

(a) 机构瞬心总数  $K = C_4^2 = 6$ 。

瞬心  $P_{14}, P_{12}, P_{23}$  和  $P_{34}$  分别在转动副中心  $A, B, C$  及  $D$  处。根据三心定理,  $P_{13}$  一定在  $P_{12}$  与  $P_{23}$  的连线上, 也一定在  $P_{14}$  与  $P_{34}$  的连线上, 其结果如题 8(a) 解图所示。同理可求出  $P_{24}$  位置。

(b) 机构瞬心总数  $K = C_4^2 = 6$ 。

瞬心  $P_{14}$ ,  $P_{12}$  和  $P_{34}$  分别在转动副中心  $A$ ,  $B$ , 及  $C$  处。瞬心  $P_{23}$  在垂直于导路(杆2)的无穷远处。根据三心定理,  $P_{13}$  一定在  $P_{12}$  与  $P_{23}$  的连线上, 也一定在  $P_{14}$  与  $P_{34}$  的连线上, 其结果如题 8(b)解图所示。同理可求出  $P_{24}$  位置。

(c) 机构瞬心总数  $K = C_3^2 = 3$ 。

瞬心  $P_{13}$  和  $P_{23}$  分别在转动副中心  $A$  和  $C$  处。构件 1 和 2 形成高副, 其瞬心  $P_{12}$  在过  $B$  点的高副元素公法线  $nm$  上, 又根据三心定理,  $P_{12}$  一定在  $P_{13}$  与  $P_{23}$  的连线上, 其结果如题 8(c)解图所示。

(d) 求法同(b), 结果如题 8(d)解图所示。

(e) 机构瞬心总数为  $K = C_6^2 = 15$ 。

采用如题 8(g)解图所示瞬心多边形可清楚看出瞬心数目及瞬心编号。瞬心  $P_{16}$ ,  $P_{12}$ ,  $P_{36}$ ,  $P_{34}$  和  $P_{45}$  分别在转动副中心  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  及  $E$  处; 瞬心  $P_{23}$  在垂直于杆 3 的无穷远处; 瞬心  $P_{56}$  在垂直于水平导路的无穷远处。

根据三心定理,  $P_{13}$  在  $\overline{P_{16}P_{36}}$  和  $\overline{P_{12}P_{23}}$  的交点,  $P_{26}$  在  $\overline{P_{16}P_{12}}$  和  $\overline{P_{23}P_{36}}$  的交点, 结果如题 8(e)解图所示。同理,  $P_{35}$  在  $\overline{P_{34}P_{45}}$  和  $\overline{P_{36}P_{56}}$  的交点,  $P_{46}$  在  $\overline{P_{36}P_{34}}$  和  $\overline{P_{45}P_{56}}$  的交点;  $P_{24}$  在  $\overline{P_{23}P_{34}}$  和  $\overline{P_{26}P_{46}}$  的交点,  $P_{14}$  在  $\overline{P_{16}P_{46}}$  和  $\overline{P_{12}P_{24}}$  的交点;  $P_{15}$  在  $\overline{P_{14}P_{45}}$  和  $\overline{P_{16}P_{56}}$  的交点,  $P_{25}$  在  $\overline{P_{15}P_{12}}$  和  $\overline{P_{35}P_{23}}$  的交点。

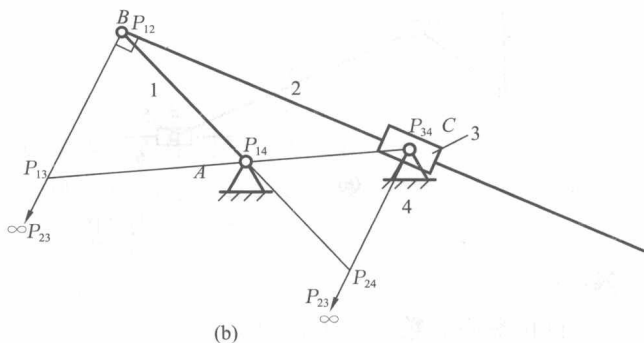
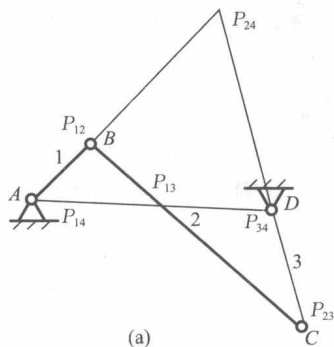
从本题可以看出, 当机构中构件数目较多时, 瞬心数目繁多, 求解麻烦, 所以瞬心法更适用于构件数较少的机构的速度分析。图中线条比较多, 建议读者按照上述求解过程自己逐步画图求解。

(f) 瞬心总数和上题相同,  $K = C_6^2 = 15$ 。求解方法类似上题。

瞬心  $P_{16}$ ,  $P_{12}$ ,  $P_{46}$  和  $P_{35}$  分别在转动副中心  $A$ ,  $B$ ,  $C$  及  $D$  处; 瞬心  $P_{23}$  和  $P_{34}$  均在垂直于杆 3 的无穷远处; 瞬心  $P_{56}$  在垂直于水平导路的无穷远处。

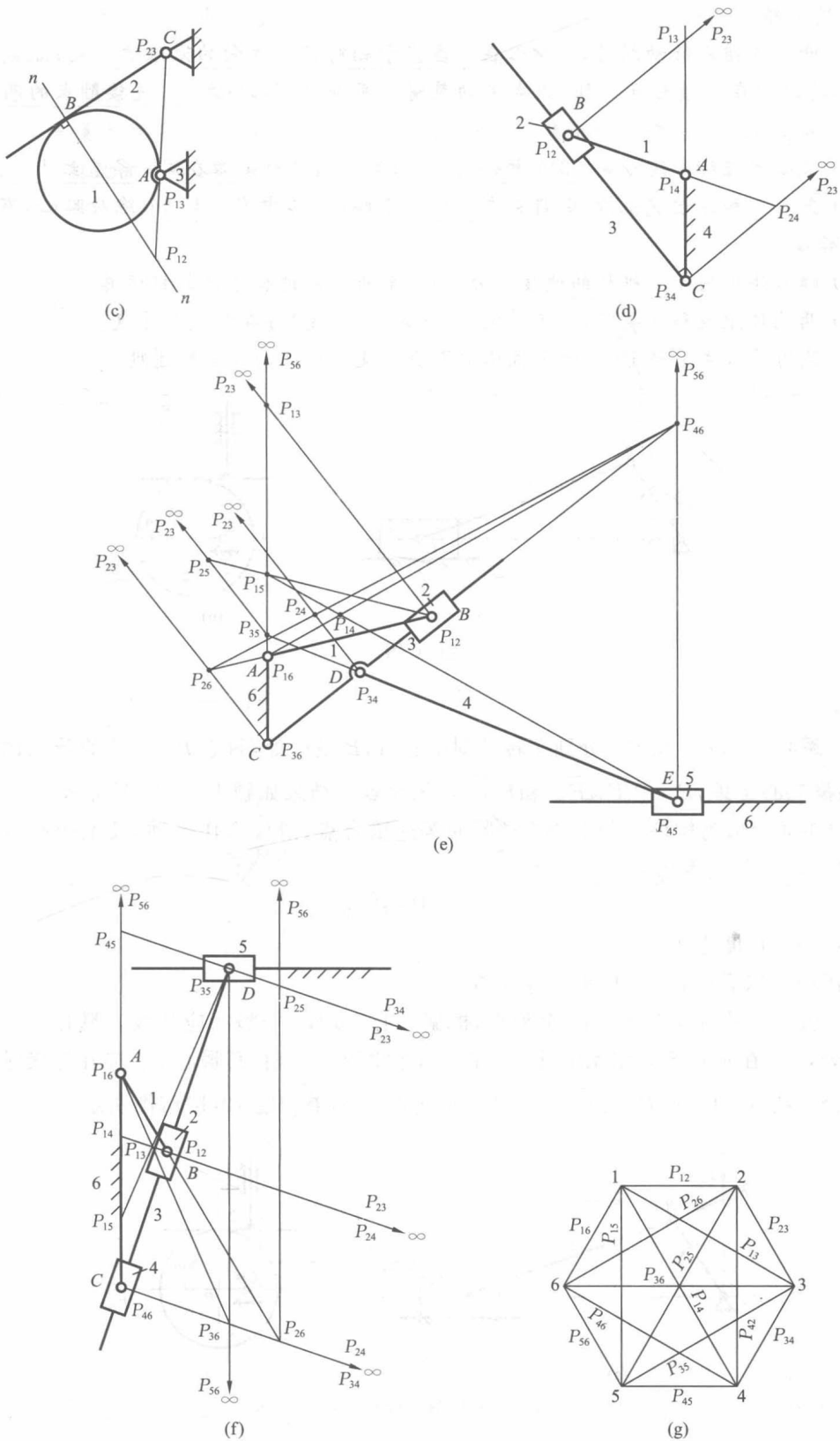
根据三心定理,  $P_{45}$  在  $\overline{P_{46}P_{56}}$  和  $\overline{P_{35}P_{34}}$  的交点,  $P_{36}$  在  $\overline{P_{35}P_{56}}$  和  $\overline{P_{46}P_{34}}$  的交点, 结果如题 8(f)解图所示。同理,  $P_{26}$  在  $\overline{P_{16}P_{12}}$  和  $\overline{P_{36}P_{23}}$  的交点,  $P_{13}$  在  $\overline{P_{12}P_{23}}$  和  $\overline{P_{16}P_{36}}$  的交点;  $P_{14}$  在  $\overline{P_{13}P_{34}}$  和  $\overline{P_{16}P_{46}}$  的交点,  $P_{15}$  在  $\overline{P_{13}P_{35}}$  和  $\overline{P_{16}P_{56}}$  的交点;  $P_{25}$  在  $\overline{P_{23}P_{35}}$  和  $\overline{P_{26}P_{56}}$  的交点,  $P_{24}$  在  $\overline{P_{12}P_{14}}$  和  $\overline{P_{26}P_{46}}$  的交点。因为  $\overline{P_{12}P_{14}}$  和  $\overline{P_{26}P_{46}}$  平行, 所以  $P_{24}$  也在垂直于杆 3 的无穷远处。

同上题, 建议读者按照上述求解过程自己逐步画图求解。



题 8 解图





题 8 解图(续)