

高校经典教材同步辅导丛书

配套高教版·龙驭球 包世华主编

九章丛书

结构力学 I

基本教程

同步辅导及习题全解

主 编 黄淑森

◆ 知识点窍 ◆ 逻辑推理 ◆ 习题全解
◆ 全真考题 ◆ 名师执笔 ◆ 题型归类



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新版

高校经典教材同步辅导丛书

结构力学 I 基本教程 同步辅导及习题全解

主编 黄淑森

内容提要

本书是为了配合由高等教育出版社出版的《结构力学 I——基本教程》(第 2 版)而编写的辅导用书。

本书由知识要点概述、知识点归纳、典型例题的解题技巧及课后习题详解等部分组成,旨在帮助读者掌握课程内容的重点、难点,提高分析问题、解决问题的能力。本书共 10 章,主要内容包括静定结构分析、超静定结构分析、矩阵位移法、动力计算方法等。

本书可作为高等学校土建、水利、力学等专业结构力学课程的辅导教材,也可作为报考硕士研究生人员的辅导教材,同时可供教师备课命题作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学(I)基本教程同步辅导及习题全解/黄淑森主编. —北京:中国水利水电出版社, 2009
(高校经典教材同步辅导丛书)
ISBN 978-7-5084-6649-1

I. 结… II. 黄… III. 结构力学—高等学校—教学参考资料 IV. O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 121052 号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:宋俊娥 加工编辑:刘增萍 封面设计:李佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书 结构力学 I 基本教程同步辅导及习题全解
作 者	主编 黄淑森
出版发行	中国水利水电出版社(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市梦宇印务有限公司
规 格	170mm×227mm 16 开本 18.75 印张 460 千字
版 次	2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—6000 册
定 价	21.80 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

编 委 会

主 编 黄淑森

编 委 (排名不分先后)

程丽园	李国哲	陈有志	苏昭平
郑利伟	罗彦辉	邢艳伟	范家畅
孙立群	李云龙	刘 岩	崔永君
高泽全	于克夫	尹泉生	林国栋
黄 河	李思琦	刘 闯	侯朝阳

前言

《结构力学》是土木专业的重要学科之一。为了能帮助学生更好地学好这门课程,使读者能够更好地理解基本概念,掌握基本知识,学会解题思维方法与解题技巧,我们编写了这本辅导书。本书是配套高等教育出版社出版的,由龙驭球、包世华主编的《结构力学 I——基本教程》(第 2 版)的辅导书。

全书共分 10 章,其中包括绪论、结构的几何构造分析、静定结构的受力分析、影响线、虚功原理与结构位移计算、力法、位移法、渐进法及其他算法简述、矩阵位移法和结构动力计算基础。本书具有很强的理论性和实践性,锻炼学生的思维方式,使其能够分析问题,解决问题。

每章内容包括**知识要点**、**知识点归纳**、**典型例题分析**、**课后习题详解**四个部分。本书在典型例题与习题详解中,通过“**知识点窍**”提纲挈领地抓住题目的核心知识,让学生清楚地了解出题者的意图;运用“**逻辑推理**”引导学生思维,以培养学生科学的思维方法和思维技巧;**解题过程**清晰,步骤完整、数据准确、附图齐全,作图精确。

本书是在校本科生学习《结构力学》课程的辅导教材,也是考研人员复习备考的参考书,同时可供教师备课命题作为重要参考资料。

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2009 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 绪 论	1
知识点归纳	1
第 2 章 结构的几何构造分析	3
本章知识要点概述	3
知识点归纳	3
典型题型的解题技巧	5
课后习题全解	6
第 3 章 静定结构的受力分析	16
本章知识要点概述	16
知识点归纳	16
典型题型的解题技巧	21
课后习题全解	24
第 4 章 影响线	64
本章知识要点概述	64
知识点归纳	64
典型题型的解题技巧	66
课后习题全解	69
第 5 章 虚功原理与结构位移计算	88
本章知识要点概述	88
知识点归纳	88
典型题型的解题技巧	91
课后习题全解	94

第6章 力法	117
本章知识要点概述	117
知识点归纳	117
典型题型的解题技巧	120
课后习题全解	123
第7章 位移法	157
本章知识要点概述	157
知识点归纳	157
典型题型的解题技巧	160
课后习题全解	166
第8章 渐近法及其他算法简述	198
本章知识要点概述	198
知识点归纳	198
典型题型的解题技巧	200
课后习题全解	205
第9章 矩阵位移法	237
本章知识要点概述	237
知识点归纳	237
典型题型的解题技巧	240
课后习题全解	246
第10章 结构动力计算基础	273
本章知识要点概述	273
知识点归纳	273
典型题型的解题技巧	276
课后习题全解	278

第 1 章

绪 论

知识点归纳

一、结构力学的学科内容和教学要求

1. 结构

建筑物和工程设施中承受、传递荷载而起骨架作用的部分称为工程结构,简称为结构。从几何角度看可分为杆件结构、板壳结构和实体结构。

2. 结构力学的研究对象

结构力学以杆件结构为主要研究对象,根据力学原理研究在外力和其他外界因素作用下结构的内力和变形,结构的强度、刚度、稳定性和动力反应,以及结构的组成规律。

3. 课程教学中的能力培养

包括分析能力、计算能力、自学能力、表达能力。

二、结构的计算简图及简化要点

1. 结构体系的简化

既要反映实际结构的主要性能又要分清主次,略去细节以便于计算。

2. 杆件的简化

杆件用轴线简化,连接区用结节表示,杆长用结点间距离表示,荷载作用点也转移到轴线上。

3. 杆件间连接简化

根据实际结构可简化为铰结点或刚结点。

4. 结构与基础间连接的简化

可简化为

- | | |
|----------|----------------------|
| (1) 滚轴支座 | 被支承的部分可平移和转动,不能竖向移动。 |
| (2) 铰支座 | 被支承的部分仅可转动。 |
| (3) 定向支座 | 被支承的部分仅可沿一个方向平行滑动。 |
| (4) 固定支座 | 三个自由度均被固定。 |

5. 材料性质的简化

一般都简化为连续、均匀、各向同性、完全弹性或弹塑性的材料。

6. 荷载的简化

体积力或表面力均简化为作用在杆件轴线上的力,分为集中荷载和均布荷载。

三、杆件的分类

通常分为梁、拱、桁架、刚架、组合结构。

四、荷载的分类

根据作用时间的久暂,分为恒载和活载。根据作用性质,分为静力荷载和动力荷载。

五、学习方法

1. 加法

勤于积累、善于积累

2. 减法

概括、简化、提纲挈领

3. 善问

4. 会用

5. 创新

第 2 章

结构的几何构造分析

本章知识要点概述

1. 重点掌握平面体系几何构造分析的基本规律,能运用这些规律正确地判断是否属于不可变的。
2. 了解自由度的概念,能正确运用自由度公式确定体系的自由度或多余的约束数。

知识点归纳

一、几何构造分析的几个概念

1. 几何不变体系和几何可变体系

在几何构造分析中不考虑材料的微小应变,杆件看作刚片。几何位置和形状固定不变的刚片系称为几何不变体系;几何位置和形状可以改变的刚片系称为几何可变体系。

2. 自由度

体系的自由度等于体系运动时可以独立改变的坐标参数的数目,也就是完全确定体系的位置所需要的独立坐标数。

一个点在平面内的自由度 $S = 2$,在空间 $S = 3$;一个刚片在平面内 $S = 3$,在空间 $S = 6$ 。

3. 约束与多余约束

(1) 约束:用于限制体系运动的装置称为约束。减少一个自由度的装置称为一个约束。

(2) 多余约束:不改变体系实际自由度的约束称为多余约束。

4. 瞬变体系

原为几何可变,在发生微小位移后又成为几何不变的体系,称为瞬变体系。

5. 瞬铰

两刚片由两根链杆连接(并联),这两根链杆的约束作用等效于链杆交点(或延长线交点)处一个铰所起的约束作用,这个铰可称为瞬铰。

6. 无穷远处瞬铰

若连接两刚片的两根链杆互相平行,则两链杆的约束作用相当于无穷远处的一个瞬铰。

二、平面几何不变体系的组成规律

1. 一个点与一个刚片之间的连接方式

规律 1

一个刚片与一个点用两根链杆相连接,且三个铰不在一直线上,则组成几何不变的整体且没有多余约束。

2. 两刚片之间的连接方式

规律 2

两个刚片一个铰和一根链杆相连,且三个铰不在一直线上,则组成几何不变的整体,且没有多余约束。

规律 3

两刚片用三根链杆相连,且三链杆不交于同一点,则组成几何不变的整体,且没有多余的约束。

3. 三刚片之间的连接方式

规律 4

三个刚片用三个铰两两相连,且三个铰不在一直线上,则组成几何不变的整体,且没有多余的约束。

三、平面杆件体系的计算自由度

1. 体系的实际自由度 S 、计算自由度 W 与多余约束数 n

设全部约束对象自由度总和为 a ,非多余约束数为 c ,全部约束总数为 d ,则有

$$\text{实际自由度 } S = a - c$$

$$\text{计算自由度 } W = a - d$$

$$\text{多余约束数 } n = d - c = S - W$$

2. 平面体系计算自由度的公式

$$(1) \text{ 刚片系 } W = 3m - (3g + 2h + b)$$

式中: m ——刚片数; g ——单刚结个数;

h ——单铰结个数; b ——单链杆根数。

$$(2) \text{ 链杆系 } W = 2j - b$$

式中: j ——结点数; b ——单链杆数。

$$(3) \text{ 采用混合法 } W = (3m + 2j) - (3g + 2h + b)$$

(4) 根据 W 值,可以得出如下定性结论:

若 $W > 0, S > 0$ 体系是几何可变。

若 $W = 0$,则 $S = n$,如无多余约束则为几何不变,如有多余约束则为几何可变。

若 $W < 0$,则 $n > 0$,体系有多余约束。



典型题型的解题技巧

例1 试对图 2-1(a) 所示铰接体系作几何组成分析。

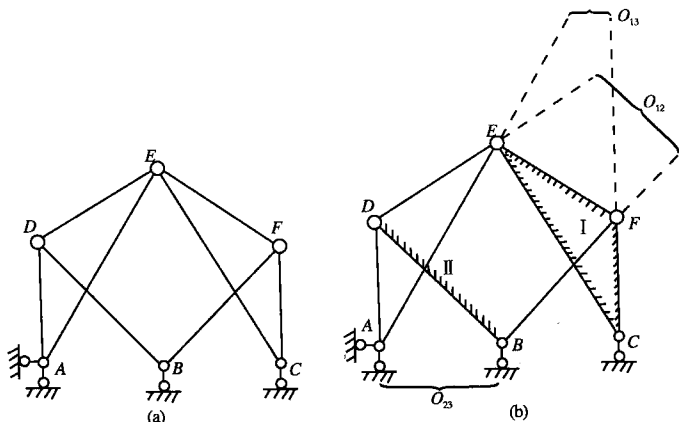


图 2-1

【分析】 把地基看为一个刚片,利用规律 4 解题。

解: 视 $\triangle EFC$ 、杆件 BD 和地基为三刚片,分别用链杆 DE 和 BF 、 AD 和 B 支座链杆、 AE 和 支座链杆 C 两两构成的三虚铰相连,三铰不共线,故体系为几何不变,且无多余约束,如图 2-1(b) 所示。

对于计算自由度 $W = 3m - 2h - b = 0$,支座链杆数 $b \neq 3$ 的体系,必须将体系内部与地基组成一个整体来分析,也就是说在所选的三刚片中,必须选地基为一个刚片。否则若不考虑地基,只分析体系内部的组成时,必然导致缺少约束的错误结论。

例2 试对图 2-2(a) 所示体系作几何组成分析。

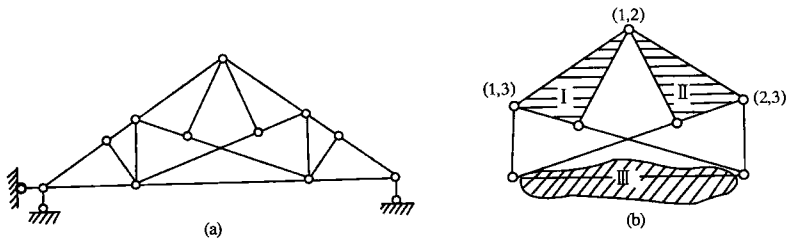


图 2-2

【分析】 不考虑地基,利用三刚片规则解题。

解: (1) 拆去支座链杆,分析上部体系。

(2) 在上部体系中拆去二元片,选取刚片 I、II、III 如图(b) 所示。三个刚片之间的连接符合三刚片规则。

(3) 结论 体系几何不变,无多余约束。

例3 分析图 2-3 体系的几何构造。

【分析】 该题的分析技巧是不断地运用二元体规则,扩大刚片至无法扩大为止,得到大刚片,再找出其他刚片,使题目分析对象大为减少。然后找出刚片之间的联系,再根据规则判断体系的几

何可变性。

解:从地基出发,增加二元体(1,2)、(3,4)、…、(9,10)。生成刚片 I,而刚片 II 由一个三角形加一个二元体得到,刚片 I 与刚片 II 之间用 11、12、13 交于一点的三根链杆相连,故体系是几何可变体系。

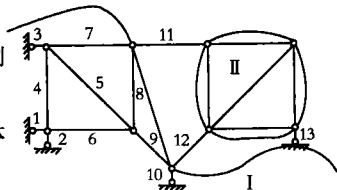


图 2-3



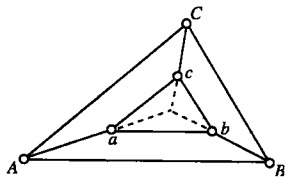
课后习题全解

2-1 试对例 2-1 图所示铰接链杆体系进行几何构造分析。

已知 $AB \parallel ab$ 、 $BC \parallel bc$ 、 $CA \parallel ca$ 。

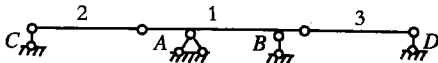
【分析】 根据已知条件,由初等几何证明, Aa 、 Bb 、 Cc 的延长线交于一点,如例 2-1 图所示,故此体系为瞬变体系。

本题也可按三个刚片之间的连接来分析,即将 Aa 、 Bb 、 Cc 三根链杆各视为一刚片, Aa 与 Bb 之间用 AB 、 ab 两平行链杆相连。 Bb 与 Cc 之间用 BC 、 bc 两平行链杆相连, Cc 与 Aa 之间用 CA 、 ca 两平行链杆相连,三对平行链杆构成的虚铰都在无穷远处。在无穷远处的三个铰可看成是同在无限远处的一条直线上,故此体系为瞬变体系。



题 2-1 图

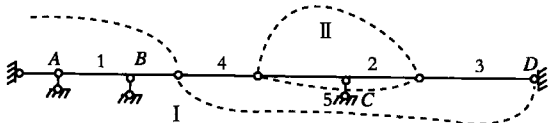
解:(a) 如解 2-1 图(a)所示,杆 1 通过支座 A 、 B 与大地构成一个刚片,把杆 2 与支座 C 及杆 3 与支座 D 构成的结构看作两个二元体,加上二元体后,不影响原结构的几何不变性,所以体系为几何不变且无多余约束。



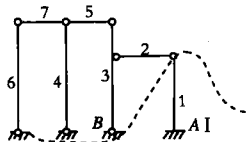
解 2-1 图(a)

(b) 如解 2-1 图(b)所示,杆 1 与大地通过支座 A 、 B 连接成一个刚片 I,把杆 2 看作一个刚片 II, I 与 II 由交于 C 点的链杆 3、4、5 相连,几何可变。

(c) 如解 2-1 图(c)所示,固定支座 A 视为刚片 I,杆 3 视为刚片 II, I 与 II 通过铰 B 及链杆 2 相连,且三个铰不在一直线上,则构成几何不变体系,加上 4、5 及 6、7 构成的二元体,结构的几何性质不变,所以整体为几何不变,且无多余约束。

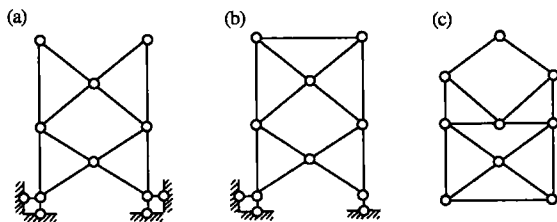


解 2-1 图(b)



解 2-1 图(c)

2-2 试分析图示体系的几何构造。



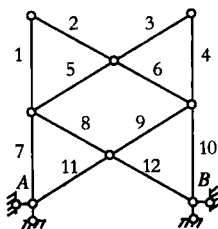
题 2-2 图

解: (a) 如解 2-2 图(a) 所示, 依次去掉二元体 1,2;3,4;5,6;7,8;9,10;11,12;只剩下大地刚片, 为几何不变体系, 且无多余约束。

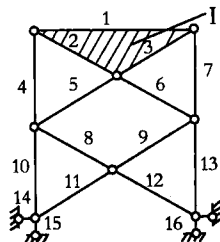
(b) 如图解 2-2 图(b) 所示, 杆 1,2,3 由不在一条直线上的三个铰相连, 构成刚片 I, 加上二元体 4,5;6,7;8,9;10,11;12,13 后仍为几何不变, 大地视为刚片 II, 由不平行且不交于一点的链杆 14,15,16 相连, 所以为几何不变体系且无多余约束。

(c) 合理选择刚片。去掉二元体 8,9, 不予考虑。

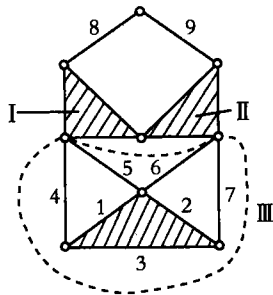
如解 2-2 图(c) 所示刚片, I、II、III 由三铰相连, 但三个铰在一条直线上, 不满足规则要求, 为瞬变体系。



解 2-2 图(a)

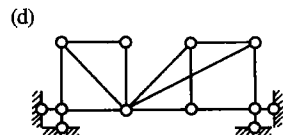
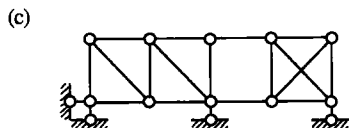
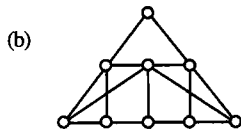
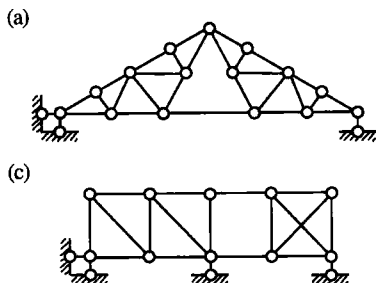


解 2-2 图(b)



解 2-2 图(c)

2-3 试分析图示体系的几何构造。

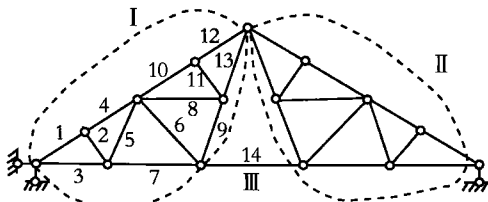


题 2-3 图

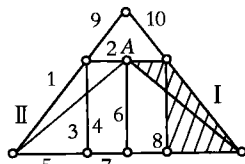
【分析】 (a) 当上部结构通过不平行且不交于一点的三链杆支座与大地相连时, 可不考虑支座, 仅考虑上部结构的几何性质。

(c) 注意对几何组成规律的灵活运用。

解:(a) 如解 2-3 图(a) 所示, 不考虑支座, 左边杆 1、2、3 构成一个刚片, 加上二元体 4、5; 6、7; 8、9; 10、11; 12、13 后构成一个大刚片 I, 同理构成刚片 II, 杆 14 视为刚片 III, 三刚片由不交于一点三个铰相连, 所以为几何不变体系且无多余约束。



解 2-3 图(a)

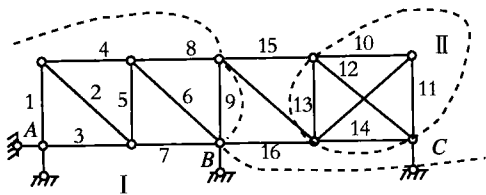


解 2-3 图(b)

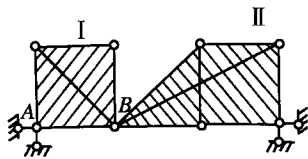
(b) 如解 2-3 图(b) 所示, 杆 1、2、3 构成刚片, 加上二元体 4、5; 6、7; 之后构成新刚片 II, II 与图示刚片 I 由铰 A 与链杆 8 相连, 且杆 8 与铰不共线, 故构成一个几何不变体系, 链杆 9、10 视为二元体, 则整体为内部不变, 无多余约束。

(c) 如解 2-3 图(c) 所示, 杆 1、2、3 构成一个刚片, 加上二元体 4、5、6、7、8、9 之后与大地形成一个大刚片 I, 杆 10、11、12 构成刚片, 它与二元体 13、14 相连构成刚片 II, I 与 II 由不交于一点且相互不平行的链杆 15、16 及支座链杆 C 相连, 所以为几何不变体系, 有 1 个多余约束。

(d) 如解 2-3 图(d) 所示, 易看出刚片 I、II 由共线的 A、B、C 三铰相连, 所以为瞬变体系。

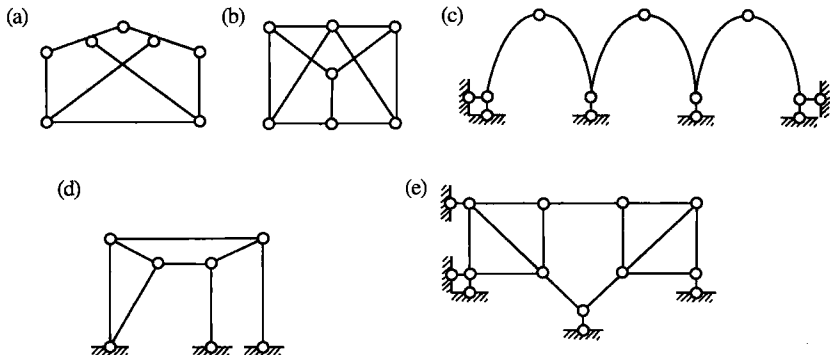


解 2-3 图(c)



解 2-3 图(d)

2-4 试分析图示体系的几何构造。



题 2-4 图

【分析】 (b) 注意对规律的熟练掌握。

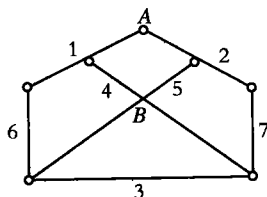
(c) 合理选择刚片及组成规律,对解题十分重要。

(d) 注意掌握无穷远处虚铰的处理。

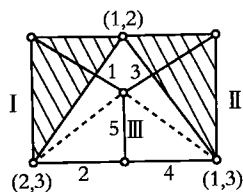
(e) 准确把握组成规律。

解:(a) 如解 2-4 图(a)所示,链杆 1,2,3 由三个铰相连,分别交于铰 A,杆 4,5 形成的交点 B,链杆 6,7 形成无穷远处的虚铰;故为内部不变体系,无多余约束(如三铰共线,则为瞬变)。

(b) 如解 2-4 图(b)所示刚片 I、II 及杆 5(刚片 III), I、II 交于铰(1,2); I、III 由链杆 1,2 相连交于(1,3); II、III 由链杆 3,4 相连交于(2,3);三铰不共线,故为内部不变体系且无多余约束。



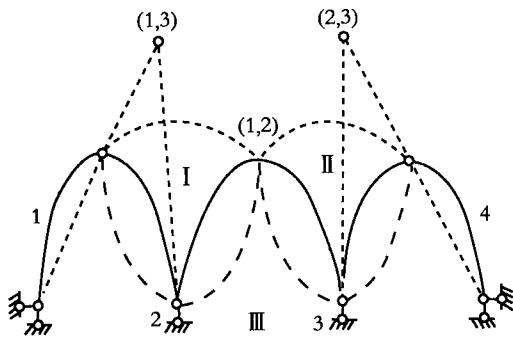
解 2-4 图(a)



解 2-4 图(b)

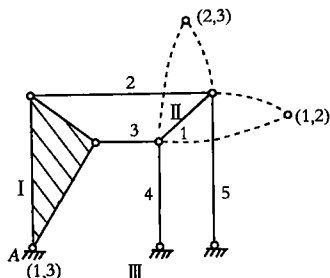
(c) 如解 2-4 图(c)刚片 I、II 及视大地为刚片 III, I、II 交于铰(1,2); I、III 由链杆 1,2 交于铰(1,3); II、III 交于(2,3),三刚片由不共线铰两两相连,所以体系内部不变,且无多余约束。

(d) 如解 2-4 图(d)所示刚片 I, 及视链杆 1 为刚片 II, 大地为刚片 III, 分别交于铰(1,3), 无穷远处虚铰(2,3)及(1,2), 不共线, 所以体系为几何不变, 无多余约束。

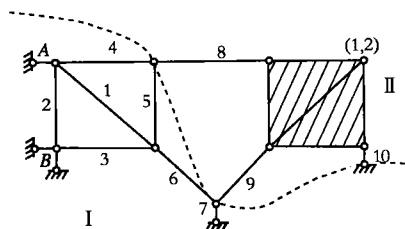


解 2-4 图(c)

(e) 如解 2-4 图(e)所示, 杆 1、2、3 构成刚片, 加上二元体 4、5 后与大地构成新刚片, 视 6、7 为二元体, 如图形成大刚片 I 及刚片 II, I 与 II 由链杆 8、9、10 相连, 交于一点(1,2), 所以体系为瞬变体系。

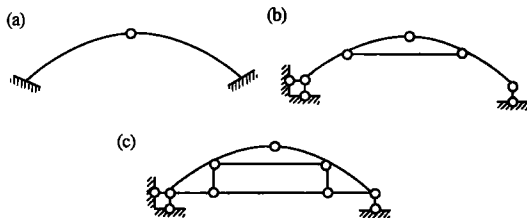


解 2-4 图(d)



解 2-4 图(e)

2-5 试分析图示体系的几何构造。



题 2-5 图

解:(a) 如解 2-5 图(a)所示,刚片 I、II、III,交于不共线的三个铰,故体系为几何不变,有多余约束。



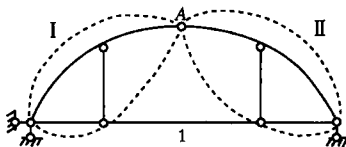
解 2-5 图(a)

解 2-5 图(b)

(b) 如解 2-5 图(b)所示,可不考虑支座作用,只考虑上部结构的几何性质。刚片 I、II 由铰 A 和杆 1 相连,且三个铰不在一条直线上,则构成一个几何不变体系,且无多余约束。

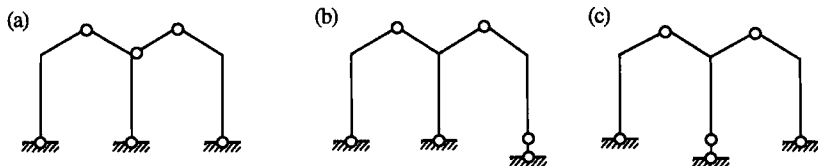
(c) 如解 2-5 图(c)所示,仅考虑上部体系的几何性质。

左侧三刚片由不共线三个铰相连构成新刚片 I,同理有刚片 II, I 与 II 由铰 A 及杆 1 相连,故体系几何不变且无多余约束。



解 2-5 图(c)

2-6 试分析图示体系的几何构造。



题 2-6 图

解:(a) 如解 2-6 图(a)所示,刚片 I、II 及大地 III 由不共线的三个铰相连,几何不变,杆 1、2 视为二元体,故体系为几何不变且无多余约束。

(b) 如解 2-6 图(b)所示,刚片 I、II、III 由三铰相连,几何不变,杆 1 及支座链杆 2 视为二元体,故体系几何不变且无多余约束。