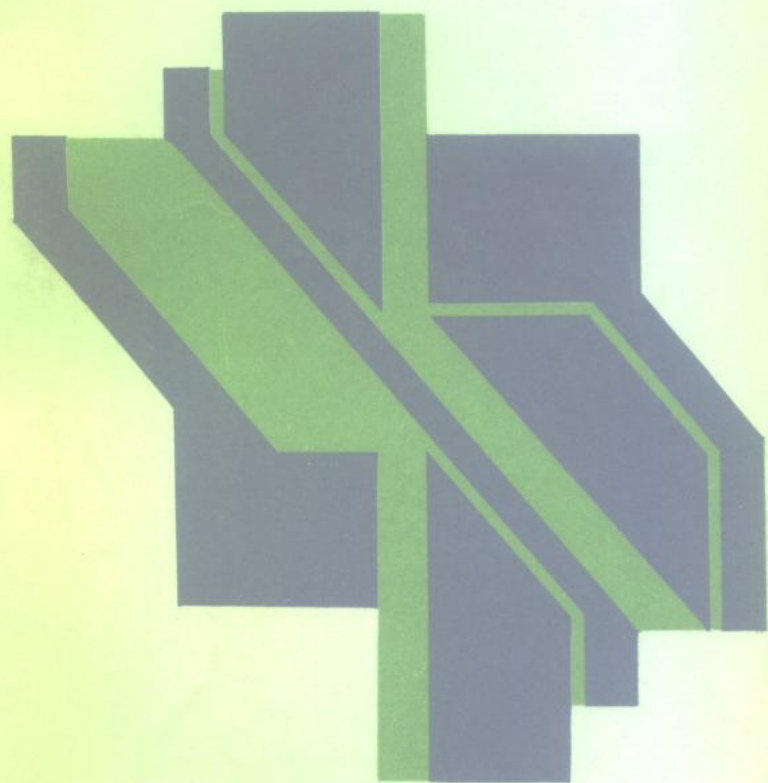


结构分析

〔美〕 H.I. 劳森 著



科学出版社

结 构 分 析

〔美〕 H. I. 劳森 著

邹汉道 肖允徽 张忠国 译
肖明心 校

科 学 出 版 社

1 9 9 5

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书在论述了结构分析基本原理之后,在介绍了经典方法如协调位移法、转角位移法和力矩分配法的基础上,较详细地阐述了矩阵位移法,因而本书对深入研究有限元的科技人员非常有用.书中附有 BASIC 和 FORTRAN-77 计算机程序,可分别用于解联立方程,力矩分配法,以及按矩阵位移法分析二维、三维桁架和平面刚架.

本书是按原书第三版翻译的,主要供高等院校相关专业作教材或教学参考书,也可供广大工程技术人员参考.书中较深入的专题可作为研究生教材.

Harold. I. Laursen

STRUCTURAL ANALYSIS

Third Edition

McGraw-Hill Book Company, 1988

Copyright © 1988, 1989 by McGraw-Hill, Inc.

结 构 分 析

邹汉道 肖允敬 张恩国 译

责任编辑 杨家福

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

蓝 地 公 司 激 光 照 排

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995年1月第一版 开本:850×1168 1/32

1995年1月第一次印刷 印张:16

印数:1—1150

字数:418 000

ISBN 7-03-004248-4/TP·382

定价:18.80 元

译 者 的 话

H. I. 劳森教授所撰写的《结构分析》一书具有很强的适应性，除介绍了传统的经典方法外，还系统地阐述了现代分析方法（矩阵位移分析法）；书末附录中用 BASIC 和 FORTRAN-77 计算机语言编写了求解联立方程和分析诸种结构的程序。这种侧重于现代分析方法并强调工程应用的内容安排，对于我国大学的结构力学课程很有参考价值。

有鉴于此，特在执教之余将该书译出，以供高等院校土木建筑专业的师生和广大工程技术人员参考。

参加本书翻译工作的人员有：邹汉道（第一、六、七、八、九、十章及附录）、肖允徽（第二、三、四、五、十四章）、张忠国（第十一、十二、十三章）。肖明心教授负责全书的审校和统稿工作。

在本书的翻译过程中，承奚绍中教授、欧茂材教授和路文华副教授的热情帮助，谨在此表示感谢。

限于译者水平，书中失误之处在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

作者简介

H. I. 劳森是美国俄勒冈州立大学的土木工程教授. 他于 1958 和 1960 年先后获得俄勒冈州立大学的学士学位和硕士学位, 1964 年获得伯克利的加利福尼亚大学博士学位. 他的校外经历包括他在美国陆军工程兵团、美国森林局、波音航空公司、美国海军土木工程实验室、国家标准局和建筑技术中心等单位的工作. 劳森教授现在是多种机构和公司的顾问, 擅长于结构力学、结构工程、计算机应用, 以及风和地震分析. 他是美国土木工程师协会的会员, 曾出版了《结构矩阵分析》(Matrix Analysis of Structures)、《结构分析》(Structural Analysis)(第一版、第二版和第三版).

序

本版(第三版)仍然强调结构分析的基本原理,但同时又为读者应用计算机方法作了准备. 头几章是结构分析的基本原理,然后是古典方法:协调位移法、转角位移法和力矩分配法. 接着就详细阐述矩阵位移(刚度)法,其阐述的方式便于读者从本书出发继续深入钻研有限元法. 有志于有限元法的读者可逕行阅读矩阵位移法,不必先读古典方法. 附录 B 中有 BASIC 和 FORTRAN-77 计算机程序,可分别用于解联立方程、力矩分配法,以及按矩阵位移法分析二维、三维桁架和平面刚架. 对于需要了解矩阵代数的读者,附录 A 提供了矩阵代数基础.

关于弯矩图、拱、索和矩阵位移法,都是以第二版为基础加以扩充而成. 各章的习题都是新的,题目的数量比第二版增加了很多. 例题也经过扩充并进行了解释. 绪论中关于结构荷载的讨论已按现行规范更新,并且包括了结构安全性的概念. 在例题和习题中用了美国常用单位和 SI(国际单位制)单位. 附录 C 是这两种单位的换算指南. 书末给出了偶数番号习题的答案,给教师提供了一份合用的解答手册.

本书所需准备知识均属低年级的工科课程表中的必修课:静力学、材料力学和微积分学. 本教程主要是供大专水平读者用的,但是较深的几个专题也可作为研究生教材. 本书也可作为从业工程师的参考书.

感谢弗吉尼亚军事学院的 C. D. Buckner, 在本书编写过程中他审阅了全部稿件.

H. I. 劳森

目 录

序	(ix)
第一章 绪论	(1)
1-1 结构的型式	(1)
1-2 分析和设计	(3)
1-3 荷载	(4)
1-4 荷载组合	(17)
1-5 结构的安全性	(18)
1-6 结构的部件	(20)
1-7 结构的表示	(22)
1-8 支座和连接	(24)
第二章 静力学基础	(26)
2-1 隔离体图	(26)
2-2 平衡方程	(29)
2-3 正负号规则	(31)
2-4 剪力图和弯矩图	(34)
2-5 斜杆上的分布荷载	(43)
2-6 叠加原理	(45)
第三章 平面桁架	(56)
3-1 引言	(56)
3-2 桁架记号	(57)
3-3 结点法	(58)
3-4 截面法	(62)
3-5 桁架的几何稳定性和静定性	(65)
第四章 空间桁架	(78)
4-1 平衡方程和静定性	(78)
4-2 空间桁架分析	(80)
第五章 拱和索结构	(94)

5-1	拱的特性	(94)
5-2	三铰拱的分析	(95)
5-3	索的特性	(100)
第六章	位移: 几何法	(116)
6-1	变形图线	(116)
6-2	力矩面积法	(119)
6-3	共轭梁法	(131)
6-4	纽马克法	(135)
第七章	位移: 能量法	(151)
7-1	引言	(151)
7-2	实功	(152)
7-3	内功的形式	(154)
7-4	实功计算位移	(160)
7-5	虚功	(162)
7-6	内虚功的形式	(166)
7-7	虚功计算位移	(168)
7-8	卡氏定理	(180)
第八章	影响系数	(194)
8-1	引言	(194)
8-2	柔度影响系数	(195)
8-3	刚度影响系数	(201)
8-4	杆件单元刚度矩阵	(205)
第九章	影响线	(219)
9-1	影响线的绘制	(219)
9-2	由变形图线绘制影响线	(229)
9-3	影响线的应用	(235)
9-4	绝对最大剪力和弯矩	(244)
第十章	协调位移法	(254)
10-1	协调位移法的基本概念	(254)
10-2	协调位移法的应用	(259)
10-3	三弯矩方程	(268)
10-4	固端弯矩计算	(273)

第十一章 转角位移法	(287)
11-1 基本概念	(287)
11-2 连续梁分析	(289)
11-3 刚架分析	(291)
第十二章 力矩分配法	(302)
12-1 术语	(302)
12-2 力矩分配法的推导	(306)
12-3 刚架分析	(312)
12-4 变截面杆件	(322)
12-5 力矩分配法的矩阵表示法	(324)
第十三章 近似分析法	(333)
13-1 引言	(333)
13-2 近似分析	(333)
13-3 门架法	(339)
13-4 悬臂法	(342)
第十四章 矩阵位移(刚度)法	(351)
14-1 引言	(351)
14-2 单元刚度矩阵	(352)
14-3 组装单元刚度的概念	(354)
14-4 单元刚度矩阵的转换	(358)
14-5 K 矩阵的建立	(368)
14-6 位移和杆力的确定	(377)
14-7 分布荷载和结点间荷载	(378)
14-8 支座(边界)条件	(383)
14-9 矩阵 K 的带宽	(386)
14-10 应用虚功推导位移法	(387)
14-11 温度和装配不良分析	(389)
14-12 确定影响线	(390)
14-13 一种类似的方法——矩阵力法	(393)
14-14 有限元法的基本概念	(398)
附录 A 矩阵代数	(409)
A-1 矩阵定义	(409)

A-2	矩阵的类型	(410)
A-3	矩阵代数	(411)
A-4	行列式	(416)
A-5	线性方程组的解	(419)
A-6	矩阵求逆	(422)
A-7	矩阵的积分和微分	(425)
附录 B	计算机程序	(429)
B-1	联立方程的解和矩阵求逆	(429)
B-2	力矩分配法	(438)
B-3	编码法分析桁架	(451)
B-4	编码法分析刚架	(468)
附录 C	国际单位制与美国常用单位制之间的换算	(483)
	偶数习题的答案	(489)

第一章 绪 论

1-1 结构的型式

作为结构分析的前奏,我们先讨论结构工程中常见的各种结构型式.应该记住,某种具体结构型式的采用与否取决于多种因素,诸如结构的建造目的、美观、可供使用的材料和造价等.本书的目的仅是在分析各种结构的方法方面提供完备的基础.

在所有的结构中最简单的结构之一是简支梁,即一端是滚轴支座另一端是铰支座的单跨梁.这种梁在静力学和材料力学等先修课程中已经讨论过,在此不予赘述.根据材料力学我们知道,简支梁是靠梁内的剪力和弯矩支持荷载的.当荷载向下时,梁内产生一个抵抗力矩,从而在上部纤维中引起压应力,在下部纤维中引起拉应力.形式较复杂的梁从分析观点看是具有固定端的固端梁和连续跨越几个支座的连续梁.分析这两种梁得多考虑一点东西,因为它们**是超静定的**,就是说只凭静力学还分析不了它们.

对于长跨度的情况,桁架结构是常用的.桁架不像梁那样依靠剪力和弯矩去抵抗荷载,它支持荷载主要依靠它各杆件的轴力.桁架的支持作用也和梁有类似之处,当垂直向下的荷载作用于一简支桁架时,其上部的杆件受压力,而下部的杆件受拉力.在同样的条件下,一根梁的上部和下部纤维则分别受压应力和拉应力.桁架中的诸杆件布置成各种三角网.一些比较常用的屋顶桁架和桥梁桁架示于图 1-1.图中所示桁架都叫做**平面桁架**,因为其所有杆件都在一个平面内.有时也用到三维的桁架,它们叫做**空间桁架**.

对于大跨度还用到另一种结构型式,即**拱**,如图 1-2 (a) 所示.从结构的观点看,拱的特点是弯矩相当低,而轴力(压力)相当高.这种特点来源于结构的形状和能产生水平反力的支座这两

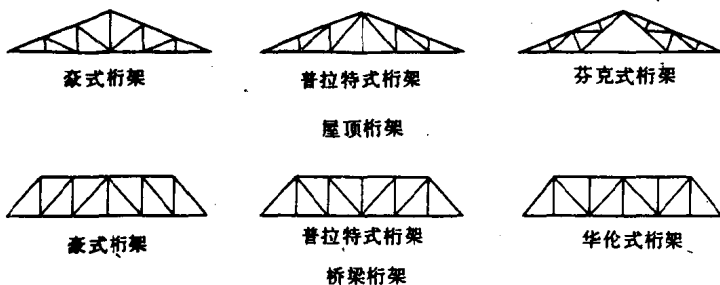


图 1-1

者的结合。可以说拱的性能和图 1-2(b)所示的索的性能差不多正相反。



图 1-2

建筑中另一种常见的结构型式是刚架，图 1-3 示出两架典型

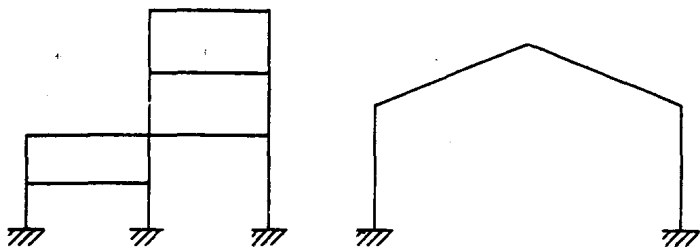


图 1-3

的刚架。刚架的特点可由下述事实刻画，即刚架是由若干能够抵抗弯矩的杆件组合而成，并且，在部分或全部杆件间的连结也能抵抗弯矩。这样结构是刚性的。从分析的观点看，它往往高度超静定。同桁架一样，刚架也可以是三维的。不过，由于三维分析很复杂，一般用两个平面分析处理。

以上这些结构都是就它们的主要构件来进行描述的。除主要构件外，一个结构通常还有次要构件，它们在结构中支持楼盖、墙、屋盖和其它面层。

除了由一些离散的直杆组装而成的结构外，还有些叫做壳的结构由曲面层制成。这种壳结构的例子示于图 1-4。像拱一样，壳的强度主要来自其形状。由于曲面的几何及材料中的三维的相互作用，壳的分析一般十分复杂，有成本的教材专门讲述，因此本书不对之进行分析。

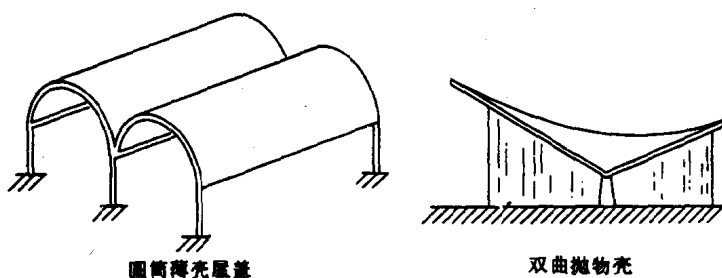


图 1-4

1-2 分析和设计

本书此后常要求学生分析一个构件性质（构件长度、截面几何性质等）为已知的结构。一个合乎逻辑的疑问是，这些构件的性质从何而来？这个问题的回答关系到分析和设计的总概念。

分析，当然应看成是设计的不可缺少的组成部分。结构工程师的主要目标是建造一个经过精心设计的结构。但设计结构首先要通晓结构在给定荷载作用下会有什么样的反应。好，这就是分析的目的，也是本书的目的。至于总把构件性质给出来，是为了帮助初学者在分析给定结构的反应方面能逐渐地熟练。在实际设计中不是按对结构的要求算出构件的性质，而相反，是先假定一

套构件性质再核算它所形成的结构是否满足要求。实际上为使所得结构能产生合乎要求的反应，不得不反复调整所假定的构件性质。要不是怕篇幅过大，把设计同分析结合写在同一本书中可能也有好处。不过，学生们若能理解上文所说的分析的目的，就会发现把分析同设计分开，并安排在设计之前，是较明智的。

1-3 荷 载

作用于结构的荷载一般可分为两种类型：恒荷载和活荷载。恒荷载是由结构各组成部分的重量所形成的荷载，例如屋面材料、楼板和梁等的重量都是建筑的恒荷载。结构所承受的其它荷载，诸如建筑内的物件或车辆就可看成是活荷载。

显然，若知道了结构构件的尺寸和材料的类别，恒荷载的大小可以计算而得。但成问题的是在分析和设计还没有开始之前就要对尺寸有所了解。恒荷载常可根据类似建筑的重量估计而得。某些结构例如桁架，其自重可利用通用公式估计，这些公式是由已经建好的结构的重量推导出来的。

另一办法是先在忽略恒荷载的情况下作一轮分析，根据这一分析的结果可估得恒荷载，然后对结构作有恒荷载的分析。恒荷载下的结构分析和其它荷载下的结构分析所用的方法相同，因此为简单计，本书在例题和习题中除非特别声明将不考虑恒荷载。

要不是有一切根据过去的经验和研究所得的资料可供利用，结构分析和设计所用的活荷载可能很难确定。除特殊情形外，工程师可从诸如标准、报告和设计规范之类的来源查得适当的活荷载值。对于特殊情况，工程师必须作专题研究，或从有关文献中去检索可能有的过去的调研资料。下面是一份用于结构分析和设计的一些标准和规范的目录：

Building Code Requirements for Reinforced Concrete,
American Concrete Institute (ACI), 22400 West Seven Mile
Road, P. O. Box 19150, Redford Station, Detroit, MI 48219.

Cold-Formed Steel Design Manual, American Iron and Steel Institute (AISI), 1000 Sixteenth Street, NW, Washington, DC 20036.

Guidelines for Transmission Line Structural Loading, ASCE 425-84, American Society of Civil Engineering (ASCE), 345 East 47th Street, New York, NY 10017.

Manual for Railway Engineering (Fixed Properties), American Railway Engineering Association (AREA), 2000 L Street, NW, Suite 403, Washington, DC 20036.

Manual of Steel Construction, American Institute of Steel Construction (AISC), 400 North Michigan Avenue, Chicago, IL 60611.

Metal Building Systems Manual, Metal Building Manufacturers Association (MBMA), 1230 Keith Building, Cleveland, OH 44115.

Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI A58.1, American National Standards Institute (ANSI), 1430 Broadway, New York, 10018.

National Building Code, American Insurance Services Group (Engineering and Safety), 85 John Street, New York, NY 10038.

National Design Specifications for Wood Construction (NDS), National Forest Products Association, Forest Industries Building, 1619 Massachusetts Avenue, NW, Washington, DC 20036.

Specifications for Aluminum Structures, Aluminum Association Inc. (AA), 818 Connecticut Avenue, NW, Washington, DC 20006.

Standard Specifications for Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 444 North Capitol Street, NW, Suite 225,

Washington, DC 20001.

The BOCA Basic/National Building Code, Building Officials and Code Administrators International, Inc. (BOCA), 4051 West Flossmoor Road, Country Club Hills, IL 60477.

Uniform Building Code, International Conference of Building Officials (ICBO), 5360 South Workman Mill Road, Whittier, CA 90601.

以下几节将讨论一些经常碰到的荷载, 这些活荷载的资料来自上面开列的文献. 下文的论述不求其广泛, 只求消除有关活荷载值的来源的神秘性.

建筑活荷载

表 1-1^① 是一个为说明建筑的活荷载是按什么方式提供的所举的例子. 所给的值是应予采用的最小值. 此外还有一些由地区、州、联邦和单位拟订的标准, 也提供了这些活荷载的值, 它们大多和表 1-1 中的值近似, 有的是以表 1-1 为根据导出的. 以后有几章我们要讨论荷载应当怎样布置才能使结构产生最大的应力或位移.

桥梁活荷载

活荷载的另一个类型是公路桥上的车辆荷载. 同建筑的情况一样, 有桥梁设计用的活荷载的最小规定值. 图 1-5 示出一标准车辆组, 按照 AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 的标准停放在桥梁上^②, 所示车辆组即所谓 H-S 荷载, 是拖拉机同拖车的一种组合. 规范规定, 桥梁上的活荷载应包括一个这样的车辆组, 或者一个其大小由规范规

① 此表是根据 1985 年版的“Uniform Building Code”(1985 版权)编写的, 已得到出版者 International Conference of Building Officials 同意.

② Standard Specifications for Highway Bridges, 1973, American Association of State Highway and Transportation officials. sec. 1. 2. 5.

表 1-1

用 途 或 使 用 方 式		均布荷载 ^①	集中荷载
项 目	说 明		
1. 出入楼面系统	办公室用	50	2 000 ^②
	计算机用	100	2 000 ^②
2. 军械库		150	0
3. 集会区 ^③ 大礼堂及有关 阳台	固定座位区	50	0
	活动座位区及其它区域	100	0
	阶梯区及封闭式阳台	125	0
4. 檐口, 大门两蓬及住宅阳 台		60	0
5. 太平门设施 ^④		100	0 ^⑤
6. 汽车库	普通车库及/或修理间	100	⑥
	私用或游乐型汽车车库	50	⑦
7. 医院	病房及有关房间	40	1 000 ^②
8. 图书馆	阅览室	60	1 000 ^②
	书库	125	1 500 ^②
9. 车间	轻型	75	2 000 ^②
	重型	125	3 000 ^②
10. 办公室		50	2 000 ^②
11. 印刷厂	印刷间	150	2 500 ^②
	装订间及活字间	100	2 000 ^②
12. 住宅区 ^⑦		40	0 ^⑤
13. 休息室 ^⑧			
14. 检阅台, 看台, 露天看台		100	0
15. 屋顶平台	按与其实际用途相同的场 地或按所提供的使用方式 确定其荷载		
16. 学校	教室	40	1 000 ^②