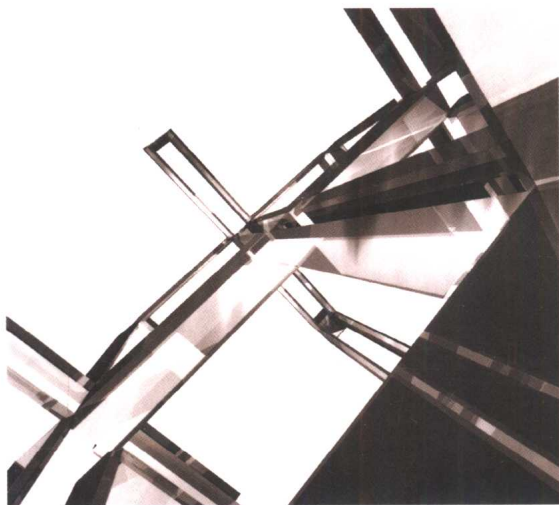




经典教材辅导用书
力学系列

结构力学 题解

曾又林 周剑波 蒋寅军 周艳国



华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

结构力学题解

曾又林 周剑波 蒋寅军 周艳国

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学题解/曾又林 周剑波 蒋寅军 周艳国
武汉:华中科技大学出版社,2005年3月
ISBN 7-5609-3304-1

I. 结…

II. ①曾… ②周… ③蒋… ④周…

III. 结构力学-高等学校-教学参考资料

IV. O342

结构力学题解

曾又林 周剑波 蒋寅军 周艳国

策划编辑:周芬娜

封面设计:潘群

责任编辑:钟小珉

责任监印:张正林

责任校对:朱霞

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华大图文设计室

印刷:湖北科学技术出版社黄冈印刷厂

开本:850×1168 1/32

印张:12.125

字数:292 000

版次:2005年3月第1版

印次:2005年3月第1次印刷

定价:16.80元

ISBN 7-5609-3304-1/O·339

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是高等院校结构力学课程的教学参考书,主要内容为结构力学基本知识要点与习题解答。全书内容包括绪论、平面杆件体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、虚功原理与结构位移计算、力法、位移法、矩阵位移法、力矩分配法与近似法、影响线、结构动力计算、综合测试等,共11章。各章(绪论、综合测试除外)均包含知识要点与例题解析两部分内容:知识要点对该章的理论进行了简明扼要的叙述,并对一般性的解题方法进行指导;例题解析对精心挑选的例题进行了求解。例题题型多样,具有代表性,以基本题为主,适当收入一些难题。结构以平面结构为主,适当涉及一些简单的空间结构,以开阔学生的思路。本书题目由浅入深、循序渐进,便于学生理解与掌握结构力学知识。

本书可作为高等院校土木、水利、机械、航空航天等有关工科专业的本科生和大专、成教、函授、电大、职大及国家自学考试等各种层次的学生学习结构力学的教学参考书,也可作为备考有关专业研究生的结构力学课程的复习资料,还可作为教师的教学参考书。

前 言

结构力学是土木、水利等专业的一门重要的技术基础课,在专业课程中占据了重要的地位,许多专业的研究生入学考试将结构力学列为必考科目之一。为了帮助学生学习结构力学,并为有关专业备考研究生作参考,我们编写了这本《结构力学题解》。

本书包含了结构力学的主要内容(暂不包含结构稳定理论与结构极限分析),各章(绪论、综合测试除外)均包含知识要点与例题解析两部分内容:知识要点对该章的理论进行了简明扼要的叙述,并对一般性的解题方法进行了指导;例题解析对精心挑选的例题进行了求解。例题题型多样,具有代表性,以基本题为主,适当收入一些难题。除了平面结构的例题外,还收入了一部分简单的空间结构例题,以开阔学生的思路。本书题目由浅入深、循序渐进,便于学生理解与掌握结构力学。书的最后在综合测试一章中列入了两套综合测试题,供读者对结构力学进行综合测试时参考。

本书的章节顺序主要参考章监才、曾又林主编的《结构力学》(武汉大学出版社2001年出版),部分习题也取自该书。

参加本书编写的有:曾又林(各章的知识要点),周剑波(第二章第七章的例题解析及综合测试),蒋寅军(第三章、第四章、第九章、第十章的例题解析),周艳国(第五章、第六章、第八章的例题解析)。全书由曾又林统稿。

编者

2004年10月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 平面杆件体系的几何组成分析	(4)
知识要点	(4)
例题解析	(7)
第三章 静定结构的内力计算	(18)
知识要点	(18)
例题解析	(33)
第四章 虚功原理与结构位移计算	(99)
知识要点	(99)
例题解析	(103)
第五章 力法	(128)
知识要点	(128)
例题解析	(139)
第六章 位移法	(176)
知识要点	(176)
例题解析	(186)
第七章 矩阵位移法	(215)
知识要点	(215)
例题解析	(219)
第八章 力矩分配法与近似法	(239)
知识要点	(239)
例题解析	(248)
第九章 影响线	(265)
知识要点	(265)

例题解析.....	(271)
第十章 结构动力计算.....	(303)
知识要点.....	(303)
例题解析.....	(310)
第十一章 综合测试.....	(363)
一、测试题	(363)
二、测试题参考答案	(367)
参考文献	(380)

第一章 绪 论

1. 结构力学的研究对象与任务

结构是建筑物中起骨架作用而承受荷载的部分。结构是一个非常广义的概念。高压输电线塔、房屋、桥梁、大坝、闸门、飞机等都是结构,为了满足使用功能要求,它们都需要承受荷载。按在空间的形态来划分,结构大致可分为杆系结构、板壳结构与块体结构等。杆系结构是一系列由杆件组成的结构,杆件的特点是在长度方向较长,而另两个方向的尺寸较小,是一维结构,如屋架、高压输电线塔等。板壳结构是二维结构,在板壳平面内尺寸较大,在板壳厚度方向尺寸较小,如楼板等。块体结构在空间三个方向的尺寸相近,如大坝等。

结构力学的研究对象是杆系结构。结构力学的任务是计算杆系结构的内力与位移,进而计算杆系结构的强度、刚度与稳定性。

2. 杆件的轴力、剪力与弯矩

结构力学的重要任务之一是计算杆系结构的内力。一根杆件,从中间切开后会有内力:轴力 N 、剪力 Q 、弯矩 M (图1-1)。对内力符号作如下规定。

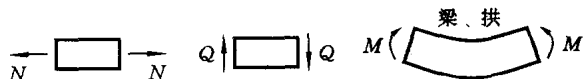


图 1-1

轴力 N 以受拉为正,受压为负。

剪力 Q 以使杆件的微段顺时针转为正,逆时针转为负。

规定弯矩图画在杆件的受拉侧。对梁和拱一般规定使梁和拱下侧受拉的弯矩为正,使梁和拱上侧受拉的弯矩为负。对其他杆件弯矩正负号的方向一般不作统一规定。

当内力符号规定与以上规定不符时,应加以说明。

3. 杆系结构的分类

杆系结构按结构的受力特点通常可以分为如下几类。

(1) 梁:含单跨静定梁、多跨静定梁、超静定梁、曲梁等。

(2) 拱:含三铰拱、超静定拱等。拱的特点是在竖向荷载作用下支座会产生水平推力。

(3) 桁架:桁架由直杆组成,所有结点均为铰结点。

(4) 刚架:刚架由多根杆件组成,结点有刚结点,也可以有铰结点。

(5) 组合结构:指由刚架与桁架组合而成的结构。

杆系结构按结构的空间维数分类又可分为平面结构与空间结构。平面结构的杆件、约束、荷载都位于同一平面内。空间结构的杆件、约束、荷载则不位于同一平面内。部分空间结构可以转化为平面结构来计算。

4. 结构力学课程的学习方法

结构力学是土木、水利等专业的一门重要的技术基础课。在结构力学中,要用到高等数学、理论力学、材料力学等课程的知识,在学完结构力学后,还要学习钢结构、钢筋混凝土结构等课程,因此,结构力学在土木、水利等专业的课程中起到承上启下的作用。在结构力学的学习过程中,要注意复习高等数学、理论力学、材料力学等先修课程的内容,并灵活应用于结构力学。

结构力学课程内容具有很强的连续性。一般来说,前面的内容是后面内容的基础,比如静定结构理论是超静定结构理论的基础,内力计算是位移计算的基础,位移法是矩阵位移法的基础,静力计算是动力计算的基础。只有基础打好了,后面的内容才能学好。因此,学习时要扎扎实实、循序渐进,弄懂每一个问题,一章一章地学,学到后面内容时要随时复习前面的知识。

结构力学还有一个特点,就是强调计算。学习结构力学时,理论学了后,一定要求解一定数量的习题。结构力学理论最终要体现

在解题上,虽然懂了理论,但不会解题,或者一解题就错,是没有意义的,将来甚至可能在实际工程中出事故。只有动手解题,才能更好地掌握理论。结构形式千变万化,不可穷尽,但计算原理是相同的,多看、多做习题,会对常见形式结构进行计算,就能举一反三,计算各种各样的结构。

第二章 平面杆件体系的几何组成分析

知识要点

1. 几何组成分析规则

几何组成分析规则主要有两刚片规则和三刚片规则。

两刚片规则：两刚片由不交于同一点、也不互相平行的三根链杆相连，组成几何不变体系，而且没有多余约束(图 2-1)。

三刚片规则：三刚片由不位于同一直线上的三个铰两两相连，组成几何不变体系，而且没有多余约束(图 2-2)。这里指的铰可以是虚铰，即在三刚片规则中，铰(实际存在的铰)与虚铰的地位相当。两两相连指每两个刚片由一个铰相连。

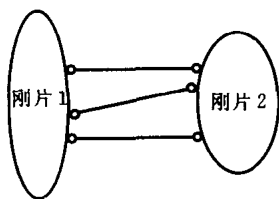


图 2-1

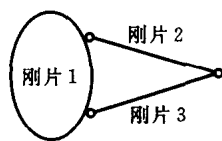


图 2-2

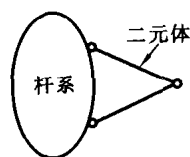


图 2-3

如图 2-3 所示，一个杆系，用不位于同一直线上的两根链杆连接一个新结点，则这两根链杆与这个新结点一起叫做二元体。从三刚片规则可以导出如下的二元体规则。

二元体规则：在一个杆系上增加或者减少一个二元体，体系的自由度不发生变化。原有体系的自由度是多少，增加或者减少一个二元体后体系的自由度仍是多少。原有体系是几何不变体系，增加或者减少一个二元体后体系仍是几何不变体系。原有体系是几何

可变体系,增加或者减少一个二元体后体系仍是几何可变体系。二元体规则实际上是三刚片规则的另一种表述形式。

2. 平面体系的计算自由度

设体系是由各部件加上约束而组成,其中约束分为多余约束和非多余约束,而多余约束不影响体系的自由度。定义: S = 平面体系的自由度,则

$$S = \text{各部件的自由度之和} - \text{非多余约束数}$$

知道 S 就可以判断体系是否几何可变。当 $S > 0$ 时体系是几何可变的,当 $S = 0$ 时体系是几何不变的。

计算 S 必须判断哪些约束是多余约束。由于这种判断比较复杂,再引入比较容易计算的计算自由度 W ,即

$$W = \text{各部件的自由度之和} - \text{全部约束数}$$

由于 $S = W + \text{多余约束数}$,因此得

$$S \geq W$$

当计算自由度 $W > 0$ 时, $S > 0$,体系几何可变。当计算自由度 $W = 0$ 或者 $W < 0$ 时,无法判断 S 是大于零还是等于零,则无法判断体系是否几何可变。

设体系由刚片经铰、支座链杆连接而成, m 为刚片数, h 为单铰数, r 为支座链杆数,则

$$W = 3m - 2h - r$$

如果体系完全是铰接体系,可以看做是铰经链杆连接而成, j 为铰结点数, b 为杆件数, r 为支座链杆数,则

$$W = 2j - b - r$$

3. 几何组成分析的步骤

几何组成分析就是对杆件体系的组成过程进行分析,判断体系是否为几何不变体系,对几何不变体系进一步确定体系的多余约束。

几何组成分析一般应用几何组成分析规则来判断。几何组成分析的主要规则是两刚片规则和三刚片规则,应用这两个规则可

对绝大部分杆系进行几何组成分析。通常要联合应用两刚片规则和三刚片规则来进行分析。应用两刚片规则时,要分清哪些是刚片,哪些是连接刚片的链杆。应用三刚片规则时,要分清哪些是刚片,哪些是连接刚片的铰,要特别注意这里的铰可以是由两根链杆组成的虚铰。

应用规则进行几何组成分析时,一般是从一个初始几何不变部分出发,逐步应用规则将这个几何不变部分扩大。初始几何不变部分通常取:(1)地基;(2)常见静定结构如简支梁;(3)三根链杆由三个铰两两相连组成的铰接三角形。另外,当杆件比较多,又不能应用两刚片规则时,要考虑应用三刚片规则,因为三刚片规则的三个铰可以是6根杆件,再加上三个刚片,则应用一次三刚片规则最多可用到9根杆件。

几何组成分析除了应用规则的方法外,还可以通过计算自由度 W 来判断。但这个方法有局限性,当计算自由度 $W>0$ 时,可以判断体系几何可变。当计算自由度 $W=0$ 或者 $W<0$ 时,则无法判断体系是否几何可变,这时还是要回到应用规则的方法,加上计算自由度 W 的计算容易出错,因此,一般不推荐通过计算自由度 W 来判断体系的几何可变性。

对于特别复杂的杆系,用前面的方法可能得不到结果,这时可用等效替换法、零载法及计算机计算等其他方法。

4. 几何组成与静力特性的关系

无多余约束的几何不变体系是静定结构,由静力平衡方程即可求解结构全部的反力和内力。有多余约束的几何不变体系是超静定结构,由静力平衡方程不能求解结构全部的反力和内力,必须补充方程,多余约束的个数就是超静定的次数。

在对杆件体系进行内力计算之前,首先要进行几何组成分析,排除几何可变体系,确定杆件的组成顺序,并分清静定结构与超静定结构。对于超静定结构,要找出多余约束。

例题解析

试分析图示体系的几何构造。

题 2-1

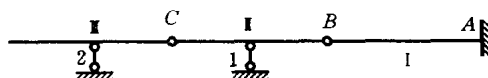


图 2-4

解 将 AB 与地基看做刚片 I，与刚片 II 用铰 B 、链杆 1 相连，按三刚片规则可知，体系几何不变；再用铰 C 与链杆 2 与刚片 III 相连，按三刚片规则可知，体系几何不变，无多余约束。

题 2-2

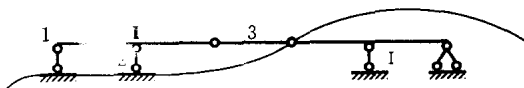


图 2-5

解 右边梁与地基之间简支形成刚片 I，与刚片 II 之间用链杆 1、2、3 相连，按两刚片规则可知，体系几何不变，无多余约束。

题 2-3

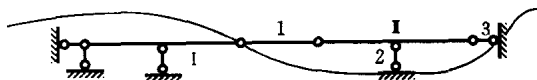


图 2-6

解 左边梁与地基之间简支形成刚片 I，与刚片 II 之间用链杆 1、2、3 相连，三链杆交于一点，体系为瞬变体系。

题 2-4

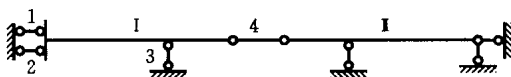


图 2-7

解 刚片 I 与地基用三根链杆相连,按三刚片规则可知,体系几何不变。又刚片 II 与地基简支,生成大刚片,内部加链杆 4,为多余约束。故体系几何不变,有一个多余约束。

题 2-5

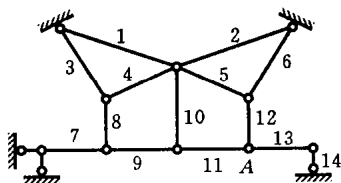


图 2-8

解 从地基出发,依次用二元体规则,增加二元体(1,2)、(3,4)、(5,6)、…、(13,14),组成无多余约束的几何不变体系。

该题也可反向分析。依次拆除二元体(13,14)、(11,12)、…、(1,2),最后只剩下地基,则原有体系几何不变,无多余约束。

从上述分析可以看出,有二元体时,一般按去二元体考虑,可使问题简化。关于哪些链杆可作二元体看,需注意分析问题的指向。例如本例中(11,12)两链杆是否可看做二元体。

已知二元体的定义是:从一个体系中用两根不共线的链杆连接一个新的结点的构造。尽管(11,12)两链杆不共线,共同连接结点 A,但我们不能无条件地说(11,12)两链杆是二元体。强调如下:从去二元体的角度看,只有去掉了连接 A 结点的 13 链杆后,结点 A 只剩链杆(11,12),则(11,12)链杆可作二元体看。从增加二元体角度看,在前面生成的体系中新增加(11,12)链杆连接新结点 A,13

链杆是后加的,此时(11,12)链杆是二元体。故二元体是在增加或减少这一过程中得到确认的,不能静止地看。

题 2-6

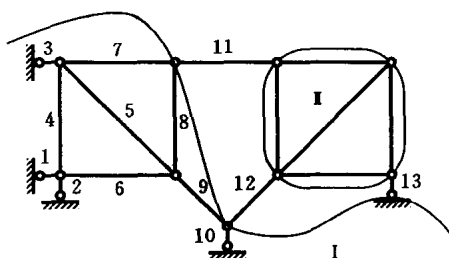


图 2-9

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。

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。

题 2-7

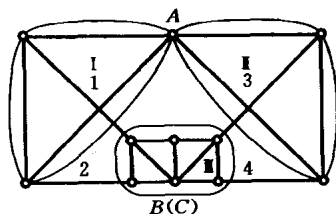


图 2-10

解 当题目中无地基相连时,表明只分析体系自身的几何可

变性。

一般认定三角形为刚片,得刚片 I、II。刚片 III 由小三角形加三个二元体得到,三个刚片由三个铰 A、B、C(其中 B、C 为虚铰)两两相连, B、C 铰重合,故三铰共线,体系是几何可变体系。

题 2-8

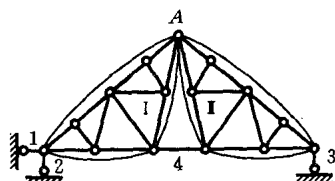


图 2-11

解 当遇到简支体系时,可先分析体系内部。内部不变,与地基相连后整体也几何不变;内部可变,则整体也可变。

内部分析从一小三角形出发,不断增加二元体得刚片 I,同理得刚片 II,刚片 I、II 由铰 A 和链杆 4 相连,按三刚片规则可知,体系几何不变。与地基用 1、2、3 三根链杆相连,体系几何不变,无多余约束。

题 2-9

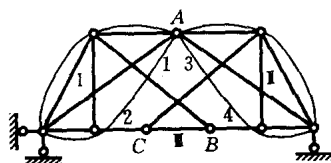


图 2-12

解 先分析内部。三角形加二元体得刚片 I,同理得刚片 II,中间链杆作刚片 III;刚片 I、II、III 由铰 A、B、C(B、C 为两虚铰)两两相连,按三刚片规则可知,体系几何不变。与地基用三根链杆相