

高等学校土建类专业“十三五”规划教材

《结构力学 I》 课堂同步训练

主编 韦斌凝



武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

高等学校土建类专业“十三五”规划教材

《结构力学 I》 课堂同步训练

主 编 韦斌凝

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

本书编写的目的是为了解决多媒体课堂上出现的两个突出问题:①学生在多媒体课堂上难以做笔记的问题;②多媒体课堂上的全程教与学互动的问题。该书是与“《结构力学 I》课件(韦斌凝 编)”相配套的课堂同步训练辅助教材,利用本书配合课件教学,能大大提高学生的学习积极性和多媒体课堂的教学质量。

全书共分 8 章,内容包括:绪论、平面结构的几何组成分析、静定结构的内力分析、虚功原理和结构的位移计算、影响线、力法、位移法和力矩分配法。除绪论外,其余每一章中都包含四个部分,即:“基本概念及要点”、“当堂训练”、“课后巩固”、“习题解答”。

本书可作为高等学校土建、水利、道桥等专业本科生、专科生学习结构力学课程的辅助教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

《结构力学 I》课堂同步训练/韦斌凝主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2018.6
ISBN 978-7-5629-5783-6

I. ①结… II. ①韦… III. ①结构力学-高等学校-习题集 IV. ①O342-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 100298 号

项目负责人:王利永(027-87106428)

责任编辑:王 思

责任校对:余士龙

封面设计:博壹臻远

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:荆州市鸿盛印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11.75

字 数:290 千字

版 次:2018 年 6 月第 1 版

印 次:2018 年 6 月第 1 次印刷

印 数:2000 册

定 价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87391631 87664138 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

P 前言

reface

本书是与“《结构力学 I》课件(韦斌凝 编)”相配套的课堂同步训练辅助教材,在《结构力学 I》多媒体教学中使用本辅助教材,不仅能够解决学生在多媒体课堂上难做笔记和课后系统复习的问题,还能大大地加强多媒体课堂上教与学的互动,提高学生的学习积极性和多媒体课堂的教学质量。

全书共分 8 章,内容包括:绪论、平面结构的几何组成分析、静定结构的内力分析、虚功原理和结构的位移计算、影响线、力法、位移法和力矩分配法。除绪论外,其余各章每一章中都包含四个部分,即“基本概念及要点”、“当堂训练”、“课后巩固”、“习题解答”。下面将对前三部分的目的和内容进行简单阐述:

(1)“基本概念及要点”,主要是为了解决多媒体教学中学生难以记笔记的问题。它的主要内容是每一章的基本概念及要点,它完全依据教材,并与课件一一对应,其作用等效于与《结构力学 I》课件完全一致的笔记,学生在课堂上就可以对照听课,同时也有利于学生的课后系统复习。

(2)“当堂训练”,主要是为了解决在多媒体教学中教与学互动的问题。它的内容完全与课件一一配套,里面所有的题目都是课堂上要讲的例题和训练题,其优点在于每一道题目的文字和基本图形都事先给出,学生在课堂上训练时就可以省去抄题目和画基本图形的时间,使得学生可以把所有时间投入到训练中;另一方面,由于这部分的内容完全与课件一一配套的特点,教师在上课时就可以做到讲授到哪里,学生就训练到哪里,真正做到课堂全程教与学同步互动,可大大提高教学效果和质量。

(3)“课后巩固”,主要是方便学生课后复习和巩固课堂上所学知识,这部分内容主要是汇集了各章大量的典型习题,使学生能更好地把握教材的内容和重点,提高学习成绩。

本书由韦斌凝担任主编,李秀梅、黄立新、彭林欣、罗卫东、陈建芳参与了部分内容的编写,具体编写分工如下:韦斌凝编写第 1 章,第 2 章,第 3 章,第 4 章 4.1 节、4.2 节,第 5 章 5.1 节、5.2 节,第 6 章 6.1 节、6.2 节,第 7 章 7.1 节、7.2 节和第 8 章 8.1 节、8.2 节;李秀梅编写第 4 章 4.3 节、4.4 节;黄立新编写第 5 章 5.3 节、5.4 节;彭林欣编写第 6 章 6.3 节、6.4 节;罗卫东编写第 7 章 7.3 节、7.4 节;陈建芳编写第 8 章 8.3 节、8.4 节。

扩大学生在多媒体课堂中的参与度、实现全课堂教与学同步互动、提高教学质量是编写本书的初衷,由于时间仓促,书中难免会存在不足之处,诚恳地希望读者批评指正。

与本辅助教材配套的《结构力学 I》课件网址链接:

<http://www.wutp.com.cn/xstj/43575.jhtml>

(注:点击网址链接或扫描二维码即可打开武汉理工大学出版社官网,点击“配套资源”中的“结构力学 I 课件(第八版)”,注册武汉理工大学出版社账号后即可下载《结构力学 I》课件。)



编者

2017 年 12 月

C 目 录

Contents

第 1 章 绪论	(1)
1.1 内容提要	(1)
1.2 结构力学的学习方法	(2)
第 2 章 平面结构的几何组成分析	(3)
2.1 基本概念及要点	(3)
2.1.1 基本概念	(3)
2.1.2 本章要点	(5)
2.2 当堂训练	(8)
2.2.1 平面体系的计算自由度	(8)
2.2.2 平面体系的几何构造分析	(9)
2.3 课后巩固	(18)
2.4 习题解答	(21)
第 3 章 静定结构的内力分析	(22)
3.1 基本概念及要点	(22)
3.1.1 基本概念	(22)
3.1.2 本章要点	(23)
3.2 当堂训练	(31)
3.2.1 静定梁	(31)
3.2.2 静定刚架	(32)
3.2.3 静定桁架	(37)
3.2.4 三铰拱	(43)
3.2.5 静定组合结构	(43)
3.3 课后巩固	(44)
3.4 习题解答	(63)
第 4 章 虚功原理和结构的位移计算	(64)
4.1 基本概念及要点	(64)
4.1.1 基本概念	(64)
4.1.2 本章要点	(65)
4.2 当堂训练	(70)
4.2.1 荷载作用下的位移计算	(70)
4.2.2 温度变化时的位移计算	(73)
4.2.3 支座移动时的位移计算	(74)
4.3 课后巩固	(75)
4.4 习题解答	(82)

第 5 章 影响线	(83)
5.1 基本概念及要点	(83)
5.1.1 基本概念	(83)
5.1.2 本章要点	(84)
5.2 当堂训练	(86)
5.2.1 静力法作影响线	(86)
5.2.2 机动法作影响线	(87)
5.2.3 间接荷载作用下的影响线	(90)
5.2.4 桁架影响线	(91)
5.2.5 影响线的应用	(92)
5.3 课后巩固	(94)
5.4 习题解答	(104)
第 6 章 力法	(106)
6.1 基本概念及要点	(106)
6.1.1 基本概念	(106)
6.1.2 本章要点	(107)
6.2 当堂训练	(113)
6.2.1 超静定次数确定	(113)
6.2.2 力法计算	(114)
6.3 课后巩固	(128)
6.4 习题解答	(139)
第 7 章 位移法	(140)
7.1 基本概念及要点	(140)
7.1.1 基本概念	(140)
7.1.2 本章要点	(140)
7.2 当堂训练	(146)
7.2.1 位移法基本未知量数目的确定	(146)
7.2.2 位移法计算	(147)
7.3 课后巩固	(152)
7.4 习题解答	(166)
第 8 章 力矩分配法	(167)
8.1 基本概念及要点	(167)
8.1.1 基本概念	(167)
8.1.2 本章要点	(167)
8.2 当堂训练	(169)
8.3 课后巩固	(173)
8.4 习题解答	(178)
参考文献	(181)

第1章 绪论

本章要求熟练掌握的内容:

(1) 结构力学的基本概念,包括结构的定义、结构的分类、结构力学的研究对象和任务;

(2) 结构计算简图选取的基本原则、方法及计算简图的计算方法,杆系结构的分类,荷载的分类等。

1.1 内容提要

(1) 结构力学的研究对象——结构

结构:用于支承荷载、起骨架作用的体系。结构必须是牢固的,必须能维持自己的位置和形状。

本课程主要是研究平面杆系结构。

(2) 结构力学的任务

结构力学的任务是研究杆系结构强度、刚度和稳定性的计算原理和计算方法。

(3) 结构力学的研究内容

结构力学是以结构为研究对象,研究有关结构计算方法的学科。下面从解决工程实际问题的角度归纳出结构力学的内容:

- ① 将实际结构抽象为计算简图;
- ② 各种计算简图的计算方法;
- ③ 将计算结果运用于设计和施工。

(4) 结构的计算简图

结构的计算简图是分析计算结构时用于代替实际结构的计算模型。杆系结构的计算简图包括结点、支座和杆件的计算简图。

- ① 结点的简化:铰结点;刚结点;组合结点。
- ② 支座的简化:移动铰支座;固定铰支座;固定支座;定向支座。
- ③ 杆件的简化:以杆轴线作为杆件的计算简图。

(5) 荷载分类

荷载主要分为以下几类:

- ① 分布荷载和集中荷载;
- ② 永久荷载和临时荷载;
- ③ 固定荷载与移动荷载;

④ 静力荷载和动力荷载;

⑤ 主要荷载、附加荷载和特殊荷载。

(6) 常见的杆系结构

常见的杆系结构为:梁、拱、刚架、桁架、组合结构。

1.2 结构力学的学习方法

结构力学的理论性、概念性强,方法、技巧要求高,学习方法是从小概念入手,对基本概念理解透彻,这样才能做到举一反三,不用死记硬背。

第2章 平面结构的几何组成分析

本章要求熟练掌握的内容:

(1) 几何可变和几何不变体系、体系自由度、多余约束、瞬铰等基本概念,几何不变体系的组成规律及其应用;

(2) 静定与超静定结构的几何组成特征。

要求理解熟悉的内容:瞬变体系的概念及其组成规律。

重点难点:刚片的选取以及灵活应用几何不变体系的四个规律来判断平面体系的几何组成。

2.1 基本概念及要点

2.1.1 基本概念

2.1.1.1 结构

定义:用于支承荷载、起骨架作用的体系。

结构必须是牢固的,必须能维持自己的位置和形状。

2.1.1.2 几何组成分析的目的

几何组成分析的目的是分析体系的杆件如何组合才能形成牢固的体系,是进行结构方案选择、结构布置和计算的必备知识。

2.1.1.3 几何不变体系

定义:在任意荷载作用下,几何形状及位置均保持不变的体系(不考虑材料的变形)。

几何不变体系可以划分为两类:静定结构和超静定结构。

(1) 静定结构

定义:无多余联系的几何不变体。

几何特性:形状、位置不变。

静力特性:未知力数目等于静力平衡方程数,可以用静力平衡方程求出结构的所有内力和支座反力。

(2) 超静定结构

定义:有多余联系的几何不变体。

几何特性:形状、位置不变。

静力特性:未知力数目大于静力平衡方程数,不可以用静力平衡方程求出结构的所有内力和支座反力。

2.1.1.4 几何可变体系

定义:在任意荷载作用下,几何形状、位置可以改变的体系(不考虑材料的变形)。

几何特性:形状可变、不能维持平衡。

静力特性:无静力解答。

2.1.1.5 几何瞬变体系

定义:在发生微小位移后立即成为几何不变体系的几何可变体系。

瞬变体系是一种特殊的几何可变体系,除了具备上面提到的几何可变体系的特性外,还具有以下2个特性:

- ① 瞬变体系一定有多余联系;
- ② 瞬变体系会产生很大的内力。

2.1.1.6 联系(或约束)

定义:阻碍体系运动、使自由度减少的装置。

以下是有关联系(或约束)的几个结论:

- ① “一根链杆”相当于“1个约束”;
- ② “一个单铰”相当于“2个约束”;
- ③ “一个复铰”相当于“ $2(n-1)$ 个约束”(n为与该铰相连的杆件数);
- ④ “一个刚结点”相当于“3个约束”;
- ⑤ “一个复刚结点”相当于“ $3(n-1)$ 个约束”(n为与该刚结点相连的杆件数)。

2.1.1.7 瞬铰(虚铰)

定义:连接两刚片的两根链杆在某一瞬时的约束作用相当于其交点处的一个铰(注:两根链杆所连接的刚片数为2)。

- ① 图 2.1(a)中O点不是瞬铰;
- ② 图 2.1(b)中O点是瞬铰。

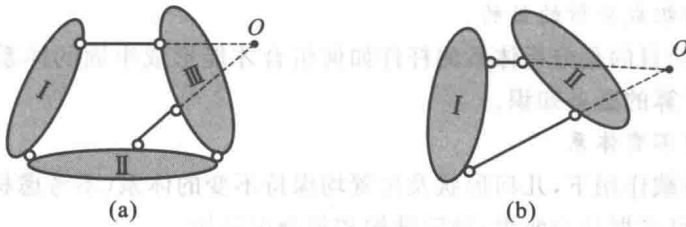


图 2.1

2.1.1.8 二元体

定义:一端共铰的两根不共线的链杆(图 2.2)(注:链杆的特点是只通过两个铰与结构其他部分联系)。

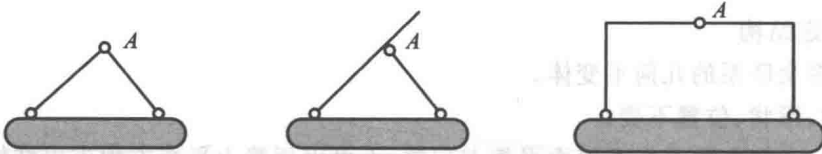


图 2.2

2.1.1.9 计算自由度

定义:体系运动时可独立改变的坐标数目。

- ① 平面内一点,计算自由度 $W=2$;
- ② 平面内一刚片,计算自由度 $W=3$ 。

计算自由度按下式计算:

$$W = \text{体系的总自由度} - \text{体系的总约束数} \\ = 3 \times \text{刚片数} - \text{刚结点产生的约束} - \text{铰结点产生的约束} - \text{支座约束}$$

2.1.2 本章要点

2.1.2.1 几何不变体系的组成规律

① 规律一(两刚片规律 I):两个刚片用三根不相互平行且不交于一点的链杆相连,组成几何不变体,且无多余联系。

② 规律二(两刚片规律 II):两个刚片用一个铰和一根轴线或延长线不过该铰的链杆相连,组成几何不变体,且无多余联系。

③ 规律三(三刚片规律,也称为三角形规律):三个刚片用不共线的三个单铰两两相连,组成几何不变体,且无多余联系。

④ 规律四(二元体规律):在一个几何不变体上增加一个二元体,则该体系仍为几何不变体系,且无多余联系。

2.1.2.2 几何瞬变体系的组成规律

① 规律一(两刚片规律 I):两个刚片用三根不等长且相互平行的链杆相连,组成瞬变体系。

② 规律二(两刚片规律 II):两个刚片用三根在延长线上交于一点的链杆相连,组成瞬变体系。

③ 规律三(两刚片规律 III):两个刚片用一个单铰和一根延长线过该铰的链杆相连,组成瞬变体系。

④ 规律四(三刚片规律):三个刚片用三个共线的单铰两两相连,组成瞬变体系。

2.1.2.3 结构几何组成分析的方法——“一刚片判别法”

在进行构造分析时,要同时正确地找到结构的所有刚片是相当困难的,但从结构中找到一个刚片是十分容易的。下面介绍一种作者在多年教学中总结出来的行之有效的构造分析方法——“一刚片判别法”。

“一刚片判别法”的最大特点是只需找到一个刚片,然后从这个刚片出发就可以找到结构的其他刚片,当结构所有刚片找到后,就能对结构正确地进行构造分析了。多年的教学实践显示,学生在熟练掌握该方法后,绝大多数有关构造分析的题目均能在 10 s 左右判断出来。

“一刚片判别法”有三个基本步骤:①去除二元体;②找出结构所有刚片;③几何组成分析。

下面将详细说明“一刚片判别法”的三个基本步骤。

2.1.2.4 “一刚片判别法”基本步骤

(1) 去除二元体

注意事项:

① 在一个体系上增加或去除二元体,不改变原体系的几何不变性。所以去除二元体的目的是使体系简化,利于分析。

② 对于有二元体的体系,要按照从外到内的次序去除二元体。

(2) 找出结构所有刚片

分两步:找一个刚片;找其余刚片。

① 找一个刚片

“找一个刚片”的具体步骤如下：

a. 判断地基是否可以作为一个刚片。如果体系与地基之间的约束多于三个，则把地基作为一个刚片；如果体系与地基之间的约束等于三个，则不把地基作为一个刚片（这种情况就可以忽略地基，仅分析体系的内部即可），那么就继续下一步，按下面的方法在体系内找刚片。

b. 将体系内任意一个三角形及其上的二元体作为一个刚片。

c. 如果体系内无三角形，则将任意一根链杆作为一个刚片。

任何结构通过以上步骤都能找到一个刚片。

② 找其余刚片

通过前面“找一个刚片”的步骤，就一定能找到一个刚片，现在假设刚片 I 是找到的这个刚片，其余的刚片将按下面的方法找出。

从刚片 I 出发，观察刚片 I 伸出几根链杆（或几个单铰），可以分为以下两种情况：

a. 刚片 I 伸出三根链杆（或一个单铰和一根链杆），如图 2.3(a) 所示。

b. 刚片 I 伸出四根链杆（或两个单铰，或一个单铰和两根链杆），如图 2.3(b) 所示。

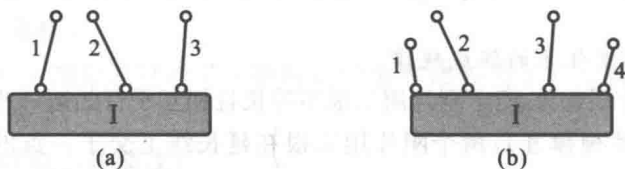


图 2.3

“找其余刚片”的具体步骤如下：

a. 如果从刚片 I 伸出三根链杆（或一个单铰和一根链杆），如图 2.4(a) 所示。这种情况，可以判断该体系用两刚片规律分析。这样，刚片 I 伸出的三根链杆所连接的几何不变体就是要找的刚片（刚片 II）。

b. 如果从刚片 I 伸出四根链杆（或两个单铰，或一个单铰和两根链杆），如图 2.4(b) 所示。这种情况，可判断该体系用三刚片规律分析。这样，刚片 I 伸出的四根链杆中的任意两根链杆所连接的几何不变体就是要找的另外两个刚片（刚片 II 和刚片 III）。

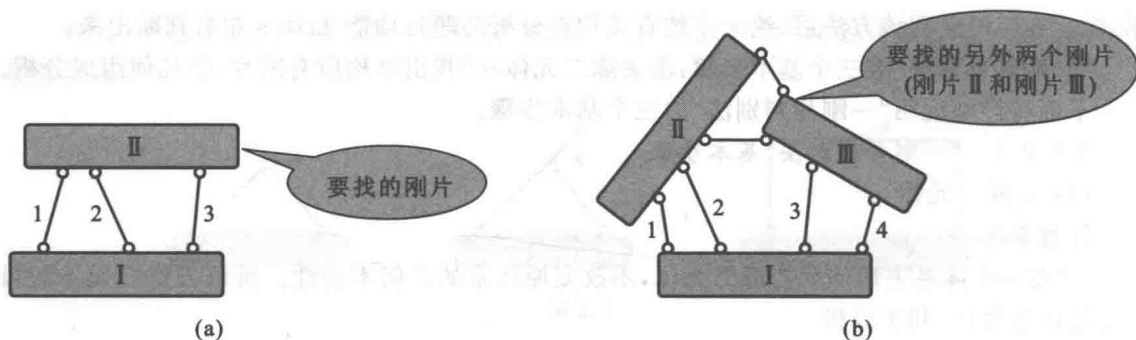


图 2.4

这样经过第二步后,结构的所有刚片就找到了。

(3) 几何组成分析

经过第二步“找出结构所有刚片”后,结构的所有刚片就找到了,这时就可以根据这些刚片之间的连接来判断是否满足几何不变体系组成规律或是瞬变体系组成规律,从而就能正确判断结构的几何不变性。

2.1.2.5 应用“一刚片判别法”时的注意事项

(1) 在运用“一刚片判别法”时,要特别注意固定铰支座的形式,这样就能更好地地区分出地基伸出的链杆。图 2.5 所示为固定铰支座的三种形式。

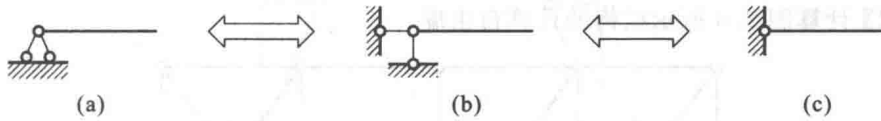


图 2.5

(a)斜交两链杆;(b)垂直交两链杆;(c)单铰

(2) 在构造分析时,刚片间的连接经常遇到平行链杆,所以平行线规则需要很好地掌握。

平行线规则:

- ① 所有同方向的平行线共点(即都交于一无穷远点);
- ② 所有无穷远点共线。

(3) “一刚片判别法”是基于无多余联系的体系的判别方法,在实际分析时,如果出现链杆(或单铰)不符合“一刚片判别法”的布置时,要特别注意! 如果约束数不够时则体系为常变体系;如果约束数多时则体系有多余约束。

2.2 当堂训练

2.2.1 平面体系的计算自由度

【题 2.1】判断下列说法的正确性(对的打“√”,错的打“×”)。

- (1) 计算自由度 $W > 0$ 的体系一定是几何可变体系。 ()
- (2) 计算自由度 $W \leq 0$ 的体系一定是几何不变体系。 ()
- (3) 几何可变体系的计算自由度 W 一定大于 0。 ()
- (4) 几何不变体系的计算自由度 W 一定小于或等于 0。 ()

【题 2.2】计算图 2.6 所示结构的计算自由度。

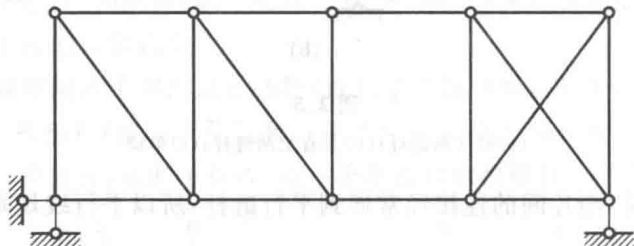


图 2.6

$W =$ _____

【题 2.3】计算图 2.7 所示结构的计算自由度。

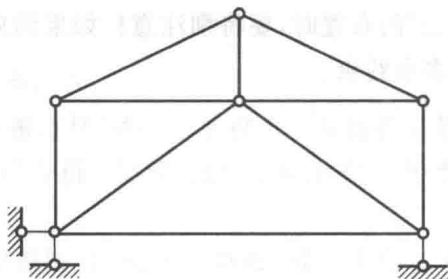


图 2.7

$W =$ _____

【题 2.4】计算图 2.8 所示结构的计算自由度。

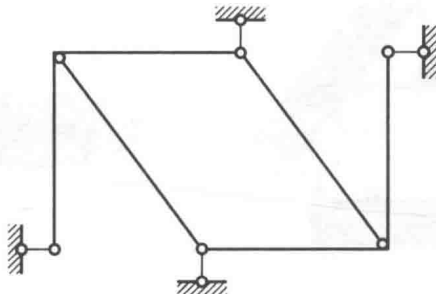


图 2.8

$W =$ _____

2.2.2 平面体系的几何构造分析

(答题要求:① 要将结构的组成刚片标出;

② 结论如果是几何不变体,必须要指明多余联系数。)

【题 2.5】分析图 2.9 所示结构的几何构造。

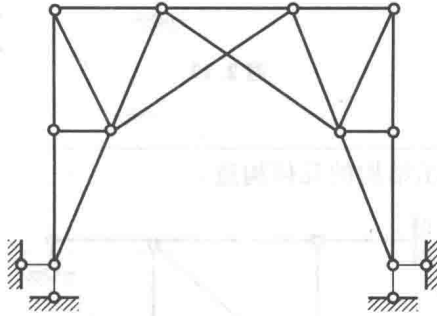


图 2.9

结论: _____

【题 2.6】分析图 2.10 所示结构的几何构造。

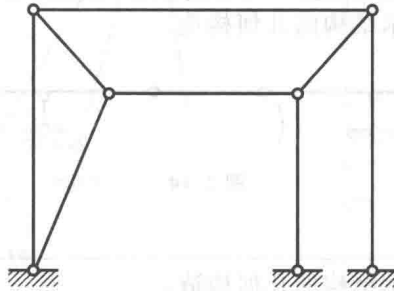


图 2.10

结论: _____

【题 2.7】分析图 2.11 所示结构的几何构造。

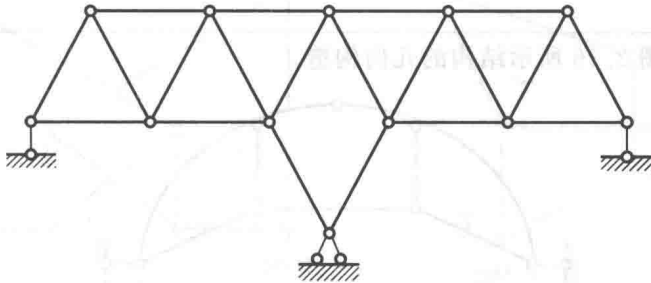


图 2.11

结论: _____

【题 2.8】分析图 2.12 所示结构的几何构造。

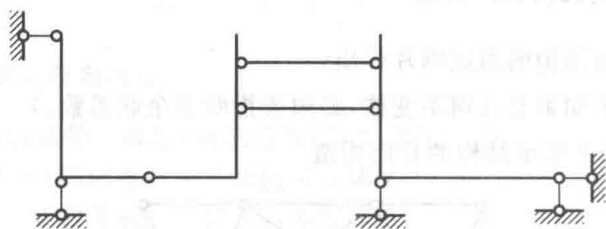


图 2.12

结论: _____

【题 2.9】分析图 2.13 所示结构的几何构造。

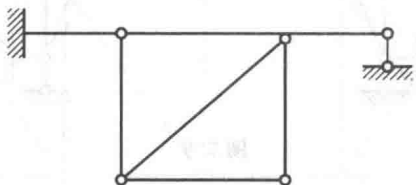


图 2.13

结论: _____

【题 2.10】分析图 2.14 所示结构的几何构造。



图 2.14

结论: _____

【题 2.11】分析图 2.15 所示结构的几何构造。

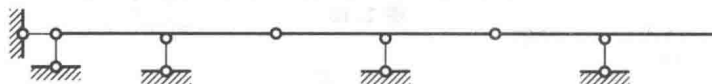


图 2.15

结论: _____

【题 2.12】分析图 2.16 所示结构的几何构造。

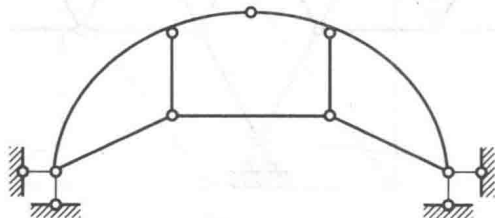


图 2.16

结论: _____

【题 2.13】分析图 2.17~图 2.60 所示结构的几何构造。

(1)

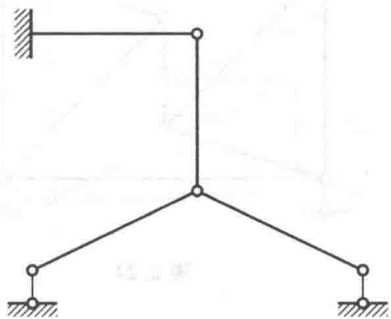


图 2.17

结论: _____

(2)

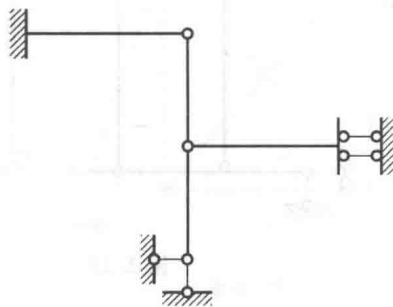


图 2.18

结论: _____

(3)

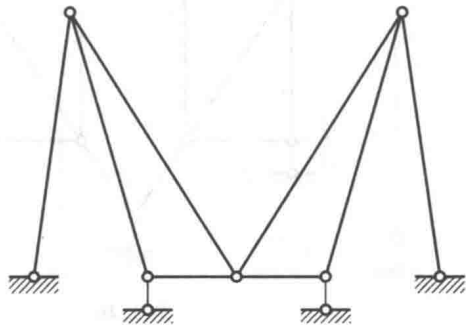


图 2.19

结论: _____

(4)

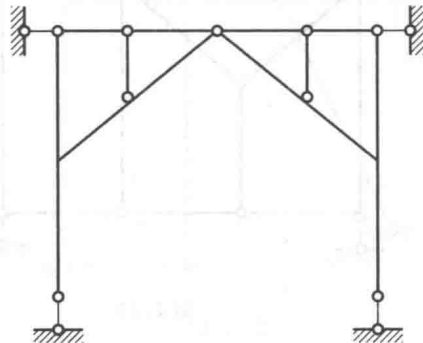


图 2.20

结论: _____

(5)

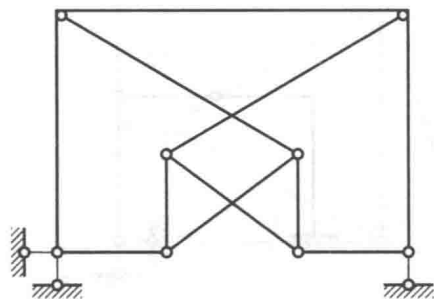


图 2.21

结论: _____

(6)

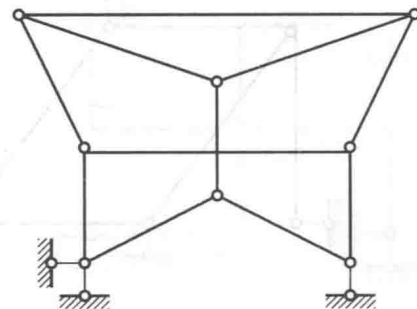


图 2.22

结论: _____