

结构力学

指导型习题册

彭俊生 罗永坤 王园园 等编

上

西南交通大学出版社

结构力学 指导型习题册

(上)

彭俊生 罗永坤 王国园
刘蓉华 黄慧莹 毛蓉萍

编

西南交通大学出版社

·成都·

工院翟莲

本书参照国家教委颁发的高等学校工科《结构力学课程教学基本要求》编写而成。每章内容分为：内容提要、引导要点、典型例题、习题（含客观题、简答题、主观题）。大部分习题给出了答案。

全书分为上、下两册。上册共九章，包括：绪论；平面结构的几何组成分析；静定梁与静定刚架；三铰拱；静定平面桁架；影响线及其应用；结构位移计算；力法；虚功方程及力法应用。下册共七章，包括：位移法；渐近法；矩阵位移法；杆系结构计算机程序的使用；结构的极限荷载；结构弹性稳定分析；结构动力学。

本书可供土木、水利、交通专业学生作为学习参考书，也可用于注册建筑师、注册结构工程师应试和工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

结构力学指导型习题册. 上册/彭俊生等编. —成都：
西南交通大学出版社，2001.9
ISBN 7-81057-574-0

I. 结… II. 彭… III. 结构力学—高等学校—习题
IV. 0342-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 053859 号

结构力学指导型习题册

（上）

彭俊生 罗永坤 王园园 等编

出版人 宋绍南

责任编辑 李彤梅

封面设计 肖勤

西南交通大学出版社出版发行

（成都二环路北一段 111 号 邮政编码：610031 发行科电话：7600564）

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

开本：850 mm × 960 mm 1/16 印张：16.875

字数：304 千字 印数：1—5000 册

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-574-0/O · 032

定价：20.00 元

图书如有印装问题，本社负责调换。

前 言

参照国家教委颁发的高等学校工科《结构力学课程教学基本要求》，我们结合多年的教学实践，将结构力学的基本概念、解题思路、分析方法和计算技巧、能力培养以及学生在学习过程中普遍存在的具有代表性、易混淆、易出差错的问题，以客观和主观习题的形式编写了本习题册。

本书编写顺序与《结构力学》教材基本一致，分为：绪论与平面结构的几何组成分析、静定结构受力分析、影响线及其应用、虚功原理与结构位移计算、超静定结构的求解方法——力法和位移法以及渐近法、结构分析的计算机方法——矩阵位移法和杆系结构计算机程序的使用、结构设计思想和方法的极限荷载计算以及结构弹性稳定分析、结构动力学等十六章内容。各章内容按内容提要、引导要点、典型例题及习题的顺序编排，其中习题包括客观题（填充题，是非题，选择题）、简述题及主观题（计算分析题）三个部分。

本书的特点有三：

第一，在典型例题和计算分析题中除常规的做法外，本题册给出了结构受力后的变形图，使初学者从接触本门课程的开始就对结构的受力与变形有一个直观和全貌的了解，这对于学好本门课程有十分重要的作用；同时也是学习结构定性分析的必要训练。这对于结构设计工程师来说更是应具备的基本能力。

第二，本书具有“互动”功能，是介于两类学习参考书——《结构力学习题集》与《结构力学解题指导》之间的形式，可使学生达到不仅要“看”，还要动手“练”的双重效果。

第三，学生直接在习题册上完成作业，省去了抄题和其它重复性的工作，从而使精力集中在分析问题和解决问题方面。同时，将“教与学”更紧密地结合在一起，使习题册成为一个比较完善并能长期保存的学习、练习笔记，具有便于查阅的参考资料功能。

由于编者水平所限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳求读者批评指正。

编 者
2001年9月

目 录

第1章 绪 论

§ 1.1 本章要点	1
§ 1.1.1 内容提要	1
§ 1.1.2 引导要点	1
§ 1.2 习 题	2

第2章 平面结构的几何组成分析

§ 2.1 本章要点	5
§ 2.1.1 内容提要	5
§ 2.1.2 引导要点	5
§ 2.2 典型例题	7
§ 2.3 习题一	12
§ 2.4 习题二	15

第3章 静定梁与静定刚架

§ 3.1 本章要点	24
§ 3.1.1 内容提要	24
§ 3.1.2 引导要点	25
§ 3.2 典型例题	27
§ 3.3 习题一	37
§ 3.4 习题二	52

第4章 三铰拱

§ 4.1 本章要点	62
§ 4.1.1 内容提要	62
§ 4.1.2 引导要点	62
§ 4.2 典型例题	63
§ 4.3 习 题	66

第5章 静定平面桁架

§ 5.1 本章要点	75
§ 5.1.1 内容提要	75

§ 5.1.2 引导要点	75
§ 5.2 典型例题	76
§ 5.3 习题一	86
§ 5.4 习题二	98
第 6 章 影响线及其应用	
§ 6.1 本章要点	104
§ 6.1.1 内容提要	104
§ 6.1.2 引导要点	105
§ 6.2 典型例题	107
§ 6.3 习题一	116
§ 6.4 习题二	135
第 7 章 结构位移计算	
§ 7.1 本章要点	145
§ 7.1.1 内容提要	145
§ 7.1.2 引导要点	145
§ 7.2 典型例题	148
§ 7.3 习题一	156
§ 7.4 习题二	168
第 8 章 力 法	
§ 8.1 本章要点	180
§ 8.1.1 内容提要	180
§ 8.1.2 引导要点	181
§ 8.2 典型例题	185
§ 8.3 习题一	197
§ 8.4 习题二	216
第 9 章 虚功方程及力法应用	
§ 9.1 本章要点	230
§ 9.1.1 内容提要	230
§ 9.1.2 引导要点	230
§ 9.2 典型例题	231
§ 9.3 习 题	241
习题参考答案	247
参考文献	264

第 1 章

绪 论

§ 1.1 本章要点

§ 1.1.1 内容提要

本章讨论了四个问题，即结构力学的任务和方法，结构力学的计算简图，结构和杆件的分类，荷载的分类。它们都是贯穿在全书中的重要问题，但在学习绪论时，只要有一个基本了解即可，以后逐步加深认识。

结构计算简图是本章重点，也是本书后面章节计算的依据。实际结构简化为计算简图后，才能确定计算方法，进行结构计算。学习时应对其简化原则、简化要点（特别是其中的结点和支座简化要点）等给予特别的注意，为今后结构的受力和变形分析打下基础。

§ 1.1.2 引导要点

1. 结 构

结构是建筑物中用以担负预定任务、支承荷载和维护形态的部分。

2. 结构力学的任务

研究结构的组成规律和合理形式，进行结构在外因作用下的强度、刚度及稳定性计算，以及动力荷载作用下结构反应的计算。

3. 荷 载

荷载指作用在结构上的主动力（外力）。其分类方式有：

- （1）按作用时间久暂分为：恒载和活载；
- （2）按作用位置是否变化分为：固定荷载和移动荷载；
- （3）按是否考虑惯性力影响分为：静力荷载和动力荷载。

4. 结构计算简图

对实际结构作力学分析，是通过结构计算简图来进行的，即用一个简化的图形代替实际结构的计算图形。

(1) 简化原则:

- 计算简图必须能够反映实际结构的主要受力特性, 确保计算结果可靠。
- 在满足计算精度的条件下, 结构计算简图应当尽量简单, 使计算方便可行。

(2) 简化内容:

① 结构体系简化; ② 支座简化; ③ 结点简化; ④ 杆件简化; ⑤ 荷载简化; ⑥ 材料简化。

结构计算简图涉及的基本概念有:

- **结构体系** 分空间结构与平面结构。
- **支座** 是结构与基础间的连接部分, 分为刚性支座和弹性支座。注意各支座的特性所提供的约束反力:
 - **刚性支座** 分活动铰支座、固定铰支座和固定支座;
 - **弹性支座** 分伸缩弹性支座和旋转弹性支座;
- **结点** 是杆件间的连接区。结点分为铰结点、刚结点和组合结点:
 - **铰结点** 其特性是被连接的杆件在连接处不能相对移动, 但可作相对转动, 因此铰结点可传递轴力和剪力, 但不能传递力矩;
 - **刚结点** 其特征是被连接杆件在连接处既不能相对移动, 又不能相对转动, 既可传递轴力、剪力, 也可传递力矩;
 - **组合结点** 是在一个结点上同时出现刚结点和铰结点的连接方式, 因此它具有上述两个类型结点的性质。

5. 结构分类

结构按广义结构力学的几何特征分为: 杆系结构、薄壁(壳)结构、实体(块体)结构。杆系结构又可分为: 梁、拱、桁架、刚架和组合结构。

§ 1.2 习 题

一、填空题(将正确答案填在横线上)

1-1 学习本门课程的主要任务是: 研究结构在各种外因作用下结构内力与_____计算, _____荷载作用下的结构反应; 研究结构的_____规则和_____形式等问题。

1-2 将实际结构抽象为力学分析的模型, 即计算简图, 其内容包括结构体系的简化(空间简化为平面), 杆件的简化, 杆件联结的_____, 结构与基础间联结的_____, 以及材料性质(假设均质、各向同性)和荷载的简化。

1-3 支座计算简图可分为刚性支座与弹性支座, 其中刚性支座又可分为_____, _____和_____。

1-4 永远作用在结构上的荷载称为固定荷载，暂时作用在结构上的荷载称为_____，它包括_____、_____、_____和_____等。

1-5 刚结点的特性是被连接的杆件在连接处既无_____，又不能相对_____；既可传递_____，也可传递_____。

二、是非题（若认为“是”，在括号内标记“√”，否则标记“×”）

1-6 杆系结构中梁、刚架、桁架及拱的分类，是根据结构计算简图来划分的。（ ）

1-7 定向支座总是存在一个约束反力矩（ ）和一个竖向约束反力。（ ）

1-8 静力和动力荷载的区别，主要是取决于它随时间变化规律、加载速度的快慢。其定性指标由结构的自振周期来确定。（ ）

1-9 铰结点的特性是被连接杆件在连接处既不能相对移动，（ ）又不能相对转动。（ ）

1-10 线弹性结构是指其平衡方程是线性的，（ ）变形微小，（ ）且应力与应变之间服从虎克定律。（ ）

三、选择题（将选中答案的字母填入括号内）

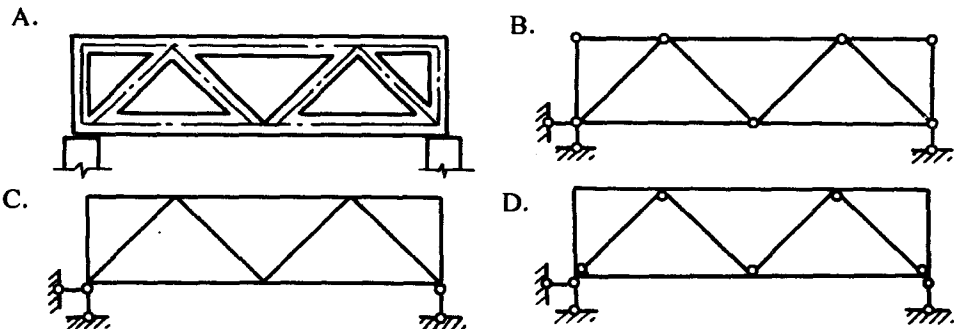
1-11 刚结点在结构发生变形时的特征是（ ）。

- A. 各杆可以绕结点中心自由转动 B. 各杆之间的夹角保持不变
C. 各杆之间的夹角可任意改变 D. 不变形

1-12 平面杆系结构是指（ ）。

- A. 结构中所有杆件的轴线都位于同一平面的结构
B. 作用在结构上的所有荷载作用线均位于同一平面结构
C. 结构中各杆轴线、荷载作用线均在同一平面的结构
D. 具有 A、B、C 特点的结构

1-13 如题 1-13 图所示一实际结构，据下列所给定条件，选择相应的计算简图：



题 1-13 图

(1) 该杆件截面均较大且结点构造满足刚性结点构造特征, 则计算简图为(), 称为_____。

(2) 各杆件截面尺寸较小, 结点构造满足铰结点特性时, 计算简图为(), 称为_____。

(3) 当腹杆惯性矩相对弦杆截面小得很多, 且腹杆与弦杆不满足刚性要求时, 则计算简图为(), 称为_____。

1-14 选择结构计算简图的基本原则是()。

- A. 基本上能反映实际结构的主要性能
- B. 完全能反映实际结构的受力本质
- C. 便于计算

1-15 计算简图主要由()决定。

- A. 结点构造
- B. 结构外形
- C. 杆件截面尺寸
- D. 荷载情况
- E. 支承情况
- F. 材料性质

四、简述题

1-16 对一个实际结构进行内力分析时, 可以选取不同的计算简图, 为什么?

1-17 为什么说杆系结构是按计算简图来分类的?

1-18 荷载可分为静力荷载与动力荷载, 它们最基本的区分原则是什么?

1-19 对刚结点与铰结点而言, 其力的传递的主要差别是什么?

1-20 结构力学的任务包括哪几方面?

1-21 除荷载外, 还有哪些因素使结构产生位移和内力?

1-22 根据荷载作用时间的长短, 可分为几类?

1-23 根据荷载作用的性质, 可分为几类?

第 2 章

平面结构的几何组成分析

§ 2.1 本章要点

§ 2.1.1 内容提要

本章是结构力学计算的先导，即在分析结构的受力、变形之前，必须了解结构的组成。

分析几何组成的目的主要有：判定杆件体系是否几何可变，从而决定其能否用作结构；研究几何不变、无多余约束体系的组成规则，以便帮助我们正确选择静力分析方法和分析的前后次序，这一点以后各章经常要引用。

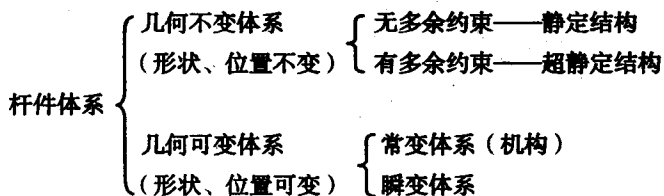
在几何组成分析中，最基本的规则是“三角形规则”，即三角形的三个边长一定，其几何图形是惟一确定的。规则本身是简单浅显的，重要的是能够熟练运用它来依次分析各种复杂的杆件体系。这是本章重点。初学者的困难是难于下手，因此，进行一定量的练习是必要的。

静定结构的几何构造特征是几何不变且无多余联系。凡是按三个规则组成的体系，都是几何不变且无多余联系的结构，因而都是静定结构；而在此基础上还有多余联系的便是超静定结构。这样，便可以从结构的几何构造来判定它是静定的还是超静定的。

几何可变或瞬变体系不能用作结构。

§ 2.1.2 引导要点

1. 杆件体系可分为几何不变体系和几何可变体系



2. 几何组成分析的目的

(1) 研究几何构造的基本规律，保证结构几何图形的不变性；

(2) 根据体系的几何构造分析确定: 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;

(3) 根据体系的几何构造分析确定静定结构的受力分析顺序;

(4) 根据体系的几何构造分析确定结构动力分析的动力自由度。

• **自由度** 是指物体运动时可以独立变化的几何参数数目, 也就是确定物体位置所需的独立坐标数。

• **刚片** 在不计材料变形的前提下, 一根杆或已知的几何不变部分均视为一刚体, 在平面内刚体称为刚片。地基也是一刚片。

• **单铰** 只联接两个刚片的铰。

• **复铰** 联接两个刚片以上的铰。

• **链杆** 一个杆件只用两个铰结点与其它构件相联系的杆件。

• **约束** 限制物体或体系运动的各种装置。体系与基础之间的联系(支座), 称外部约束; 内部约束一般是指铰结点、刚结点及链杆。

3. 组成几何不变体系的条件

(1) 具有必要的约束数(必要条件);

(2) 约束布置方式要合理(充分条件, 三个规则)。

4. 无多余约束的几何不变组成规则

组成规则如图 2-1 所示。

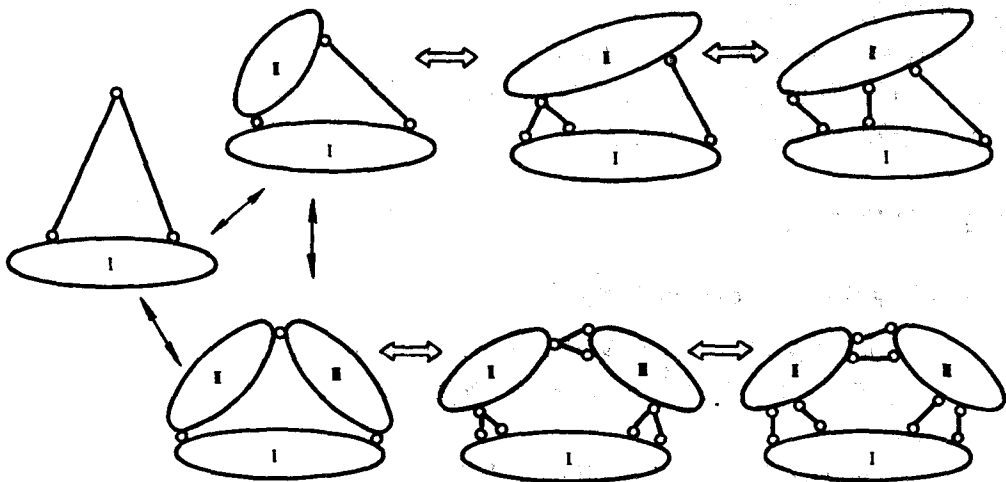


图 2-1

(1) 三刚片规则: 三个刚片用三个单铰两两相连, 且三铰不在一条直线上(一个单铰相当于两个链杆)。组成的体系是几何不变的。

(2) 两刚片规则：两个刚片用一个单铰和不通过此单铰的链杆相连，或两个刚片用三根不平行也不相交于一点的链杆相连。组成的体系是几何不变的。

(3) 二元体规则：在一刚片上增加二元体（两根不共线链杆组成一新结点的构造），仍然为几何不变体系。

图 2-1 很清楚地描述了几何不变、且无多余联系的组成规则的内在联系。由此可知，三个规则是可以相互沟通的。

5. 应用规则分析体系的几何组成的注意点

(1) 基本规则可分为一个刚片与一个铰点的联接、两刚片之间的联接和三刚片之间联接的三种方式。

(2) 刚片是指一根杆（或链杆）及已知无多余约束（或有多余约束）几何不变部分的构造单元。

(3) 联接是指刚片之间有直接相连的约束，只有两类：① 铰结点（包括虚铰）；② 链杆（包括等效代换的链杆）。

(4) 只有两个铰点与其它构件（包括地基）相联结的刚片，可看成是通过该两个铰的链杆。

(5) 联接两个刚片的两根链杆，可以看作在其交点处的一个单铰，称为虚铰；两根链杆平行时可看作无限远处的虚铰。

(6) 联接两刚片的一个单铰可以看作联结该两刚片的两根链杆。

(7) 联接 n 个刚片的复铰相当于 $n-1$ 个单铰。

6. 解题要点

(1) 去掉二元体（若存在的话）。

(2) 若体系内部与地基间满足“两刚片”规则，则去掉支座，仅分析内部；若体系内部与地基间多余三个联系，则视地基为一刚片，与体系内部一起分析。

(3) 可进行的等效替换：

- 复杂形状曲杆、折线链杆可用直杆替换；
- 直接连接两刚片之间的两链杆，可用其虚铰替换。

(4) 逐步扩大分析法：

- 从基础出发进行装配；
- 从内部刚片出发进行装配。

§ 2.2 典型例题

【例 2-1】试对图 2-2 体系作几何组成分析。

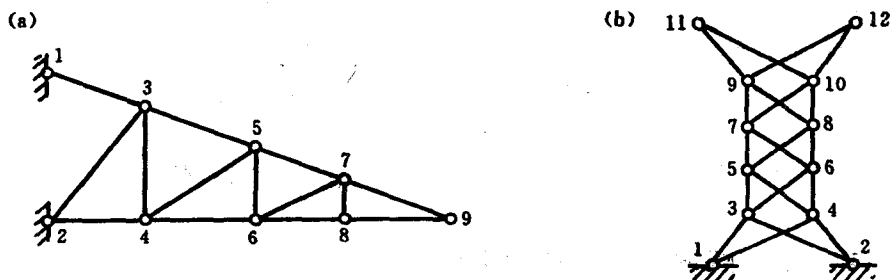


图 2-2

【解】 方法一：在基本刚片（地基）上增加二元体。图 2-2 (a) 的结点顺序是 3、4、5、6、7、8 及 9。图 (b) 的结点顺序是 3、4、5、6、7、8、9、10、11 及 12。

方法二：撤出二元体，图 2-2 (a) 的顺序是结点 9、8、7、6、5、4 及 3。图 (b) 的顺序是结点 12、11、10、9、8、7、6、5、4 及 3。

结论：几何不变，且无多余联系。

【例 2-2】 试对图 2-3 (a) 体系作几何组成分析。

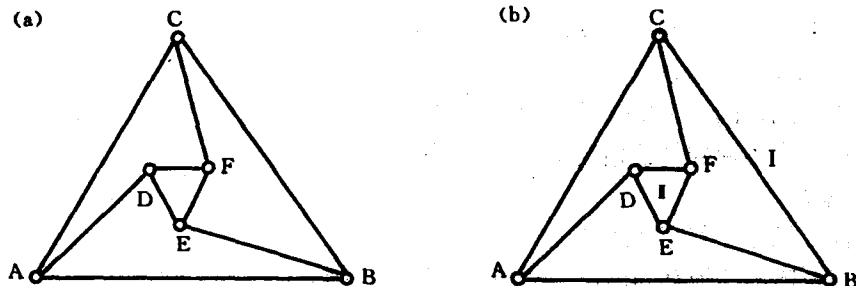


图 2-3

【解】 分析过程如图 2-3 (b) 所示。两刚片用三根 (AD、BE 和 CF) 不全平行也不交于一点的链杆相连，组成的体系是几何不变，且无多余联系。

【例 2-3】 试对图 2-4 (a) 体系作几何组成分析。

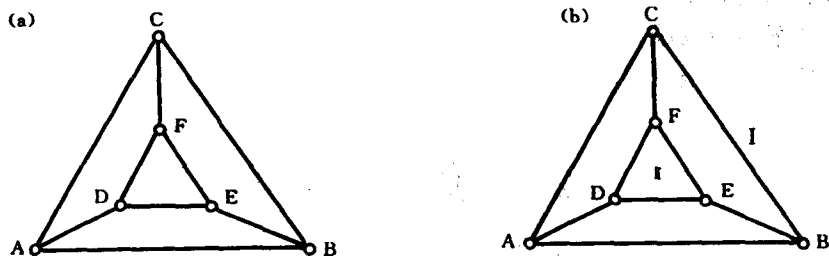


图 2-4

【解】 分析过程如图 2-4 (b) 所示。两刚片用三根 (AD、BE 和 CF) 交于一点的链杆相连, 组成的体系是几何瞬变体系。

【例 2-4】 试对图 2-5 (a) 体系作几何组成分析。

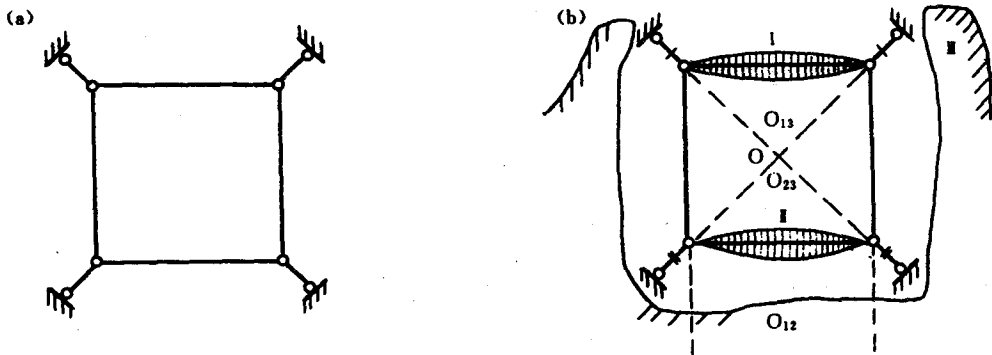


图 2-5

【解】 分析过程如图 2-5 (b) 所示。铰 O_{13} 和 O_{23} 交于 O 点, O 点与无穷远铰 O_{12} 共线, 此时相当于三刚片用两铰相连, 故体系为常变。

【例 2-5】 试分析图 2-6 (a) 体系的几何组成。

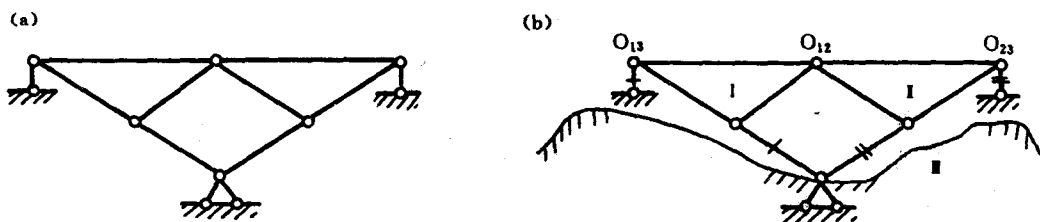


图 2-6

【解】 分析过程如图 2-6 (b) 所示。铰 O_{13} 、 O_{12} 、 O_{23} 三铰共线, 故体系为瞬变。

【例 2-6】 试对图 2-7 (a) 体系作几何组成分析。

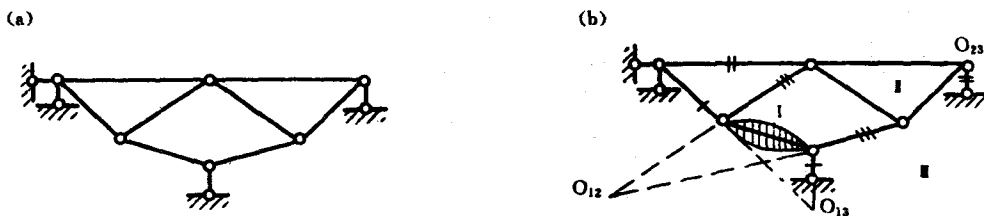


图 2-7

【解】 分析过程如图 2-7 (b) 所示。铰 O_{13} 、 O_{12} 、 O_{23} 三铰不共线, 故体系几何不变。

【例 2-7】 试对图 2-8 (a) 体系作几何组成分析。

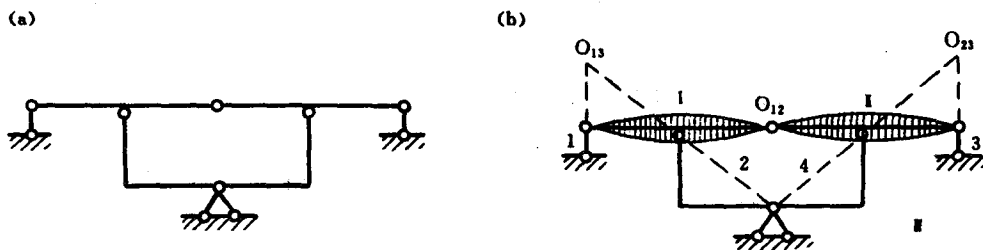


图 2-8

【解】分析过程如图 2-8 (b) 所示。这里作了一等效代换；折线链杆用直线链杆 (2、4) 替代。故铰 O_{13} 、 O_{12} 、 O_{23} 三铰不共线，体系几何不变。

【例 2-8】试对图 2-9 (a) 体系作几何组成分析。

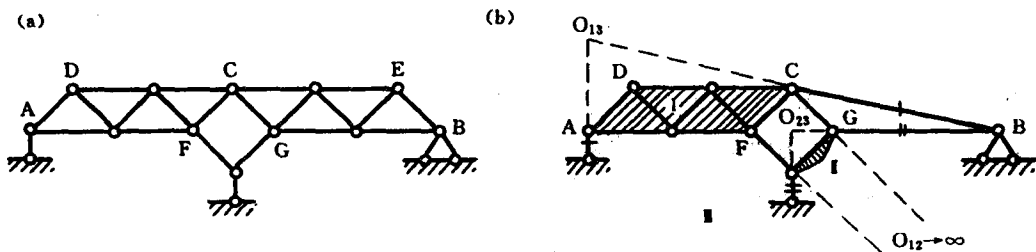


图 2-9

【解】分析过程如图 2-9 (b) 所示。等效代换：图 2-9 (a) 中 CEBG 刚片，在不改变与刚片 I 和刚片 II 联系的情况下，可用 CBG 三角形代换 (图 2-9b)。于是，铰 O_{13} 、 O_{12} 、 O_{23} 三铰不共线，体系几何不变。

一铰无穷远 虚铰 O_{12} 在无穷远处，而另两铰 O_{13} 和 O_{23} 不在无穷远处。此时，若组成无穷远虚铰之两平行链杆与另两铰连线不平行，则体系为几何不变；若二者平行，则体系为瞬变。

【例 2-9】试对图 2-10 (a)、(c) 所示体系作几何组成分析。

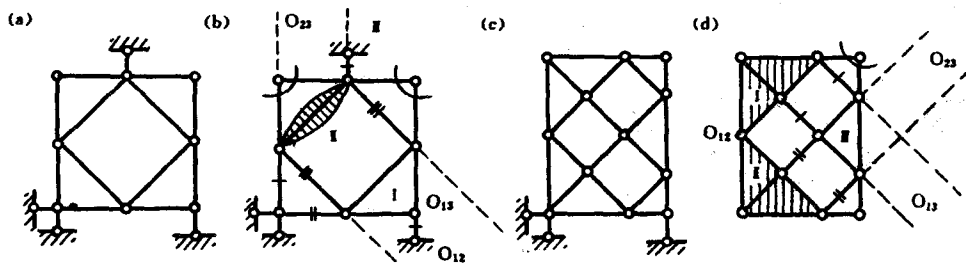


图 2-10

【解】图 (a) 按三刚片分析，三铰不共线，几何不变且无多余联系。

两铰无穷远 铰 O_{13} 不在无穷远处, 铰 O_{12} 和 O_{23} 均在无穷远处, 此时若组成二铰虚铰之两对平行链杆互不平行, 则体系为几何不变; 若此两对平行链杆又相互平行 (即四链杆皆平行), 则体系为几何瞬变; 若此两对平行链杆又相互平行且等长, 则体系常变。

图 (c) 只检查体系内部。去掉二元体, 再按三刚片分析, 三铰不共线, 故几何不变且无多余联系。

【例 2-10】 试对图 2-11 (a) 所示体系作几何组成分析。

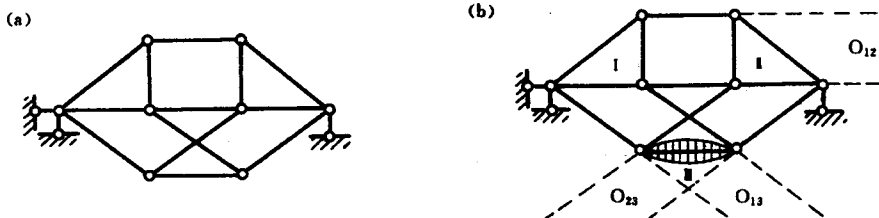


图 2-11

【解】 只检查体系内部。按三刚片分析, 三铰均无穷远, 三对链杆平行各自等长, 属常变体系。

三铰均在无穷远处 可以证明, 平面上的所有无穷远点均在同一条直线上, 这条直线称为无穷远直线。于是, 可知三虚铰 O_{13} 、 O_{12} 、 O_{23} 均在无穷远处时, 体系是瞬变的。

【例 2-11】 试对图 2-12 (a) 所示体系作几何组成分析。

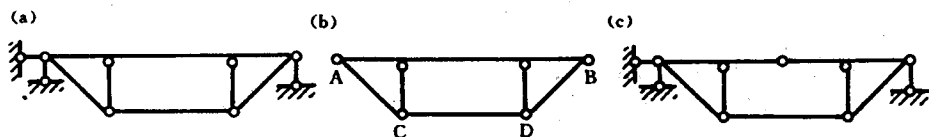


图 2-12

【解】 图 2-12 (a) 所示体系除去支座后得到图 2-12 (b) 所示体系, 这一体系可视为刚片 AB、CD 用四根链杆 (相当于两个单铰) 相连。因此, 原来的体系为几何不变体系, 且有一个多余约束, 为超静定结构。

若要将原体系改造成静定结构, 需要除去一个约束: 例如拆去支座链杆以外的任意一根链杆; 或者在 AB 杆中加一个铰, 如图 2-12 (c) 所示。由此可见, 在一个连续的杆中加铰 (刚结变铰结), 相当于减少一个约束。

小结: (1) 超静定结构可通过合理地减少多余约束使其变成静定结构。这时, 要注意规则的限制条件, 即产生可变的条件。

(2) 静定结构和超静定结构的受力分析方法是不同的, 正确区分静定、超静定, 正确判定超静定结构的多余约束数对以后的分析十分重要。

(3) 随着计算机在结构力学应用中的发展, 复杂杆件体系的几何组成分析可用计算机来解决。