

高等学校土木建筑专业
|应用型本科系列规划教材|

结构力学

习题详解及难点分析

赵才其 ◎ 编著

J I E G O U L I X U E

X I T I X I A N G J I E J I N A N D I A N F E N X I



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高等学校土木建筑专业应用型本科系列规划教材

结构力学习题详解 及难点分析

编著 赵才其

参编 袁良健 赵雅婷

东南大学出版社

· 南京 ·

内 容 提 要

本书是针对东南大学出版社2011年8月出版的“高等学校土木建筑专业应用型本科系列规划教材”《结构力学》(赵才其、赵玲主编),与该教材书后各章习题配套的一本习题详解。全书共11章,即平面体系的几何构造分析、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算、力法、位移法、渐近法、影响线及其应用、矩阵位移法、结构的动力分析、结构的稳定分析、结构的极限分析。

同时为帮助广大考研学生有针对性地系统复习《结构力学》课程,力争在有限的时间内掌握《结构力学》的重点内容,提高复习效率。在每一章编写了重点难点分析及典型例题剖析,精选了部分高校的历年真题作为例题进行详解,指出并归纳总结注意事项。希望通过标准的答题方式,帮助考生培养规范答题的良好习惯,避免考生因不规范答题导致不必要的失分。

本书既可作为普通高校本科土木工程专业(包括:建筑工程、道路桥梁及工程管理等专业方向)以及水利工程、港口航道工程等相近专业的教学参考书,也可作为上述专业广大考研学生的复习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学习题详解及难点分析 / 赵才其编著. —南京:东南大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5641-6207-8

I. ①结… II. ①赵… III. ①结构力学—高等学校—题解 IV. ①0342-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 306259 号

结构力学习题详解及难点分析

出版发行:东南大学出版社

社 址:南京市四牌楼2号 邮编:210096

出 版 人:江建中

责任编辑:史建农 戴坚敏

网 址:<http://www.seupress.com>

电子邮箱:press@seupress.com

经 销:全国各地新华书店

印 刷:常州市武进第三印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16.25

字 数:416千字

版 次:2016年9月第1版

印 次:2016年9月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5641-6207-8

印 数:1—3 000册

定 价:39.00元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

高等学校土木建筑专业应用型本科系列 规划教材编审委员会

名誉主任 吕志涛(院士)

主 任 蓝宗建

副 主 任 (以拼音为序)

陈 蓓	陈 斌	方达宪	汤 鸿
夏军武	肖 鹏	宗 兰	张三柱

秘 书 长 戴坚敏
委 员 (以拼音为序)

程 晔	戴望炎	董良峰	董 祥
郭贯成	胡伍生	黄春霞	贾仁甫
金 江	李 果	李宗琪	刘殿华
刘 桐	刘子彤	龙帮云	王丽艳
王照宇	徐德良	于习法	余丽武
喻 骁	张靖静	张伟郁	张友志
章丛俊	赵冰华	赵才其	赵 玲
赵庆华	周桂云	周 佶	

总前言

国家颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指出,要“适应国家和区域经济社会发展需要,不断优化高等教育结构,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模”;“学生适应社会和就业创业能力不强,创新型、实用型、复合型人才紧缺”。为了更好地适应我国高等教育的改革和发展,满足高等学校对应用型人才的培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等的要求,东南大学出版社携手国内部分高等院校组建土木建筑专业应用型本科系列规划教材编审委员会。大家认为,目前适用于应用型人才培养的优秀教材还较少,大部分国家级教材对于培养应用型人才的院校来说起点偏高、难度偏大、内容偏多,且结合工程实践的内容往往偏少。因此,组织一批学术水平较高、实践能力较强、培养应用型人才的教学经验丰富的教师,编写出一套适用于应用型人才培养的教材是十分必要的,这将有力地促进应用型本科教学质量的提高。

经编审委员会商讨,对教材的编写达成如下共识:

一、体例要新颖活泼。学习和借鉴优秀教材特别是国外精品教材的写作思路、写作方法以及章节安排,摒弃传统工科教材知识点设置按部就班、理论讲解枯燥乏味的弊端,以清新活泼的风格抓住学生的兴趣点,让教材为学生所用,使学生对教材不会产生畏难情绪。

二、人文知识与科技知识渗透。在教材编写中参考一些人文历史和科技知识,进行一些浅显易懂的类比,使教材更具可读性,改变工科教材艰深古板的面貌。

三、以学生为本。在教材编写过程中,“注重学思结合,注重知行统一,注重因材施教”,充分考虑大学生人才就业市场的发展变化,努力站在学生的角度思考问题,考虑学生对教材的感受,考虑学生的学习动力,力求做到教材贴合学生实际,受教师和学生欢迎。同时,考虑到学生考取相关资格证书的需要,教材中

还结合各类职业资格考试编写了相关习题。

四、理论讲解要简明扼要,文例突出应用。在编写过程中,紧扣“应用”两字创特色,紧紧围绕着应用型人才培养的主题,避免一些高深的理论及公式的推导,大力提倡白话文教材,文字表述清晰明了、一目了然,便于学生理解、接受,能激起学生的学习兴趣,提高学习效率。

五、突出先进性、现实性、实用性、可操作性。对于知识更新较快的学科,力求将最新最前沿的知识写进教材,并且对未来发展趋势用阅读材料的方式介绍给学生。同时,努力将教学改革最新成果体现在教材中,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才培养所需的知识点和关键点,突出实用性和可操作性。

六、强化案例式教学。在编写过程中,有机融入最新的实例资料以及操作性较强的案例素材,并对这些素材资料进行有效的案例分析,提高教材的可读性和实用性,为教师案例教学提供便利。

七、重视实践环节。编写中力求优化知识结构,丰富社会实践,强化能力培养,着力提高学生的学习能力、实践能力、创新能力,注重实践操作的训练,通过实际训练加深对理论知识的理解。在实用性和技巧性强的章节中,设计相关的实践操作案例和练习题。

在教材编写过程中,由于编写者的水平和知识局限,难免存在缺陷与不足,恳请各位读者给予批评斧正,以便教材编审委员会重新审定,再版时进一步提升教材的质量。本套教材以“应用型”定位为出发点,适用于高等院校土木建筑、工程管理等相关专业,高校独立学院、民办院校以及成人教育和网络教育均可使用,也可作为相关专业人士的参考资料。

高等学校土木建筑专业应用型
本科系列规划教材编审委员会

前 言

《结构力学》是高校土建类专业本科生的一门重要专业基础课,也是多数考研学生的必考课程。掌握结构力学的基本概念、基本原理和计算方法,对学习后续专业课及解决工程实际问题十分重要。但由于该课程具有概念性强、题型灵活等特点,相对于其他课程不易学深、学透,编写本书就是为了帮助学生能够学好结构力学,深入理解结构力学的重要概念、原理和基本方法,掌握课程内容之间的内在联系,提高分析和解决问题的能力,并力争在有限的时间内掌握结构力学的重点、难点内容,达到融会贯通、明确解题思路、提高复习效率的目的。

本书是针对东南大学出版社 2011 年 8 月出版的“高等学校土木建筑专业应用型本科系列规划教材”《结构力学》(赵才其、赵玲主编),与该教材书后各章习题配套的一本习题详解。全书共 11 章,即平面体系的几何构造分析、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算、力法、位移法、渐近法、影响线及其应用、矩阵位移法、结构的动力分析、结构的稳定分析和结构的极限分析。

同时为帮助广大考研学生有针对性地系统复习《结构力学》课程,在每一章编写了重点难点分析及典型例题剖析,精选了部分高校的历年真题作为例题进行详解,指出并归纳总结注意事项。希望通过较标准的答题方式,帮助考生培养规范答题的良好习惯,避免考生因不规范答题导致不必要的失分。

本书由赵才其、袁良健和赵雅婷编写,赵才其负责全书的整理和统稿。在编写过程中,东南大学土木工程学院的研究生龚康明、徐晨、赵阳建和史典鹏等同学参与了部分习题的检查和校对工作,在此表示感谢!

由于编者水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 4 月于东南大学

目 录

第2章 平面体系的几何构造分析习题解答	1
一、本章要点	1
二、重点难点分析	2
习题 2-1	5
习题 2-2	6
习题 2-3	7
习题 2-4	9
习题 2-5	10
第3章 静定结构的内力分析习题解答	12
一、本章要点	12
二、重点难点分析	15
习题 3-1	20
习题 3-2	21
习题 3-3	22
习题 3-4	23
习题 3-5	24
习题 3-6	25
习题 3-7	26
习题 3-8	28
习题 3-9	29
习题 3-10	30
习题 3-11	31
习题 3-12	38
第4章 静定结构的位移计算习题解答	42
一、本章要点	42
二、重点难点分析	44
习题 4-1	46
习题 4-2	48
习题 4-3	48
习题 4-4	49
习题 4-5	50
习题 4-6	52
习题 4-7	52

习题 4-8	53
习题 4-9	53
习题 4-10	54
习题 4-11	54
习题 4-12	55
第 5 章 力法习题解答	56
一、本章要点	56
二、重点难点分析	60
习题 5-1	64
习题 5-2	65
习题 5-3	66
习题 5-4	72
习题 5-5	74
习题 5-6	76
习题 5-7	79
习题 5-8	81
习题 5-9	82
第 6 章 位移法习题解答	84
一、本章要点	84
二、重点难点分析	86
习题 6-1	94
习题 6-2	95
习题 6-3	97
习题 6-4	100
习题 6-5	102
习题 6-6	103
第 7 章 渐近法习题解答	106
一、本章要点	106
二、重点难点分析	107
习题 7-1	110
习题 7-2	112
习题 7-3	113
习题 7-4	115
习题 7-5	116
习题 7-6	117
习题 7-7	119
习题 7-8	122
第 8 章 影响线及其应用习题解答	124
一、本章要点	124

二、重点难点分析	126
习题 8-1	127
习题 8-2	128
习题 8-3	129
习题 8-4	130
习题 8-5	131
习题 8-6	134
习题 8-7	134
习题 8-8	136
习题 8-9	137
习题 8-10	139
习题 8-11	139
习题 8-12	140
习题 8-13	143
习题 8-14	143
习题 8-15	144
习题 8-16	145
第 9 章 矩阵位移法习题解答	146
一、本章要点	146
二、重点难点分析	150
习题 9-1	153
习题 9-2	157
习题 9-3	159
习题 9-4	163
习题 9-5	164
习题 9-6	171
习题 9-7	178
第 10 章 结构动力学习题解答	186
一、本章要点	186
二、重点难点分析	188
习题 10-1	195
习题 10-2	197
习题 10-3	198
习题 10-4	202
习题 10-5	204
习题 10-6	207
习题 10-7	207
习题 10-8	208
习题 10-9	210

习题 10-10	211
习题 10-11	217
习题 10-12	222
习题 10-13	223
习题 10-14	224
习题 10-15	225
第 11 章 结构的稳定分析习题解答	227
本章要点	227
习题 11-1	227
习题 11-2	228
习题 11-3	229
习题 11-4	230
习题 11-5	232
习题 11-6	234
习题 11-7	234
第 12 章 结构的极限分析习题解答	236
本章要点	236
习题 12-1	237
习题 12-2	238
习题 12-3	238
习题 12-4	239
习题 12-5	240
习题 12-6	241
习题 12-7	242
习题 12-8	243
习题 12-9	244
习题 12-10	245
参考书目	248

第 2 章 平面体系的几何构造分析

习题解答

一、本章要点

1. 几个重要概念

(1) 刚片: 平面体系中不变形的刚体。

(2) 自由度: 是指体系可能存在的运动方式的数目, 即运动时的自由程度。也可以说是确定体系位置所需的独立坐标数。

(3) 约束: 可减少平面体系运动自由度的装置。

常见的约束装置有: 链杆和铰。

① 链杆: 是指仅在两端用铰与别的部件相连的刚性杆。

② 铰:

a. 按照连接刚片的数目, 可分为单铰和复铰。

单铰: 仅连接两个刚片的铰。平面内的一个单铰为两个约束, 可减少两个自由度。

复铰: 连接三个或三个以上刚片的铰。平面内一个连接 $n(n \geq 3)$ 个刚片的复铰相当于 $(n-1)$ 个单铰, 可减少 $2(n-1)$ 个自由度。

b. 按照构成铰的不同方式, 可分为实铰和虚铰。

实铰: 由两根链杆直接交于一点形成的铰。如图 2-1(a) 中的铰 A。

虚铰: 由两根链杆的延长线相交于一点而形成的铰。如图 2-1(b) 中的铰 B。

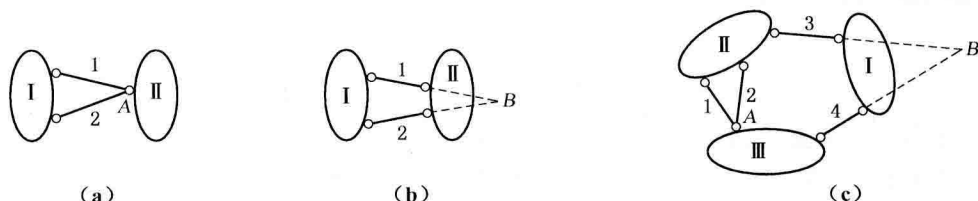


图 2-1

【注意】 在进行几何构造分析时, 虚铰和实铰具有同等作用。由两根链杆相交形成的铰, 要求这两根链杆连接的是同一组刚片, 且每根链杆不能重复使用。如图 2-1(c) 所示, 由链杆 1、2 相交形成铰 A, 而链杆 3 和 4 相交形成的 B 并不是铰, 因为链杆 3、4 分别连接两组不同的刚片。

(4) 计算自由度:

通用公式: $W = 3m - (2h + r)$

式中, m 为刚片数; h 为单铰数(复铰可换算成单铰); r 为链杆数。

对于纯铰接杆系: $W = 2j - (b + r)$

式中, j 为铰结点数; b 为铰接杆件数; r 为支座链杆数。

平面体系的计算自由度分析结果, 一般有以下三种情况:

- ① $W > 0$, 表明体系缺少必要的约束装置, 仍有运动趋势, 体系一定几何可变(常变)。
- ② $W = 0$, 表明体系已具备必要的约束装置, 但若体系布置不合理, 有可能为几何可变。
- ③ $W < 0$, 表明体系具有多余的约束装置, 但若体系布置不合理, 仍有可能为几何可变。

2. 平面体系的分类及其几何特征和静力特征

	分类	几何特征	静力特征
体系	几何不变体系	无多余约束	仅由平衡条件可求出内力的唯一解答
		有多余约束	不能仅由平衡条件求出内力的唯一解答
	几何可变体系	瞬变体系	内力无穷大或不确定
		常变体系	不存在静力解答

3. 几何不变体系的判定规则

(1) 三刚片规则: 三个刚片之间用三个不在同一条直线上的铰两两相连, 构成无多余约束的几何不变体系。

(2) 二元体规则: 所谓“二元体”是指两根不共线的链杆形成一个新结点的装置。在某个体系上增加或拆除若干对二元体, 并不改变原体系的几何构造性质。

(3) 两刚片规则(两种表述)

① 两个刚片之间用一个铰和一根不通过该铰的链杆(含其延长线)相连, 构成无多余约束的几何不变体系。

② 两个刚片之间通过三根既不互相平行, 也不交于一点(含其延长线)的链杆相连, 构成无多余约束的几何不变体系。

二、重点难点分析

1. 单刚结点和复刚结点

类似于单铰和复铰的分类方式, 刚结点亦有单刚结点和复刚结点之分。

单刚结点: 仅连接两个刚片的刚结点。平面内的一个单刚结点相当于三个约束, 可减少三个自由度。

复刚结点: 连接三个或三个以上刚片的刚结点。平面内一个连接 $n(n \geq 3)$ 个刚片的复刚结点, 相当于 $(n - 1)$ 个单刚结点, 可减少 $3(n - 1)$ 个自由度。

【例 2-1】 图 2-2 所示的体系中, 刚结点 A 和 C 均为连接两个刚片的单刚结点, 均减少三个自由度, 而刚结点 B 为连接三个刚片的复刚结点, 相当于两个单刚结点, 故减少 $2 \times 3 =$

6 个自由度。体系的计算自由度为： $W = 3 \times 5 - 3 \times 4 - 2 \times 2 - 3 = -4$ 。通过几何构造分析亦可知，该体系为具有四个多余约束的几何不变体系。

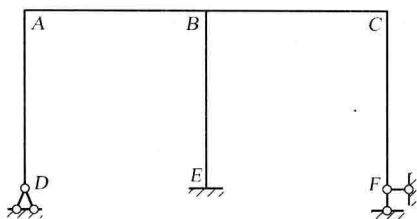


图 2-2

2. 等效链杆的形式

当两个铰之间以曲线或折线相连时，其连接功能与直线相连时完全等价，称为等效链杆。如图 2-3(a) 所示的曲杆和折杆，均可等效为图 2-3(b) 中虚线所示的等效链杆。注意：若整个上部体系与地基之间通过两个铰相连时，亦可将地基看成一根两铰之间的等效链杆。

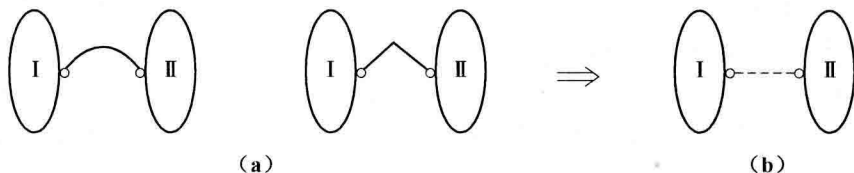


图 2-3

3. 无穷远铰的分析

无穷远铰理论可概括为：

- (1) 同方向的平行链杆只形成一个无穷远铰，不同方向的平行链杆形成不同的无穷远铰。
- (2) 所有的无穷远铰均在同一条无穷远线上。
- (3) 任何有限远点均不在无穷远线上。

体系存在虚铰在无穷远处的情况讨论：

① 一个虚铰在无穷远处

a. 构成无穷远铰的一对平行链杆与另两铰的连线不平行，则为无多余约束的几何不变体系。

b. 构成无穷远铰的一对平行链杆与另两铰的连线平行但不等长，则为几何瞬变体系。

c. 构成无穷远铰的一对平行链杆与另两铰的连线平行且等长，则为几何常变体系。

② 两个虚铰在无穷远处

a. 构成两个无穷远铰的两对平行链杆互不平行，则为无多余约束的几何不变体系。

b. 构成两个无穷远铰的两对平行链杆互相平行但不等长，则为几何瞬变体系。

c. 构成两个无穷远铰的两对平行链杆互相平行且等长，则为几何常变体系。

③ 三个虚铰在无穷远处：属于三铰共线的情况

a. 构成三个无穷远铰的三对平行链杆至少有一对不等长，则为几何瞬变体系。

b. 构成三个无穷远铰的三对平行链杆各自等长且与相关刚片在同侧相连，则为几何常变体系。

c. 构成三个无穷远铰的三对平行链杆各自等长，但至少有一对与相关刚片在异侧相

连,则为几何瞬变体系。

4. 依次分析原则

当体系较为复杂时,可先分析体系的某些部分,若满足刚片规则,则可将其合并视为一个大刚片,再与其他部分一起进行分析。参见教材习题 2-2(d) 和 2-3(c)。

【例 2-2】 试对图 2-4(a) 所示体系进行几何构造分析。(河海大学 2012)

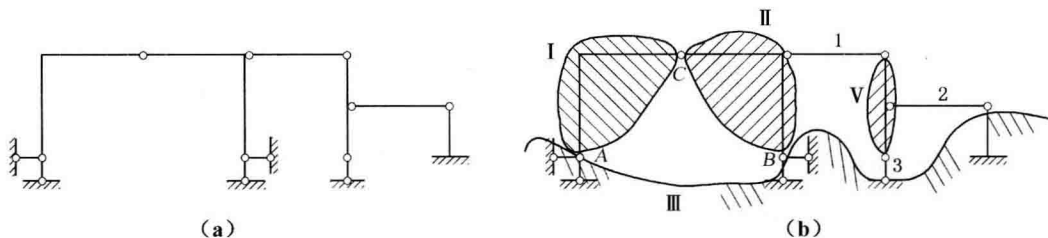


图 2-4

【分析】 如图 2-4(b) 所示,刚片 I、II 与地基刚片 III 之间,分别通过铰 A、B 和 C 相连,满足三刚片规则,构成无多余约束的几何不变体系,故可扩大地基刚片成为刚片 IV,该刚片与刚片 V 之间通过三根既不互相平行,也不交于一点的链杆 1、2 和 3 相连,满足两刚片规则,故原体系为无多余约束的几何不变体系。

5. “后选的刚片应远离已定刚片”的原则

如教材 P16 例题 2-5 所示的体系,若将两个铰接三角形均作为刚片时,刚片之间的链杆就会出现“间接联系”,此时的刚片规则便会失效。为避免发生该现象,必须更换其中的一个三角形刚片。此时选取新刚片的原则为“后选的刚片应远离已定的刚片”,这样可避免因刚片过于集中在某些区域,链杆集中的部位出现间接联系的现象。

图 2-5 中的四个体系均有类似情况。

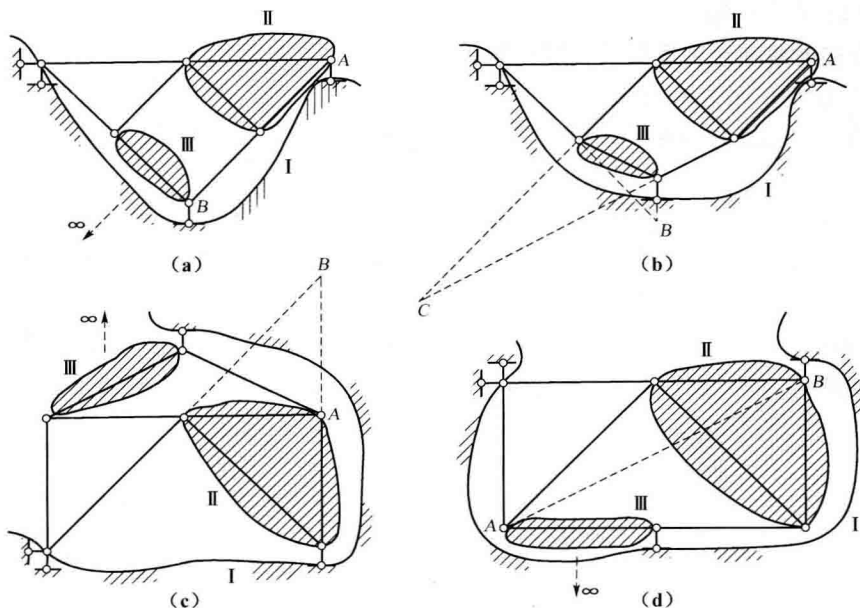
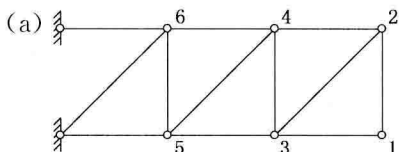


图 2-5

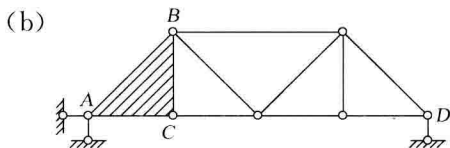
【分析】 图 2-5(a) ~ (d) 所示的四个体系分别为几何瞬变体系、无多余约束的几何不变体系、几何瞬变体系(平行链杆与 A、B 铰的连线平行但不等长)和无多余约束的几何不变体系(平行链杆与 A、B 铰的连线不平行)。

习题 2-1

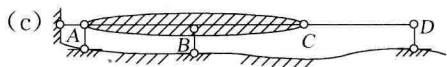


【解】 方法一(拆二元体):从右端的结点 1 开始,按 $1 \rightarrow 6$ 的顺序依次拆除六对二元体后,剩下的地基刚片为无多余约束的几何不变体系。

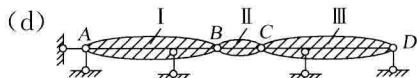
方法二(加二元体):即从地基刚片上从结点 6 开始,按 $6 \rightarrow 1$ 的顺序依次增加六对二元体后,仍为无多余约束的几何不变体系。



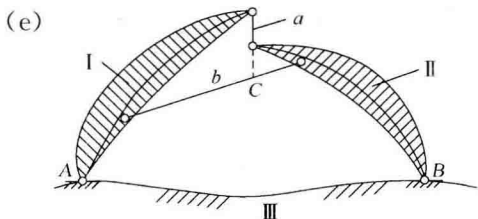
【解】 从铰接三角形 ABC 刚片出发,向右依次增加四对二元体后形成扩大的刚片,与地基刚片之间由铰 A 和竖向链杆 D 相连,满足两刚片规则,故原体系为无多余约束的几何不变体系。



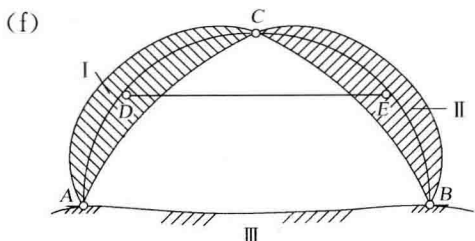
【解】 杆件 CD 与竖向链杆 D 可视为一对二元体,拆除后的 AC 杆与地基刚片之间,由铰 A 和竖向链杆 B 相连,满足两刚片规则,故原体系为无多余约束的几何不变体系。



【解】 杆件 AB 与地基刚片之间,满足两刚片规则,形成刚片 I,它与 BC 杆(刚片 II)和 CD 杆(刚片 III)之间,分别由两个实铰 B、C 和一个无穷远铰(一对竖向链杆)两两相连,满足三刚片规则,故原体系为无多余约束的几何不变体系。

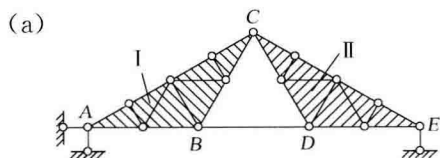


【解】 两曲杆刚片 I、II 与地基刚片 III 之间,通过两个实铰 A、B 和由链杆 a 、 b 形成的一个虚铰 C 相连,满足三刚片规则,故该体系为无多余约束的几何不变体系。

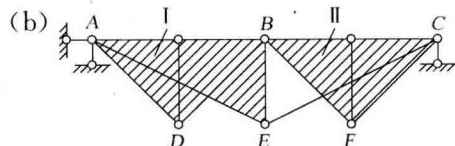


【解】 两曲杆刚片 I、II 与地基刚片 III 之间,由 A、B、C 三个实铰两两相连,满足三刚片规则,且多余一根链杆 DE,故该体系为有一个多余约束的几何不变体系。

习题 2-2



【解】 由铰接三角形通过增加若干对二元体形成的刚片 I、II 之间,由铰 C 和链杆 BD 相连,满足两刚片规则形成一个大刚片,它与地基刚片之间又由铰 A 和竖向链杆 E 相连,也满足两刚片规则,故原体系为无多余约束的几何不变体系。



【解】 三角形刚片 ABD 增加一对二元体 (AE、BE) 后的刚片 I 与三角形刚片 II (BCF) 之间,通过铰 B 和链杆 EC 相连,形成几何不变体系,而该体系与地基刚片之间又满足两刚片规则,故原体系为无多余约束的几何不变体系。