

主 编 谢黎明 邢冠梅 吴冬霞
副主编 芮守凤 陈艳丽

机械原理与设计习题及指导

J I X I E Y U A N L I Y U S H E J I X I T I J I Z H I D A O

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

机械原理与设计 习题及指导

主 编 谢黎明 邢冠梅 吴冬霞
副主编 芮守凤 陈艳丽



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

《机械原理与设计习题及指导》是根据教育部制定的“机械原理、机械设计的教学基本要求”，并配合同济大学出版社出版的《机械原理与设计》教材而编写的配套教材。

本教材每一章节主要包含五部分的内容：学习要求、重点和难点内容、学习指导、典型例题分析及习题，对于学习的要求、重点与难点、学习的方法以及在学习过程中注意的问题作了详细的说明，并且针对每一章节的内容配有典型的例题详解，给出解题思路及解题过程。习题部分在编写时经过严格的设计和编选，难度适宜，覆盖各章的主要内容。

本教材编写的目的在于使学生能够更好地理解和掌握教材的内容。

本教材可作为学生学习机械原理与设计、机械设计基础等课程的辅助教材，也可供其他高职高专院校相关专业的师生及其他相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与设计习题及指导/谢黎明,邢冠梅,吴冬霞
主编. —上海:同济大学出版社,2015.2

ISBN 978-7-5608-5738-1

I. ①机… II. ①谢…②邢…③吴… III. ①机构学—
高等学校—教学参考资料②机械设计—高等学校—教学
参考资料 IV. ①TH111②TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 006035 号

机械原理与设计习题及指导

主 编 谢黎明 邢冠梅 吴冬霞

责任编辑 张崇豪 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjiipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
印 刷 同济大学印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 8.75
印 数 1—2200
字 数 218000

版 次 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-5738-1

定 价 22.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

《机械原理与设计习题及指导》是根据教育部制定的“机械原理、机械设计的教学基本要求”，并配合谢黎明教授主编的《机械原理与设计》教材(同济大学出版社,2015年1月)而编写的。

本教材编写的目的是指导学生更好地学习《机械原理与设计》的内容,帮助学生解决学习过程中出现的难点、疑点问题,使其能够较深入地掌握各章的重点、难点、学习的方法以及应该注意的问题,达到更好的学习效果。本教材每一章节主要包括五部分内容:学习要求、重点和难点内容、学习指导、典型例题分析及习题。对于学习要求、重点难点、学习的方法以及在学习过程中注意的问题作了详细的说明,并且针对每一章节的内容配有典型的例题详解,给出解题思路及解题过程,习题部分在编写时经过严格的设计和编选,难度适宜,覆盖各章的主要内容。

本教材共十六章,参加本书编写的人员有:谢黎明(第三、十二、十五章),邢冠梅(前言、第一、二、四、六章),吴冬霞(第五、七、十一章),芮守凤(第八、九、十三章),陈艳丽(第十、十四、十六章)。全书由谢黎明教授担任主编并统稿。

在本教材的编写过程中,参阅了其他相关同类教材、文献资料,在此对参考文献的编著者表示诚挚的谢意!

由于编者的水平有限,教材中难免有错误及欠妥之处,恳切希望各位读者批评指正。

编 者

2014年11月

前言

第一章 绪论	1
1.1 学习要求 / 1	
1.2 重点和难点内容 / 1	
1.3 学习指导 / 1	
1.4 典型例题分析 / 2	
1.5 习题 / 2	
第二章 平面机构的运动简图及其自由度计算	4
2.1 学习要求 / 4	
2.2 重点和难点内容 / 4	
2.3 学习指导 / 4	
2.4 典型例题分析 / 5	
2.5 习题 / 7	
第三章 机械中的摩擦、效率和自锁	14
3.1 学习要求 / 14	
3.2 重点和难点内容 / 14	
3.3 学习指导 / 14	
3.4 典型例题分析 / 17	
3.5 习题 / 18	
第四章 平面连杆机构	22
4.1 学习要求 / 22	
4.2 重点和难点内容 / 22	
4.3 学习指导 / 22	
4.4 典型例题分析 / 24	



4.5 习题 / 26

第五章 凸轮机构及其他常用机构 31

5.1 学习要求 / 31

5.2 重点和难点内容 / 31

5.3 学习指导 / 31

5.4 典型例题分析 / 33

5.5 习题 / 36

第六章 螺纹连接 41

6.1 学习要求 / 41

6.2 重点和难点内容 / 41

6.3 学习指导 / 41

6.4 典型例题分析 / 43

6.5 习题 / 46

第七章 带传动和链传动 51

7.1 学习要求 / 51

7.2 重点和难点内容 / 51

7.3 学习指导 / 52

7.4 典型例题分析 / 57

7.5 习题 / 59

第八章 齿轮传动 65

8.1 学习要求 / 65

8.2 重点和难点内容 / 65

8.3 学习指导 / 66

8.4 典型例题分析 / 72

8.5 习题 / 76

第九章 蜗杆传动 82

9.1 学习要求 / 82

9.2 重点和难点内容 / 82

9.3 学习指导 / 82

9.4 典型例题分析 / 84

9.5 习题 / 86



第十章 轮系	90
10.1 学习要求 / 90	
10.2 重点和难点内容 / 90	
10.3 学习指导 / 90	
10.4 典型例题分析 / 92	
10.5 习题 / 93	
第十一章 滑动轴承	96
11.1 学习要求 / 96	
11.2 重点和难点内容 / 96	
11.3 学习指导 / 96	
11.4 典型例题分析 / 97	
11.5 习题 / 98	
第十二章 滚动轴承	100
12.1 学习要求 / 100	
12.2 重点和难点内容 / 100	
12.3 学习指导 / 100	
12.4 典型例题分析 / 103	
12.5 习题 / 105	
第十三章 轴	111
13.1 学习要求 / 111	
13.2 重点和难点内容 / 111	
13.3 学习指导 / 111	
13.4 典型例题分析 / 113	
13.5 习题 / 115	
第十四章 联轴器和离合器	117
14.1 学习要求 / 117	
14.2 重点和难点内容 / 117	
14.3 学习指导 / 117	
14.4 典型例题分析 / 118	
14.5 习题 / 119	
第十五章 弹簧	121
15.1 学习要求 / 121	



- 15.2 重点和难点内容 / 121
- 15.3 学习指导 / 121
- 15.4 典型例题分析 / 122
- 15.5 习题 / 123

第十六章 机械的平衡与调速 126

- 16.1 学习要求 / 126
- 16.2 重点和难点内容 / 126
- 16.3 学习指导 / 126
- 16.4 典型例题分析 / 127
- 16.5 习题 / 130

参考文献 132



第一章

绪 论

1.1 学习要求

1. 弄清机器与机构、构件与零件的概念,了解它们的区别和联系。
2. 明确机械的基本设计要求;初步理解机械零件的主要失效形式以及强度、刚度、抗磨性、振动稳定性等工作能力计算准则。
3. 能正确判断零件中应力的循环特性,了解疲劳断裂和疲劳点蚀的产生机理和影响因素。
4. 了解机械设计常用材料的选用原则。

1.2 重点和难点内容

本章学习的重点是机器与机构、构件与零件的概念以及机械零件的工作能力计算准则。学习的难点是变应力下许用应力的确定。

1.3 学习指导

1. 机器的组成

本节概括了一台机器的组成情况,学习时应注意,不管是机器的基本组成还是其他部分,都包含有机械零、部件构成的机械系统,即使是在今天高科技时代,高水平的机电一体化机器,其任何部分,包括控制系统在内,都离不开机械。

2. 对机械的主要要求及一般设计步骤

对机械的主要要求是为了能从其中引出对零件的基本要求而设的,对机器的要求在很大程度上是要靠零件满足设计要求来保证的。

本节从一般的概念上介绍了一台机器的设计程序。关于整台机器一般设计程序所涉及的所有问题的研究任务本课程无法承担,机器的设计程序已成为一门新的专业课程,教材只是对机器的设计程序作一简略的介绍,目的是对机器设计的过程有一个总体的了解,同时还



要说明零件和部件设计在整台机器设计中所占的地位和重要性。

3. 机械零件的主要失效形式、设计准则和一般过程

本节介绍的仅为零件失效形式的主要类型,是从完成零件技术功能的观点来定义失效的,并不涉及社会经济分析问题。事实上,随着科学技术的进步,有时有些机械零件、部件甚至整台机器虽然没有出现教材中所列举的任何一种失效形式,但由于它们已不能适应技术发展的需要而必须予以淘汰或报废。从广义上讲,这也是一种失效形式。

机械零件的设计准则中强度、刚度、抗磨性及振动稳定性准则,与先修的力学课程密切相关,比较容易理解。

4. 机械零件的强度

零件的应力类型与零件所承载荷的类型不是一回事,不可混淆。应特别注意,有些静载荷作用下的零件却产生变应力。例如,受径向力的回转轴的弯曲应力,轴承内外圈滚道表面的接触应力,等等。

疲劳曲线是研究材料疲劳强度的基本曲线,该曲线分有限寿命区和无限寿命区。在有限寿命区,随着循环次数 N 的减小,疲劳极限增大,在无限寿命区,疲劳极限为常数,与循环次数无关。有限寿命区和无限寿命区的分界点处的循环次数为循环基数 N_0 ,其值与材料的品种、强度等因素有关。

由于机械零件部分具有综合性强、实践性强和灵活性大等特点,初学者往往会有“零碎杂乱”、“难以捉摸”之感。其实这些感觉,是由于对基础课程学习比较习惯,立即转到技术基础课程不太适应而引起的。

机械零件设计问题,有其自身规律:对于每一章而言,目的明确而具体,即要求掌握某种零件的工作原理、特点、维护和设计计算的基本知识;对整体而言,是培养学生初步具有设计机械传动装置和简单机械的能力。

针对综合性强、实践性强的特点,学生应及时复习和应用先修课程的知识;认真地独立完成习题、设计作业、实验和课程设计;应培养观察、拆装和分析机器及其零件的兴趣,并逐步养成联系工程实际考虑问题的习惯。

1.4 典型例题分析

(略)

1.5 习 题

1.5.1 填空题

- (1) 机器一般由_____、_____、_____和控制部分组成。
- (2) _____、_____和_____是机械设计所要求的“三化”。
- (3) 机械零件常见的失效形式有_____、_____、_____和破坏正常条件所引起的失效等。



(4) 大小和方向不随时间变化或变化缓慢的载荷称为_____，随时间变化的载荷称为_____。

(5) 在静强度条件下，塑性材料的极限应力是_____，而脆性材料的极限应力是_____。

(6) 内燃机中的连杆是一个_____ (零件或构件)。

1.5.2 判断题

(1) 零件是机器的运动单元体。 ()

(2) 由两个以上零件连接在一起构成的刚性结构称为构件。 ()

(3) 连杆是一个构件，也是一个零件。 ()

(4) 完成一定功能的机械零件，在规定的条件下、规定的时间内，不能正常工作称为失效。 ()

(5) 零件的剖面形状一定，如果剖面的绝对尺寸增大，则材料的疲劳极限将减小。 ()

1.5.3 选择题

(1) 机械是指_____。

A. 机器的组合体

B. 机构的组合体

C. 构件的组合体

D. 机器与机构的总称

(2) 组成机器的运动单元体是_____。

A. 机构

B. 构件

C. 部件

D. 零件

(3) 以下不是标准零件的是_____。

A. 螺栓

B. 滚动轴承

C. 平键

D. 齿轮

(4) _____是零件抵抗弹性变形的能力。

A. 强度

B. 耐磨性

C. 刚度

D. 韧性

(5) $\sigma_m = \sigma_a$ 的应力视为_____应力。

A. 静

B. 脉动循环

C. 对称循环

D. 一般循环

(6) 机器运动时考虑到零件受到各种附加载荷，故零件强度计算中的载荷应取_____。

A. 平均载荷

B. 计算载荷

C. 名义载荷

D. 变载荷

(7) 机械系统的零部件越多，其可靠度就越_____。

A. 高

B. 低

C. 不确定

D. 与零件无关

1.5.4 简答题

(1) 内燃机如图 1-1 所示，①请指出图中哪些是零件、构件、通用零件、专用零件、标准零件；②概述内燃机中曲柄连杆机构是由哪些构件组成的，它们的作用是什么？

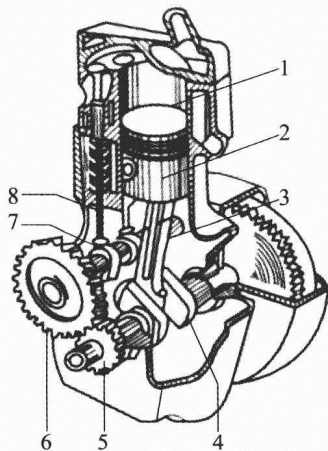


图 1-1 内燃机



第二章

平面机构的运动简图及其自由度计算

2.1 学习要求

1. 掌握运动副的定义、分类以及各种平面运动副的一般表示方法,熟练看懂平面机构运动简图,能够将实际机构绘制成机构运动简图,并学会在工程设计中运用机构运动简图。
2. 熟练掌握平面机构自由度的计算方法,能准确计算其自由度,正确识别平面机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束,弄清机构具有确定运动的条件。
3. 了解速度瞬心法的定义,能够准确找出平面机构中各个瞬心的位置,并运用速度瞬心法对机构进行速度分析。

2.2 重点和难点内容

本章学习的重点是机构运动简图的绘制,用瞬心法对机构进行速度分析,机构具有确定运动的条件及平面机构自由度的计算。学习的难点是复合铰链、局部自由度及虚约束问题的判断及正确处理。

2.3 学习指导

1. 学习本章内容首先要搞清楚有关运动副、机构运动简图、机构自由度、机构具有确定运动的条件、复合铰链、局部自由度、虚约束等重要概念,特别是要通过各种动画演示,做到正确的理解和掌握这些概念。

2. 要掌握正确绘制机构运动简图的方法和步骤

在设计机械之初,首先要设计机械的机构运动简图,同时对已有的机械进行运动分析和受力分析时,都是用机构的运动简图来进行的,因此,对机构进行运动简图的绘制十分重要,并且能够正确地阅读和绘制机构运动简图是每一个工程技术人员必须具备的基本技能。



由于实际的机械结构状况及构件的形状比较复杂,并且机械的运动仅与原动件的运动规律、运动副的类型和构件的运动尺寸有关,而与构件和运动副的具体结构、形状、剖面尺寸、组成构件的零件数及连接方式等无关。在绘制机构运动简图时,一定要忽略与机构运动无关的因素,按照一定的比例尺来绘制机构运动简图。用机构运动简图表示实际机械的结构和运动情况,对于初学者有一定的难度,因此,要多观察一些实际的机械,增长自己工程实践的感性认识。

3. 重点掌握平面机构自由度的计算方法及计算过程中特殊问题的处理

机构自由度的计算是分析现有机械或设计新机械时,确定所绘机构运动简图的结构正确性及运动是否确定的必要前提。因此,要重点掌握平面机构自由度的计算方法。

计算平面机构自由度时,首先判断机构中是否存在复合铰链、局部自由度和虚约束。确定机构的运动构件数、低副数和高副数,再运用平面机构自由度的计算公式 $F = 3n - (2P_L + P_H)$ 进行计算,最后判断机构的自由度数目与原动件数目是否相等,以便确定机构是否具有确定的运动。当自由度数目大于原动件数目时,某些构件运动不确定(乱动);当自由度数目小于原动件数目时,会破坏机构的薄弱环节,这两种情况都不能成为机构,只有当自由度数目等于原动件数目时,各构件间才具有确定的相对运动,才能成为机构。

(1) 复合铰链判断时应注意:复合铰链是指两个以上的构件在同一处以转动副连接的情形,不应仅仅根据若干构件汇交在一起来判断。如图 2-1 所示铰链 D 处由 1、2、3、4 四个构件汇交,但是构件 1、4 组成移动副,构件 2、3 组成移动副,而只有构件 3、4 组成转动副,因此铰链 D 处不存在复合铰链。

(2) 局部自由度是机构中某些构件所产生的局部运动并不影响其他构件的运动的自由度。为了防止在计算自由度时错算构件数和运动副数,可先将产生局部运动的构件和与其相连的构件焊接为一整体,而后再计算机构自由度。

(3) 虚约束是指在运动副引入的约束中,有些约束对机构自由度的影响是重复的,对机构运动不起任何限制作用的约束。要正确判断虚约束,首先应搞清楚虚约束的概念,其次掌握机构中虚约束常出现的场合,我们只要掌握教材中介绍的五种情况,此外注意机构中的虚约束都是在特定的几何条件下出现的。

4. 正确掌握利用速度瞬心法对机构进行速度分析的方法

速度瞬心法是一种直观的、快捷的速度图解法,利用速度瞬心法对机构进行速度分析,其实质是利用瞬心为两构件上的瞬时绝对速度相等的重合点这一概念,掌握这种方法的关键是要正确找出所需瞬心的位置,即要找出已知运动构件和待求运动构件之间的瞬心位置。当这两构件直接通过运动副连接时,其瞬心位置很容易利用瞬心的定义直观确定;而当这两构件不是直接通过运动副相连接时,其瞬心位置必须借助三心定理来确定。

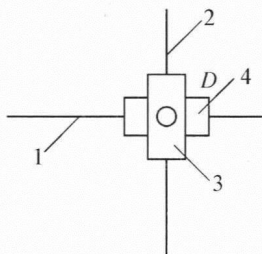


图 2-1 铰链

2.4 典型例题分析

【例 2-1】 绘制如图 2-2 所示活塞泵的机构运动简图,计算该机构自由度并判断机构



运动是否确定。

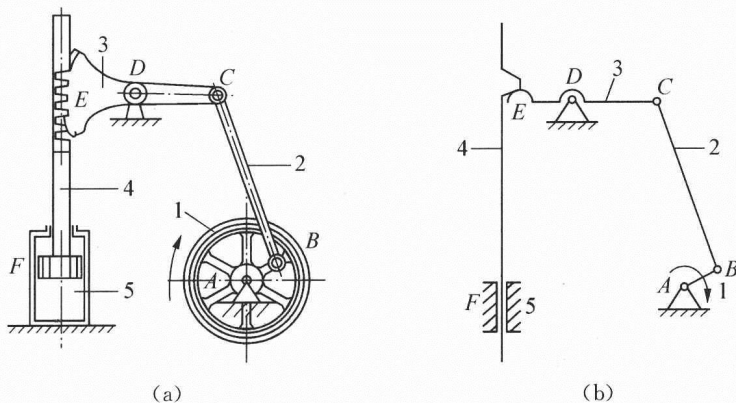


图 2-2 活塞泵

解 活塞泵由曲柄 1、连杆 2、扇形齿轮 3、齿条活塞 4 和机架 5 共 5 个构件所组成。曲柄 1 是原动件, 构件 2、3、4 为从动件。当原动件 1 回转时, 活塞在气缸中作往复运动。

各构件之间的连接如下: 构件 1 和构件 5、构件 2 和构件 1、构件 3 和构件 2、构件 3 和构件 5 之间有相对转动, 分别构成转动副 A、B、C、D。扇形齿轮 3 的轮齿与齿条活塞 4 的轮齿构成平面高副 E。构件 4 与构件 5 之间为相对移动, 构成移动副 F。

选取适当的比例, 按图 2-2(a) 所示尺寸, 用构件和运动副的规定符号画出机构运动简图。

$$n = 4 \quad P_L = 5 \quad P_H = 1$$

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

该机构自由度为 1, 且仅有一个原动件, 故机构具有确定的相对运动。

[例 2-2] 试计算图 2-3 所示的机构自由度, 如果有局部自由度、复合铰链和虚约束应指出。

解 C 处三杆组成复合铰链, 其转动副数目为 2; F 处为局部自由度, 将滚子与其相连的构件焊接为一整体进行计算; G、J 为两构件在两处组成的两个移动副, 且轴线重合, 只有一个移动副起约束作用, 所以有一个是虚约束。

该机构中 C 处为复合铰链, F 处为局部自由度, G 或 J 处为一虚约束。

$$n = 8 \quad P_L = 11 \quad P_H = 1$$

$$F = 3n - (2P_L + P_H) = 3 \times 8 - (2 \times 11 + 1) = 1$$

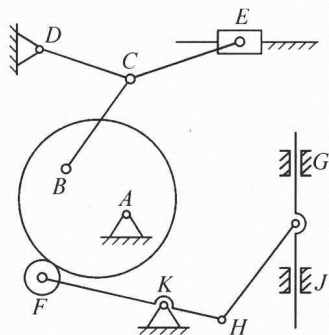


图 2-3 平面机构

[例 2-3] 试计算图 2-4 所示凸轮-连杆组合机构的自由度, 如果有局部自由度、复合铰链和虚约束应指出。

解 C、B 两处为局部自由度, 将滚子与其相连的构件焊接为一整体进行计算; F、F' 及 E、E' 两处为两构件在两处组成的两个移动副, 且轴线重合, 只有一个移动副起约束作用, 所以共有两个虚约束。



该机构无复合铰链, C 、 B 两处为局部自由度, F 、 E 两处为虚约束。

$$n = 5 \quad P_L = 6 \quad P_H = 2$$

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

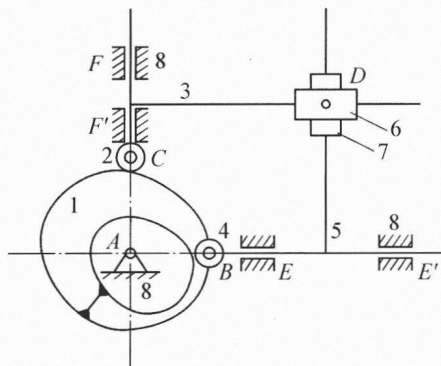


图 2-4 凸轮-连杆组合机构

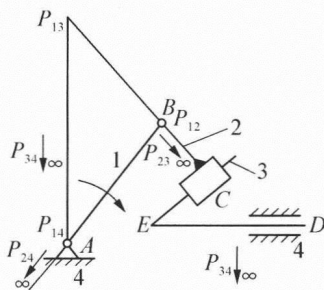


图 2-5 平面四杆机构

[例 2-4] 已知图 2-5 所示的各构件位置, 构件 1 以 ω_1 作匀速转动, 找出机构中的全部瞬心, 并利用瞬心法求 D 点的速度。

解 该机构共有六个瞬心, 具体位置如图 2-5 所示。

求解 D 点速度 v_D 利用 P_{13} , 因为 P_{13} 是构件 1、3 的同速点, 又因构件 3 作平动, 各点速度相等, 所以 D 点的速度为:

$$v_D = v_3 = \overline{P_{14}P_{13}}\omega_1$$

方向向右。

2.5 习 题

2.5.1 填空题

(1) 平面机构中一个高副引入_____个约束, 一个低副引入_____个约束, 约束数与自由度的关系是_____。

(2) 低副是两构件通过_____接触而构成的运动副; 高副是两构件通过_____或_____接触而构成的运动副。

(3) 由 M 个构件组成的复合铰链应包括_____转动副。

(4) 机构要能够运动, 自由度必须_____, 机构具有确定运动的条件是_____。

(5) 当两构件组成转动副时, 其速度瞬心在_____处; 组成移动副时, 其速度瞬心在_____处; 组成既有滚动又有滑动的平面高副时, 其速度瞬心在_____上。

(6) 速度瞬心是两刚体上_____为零的重合点。

(7) 铰链四杆机构共有_____个速度瞬心, 其中_____个是绝对瞬心, _____个是相对瞬心。



2.5.2 判断题

- (1) 用简单线条和符号按一定比例定出各运动副的相对位置,并能反映机构各构件间相对运动关系的简单图形称为机构示意图。 ()
- (2) 一个作平面运动的自由构件有六个自由度。 ()
- (3) 一切自由度不为 1 的机构都不可能具有确定的运动。 ()
- (4) 两构件组成一般情况的高副即非纯滚动高副时,其瞬心就在高副接触点处。 ()

2.5.3 试画出唧筒机构的运动简图,并计算其自由度。

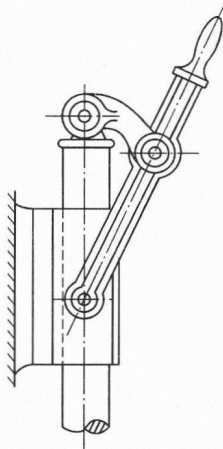


图 2-6 唧筒机构

2.5.4 图 2-7 为一新型偏心轮滑阀式真空泵。其偏心轮 1 绕固定轴心 A 转动,与外环 2 固连在一起的滑阀 3 在可绕固定轴心 C 转动的圆柱 4 中滑动。当偏心轮 1 按图示方向连续转动时,可将设备中的空气按图示空气流动方向从阀 5 中排出,从而形成真空。由于外环 2 与泵腔 6 有一小间隙,故可抽含有微小尘埃的气体。试绘制其机构运动简图,并计算其自由度及判定该机构是否具有确定运动。

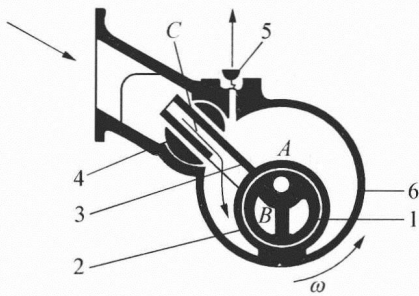


图 2-7 偏心轮滑阀式真空泵



2.5.5 试绘制图 2-8 偏心轮机构的运动简图,并计算其自由度。

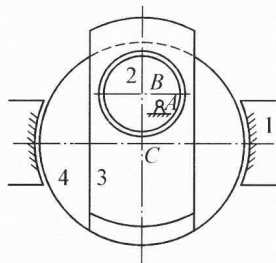


图 2-8 偏心轮机构

2.5.6 试绘制图 2-9 缝纫机下针机构的运动简图,并计算其自由度。

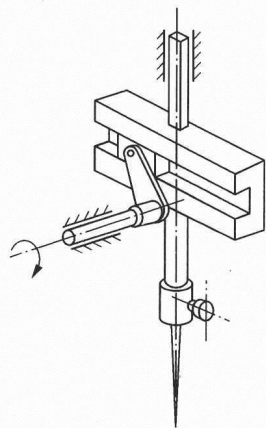


图 2-9 缝纫机下针机构

2.5.7 图 2-10 为一简易冲床的初拟设计方案。设计者的思路是:动力由齿轮 1 输入,使轴 A 连续回转,而装在轴 A 上的凸轮 2 与杠杆 3 组成的凸轮机构使冲头 4 上下运动,以达到冲压的目的。试绘出其机构运动简图,分析是否能实现设计意图,并提出修改方案。

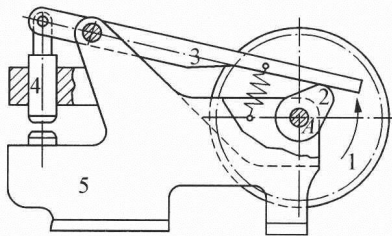


图 2-10 简易冲床