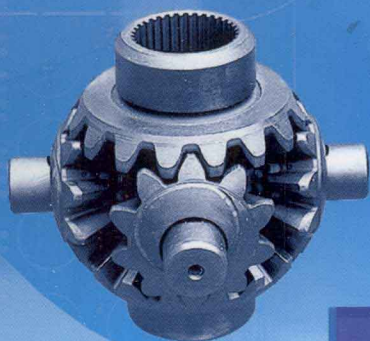




TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材



机械原理与机械设计 学习指导书 (上册)

JIXIE YUANLI YU JIXIE SHEJI XUEXI ZHIDAOSHU

刘 峰 綦耀光 崔学政 主编

中国石化大学出版社



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

机械原理与机械设计 学习指导书

上册

刘 峰 蔡耀光 崔学政 主编

中国石化

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与机械设计学习指导书. 上册/刘峰, 綦耀光, 崔学政主编. —东营: 中国石油大学出版社, 2010. 8

ISBN 978-7-5636-3220-6

I. ①机… II. ①刘… ②綦… ③崔… 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. ①TH111 ②TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 158226 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 机械原理与机械设计学习指导书(上册)
作 者: 刘 峰 綦耀光 崔学政

责任编辑: 袁超红(电话 0532—86981532)

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营, 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

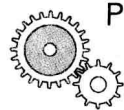
印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0546—8392563)

开 本: 180×235 印张: 9 字数: 190 千字

版 次: 2010 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 14.00 元



机械原理、机械设计及机械设计基础课程是高等工科学学校机械类、近机类、非机类专业普遍开设的重要技术基础课程。为了有利于学生对课程中涉及的基本概念、基本理论等基础内容的学习,以及加深对重点内容的掌握和对难点内容的理解,我们组织编写了本书。

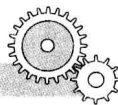
本书分为上、下两册。上册为机械原理课程的内容,下册为机械设计课程的内容。各册中均分为不同的章节,每章又包括学习指导(基本要求,内容小结,重点、难点内容分析)、例题精选与解析和习题。

本书的主要特点是:

1. 在内容体系方面突破了原有课程的界限,将机械原理和机械设计等的相关内容、内容小结与典型例题有机结合起来,以满足课程中教与学的需要。
2. 针对机械原理、机械设计及机械设计基础课程教学中的基本内容、重点和难点内容进行分析指导,以使学生加深对基本概念、基本理论、基本方法、重点与难点内容的理解。
3. 书中例题精选与解析部分的题型与习题部分(选择填空题、简答题、分析题、计算题等)的题型一致,有助于学生进行题目求解或培养解决实际问题的能力。

本书可供高等学校机械类、近机类、非机类专业的学生在学习机械原理、机械设计及机械设计基础课程时使用,有助于学习基本知识、掌握重点内容、理解难点内容。本书还可作为硕士研究生入学考试的复习和参考资料,也可供相关课程的教师备课参考或供布置作业之用。

本书由中国石油大学(华东)机电工程学院刘峰、綦耀光、崔学政三位老师编写。崔学政老师编写本书上册绪论、第一章至第五章,綦耀光老师编写本书上册第六章至第十三章以及自测试题,刘峰老师编写本书下册的内容。全书由刘峰老师统稿。



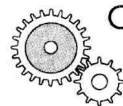
参加本书编写讨论的有肖文生、石永军、刘健、周先军、负平利、杨民、郭颖、高和平、于蕾艳、吴宝贵、崔学政、蔡耀光、刘峰等老师。

全书由肖文生教授、路永明教授担任主审。

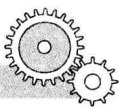
由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

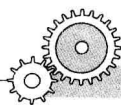
2009 年 6 月



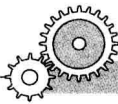
绪 论	1
第一节 学习指导	1
第二节 习 题	2
第一章 机构的结构分析	3
第一节 学习指导	3
第二节 例题精选与解析	7
第三节 习 题	8
第二章 平面机构的运动分析	12
第一节 学习指导	12
第二节 例题精选与解析	16
第三节 习 题	20
第三章 平面机构的力分析	24
第一节 学习指导	24
第二节 例题精选与解析	26
第三节 习 题	28
第四章 机械的摩擦与机械效率	30
第一节 学习指导	30
第二节 例题精选与解析	34
第三节 习 题	36



第五章 机械的平衡	40
第一节 学习指导	40
第二节 例题精选与解析	42
第三节 习 题	44
第六章 机械的运转及其速度波动的调节	47
第一节 学习指导	47
第二节 例题精选与解析	49
第三节 习 题	52
第七章 平面连杆机构及其设计	57
第一节 学习指导	57
第二节 例题精选与解析	60
第三节 习 题	65
第八章 凸轮机构及其设计	70
第一节 学习指导	70
第二节 例题精选与解析	72
第三节 习 题	77
第九章 齿轮机构及其设计	82
第一节 学习指导	82
第二节 例题精选与解析	85
第三节 习 题	89
第十章 齿轮系及其设计	93
第一节 学习指导	93
第二节 例题精选与解析	95
第三节 习 题	102
第十一章 其他常用传动机构及其设计	108
第一节 学习指导	108
第二节 例题精选与解析	109
第三节 习 题	110
第十二章 机构的选型及机械传动系统的设计	112
第一节 学习指导	112
第二节 例题精选与解析	113



第三节 习 题	116
第十三章 电算习题与指导	117
附 录 机械原理自测试题	121
自测试题 I	121
自测试题 II	125
自测试题 III	128
自测试题 IV	132
参考文献	136



绪 论

第一节 学习指导

一、基本要求

1. 明确本课程的研究对象与内容。
2. 了解本课程在教学计划中的地位和在经济发展中的作用。
3. 了解本课程在培养机械类专业技术人才方面的重要作用及学习方法。
4. 了解机械原理学科的发展现状与发展方向。

二、内容小结

1. 机构、机器与机械

机构强调运动和力的传递与变换作用,而机器强调能量、物料和信息的传递与变换作用。机械是机构与机器的总称。

2. 构件与零件

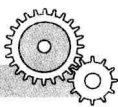
构件是运动单元体,零件是用同一种材料加工制造的单元体。从机械原理与机械设计课程的角度来看,零件是研究机械问题的最小单元。

3. 课程内容

本课程内容可以归结为:机构的结构分析、机构的运动与动力分析以及按运动学与动力学条件进行常用机构的设计。从另一个角度来看,本课程内容也可以归结为:分析已有机械以及创造发明新机械。

4. 课程性质

本课程是一门技术基础课程,以高等数学、大学物理、机械制图、理论力学为基础,主要研究机械的基本工作理论与设计方法,为后续专业课程的学习打下基础。



三、重点、难点内容分析

1. 重点内容

机械原理课程的研究对象、研究范围、课程性质；机构、机器、机械、构件、零件等相关概念的差别与联系。

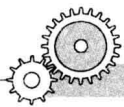
2. 难点内容

深入理解机构与机器的概念及其区别，以及对其进行研究的方法的差异；理解综合与设计不同含义。需要注意的是，由于本课程对机械设计的研究只限于运动与动力方面的要求，而不涉及材料科学及强度理论，所以本课程所进行的设计还不是完整的机械设计，因此常用“综合”两字来代替“设计”。

在本章的学习中，主要弄清机械原理的研究对象及范围，具体内容将在后续各章中深入研究，本章只是概括了解。

· 第二节 习 题 ·

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？
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？
3. 机械原理学科的发展现状与发展方向是什么？



第一章 机构的结构分析

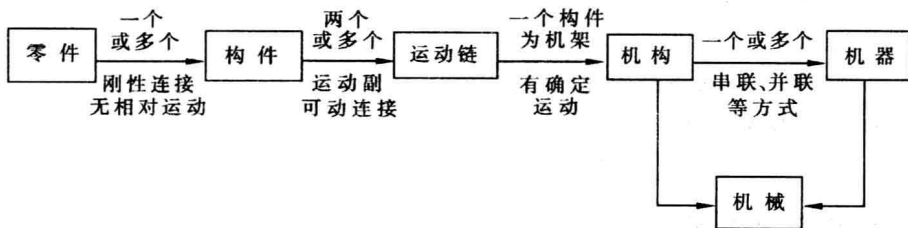
第一节 学习指导

一、基本要求

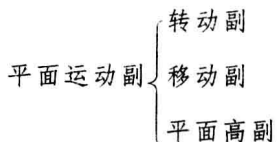
1. 理解运动副、运动链、机构、约束与自由度等概念。
2. 能够绘制一般的机构运动简图。
3. 熟练掌握平面机构自由度的计算及计算自由度时应注意的事项。
4. 基本掌握机构的组成原理及平面机构的结构分类。
5. 了解空间机构自由度的计算及平面机构的高副低代。

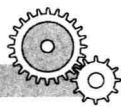
二、内容小结

1. 机械的组成



2. 运动副





空间运动副	点高副——Ⅰ级副
	线高副——Ⅱ级副
	平面副——Ⅲ级副
	球面副——Ⅲ级副
	球销副——Ⅳ级副
	圆柱副——Ⅳ级副
	螺旋副——Ⅴ级副

3. 机构运动简图与机构示意图

机构运动简图:用简单的线条与符号表达机构的结构组成、运动传递情况,并按比例绘制的简化图形。

机构示意图:与机构运动简图的区别在于可以不按严格的比例绘制。

4. 平面机构自由度计算式

$$F = 3n - 2P_1 - P_h$$

5. 空间机构自由度计算式

$$F = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1$$

6. 机构具有确定运动的条件

$$F = M \quad (M \text{ 表示原动构件数})$$

情况分析:

- (1) $F \leq 0$, 机构不能动;
- (2) $F < M$, 机构在最薄弱环节损坏;
- (3) $F > M$, 机构能动但无确定运动。

7. 基本杆组

不能再拆的自由度为零的构件组,其特征是 $3n = 2P_1 + P_h$ 。

8. 平面机构组成原理

$$\text{机构} = \text{原动件} + \text{机架} + \text{杆组}$$

三、重点、难点内容分析

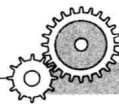
1. 重点内容

平面机构的自由度计算及机构具有确定运动的条件。

2. 难点内容

计算机构自由度的注意事项,特别是虚约束的判断问题。

平面机构自由度为:



$$F = 3n - 2P_l - P_h$$

式中, n 为活动构件数(包括原动件与从动件,但不包括机架); P_l 为低副数; P_h 为高副数。

进行自由度计算时,一要注意该公式仅适用于一般平面机构;二要注意机构中是否有复合铰链、局部自由度及虚约束,并掌握其处理方法。

如图 1-1 所示,连杆 2 是由三个杆件组成的三角形构件,在此只能算一个构件,而 B 、 C 及 E 点不存在复合铰链。在计算该机构的自由度时,有的同学将连杆 2 算为三个构件, B 、 C 及 E 点算为复合铰链,也得出了正确答案,但这在计算原理上是有错误的。我们知道,构件的定义为单个零件或被刚性连接在一起的多个零件所构成的运动单元。三角形 BCE 三杆之间无相对运动,即被刚性连接在一起,因此只能算一个构件。运动副的定义为两构件之间组成的可动连接。既然三角形 BCE 三杆之间无相对运动,也就不存在运动副,因此 B 、 C 及 E 点无复合铰链。

如图 1-2 所示,在计算该机构自由度时,滚子处存在局部自由度(图 1-2a),将滚子与从动推杆之间“刚化”处理后可消除局部自由度(图 1-2b),但不进行“刚化”处理而将自由度数减 1 也能得出正确答案。这两种计算方法均正确,建议采用前一种。当然,实际机构中并非真正“刚化”,因为这是减少高副元素磨损的措施。

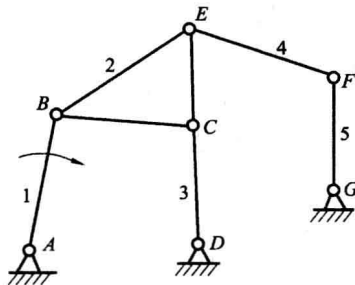


图 1-1

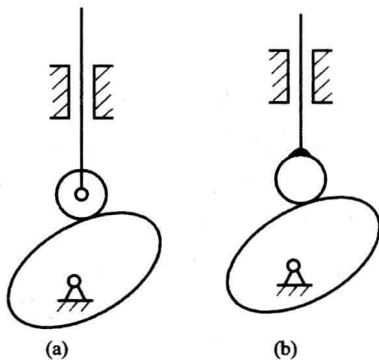


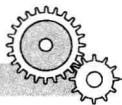
图 1-2

虚约束问题是本章的难点,困难之处在于计算自由度时不易将它鉴别出来。更有实际意义的问题是在实际工作中如何正确运用虚约束。虚约束是为了改善机构受力或增加机械的刚度等原因而人为设置的约束。通常下列情况将会产生虚约束:

(1) 在机构中如果有两构件铰接,若将该铰链拆开后两构件上该连接点轨迹是重合的,则该铰链将带入一个虚约束。

(2) 如果两构件在几处接触而构成运动副或转动副,则应只考虑一处所带入的约束,其余各处所带入的为虚约束。

(3) 如果在机构运动过程中某两构件上的两点之间的距离始终保持不变,那么若在



此两点处各增设一个转动副,两转动副之间增设一个构件,则必定带入一个虚约束。

(4) 如果在机构中存在结构完全相同的部分,则这些与机构运动的传递并无影响的相同部分也将带入虚约束。

例如,图 1-3 所示为钢板剪床机构。构件 5 是比较宽的剪刀,为了使较宽的剪刀 5 受力均匀,添加一个与杆件 3 及 4 结构相同的 II 级杆组 IHG,并用构件 9 连接。在添加构件 7,8,9 之前,机构的自由度 F 计算如下:

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

在添加构件 7,8,9 以后,机构的自由度 F 为:

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

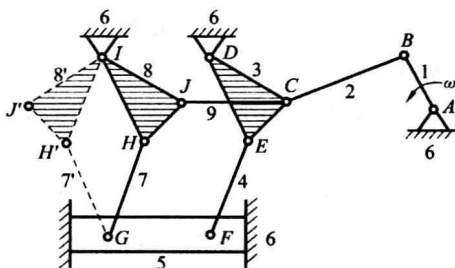


图 1-3

附加构件 9 及其两端的铰链产生了虚约束。为了保证虚约束的成立,铰接点 J 及 C 之间距离必须始终保持不变。为了使 J 及 C 两铰链间距离不变,构件 8 和 7 必须与构件 3 和 4 尺寸相同、偏向同侧。如果构件 8 和 7 偏向另一侧(图 1-3 中虚线所示),此时铰接点 $J'C$ 之间距离不等于常数,就破坏了虚约束条件而使附加构件 9 及其两端的铰链产生的虚约束成为真约束,机构将不能运动。

如果认为构件 9 及其两端的铰链没有虚约束存在,则构件 7 及其两端的铰链将产生虚约束,其分析过程与上述分析构件 9 及其两端的铰链产生虚约束的过程相同。

为了保证虚约束的条件成立,机构中构成虚约束的构件及运动副要素必须严格按照虚约束条件加工制造并安装。例如,必须保证构件 8 和 7 与构件 3 和 4 的尺寸分别相等并保证相应的安装精度。

在图 1-4 所示的齿轮机构中,在齿轮 1 及齿轮 3 之间同时装入尺寸完全相同的三个齿轮 2, 2' 和 2'', 这样便可使几个行星轮共同分担载荷,以减小齿轮尺寸,同时也可使各啮合处的径向力与行星轮的公转离心惯性力得到平衡,但从运动的观点来看,多装入的这两个行星轮所带入的约束将为虚约束。

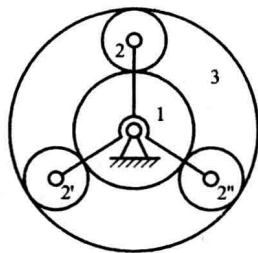
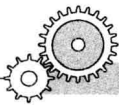


图 1-4



第二节 例题精选与解析

例 1-1 计算图 1-5 所示机构的自由度并说明机构运动是否确定。

解 该机构的活动构件数为 4, 低副数为 4, 高副数为 2。注意 C 处为高副接触, 但不能算成两个高副, 因为虽然凸轮与从动件有两个接触点, 但由于该凸轮为凸轮机构中的等宽凸轮, 有一侧接触必为虚约束。同理, A 处情况也相似, 只能算成一个高副, 并且 A 处滚子还存在局部自由度, 对此进行刚化处理。该机构自由度 F 为:

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

该机构有两个原动件, 刚好与机构自由度数相等, 因此该机构有确定的运动。

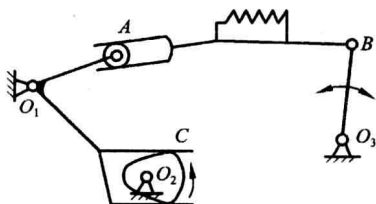


图 1-5

例 1-2 图 1-6(a) 所示为牛头刨床的初始设计方案, 设计思路为: 动力由小齿轮 1 输入, 大齿轮 2 与曲柄是一体的, 通过摆动导杆机构驱动滑枕 5 往复运动。试分析所设计机构是否能实现设计意图, 并提出修改意见。

解 由图 1-6(a), 可算得自由度 F 为:

$$F = 3n - 2P_l - P_h = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 1 \times 1 = 0$$

结果表明该机构不能运动。原因在于摆杆的弧线运动轨迹 $\alpha\alpha$ 不可能与滑枕的直线运动轨迹相协调, 因此这两个构件不能直接相连。

图 1-6(b), (c), (d) 通过增加杆件实现滑枕运动, 而图 1-6(e) 通过改变运动副形式来实现滑枕运动。

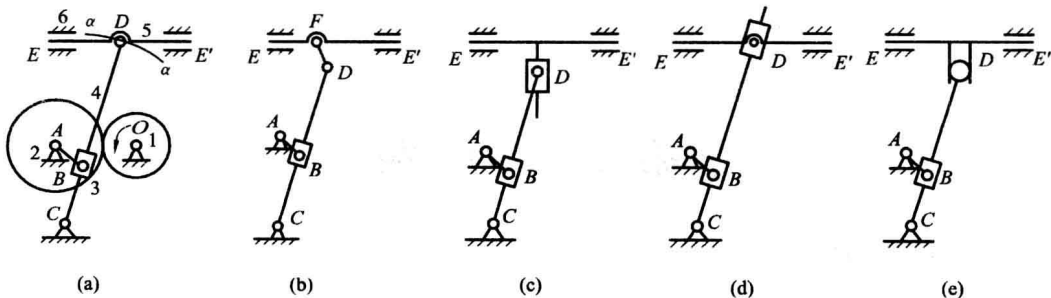
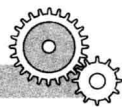


图 1-6



例 1-3 图 1-7(a)所示为 BZ-300 型柴油机的机构运动简图,试分别以活塞 3 或活塞 5 为原动件,确定机构的级别。

解

(1) 计算机构自由度 F :

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

(2) 以活塞 3 为原动件,从远离原动件的位置先拆下连杆 4 与活塞 5 构成的 II 级杆组,使剩下的机构自由度数不变;然后再拆下曲柄 1 与主连杆 2 构成的 II 级杆组,剩下机架 6 与原动件 3,因此该机构为 II 级机构,如图 1-7(b)所示。

(3) 以活塞 5 为原动件只能拆下由构件 3,4,2 及 1 组成的 III 级杆组,剩下机架 6 及原动件 5,因此该机构为 III 级机构,如图 1-7(c)所示。

由此可见,同一机构由于原动件不同所形成的机构级别也可能不同。

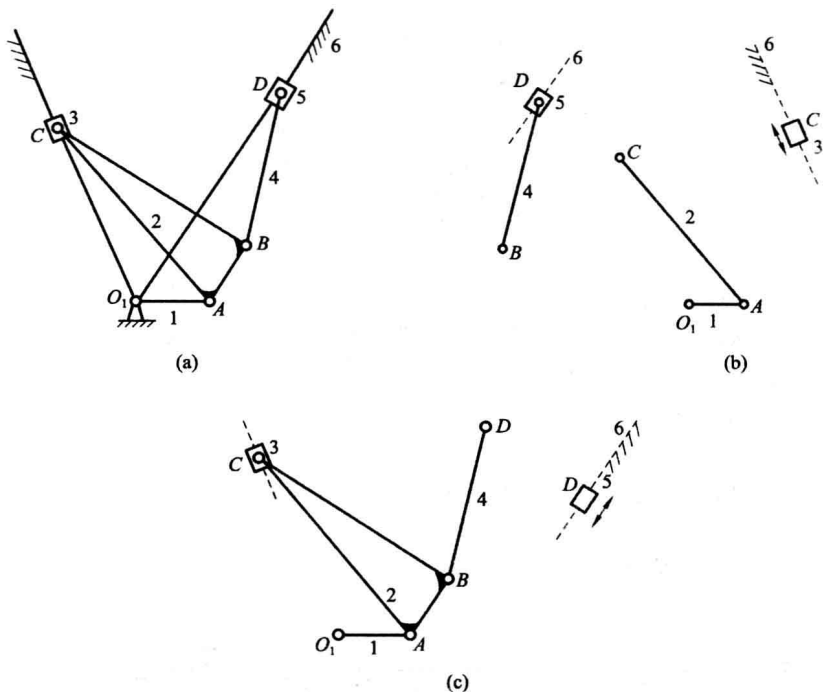
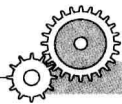


图 1-7

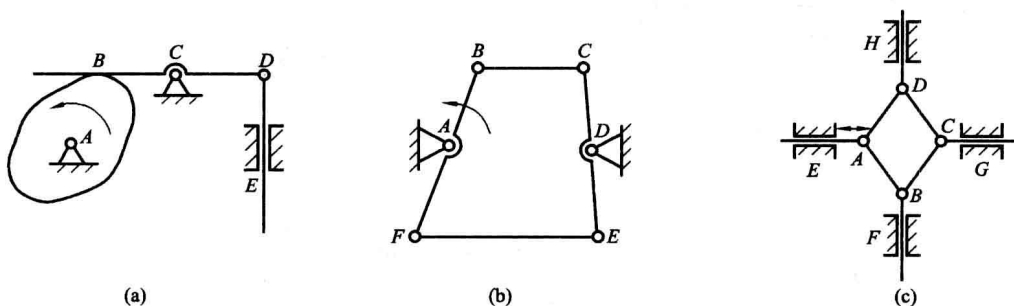
第三节 习 题

1. 解释下列概念:

零件 构件 原动件 从动件 机架 运动副 约束 自由度 运动链 杆组
复合铰链 局部自由度 虚约束 机构运动简图

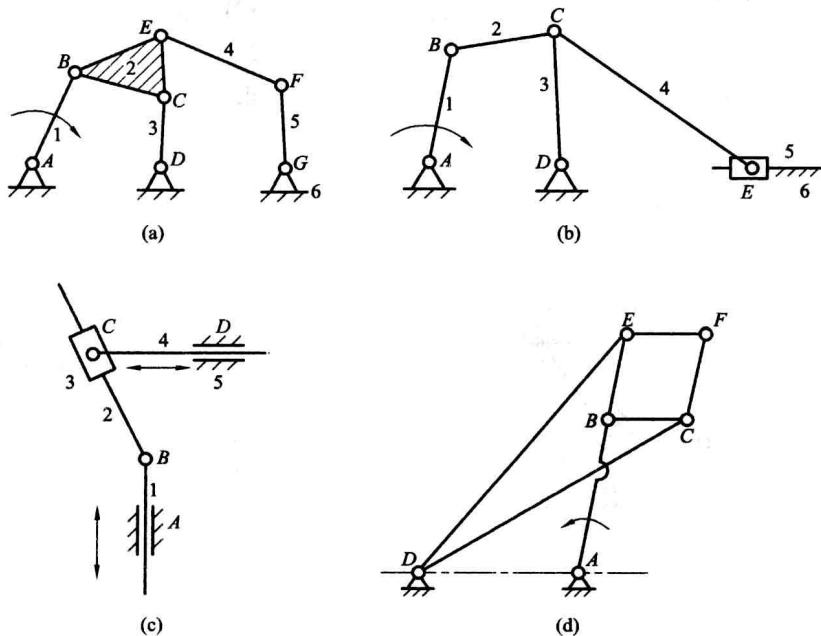


2. 机构具有确定运动的条件是什么?
3. 计算平面机构的自由度时应注意哪些事项?
4. 运动链与机构有什么区别?
5. 机构的原动构件数与机构自由度存在什么关系? 如果不满足这个条件将会产生什么情况?
6. 杆组具有什么特点? 如何确定杆组的级别?
7. 题 7 图所示的构形中, 试判别哪些是机构、哪些不是机构。



题 7 图

8. 计算题 8 图中机构的自由度。



题 8 图