

刘健行
周德礼
李家宝 编译



建筑师与结构



中国建筑工业出版社

建筑师与结构

刘健行 周德礼 李家宝 编译

本书目的在于给从事建筑设计的读者提供基本的结构知识,以便正确地选择结构形式,在设计构思中作出符合结构要求的决定。编写中采用了直观、形象的方法,利用人们日常经验来说明结构概念,不涉及到高深的数学和力学,也不深入到所有结构细节,通俗易懂,便于掌握。

本书从力学概念开始,阐述结构、构件受力及工作的基本原理直到檐板、壳体、网架空间结构与结构对建筑形式的影响等。

本书可供建筑设计、结构设计初学者,建筑师以及大专学校有关专业学生阅读。

责任编辑 丁宝训

STRUCTURE IN ARCHITECTURE
M.Salvadori & R.Heller
PRENTICE-HALL, INC. NEW JERSEY, 1975
STRUCTURAL DECISIONS
H.W.Rosenthal
CHAPMAN & HALL LTD, LONDON, 1962

建筑师与结构
刘健行 周德礼 李家宝 编译

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 10 3/4 字数: 286 千字
1983年3月第一版 1983年3月第一次印刷
印数: 1— 21,600册 定价: 1.35元
统一书号: 15040·4387

编译者前言

本书主要取材于美国Mario George Salvadori著《Structure in Architecture》(1975年出版)及英国Hans Werner Rosenthal 著《Structural Decisions》(1962年出版)两书。编译本书的目的在于给学习建筑设计的读者提供基本的结构知识,这种知识是建筑师要能够正确地选择结构型式和作出结构决定来实现自己的建筑构思所必须具备的,同时也是建筑师要能够协调地与结构工程师共同从事建筑创作所必不可少的。

现代建筑是多方面专家集体创作的成果。从分工的角度来说,结构设计属于结构工程师的专业范围。但是建筑师通常是各专业工程师之间的协调者,建筑师必须在设计的初步阶段作出结构的决定,向结构工程师提出合理的结构要求,以及在整个设计过程中与结构工程师共同研讨建筑和结构之间可能存在的矛盾。所以建筑师必须比较全面地了解各种结构(包括各种复杂结构)的适用范围、造型特点、在荷载作用下的基本性能及它们的经济性等等;建筑师应该能够对结构作出定性分析和能够较快地作出有用的近似定量判断。但是,建筑师不必象结构工程师那样精深地掌握结构设计原理和方法的所有细节。事实上专攻建筑设计的人绝大多数不具备结构工程师通常具有的高深的数学和力学基础,所以必须有专门的适合于建筑师需要的结构理论书籍,本书所选择的两本原著都是属于这种性质的。

原著的最大特点是把结构和建筑艺术,把结构理论和建筑设计有机地结合起来了;在论述问题的方式上,不象标准的建筑力学和结构设计教科书那样用严谨而高深的数学和力学来进行可能令人感到枯燥的分析和推导,而是尽量采用直观的,形象的方法,广泛地利用人们的日常经验,来帮助读者建立结构概念,而在必

要的理论推导中，也只应用了初等数学和初等物理学，这是所有读过中学的人都具备的知识。然而本书并不因此而显得过分粗浅，因为本书所包含的内容不但从最基本的力学概念开始，论及到了结构及其构件受力工作的基本原理，而且也涉及到了象壳体、网架等复杂的空间结构，以及建筑师在处理大型建筑时可能遇到的一些结构问题。由于本书在内容组织和论述方式上都不同于国内以往为建筑学专业编写的结构教材，因此本书不但可供自学者阅读，而且对建筑师以及为建筑学专业讲授结构课程的教师也会有所裨益。

必须说明的是，原著中的单位制为英制，还引用了英、美规范及材料指标，这都不适合于我国的情况。为了便于初学者学习运用，本书全部改用公制，材料的力学指标则基本上改用我国规范的规定值；举例时所用轧制型钢除目前国内尚不生产的宽翼缘工字钢保留原英制型号但截面几何特征值换算成公制外，其余全部改用国产型钢，其几何特征值可从国产型钢表中查到。书中较多地以钢结构为例来说明问题，这固然与国外钢结构应用较多有关，但也是由于钢材最接近理想弹塑性材料，它的工作性能最符合建筑力学所阐明的结构的普遍规律。虽然国内应用最广的是钢筋混凝土结构，但从领会结构的基本原理和原则来说，在许多地方以钢结构为例可能更容易为初学者所理解。这些原理和原则一般地也适用于钢筋混凝土结构，但是钢筋混凝土结构因其材料性质的复杂性，其构件截面的设计计算方法带有相当的特殊性，这已经超出了本书的范围。

限于编译者的业务水平，本书错误之处在所难免。尚希读者批评指正。

1981年10月于长沙

目 录

编译者前言

第一章 建筑的结构	1
1-1 历史的发展	1
1-2 建筑的现代意义	2
1-3 建筑师和工程师	3
1-4 结构和直觉	4
第二章 结构的要求	6
2-1 基本要求	6
2-2 平衡	6
2-3 稳定	10
2-4 强度	13
2-5 适用	14
2-6 经济	15
2-7 美观	18
2-8 最优结构	19
第三章 结构的荷载	21
3-1 荷载	21
3-2 恒载	22
3-3 活载	24
3-4 温度和沉降荷载	26
3-5 动荷载	29
第四章 结构材料	33
4-1 结构材料的基本性质	33
4-2 材料常数和安全系数	37
4-3 现代的人造材料	39
第五章 力与平衡	43

5-1	什么是力	43
5-2	力的直接平衡与迂回	45
5-3	平衡的几何法则——力的合成、分解及力多边形	47
5-4	小 结	60
第六章	力矩 反力 重心	62
6-1	力 矩	62
6-2	力矩的平衡 重心	66
6-3	反 力	69
6-4	小 结	77
第七章	再论力和分力 悬链和拱	79
7-1	悬 链	79
7-2	悬链线的倒转——拱	84
7-3	自然压力线与门式刚架	86
7-4	小 结	91
第八章	弯 矩	93
8-1	力矩平衡条件在桁架中的应用	93
8-2	桁架图解法	96
8-3	弯矩及梁内弯矩的分布	100
第九章	应力 应变 惯性矩	114
9-1	应力、应变及虎克定律	114
9-2	弹性模量及其对结构的影响	117
9-3	弯应力及截面惯性矩(I)	120
9-4	小 结	133
第十章	惯性矩(I)概念的推广应用和弯曲理论	135
10-1	再论惯性矩(I)	135
10-2	确定弯应力的基本公式	141
10-3	截面模量(Z)与截面的最大抵抗弯矩	145
10-4	从基本公式看如何提高截面的抗弯能力	147
10-5	小 结	150
第十一章	挠度 荷载-跨度关系(一)	154
11-1	弯曲引起的挠度	154
11-2	梁的挠度	156

11-3	荷载-跨度关系	159
11-4	小 结	167
第十二章	荷载-跨度关系(二)	169
12-1	荷载-跨度关系与经济设计	169
12-2	悬臂及连续对跨度有效长度的影响	175
12-3	小 结	180
第十三章	剪切 荷载-跨度关系(三)	181
13-1	剪切与剪应力	181
13-2	剪应力沿构件长度方向的分布规律	183
13-3	梁内水平剪应力及剪应力沿横截面高度的分布规律	193
13-4	剪力对结构决定的影响	198
13-5	从剪力的角度看荷载-跨度关系	201
第十四章	轴心受压构件和偏心受压构件	204
14-1	轴心受压的直接平衡	204
14-2	轴心受压长柱的纵向弯曲	205
14-3	细长度与回转半径	209
14-4	荷载-跨度关系对柱的影响	221
14-5	偏心受压	222
第十五章	再论偏心受压——截面核心预加应力	228
15-1	偏心受压基础的平衡与无拉力极限偏心距	228
15-2	截面核心	234
15-3	截面核心在建筑整体设计中的应用	243
15-4	预加应力	246
15-5	小 结	252
第十六章	超静定门式框架塑性理论	254
16-1	静定和超静定	254
16-2	超静定梁(板)	258
16-3	门式框架	261
16-4	塑性理论	266
第十七章	空间结构(一)——折板和平面空间网架	272
17-1	结构的空作用及空间结构	272
17-2	折 板	276

17-3	平面空间网架	280
第十八章	空间结构(二)——薄膜结构	283
18-1	薄膜作用	283
18-2	主曲率和薄膜主应力	285
18-3	薄膜结构	289
第十九章	空间结构(三)——薄壳结构的几何特征	297
19-1	形抵抗结构	297
19-2	曲 率	298
19-3	旋转曲面	300
19-4	平移曲面	302
19-5	直纹曲面	304
19-6	复杂曲面	305
第二十章	空间结构(四)——薄壳和曲面空间网架	309
20-1	圆穹窿的薄膜作用	309
20-2	圆穹窿的弯应力	312
20-3	圆柱壳的薄膜作用	316
20-4	圆柱壳的弯应力	318
20-5	同向平移壳的应力	322
20-6	鞍形壳的作用	323
20-7	曲面空间网架	327
20-8	扇贝形壳及其它类型壳中的应力	329
20-9	薄壳施工	331

第一章 建筑的结构

1-1 历史的发展

结构是建筑的基本组成部分，而且从来就是如此。无论是为家庭建造一座简单的棚屋或是围护一个巨大的空间来供千万人从事政治、商业、文娱或体育活动，都必须加工某些材料，并用一定数量的这些材料将建筑物建造起来以承受重力及其它危险的作用力。只要可能，就必须耗用劳动和材料来抗风、避雷、抗地震和防火，相对其使用价值来说，这并不是不合理的。而且因为很早以来人们头脑中就形成了美的概念，整个构造都是按照一定的美学原则来构思的，美学对结构的要求有时甚至超乎强度和经济要求之上。

因此，可以认为结构总是被看得很重要的，在一定的意义上，结构支配着建筑。但也不尽然。过去，甚至现在都建造了一些明显地忽视结构正确性的宏伟建筑。象巴特农神殿这样极为美丽的建筑，将典型的木结构表现成大理石的结构形式，从结构上来说是一种错误。事实上，木材是一种长于耐拉的材料，对既需抗拉又需抗压的水平构件，用木材来制作很适宜。而石头仅能耐压，水平构件只有在减小其长度和支承于重型垂直构件（如柱子或墩子）上时才能用石头来建造。因而石制的水平构件是不合理的。另一方面，哥特式教堂由于采用了拱这样一种不会发生拉力的曲线形结构构件，其跨度可达30米而能覆盖数百平方米的场地。石头是建造拱型结构的合理的材料，而哥特式教堂的美既符合我们的美学原则又满足我们对结构强度的感觉。

某些建筑史学家和结构工程师都认为，对结构的高度的注重必然导致美观。显然，正确的结构都会给外行人带来美好的观

感，而错误的结构常常是令人厌恶的。但是，不能说结构就是美观的基本依据。事实上，容易举出一些好看而不正确的结构，而有些正确的结构却并不符合美的原则。也许这样说更为精辟，即：在大多数情况下，结构的正确性是美观的必要条件，但不是美观的充分保证。某些当代的建筑师和工程师，例如坎迪拉（Felix Candela）和奈尔维（Pier Luigi Nervi），都是很有艺术思想的，他们所创造的结构都很漂亮。但是，近年来利用畸形发展的工程技术建造起来的某些过分夸张的建筑则无疑是缺乏美感的。

我们可以作出这样的结论，即对建筑师来说很需要有一定的结构知识，而结构的正确性只能增加建筑的美观。

1-2 建筑的现代意义

古往今来，建筑师都是独具一格的人物，他既是艺术家又是工艺家，既是设计师又是营造师。米盖朗其罗（Michelangelo）称得上画家、雕刻家、建筑师和营造师，罗马梵蒂冈从所有这四个方面铭刻了他的伟迹。然而，在最近的半个世纪中，知识的专门化已经进入了建筑领域，一度委托给一个人的多种职能现在已经由不同的人来分担。在任何一项重要建筑的建设班子中，至少两种人是最基本的，即建筑师和土木工程师。今天，没有一位建筑师敢于在没有结构工程师合作的情况下设计一栋哪怕是普通规模的建筑物。这种依赖性的根源在于经济因素的重要性的增强，在于我们的教育安排方面，尤其是在于我们的整个文明对于结构的全部种类的数量增长的需要。

最近几个世纪人口增长速度加快，社会为每个人提供了更多的服务，我们每一个人都需求而且也获得了更多的受教育、医疗保健、文化娱乐和旅游活动的机会。整个的环境允许、也迫使大量的人集合到同一厅堂中去从事我们这个时代所特有的各种各样的社交活动。巨大的车站、巨大的体育场、大剧院、大竞技场不

断增加，都市的密集促使高层建筑出现。巨大的结构已经成为我们文明的象征。另一方面，为亿万人提供住房、学校和医院是我们社会的基本目的的一个方面。

建筑师受到了这些艰巨任务的挑战；外行注意到建筑在他自己生活中的重要性，常常关注着各项巨大的建设工程。而专家们则必须解决新的、困难的课题，同时不能不顾及他们的工作对一般人民的影响。倘若外行懂得专家的基本任务，而专家们本身又有一相互了解的共同结合，则在专家和群众之间的这种相互影响可能导致较好的、更正确的建筑。这是包括建筑师的教育和建筑普及两个方面的现代建筑教育的中心课题。

1-3 建筑师和工程师

今天，每一个建筑师和每一个攻读建筑的学生，都或多或少地承认结构知识的重要性，但是觉得这种知识的获得要比想象的困难一些。以新材料（诸如钢筋混凝土、预应力混凝土或塑料）的应用为基础的建筑技术的迅速发展，以及新的结构形式（诸如各种形状的大型屋顶）的设计中所固有的数学困难，使得对一个基本上具有创造力前景的人来说，几乎不可能同时具有掌握设计和施工新方法的潜力。现代的建筑师，或者当代最新的人文学者，应该熟悉美学、工程学、社会学、经济学、生态学，以及一般地应熟悉计划学，但是，在传统的影响下，他常常是优先地被培养成为一个艺术家。为了懂得现代技术，他所必须熟识的基本工具往往受到了局限：数学、物理和化学在他的课程中不是基本课目。

另一方面，工程师在社会学、美学和计划学等方面的知识正如建筑师在技术方面的知识一样受到了局限。在建筑师和工程师之间的对话实际上存在着隔阂，他们缺乏共同语言。

然而这种对话是必要的。有人可能不知道，首先究竟是工程师应兼具建筑师的知识，还是建筑师应兼具工程师的知识。但用

不着多思考就可以认识到为什么主要应由建筑师来沟通这种隔阂。在一个建设班子中，建筑师居于领导地位，工程师只是其中之一员。通常建筑师是在从设计的各个不同方面向他提出建议的各行各业专家之间充当协调者的，他具有职责和荣誉，而工程师只是配合工作，虽然工程师的工作也是创造性的。

考虑到一般群众显露的对建筑的日益增长的关切，是否可能使建筑师和一般群众都能从结构的角度来对建筑课题有所了解呢？在缺乏充分的数学、物理和经济学教育的情况下，是否有这种可能呢？或者说，结构机能的本质有没有可能为没有经过数学和物理的科学训练的有才智的人所理解呢？

如果把对基本的结构概念具有一定的了解与对结构分析具有精通的知识明确地区别开来，则以上问题的答案是肯定的。

1-4 结 构 和 直 觉

显然，只有经过最严格的数学和物理的科学教育，才可能使设计者能够分析复杂的结构而达到现代技术所要求的精湛程度。今日之结构工程师是专家中的专家，是土木工程师中的一个分支。由于科学技术的新发展，使结构工程师愈益专门化：目前一部分结构工程师特长于钢筋混凝土，有些人仅特长于钢筋混凝土屋顶，甚至有的专长于某一种特定形式的屋顶。去向这类专家请教某种特殊型式的结构，就会象去向一位医学专家请教一种罕见的疾病一样。

但同样明显的是，一旦结构分析的基本原理已经建立起来，则不一定要是一位专家才能在纯物理的基础上理解这些原理。在日常生活中我们都有一定的结构常识：我们知道在怎样的角度下扶梯才能承受住我们的体重而不致滑倒在地板上；当我们走上搭在小溪上的桥板时，我们会知道它受不受得住；我们知道我们的绳子是不足以把一桶水从井中提上来；知道在野营地撑起的帐篷会不会被风刮走。为了使这种知识系统化并达到理解现代结构的

工作状态和道理，上面这些经验的利用正是相当容易的一步。

外行可能发现这种探究是引人入胜的。建筑师则会觉得这是必不可少的：没有这种探究他很快就会被排除在现代建筑领域之外。对于有兴趣的群众，这是一种饶有趣味的业余爱好；对于建筑专业的学生以及实践中的建筑师则是其职业的基本需要。

一旦已经掌握了基础知识，建筑师就必须进一步熟悉更严密的结构理论。这些理论会使建筑师有能力应用丰富的、一些年来甚至一些大建筑师都不能利用的新思想和新方法。

在这种新的能力和灵活度中存在着一种明显的危险。艺术被极度地夸张，这种灵活度可能易于导致混乱。因为在今天，几乎任何结构都是可能建造起来的，重要的问题是“应不应该建造？”而不是“可不可能建造？”建筑师不大会受到技术困难的妨碍，这就可能陷入极不正当的结构的泥坑。诚然，一位今日的普通建筑师可以达到仅仅在一百年以前的特别卓越的建筑师难以达到的巨大成就，但这种成就不单是技术的成果，而更是血汗的成果。

下文试图把读者引导到结构的领域里去而不强求严谨的数学和物理知识。这不是说要把结构弄成初等的、不完整的或者简单化的东西。相反，本书以后各章中所反映的一些结构概念是精深而复杂的；但是在感性的基础上它们能够为读者所掌握，并从一般建筑的角度来予以认识。希望关于结构机能方面有较多的知识，才能够使有志的学生对结构设计的较精密的方面有较容易的理解。

第二章 结构的要求

2-1 基本要求

材料生产、施工技术和结构分析方法的现代发展已经给建筑设计带来了新的灵活性，大大地扩展了他的眼界。在以后的各章中将会说明在这一领域里所获得的成就，阐述和分析现代建筑最常用的结构体系。

这种新的灵活性并不排除现代结构必须满足一定的基本要求，这些要求往往已经成为好的建筑的基础，可将其归纳成以下几个方面：平衡、稳定、强度、适用、经济和美观。

2-2 平衡

平衡的基本要求就是要保证建筑物或它的任何一个部分不致于发生运动。显然，这一要求不能绝对化，因为有些运动是不可避免的和必要的；不过，建筑物的允许位移与其尺寸比较起来总是如此之小，以致肉眼看来建筑物似乎是静止的和无变形的。

保证特别简单的结构平衡的某些基本条件很容易想象到。用钢丝绳悬挂着的升降机是被钢丝绳的拉力支承着的，而钢丝绳又是挂在建筑物顶部的滑轮上。如果升降机重1000公斤而且是静止的，则钢丝绳就对升降机产生一个1000公斤的拉力。升降机的重量和钢丝绳向上的拉力相等而互相抵消：升降机处于平衡之中（图2-1）。两个人以相等的力对拉一根绳子，绳子不会移动，因为绳子处于平衡状态（图2-2）。但是如果其中一人用的力比另一人大，他就会把他的对手从其位置上拉过来，两个人和绳子都会移动：失去了平衡。同样，如果一重1000公斤的雕塑安装在

一基座上，则基座对雕塑产生一个1000公斤的向上支承力（图2-3）。如果基座所产生的向上支承力小于此值，则雕塑会下落，而不足以平衡。

这些浅显的例子说明，如果作用在一物体上的某一方向内的力互相对消，则此物体在这个方向内不会发生运动：作用在给定方向上的一个力必须与作用在相反方向上的一个相等的力相对抗。凡是出现了这样的状态，我们就说在那个方向内存在着平衡，或者称为“直线平衡”。



图 2-1 竖向力的平衡

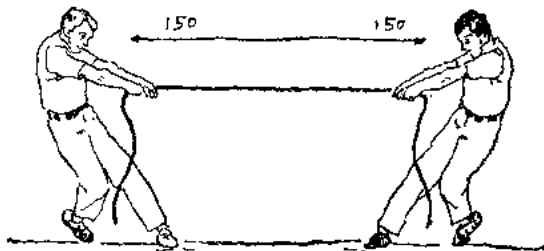


图 2-2 水平力的平衡

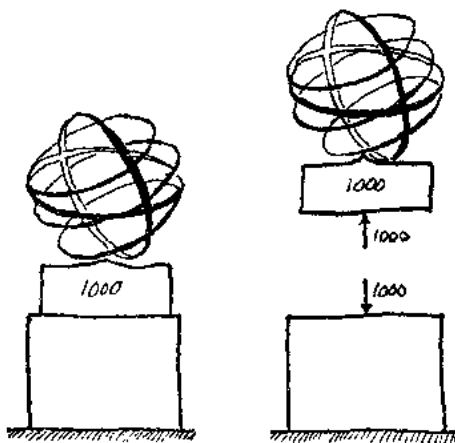


图 2-3 竖向力的平衡

当一辆机车通过一座桥时，此桥在垂直方向的平衡反映了一种稍为复杂一些的情况。桥梁架设在两端的桥墩上，如果忽略桥梁本身的重量，当机车位于跨度中央时，每一桥墩支承机车重量的一半；机车的重量由两个相等的“支座反力”所平衡(图2-4a)。当机车从左端刚开始进入桥梁时，它的重量几乎全部由左端桥墩的反力来支承。当机车驶过桥梁时，左端桥墩的反力逐渐减小而右端桥墩的反力逐渐增大(图2-4b)，直到机车正好驶离桥梁的时刻右端承受机车的全部重量为止(图2-4d)。不论机车在什么位置，桥梁总是将它的全部重量传给两个桥墩。为了竖向的平衡，两个反力之和总是要等于机车的重量，但两个反力的数值则随重量的位置而不同。

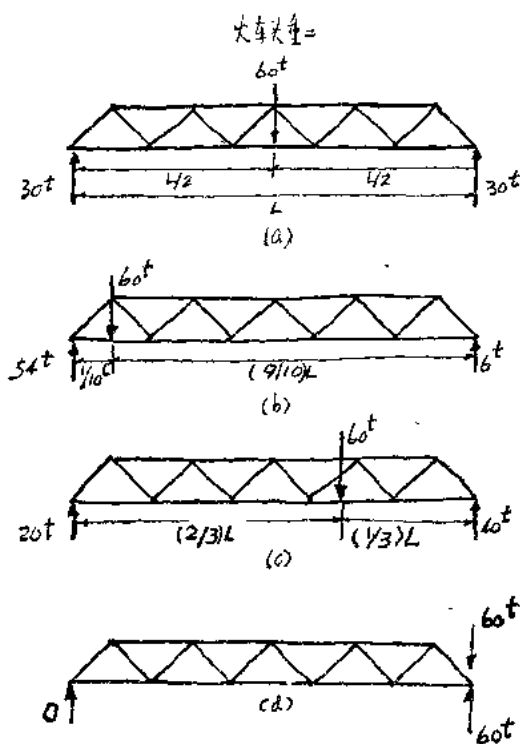


图 2-4 桥梁的反力