



21世纪高等教育规划教材——学习指导与考研系列

Fundamentals of Mechanical Design

机械设计基础

考研指导书

陆宁○编

- ★ 包含**机械原理和机械设计**考研内容
- ★ **两千余道**精选练习题,帮助熟练掌握考试要求的知识点
- ★ 详尽的解题指导和答案,帮助**扫清**复习中的**障碍**
- ★ **总结**全国重点高校机械设计基础考研试题特点,**深度挖掘**知识点考核方式
题目和答案**双册装**使用更方便



21 世纪高等教育规划教材——学习指导与考研系列

机械设计基础考研指导书

陆宁 编



机械工业出版社

本书是学习机械设计基础（机械原理与机械设计）课程的教学和应试辅导书，根据机械设计基础教学基本要求编写，内容包括机构的结构分析与运动分析、连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、其他常用机构、速度波动的调节、平衡、机械零件设计概论、连接、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、滑动轴承、滚动轴承、轴、联轴器和离合器、弹簧。作者在分析国内著名高校近年来考研试题的基础上，编排了考试中可能出现的多种题目类型的习题，所有习题均给出了答案和解答过程，并单独成册，方便查阅；在每章中，对教学中常见的考点进行了归纳，对常见的疑难问题进行了分析，安排了答疑解惑。对考前复习有较高的参考价值。

本书可作为研究生入学考试复习用书，也可供青年教师备课和考试命题时参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械设计基础考研指导书/陆宁编. —北京：机械工业出版社，2014.6

21 世纪高等教育规划教材. 学习指导与考研系列

ISBN 978-7-111-46163-0

I. ①机… II. ①陆… III. ①机械设计—研究生—教学参考资料 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 053277 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：余 晖 责任编辑：余 晖 李 超

版式设计：霍永明 责任校对：肖 琳

封面设计：陈 沛 责任印制：刘 岚

北京中兴印刷有限公司印刷

2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

210mm×285mm·23.25 印张·739 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-46163-0

定价：49.80 元



凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203 封面防伪标均为盗版

前 言

机械设计基础（机械原理及机械设计）是高等工科院校机械类及近机类本科生的主干技术基础课程，也是参加全国高等学校机械类专业硕士研究生入学考试的必考科目。机械设计基础的习题多、难度较大且教学时间相对比较紧，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，从而提高学生的复习效率就是指导书的根本任务。本书在这方面做了很大的努力，在分析国内著名大学近年来机械设计基础研究生入学考试试卷的基础上，编排了学习和考试中可能出现的各种类型的习题和考题，尤以典型题为主，所有编排的复习题均具有典型性和针对性，并给出了答案和解答过程，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主要考点和难点，对考前提高复习效率有较大的帮助。由于本书参考了国内名校近年的机械设计基础考题和各类通编教材，所以对采用不同教材的读者有较强的通用性。

鉴于机械设计（零件）部分的各类教材所使用的变量符号不同，且无统一标准，本书基本遵照西北工业大学机械原理及机械零件教研室编著，濮良贵、纪名刚主编的《机械设计》（第八版）一书中的用法，如读者采用其他教材，请注意符号变量的差异。

由于各校机械设计基础课程教学及考试要求存在一定差异，因此本书尽可能全面地编排了参加机械设计基础研究生考试可能出现的内容，基本内容参照张策老师主编的《机械原理与机械设计》以及杨可桢、程光蕴老师主编的《机械设计基础》的要求编写部分内容可能不在某些学校考研范围内，读者可根据具体考纲在复习时选择。

本书可用于研究生入学考试科目为机械设计基础、机械原理或机械设计的考生复习备考，也可供在校本科生提高课外自修水平和教师备课命题时参考。

编 者

目 录

前言

第一章 机构的结构分析与运动分析	1
第二章 连杆机构	18
第三章 凸轮机构	32
第四章 齿轮机构	46
第五章 轮系	63
第六章 其他常用机构	72
第七章 速度波动的调节	77
第八章 平衡	83
第九章 机械零件设计概论	88
第十章 连接	100
第十一章 带传动	121
第十二章 链传动	132
第十三章 齿轮传动	140
第十四章 蜗杆传动	165
第十五章 滑动轴承	175
第十六章 滚动轴承	187
第十七章 轴	204
第十八章 联轴器和离合器	213
第十九章 弹簧	216
模拟试卷 1	222
模拟试卷 2	225
模拟试卷 3	229
模拟试卷 4	233
模拟试卷 5	237
参考文献	240

第一章 机构的结构分析与运动分析

一、考点提要

(一) 机构的结构分析

1. 机器与机构

机器具有以下三大本质属性：

- 1) 人为实物的组合体。
- 2) 各实物（称为构件）间具有确定的相对运动，能够传递和变换运动。
- 3) 能对外做有用的机械功或实现能量转换。

机器是由机构组成的，机构是具有各自特点的、能传递和变换运动的基本组合体。机构只具有机器的前两个属性。

1) 从结构、运动方面看，机器、机构无区别，机构是机器的组成单元；机器可以由一个或多个机构组成。

2) 从功能方面看，机器、机构有区别。机器实现能量转换或做机械功，而机构是实现运动、动力的传递。

2. 机械

从结构和运动的角度看，机构和机器是相同的，一般统称为机械。

3. 构件与零件

构件是机构中的组成元件，也是运动单元，零件是机械中的制造单元；构件是由一个或若干个零件固定连接组合而成的，各个零件间不能再有相对运动。构件在图形表达上是用规定的最简单的线条或几何图形来表示的，但从运动学的角度看，构件又可视作任意大的平面刚体。

机构中的构件可分为三类：

(1) 机架 用来支承活动构件（运动构件）的构件，作为研究机构运动时的参考坐标系。每个机构都必须有机架，尽管机构中的活动构件可以在多处和机架组成运动副，但每个机构仅有一个机架。机架并不一定是固定不动的构件，而是我们选做静参考系的构件，在分析机构时看作是不动的。

(2) 原动件（主动件） 输入运动的构件，也是运动规律已知的活动构件，即作用有驱动力的构件。每个机构至少有一个原动件。

(3) 从动件 随主动件的运动而运动的活动构件，其中至少有一个是运动输出的构件。

4. 运动副

运动副是两个构件组成的可动连接。两构件上能够参加接触而构成运动副的表面称为运动副元素。运动副是约束运动的，因而一个运动副至少引入一个约束，也至少保留一个自由度。至于两构件组成运动副后还能产生哪些相对运动，则与运动副的类型有关。

运动副按其接触方式分为高副（点、线接触）和低副（面接触），低副又可按相对运动形式分为转动副和移动副，判断依据是看两构件的相对运动轨迹是直线还是圆弧。

两构件构成的运动副应至少引入一个约束，也至少具有一个自由度。因此，平面运动副的最大约束数为2，最小约束数为1。至于运动副的图形表达则应按照国家标准规定的符号来绘制。

5. 运动链与机构

运动链是由若干个构件通过运动副连接而构成的可动系统，只有具有确定运动的运动链才是机构。

6. 机构的运动简图

机构各部分的相对运动只取决于各构件间组成的运动副类型（转动副、移动副及高副等）和各构件的运动尺寸（即确定各运动副相对位置的尺寸），而与构件的形状和外形尺寸等因素无关。所以，描述机构运动原理的图形，可以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，再用规定的运动副的代表符号和代表构件的简单线条或几何图形将机构的运动状况表示出来，这种与实际机构位置相同或尺寸成比例绘出的简单图形称为机构运动简图。可以看出，机构运动简图是剔除了与运动无关的因素而画出来的简图，最清楚地揭示了机构的运动特性。设计机构，也就是要确定机构方案和与运动有关的尺寸，即设计机构运动简图。

7. 机构的自由度

构件所具有的独立运动的数目称为自由度。一个平面运动的构件有 3 个自由度，即构件可以沿 x 坐标方向、 y 坐标方向移动和绕平面上某点转动。当一个构件和其他构件组成运动副后，其自由度就会减少，这种自由度的减少就称为约束。一个高副引入一个约束，一个低副引入两个约束。机构的自由度是所有构件自由度之和减去所有约束数之和。若机构中有 n 个活动构件， P_L 个低副， P_H 个高副，则机构自由度 F 为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

8. 机构具有确定运动的条件

一个平面运动的构件有 3 个自由度，也就是说要确定一个构件在 xoy 平面坐标系中的位置需要三个坐标值。一个平面运动的机构有 F 个自由度，也就是说要确定一个机构中所有的构件在 xoy 平面坐标系中运动的位置需要 F 个坐标值，如果给定的坐标值少于 F ，就会有某些构件的运动是不确定的乱动，如果给定的坐标值多于 F ，则机构中构件就会在过多的彼此矛盾的运动要求中被损坏或卡死。只有当输入机构的运动坐标参数和确定机构运动中各构件位置所需要的坐标数相同时，才能保证机构有确定的运动。而把运动坐标参数输入机构的构件是原动件，原动件和机架组成低副，每个原动件的自由度都是 1（只输入一个坐标参数），因此，机构具有确定运动的条件就是：机构的自由度数与原动件数量相等。在计算中要注意三种特殊情况，即局部自由度、复合铰链和虚约束。

机构中某些构件之间所产生的、对其他构件运动没有影响的局部运动的自由度称局部自由度。局部自由度常出现在把滑动摩擦变为滚动摩擦的场合，通常遇到的就是机构中的滚轮。复合铰链是两个以上构件汇集在同一处构成转动副。真实的转动副数是构成该复合铰链的构件数减 1。虚约束是在特定的几何条件或结构条件下，重复引入的约束，是不起独立限制作用的约束。

（二）机构的运动分析

1. 速度瞬心

当两构件作相对平面运动时，在任一瞬时，其相对运动可看做彼此间绕某点的相对转动，该点就称为速度瞬心，或者说该点是两构件上相对于机架绝对速度相同的点，也可说是两构件上相对速度为零的点。构件 A 和 B 的速度瞬心用 P_{AB} 表示。直接接触组成运动副的两个构件的同速点判别：

- 1) 若两构件组成转动副，则转动副中心即是它们的瞬心。
- 2) 若两构件组成移动副，则其瞬心位于移动方向的垂线的无穷远处。
- 3) 若两构件形成纯滚动的高副，则其高副接触点就是它们的瞬心。
- 4) 若两构件组成滚动兼滑动的高副，则其瞬心应位于过接触点的公法线上。

2. 三心定理

机构中作平面运动的构件，其中任意三个构件彼此间有三个同速点，这三个点必定处于一条直线上。该定理用于求得不直接接触的两个构件的同速点。

设机架的构件号是 C ，求两活动构件 A 和 B 的角速度比。利用两构件在速度瞬心 P_{AB} 处速度相同，而构件 A 在瞬时围绕它与机架的瞬心 P_{AC} 转动，构件 B 在瞬时围绕它与机架的瞬心 P_{BC} 转动，从而得到以下算式

$$\omega_A \overline{P_{AB}P_{AC}} = \omega_B \overline{P_{AB}P_{BC}} \quad (1-2)$$

两个构件如果角速度方向相同,则该两构件的相对速度瞬心在连接该两构件与机架的两个绝对速度瞬心的直线上,而且在延长线的同侧。如果两个构件的角速度是反方向的,则该两构件的相对速度瞬心在该两构件与机架的两个绝对速度瞬心的连心线上,而且在内侧,即两个绝对速度瞬心之间的某个位置。

如果其中一个活动构件 B 是平动,则有

$$\omega_A \overline{P_{AB}P_{AC}} = v_B \quad (1-3)$$

也就是说,转动构件与平动构件形成的相对速度瞬心点的速度就是平动构件的速度。

二、难点分析

1. 如何判别复合铰链?

答:复合铰链的本质特征是两个以上的构件在同一点构成转动副,在分析机构时要特别注意不要漏算,尤其是在计算转动副数量时要把机架与活动构件的转动副也算进去。由于式(1-1)中,构件数 n 只算活动构件,所以往往会在数转动副时漏掉机架。如图1-1a所示构件2、3、4构成复合铰链,构件6、8、3构成复合铰链,构件4、7、5构成复合铰链,但构件8、7和机架1在 E 点构成的复合铰链就往往会被遗漏。图1-1b中是几个齿轮和连杆组成的机构,其中机架1与齿轮7和构件6在 D 点构成复合铰链,真实的转动副数量应该是2,构件4、6和齿轮5在 C 点也构成复合铰链,齿轮2和齿轮3及杆件4在 B 点也构成复合铰链。齿轮2和机架1不是复合铰链,因为 A 、 B 间相连的杆与齿轮2有焊接符号,属于同一个构件。如图1-1c所示滑块3、4和连杆2构成在 C 点的复合铰链,而构件7、8在 E 点不构成复合铰链。判别复合铰链时出现的这些情况应高度重视。

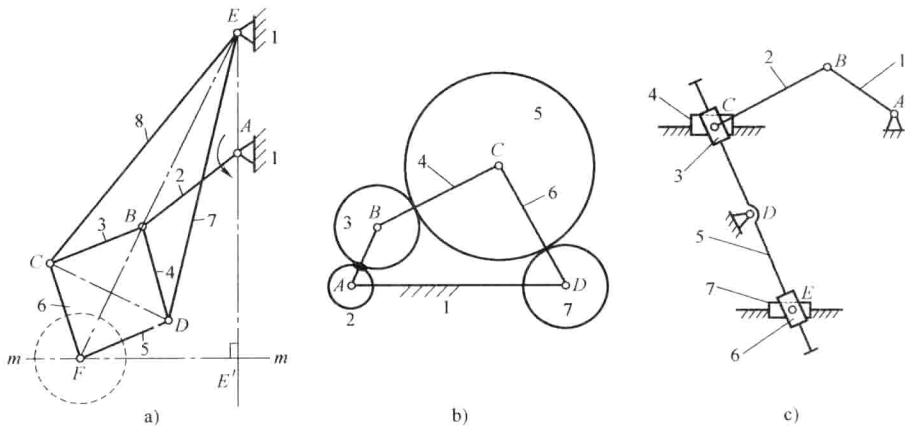


图1-1 复合铰链的判别

2. 如何判别局部自由度?

答:局部自由度最常见的情况是为减少磨损而在构件上安装的滚轮,如图1-2a所示。由于单从运动学角度考量,滚轮是否转动对其他构件的运动不产生任何影响,所以滚轮的转动副不算,滚轮也不算是一个单独的构件,而看做是安装它的构件的一部分,如图1-2b所示。

在实际问题中有时会遇到图1-3a所示的情况,即同时出现了复合铰链和局部自由度,这种情况应按照图1-3b来处理,即在一处只有一个局部自由度,把滚轮算作是其中某一个构件的,例如图1-3b中算作是构件3的,而原来构成转动副的构件依然构成转动副。

3. 机械设计时为什么要在机构中设置虚约束? 如何判别虚约束?

答:为了改善机构的受力情况,增加机构的刚度或使机构能顺利通过

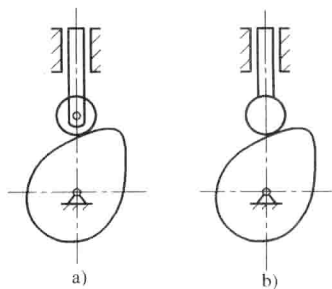


图1-2 局部自由度

转折点等。虚约束是不起真正约束作用的重复约束，在计算自由度时要去除不计。但必须注意，并不是说在实际设计结构时不要采用虚约束结构，只是算自由度时不算其约束而已。常见的有以下几种情况：

(1) 两构件组成同轴转动副或平行移动副，如图 1-4 所示。

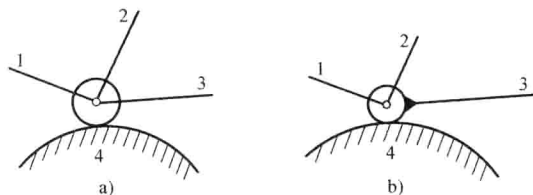


图 1-3 复合铰链和局部自由度

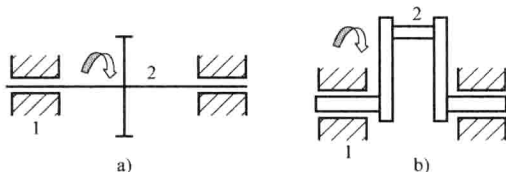


图 1-4 移动副和转动副构成的虚约束

a) 同轴移动副 b) 平行移动副

(2) 两构件组成公法线平行的高副，如图 1-5a 所示。

但要注意，如果两公法线相交就构成真实约束，如图 1-5b 所示。如果两构件要求相对直线运动，则需要两个高副，不能因为公法线平行就随意去掉一个，如图 1-5c 中的两个公法线平行的高副就不能去掉任何一个。

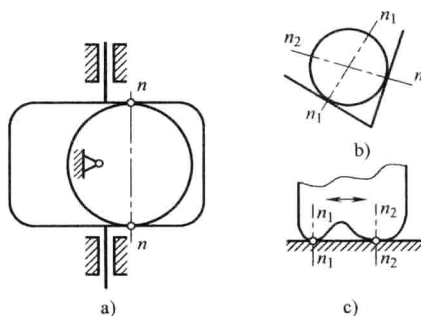


图 1-5 高副构成的虚约束

(3) 两构件间有重复传动关系，如图 1-6a 中构件 1、3 间作用相同的传动可以去除一个，而传动不受影响，如图 1-6b 所示。再如图 1-6c 所示的平行四边形机构，左侧构件 1 的移动通过两条传动线路驱动构件 5，可以去除一路传动，而传动不受影响，如图 1-6d 所示。

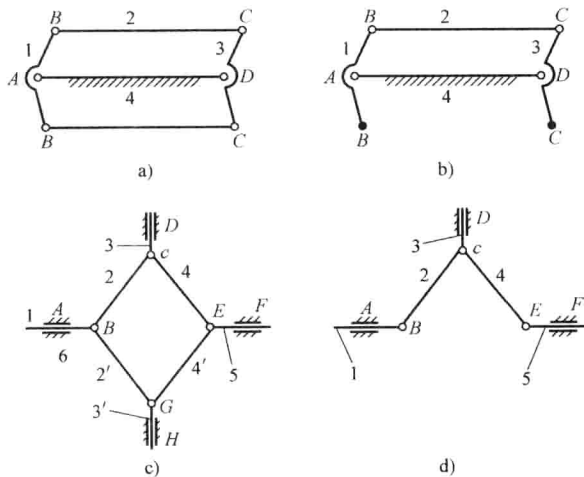


图 1-6 重复传动构成的虚约束

(4) 存在一个构件同时与两个以上构件组成运动副，而其中任意两个运动副都使该构件上各点产生相同的运动轨迹。如图 1-7a 所示的机构中构件 2 上有三个运动副，去掉其中一个对该构件任何一点的运

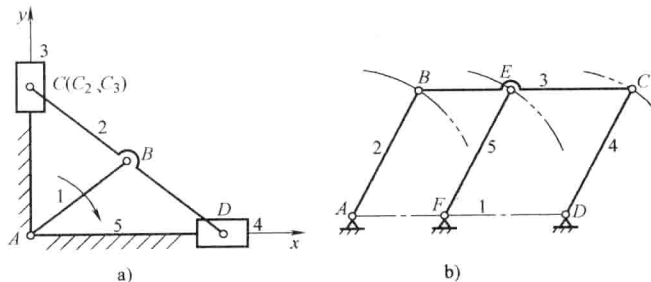


图 1-7 两个以上运动副构成的虚约束

动轨迹都没有影响,例如,可以去掉转动副 C 和滑块 3。如图 1-7b 所示构件 CB 上有三个转动副,去掉任何一个及其附带构件都不影响其轨迹,例如,可以去掉构件 5 和转动副 E 、 F 。

(5) 复合移动副所引起的虚约束。如果两个构件都和同一个构件构成移动副,则只能算两个移动副,而不能算三个。例如图 1-8a 所示的机构可以表示成图 1-8b 所示形式。从图中可见,4、5、6 三个构件彼此构成移动副,如按三个移动副计算就错了,只能算是两个,因为其中任意两个移动副已经限定这三个构件只能上下运动。

4. 为什么说高副只引进了一个约束? 图 1-9 中的高副有哪几个自由度? 能否把构件 1 向上拉开,从而获得更多的自由度? 讨论是否存在只限制一个转动,但保留两个移动自由度的运动副。

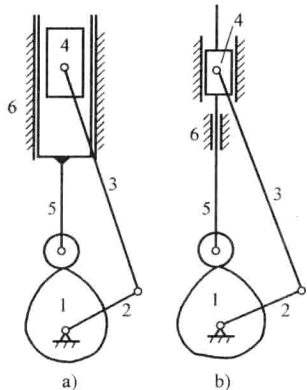


图 1-8 复合移动副引起的虚约束

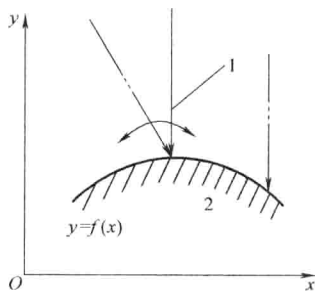


图 1-9 高副引入的约束

答: 一个高副引进一个移动约束,使构件 1 不能沿法线方向上下运动,只能沿曲线保持接触的运动,而平面曲线方程中只有一个坐标是主动变量,只要保持接触,就只有一个移动的自由度,还有一个是构件 1 绕着和构件 2 的接触点转动的自由度。但是不能设想构件 1 可以有向上沿公法线方向移动的自由度,因为那样就使得两构件脱离接触,破坏了运动副,在实际进行的具体结构设计中,总会设法避免这种情况的出现。

不存在只限制一个转动但保留两个移动自由度的运动副。任何平面上两构件接触,设有曲面 $y=f(x)$,只要运动副存在,即两构件保持接触,就只有一个移动方向是主动变量,另一个移动是因变量。两个方向都是主动变量的平面曲线是不存在的。所以不可能有任何一个运动副具有两个移动的自由度。

三、典型解题范例

例 1 图 1-10a 所示为一个压力机机构,试绘制该机构的运动简图。

解: (1) 拿到一个机构模型,首先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,例如对图 1-10a 所示的机构,列出接触关系如图 1-10b 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用分析运动副了。

(2) 接下来判定运动副性质并作好标记,如果是转动副就在连线上用小圆标记,如果是移动副就用滑块长方形和穿过滑块的直线表示。在判定两构件相对运动性质时,不要受图面复杂程度的干扰,设定一个构件不动,看另一个与之接触构件的运动轨迹,从而判定是什么运动副。例如,构件 4 不动,构件 1 绕 A 点

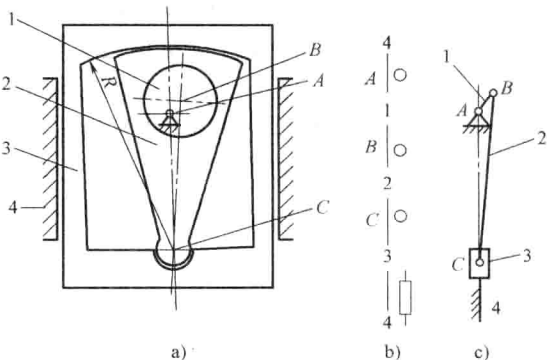


图 1-10 例 1 图

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 只能绕 C 点转动，两者组成转动副；构件 3 只能沿上下方向移动，与机架组成移动副。

(3) 画出机架 4、转动副 A 、 B 、 C 和只有转动副的构件 1 和 2，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。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滑块，另一个画成穿越滑块的直杆，移动副方向必须与真实方向一致（可以平移）。完成后的运动简图如图 1-10c 所示。

例 2 试绘制图 1-11a 所示泵的机构运动简图。

解：运动副分析如图 1-11b 所示，运动简图如图 1-11c 所示。本题要注意：对于图 1-11a 所示的情况，由于两个构件的转动副 B 和 C 与移动副导路方向在一条线上，因此造成表达困难，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。当然，构件 3 和 2 组成移动副，还有个转动副在 C 点，也可把 3 画成位置在 C 的滑块，2 画成穿越的直杆，如图 1-11c 所示。

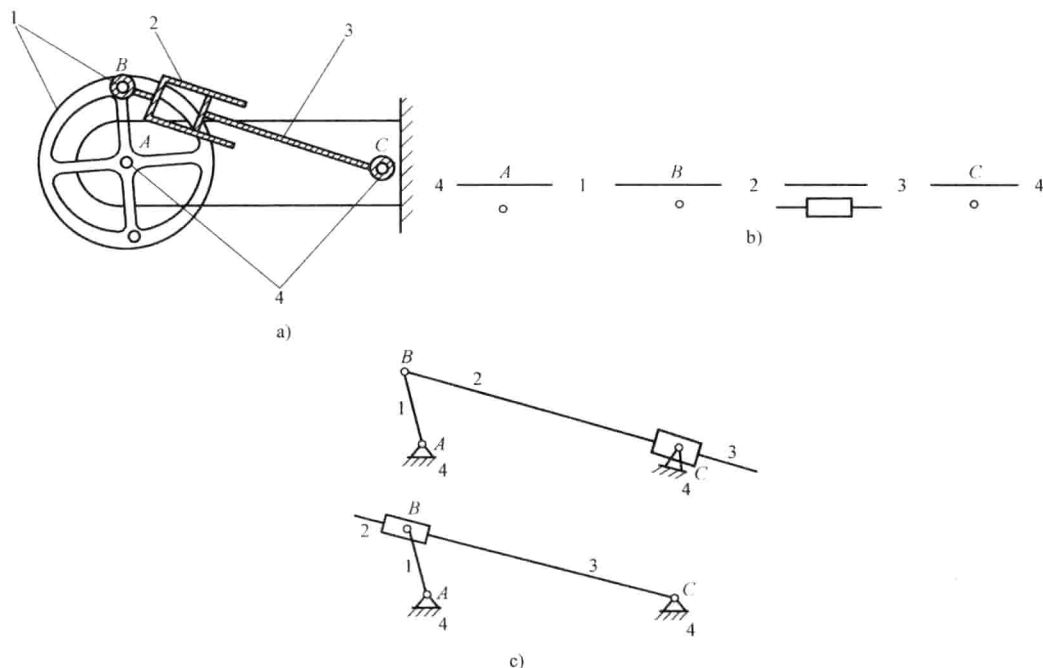


图 1-11 例 2 图

例 3 判断图 1-12 中的两个机构运动简图是否表示的是同一机构。

解：是同一机构。构件 2 和 3 在点 C 构成的是转动副，因为它们的相对运动轨迹是圆弧。

判断运动副的性质是要根据相对运动轨迹来定的，不能看见 2 被画成滑块就认定是移动副。

例 4 判断图 1-13 中的三个机构运动简图是否表示的是同一机构。

解：是同一机构。用运动简图表达机构时，表达方法不止一种，可以把组成移动副的两构件中的任意一个画成滑块，移动副的位置还可以平行移动。但转动副必须画在两构件的相对回转中心。

例 5 图 1-14a 所示为一个有问题的机构方案设计，设计者想通过凸轮 1 转动，带动构件 2 摆动，从而实现构件 3 上下往复运动。试分析该机构运动方案错在哪里并改进设计。如果按照图 1-14d 所示的方案是否可行？

解：图 1-14a 所示机构的自由度为零，所以不能动。图 1-14d 所示机构虽然自由度改为 1 了，但是有确定的运动并不等于有设计者所期望的运动，按这个方案，构件 2 将随凸轮的转动而摆动，从动件 3 仍然不会动。因为构件 5 和 3 与机架 4 构成了两个构件和三个低副的环路，自由度为零，如果若干个构件和机架组成自由度为零的运动链，那么这些构件都不能动。

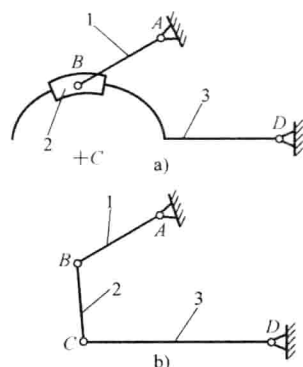


图 1-12 例 3 图

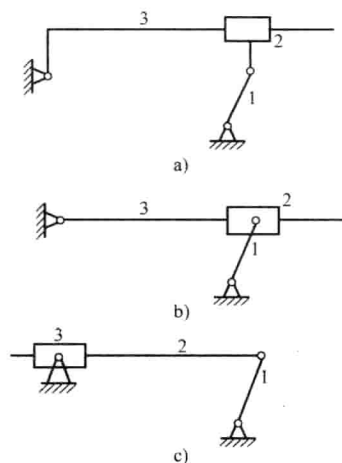


图 1-13 例 4 图

图 1-14b 和图 1-14c 所示都是正确的改进方案，增加一个构件和两个低副，使得自由度增加一个，从而使构件 3 能上下运动。

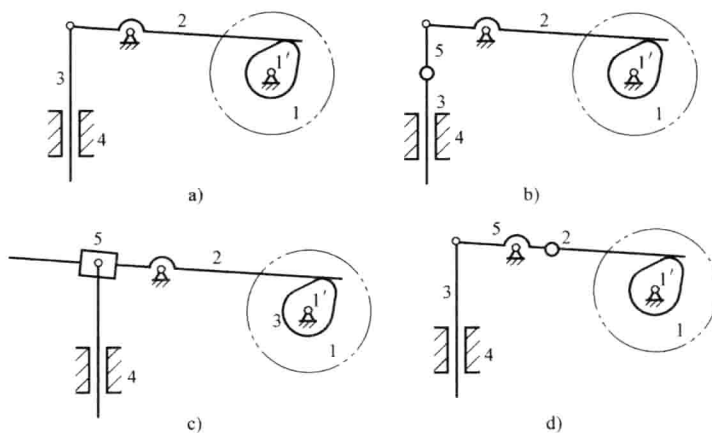


图 1-14 例 5 图

例 6 计算图 1-15 所示机构的自由度。

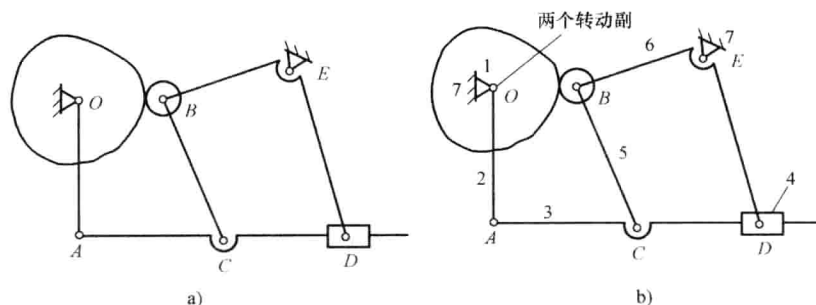


图 1-15 例 6 图

解：该机构共 6 个活动构件，表面上看是两个构件都在 B 点构成局部自由度，但一处只能有一个局部自由度，把滚子看做是构件 6 的一部分（也可看做构件 5 的一部分），O 点由机架 7、凸轮 1 和构件 2 构成复合铰链，在 A、C、B、D、E 点处各有一个转动副，D 点处有个移动副，凸轮与滚子构成一个高副，

自由度为

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

例 7 计算图 1-16 所示机构的自由度。

解: 图 1-16a 所示机构中, 齿轮 3 和 5 为高副, 因中心距是固定的, 所以如图 1-16b 所示按一个高副计算; 齿轮 5 和齿条 7 的间距是靠重力确定的, 啮合间隙会自动消除, 所以如图 1-16c 所示按两个高副计算。注意在 C 点、A 点和 B 点处都是复合铰链。自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 6 - 2 \times 7 - 3 = 1$$

例 8 计算图 1-17 所示机构的自由度。

解: 图 1-17a 所示机构中, 转动副 E 是无用的, 因为构件 2、3 都根本不可能转动, 简化为图 1-17b 所示机构, 移动副 B 和 B' 对构件 3 限制作用相同, 移动副 A 和 A' 对构件 2 限制作用相同, 把这两处虚约束去掉。在图 1-17b 中, 滑块 4 的移动副对构件 2、3 的限制作用与移动副 A、B 相同, 所以滑块 4 及其移动副都是虚约束。自由度为

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

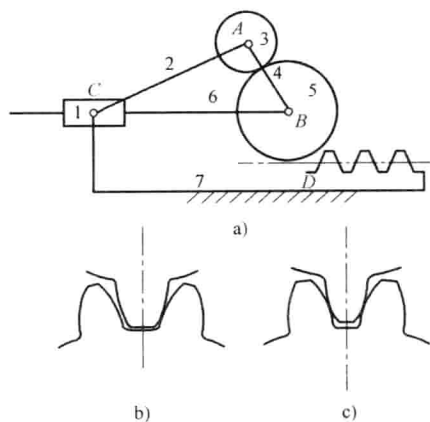


图 1-16 例 7 图

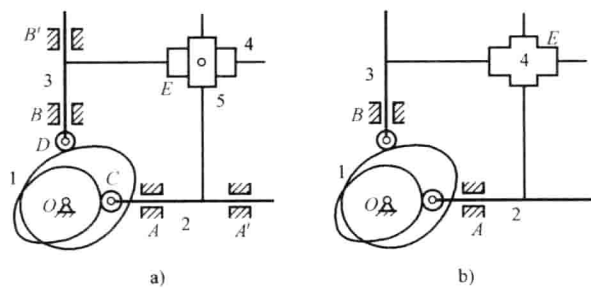


图 1-17 例 8 图

例 9 如图 1-18 所示制动机构, 试就制动前后的情况分别计算机组的自由度。

解: 未制动时, 构件 4、5 都是活动构件, 自由度为

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

当一个轴瓦 4 起作用制动时, 构件 4 可视为机架, 自由度为

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

当两个轴瓦 4、5 起作用制动时, 构件 4、5 可视为机架, 自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

例 10 图 1-19a 所示为老式穿孔计算机计算卡停止机构, 试计算该机构的自由度。

解: 去除局部自由度和虚约束后的机构如图 1-19b 所示。F、C 两处滚子是局部自由度, 滚子 C 与环形槽的两个高副接触的公法线共线, 所以只算一个, 还有一个是虚约束。注意 M 点是复合铰链, 共由三个构件组成, 所以有两个转动副。判断时留意 $\triangle MKL$ 是一个构件, 因为三个构件组成三角形后彼此间不可能再有相对运动。自由度为

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

例 11 图 1-20a 所示机构, 机构 1 沿构件 4 作纯滚动, 其上 S 点的速度为 $v_S = 3.8 \text{ m/s}$, 尺寸如图所示, 其他尺寸从图上量取, 要求:

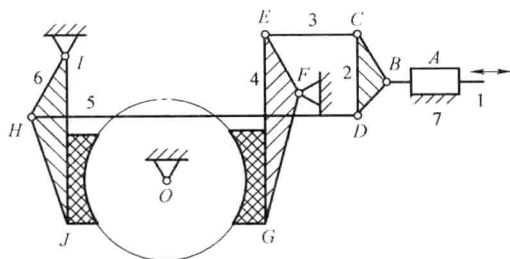


图 1-18 例 9 图

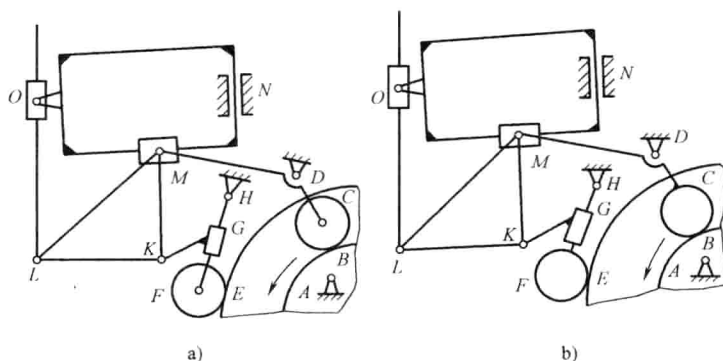


图 1-19 例 10 图

- (1) 作出所有瞬心。
- (2) 求出构件 3 的速度。
- (3) 用瞬心法求出 K 点的速度 v_K 。

解：速度瞬心如图 1-20b 所示。机构中直接接触的构件瞬心可直接判别。构件 1 与机架 4 组成高副， P_{14} 应该在过接触点的公法线上，但现在构件 1 上 S 点速度已知，由于绝对速度瞬心是活动构件相对于机架速度为零的点，或者说构件 1 在瞬时是绕着瞬心点转动的，因此，瞬心一定在过 S 点并与 S 点速度方向垂直的线上，从而可求得 P_{14} ，在图中正好是滚轮 1 与机架 4 的接触点，说明滚轮 1 在作纯滚动。构件 1 和 2 在 B 点组成转动副，B 点是相对速度瞬心 P_{12} ，构件 2 和 3 在 C 点组成转动副，C 点是相对速度瞬心 P_{23} ，构件 3 和机架 4 组成移动副，瞬心 P_{34} 在垂直于移动方向的无限远处。利用三心定理求 P_{13} 时，选择两组构件，每组三个构件，都必须有构件 1 和 3。选择构件 1、4、3 和 1、2、3 两组，过 P_{14} 作 P_{34} 方向线，即一条垂线；连接 P_{12} 和 P_{23} 并延长；两线交点就是 P_{13} 。由于构件 2 上 B、C 两点速度方向已经知道了，则这两点速度方向的垂线的交点就一定是该构件的瞬时转动中心，即与机架的绝对速度瞬心 P_{24} 。

构件 1 上的 S 点瞬时围绕 P_{14} 转动，其角速度为

$$\omega_1 = v_S / \overline{SP_{14}} = \frac{3.8 \text{ m/s}}{0.038 \text{ m}} = 100 \text{ rad/s}$$

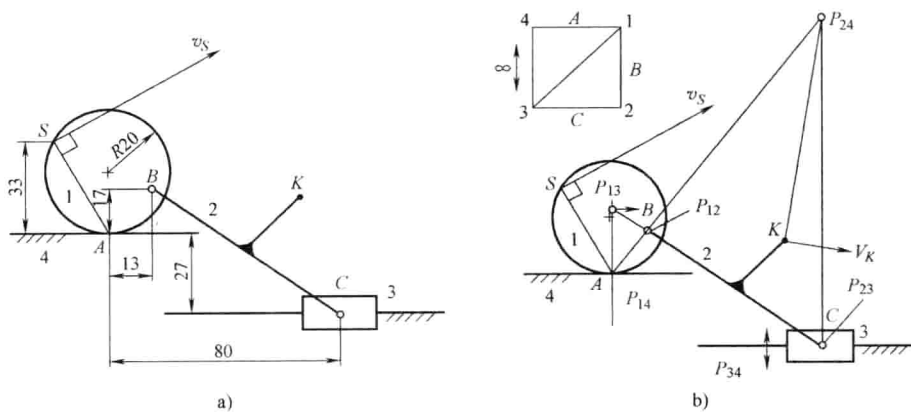


图 1-20 例 11 图

构件 3 平动，所以构件 3 上速度处处相等，它又和构件 1 在 P_{13} 的速度相同，所以构件 1 在该点速度就是构件 3 的速度，构件 1 在瞬时绕绝对瞬心 P_{14} 转动，故

$$v_3 = \omega_1 \overline{P_{13}P_{14}} = 100 \text{ rad/s} \times 0.025 \text{ m} = 2.5 \text{ m/s}$$

构件 2 瞬时绕 P_{24} 点转动，构件 2 上 C 点的速度等于构件 3 的速度，所以构件 2 的角速度为

$$\omega_2 = v_C / \overline{CP_{24}} = \frac{2.5 \text{ m/s}}{0.128 \text{ m}} = 19.5 \text{ rad/s}$$

构件 2 上 K 点也围绕 P_{24} 瞬时转动, 其速度为

$$v_K = \omega_2 \overline{P_{24}K} = 19.5 \text{ rad/s} \times 0.088 \text{ m} = 1.716 \text{ m/s}$$

例 12 求图 1-21 所示机构的速度瞬心。

解: 从图 1-21a 中可知: P_{14} 、 P_{12} 、 P_{23} 、 P_{34} 分别对应 A、B、C、D 点, 可求得 P_{13} 位于 A 点, 由于该点就是构件 1 上速度为零的点, 所以构件 3 在该点的速度为零, 而构件 3 在 D 点速度也是零, 一个构件两处速度是零, 说明构件 3 瞬时静止不动, 如图 1-21d 所示。

从图 1-21b 中可知: P_{14} 、 P_{12} 、 P_{34} 分别对应 A、B、C 点, P_{23} 位于与 B、C 连线垂直的方向上。连接 P_{14} 和 P_{12} 并延长, 过 P_{34} 作垂直于 BC 的方向线, 两线没有交点, 说明 P_{24} 位于无穷远处, 凡遇到两构件的相对瞬心在无穷远就说明该两构件角速度相同, 如图 1-21e 所示。

从图 1-21c 中可知: P_{14} 、 P_{12} 分别对应 A、B 点, 而构件 2、3 的瞬心 P_{23} 和构件 3、4 的瞬心 P_{34} 都处于无穷远处, 那么构件 2 和 4 的瞬心在哪里呢? 构件 2 与构件 3 组成移动副, 所以角速度相同, 构件 3 平动, 则构件 2 也平动, 说明构件 2 上所有的点的速度方向都平行, 与 B 点速度方向一致, 与 A、B 连线垂直, 所以 P_{24} 位于 A、B 连线上的无穷远处, 如图 1-21f 所示。

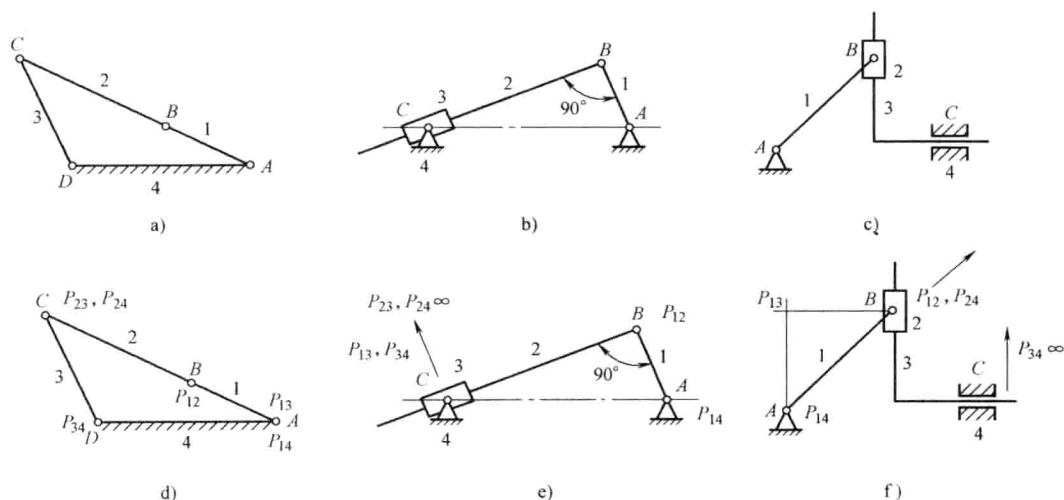


图 1-21 例 12 图

例 13 如图 1-22a 所示一铰链四杆机构, 两连架杆转向相同, 已知构件 1、3 的角速度比 $\omega_1/\omega_3 = 5/2$, 连架杆构件 1 上两个铰链点位置 A、B 均已知, 连架杆构件 3 上固定转动铰链 D 位置已知, 机架 AD 长 60mm, 构件 3 上铰链 C 的位置在 D 点正上方, 求构件 1、3 的速度瞬心的位置及连架杆构件 2 上两个铰链点 B、C 的位置。

解: 由于两构件 1、3 的角速度方向相同, 该两构件的相对速度瞬心 P_{13} 一定在该两构件的绝对瞬心 P_{14} 和 P_{34} 的连线上, 且一定在该两点连线的延长线上 (如果两构件角速度方向相同则在该两点之间)。作 P_{14} 和 P_{34} 即 A、D 点的连线并延长, 则 P_{13} 在该线上。

根据已知条件和式 (1-2) 得 $\omega_1/\omega_3 = \overline{P_{13}P_{34}}/\overline{P_{13}P_{14}} = 5/2$

如图 1-22b 所示连接 A、D 并取三等分, 按等分长度在 A 点左侧延长线上取两等分 (共 5 等分) 得 P_{13} , 连接 P_{13} 与 B 点 (P_{12}) 并延长到 D 点正上方得 C 点 (P_{23})。可量取连杆 2 上 B、C 转动副间的长度。

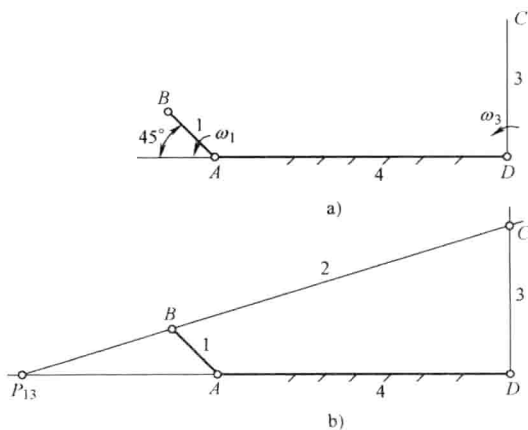


图 1-22 例 13 图

例 14 图 1-23a 所示为由三个齿轮构成的轮系，图中的圆表示各齿轮的分度圆，求该机构的全部速度瞬心。

解：两个啮合齿轮分度圆的接触点就是两个齿轮的相对速度瞬心，每个齿轮轴与机架的固定转动副位置就是该构件与机架的绝对速度瞬心，如图 1-23b 所示。但是构件 1 和 3 的速度瞬心却难以用三心定理求得，因为所有的瞬心都在一条直线上。对这样的问题可以采用式 (1-2)，从齿轮传动比关系可知

$$\frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{P_{13}P_{34}}{P_{13}P_{14}} = \frac{r_3}{r_1}$$

P_{13} 到 P_{34} 的距离与 P_{13} 到 P_{14} 的距离之比就是分度圆半径的比，借助于此，作齿轮 1、3 的公切线，与经过其他瞬心的水平线的交点就是 P_{13} ，因为正好是相似三角形的比例关系。

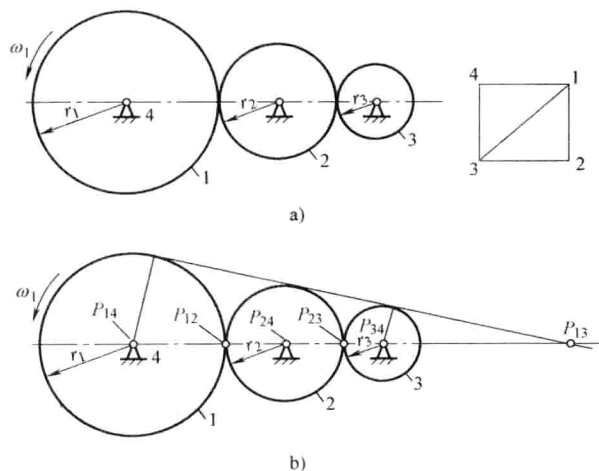


图 1-23 例 14 图

四、习题

(一) 问答题

1. 机构与机器有什么异同？其相互关系如何？
2. 机械的基本含义是什么？
3. 构件和零件有什么区别与联系？
4. 什么是机构中的原动件、从动件、输出构件和机架？
5. 机构中的运动副具有哪些必要条件？
6. 什么是运动副？平面低副有哪两种类型？
7. 简述机构运动简图的主要作用，它能表示出原机构哪些方面的特征？
8. 机构自由度的定义是什么？一个平面自由构件的自由度为多少？
9. 平面运动副中，低副和高副各引入几个约束？
10. 机构具有确定运动的条件是什么？当机构的原动件数少于或多于机构的自由度时，机构会如何运动？
11. 运动链和机构有何关系？
12. 在计算机构的自由度时，要注意哪些事项？
13. 什么是复合铰链？什么是虚约束？什么是局部自由度？在计算自由度时应如何处理？
14. 机构运动简图有什么作用？如何绘制机构运动简图？
15. 什么是三心定理？在什么情况下运用三心定理？

(二) 填空题

1. 运动副是指能使两构件之间既保持_____接触, 又能产生一定形式相对运动的_____。
2. 由于组成运动副中两构件之间的_____形式不同, 运动副分为高副和低副。
3. 运动副的两构件之间, 接触形式有_____接触、_____接触和_____接触三种。
4. 两构件之间作_____接触的运动副称为低副。
5. 两构件之间作_____或_____接触的运动副称为高副。
6. 组成转动副的两构件之间, 在接触处只允许绕孔的_____作相对转动。
7. 移动副的两构件之间, 在接触处只允许按_____方向作相对移动。
8. 带动其他构件_____的构件称为原动件。
9. 在原动件的带动下, 作_____运动的构件称为从动件。
10. 低副的优点: 制造和维修_____, 单位面积压力_____, 承载能力_____。
11. 低副的缺点: 由于是_____摩擦, 摩擦损失比_____大, 效率_____。
12. 平面运动副的最大约束数是_____, 最小约束数为_____。
13. 速度瞬心是指作平面运动的两构件间相对速度为_____的点, 如果观察者站在两构件以外的第三个构件上观察, 则他看见两构件在该点的速度是_____的。
14. 机构中不直接接触的构件间的速度瞬心可以用_____定理求得。

(三) 判断题

1. 机器是构件之间具有确定的相对运动, 并能完成有用的机械功或实现能量转换的构件的组合。()
2. 凡两构件直接接触, 而又相互连接的都称为运动副。()
3. 运动副是连接, 连接也是运动副。()
4. 运动副的作用是限制或约束构件的自由运动。()
5. 螺栓联接是螺旋副。()
6. 两构件通过内表面和外表面直接接触而组成的低副, 都是转动副。()
7. 组成移动副的两构件之间的接触形式, 只有面接触。()
8. 两构件通过内、外表面接触, 可以组成转动副, 也可以组成移动副。()
9. 运动副中, 两构件连接形式有点、线和面三种。()
10. 由于两构件间的连接形式不同, 运动副分为低副和高副。()
11. 机架一定是相对于地面不动的。()
12. 速度瞬心是指两个构件运动中相对速度相等的点。()
13. 任何构件的组合均可构成机构。()
14. 若机构的自由度数为 2, 那么该机构有确定运动共需 2 个原动件。()
15. 组成高副的两个构件的瞬心不一定在高副的接触点上。()
16. 运动链的自由度数应等于原动件数, 否则不能成为机构。()
17. 机构的运动不确定是指机构中构件不具有相对运动。()
18. 在平面机构中, 一个高副引入两个约束。()
19. 虚约束对机构的运动不起作用。()
20. 绝对瞬心点的速度相对于地面一定为零。()
21. 速度瞬心是指两个构件运动中相对速度相等的点。()

(四) 选择题

1. 两个构件直接接触所形成的_____, 称为运动副。