

“十二五”国家重点图书出版规划项目配套教材

机械设计基础同步辅导与 习题解析

于红英 闫辉 主编

JIXIE SHEJI JICHU TONGBU FUDAO YU
XITI JIEXI



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五”国家重点图书出版规划项目配套教材

机械设计基础同步 辅导与习题解析

于红英 闫辉 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书是根据机械设计基础课程教学的基本要求编写的,可与哈尔滨工业大学王瑜、敖宏瑞主编、哈尔滨工业大学出版社出版的《机械设计基础(第5版)》配套使用,本书体系与教材一致。全书共18章,每章分为基本要求、重点与难点、典型范例解析、习题与思考题解答、自测题和自测题参考答案6部分。通过对典型例题的讲解、习题与思考题的详细解答、学习后的自测,读者能够更准确、深入地理解和灵活地运用“机械设计基础”课程所讲述的基本原理与基本方法。

本书可作为高等院校近机类、非机类各专业学生学习“机械原理”和“机械设计”的辅助教材,同时也可供广大教师及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

· 机械设计基础同步辅导与习题解析/于红英,闫辉主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2017.8

ISBN 978-7-5603-6716-3

I. 机… II. ①于…②闫… III. 机械设计-高等学校-教学参考资料 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 125445 号

策划编辑 黄菊英

责任编辑 范业婷

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江艺德印刷有限责任公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 11.75 字数 267 千字

版 次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-6716-3

定 价 26.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

机械设计基础课程是高等工科学学校近机类、非机类专业开设的一门技术基础课。编者汇集了多年的教学经验,在深刻理解机械设计基础课程内容的基础上编写了本书。本书是王瑜、敖宏瑞主编、哈尔滨工业大学出版社出版的《机械设计基础(第5版)》配套辅导书。

本书紧扣教学目的与要求,按照教学章节的顺序编排,包括基本要求、重点与难点、典型范例解析、习题与思考题解答(含参考答案)、自测题(含参考答案)及自测题参考答案等几个环节,目的是帮助读者进一步理解本课程的基本内容,明确学习的基本要求,掌握重点,理解难点,通过练习加深理解,进一步巩固教材内容,掌握本门课程的基本理论、基础知识、基本方法和基本技能,从而达到良好的学习效果。

本书特点:

1. 明确每章的教学基本要求和重点教学内容,重点介绍基本概念、基本理论、基本分析方法和设计方法。
2. 建立明晰的知识结构框架。
3. 经典题型精解。详尽剖析典型例题,总结解题规律、解题思路、解题技巧。
4. 课后习题解答。
5. 自测题符合教材的重点内容,便于学习总结和自我检验。

参加本书编写工作的有:哈尔滨工业大学于红英(第1~4章)、王瑜(第5~8章)、任玉坤(第9~11章)、闫辉(第12~15章)、于东(第16~18章)。全书由于红英、闫辉任主编,姜洪源任主审。

本书可作为高等院校近机类、非机类各专业学生学习“机械原理”和“机械设计”的辅助教材,同时也可供广大教师及有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免有谬误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2017年5月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 基本要求	1
1.2 重点与难点	1
1.3 典型范例解析	1
1.4 习题与思考题解答	2
第2章 机械设计概论	4
2.1 基本要求	4
2.2 重点与难点	4
2.3 典型范例解析	8
2.4 习题与思考题解答	9
2.5 自测题	22
2.6 自测题参考答案	23
第3章 平面连杆机构	25
3.1 基本要求	25
3.2 重点与难点	25
3.3 典型范例解析	27
3.4 习题与思考题解答	29
3.5 自测题	37
3.6 自测题参考答案	39
第4章 凸轮机构	42
4.1 基本要求	42
4.2 重点与难点	42
4.3 典型范例解析	45
4.4 习题与思考题解答	47
4.5 自测题	59
4.6 自测题参考答案	61
第5章 带传动与链传动	64
5.1 基本要求	64
5.2 重点与难点	64
5.3 典型范例解析	65
5.4 习题与思考题解答	66
5.5 自测题	70
5.6 自测题参考答案	71

第6章 齿轮传动	72
6.1 基本要求	72
6.2 重点与难点	72
6.3 典型范例解析	74
6.4 习题与思考题解答	75
6.5 自测题	84
6.6 自测题参考答案	85
第7章 蜗杆传动	87
7.1 基本要求	87
7.2 重点与难点	87
7.3 典型范例解析	88
7.4 习题与思考题解答	92
7.5 自测题	99
7.6 自测题参考答案	99
第8章 轮系	100
8.1 基本要求	100
8.2 重点与难点	100
8.3 典型范例解析	101
8.4 习题与思考题解答	105
8.5 自测题	109
8.6 自测题参考答案	110
第9章 间歇运动机构	112
9.1 基本要求	112
9.2 重点与难点	112
9.3 典型范例解析	112
9.4 习题与思考题解答	112
9.5 自测题	113
9.6 自测题参考答案	114
第10章 螺纹连接与螺旋传动	115
10.1 基本要求	115
10.2 重点与难点	115
10.3 典型范例解析	115
10.4 习题与思考题解答	117
10.5 自测题	124
10.6 自测题参考答案	124
第11章 轴	125
11.1 基本要求	125
11.2 重点与难点	125

11.3	典型范例解析	125
11.4	习题与思考题解答	129
11.5	自测题	134
11.6	自测题参考答案	135
第12章	滚动轴承	136
12.1	基本要求	136
12.2	重点与难点	136
12.3	典型范例解析	139
12.4	习题与思考题解答	141
12.5	自测题	144
12.6	自测题参考答案	146
第13章	滑动轴承	149
13.1	基本要求	149
13.2	重点与难点	149
13.3	典型范例解析	150
13.4	习题与思考题解答	151
13.5	自测题	152
13.6	自测题参考答案	152
第14章	联轴器、离合器和制动器	154
14.1	基本要求	154
14.2	重点与难点	154
14.3	典型范例解析	154
14.4	习题与思考题解答	154
14.5	自测题	157
14.6	自测题参考答案	157
第15章	弹 簧	159
15.1	基本要求	159
15.2	重点与难点	159
15.3	典型范例解析	159
15.4	习题与思考题解答	160
15.5	自测题	161
15.6	自测题参考答案	161
第16章	机架零件	163
16.1	基本要求	163
16.2	重点与难点	163
16.4	习题与思考题解答	164
16.5	自测题	165
16.6	自测题参考答案	165

第 17 章 机械速度波动调节和回转件的平衡	166
17.1 基本要求	166
17.2 重点与难点	166
17.3 典型范例解析	167
17.4 习题与思考题解答	170
17.5 自测题	174
17.6 自测题参考答案	174
第 18 章 机械传动系统方案设计	175
18.1 基本要求	175
18.2 重点与难点	175
18.3 典型范例解析	175
18.4 习题与思考题解答	176
参考文献	178

第1章 绪论

1.1 基本要求

- (1) 明确本课程的研究对象和内容。
- (2) 熟悉本课程的性质和任务。
- (3) 掌握本课程的学习方法。
- (4) 熟悉机械的组成。

1.2 重点与难点

1.2.1 重点

- (1) 本课程的研究对象和内容。
- (2) 本课程的性质和任务。
- (3) 本课程的学习方法。
- (4) 机械的组成。

1.2.2 难点

1. 构件与机构概念

(1) 构件。在机械设备中,有些零件是作为一个独立的运动单元而运动的,而有些零件则是刚性地连接在一起,共同组成一个独立的运动单元体而运动的。机械中的每个独立的运动单元称为构件。

(2) 机构。一个具有确定相对运动的构件的组合物称为机构。

2. 机械的组成

(1) 任何一个完整的机械系统通常由原动机、传动装置、工作机和控制系统四大基本部分组成。

(2) 任何机械设备都是由许多机械零部件组成的。

(3) 从运动的观点来看,任何机械都是由构件组成的。

1.3 典型范例解析

例 1.1 试说明图 1.1 所示的矿石球磨机的组成,并说明各组成部分的功用。

【答】 控制系统用于协调机器各组成部分之间的工作以及与外部其他机器或原动

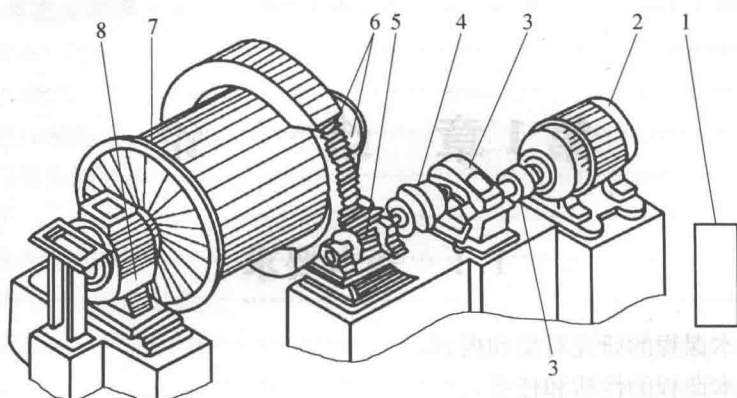


图 1.1 矿石球磨机

1—控制系统;2—电动机;3—减速器;4—联轴器;5、6—齿轮;7—球磨滚筒;8—滑动轴承

机之间的关系;电动机是原动机,为球磨机工作提供动力;减速器、齿轮和联轴器是传动装置,将原动机的运动和动力传递给工作机;球磨滚筒和滑动轴承是工作机,实现对矿石的粉碎。

1.4 习题与思考题解答

习题 1.1 指出下列机器的动力部分、传动部分和执行部分:(1)汽车;(2)自行车;(3)车床;(4)电风扇。

【答】 汽车、自行车、车床及电风扇的组成部分见表 1.1。

表 1.1 汽车、自行车、车床及电风扇的组成部分

机器名称	动力部分	传动部分	执行部分
汽车	发动机	变速箱、传动轴	轮胎
自行车	人力	链条及链轮	车轮
车床	电动机	床头箱、走刀箱、溜板箱	卡盘、刀架
电风扇	电动机	转子(摇头)	风扇叶轮

习题 1.2 本课程的任务是什么?

【答】 本课程的主要任务是:

- (1) 初步树立正确的设计思想。
- (2) 掌握常用机构和通用机械零部件的设计或选用的理论与方法,了解机械设计的一般规律,具有设计机械系统方案、机械传动装置和简单机械的能力。
- (3) 具有计算能力、绘图能力和运用标准、规范、手册、图册查阅有关技术资料的能力。

(4) 掌握本课程实验的基本知识,获得实验技能的基本训练。

(5) 对机械设计的新发展有所了解。

习题 1.3 学习本课程应注意哪些方面?

【答】学习本课程时应注意以下几个方面:

- (1) 注重理论联系实际。
- (2) 抓住设计这条主线,掌握常用机构及机械零部件的设计规律。
- (3) 努力培养解决工程实际问题的能力。
- (4) 综合运用先修课程的知识解决机械设计中的问题。

第2章 机械设计概论

2.1 基本要求

- (1) 掌握机械设计的基本要求及一般过程。
- (2) 掌握机械零件的主要失效形式、设计准则及机械零件的结构工艺性。
- (3) 了解钢的热处理方法及应用。
- (4) 了解互换性的基本概念及作用,公差、偏差、配合的基本概念和选用原则,误差、精度的基本概念。
- (5) 了解尺寸公差与配合的选用与标注。
- (6) 了解表面粗糙度的选用与标注。
- (7) 了解形位公差的选用与标注。
- (8) 掌握运动副的概念和运动副的分类。
- (9) 掌握机构运动简图的绘制。
- (10) 掌握机构自由度的计算和机构具有确定运动的条件。
- (11) 掌握速度瞬心在平面机构速度分析中的应用。
- (12) 了解现代设计方法。

2.2 重点与难点

2.2.1 重点

- (1) 机械设计的基本要求及一般过程。
- (2) 机械零件的主要失效形式、设计准则及机械零件的结构工艺性。
- (3) 运动副及其分类。
- (4) 机构运动简图的绘制步骤。
- (5) 平面机构自由度的计算。
- (6) 机构具有确定运动的条件。

2.2.2 难点

1. 钢的热处理、表面化学热处理及金属零件的表面处理

(1) 钢的热处理。

钢的热处理是对钢在固态范围内施以不同形式的加热、保温和冷却,从而改变(或改善)其组织结构,以达到预期性能的操作工艺。热处理的方法有退火、正火、淬火、回火、

表面淬火和表面化学热处理。

目的:提高钢的机械性能,增加钢的寿命和耐磨性等。

(2) 金属零件的表面处理。

金属零件的表面处理就是在金属表面附上一层覆盖层,以达到防腐、改善性能及装饰的作用。金属零件的表面处理通常分为电镀、化学处理和涂漆三种。

注意:钢的热处理与金属零件表面处理是不同的,热处理一般不改变零件的形状及化学成分(只有通过表面化学热处理,使得某些元素渗入钢的表面时,才改变表面的化学成分),但是组织结构却随着加热温度与冷却速度的不同而发生变化,即热处理改变钢内部的组织结构。表面处理则不改变零件内部的组织结构及化学成分,只在零件表面形成一层保护膜,主要是为了美观或防锈。

2. 尺寸公差与配合中涉及的概念

(1) 尺寸。

① 公称尺寸。由图样规定确定的理想形状要素的尺寸。

② 实际尺寸。通过实际测量得到的尺寸。

③ 极限尺寸。允许尺寸变动的两个极限值。

(2) 公差。

① 尺寸公差。允许尺寸的变动范围。

② 形状公差。允许形状的变动范围。

③ 位置公差。允许位置的变动范围。

(3) 尺寸偏差。

① 上偏差。上极限尺寸与其公称尺寸的代数差。

② 下偏差。下极限尺寸与其公称尺寸的代数差。

③ 极限偏差。上偏差和下偏差统称为极限偏差。

④ 实际偏差。实际尺寸与公称尺寸的代数差。

(4) 零线与公差带。

① 零线。在公差与配合图解(简称公差带图)中,确定偏差的一条基准直线称为零线。通常用零线来表示公称尺寸(基本尺寸)。

② 公差带。在公差带图中,代表上、下偏差的两条直线所限定的一个区域称为公差带或公差带图。

(5) 配合。

① 配合的概念:指公称尺寸相同、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。

② 配合的分类。

a. 间隙配合。具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合。其特点是孔的公差带在轴的公差带之上。

b. 过盈配合。具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合。其特点为孔的公差带在轴的公差带之下。

c. 过渡配合。可能具有间隙或过盈的配合。此时,孔的公差带与轴的公差带相互交叠。

(6) 基准制。以两个相配零件中的一个零件为基准件,并选定标准公差带,然后按使用要求的最小间隙(或最小过盈)确定非基准件的公差带位置,从而形成各种配合的一种制度。

① 基孔制。将孔的公差带位置固定不变,而变动轴的公差带位置,以得到松紧不同配合的一种制度。

② 基轴制:将轴的公差带位置固定不变,而变动孔的公差带位置,以得到松紧不同配合的一种制度。

3. 构件与零件的区别

零件是加工制造的单元,而构件是作为一个整体参与运动的单元。一个构件可能是一个零件,也可能是若干个零件的刚性组合。本书中,将构件视为刚体,且不考虑构件本身的材料、形状和截面尺寸,这一点与理论力学课程相似。初学者往往由于区分不清构件与零件的区别,而在绘制机构运动简图和计算自由度时出错,因此要特别注意。

4. 运动副的概念

两个构件直接接触而形成的一种可动连接称为运动副。这一定义包含三层含义:

(1) “副”是“成对”的意思,只有两个构件,才能构成一个运动副,一个构件,不存在运动副,两个以上的构件,则构成多个运动副,如复合铰链。

(2) 两个构件只有通过直接接触,才能成“副”,由于直接接触,使构件的某些独立运动受到约束,两构件间相对的运动自由度便随之减少,一旦脱离接触,约束即不复存在,则它们所构成的运动副亦随之消失。

(3) 直接接触的两个构件之间要能产生一定形式的相对运动,形成可动连接,才能称为运动副。如果两个构件之间形成的是不能产生相对运动的“死”连接,则二者将合成为一个构件,它们之间也就不存在运动副。

5. 机构运动简图的绘制

当研究机构的运动时,为了使问题简化,常用一些简单的线条和规定的符号来表示运动副和构件,并按比例定出各运动副的位置,这种说明机构各构件间相对运动关系的简单图形,称为机构运动简图。机构运动简图既要简洁,又要在讨论和评价设计方案时能正确表达其设计思想;在计算自由度时,不至于数错构件数和运动副数;在做运动分析和力分析时,能保证计算无误,所以机构运动简图应能正确表达出机构由哪些构件组成、构件间用什么运动副相连接及各运动副之间的尺寸等,即表达出机构的组成形式,显示出其设计方案。

(1) 绘制运动副时的注意事项。

① 绘制转动副时,代表转动副小圆的圆心必须与回转中心重合;两个转动副中心连线的长度一定要精确。偏心轮和圆弧形滑块是转动副的特殊形式。它们的绘制是易错点。绘制时关键是要找出相对转动中心。

② 绘制移动副时,导路的方向和位置是关键。必须注意:代表移动副的滑块,其导路的方向必须与相对移动的方向一致;导路间的夹角要精确;转动副与移动副导路间的距离要精确,若某一构件分别以转动副和移动副与另两个构件相连接,且转动副的回转中心不在移动副的导路上,则应标出转动副与导路的距离,即偏心距 e 。

(2) 绘制构件时的注意事项。

① 对于任意形状的构件,当它只以两个转动副与其他构件相连接,且外形轮廓也不以高副与其他构件相接触时,简图中只需以两个转动副几何中心的连线代表此构件即可。

② 尽量减少构件前后重叠时虚线可能引起的误会。例如,有时可变通地把小齿轮或外形小的凸轮、棘轮等移至大齿轮的前面,即画成实线,这在机械制图中是绝对不允许的,但在绘制机构运动简图时,只要不影响表达机构的组成和运动特性,这种变通是允许的。

③ 当同一轴上安装若干零件时,必须明确表明哪些零件为同一构件。当不便以焊接符号表示时,还可用构件编号来表达,即不同构件标不同编号,同一构件中的不同零件(例如固结于同一轴上的大、小齿轮或齿轮与凸轮),则标以同样的构件编号,并在编号右上角加上角标,以示区别。

(3) 绘制机构运动简图时的注意事项。

① 机构运动简图、机构示意图和机械系统示意图的区别。

当设计者只是为了表达机构的组成、讨论初步的设计构思和表达机构的动作原理且不需精确进行运动学、动力学计算时,可不必严格地按比例绘制运动副的精确位置和构件的准确尺寸,只需绘制机构示意图。在正式提交设计方案或要做定量的运动分析和动力分析时,则必须严格按比例绘制机构运动简图。这两种图形一般只绘制某个或几个执行机构、传动机构或驱动机构。当需要包含从原动机开始的整个传动装置、工作机时,则需要绘制机械系统示意图,其绘制方法与机构示意图相同。

② 绘制机构运动简图的步骤。

a. 分析机械的实际工作情况,确定原动件、机架、从动件系统及其最后的执行构件。然后,搞清楚原动件和输出构件之间运动的传递路线,组成机构的构件数目及连接各构件的运动副的类型和数目,测量出各个构件与运动有关的尺寸。

b. 恰当地选择投影面,一般可以选择机构的多数构件的运动平面作为投影面。必要时也可以就机构的不同部分选择两个或两个以上的投影面,然后展到同一图面上,或者把主机构运动简图上难以表示清楚的部分另绘成局部简图。

c. 选择适当的比例,定出各运动副的相对位置,以简单的线条和规定的符号绘出机构运动简图。

6. 机构自由度的计算

机构具有确定运动的条件是:机构的自由度数目大于零件,原动件数目等于机构的自由度数。机构自由度的计算错误将会导致对机构运动的可能性和确定性的误判,从而影响设计工作的正常进行,因此在计算机构自由度时,应注意如下几点:

(1) 正确运用平面机构自由度计算公式。

计算平面机构自由度时,必须考虑各注意事项。

(2) 搞清楚构件、运动副及约束的概念。

只有搞清楚构件、运动副及约束的概念,才能正确判断活动构件数、运动副的类型和各类运动副的数目。构件是独立的运动单元体。对于好像能独立运动而实际上不能做相对运动的所谓“构件”的组合应看作一个构件,如固结在同一轴上的凸轮和齿轮,同轴同速转动,应视为一个构件。运动副是指两个构件直接接触形成的可动连接。要构成运动

副必须满足以下条件:要有两个构件相接触,一个构件不构成运动副,两个以上的构件在一处接触可能构成多个运动副;两构件要直接接触,否则不可能对构件的某些独立运动产生约束或限制,不能形成运动副;两构件要形成可动连接,若形成不可相对运动的连接,则这种连接称为固结,这两个“构件”实际上为一个构件。

(3) 准确识别和正确处理机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束。

准确识别且正确处理复合铰链、局部自由度和虚约束,是自由度计算中的难点,也是容易出现错误的地方。

① 复合铰链是指两个以上的构件在同一处以转动副相连接时组成的运动副。复合铰链是画机构运动简图简化的结果,由 m 个构件组成的复合铰链包含 $m-1$ 个转动副。准确识别复合铰链的关键是要分辨哪几个构件在同一处形成了转动副。

② 局部自由度是指不影响整个机构运动的自由度。局部自由度一般出现在为减小高副元素间摩擦磨损而将滑动摩擦变为滚动摩擦所增加的滚子处,在计算机构自由度时,通常可舍弃局部自由度,将滚子与从动件固连在一起。

③ 虚约束是机构中存在的不会产生实际约束效果的重复约束。虚约束是在特定条件下产生的,在计算机构自由度时一般应该先找出虚约束,并将其去除,这样可避免判断复合铰链时所产生的错误。常见的虚约束有以下几种情况:

a. 当两个构件组成多个移动副且其导路互相平行或重合时,则只有一个移动副起作用,其余都是虚约束。

b. 当两个构件构成多个转动副且轴线互相重合时,则只有一个转动副起作用,其余的转动副都是虚约束。

以上两种情况可以总结为:两个构件只能组成一个运动副,多余的运动副都是虚约束。

c. 如果机构中两活动构件上某两点间的距离始终保持不变,此时若用具有两个转动副的附加构件来连接这两个点,将会引入一个虚约束。必须注意,为使两动点间的距离始终保持不变,除要求它们具有相同的轨迹之外,还必须有相同的运动规律。

d. 机构中对运动起重复限制作用的对称部分,也往往会引入虚约束。

2.3 典型范例解析

例 2.1 如图 2.1 所示,已知: $DE = FG = HI$, 且相互平行; $DF = EG$, 且相互平行; $DH = EI$, 且相互平行。计算此机构的自由度 (若存在局部自由度、复合铰链和虚约束, 请指出)。

【解】 这是一道计算机构自由度的典型例题。由于 $DFHIGE$ 的特殊几何关系, 构件 FG 的存在只是为了改善平行四边形 $DHIE$ 的受力状况, 对整个机构的运动不起约束作用, 故 FG 杆及其两端的转动副所引入的约束为虚约束。 D 、 E 两处为复合铰链。滚子绕自身几何中心 B 的转动自由度为局部自由度。在计算机构自由度时, 去除 FG 杆及其带入的约束、去除滚子引入的局部自由度并将其与杆 2 固连, 得到图 2.2(a)。另外, 本题也可以看成杆 DE 及其两端的转动副是虚约束, 去除 DE 杆及其带入的约束, 此时 D 、 E 两处

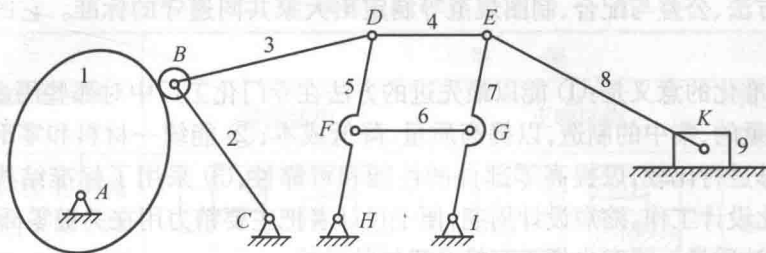


图 2.1

不是复合铰链,去除滚子引入的局部自由度并将其与杆 2 固连,得到图 2.2(b)。由此可见,在进行机构自由度计算时,判断虚约束是至关重要的,它决定着复合铰链的存在与否。

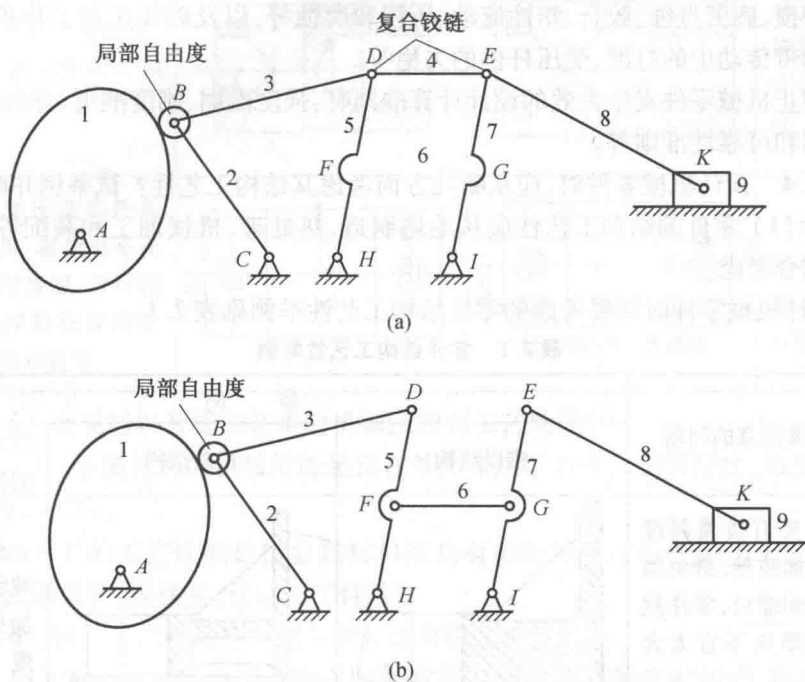


图 2.2

对于图 2.2(a)和图 2.2(b), $n=8$, $P_L=11$, $P_H=1$, 所以机构的自由度为

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

2.4 习题与思考题解答

习题 2.1 简述机械设计的一般步骤。

【答】 机械设计的一般步骤为:(1)确定设计任务书;(2)总体方案设计;(3)技术设计;(4)编制技术文件;(5)技术审定和产品鉴定。

习题 2.2 什么是零件的标准化,标准化的意义是什么?

【答】 (1)零件的标准化是指对机械零件的种类、尺寸、结构要素、材料性能、检验