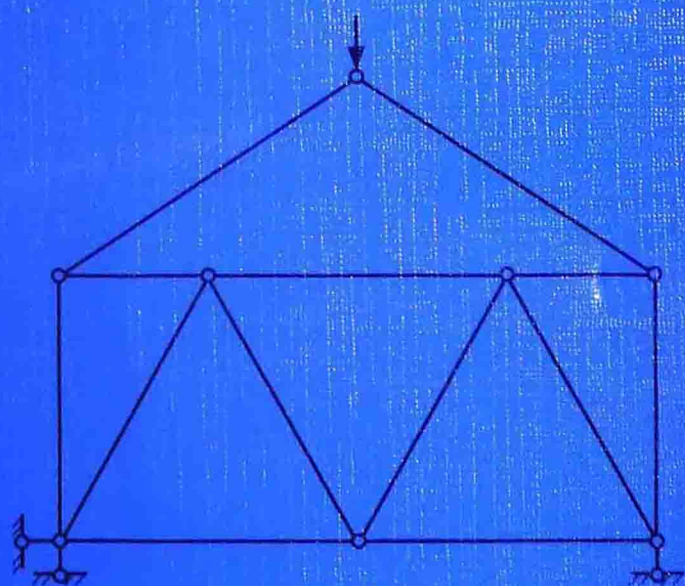


全国硕士研究生入学考试辅导用书（土木工程类）

结构力学精讲及真题详解

（第二版）

石志飞 主编



中国建筑工业出版社

全国硕士研究生入学考试辅导用书(土木工程类)

结构力学精讲及真题详解

(第二版)

石志飞 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学精讲及真题详解/石志飞主编. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 6

全国硕士研究生入学考试辅导用书(土木工程类)

ISBN 978-7-112-16888-0

I. ①结… II. ①石… III. ①结构力学—研究生—入学考试—自学参考资料 IV. ①0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 103319 号

全国硕士研究生入学考试辅导用书(土木工程类)
结构力学精讲及真题详解(第二版)

石志飞 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 字数: 317 千字

2014 年 8 月第二版 2014 年 8 月第六次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978-7-112-16888-0

(25672)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

复习考研是一个相对艰辛的过程，目前土木工程专业尚没有统一的专业课考试大纲，考生的复习资料因此五花八门。资料太多则往往系统性不足，不能做到有的放矢，甚至浪费了大量宝贵的备考时间；资料少又起不到复习的效果，缺乏做题的训练，导致考试的时候紧张丢分。因此，选择好复习资料是备考成功的关键之一。

为了帮助广大考生有效地应对专业课的复习，并在专业课考试中取得好的成绩，本书在对结构力学各知识点进行系统讲解的基础上，精选了清华大学、北京交通大学、哈尔滨工业大学、大连理工大学、同济大学、浙江大学、华中科技大学、华南理工大学、河海大学、西南交通大学等多所高校历年来土木工程专业研究生入学考试中结构力学科目的大量真题，结合相应的知识点，对真题进行详细讲解及点评。

全书共分为八章，包括平面体系的几何组成分析、静定结构内力分析及综合、静定结构位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线和结构动力计算。在全书的最后为读者提供两套模拟试卷(附答案)。

对于参加全国硕士研究生入学考试(土木工程类)的考生而言，本书是一本实用的考前辅导用书。同时，也可作为土木工程类大专院校学生学习结构力学的参考书。

责任编辑：刘婷婷

责任校对：陈晶晶 党 蕾

本书编委会

主 编：石志飞

参加编写：邢侗慧 向宏军 于桂兰

徐艳秋 杨丽辉 贾 影

前 言

结构力学是一门非常有趣的课程，同时也是让不少初学者和准备复习考研的学生感到头疼的课程。其原因在于虽然结构的种类和荷载的种类只有那么几种，但结构的具体形式及荷载的位置却是变化多端。比如，结构中一根杆件位置的改变或一个结点形式的改变，就足以引起整个结构类型的改变，足以引起结构内力的重分布。

然而，尽管结构力学课程题目千变万化，但总是有规律可循的，这就是结构的平衡。因此，如何去理解结构的平衡(包括整体平衡和局部平衡)，如何去寻求这些平衡并正确绘出结构的内力图，进而能正确求解静定结构的位移，是能否学好结构力学课程的关键。遗憾的是，在学习结构力学之初，静定结构的内力分析部分给同学们带来了似曾相识的错觉，因而未能引起重视，等到后面学习超静定结构时，静定部分的欠账就体现出来了，而此时同学们又错误地认为是超静定部分未学好，把大部分精力放在学习求解超静定结构上面，这就进入了学习结构力学的误区。正确的认识是，无论是初学者，还是准备考研的同学，给予静定结构的内力分析以及位移计算这两部分内容足够的重视，是非常重要的。

平衡的重要性不仅体现在结构力学课程中，还体现在我们生活的各个方面。小孩学会了保持平衡才能学会走路；身体中的电解质失去平衡人就要生病；生态失去平衡就会发生自然灾害；人的心态失去平衡轻者日子会过得不开心，重者则会犯错误甚至犯罪；我们目前努力建设的和谐社会，也是平衡发展的理念！平衡并不意味着就是死水一潭，死气沉沉。加速运动的物体，飞速发展的社会，当计及惯性力时岂不又可找到平衡？！上述浅薄之见，望能起到抛砖引玉作用。

参加本书编写工作的有邢佶慧副教授(第1章)、向宏军副教授(第2章)、石志飞教授(第3章)、于桂兰教授(第4章)、徐艳秋副教授(第5、6章)、杨丽辉博士(第7章)、贾影教授(第8章)，全书由石志飞教授统稿。

感谢那些在本书编写过程中为我们提供各种资料的各位老师、同学和朋友们，是你们的大力帮助本书才能最终成稿；感谢中国建筑工业出版社刘婷婷编辑，正是她的提议和鼓励，为我们完成本书提供了动力，也感谢她在本书出版过程中所倾注的大量心血。

限于编者水平，书中不妥甚至错误之处，恳请批评指正。

石志飞

目 录

前言

第 1 章 平面体系的几何组成分析	1
1.1 基本内容	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 几何不变体系的基本组成规则	2
1.1.3 几何构造与静定性的关系	2
1.1.4 零载法	2
1.2 要点与注意事项	2
1.3 真题解析	3
第 2 章 静定结构内力分析及综合	13
2.1 基本内容	13
2.2 要点与注意事项	13
2.2.1 静定结构的一般性质	13
2.2.2 隔离体的选取与几何构造	14
2.2.3 荷载与内力(深刻理解平衡)	14
2.2.4 对称性的利用	15
2.2.5 叠加原理	16
2.2.6 快速画弯矩图	16
2.2.7 结构力学反问题与变形曲线	18
2.2.8 各类结构的特殊分析方法	18
2.3 真题解析	22
第 3 章 静定结构位移计算	45
3.1 基本内容	45
3.2 要点与注意事项	45
3.2.1 深刻理解静定结构位移计算一般公式的物理意义	45
3.2.2 荷载作用下位移计算的一般公式及其简化	46
3.2.3 图乘法	47
3.2.4 静定结构支座移动引起的位移计算	48
3.2.5 静定结构温度改变引起的位移计算	49
3.2.6 线弹性结构的互等定理	50
3.3 真题解析	50
第 4 章 力法	70
4.1 基本内容	70
4.1.1 结构超静定次数判定	70

4.1.2	力法的基本原理	70
4.1.3	力法方程及其物理意义	70
4.1.4	用力法计算超静定结构的计算步骤	70
4.1.5	超静定结构的位移计算	71
4.1.6	对称性的利用	71
4.2	要点与注意事项	71
4.3	真题解析	71
4.3.1	荷载作用	71
4.3.2	支座位移及弹性支承	74
4.3.3	温度变化及制造误差	81
4.3.4	对称性	83
4.3.5	综合	93
第5章	位移法	101
5.1	基本内容	101
5.1.1	位移法基本未知量和基本结构	101
5.1.2	位移法的基本思路	101
5.1.3	位移法典型方程	102
5.1.4	位移法的计算步骤	102
5.2	要点与注意事项	102
5.2.1	本章要点	102
5.2.2	注意事项	103
5.3	真题解析	103
第6章	力矩分配法	132
6.1	基本内容	132
6.1.1	基本概念	132
6.1.2	解题思路	133
6.1.3	力矩分配法的典型问题	133
6.2	要点与注意事项	133
6.2.1	本章要点	133
6.2.2	注意事项	134
6.3	真题解析	134
第7章	影响线	144
7.1	基本内容	144
7.1.1	影响线概念	144
7.1.2	绘制影响线的方法	144
7.1.3	用机动法作连续梁的影响线	144
7.1.4	影响线的应用	144
7.2	要点与注意事项	145
7.2.1	影响线与内力图的区别	145

7.2.2 正负号规定	145
7.2.3 静力法绘制影响线	145
7.2.4 机动法作影响线注意事项	145
7.2.5 用机动法作连续梁影响线的要点	146
7.2.6 影响线的应用要点	146
7.3 真题解析	148
第8章 结构动力计算	165
8.1 基本内容	165
8.2 要点与注意事项	165
8.2.1 本章要点	165
8.2.2 注意事项	165
8.3 真题解析	166
模拟试卷(一)	185
模拟试卷(一)参考答案	188
模拟试卷(二)	191
模拟试卷(二)参考答案	194
参考文献	197

第 1 章 平面体系的几何组成分析

1.1 基本内容

1.1.1 基本概念

1. 几何不变体系

若不考虑材料变形，几何形状和位置均能保持不变的体系。

2. 几何可变体系

即使不考虑材料变形，在很小的荷载作用下，也会发生机械运动而不能保持原有几何形状和位置的体系。

3. 瞬变体系

原可发生形状或位置的改变，但经微小位移后即转化为几何不变的体系。

4. 刚片

平面杆件体系中的几何不变的部分，也可以是一根杆件或大地等。

5. 虚铰

连接两个刚片的两根链杆的作用相当于在其交点处的一个单铰，不过铰的位置随着链杆的转动而改变，这种铰称为虚铰。

6. 自由度

物体运动时可以独立变化的几何参数的数目，也即确定物体位置所需的独立坐标数目。

7. 约束

减少自由度的装置，称为联系或约束。

8. 必要约束

能改变体系自由度的约束，也即使体系成为几何不变而必需的约束。

9. 多余约束

不能减少体系自由度的约束。

10. 计算自由度

并非体系的真实自由度，而是体系的自由度数目减约束数目。计算公式如下：

$$W=3m-(2h+r) \quad (1.1-1)$$

式中 W ——计算自由度；

m ——刚片数；

h ——单铰数，连接 n 个杆件的复铰相当于 $(n-1)$ 个单铰；

r ——支座链杆数。

对于铰接链杆体系，还可用如下公式计算：

$$W=2j-(b+r) \quad (1.1-2)$$

式中 j ——结点数；

b ——杆件数。

1.1.2 几何不变体系的基本组成规则

1. 三刚片规则

三个刚片用不在同一直线上的三个单铰两两铰连，组成的体系是几何不变的。

2. 两刚片规则

两个刚片用一个铰和一根不通过此铰的链杆相连，为几何不变体系；或者两个刚片用三根不全平行也不交于同一点的链杆相连，为几何不变体系。

3. 二元体规则

在一个体系上增加或拆除二元体，不会改变原有体系的几何构造性质。

1.1.3 几何构造与静定性的关系

所谓体系的静定性，是指体系在任意荷载作用下的全部反力和内力是否可以根据静力平衡条件确定。静定结构的几何构造特征是几何不变且无多余约束，而有多余约束的几何不变体系则是超静定结构。

1.1.4 零载法

1. 基本原理

对计算自由度 $W=0$ 的体系，如果是几何不变的，则当外荷载为零时，它的全部内力都为零；反之，如果是几何可变的，则当外荷载为零时，它的某些内力可以不为零。

2. 解题步骤

先假设某反力或内力为 $X \neq 0$ ，求解各杆的内力与 X 的关系，若能根据平衡条件求出 $X=0$ ，则体系是几何不变的，否则为几何可变。

3. 零载法的适用条件

零载法只适用于计算自由度 $W=0$ 的体系，且只能区别体系是几何不变与可变，无法区分体系为常变还是瞬变。

1.2 要点与注意事项

几何不变体系的基本组成规则中仅规定了体系成为几何不变体系所需要的最少约束，如果刚片之间的约束数目少于基本组成规则中的要求，则体系缺少必要约束，必为几何可变体系。反之，如果刚片之间的约束数目不少于基本组成规则中的要求，则需要根据体系的布置判断几何构造是否可变，是否存在多余约束。

这一章是结构力学中趣味性较强的内容之一，作题时需要灵活运用三大组成规则，尤其要注意以下几点：

(1) 体系有二元体时，可先去掉二元体；若体系与基础有三根链杆相连，通常可先去

掉基础，之后再找刚片及刚片之间的联系。

(2) 刚片无所谓形状，可用杆件或简单刚片对复杂刚片作替代。

(3) 虚铰的应用，尤其是无穷远处虚铰的应用，要注意体系是否为瞬变体系。

(4) 当体系和大地之间的联系超过 3 个时，往往需要把大地看作一个刚片，通过“顺藤摸瓜”的思想找出其他的刚片和刚片之间的联系。

(5) 切勿重复或遗漏使用约束。

1.3 真题解析

【例 1-1】 填空题

(1) 体系在荷载作用下，若不考虑_____，能保持几何形状和位置不变者，称为几何不变体系。(3 分，哈尔滨工业大学，2005)

(2) 在平面杆件体系中，连接_____为单铰，_____为复铰。(6 分，哈尔滨工业大学，2007)

(3) 三刚片用三个铰两两相连，其中一个铰为无限远虚铰，当_____时，构成几何不变体系。(5 分，哈尔滨工业大学，2011)

(4) 若在瞬变体系上增加一个约束构成新体系，新体系是_____体系或是_____体系。(5 分，哈尔滨工业大学，2012)

(5) 两刚片用两根链杆相连，两根链杆的延长线相交时刚片间会发生的运动为_____；两根链杆平行时会发生的运动为_____。(5 分，哈尔滨工业大学，2012)

(6) 虚铰是指连接_____刚片的_____，其作用相当于_____。(5 分，哈尔滨工业大学，2013)

参考答案：(1) 材料变形。(2) 两个刚片的铰；两个以上刚片的铰。(3) 组成无穷远虚铰之两平行链杆与另二铰连线不平行。(4) 几何不变；几何瞬变。(5) 转动；平动。(6) 两个；两根链杆；交点处的单铰。

【例 1-2】 是非题

(1) 几何可变体系不会有多余联系存在。(2 分，东南大学，2002)

(2) 瞬变体系中一定有多余的约束存在。(3 分，东南大学，2003)

(3) 三个刚片用不在同一条直线上的三个虚铰两两相连，则组成的体系是无多余约束的几何不变体系。(4 分，北京交通大学，1999)

参考答案：(1) 错误；(2) 错误；(3) 正确。

【例 1-3】 试分析图 1.3-1 所示体系的几何组成。

(4 分，清华大学，2004；5 分，哈尔滨工业大学，2010)

解析：A 支座链杆与 AB 杆构成二元体，可去除；同理，F 支座链杆与 EF 杆构成二元体，可去除；再依次去除二元体 C—B—D 和 C—E—D，仅剩余 C、D 两处的支座链杆。因此，原体系为可变体系。

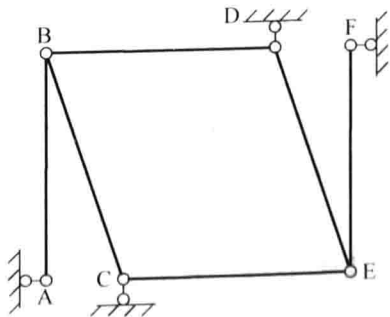


图 1.3-1

【例 1-4】 分析图 1.3-2(a)所示体系的几何组成。(5 分, 哈尔滨工业大学, 2006)

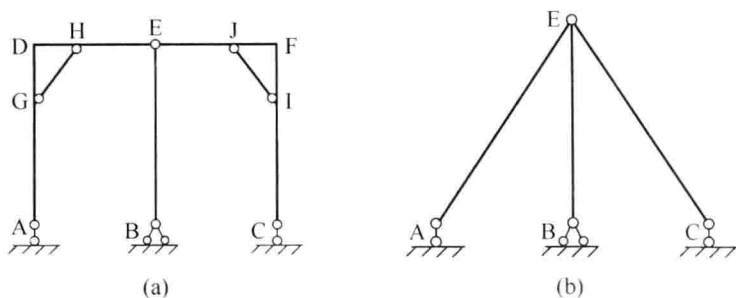


图 1.3-2

解析: GH 和 IJ 为多余约束。如图 1.3-2(b)所示, 可以把 A—D—E—G—H 和 C—F—E—I—J 两个刚片分别用两根杆件代替, 则通过去除二元体, 体系可简化为仅剩 EB 杆及固定铰支座, 因此该体系为几何可变体系。

【例 1-5】 图 1.3-3(a)所示体系的几何组成是: _____。(5 分, 河海大学, 2007)

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

解析: 鉴于刚片的形状可以任意替换, 图 1.3-3(a)体系可替换为图 1.3-3(b)所示体系, 通过依次删减 C 支座链杆与 CE、D 支座链杆与 DE 组成的二元体和 A—E—B 二元体, 可知原体系为无多余约束的几何不变体系, 答案为 A。

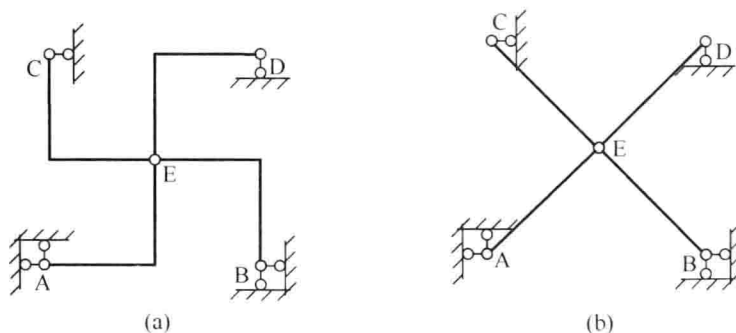


图 1.3-3

【例 1-6】 请对图 1.3-4(a)所示体系进行几何构造分析。(10 分, 华中科技大学, 2004)

解析: 体系与大地仅通过一个固定铰支座 A 和一个不过该铰的支座链杆 B 相连, 因此, 可以先去除大地, 仅考虑上部体系的几何构造特性。K—D—F 和 J—B—L 为二元体, 亦可去除, 则体系可简化为图 1.3-4(b)中的杆件体系。选取 C—G—E—K、A—L—I—G 和 H—J—F 为刚片, 体系满足三刚片规则, 为无多余约束的几何不变体系, 原体系几何构造性质亦然。

【例 1-7】 分析图 1.3-5(a)所示体系的几何组成。(5 分, 东南大学, 2004)

解析: 体系与大地仅通过三根既不共线也不交于一点的支座链杆相连, 因此可以先去

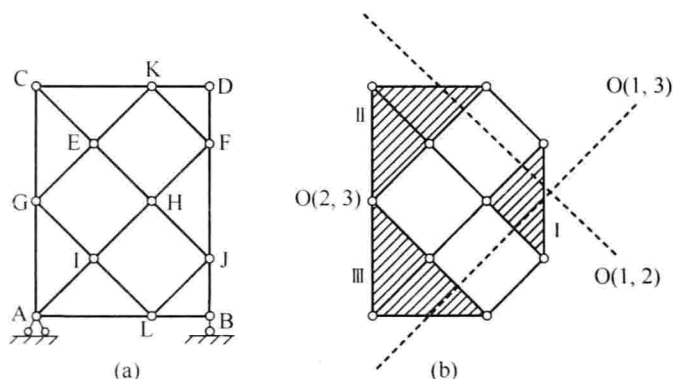


图 1.3-4

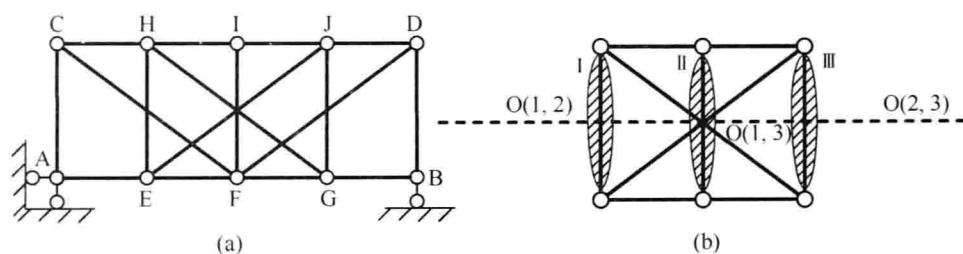


图 1.3-5

除大地，仅考虑上部体系的几何构造特性。依次去除二元体 $C-A-E$ 、 $H-C-F$ 、 $D-B-G$ 和 $J-D-F$ ，原体系可简化为图 1.3-5(b) 所示体系。选取三根竖杆作为刚片，联系三刚片之间的三铰共线，体系为瞬变体系。

【例 1-8】 试分析图 1.3-6(a) 所示体系的几何组成。(8 分，北京交通大学，2002)

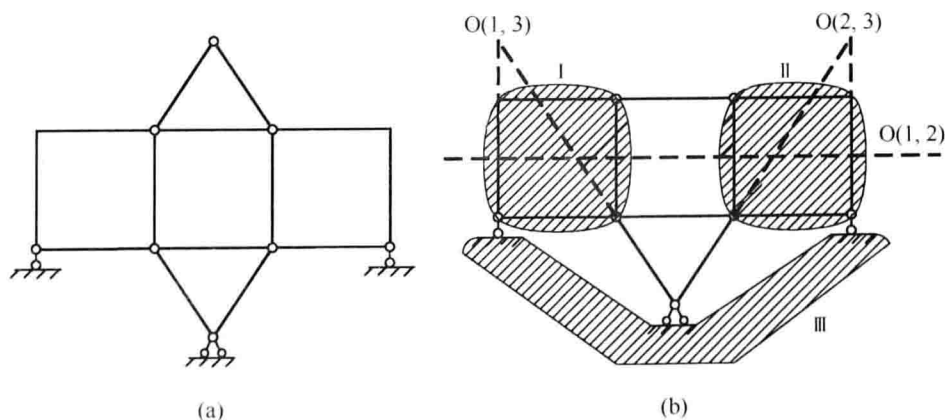


图 1.3-6

解析：去除体系上部的二元体。与大地相连的链杆超过 3 个，可将大地视作一个刚片，再去找寻其他刚片。选取刚片如图 1.3-6(b) 所示，则各刚片之间的联系均为虚铰。无穷远处的虚铰 $O(1, 2)$ 平行于 $O(1, 3)$ 和 $O(2, 3)$ 之间的连线，因此，原体系为瞬变体系。

【例 1-9】 图 1.3-7(a) 为三角形 ABC 及其他链杆所组成体系，试考察 BC 边上 G 铰不同位置与体系整体几何特性的关系，给出简要分析过程。(10 分，北京交通大学，2003)

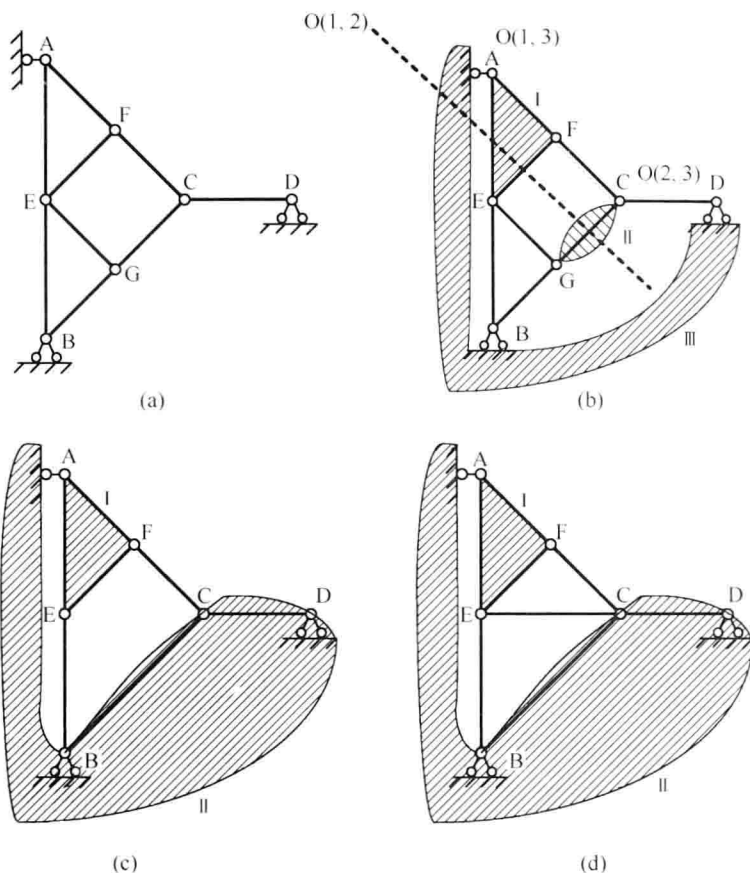


图 1.3-7

解析：观察图 1.3-7(a)所示体系， $\triangle BEG$ 直接与大地固定铰支，可拆解为 3 根链杆看待，因此，与大地直接相连的约束分别为链杆 BE、BG、CD 及 A 支座，超过 3 个，需将大地视作刚片。BG 和 CD 与 GC 杆件相连，BE 和 A 支座链杆与 $\triangle AEF$ 相连，通过“顺藤摸瓜”的思想可以找出如图 1.3-7(b)所示的三刚片。G 铰位于 BC 之间时，三个虚铰共线，体系为瞬变体系。

G 铰在 B 点处时，如图 1.3-7(c)所示，B—C—D 可以看作直接添加在大地上的二元体，可与大地视作一个刚片， $\triangle AEF$ 为另一刚片，两刚片之间通过三根共线的链杆相连，亦为瞬变体系。

G 铰在 C 点处时，如图 1.3-7(d)所示， $\triangle AEF$ 和大地刚片之间通过 4 根链杆相连，其中 BE、EC、CF 三根链杆既不全共线，也不全交于一点。因此，体系为有一个多余约束的几何不变体系。

因此，G 铰由 B 到 C 的过程中，体系的几何特性分别为瞬变、瞬变、有一个多余约束的几何不变体系。

【例 1-10】 分析图 1.3-8(a)所示体系中 B 从 A 移动到 C 时，体系几何组成性质的变化规律。(10 分，北京交通大学，2006)

解析：如图 1.3-8(b)所示，DG 杆与大地通过一固定铰支座和一不过该铰的链杆相连，可与大地视作同一刚片。体系 ACFE 与大地仅通过 FG、CD 和 A 处的链杆相连，这三根链杆既不全平行也不全共线，因此，可以去除大地，仅观察体系 ACFE 的几何构造特性即可。在 B 铰由 A 到 C 的过程中，如图 1.3-8(c)、(d)、(e)所示，ACFE 的几何特性分别为无多余约束的几何不变体系、几何可变体系和无多余约束的几何不变体系。原体系

的几何组成性质亦然。

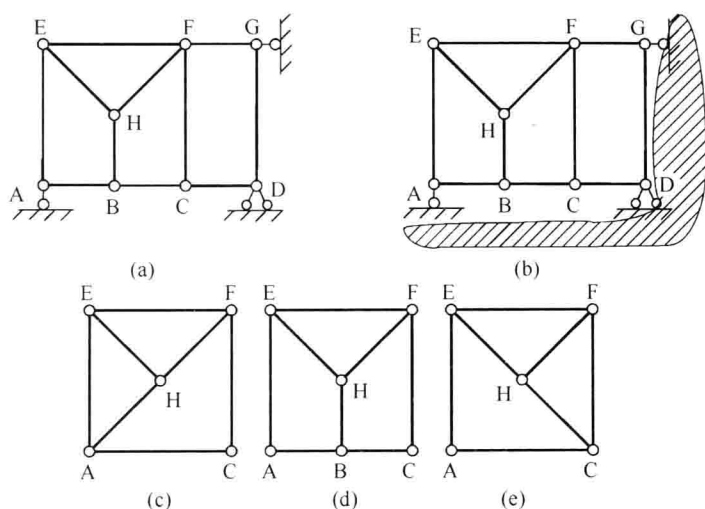


图 1.3-8

【例 1-11】 当 $\alpha \neq 0$ 及 $\alpha = 0$ 时，分别讨论图 1.3-9(a)所示体系的几何构造。(4 分，清华大学，1997)

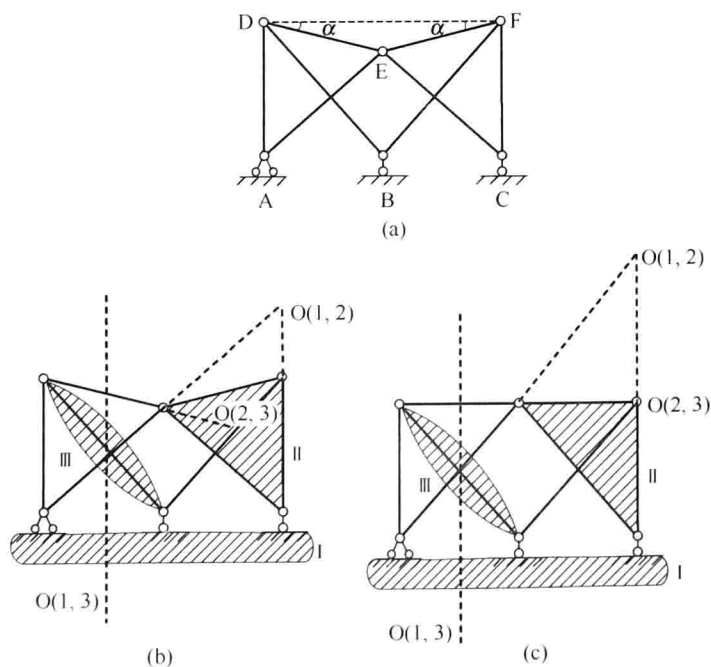


图 1.3-9

解析：体系与大地之间的联系超过 4 个，将大地视作一个刚片， $\triangle CEF$ 和杆件 DB 分别为另两个刚片。当 $\alpha \neq 0$ 时，如图 1.3-9(b)所示，体系为没有多余约束的几何不变体系。当 $\alpha = 0$ 时，如图 1.3-9(c)所示，三铰共线，体系为瞬变体系。

【例 1-12】 在图 1.3-10(a)所示体系中，当去掉支座 A 处的水平链杆，则余下的体系为_____体系；当去掉支座 A 处的竖向链杆，则余下的体系为_____体系。(4 分，浙江大学，2001)

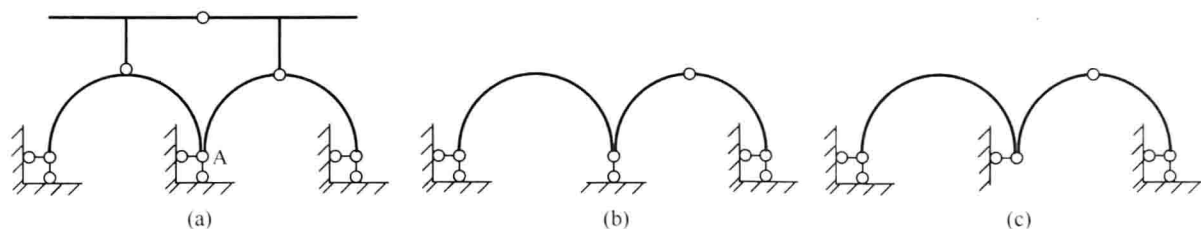


图 1.3-10

解析: 在图 1.3-10(a)中,体系的上部杆件可作为二元体先去除,不影响体系的几何构造特性。再分别去掉支座 A 处的水平和竖向链杆时,则体系可简化为图 1.3-10(b)和(c)。

在图 1.3-10(b)、(c)中,右半边的拱形结构亦可作为二元体去除。可见图 1.3-10(b)所示体系为无多余约束的几何不变体系,图 1.3-10(c)所示体系为瞬变体系。因此,此题答案为无多余约束的几何不变体系和瞬变体系。

【例 1-13】 试分析图 1.3-11(a)所示体系的几何组成。(6 分,哈尔滨工业大学,2004)

解析: 如图 1.3-11(b)所示,取刚片 I、II、III,刚片 I 和 III 之间通过无穷远处虚铰 $O(1, 3)$ 相连,刚片 II 和刚片 III 通过虚铰 $O(2, 3)$ 相连,如果没有铰 A,刚片 I 和 II 之间会通过水平无穷远处的虚铰相连,组成一个无多余约束的几何不变体系,因此,铰 A 的存在使得该体系成为缺少一个必要约束的几何可变体系。

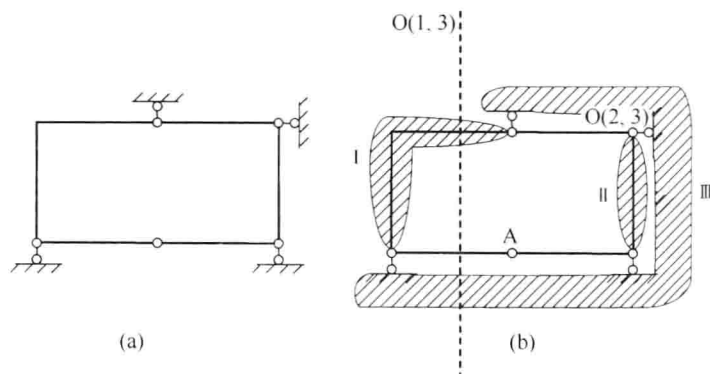


图 1.3-11

此题如直接使用基本组成规则找不到对应的刚片及约束,还可通过其计算自由度值进行判断。体系共有 5 个刚片,5 个单铰,4 个单链杆,因此, $W=5 \times 3 - 5 \times 2 - 4 = 1 > 0$,该体系缺少一个必要约束,为几何可变体系。

【例 1-14】 在图 1.3-12(a)所示平面体系中,试增添支承链杆,使成为几何不变且无多余约束的体系。(6 分,西南交通大学,2005)

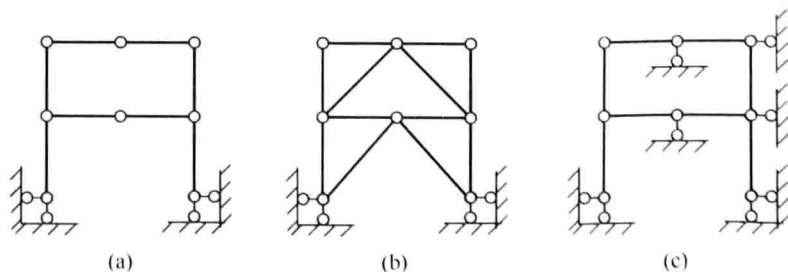


图 1.3-12