



国外建筑与城市设计译丛

建筑中的结构思维

建筑师与结构工程师设计手册

Structure As Architecture

A Source Book For Architects And Structural Engineers

(新西兰) Andrew W. Charleson 著
李凯 边东洋 译
杨小东 (鲁革) 审校



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国外建筑与城市设计译丛

建筑中的结构思维

建筑师与结构工程师设计手册

(新西兰) Andrew W. Charleson 著

李 凯 边东洋 译

杨小东 (鲁革) 审校



机械工业出版社

本书由 Andrew W. Charleson 所著，从对具体案例分析出发，分析了结构对建筑造型、建筑功能、室内空间特征及细部设计的影响，并着重阐述结构的美学表现潜质仍然是建筑设计中最有活力的理念，并使当代建筑的前景更为丰富多彩。相信本书会对广大建筑设计师和结构工程师有所裨益。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑中的结构思维/(新西兰) Andrew W. Charleson 著; 李凯, 边东洋译. —北京: 机械工业出版社, 2008. 3

(国外建筑与城市设计译丛)

ISBN 978-7-111-23568-2

I. 建… II. ①A…②李…③边… III. 建筑结构—研究 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 029145 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 赵 荣 责任编辑: 罗 筱 版式设计: 霍永明

责任校对: 王 欣 封面设计: 张 静 责任印制: 李 妍

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×230mm·14.75 印张·215 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-23568-2

定价: 58.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379773

封面防伪标均为盗版

序

勒·柯布西埃在他的个人宣言式的《走向新建筑》中曾写到向工程师学习。书中阐述了建筑师应该具有结构工程师那种对功能的认知，而不要将精力放在外加的琐碎装饰上，柯布的态度甚至是完全摒弃了在当时一度流行的古典繁琐建筑语汇，建筑师应该着重处理材料的搭接、构造的逻辑、人对空间的使用。或许书中有这样的解读：结构形体所构成的空间本身就是一种美学。

即便将时间追溯到古典建筑时期，具有时代标杆意义的建筑都有其结构技术背景。结构的形式成就了建筑动人的体量与空间。万神庙采用空间环向拱结构，半圆穹形穹顶横跨中央内殿，并在穹顶中央开设直径为 8.9m 的圆窗采光。整个结构单一、纯练、封闭、统一，内部空间庄严、肃穆、明朗和谐。圣索非亚教堂作为拜占庭建筑最光辉的代表，通过帆拱和穹顶的组合，获得水平伸展、复合式的空间。同时，对结构的科学认知，穹顶通过骨架传力，在圆穹顶设有 40 根拱肋，拱肋之间开设 40 个窗洞。在晴天，充足的光线透过窗洞弥漫开来，拱肋淡化在弥漫的光线中，穹顶显得轻巧剔透。而哥特式教堂采用的尖肋拱和飞扶壁则将结构和建筑艺术完美地结合起来，获得凌空腾跃的空灵建筑形象。结构直接构成了建筑的特殊形态，并且具有精神层面上的意义。

随着交通枢纽、大型体育场馆等新类型建筑的出现，建筑对结构的高度和跨度都有了更加深远的要求。对材料及结构体系的受力特征认知更为合理，结构的表达技巧更为丰富。创新的结构表现和受力平衡形式就像杂技艺术，营造出符合功能需求的空间，也带来更具震撼力的建筑形象，结构也由建筑功能的需求上升为美学的表达媒介。

那么或许具有至少两类美学上的结构体验。其一是符合

逻辑的严谨的美学，充分体现结构的本源和理性。其二是新奇、特殊的空间体验，结构在建筑中成为炫技的主角。

而这本由 Andrew W. Charleson 所著的《建筑中的结构思维》一书从实例分析出发，分析了结构对建筑的造型和功能以及室内细部设计的影响，正如书中所叙述的那样，结构的美学表现潜质，仍然是建筑设计中最有活力的理念，并使当代建筑的前景更为丰富多彩。

杨小东于 Archiradio Studio
时间空间文化传播（北京）

前 言

本书探索了结构用以丰富建筑美感的各种潜能，那就是梁、柱、框架、支柱和其他结构构件。在最基础的层面，我希望能提高建筑师对于结构的认知，即结构是建筑的一个不可或缺的元素，而不是仅仅作为一项实用的技术。我也希望能激发建筑师来自己设计结构。也就是说，为了清楚地了解他们的设计理念而来关注设计的每一个方面，当然是与结构工程师一起合作。在结构对建筑作出贡献的地方，而不是只扮演承受荷载的角色，它还为设计贡献了另一层次的艺术性和实用性。它增加了趣味性，丰富了人们对于建筑物的享受，改善了它们的适用性，振奋了住户的精神。

为此，本书争取改变一种关于结构的看法，这种看法至少在建筑学学生中普遍存在，即结构只是建筑的一个纯粹的技术成分，甚至在最坏的情况下，是一个必要的罪恶。贯穿本书的各个实例详细说明了结构是一个不可缺少的建筑元素，它被彻底地整合与包含于建筑之中，并发挥着重要的作用。它吸引着用户们的感受、心情和思想。作为设计者，我们有必要去质问自己，结构怎样才能帮助我们将艺术性和实用性融入我们的设计作品，使其更加丰富和完善。

我写这本书主要是为了建筑学学生以及建筑师，同时也希望这本书能为那些渴望进一步了解结构的建筑学功能的结构系学生和结构工程师给予帮助。本书中包含对 170 多例建筑物的图解，是一本充满建筑设计灵感和想法的资源书，同时也是一本能帮助设计师用来借鉴并反思他们自己作品的书籍。它提供了大量的各类关于结构显著增强建筑思想、理念和特性的先例。书后的索引对照着这些实例，并有一份按首字母顺序排列的表单供日后的学习查阅使用。

本书所作的研究以文献评论作为开始。不过，这种做法的限制也是明显的。那些建筑学学生所读的关于结构的

书籍大多倾向于集中在结构力学分析与设计之上，而很少探索结构在建筑学上的应用。建筑设计文章在这个方面也同样存在限制。他们描述并分析建筑的各元素，包括结构，但是除了检查结构的空问定义和排序的功能之外，他们很少顾及结构对建筑作出贡献的那些方面。同样的，他们的实例分析也大部分采用的是 20 世纪前期的砖石建筑，而不是使用现代结构材料和系统建成的建筑物。不幸的是，试图分析结构对于所选建筑物的建筑贡献的做法也同样不是那么成功，虽然这些建筑物是从更多一般建筑文化中所选出来的。由于相关文字的稀少以及与建筑物结构明确相关的外露材料的不足，许多关于某构件不能充当结构角色的问题依然有待解答。出版的摄影图片往往只能提供一个建筑物的有限并且人为选择的视角，它们只是对建筑物的参观的一个可怜的替代品。

这种选择方法是为了从实地考察旅行，因此在调研比较集中的 1993 年、2001 年和 2004 年期间，我参观、学习并研究了多达 250 个主要的当代建筑。其中的大多数都是在我查阅了许多建筑书籍和前五到十年内出版的期刊之后，赶在出行之前所选出来的。选择的重要标准是这些建筑中结构对于建筑学的贡献程度大小，而不是其他的建筑设计特性或结构设计特性。同样的，在第二和第三次实地考察的旅程中都把在《Thiel-Siling, S. (ed.) (1998) *Icons of Architecture: The 20th Century*》中所评论的“图标的”建筑包含在内。我尽可能客观地对这些被选择的建筑作出关于结构所能提供的建筑学帮助的研究。一张一览表能帮助焦点的观察和集中，特别是当建筑物内外的活动和展示比结构本身更加吸引人的时候。

在进行调研的期间我并没有考虑量的分析，虽然这些一般都是结构工程师们每天考察的对象。我主要是进行质的分析步骤从而构成观察和集中反映，目标是为了加深对于结构和建筑相互作用的理解和鉴赏。这样一种分析过程需要对结构的主观解读，而这种解读不可避免地会从我作为一名结构工程师的 30 年工作经验，以及 30 年中的后 18 年中在一所建筑学校中教授结构类课程的经验中所散发出来。

本书的范围受到地域和建筑物类型的限制。在我的学校的图书馆内，建筑类藏书是以西方建筑类书籍为主导，而且那些被选择来作为值得考察研究的建筑物也大部分位于西欧以及北美的一部分区域。至于建筑物类型，国内的住宅常被排除在研究对象之外，这是因为进入其中有困难，且不缺少其他可研究的选择。对于建筑尺寸的范围比较宽广，但是由于建筑学学生和大多数建筑师所从事的设计都会采用比较保守的尺寸，因此很少有人会将注意力集中在大跨度或高耸结构之上。对于建筑物与读者之间关联的考虑也导致了对于完成于 20 世纪 90 年代的当代建筑的关注。

Andrew W. Charleson

致 谢

本工作得到了许多社团和组织的支持。新西兰水泥和混凝土协会、新西兰钢结构工业、新西兰木结构设计协会和惠灵顿维多利亚大学对 1992 年第一阶段的研究提供了赞助，并在 2001 年第二次实地考察中给予经费支持。此外，在这些实地考察的前期、中期和后期还得到了大学夏季研究补助金的支持。维多利亚大学还为 2004 年最后阶段赴美国的考察筹备了资金。

我还要对我的几位研究助理表达我最诚挚的感谢，感谢他们为这项工作所作出的巨大帮助。Jim McKie 和 Virginia Jamieson 在研究处于一种非常棘手的初期投入了这项工作，而他们的后任 Greg Miller 则为 2001 年研究考察做好了准备工作。Sam Martin 和 Katherine Bowron 则在本书开始成形时开始接任，他们带来了高年级建筑学学生对于章节设计的看法。Katherine 绘制了本书的图表。

建筑设计学院的许多同事为本工作作出了很多有益的帮助。来自 Mark Taylor, Julieanna Preston, Martin Hanley, Anna Kemble Welch, Christina McKay, Elizabeth and Peter Russell, Geoff Thomas, Robin Skinner and George Baird 的评论帮助我改善并确定前两章内容，特别是在文章的初期阶段。来自 John Gray 和 Werner Osterhaus 的建议，以及来自建筑设计学院图书馆全体同事的大力协助也让我倍受感动。摄影部门的 Paul Hillier 和 Ella Reed 处理了非常多的照片，而 Peter Ramutenas 和 Brent Hardy 提供了必要的计算机支持。

最后，我要感谢我的妻子 Annette，她的支持与鼓励贯穿于整个工作的始末。

除非特别说明，图片由作者本人拍摄。

目 录

序	III
前言	V
致谢	VIII
第1章 介绍	1
结构丰富建筑之美的潜质	1
体验与解读结构	2
结构及其外露程度	3
全书纵览	5
第2章 两幢建筑物的研究	7
大不列颠国立音乐学校 (BRIT)	7
柏林巴兆隆域火葬场	13
小结	17
第3章 建筑形式与结构形式之间的联系	19
介绍	19
建筑形式和结构形式的合成	23
壳体结构	23
膜结构	25
悬索结构	26
肋架结构	27
拱	29
框架结构	30
墙	32
协调一致的形式	34
对比的形式	41
小结	49
第4章 建筑物外部	51
介绍	51

美学特点	53
装饰作用	53
表面纹理及其深度	57
遮挡与过滤作用	61
结构尺度	64
外部与内部的连接	66
入口	69
表达作用	72
小结	79
第 5 章 建筑物的使用功能	81
介绍	81
增大使用功能的灵活性	82
划分空间	87
标明通道	95
空间隔断	99
小结	103
第 6 章 内部结构	105
介绍	105
表面结构	106
空间结构	114
充满表现力的结构	123
小结	130
第 7 章 结构的细部设计	133
介绍	133
响应的、有表现力的细部设计	135
建筑外形	135
建筑功能	137
材料与施工	139
结构行为	146
其他的灵感来源	150
细部设计的美学特质	152
介绍	152

从优雅到实用	152
从简单到复杂	155
从轻巧到厚重	157
从朴素到装饰性	163
小结	165
第 8 章 结构与光	167
介绍	167
光线之源	168
争取最多的光线	174
最小化结构尺寸的细部设计	174
穿越结构单元	177
透明建筑	179
改变光线	180
过滤	180
反射	182
为光线所改变	183
小结	186
第 9 章 表象与象征	189
介绍	189
表象性	190
自然世界	190
人造物品	195
象征性	200
小结	205
第 10 章 总结	207
介绍	207
结构的变形能力	208
结构差异性	208
对建筑及结构工程专业的启示	209
建筑索引及参考文献	211
后记	224

第 1 章

介 绍

……结构可以是各种形状的。如柱状的、平面的，或者各种形状的混合体，只要它能充分凸显和实现设计师的理念，任何一种形状都是可能的。在这种前提下，我们用频率、样式、简单性、规律性、随意性和复杂性等设计概念来考察柱、墙和梁。这样，结构就能分隔空间、创建单元、标明通道、引导走向、发掘空间组合和模数关系。通过这种方式，它就不可避免地而那些创造出建筑学特质与激动人心之处的结构元素联系在一起。^[1]

结构丰富建筑之美的潜质

通过上面的文字，Clark 和 Pause 描述了结构的建筑学特质，并说明了结构是如何丰富了建筑之美。但是，它对现实主义建筑是否有着积极的作用呢？你最近看到过某个建筑物的结构方案能引领建筑方案或者能为建筑方案带来某种眼前一亮的感觉么？你在哪里能够找到结构对于划分空间和装饰表面发挥积极作用的建筑实例呢？或者这么说，结构怎样才能丰富建筑之美呢？这些问题组成了本书的框架——即其焦点和范围所在，并引发了下文对丰富建筑之美的结构形式的探究。

也许一些读者会认为 Clark 和 Pause 将结构作为一个完全集成的建筑元素的叙述是不合乎实际的。通常我们并不太注意在生活中对结构的体验，这是因为在大多数的建筑环境中，结构是被隐蔽起来而没有明显特征的。常见的情况是它被建筑物外围的不透明面板或玻璃幕墙遮蔽了起来。在建筑物内部，横梁通常被悬吊式天花板所遮蔽，而柱、肋板以及构造墙等竖向结构元素则被隐藏在隔墙内，难以被人们看到。即便是对于外露型结构，由于采用了重复而单调的平面及立面布局，以及不太精细的构造细节，结构也很少被认为是“具备建筑学特质与激动人心之处的建筑美学元素”。

幸运的是，除了这些常见的、令人乏味的结构之外，还是存在很多结构对于建筑具有积极作用的先例。设计师将目光投向更加大胆以及更加令人兴奋的结构可能性上，而且让 Clark 和 Pause 以及其他一些苛刻的评论家相信，结构可以更加主动并且更加充满创造性地与建筑相融合。建筑理论家 Peter Collins 在考察了结构在建筑中的作用之后，也持有类似的观点。在总结了 18 世纪和 19 世纪的纯理论后，他叙述道：结构的美学表现潜质，无论在过去是怎样地出于卖弄的目的而被夸大，或是由于空间、雕塑因素以及新规划需求的观点而被弱化，它仍然是当代最有活力的理念之一。而且可以毫不夸张地说，它将使当代建筑的前景更为丰富多彩。^[2]

正如上文所引用的，笔者将目光透过结构的物理特质而转向结构的功能和美学潜质。结构对建筑构成是必不可少的，结构提供了必要的稳定性、强度和刚度，正因如此，结构不应该是隐匿于建筑学中的“哑巴”，它应该能对建筑之美有所表达，除非设计者不愿这样做。本书提供了许多结构在建筑环境中“发声”甚至“叫喊”的实例。在这些例子中，这些通常身兼结构工程师背景的建筑设计师们所作出的结构方案不但没有减损反而强化了他们的建筑理念。结构不再是无声的，相反，它是能被感知的。

如后面章节所述，当结构能够“发声”的时候，它便能丰富建筑的内涵，有时甚至能成为建筑物中最具代表性的建筑要素。结构在丰富建筑美学并由此丰富我们对建筑的体验方面存在无限的可能。作为设计师，我们应该让结构充分表现，或者换一种说法，我们设计出来的结构不仅要便于观察及体验，而且还要充分挖掘其建筑美学特质，来诱使参观者能对其有更深的了解。

体验与解读结构

建筑师通过对结构的体验和解读来分析结构。Clark 和 Pause 通过简短的摘要概括说明了从建筑学角度分析和解读结构的可能方式。在对一些建筑物的评论中，尤其是关于结构外露的评论中，大多数都是关于结构的解读。尽管评论家的评论很简洁，然而这种结构分析方式却非常有效。下面的两个实例集中从建筑学角度阐述了结构的分析方式。

Fontein 对于她所在的建筑学院大楼的内部结构进行了分析。与其他设计师不同，她将关注点仅集中在单根柱子上，考察它的圆形横截面及其增加的高度。她指出柱子作为内部通道交叉点的标记和支撑，“在结构中起着关键作用”。柱子还将通道交叉点延伸到学院大楼主要的公共活动空间，并支撑和分割了空间。“在建筑学院大楼中，柱子作为构成空间秩序的重要构件，对固化校园生活方式产生了显著的影响”。^[3]

通过对四幢房子的实例研究，LaVine 认为结构起着极其重要的建筑学作用，但倾向于非人性化解读方式。^[4]他发现脊梁代表着房子的结构中心，而上层结构通过它的规律性和层次性分隔空间。在其他例子中，柱子“显现人类活动的特殊重要性”或者“体现力学原理”。他认为墙是将居住者与外部世界分隔的构件，而刚架是用来分隔内部空间的。在他看来，每个结构元素都载满了意义，并且都起到重要的建筑学作用。

所有的建筑学解读都包含一定程度的主观性。从某种程度来说，每个解读都是个人化的，它反映出每位解读者的背景和建筑学知识。对结构的体验程度是另一个造成主观性的因素，它是由每个人体验时间长短以及在体验过程之中及之后的反应程度所决定的。

每个解读者的观点不尽相同，每个人都有自己的观察角度。举例来说，一位建筑师和一位结构工程师在解读某个结构时可能会有非常大的差异。他们都是带着自己的专业兴趣来理解结构物，并且只关注于他们所关心的专业点——建筑师集中考察结构是如何影响周围环境的，而结构工程师则更喜欢研究结构是如何实现荷载传递的。

因此，笔者对于结构的建筑学分析，或称之为对结构的解读不可避免地反映出笔者的个性，包括笔者的结构背景、在建筑学院教学的经历以及对利用结构丰富建筑美学的强烈兴趣。

在开始对解读建筑物结构及研究结构的建筑学作用之前，下一部分首先阐明了本书的中心内容——外露结构的含义。

结构及其外露程度

在这一节，有必要先对结构的构成进行统一的定义，并有必要讨论一下结构外露的各个方面。在本书中，结构包括

各种承受荷载（自重、风、雪等）的结构构件。

这个定义排除了纯粹的装饰元素，但并没有试图否定其重要的建筑学作用。仿结构单元和部分真实结构杆件是不承重的，尽管它们清晰地表达了材料特质，并且符合标准的结构尺寸，但仍不在讨论的范围内。后者如外露框架，它本身唯一的作用就是从视觉上将不同的形式联系起来，从而有助于建筑的构造。尽管这里的讨论忽略了那些从根本上出于建筑美学考虑的结构，但仍然包括了具有最小结构效能的结构要素和细部构造。细部构造，如附属在哥特式墩柱上的细杆，就包括在这种分类里。尽管从建筑学来看，它们的作用可能更偏重于美学而非结构的，但通过增大横截面面积和墩柱宽度，细部构造也能些许增强其抗压强度和整体稳定性。

在对结构进行定义后，对于外露结构的说明就变得明确而简单。当结构并非外露而是被隐藏时，譬如可能隐藏在墙洞里，或者可能被悬吊的屋顶遮蔽，或者可能与隔墙相混淆，那么结构丰富建筑之美的潜能就非常有限。在这种情况下，建筑师需要依靠其他装置和结构要素来满足建筑学特质的部位，各种框架式的、墙型的或者具有表现力的结构潜质都被隐藏起来了——它们难以解读。

建筑师们采用了许多方法对结构外露状况进行研究。在完全外露状态时，也只有结构少数纹理是可见的，譬如木材、钢筋、混凝土或天然橡胶之类的。不过，即使表皮部分或全部地遮挡了结构要素和纹理，结构的构造形式仍能够起到至关重要的建筑学作用。如钢结构构件尽管外部覆盖了防腐和防火外覆涂料或贴面，但其结构形式依然可以起到使立面及内部空间更加生动的效果。因此，在本节的讨论中，外露结构包括任何可见的结构形式，而无论它们的纹理是否可见。

这种显而易见的外露结构占据主导位置的观念，并不意味着它是典型建筑的必要条件。当前的一些外露结构的设计理念在过去许多情况下是不适用的。Cowan 给出了一些建筑史上的例子，比如在文艺复兴和巴洛克时期，设计者就试图将外露结构与建筑形式和表面装饰分离。^[5]在当代建筑中外露结构的缺乏也是值得商榷。例如，外部暴露的结构可以展现建筑雕刻的特征或者曲面式的外观，但是内部暴露的结构就会对由平面形成的空间产生负面影响。

建筑设计中关于外露结构所需达到的外露程度的决策，

最好在完成概念设计修改和确定外露结构是否有助于实现设计理念之后再行确定。无论最终如何决策，设计理念都会因为交流而更加清晰。因此，结构的外露也就应该被局限在结构与设计理念的表达相结合并对这种表达有明显加强作用的建筑物之中。

全书纵览

本书第2章分析了两幢对比的建筑物的结构，并以此来设定后续章节的集中细致的研究场景。每幢建筑物均例证了在特定的建筑体系中结构对建筑美学作用。在第一幢建筑物的外部，外露结构起到了极其重要的丰富建筑之美的作用；而在第二幢建筑物中，则是结构形成了特殊的内部空间。鉴于两种结构所体现的建筑学作用的对比研究范围有限，因此后续章节更加细致地研究并阐述了外露结构是如何丰富建筑细部的。

从第3章开始后续部分的章节顺序则反映了体验建筑物的一个典型过程。首先，假想从远处接近建筑物。当仅能看清楚建筑形式时，就会发现建筑 and 结构形式的区别。在第4章中，在近距离观看建筑物时，就会观察到结构要素通过各种方式使建筑物立面变得生动，如表面装饰和肌理等。它们造成一种视觉上入口的线索，连贯建筑内外，起到多重表现效果。

此后的3章主要是在建筑物内部，集中于结构和室内的关系研究。第5章则验证了结构如何增强并且在某些情况下决定建筑功能。结构极大地增强了规划的灵活性，分隔并形成了独立功能的空间，构成循环参观流线。第6章集中讨论了内部结构形成建筑要素的方式。该章提出了这样一个问题：内部结构如何清晰地表达出其肌理和空间特质，并使其生动。随后举例说明了一些具有多种肌理和空间特质的结构。内部结构应对所受到的各方面作用进行响应，如建筑物几何尺寸或功能等；相应地，也要考虑如土压力或者场地特点等外部因素的影响。

第7章将内部结构研究范围集中在了建筑细部上。在理解“设计理念决定细部设计”的重要性后，给出了一些典型的细部设计的例子。实例中的细部设计分为两类，其中一类是由