

结构力学

考试精解精练

主编 刘金春 袁全

● 基本概念全程辅导 ●▶

● 基本原理全面汇总 ●▶

● 模拟试题不能不练 ●▶

● 典型试题不能不看 ●▶

中国建材工业出版社

结构力学考试精解精练

主编 刘金春 袁 全

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学考试精解精练/刘金春,袁全主编. —北京:
中国建材工业出版社, 2005. 11
ISBN 7-80159-975-6

I. 结... II. ①刘...②袁... III. 结构力学-高等
学校—教学参考资料 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 113832 号

结构力学考试精解精练

主编 刘金春 袁 全

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:25.75

字 数:654 千字

版 次:2005 年 10 月第 1 版

印 次:2005 年 10 月第 1 次

定 价:42.00 元

网上书店:www. ecool100.com

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

前 言

本书可作为高等教育《结构力学》教材的配套辅导教材,旨在帮助读者掌握结构力学的计算原理和计算方法,以适应现代标准化测试考试的需要。

全书共分十二章,内容包括:平面体系的几何构造分析,静定结构的内力和位移的计算,超静定结构的内力和位移的计算,结构影响线的绘制和应用,结构的塑性分析和稳定计算以及结构的动力计算等部分。每章均扼要概括基本理论、公式及解题要点,各类典型问题全部采用精练或精确解答,并重点说明解题的思路、方法、步骤和解题技巧。每章中还配有难度不同的思考与练习题,其中有些题目是近年来三十多所高等院校的期终考试试题或研究生入学考试试题,学习此书可大大提高学习和运用结构力学的能力。

本书将经典的结构力学的基本理论和方法与现代标准化测试方式融为一体,内容新,专业知识覆盖面大,注重培养学生思维能力和科学素质。

本书在编写过程中,编者力图体现体系完整,论述清晰、严谨,阐述原理严密,概念清晰,说理透彻,联系实际,文字精练、生动,特色鲜明。并着力于精选内容。该书可作为高等工科院校工业与民用建筑、土建结构、桥梁与隧道、水工、地下建筑、铁道及公路工程等专业的教学参考读物,也可供成人教育院校、有关专业的工程技术人员以及自学者参考。

本书由刘金春、袁全担任主编,刘金春编写第1章、第5章(第一部分)、第9章、第12章,袁全编写第2章、第6章,李万龙担任副主编并编写第3章、第8章,王福保担任副主编并编写第5章(第二部分、第三部分)、第10章(第一部分),参加本书编写工作的还有庞亦宝(第4章),宋和华(第7章),杨风第(11章第一部分),孙成(第11章第二部分、第三部分),杨晓明(第10章第二部分、第三部分)。

本书在编写过程中,吸收、引用了部分国内优秀结构力学的观点,在此谨向这些文献的作者们致以衷心的感谢。

限于水平和经验,加之时间仓促,书中难免存在缺点和错误,诚恳地希望读者提出批评和指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 结构力学的研究对象和基本任务	1
§ 1-2 结构的计算简图及其分类	1
§ 1-3 叠加原理	2
§ 1-4 结构力学课程的特点和学习方法	3
第二章 平面体系的几何组成分析	4
第一部分 基本概念、基本理论	4
§ 2-1 几何组成分析的基本概念	4
§ 2-2 几何不变体系的组成规则及分析方法	6
第二部分 主观习题及解题方法	9
第三部分 客观习题及解题方法	15
第三章 静定结构的内力计算	19
第一部分 基本概念、基本理论	19
§ 3-1 概述	19
§ 3-2 多跨静定梁	21
§ 3-3 静定平面刚架	21
§ 3-4 三铰拱	22
§ 3-5 静定平面桁架	23
§ 3-6 静定组合结构	25
第二部分 主观习题及解题方法	25
第三部分 客观习题及解题方法	32
第四章 弹性结构的位移计算	51
第一部分 基本概念、基本理论	51
§ 4-1 虚功原理	51
§ 4-2 静定结构的位移计算	52
§ 4-3 图乘法	55
§ 4-4 线弹性结构的互等定理	57
第二部分 主观习题及解题方法	58
第三部分 客观习题及解题方法	66

第五章 力法	88
第一部分 基本概念、基本理论	88
§ 5-1 超静定结构概述	88
§ 5-2 力法的基本概念和力法方程	88
§ 5-3 力法计算超静定结构	90
§ 5-4 力法的简化计算	92
§ 5-5 超静定结构的位移计算	93
§ 5-6 力法计算结果的校核	94
第二部分 主观习题及解题方法	95
第三部分 客观习题及解题方法	116
第六章 位移法	181
第一部分 基本概念、基本理论	181
§ 6-1 位移法的基本概念	181
§ 6-2 等截面直杆的转角位移方程	182
§ 6-3 位移法的基本结构和典型方程	185
第二部分 主观习题及解题方法	187
第三部分 客观习题及解题方法	200
第七章 渐近法	249
第一部分 基本概念、基本理论	249
§ 7-1 力矩分配法	249
§ 7-2 无剪力分配法	251
§ 7-3 剪力分配法	252
第二部分 主观习题及解题方法	254
第三部分 客观习题及解题方法	261
第八章 影响线及其应用	289
第一部分 基本概念、基本理论	289
§ 8-1 作影响线的基本方法	289
§ 8-2 静定结构的影响线	290
§ 8-3 连续梁的影响线	292
§ 8-4 影响线的应用	292
第二部分 主观习题及解题方法	295
第三部分 客观习题及解题方法	307
第九章 矩阵位移法	325
第一部分 基本概念、基本理论	325

§ 9-1 结构矩阵位移法的基本概念	325
§ 9-2 结构矩阵位移法的基本原理	326
第二部分 主观习题及解题方法	331
第三部分 客观习题及解题方法	336
第十章 结构的动力计算	342
第一部分 基本概念、基本理论	342
§ 10-1 结构振动微分方程的建立	342
§ 10-2 单自由度体系的自由振动	343
§ 10-3 单自由度体系的强迫振动	345
§ 10-4 多自由度体系的自由振动	347
§ 10-5 多自由度体系的无阻尼强迫振动	350
§ 10-6 对称性的利用	351
§ 10-7 结构自振频率的近似计算	352
第二部分 主观习题及解题方法	353
第三部分 客观习题及解题方法	358
第十一章 结构的极限荷载	377
第一部分 基本概念、基本理论	377
§ 11-1 基本概念	377
§ 11-2 确定极限荷载的一般定理	378
§ 11-3 确定极限荷载的方法	379
§ 11-4 梁和平面刚架的极限荷载	380
第二部分 主观习题及解题方法	382
第三部分 客观习题及解题方法	384
第十二章 结构的稳定计算	389
第一部分 基本概念、基本理论	389
§ 12-1 稳定计算的基本概念	389
§ 12-2 用静力法求临界荷载	390
§ 12-3 用能量法求临界荷载	392
第二部分 主观习题及解题方法	393
第三部分 客观习题及解题方法	397
主要参考文献	404

第一章 绪 论

§ 1-1 结构力学的研究对象和基本任务

结构力学以结构为研究对象,其基本任务是:研究结构的组成规律和合理形式以及结构在荷载、温度变化等因素作用下的内力、变形和稳定的计算原理和计算方法。

结构分析是结构设计中非常关键的一个重要环节,也是作为一个结构工程师所必须具备的基础知识。因而读者在学习本课程时,应深刻地理解基本概念,熟练掌握计算方法。

结构力学中介绍的计算方法是多种多样的,但所有计算方法有一个共同点,即都要满足三个基本条件,即力系平衡条件、变形的连续条件(几何条件)及力与变形的关系(物理条件)。

需要指出,在结构的动力问题中,结构不处于静平衡状态,但根据达朗贝尔原理,把相应的质量和加速度相乘再带上负号(惯性力),作为静力荷载加在结构上,就可以同样地应用力系平衡条件,把结构的动力学问题当作静力学问题来处理。

结构力学中所讨论的问题大部分是采用线性物理关系,即所谓线性变形结构,或称为线性弹性结构。

在静定结构的内力计算中,只需使用力系的平衡条件即可求得解答。在超静定结构的静力分析中,通常只提到力系平衡和变形协调两个条件,这是因为在结构的位移计算和超静定结构的内力计算中已经包含了物理条件。在结构的动力计算和稳定计算中,结构的边界条件(包括力的边界条件和位移边界条件)有突出的作用。

§ 1-2 结构的计算简图及其分类

一、结构的计算简图

结构的计算简图是将实际结构抽象和简化,使它成为既能反映原结构的主要受力和变形特征,又便于结构分析计算的力学模型。

在结构分析中,结构的计算简图就是实际结构的代表。因此,计算简图的选取是十分重要的,直接影响计算的工作量和精确度。如果计算简图不能准确地反映结构的实际受力情况,或选择错误,就会使计算结果产生差错,甚至造成工程事故。所以,必须缜密地选择计算简图。

对于杆件结构来说,选取结构计算简图所要涉及的内容,主要有五个方面:①杆件的简化;②结点的简化;③支座的简化;④结构各部分联系的简化;⑤荷载的简化。

二、结构的分类

结构力学研究的并不是实际的结构物,而是代表实际结构的计算简图。所谓结构的分类,实际上就是计算简图的分类。

在实际工程中,结构的类型很多,按照不同的特征可以有不同的分类,常见的结构形式主要有以下六种:

1. 杆件结构

杆件结构的几何特征是长条形的,横截面高、宽两个方向的尺寸要比杆长小得多。

2. 悬吊结构

悬吊结构的几何特征与杆件结构相类似,但悬吊结构主要由仅能承受拉力的细长线材如钢索、铁索或其他缆索等柔性构件组成。

3. 平板结构

平板结构的几何特征是厚度要比长、宽两个方向的尺寸小得多。由于大多数平板的厚度都比较小,故也叫做薄板结构。

4. 壳体结构

壳体结构的几何特征是曲面形的,其厚度也比长、宽两个方向的尺寸要小得多。由于大多数壳体的厚度比较小,故也叫做薄壳结构。当壳体的厚度比较大时,则称为厚壳结构。

5. 块体结构

块体结构的几何特征是长、宽、高三个方向的尺寸大体相近,且内部大多为实体,故也叫做实体结构。

6. 薄膜充气结构

薄膜是只能承受拉力的面片材料。按几何特征区分,若外形是敞开式的,称为敞开式充气结构。如果外形是封闭的,则称为封闭式充气结构。

§ 1-3 叠 加 原 理

在结构分析中会经常用到叠加原理。它是小变形线性弹性结构计算中带有普遍性的原理。其内容是:结构受若干个荷载作用产生的内力或位移等于每一个荷载单独作用时所产生的结果的代数和。

应用叠加原理只要满足一定的条件,所得结果是足够精确的。这些条件如下:

一、几何线性条件

当结构的变形与结构本身原来的尺寸相比极为微小时,称为小变形结构。在小变形结构计算中,变形所带来的荷载位置变化及杆件尺寸变化的影响可以不考虑,因而允许用变形前的原来尺寸进行计算,这就满足了叠加的几何条件。

二、物理线性条件

结构材料的受力与变形的物理关系若为线性弹性关系,即服从虎克定律,则在物理上提供了线性叠加的条件。

能够应用叠加原理的结构称为线性结构。

结构力学讨论的内容,大都属于线性结构的计算。结构的稳定计算和极限荷载计算等内容属于非线性问题,不能应用叠加原理。

§ 1-4 结构力学课程的特点和学习方法

结构力学是土木工程专业一门重要的专业基础课。经常要用到高等数学、理论力学和材料力学等先修课程的知识,应当根据情况进行必要的复习,并在运用中得到巩固和提高。

结构力学的特点是:不但理论概念性比较强,而且方法技巧性要求高。理论概念需要通过练习来加深理解,方法技巧则需要通过多做题来熟练掌握。在结构力学各教材中,前面的内容是后面内容的基础,相互间关系密切。只有在掌握静定结构内力分析的基础上,才能进行静定结构的位移计算;而静定结构的位移计算又是计算超静定结构的力法的必备条件;在位移法中要使用力法的成果,而位移法又是渐近法、矩阵位移法的理论基础;结构的静力分析是结构动力分析和稳定计算的基础。因此,必须切实掌握前面的基础知识,才能学好后面的内容。

学习时要注意分析方法与解题思路,特别是要从各种具体的算法中学习分析问题的一般方法,例如:如何由已知领域逐步过渡到未知新领域的方法,如何将整体分解成局部再由局部合成整体的方法,如何把有关几个问题加以对比的方法等等。

学习结构力学的另一个重要环节是做题练习。在学习过程中必须要做相当数量的习题。做习题是对原理和方法的应用,通过做题可以加深对原理和方法的理解。做习题的过程对学生的分析能力、表达能力、运算能力和校核能力都可以得到训练和提高,学习过程中应当充分重视做题这一环节。

电子计算机的出现,对结构力学产生了巨大的影响,“电算”提高了结构力学解决问题的能力,使结构分析进入了一个崭新的时代。过去靠“手算”无法解决的许多大型、复杂结构的计算问题,现在已经成为“电算”中的常规问题。但是,“电算”并不排斥结构力学的基本理论,而是需要更加重视基本理论。因此在结构力学课程中,我们一方面要学习与“电算”有关的知识,同时又要更加重视基本概念、基本理论和基本方法的学习,而决不能降低这方面的要求。

结构力学也和其他学科一样,发展进程日益加速。这就要求学生在校学习期间,注意培养自学和独立思考能力,以便在毕业走上工作岗位后,能通过自学不断地吸收新知识,开拓新领域,研究新问题,探求新的机理,充分发挥自己的才能。

第二章 平面体系的几何组成分析

本章对平面杆件体系的几何组成进行分析,以解决怎样组成的杆件体系才能承受荷载和传递荷载这个基本问题。结构的组成方式与它的受力性能有着内在联系,因此结构可以根据几何组成分析来选择恰当的计算方法和改善结构的受力性能。

第一部分 基本概念、基本理论

§ 2-1 几何组成分析的基本概念

一、几何不变体系和几何可变体系

承受任何荷载不发生变形的物体我们称为刚体。在几何组成分析中,可以作为刚体的是——根柱子,一根杆件,一个连续的构件,以三角形组成的桁架、地球……

体系受到任意荷载作用后,在不考虑材料应变的情况下,能够保持其几何形状和位置不变的,称为几何不变体系(图2-1a);而可发生几何形状或位置改变的,称为几何可变体系(图2-1b)。

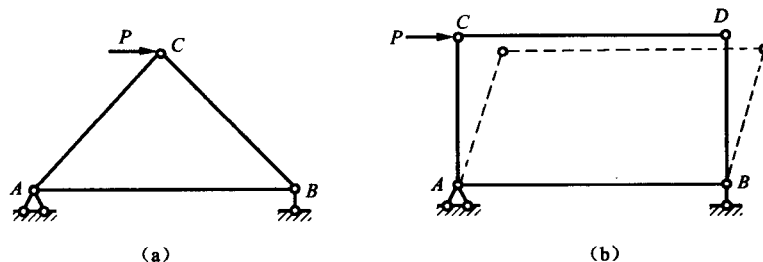


图 2-1

工程结构是用来承受荷载和传递荷载的,所以必须是几何不变体系,几何可变体系不能作为结构。

二、瞬变体系

发生微小位移后由几何可变体系变为几何不变体系的体系,称为瞬变体系。瞬变体系是由于约束布置不合理而发生瞬时运动的体系。在很小的荷载作用下,瞬变体系会产生很大的内力,不能用作工程结构。

三、体系的约束

限制体系运动的装置称为约束(或联系)。一根链杆是一个约束。

1. 单铰约束

仅连接两个刚片的铰称为单铰(图 2-2b)。一个单铰是两个约束,也相当于两根链杆(图 2-2a、b、c)。

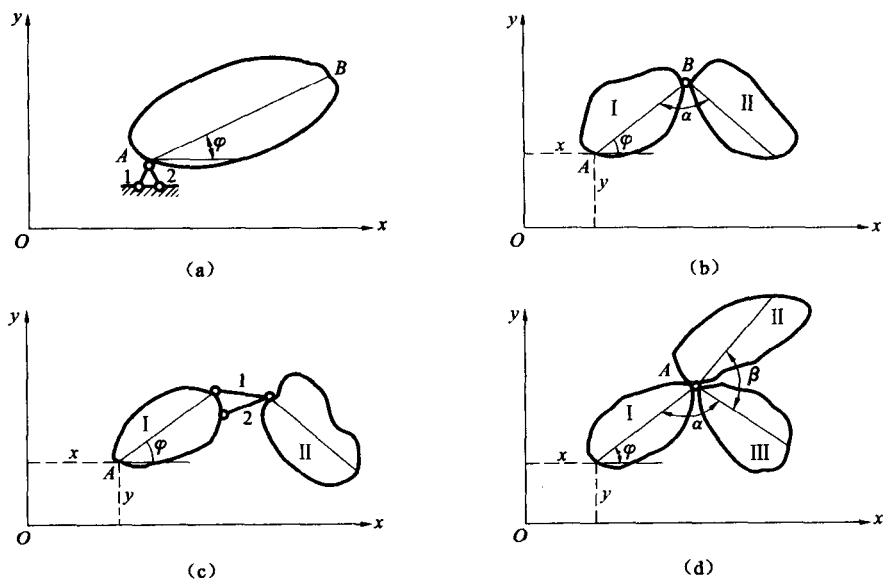


图 2-2

2. 复铰约束

连接三个或三个以上刚片的铰称为复铰(图 2-2d)。连接 n 个刚片的复铰相当于 $(n-1)$ 个单铰,是 $2(n-1)$ 个约束。

一个单刚结(仅连接两个刚片,图 2-3)是三个约束。连接 n 个刚片的复刚结是 $3(n-1)$ 个约束。

3. 虚铰(瞬铰)

图 2-4a 所示两个刚片用不交于一点而是延长线交于一点 O 的两根链杆相连接,若两刚片发生运动,将围绕两链杆延长线交点 O 作相对转动,此时,交点 O 如同一个铰,称为虚铰。交点 O 也称为两刚片的相对转动瞬心(有时也把这种随链杆转动而改变位置的铰称为瞬铰)。

虚铰不同于实铰,但当研究指定位置处的运动时,虚铰与实铰的约束作用相同。

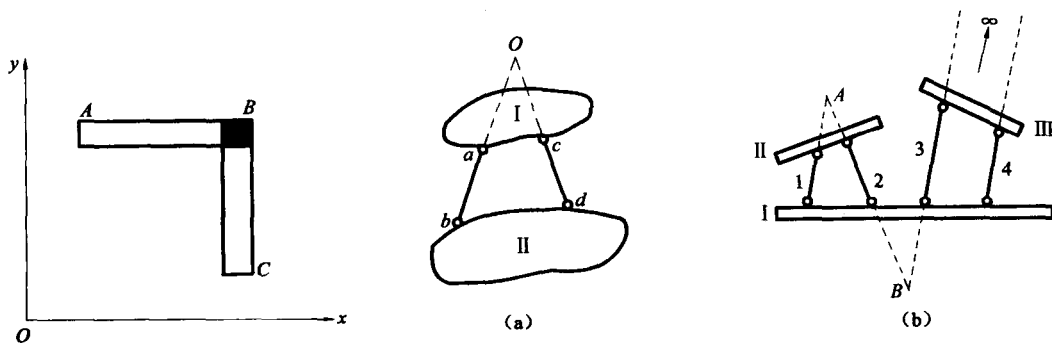


图 2-3

图 2-4

应当注意,必须是连接相同两个刚片的两根链杆才能形成虚铰。在图 2-4b 中,链杆 1、2 的延长线交点 A 为虚铰,而链杆 2、3 的延长线交点 B 不能形成虚铰。

4. 必要约束和多余约束

必要约束是使体系几何不变必须有的约束,是保证体系不发生刚性运动的约束。必要约束在数量上要满足保证体系几何不变的最少个数,而且约束的布置要合理、恰当。若去掉某个约束后,体系仍保持几何不变,则该约束称为多余约束。

四、平面体系的计算自由度

当体系运动时,用来确定其位置所需要的独立几何参数(独立坐标)的个数,称为该体系的自由度。

平面内的一个点具有两个自由度,一个刚片具有三个自由度。

1. 刚片体系的计算自由度 W

一个平面体系通常都是由若干刚片彼此用铰相联并用支座链杆与基础相联而组成。自由度一般计算公式为

$$W = 3m - 3g - 2h - r \quad (2-1)$$

式(2-1)以刚片(不包括地基)作为运动主体(以地基为参照物),而以连接刚片的刚结点、铰结点及支座链杆作为约束来计算整个体系的自由度。

式中 m ——刚片数(每个刚片内部应无多余约束);

g ——单刚结点个数;

h ——单铰结点个数;

r ——支座链杆数(固定支座计为三根支杆)。

2. 铰结链杆体系的计算自由度 W

在平面体系中,完全由两端用铰联结杆件所组成的体系,称为铰结链杆体系。自由度一般计算公式为

$$W = 2j - b - r \quad (2-2)$$

式(2-2)是以铰结点作为运动主体,而以连接这些结点的链杆及支座链杆作为约束,来计算链杆系的自由度。

式中 j ——链杆系的结点数;

b ——体系本身的链杆数;

r ——支座链杆数。

§ 2-2 几何不变体系的组成规则及分析方法

若由式(2-1)或式(2-2)求得某体系的 $W > 0$,则表示体系的约束数目不够,是几何可变体系。

若求得某体系 $W = 0$ 或 $W < 0$,则表示体系具有保证几何不变所需的最少约束个数或有多余约束,只表明体系具有保持几何不变的必要条件,但不一定就是几何不变,还要看这些约束布置是否合理,需要进一步分析其几何组成才能确定。

一、基本组成规则

平面体系中,组成几何不变体系的基本规则主要有以下三种:

1. 两刚片规则

两个刚片用一铰和一根不与该铰在一直线上的链杆相连(图 2-5a),或两个刚片用不全平行也不交于同一点的三根链杆相连(图 2-5b),则组成无多余约束的几何不变体系。

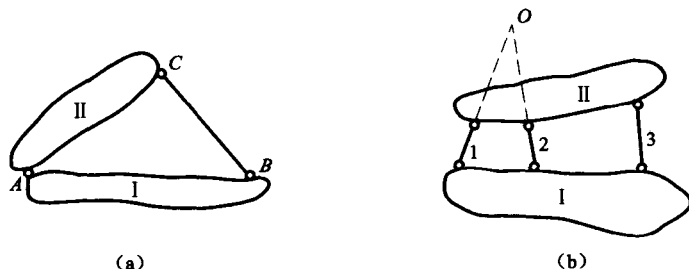


图 2-5

如果连接两刚片的三根链杆直接相交于同一点,则为常变体系;如果此三根链杆的延长线相交于同一点,则为瞬变体系;如果此三根链杆全平行且等长,则为常变体系;如果此三根链杆全平行但不等长,则为瞬变体系。

2. 三刚片规则

三个刚片用不在同一直线上的三个铰两两相联,则组成无多余约束的几何不变体系(图 2-6)。这里的“两两相联”是指三个刚片中每两个刚片均有一个单铰(或两根链杆)连接。若这三个铰共线,则为瞬变体系。

3. 二元体规则

我们把两根不在一直线上的链杆联结一个新结点的构造称为二元体(图 2-7)。

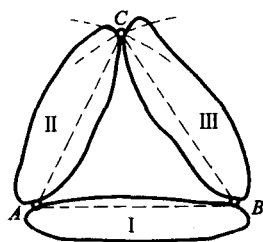


图 2-6

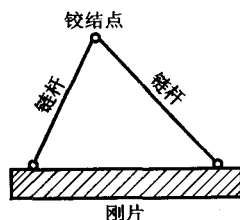


图 2-7

在一个平面体系上增加或去掉二元体,不改变原体系的几何组成性质。

二、三刚片体系中虚铰在无穷远处的情况

1. 一个虚铰在无穷远处

若组成虚铰的两平行链杆与另两铰(实铰或虚铰)的连线不平行(图 2-8a),则体系几何不变;若平行则为瞬变(图 2-8b);若平行且等长则为常变(图 2-8c)

2. 两个虚铰在无穷远处

若组成两无穷远虚铰的两对平行链杆互不平行(图 2-9a),则体系几何不变;若此两虚铰

的四链杆互相平行但不等长,则为瞬变体系(图 2-9b);若此两虚铰的四链杆均平行且等长,则体系几何可变(图 2-9c)。

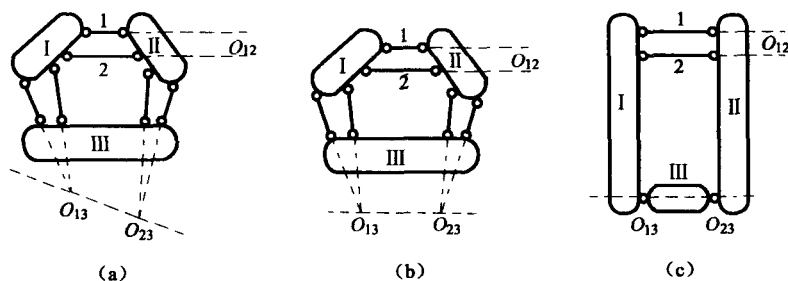


图 2-8

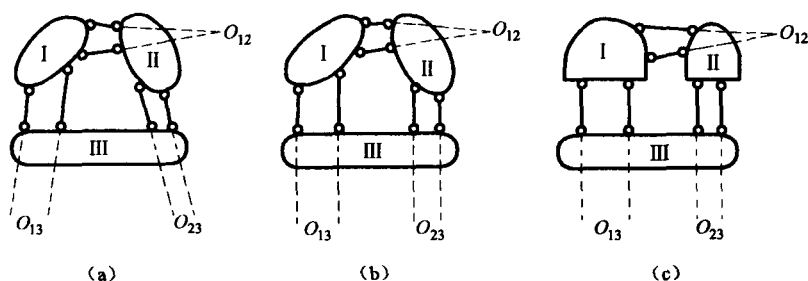


图 2-9

3. 三个虚铰在无穷远处

三个刚片用三对平行链杆相连(图 2-10a),则体系瞬变;若三对平行链杆又各自等长(图 2-10b),则为常变体系。因为,此时体系产生微小变形后,三个虚铰仍然在无穷远处,体系可连续产生变形。

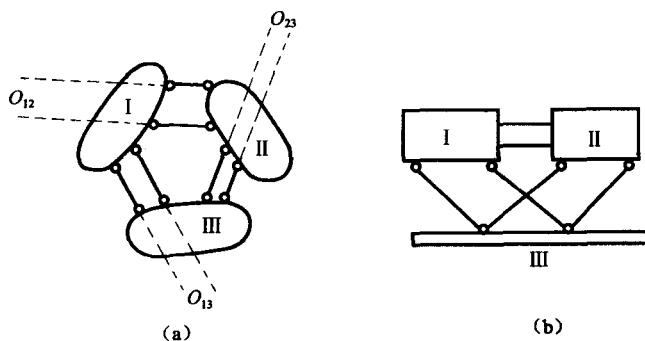


图 2-10

三、几何组成分析的方法

对体系的几何组成进行分析,就是来检验体系是否几何不变。进行几何组成分析的基本依据是前述三个基本规则。

对于比较简单的体系,当看作是两个或三个刚片时,则可直接按两刚片规则或三刚片规则加以判断其几何组成。

对于复杂体系,可以采用以下方法:

(1)当体系上有二元体时,应去掉二元体使体系简化,以便于应用规则。但需注意,每次只能去掉体系外围的二元体(符合二元体的定义),而不能从中间任意抽取。

(2)从一个刚片(例如地基或铰结三角形等)开始,依次增加二元体,尽量扩大刚片范围,使体系中的刚片个数尽量少,便于应用规则。

(3)如果体系的支座链杆只有三根,且不全平行也不交于同一点,则地基与体系本身的连接已符合二刚片规则,因此可去掉支座链杆和地基而只对上部体系进行几何组成分析,所得结果即代表整个体系的几何性质。如果体系的支座链杆多于三根,则必须把基础也看作为一个刚片,将它与体系上部的其他刚片联合起来,共同考虑,运用基本组成规则考察它们之间的联结情况。

在进行组成分析时,体系中的每根杆件和约束都不能遗漏,也不可重复使用(复铰可重复使用,但重复使用的次数不能超过其相当的单铰数)。当分析进行不下去时,一般是所选择的刚片或约束不恰当,应重新选择刚片或约束再试。对于某一体系,可能有多种分析途径,但结论是惟一的。

第二部分 主观习题及解题方法

2.1 有多余约束的体系一定是几何不变体系。()

答案:约束布置的要合理。(×)

2.2 几何不变体系的计算自由度一定等于零。()

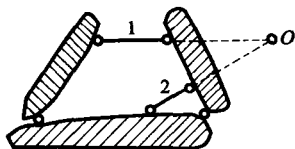
答案:有多余约束的体系也可能是几何不变体系。(×)

2.3 图中链杆 1 和 2 的交点 O 可视为虚铰。()

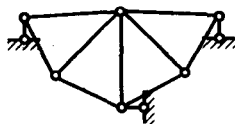
答案:组成虚铰的两链杆必须同时联结两刚片。(×)

2.4 图示体系为几何不变有多余约束。()

答案:铰结三角形体系通过三根既不互相平行,也不汇交一点的链杆与基础相联,组成无多余约束的几何不变体系。(×)



题图 2.3



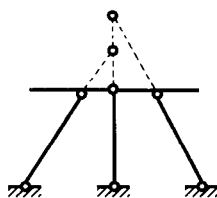
题图 2.4

2.5 图示体系按三刚片法则分析,三铰共线,故为几何瞬变体系。()

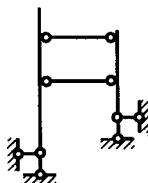
答案:同一链杆不得重复使用,缺少联系,为几何可变体系。(×)

2.6 图示体系为几何可变体系。()

答案:图示体系为几何不变体系。(×)



题图 2.5



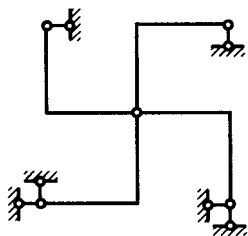
题图 2.6

2.7 图示体系为几何瞬变体系。()

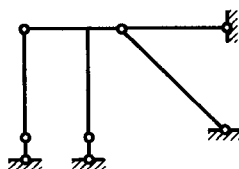
答案:图示体系是几何不变体系。(×)

2.8 图示体系是几何不变体系。()

答案:图示体系为几何瞬变。(×)



题图 2.7



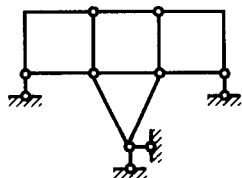
题图 2.8

2.9 图示对称体系为几何瞬变。()

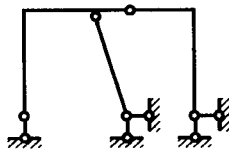
答案:一个铰在无穷远。(√)

2.10 图示体系是几何不变体系。()

答案:三刚片,只要三个铰不在一直线上。(√)



题图 2.9



题图 2.10

2.11 在图示体系中,去掉其中任意两根支座链杆后,所余下部分都是几何不变的。()

答案:水平方向两根链杆不能同时去掉。(×)

2.12 联结三个刚片的铰结点,相当的约束个数为()。

A. 2个

B. 3个

C. 4个

D. 5个

答案:联结三个刚片的铰相当于两个单铰。(C)

2.13 在图示体系中,视为多余联系的三根链杆应是()。

A. 5、6、9



题图 2.11