

· 阮澍铭 于玲玲 编著

结构力学概念题解

Jiegoulixuegainiantijie

中国建材工业出版社

结构力学概念题解

阮澍铭 于玲玲 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学概念题解/阮澍铭,于玲玲编著. —北京:
中国建材工业出版社,2004.9
ISBN 7-80159-734-6

I. 结... II. ①阮...②于... III. 结构力学-解题
IV. 0342-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 083867 号

内 容 简 介

本书依据高等学校土建类结构力学教材及多学时结构力学大纲,以编者多年从事结构力学的教学实践为基础,在近几年为烟台大学土木工程专业本科教学、注册结构工程师资格考试培训、研究生辅导所使用的“结构力学概念题解”讲义的基础上编写的。全书共9章,内容包括平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、影响线、静定结构的位移计算、力法、位移法、渐进法、矩阵位移法、结构的动力计算。每章都对所涉及的基本概念、基本原理和分析计算方法进行了归纳总结,对容易混淆的概念、易被忽视(值得注意)的问题作了较为深入的阐述。

本书可作为土建、水利专业本、专科学生,函授、电视大学、自考、业余大学学生的自学、复习考试参考用书以及注册结构工程师资格考试的复习参考书。

结构力学概念题解

阮澍铭 于玲玲 编著

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:10

字 数:242千字

版 次:2004年9月第1版

印 次:2004年9月第1次

印 数:1~3000册

书 号:ISBN 7-80159-734-6/TU·395

定 价:16.00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)68345931

前 言

结构力学是土木、水利等专业的重要专业技术基础课。掌握结构力学的基本概念、基本原理和分析计算方法对学习后续专业课及解决工程实际问题十分重要。而且,结构力学是报考结构工程专业研究生及注册结构工程师资格考试的必考课程。

力学概念及其运用能力的培养,是结构力学课程教与学的根本目的。为了帮助学生深入理解结构力学的基本概念、基本原理,了解课程内容之间的内在联系,能够融会贯通,提高分析与解算问题的能力,同时使每位应试者提高结构力学的复习效率,取得理想的考试成绩,我们编写了本书。其中有些内容是作者在多年教学工作中的经验总结和自己的见解。本书的初稿曾在 2001 年和 2002 年本科教学、注册结构工程师资格考试培训、研究生辅导中使用过,效果较好,本书就是在修订初稿的基础上写成的。

全书分为平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、影响线、静定结构的位移计算、力法、位移法、渐进法、矩阵位移法、结构的动力计算。

本书广泛吸收了优秀的结构力学教材和教学辅导书的精华,引用了部分观点、例题和习题,在此谨向文献的作者致以由衷的谢意。

由于作者的水平有限,书中可能存在不妥和疏漏,恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第一章 结构的几何构造分析	1
一、几个容易混淆的概念	1
二、基本规律的应用	2
三、几何分析时的注意事项	4
四、计算自由度与自由度	4
五、习题	5
六、习题答案	9
第二章 静定结构的受力分析	12
第一节 静定结构的特性	12
一、静定结构的性质	12
二、习题	12
三、习题答案	14
第二节 多跨静定梁和刚架	15
一、分段叠加法作弯矩图	15
二、几个值得注意的问题	15
三、根据内力图的特点快速作 M 图、 Q 图	17
四、对称性的利用	20
五、习题	20
六、习题答案	26
第三节 静定平面桁架	29
一、几种能使计算简化的方法	29
二、习题	30
三、习题答案	33
第四节 组合结构	35
一、几个值得注意的问题	35
二、习题	35
三、习题答案	37
第五节 三铰拱	38
一、几个应注意的问题	38
二、习题	38
三、习题答案	40
第三章 静定结构的影响线	41
一、几个值得注意的问题	41

二、几种特殊情况下如何求作静定结构的影响线.....	43
三、影响线的应用.....	45
四、习题.....	45
五、习题答案.....	52
第四章 静定结构的位移计算	56
一、几个值得注意的问题.....	56
二、习题.....	60
三、习题答案.....	68
第五章 力法	72
一、几个值得注意的问题.....	72
二、习题.....	78
三、习题答案.....	88
第六章 位移法	93
一、几个值得注意的问题.....	93
二、习题.....	96
三、习题答案	105
第七章 渐进法及超静定力的影响线	109
一、几个值得注意的问题	109
二、习题	112
三、习题答案	119
第八章 矩阵位移法	122
一、几个值得注意的问题	122
二、习题	125
三、习题答案	132
第九章 结构的动力计算	135
一、几个值得注意的问题	135
二、习题	136
三、习题答案	147
主要参考文献	151

第一章 结构的几何构造分析

一、几个容易混淆的概念

1. 二元体:是指由两根不在同一直线上的链杆连接一个新结点的装置(如图 1-1a、b、c)。其特点是在原体系(无论原体系是几何不变,还是几何可变体系)上增加或去掉一个二元体,不改变原体系的自由度数目,也不改变原体系的几何构造特性。

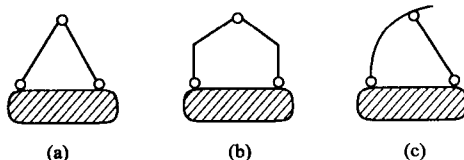


图 1-1

注意:图 1-2 不是二元体,因为 AE 与 EB 之间多了一根链杆 CD 。

例 1-1 分析图 1-3 所示体系的几何构造时可以先去掉二元体 DFE 。()

解:错误。因为点 F 除与杆 DF 、 EF 相连外,还与基础相连,故 DFE 不是二元体。

2. 瞬铰(虚铰):连接两个刚片的两根链杆所起的约束作用相当于在链杆交点处的一个铰所起的约束作用,这种铰称为瞬铰(如图 1-4 中的铰 O)。两根平行链杆所起的约束作用相当于无穷远处的瞬铰。

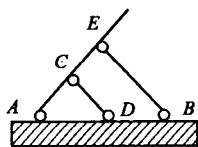


图 1-2

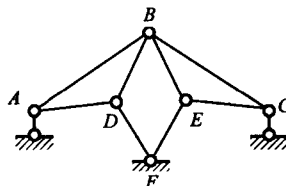


图 1-3

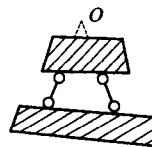


图 1-4

例 1-2 对于图 1-5 所示体系在几何构造分析中,杆 1-2 和 3-4 在 K 点形成的是一个虚铰。()

解:错误。虚铰必须是由连接两个刚片的两根链杆构成,杆 1-2 和杆 3-4 连接了三个刚片,故不是虚铰。

例 1-3 图 1-6 所示体系作几何分析时,可把 A 点看作杆 1、2 形成的瞬铰。()

解:错误。原因同例 1-2。

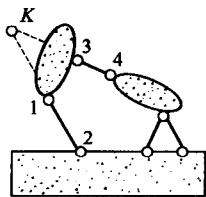


图 1-5

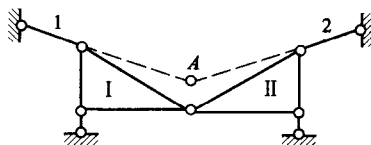


图 1-6

二、基本规律的应用

以下三个规律在几何分析中最常用：

(1)三刚片规律：三个刚片用三个铰两两相连，且三个铰不共线，则组成几何不变体系，且无多余约束。

(2)两刚片规律：两个刚片用三根链杆相连，且三链杆不共点，则组成几何不变体系，且无多余约束。

(3)在原体系上增加或去掉一个二元体，不改变原体系的几何构造特性。

应用 1 若有二元体，可以先去掉，使体系简化，再用其他规律分析。

例 1-4 分析图 1-7 所示体系的几何构造。

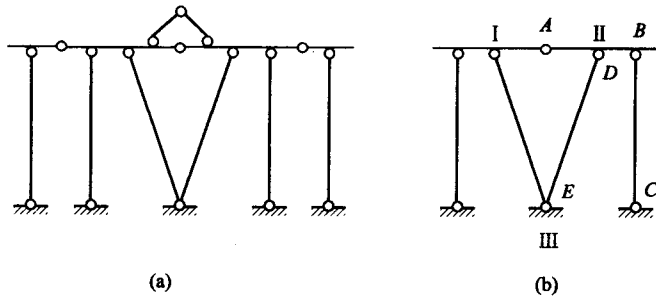


图 1-7

提示：去掉二元体后体系变为图 b，再用三刚片规律分析。注意：图 b 中，有时容易把 AB、BC 也看作二元体，这是错误的，因为 AB 杆除与 BC 相连外，还连有第三杆 DE，故不是二元体。

应用 2 若体系与基础之间只用三根链杆相连，可以只分析体系本身，若与基础间的链杆多于三根，则应把基础看作一个刚片，与体系一起分析。

例 1-5 分析图 1-8a, b 两体系的几何构造。

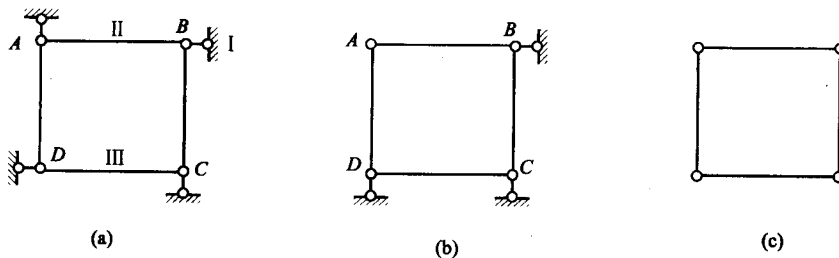


图 1-8

解：图 1-8a 中内部体系与基础之间的链杆多于三根，则把基础看作刚片 I，刚片 II、III 如图中所示，根据三刚片规律，原体系为无多余约束的几何不变体系。图 1-8b 中内部体系与基础之间只用三根链杆相连，因此只分析内部体系即可，内部体系如图 1-8c，易知，体系为几何常变。

应用 3 链杆和刚片可以相互转化，有时把链杆作为刚片分析，有时把曲杆或扩大的刚片

看作链杆分析,三角形也并不总是看作一个刚片,必要时应把它拆分成链杆,甚至可以把一种形式的刚片化为另一种刚片。

例 1-6 分析图1-9所示体系的几何构造。

解:虽然 ABD 是三角形,但本例中不应把它看作刚片,而应拆分成链杆,选择三角形 BCF 为刚片 I,杆 DE 为刚片 II,基础看作刚片 III,根据三刚片规律,体系是无多余约束的几何不变体系。

例 1-7 分析图1-10a 所示体系的几何构造。

解:本题既可以按图 1-10a 体系直接用去二元体的方法分析,也可以转化成图 b 的体系分析。图 1-10b 把原图中的 Y 形刚片 BCD 用另一种形式的刚片——三角形代替,把折杆 AB 、 CE 用直杆代替,这样做的好处是图形简明。

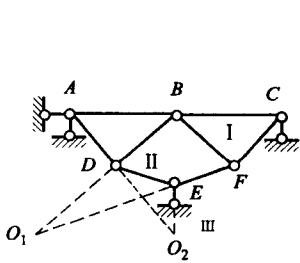


图 1-9

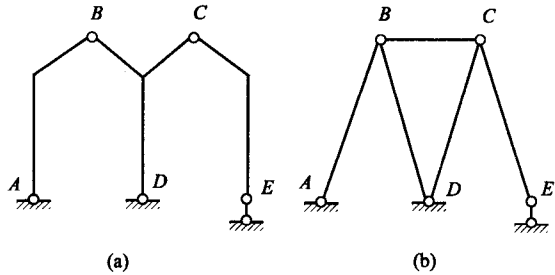


图 1-10

例 1-8 分析图1-11a 所示体系的几何构造。

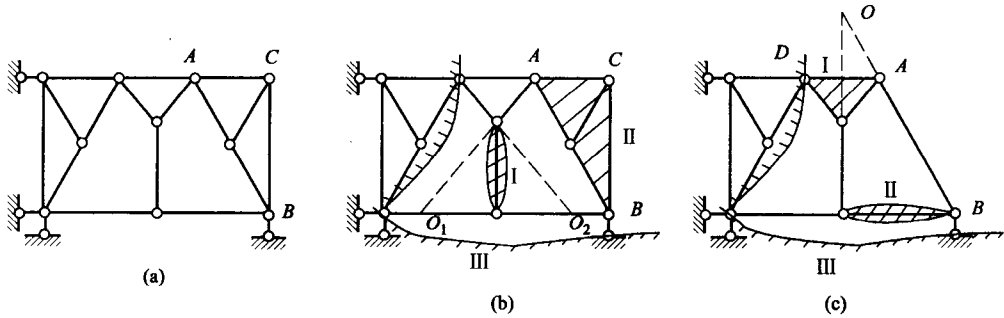


图 1-11

解:本题可以用两种方法分析,第一种方法刚片选择如图 1-11b,三刚片之间分别用铰 O_1 、 O_2 和 C 相连,三铰不共线,故原体系是无多余约束的几何不变体系。第二种方法可以将三角形 ABC 等效成一根链杆,刚片选择如图 1-11c,三刚片之间分别用铰 D 、 B 和 O 相连,三铰不共线,同样可以得出结论。

应用 4 规律中提到的“铰”,可以是实铰,也可以是瞬铰。

例 1-9 三个刚片用不在同一直线上的三个虚铰两两相连,则所组成的体系是无多余约束的几何不变体系。

解:正确。

三、几何分析时的注意事项

1. 所有杆件都必须使用一次,并且杆件不可以重复使用

例 1-10 图1-12a所示体系可以按以下方法分析几何构造:选择刚片如图 1-12b,三刚片分别交于虚铰 O_1 、 O_2 和 O_3 ,三铰共线,因此原体系为有多余约束的几何瞬变体系。()

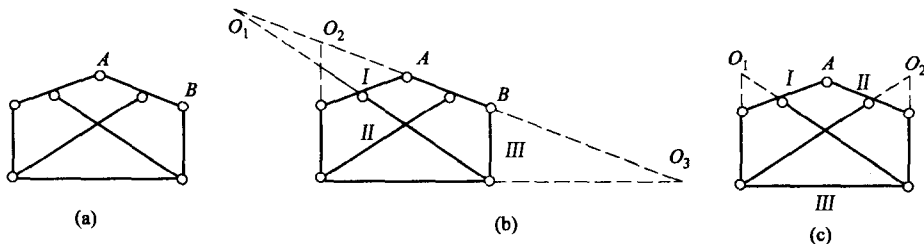


图 1-12

解:错误。上述分析方法中杆 AB 多次重复使用,因此得出错误结论。正确的分析方法按图 1-12c 所示选择刚片,三刚片由不共线的三铰相连,故原体系几何不变,无多余约束。

2. 判断多余约束的个数时,内部多余约束也应考虑在内

例 1-11 图1-13所示体系为无多余约束的几何不变体系。()

解:错误。因为矩形刚片本身有三个多余约束。

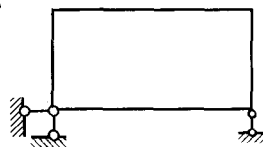


图 1-13

3. 瞬变体系必有多余约束

四、计算自由度与自由度

1. 计算自由度与自由度的关系

$$\text{自由度 } S - \text{计算自由度 } W = \text{多余约束 } n$$

2. 自由度与几何体系的关系

几何不变体系的自由度为零,凡是自由度大于零的体系都是几何可变体系。

3. 几何性质与静定、超静定的关系

静定、超静定结构都必须都是几何不变体系,其中无多余约束的几何不变体系是静定结构,有多余约束的几何不变体系是超静定结构。

4. 如何判断多余约束数

用组装的办法,若增加约束后并未减少体系的自由度,则该约束为多余。

例 1-12 在图1-14所示体系中,去掉杆 1-5,杆 3-5,杆 4-5,杆 2-5 四根链杆后,得简支梁 12,故该体系为具有四个多余约束的几何不变体系。

解:错误。提示:结点 5 与简支梁 12 之间只需两根不共线的链杆即可固定,该体系却用了 4 根链杆,故有两个多余约束。在去掉杆 1-5,杆 3-5 后,体系即为几何不变。

5. 单铰、复铰、单链杆、多链杆的概念

单铰:连接两个刚片的铰称为单铰。

复铰:连接 $n (n \geq 3)$ 个刚片的铰称为复铰,其约束作用相当于 $(n - 1)$ 个单铰。

单链杆:连接两点的链杆称为单链杆。

多链杆:连接 $n(n \geq 3)$ 个点的链杆称为复链杆,其约束作用相当于 $(2n - 3)$ 个单链杆。

6. 计算自由度的应用

根据计算自由度的结论——若 $W > 0$, 则体系是几何常变的, 可以对体系作几何分析。应用此结论时应注意, 若待分析的体系未与基础相连, 应将计算出的 W 值减去 3, 再对结果进行分析。

例 1-13 分析图 1-15 所示体系的几何构造。

解: 该体系计算自由度 $W = 4$, 由于体系未与基础相连, 故应将 W 的值减去 3 以后再分析, $4 - 3 = 1 > 0$, 原体系为几何常变体系。

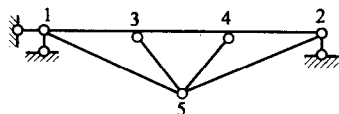


图 1-14

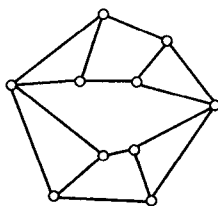


图 1-15

五、习题

(一) 判断题

1. 几何不变且无多余约束的体系其自由度必定为零。()
2. 几个刚片之间只要用三个铰两两相连, 就能构成无多余约束的几何不变体系。()
3. 几何可变体系在任何荷载作用下都不能平衡。()
4. 三个刚片由三个铰相连的体系一定是静定结构。()
5. 有多余约束的体系一定是超静定结构。()
6. 有些体系为几何可变体系, 但却有多余约束存在。()
7. 在任意荷载下, 仅用静力平衡方程即可确定全部反力和内力的体系是几何不变体系。()
8. 图 1-16 所示体系是几何不变体系。()
9. 图 1-17 所示体系是几何不变体系。()

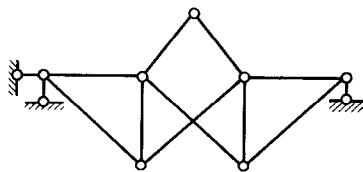


图 1-16

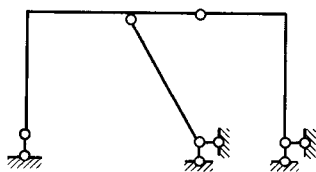


图 1-17

10. 几何瞬变体系的计算自由度一定等于零。()

11. 图 1-18 所示体系按三刚片法则分析, 三铰共线, 故为几何瞬变体系。()

(二) 选择题

1. 在图 1-19 所示体系中, 视为多余联系的三根链杆应是()
 - A. 5、6、9
 - B. 5、6、7
 - C. 3、6、8
 - D. 1、6、7

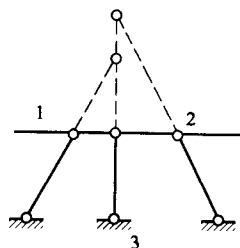


图 1-18

2. 若两刚片由三根链杆相连构成无多余约束的几何不变体系,可以把这三根链杆按()的方式布置。

- A. 任意 B. 相交于一点 C. 互相平行 D. 不相交于一点也不互相平行

3. 图 1-20 所示体系是几何()体系。

- A. 不变 B. 不变且无多余约束 C. 瞬变 D. 常变

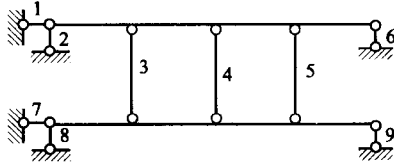


图 1-19

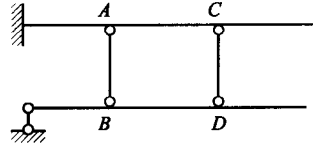


图 1-20

4. 图 1-21 所示体系是几何()体系。

- A. 不变 B. 不变且无多余约束 C. 瞬变 D. 常变

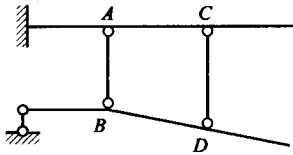


图 1-21

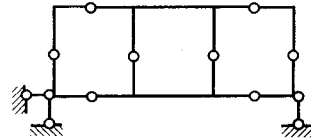


图 1-22

5. 图 1-22 所示体系是几何()体系。

- A. 不变,有一个多余约束 B. 常变 C. 瞬变 D. 不变且无多余约束

6. “多余约束”从哪个角度来看才是多余的()

- A. 从对体系的自由度是否有影响的角度看
B. 从对体系的计算自由度是否有影响的角度看
C. 从对体系的受力和变形状态是否有影响的角度看
D. 从区分静定与超静定两类问题的角度看

7. 两个刚片之间由一个铰和一个链杆相连接构成的体系是()

- A. 几何可变体系 B. 无多余约束的几何不变体系
C. 瞬变体系 D. 体系的组成不确定

8. 两个刚片之间由四个链杆相连接构成的体系是()

- A. 几何可变体系 B. 无多余约束的几何不变体系
C. 体系的组成不确定 D. 有一个多余约束的几何不变体系

9. 图 1-23 中的哪一个不是二元体(或二杆结点)()

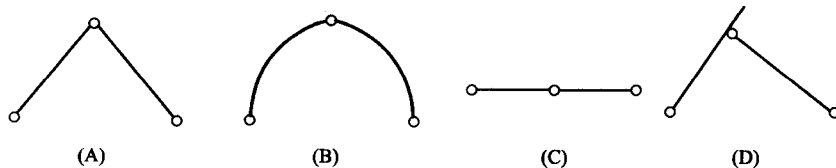


图 1-23

10. 图 1-24 中的四种铰连接是复铰的是()

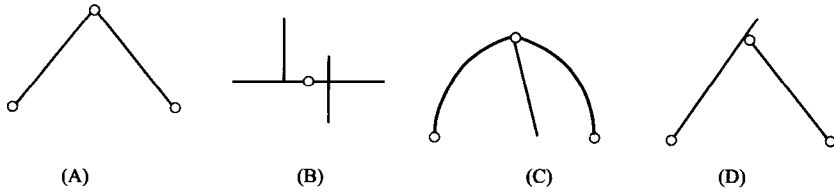


图 1-24

11. 图 1-25 所示体系, 铰 K 相当的约束个数为()

- A. 4 B. 5 C. 6 D. 7

12. 图 1-26 所示体系的几何组成为()

- A. 常变体系 B. 瞬变体系
C. 无多余约束几何不变体系 D. 有多余约束的几何不变体系

13. 图 1-27 所示体系的几何组成为()

- A. 有多余约束几何不变体系 B. 瞬变体系
C. 无多余约束几何不变体系 D. 常变体系

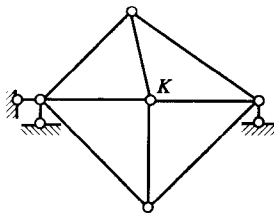


图 1-25

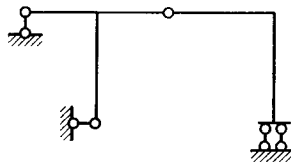


图 1-26

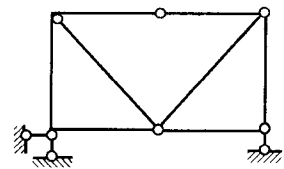


图 1-27

14. 下列说法正确的是()

- A. 几何可变体系一定无多余联系
B. 静定结构一定无多余联系
C. 结构的制造误差不会产生内力
D. 有多余联系的体系是超静定结构

15. 图 1-28 所示体系为()

- A. 几何不变无多余约束 B. 几何不变有多余约束
C. 几何常变 D. 几何瞬变

16. 图 1-29 所示体系是()

- A. 无多余约束的几何不变体系 B. 有多余约束的几何不变体系
C. 几何可变体系 D. 瞬变体系

17. 图 1-30 所示体系的计算自由度为()

- A. 0 B. 1 C. -1 D. -2

18. 图 1-31 所示体系虽有 3 个多余约束, 但为保证其几何不变, 哪两根链杆是不能同时去掉的()

- A. a 和 e B. a 和 b C. a 和 c D. c 和 e

19. 欲使图 1-32 所示体系成为无多余约束的几何不变体系,则需在 A 端加入()

- A. 固定铰支座 B. 固定支座 C. 滑动铰支座 D. 定向支座

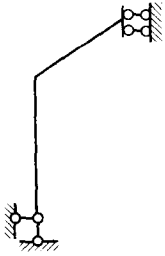


图 1-28

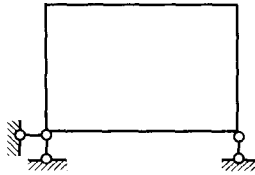


图 1-29

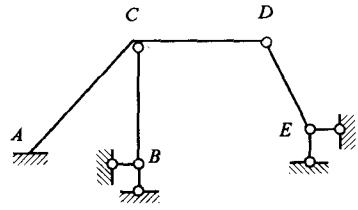


图 1-30

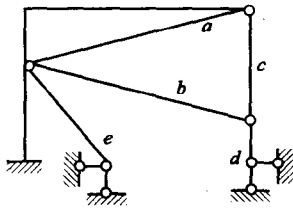


图 1-31

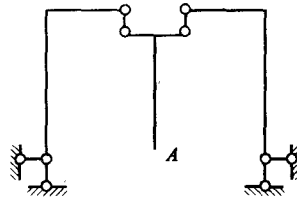


图 1-32

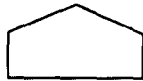
(三) 填空题

1. 图 1-33a、b、c 分别有几个多余约束?

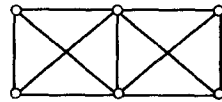
(a) _____ 个多余约束, (b) _____ 个多余约束, (c) _____ 个多余约束。



(a)



(b)



(c)

图 1-33

2. 几何不变的平面体系的基本组成规律按其本质可归纳为一个简单的规律,即_____规律。

3. 图 1-34 所示的体系在荷载作用下发生位移,则该体系为几何_____体系。

4. 图 1-35 所示结构有_____多余约束,其中第_____个链杆是必要约束,不能去掉。

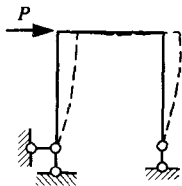


图 1-34

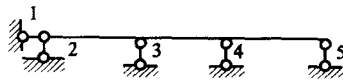


图 1-35

5. 在不考虑材料_____的条件下,体系的位置和形状不能改变的体系称为几何_____体系。

6. 几何组成分析中,在平面内固定一个点,需要_____。
7. 几何瞬变体系的内力为_____或_____。
8. 图 1-36 所示体系计算自由度 $W=1$,是几何_____变体系,若在 A 点加一竖向链杆支座,则成为几何_____变体系。
9. 图 1-37 所示体系是_____体系。

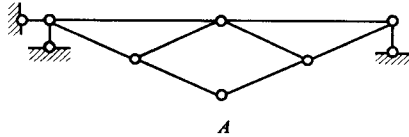


图 1-36

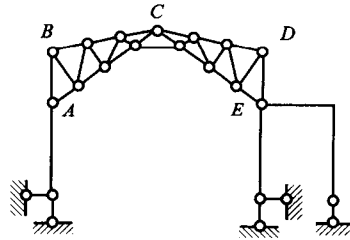


图 1-37

10. 从几何组成上讲,静定和超静定结构都是_____体系,前者_____多余约束而后者_____多余约束。
11. 对平面体系作几何组成分析时,所谓自由度是指_____。
12. 仅根据平面体系计算自由度即可判定其几何构造特性的体系是_____体系。
13. 图 1-38 所示平面体系结点 K 相当于_____个单铰数目。
14. 图 1-39 所示体系按几何组成分析,是_____体系,它有_____个多余约束。

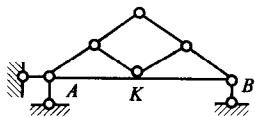


图 1-38

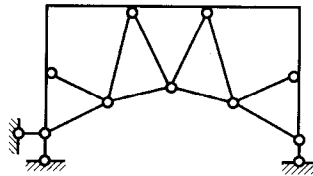


图 1-39

六、习题答案

(一)判断题

1. \checkmark 。
2. \times 。提示:若三铰位于一条直线上,则构成瞬变体系。
3. \times 。提示:如图 1-40。
4. \times 。提示:若三铰不共线,体系才是静定结构。
5. \times 。提示:有多余约束的体系不一定几何不变,超静定结构必须是几何不变体系。
6. \checkmark 。提示:瞬变体系必有多余约束。
7. \checkmark 。
8. \times 。提示:本题缺少约束,为常变体系。

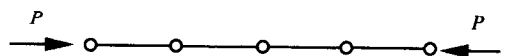


图 1-40

9. √。提示:将原图化为图 1-41b,运用两刚片规律。

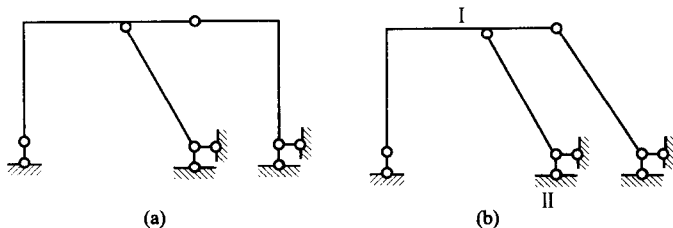


图 1-41

10. ×。提示:有时也可能小于零。如图 1-42 所示体系 $W = 1$ 。

11. ×。提示:中间一根杆件不能重复使用。

(二) 选择题

1. C;

2. D;

3. D。提示:三根链杆互相平行且 AB 、 CD 长度相同,故为常

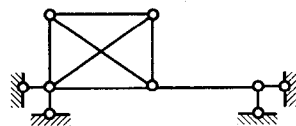


图 1-42

变。

4. C。提示:三根链杆互相平行但 AB 、 CD 长度不同,有微小位移后,三杆不再平行,故为瞬变。

5. A。提示:分析内部体系即可。去二元体后体系如图 1-43,易知有一个多余约束。

6. A。

7. D。

8. C。

9. C。

10. C。

11. C。提示:铰 K 为连接 4 根链杆的复铰,相当于 3 个单铰的约束个数。

12. C。

13. A。

14. B。

15. B。

16. B。

17. D。提示:用混合法,把 ACD 看作刚片有三个自由度,点 B 、 E 看作自由结点,分别有两个自由度,把杆 CB 、 DE 看作约束,各减少一个自由度,固定支座和铰支座共减少 7 个自由度,则 $W = 3 + 4 - 2 - 7 = -2$ 。

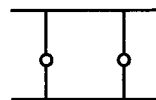


图 1-43

注意:用上述混合法计算时并未计算 C 、 D 两点的自由度,因为这两点是非自由结点,它们被固定在刚片 ACD 上,与之成为一体。

18. B。

19. B。

(三) 填空题

1. (a)1;(b)3;(c)2。

2. 三角形。

3. 几何不变无多余约束。提示:该体系在荷载作用下虽有位移,但该位移是由于材料应变引起的,并非刚体位移。

4. 2;1。

5. 应变,不变。

6. 不共线的两根链杆。

7. ∞ 或不确定。

8. 常变;瞬变。

9. 几何常变。提示:把刚片 $ABCDE$ 转化成一链杆,如图 1-44。

10. 几何不变,无,有。

11. 确定体系平面位置所需的独立坐标数。

12. 几何常变。

13. 2。提示:结点 K 连接的是三根杆件。

14. 几何不变,4。



图 1-44