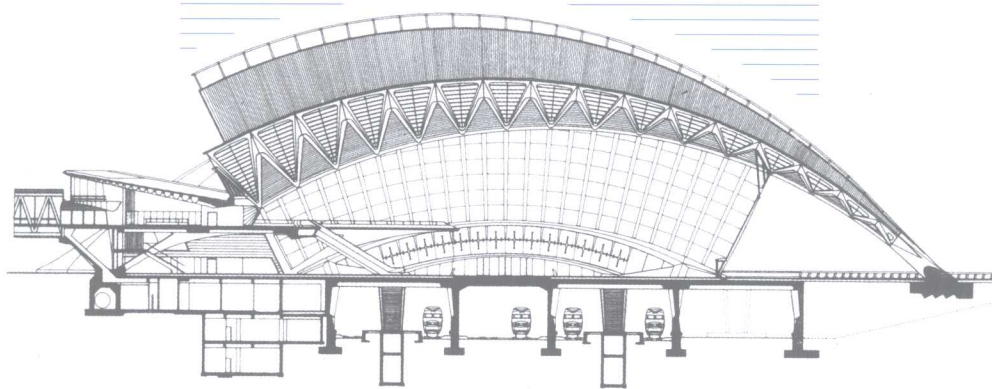


21世纪全国高等院校创新教材

曲翠松 编著

BUILDING STRUCTURE
SYSTEM AND SHAPE DESIGN

建筑结构体系 与形态设计



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



21 世纪

曲翠松 编著

BUILDING STRUCTURE SYSTEM AND SHAPE DESIGN

建筑结构体系 与形态设计



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

我们的建筑师对结构体系知之甚少，这极大地限制了他们在建筑设计中的创造力，从国内外建筑创作领域的巨大差别中均可体现。造成这种局面的一个主要原因是在国内建筑学教育中针对建筑系高年级的结构体系的知识传播以及已经更新的近期建筑科学发展的教育还是空白，缺乏适合建筑师学习的“结构”书。

本书以图文并茂的形式对于建筑结构体系及其运用进行阐述分析，引用大量国内外的精品建筑实例，尤其是选用了最有代表性、最具说服力，以及最有争议的新建筑。书中的结构体系知识和精选的建筑实例是每一个建筑学专业学生和从事建筑设计的专业人员应必备掌握的。本书可以作为高等院校建筑学、城市规划、室内设计等相关专业的教材、教学参考书，也可供从事上述专业的工程设计人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构体系与形态设计 / 曲翠松编著. —北京：中国电力出版社，2010

21世纪全国高等院校创新教材

ISBN 978-7-5123-0406-2

I. ①建… II. ①曲… III. ①建筑结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU318

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第081884号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑：王倩 E-mail: ian_w@163.com

责任印制：甄茁 责任校对：太兴华

北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷·各地新华书店经售

2010年6月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·12印张·320千字

定价：58.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

前言

关于这本书

建筑结构的逻辑

面对的读者

本书所要阐述的结构体系和体系知识的运用不同于结构工程师或是材料工程师所侧重的专业领域，它是一本由建筑师写的书，对象是建筑学本科高年级学生、研究生和广大从业的建筑专业人士。学习和掌握建筑结构体系的知识是从事建筑创作不可或缺的。

本书的目的

认识到建筑学结构与材料的重要性，在欧洲是在20世纪70年代初，80年代中期得到逐步完善，涌现出大量精良的专业论著，并且有很多专业期刊刊登此领域最新的发展研究动向。德国许多知名高校均采用不同的方法致力于这门课的深入研究和应用，如达姆斯达特工业大学（TUD）在建筑学结构体系和材料以及建筑造型的研究和应用方面走在前列。在国内的建筑院校中，建筑结构体系方面的知识至今或是未受重视，或是由结构工程师/材料工程师来讲解。因为专业不同，侧重点就不同，课程的内容和授课的方法不能引起建筑学专业学生的兴趣，结果是“结构”或“材料”成了让人听到就头痛的词汇，达不到为建筑设计服务的目的。在同济大学讲授结构体系这门课的几年里，经常遇到的情况是，一个已经读了四年建筑专业的学生，对于一些基础的构造知识或许已经有了一知半解的模糊概念，但对于结构体系则完全缺乏认识，以至于无法认读一个建筑是如何工作的。

图1是我2006年在柏林Spree河边拍的一张照片，经常拿来与上第一堂结构体系课的同学探讨。河两侧的建筑非常普通，它们由一个桁架结构和一个拱结构的桥连接起来。问题是位于下面的拱桥通过支柱支撑上面的桁架，还是上面的桁架通过拉杆拉住下面的拱桥？为什么？几年的实践经验告诉我，在上这堂课之前，几乎没有人能作出正确的回答。原因很简单：这是两个不同的结构体系，有着各自不同的工作原理，而对于结构体系一无所知的人自然也不会认识到具体的结构是如何起作用的。对于已经建成的建筑尚且无法读懂，又如何能设计出可以“正常”工作的建筑呢？

图2是一个简单的站台雨篷，但却清晰地表达了建筑结构的逻辑关系和它最后所决定的建筑造型，这是建筑中最基本和最本质的东西，用不着非得冥思苦想出一些异乎寻常的建筑才能体现结构的美感——结构当然也能完全隐藏于建筑形态之

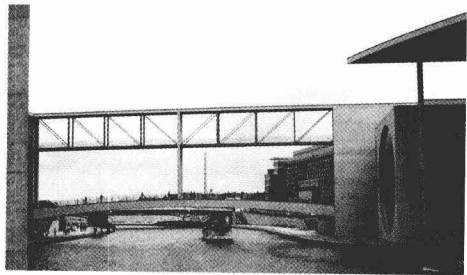


图1 究竟是谁在支撑谁？

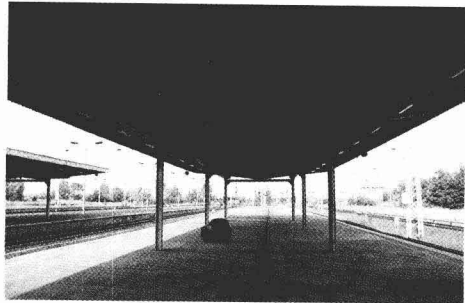


图2 建筑结构的逻辑无处不在

内，但即便如此，它依旧存在，更何况当代建筑观更崇尚真实、透明和生态经济的解决方案。做到这一点的必备条件是掌握清晰的结构体系的知识，这本书正是为这个目的而编写的。

本书的构架

本书共分四章，包括形态作用体系、向量作用体系、面作用体系和高度作用体系。还有一个体系是我们周围最常见的——截面作用体系（梁、柱、板体系），实例相当丰富，相关的书籍比比皆是，我们对其工作方式也较为熟悉，因此在本书中略去。在书中详细阐述的四个体系中，形态作用体系是最为复杂的一个体系，它又分为两大部分：受拉结构体系和拱结构体系，而受拉结构体系又分为五个小节：悬索结构体系、张拉整体结构、帐篷结构体系、空气承重结构，以及空气张力整合结构。由于这部分涵盖的内容比较广，新的研究方向也不断出现，加之这也是国内建筑界最陌生的领域，所以本书加以重点介绍。其余的三章系统分类相对简单，章节基本由综述、体系的发展和实例构成。此外混合结构体系是由两个或两个以上的体系协同作用的，它没有固定的系统工作方式，所以本书将一些特殊的混合结构体系穿插于要介绍的四个大的体系中。

本书不同于其他结构体系书籍之处

Heinrich Engel的《Structure Systems》一书对建筑学专业的学生学习掌握结构体系的知识是一本非常有帮助的教科书。书中文字部分很少，主要是通过草图/示意图的方式说明系统的工作原理，体系构架简洁明了，但对于习惯了形象思维的建筑专业人士来说难免有些枯燥，而且缺乏实例也不能帮助理解。本书基本上采用他的体系分类方法，但补充了一些新的体系的知识，如张拉整体结构、空气张力整合结构等，这在他的年代还没有出现；此外，本书在每个体系后面都列举了若干个本体系中有代表性的建筑工程实例，并进行了详细地分析，通过文字和图片共同阐释其特征。这些工程位于世界各地，虽然有的是一些书刊杂志上介绍过的，但介绍的角度完全不同，几乎很少是以结构体系的工作方式为重点的。这也为本书的编写造成相当大的难度，但这也正是这本书的特点——在这里所列举的建筑工程实例都经过多方面的考证，从最基本的结构工作原理着手，帮助建筑师从基础的理性的角度思考和构思建筑。

正是由于这一特征，再加上结构体系的不断发展，这本书将会有更新的实例不断补充进来。

鸣谢

我的导师Johann Eisele，从他那里我得到了很多的指导和技术资料，他的Baukonstruktion课程体系为本书的结构奠定了基础；我的研究生刘陶圣，本书大部分工程实例都是由他收集整理的，他的结构基础教育背景使得他十分胜任这项工作；同济大学2000~2004级选修我课程的学生，正是和他们的交流与互动，促进我不断去寻找新的养料，以满足大家对于结构体系知识的渴求，而且许多同学的作业都完成得十分出色；蔡青绘制了许多基础分析图，路明和王思音绘制的分析图分别用在两个实例里；德国Pfeifer公司和日本Schinken-chiku Co., Ltd为本书的工程实例提供了图片和资料；摄影师Frank. P. Palmer提供了照片；最后感谢同济大学教材科所提供的资助。

编者

目 录

前 言

绪 言	1
-----------	---

总 论 承重体系分类	5
------------------	---

第一章 形态作用体系 Form- Active System	21
--------------------------------------	----

第一节 受拉结构体系 Tensile Structures	21
-------------------------------------	----

一、悬索结构体系 Cable Structures	22
---------------------------------	----

二、张拉整体结构 Tensegrity	25
---------------------------	----

三、帐篷结构体系 Tent Structures	27
--------------------------------	----

四、有重大贡献的人 Relevant Persons	30
----------------------------------	----

五、空气承重结构 Pneumatic Structures	31
-------------------------------------	----

六、空气承重结构的发展回顾 Development of Pneumatic Structures	34
---	----

七、空气张力整合结构 Tensairity	38
-----------------------------	----

实例一 美国西海岸金门大桥 (Golden Gate Bridge)	41
--	----

实例二 明石海峡大桥 (Akashi Kaikyo Suspension Bridge)	43
--	----

实例三 J. S. Dorton Arena	45
------------------------------	----

实例四 Pengrowth Saddledome	47
--------------------------------	----

实例五 慕尼黑奥林匹克体育场 (Munich Olympic Stadium)	48
---	----

实例六 慕尼黑奥林匹克公园冰球馆 (Ice Rink Olympia Park)	50
--	----

实例七 法赫德国王国际体育场 (King Fahd International Stadium)	52
--	----

实例八 萨拉戈萨竞技场屋顶加建 (Roof for the Arena in Zaragoza)	54
--	----

实例九 韩国奥运会体操馆与击剑馆 (Olympic Fencing and Gymnastics Arenas)	56
---	----

实例十 瑞士自行车运动中心 (Cycling Centre, Aigle, Switzerland)	58
实例十一 东京体育场 (Tokyo Dome)	60
实例十二 大阪世博会富士馆 (Fuji Pavilion at Expo 1970)	62
实例十三 尼姆竞技场屋顶加建 (Roof for the Arena in Nimes)	64
实例十四 B.C. Place Covered Stadium	66
实例十五 GPMG停车场 (GPMG Parking)	68
实例十六 Cutty Sark覆盖工程	70
第二节 拱结构体系 Arch System	72
一、拱的结构特征 Structural Characteristics	72
二、拱结构的类型 Structural Typology	76
三、拱的发展 Development of Arch Structure	77
实例一 柯尔布鲁克代尔铁桥 (Iron Bridge at Coalbrookdale)	81
实例二 巴克·德·罗达桥 (Bach de Roda – Felipe II Bridge)	83
实例三 坎波·沃兰汀步行桥 (Campo Volantin Footbridge)	85
实例四 2004雅典奥林匹克室内自行车赛车场 (Olympic Velodrome, Athen)	87
实例五 里昂机场铁路客运站 (Lyon-Satolas Airport Railway Station)	88
实例六 林茨设计中心 (Design Center, Linz)	90
实例七 IBM旅行帐篷 (IBM Travelling Pavilion)	92
实例八 柏林中央火车站 (Lehrter Bahnhof, Berlin)	95
实例九 皮奥神父朝圣教堂 (Padre Pio Pilgrimage Church)	97
实例十 沙尔金特保桥 (Salginatobel Bridge)	99
实例十一 滑铁卢国际终端站 (Waterloo Station)	101
实例十二 保罗·克利博物馆 (Paul Klee Museum)	103

第二章 面作用结构体系 Surface-Active System 105

第一节 综述 Introduction	105
一、定义 Definition	105

二、壳体 Shells	106
第二节 穹隆——测地线穹隆 Dome, Geodesic Dome	110
第三节 网格壳体 Gridshell	111
第四节 壳体的建造和材料 Construction and Materials of Shell	113
第五节 值得关注的薄壳结构建筑和设计者 Relevant Shell Building Examples and Designers	115
第六节 壳体的发展 Development of Shell	120
实例一 联邦园艺展览会多功能大厅 (Multipurpose Hall and Restaurant of the Federal Garden Exhibition)	122
实例二 都灵展览馆 (Turin Exhibition Hall)	124
实例三 罗马小体育宫 (Small Sport Palace)	126
实例四 阿特兰教堂 (Atlantida Church)	128
实例五 阿尔斯特室内游泳馆 (Alster Indoor Swimming Center)	130
实例六 美国航空博物馆 (American Air Museum)	132
实例七 汉诺威世博会日本馆 (Japanese Pavilion in Hanover)	134
实例八 伊甸园工程 (The Eden Project)	136

第三章 向量作用结构体系 Vector-Active System..... 138

第一节 综述 Introduction	138
第二节 桁架结构的发展 Development of Trusses	143
实例一 纽约移动音乐演出帐篷 (Carlos Moseley Music Pavilion in New York)	146
实例二 水晶大教堂 (Crystal Cathedral)	148
实例三 塞恩斯伯里视觉艺术中心 (Sainsbury Centre for Visual Arts)	150
实例四 德国奥林匹克室内自行车赛车场	152
(Olympic velodrome , Berlin, Germany)	152
实例五 东京银色小屋 (Silver Hut)	155
实例六 汉诺威博览中心第四展馆 (Trade Fair Hall 4 Hanover)	157

实例七 伦敦斯坦斯德机场三号航站楼 (Third London Airport Stansted)	159
--	-----

第四章 高度作用结构体系 Height-Active System 161

第一节 综述 Introduction	161
---------------------------	-----

第二节 高度作用体系按照传递荷载的方式分类 Classification of Height-Active System.....	162
--	-----

一、直接传递荷载体系 Direct Load-Transfer System	163
--	-----

二、间接传递荷载体系 Indirect Load-Transfer-System	166
--	-----

三、巨型框架结构以及组合承重体系 Mega & Combi System	168
--	-----

实例一 西格拉姆大厦 (Seagram Building)	170
---------------------------------------	-----

实例二 西尔斯大厦 (Sears Tower)	172
---------------------------------	-----

实例三 芝加哥汉考克大厦 (John Hancock Center, Chicago)	174
---	-----

实例四 香港汇丰银行总部大楼 (Hong Kong and Shanghai Banking Corporation Headquarters)	176
---	-----

实例五 香港中国银行大厦 (Bank of China Building, Hong Kong)	178
--	-----

实例六 同济大学教学与研究综合楼 (Teaching and Research Complex of Tongji University)	180
--	-----

实例七 上海金茂大厦 (Jin Mao Building)	182
---------------------------------------	-----

图片来源	183
------------	-----

参考文献	184
------------	-----

绪 言

结构：它的存在和作用

konstruktion: sein und wirkung

约翰 皐泽拉 (Johann Eisele)

德国达姆斯达特工业大学建筑系教授

曲翠松 译

建筑学专业最重要的三门课程是：结构，结构，结构！——当谈起结构设计的重要性时，我的一位同行喜欢如是说。到底哪三门课程是最重要的，对此大家当然可以争论不休。对我来说毫无疑问结构要算其中之一，因为只要造房子，就要设计结构。

接下来我要用另外一种方式讨论结构的重要性并展示结构设计在造型方面的潜在能力。为了全面阐明这个问题我得说，方方面面的因素都对建筑造型有所影响。业主会从他的角度支配建筑造型，所以有“业主式建筑”一说；功能同样影响造型，所以有时又会叫做“功能型建筑”，而这两个概念并不一定恰好都是褒义的。建筑又受到造价的制约，是否有利于生态和环保、运输以及装配、建筑设备等。大部分因素我们可以左右，但有些则不能：潮流就可以越过某些建筑师而影响他们的建筑，反过来要支配潮流可就难了。

建筑如同音乐和文学是人类的艺术创造，但建筑又不同于其他艺术形式，因为它是实体的，需要使用材料再通过结构才能得到相对持久的形态。结构和材料是影响建筑形态的两个绝对因素。

日常结构

每幢房子，包括最平庸的在内，都有它的结构细部。这些通常用不着建筑师再进行设计，我们去“买”建材商的标准图集即可。这些公司的节点详图得以经年累月地发展，但尽管如此它们却并不独特。所有的特别之处通常只体现在买的时候：这种或那种式样的天窗用于屋顶，或者用最后剩下来的钱装了扇极有品味的大门，而那个唯美至上的建筑师还在一旁为没有早一点把钱花出去生闷气。

可是我想谈的是不仅仅是房子的房子，它们还得是“建筑”。一幢由Heinz Bienefeld（注）设计的房子是建筑，尽管——或者正是由于它的日常细部。这些日常细部不是从标准图集上抄来的，而是自己想出来的：屋顶和墙身很相衬，地面也属于整个房子，其窗楣就是今天泥瓦工也会砌。如果一个平

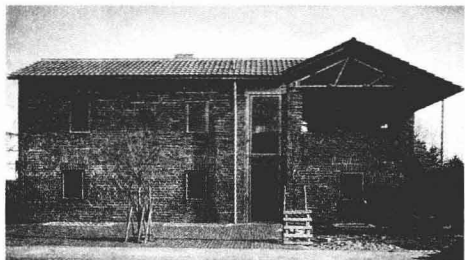


图3 Heinz Bienefeld, Rodenkirche独立住宅

直的窗楣因跨度较大而无法支撑的话，那就要想办法把它变成一个能够支撑的结构。Bienefeld的独到之处就在于将结构中的常见问题处理得细微谨慎、恰到好处。要做到这一点光靠掌握了一本《建筑设计资料综合集》是不够的，但它是基础，也是建筑师必须知道和学生应该学的。

结构作为手法

Viollet-le-Duc (1814—1879) 提出过结构作为一种新建筑的美学标志的意义。他是否是第一个提出这种观点的人恐怕要由历史学家来解释——很可能他不是，但至少他的主张引起了更多人注意，随后便产生越来越多的以结构作为美学主导地位的建筑。

有些学生甚至建筑师对结构感到头痛，这点是可以克服并且从中发现乐趣的。去发现，一个IPE型材的翼缘是平行的并且棱角分明，而一个I系列的型材其翼缘是不平行的并且是圆角的。细小的差异要通过全然不同的细节来体现。只是这种精确到1/10mm的精度吓倒了好些人，而另一些人则对于建筑和结构设计原本是同一个过程、二者紧密联系不可分割这件事感到欣慰。某些动物也会构筑，但它们却不会设计。如此看来，我们可以认识到这个结构设计的责任重大：它扣人心弦而且是极为建筑学的，我们要对构成元素的结构层次关系深入思考：主梁和次梁，其接缝和连接，结构对建造的依赖性。每种材料都要求另外一种专门的知识，要用另外一种方法使用。可能性多得仿佛没有止境，如果你有足够的兴趣的话。

Richard Horden的“游艇之家”以传统概念看上去不像是一个房子。我这么说不仅是因为它没有屋顶，它缺乏现代建筑中所谓的“系列化”，而更多的是Horden取材于一个帆船的桅杆并由此演变出整个承重体系。用不着亲自去认识使用者，房子本身就说明他一定喜欢驾驶帆船和水上运动并且是外向型的。是什么促使人冒险设计、规划、实施乃至使用一幢与以往完全不同的建筑呢？建筑师和业主知道这其中的奥妙。不过这种推动力应当相当大，对于传统建筑的不满也是一个原因。

日常和手法

就是Richard Horden的设计也不离不开every-day-details，所以有足够的节点细部体现不到建筑造型上而仅仅是满足建筑的实用要求。

事实上两幢建筑的本质区别在于，Rodenkirchen的是一幢实体承重建筑，而“游艇之家”则是框架结构建筑。前者先有实墙，在墙体上考虑开洞，而后者的墙则是填上去的，框架是开放的，要通过其他的构件使之闭合。Horden的建筑示范性地告诉我们，这种闭合可以使用完全不同的构件，而这些构件又

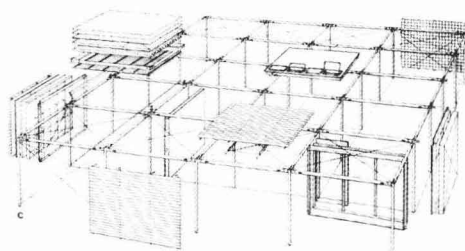
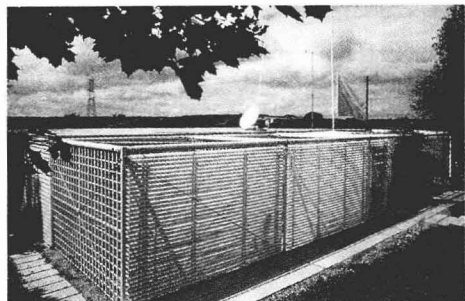


图4、图5 Richard Horden，游艇之家

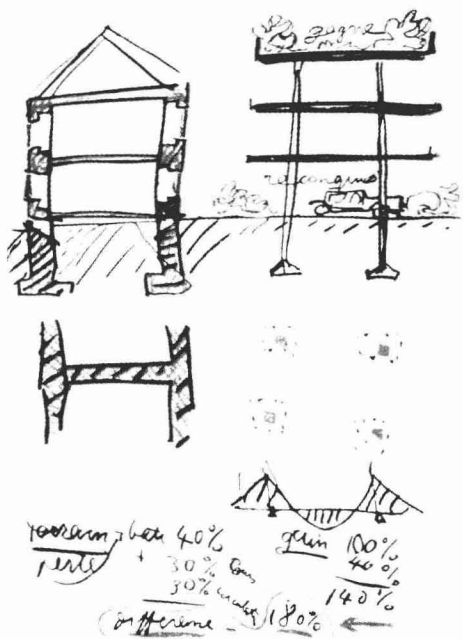


图6 勒·科布西耶,《确证》中草图,1929

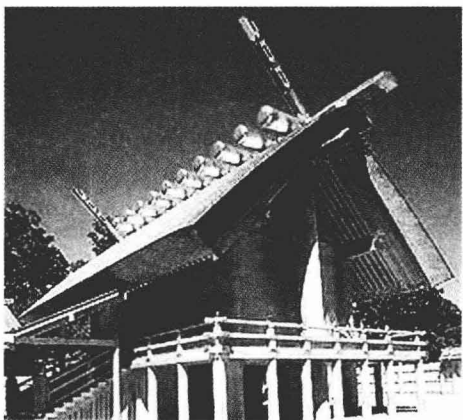


图7 伊势神龛,1993最近一次翻新

能准确地满足内外景观、防晒及隔热等方面的要求,每个构件都有专门的功能。实墙则要同时满足所有这些功能要求,毫无疑问,由此会产生某些多余的部分。

事实上设计任务本身就能决定,是采用实体承重结构还是框架结构更为合理,建筑所在的地域也会影响方案的取向,我上面举的两个例子还很大程度上受到业主的态度——他想住在一幢外向型还是保守一点房子里——的影响。

实际上我们可以注意到,只有少数建筑师建筑、结构设计两样全行:所谓的柏林建筑师或是高科技建筑师只会其中的一样或另一样。这是否和所谓的“个人风格”有关,对此我持怀疑态度。无论如何有一点是清楚的,那就是不管是有意识还是无意识,结构类型总是左右设计过程:搞不清楚结构,我就无法进行设计!

存在和作用

开头我说过,建筑造型取决于很多因素,而与结构最后讨论的结果仅仅是一种可能性。如果要进一步讨论“造型”这个概念的话,就得断言,它远不止是把结构大加美化这么简单。在“造型”这个概念下包括了形体、色彩、材料、重量、气味、表面质感等,当然还有结构。建筑学的造型是寻找一种存在的空间表现方式,或者如Max Bense所说:意义现实化而成为造型。

日本的伊势神龛是日本最神圣的神道教神龛,它于公元4世纪建造,共有约二百个建筑。遵循神道教的一个传统这些建筑每二十年就要翻新一次,一切都依照原来的样子,采用和原来一模一样的材料和手工做法,就像初次建造一样。最近的一次翻新是1993年,下一次是2013年。虽然那是宗教建筑,但同时也是日本传统建筑的典范,通过伊势神龛日本人联系起来的不仅是形式、材料等,从物质的角度来看它是存留下来的、保存了传统的日本的木作细节的建筑。由此可以确定,有一种存在是只能来体验而无法进行科学描述的。

尽管结构在伊势神龛中起重要作用,但它不再是造型的出发点,而只不过是部分因素,结构次居于造型之下。

第一个结论

我试图阐明了在找寻建筑造型的过程中结构设计的重要性。我把例子限制在住宅建筑中,一方面可以使事情简单明了、易于理解,另一方面也有一个漏洞,就是伊势神龛尽管在规模上但却不能在功能上和其他实例相比较,即使它是日本传统建筑中最理想的模型也无济于事。但这个小小的缺点应该得到宽容:如果人们把眼睛稍微眯起来一点的话,就能看得更清楚一些,或许又能跟上我的思路。

如果我非得另找一些并非宗教建筑但却拥有一个伟大灵

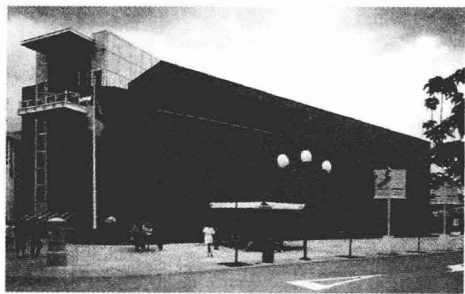


图8 Manuel de las Casas, 加泰罗尼亚展厅

魂的例子, 我会举Carlo Scarpa的一些建筑为例, 或者是Manuel de las Casas在塞维利亚为展览会建造的加泰罗尼亚展厅 (Pabellón de Castilla-La Mancha en la Expo de Sevilla), 或是贝尼师及伙伴 (Behnisch & Partner) 在慕尼黑建造的奥林匹亚中心。这些, 还有另外一些建筑超越空间的美学之上而传递某种信息: 堂吉珂德值得尊敬的贵族式愚笨, 或者是在二战结束25年后的1972年, 德国如何展现自己以及向全世界展开双臂以示欢迎。这样的建筑不仅是空间形态, 下意识中也会表达一些用语言难以表达的东西。

第二个结论

读者们可能犯的一个错误是, 试图把我对于结构重要性的强调做一种质量上的等级划分, 也就是认为“日常结构”没“精美结构”来得重要, 以此类推, 第三部分“存在和作用”便是质量上的最高等级了。这种理解我要强烈反对。这三种接近本质的方式都有道理而且具有等同的价值, 并没有谁先谁后之分。是传统的进化还是出于好奇而去研究, 抑或在理解传统的基础上加以发展, 最后都要归于寻求一个明确的、合乎问题本身的解决方案。

注: Heinz Bienefeld (1926-1995), 科隆建筑师。除了教区教堂、许多改扩建翻新项目外, 其作品主要是在科隆附近建造的一些独立住宅。善于体现材料与细部, 于简朴之中塑造风格, 身后获得德国BDA建筑大奖, 密斯凡德罗建筑奖。

——译者注

总 论 承重体系分类

概念：承重结构与承重体系

问题？

Christian Norberg-Schulz：挪威建筑师、
建筑史学家、理论家

借用Heinrich Engel的定义概括来说，承重体系是秩序，是设计的基础，承重结构则是实例，是设计的参考。就好比语言与书籍的关系，语言代表一种发展中的秩序，作家运用语言写作，每本书都是这门语言的实例。结构体系如同语言，不是任何个人发明的，属于我们所有人。我们要掌握它，以便设计出承重结构；而单个的承重结构则是承重体系的具体应用，要使用材料作媒体，不是以房子的形式便是以其他的形式出现，如同作家的作品，其专利权属于创作者。

首先我们要提出的问题不是是否能对承重体系进行分类——如果一定要问，答案很可能是不，而是进行分类的标准是什么；进而言之——可以肯定的是有很多这样的标准，我们选择其中之一的根据是什么。有人可能会问，为什么不按照结构安全的需要来分？或者分为不定型结构体系和技术结构体系？按照结构自重分类？按照运输方式、装配方式？技术的繁易程度？

这样的提问有助于帮助理解下面要介绍的几种分类方法。从不同的角度出发，建筑结构的分类有多种可能。Klaus C. Haugk（《建筑学中的反形式主义：在实用价值和美学之间建造》Wider den Formalismus in der Architektur: Bauen zwischen Gebrauchswert und Ästhetik, Karl Krämer, Stgt, 1988）是从哲学的角度对待这个问题把建筑分为“生物的”和“非生物的”；C. Norberg-Schulz（《建筑艺术的逻辑》Logik der Baukunst, Vieweg-Verlag, 1970）把建筑分为不定型结构和技术结构。在这里更主要的是他进一步把技术结构划分为实体结构与框架结构。他是个建筑师，所以主要是从建筑学的角度而不是从力学的角度进行划分。这种划分方式直到今天仍不失其存在的意义，尽管他当时的著作《建筑艺术的逻辑》受其时代约束。Richard Rogers把他的作品用五大章进行了分类（《Richard Rogers + Architects》），其中第二、三章《结构体系》和《外立面体系》完全使用了Norberg-Schulz的分类方式。对个人作品进行归类无可指责；但这是否对于整个结构承重体系具有普遍性意义就另当别论了。Nicolas Grimshaw的《当结构成为建筑》的导言虽然没怎么提到结构体系的分类，但他提出的问题——什么时候建成的房子会成为建筑，却是十分耐人寻味。Jean Prouvé的分类也与此类似（《从工厂里产生的建筑学》）。看起来只有那些从科学的角度讨论有关分类问题的建筑师或者是结构工程师们的观点更有说服力：他们的共

同点在于他们都是基本上把承重体系分为“线性的”和“平面的”两大类。Kurt Ackermann（《结构的建筑学中的承重结构》）在他的著文中将这种分类延伸到“空间的”，虽然只是从几何的角度。Frei Otto（《受拉结构（卷二）》）则一直注重建筑师在结构方面的素质，他发明的方阵图不仅包括了单一承重体系，还包括了所有可能的混合承重体系。最后要谈及Heinrich Engel（《承重体系》），他从受力（力矩）的传递方式出发将承重体系分为5个组，虽然也有其不尽完美之处，他的著作却是对建筑师大有益处。

如果我们对于分类这个题目研究下去的话，会一直发现不同的分类方式。不是所有的分类方式都有新意和值得一提，这个导言的目的并不是要把所有的分类方式列举一遍，而是想强调，掌握现有承重体系的目的在于利用它们完成不同的设计任务。如果我们明白了这种尝试，就会发现，对于不同分类方式提出的批评有利于我们理解承重体系本身。到最后我们也会接受一种留有缺陷的分类方式，或者是把它作为我们记忆的辅助手段。

另外要提到的是，在过去的一些建筑结构教材中通常是以建筑的组成部分作为分类依据的，也就是说把一幢房子按照其结构成分分解开来，从基础开始到楼板、墙体、楼梯再到屋顶乃至烟囱上的遮雨板。这些建筑构件并不和某一种固定材料发生关联，而是基本上都可以使用不同的材料。也有把结构按照建筑材料来划分的：木结构、钢结构、砖结构等。这种划分方式很大程度上是从建筑实践出发的。比如德国达姆斯达特工业大学的结构系学生现在学科的选向上有“木建筑结构”、“实体建筑结构”、“钢结构”等不同取向。就是建筑学专业的很多建筑结构教科书中也以材料种类作为分类的标准。

以前某些建筑类型以及建筑材料是被划归于某种固定的结构的，这在今天看来失去了意义：我们致力于将材料的不利点减少到最小，因此结构可能使用不同的材料进行组合，新的建材不断产生，其组合也变得多种多样。

另外一种可能性是完全从建筑的实用性角度进行分类，比如：

生产技术实用结构——为便于加工尽量使结构构件的尺寸统一，不管其实际受力状况，将其强度值设计为最大。

造价实用结构——为了节省繁琐的梁模板和相对于材料更为昂贵的生产时间，省去梁构件，而选用较厚的现浇楼板。这纯粹是从经济性角度出发。

维护实用结构——比如整面实墙会比采用桁架梁的维护费用低，有桁架梁的墙面粉刷时比较复杂。

一些建筑结构的教材是按照“建筑构件”或“建筑元素”来组织结构的，是供建筑学基础教学使用的。本书的内容则至少是供建筑系高年级学生或对结构想有更深了解的建筑师使用。

几种分类方法



图9 Goetheanum I, 建筑师: Rudolf Steiner



图10 Goetheanum II, 建筑师: Rudolf Steiner

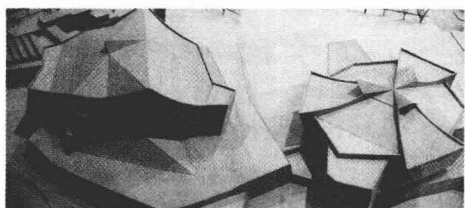


图11 柏林爱乐剧场, 模型。建筑师: Hans Scharoun

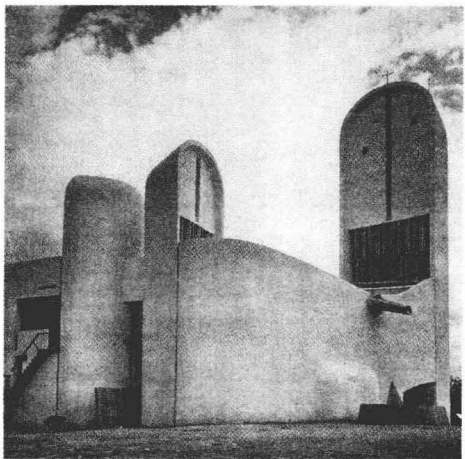


图12 朗香教堂, 勒·柯布西耶

结构计算实用结构——以前的结构工程师会出于计算上的方便选用某种结构方式,今天通过计算机辅助设计,这种考虑已经很不必要了。

装配实用结构——临时性的建筑如大型帐篷式活动场所采用的结构是从快速拆装的角度出发的。

生态型实用结构——结构承重或非承重构件是通过衡量其生产所消耗的不可再生能源为标准而选定的。

安全实用结构——例如在航空领域和飞机制造业都是以安全为结构选型的首要因素,在此基础上考虑造价和功能。

高效结构——这种承重结构的自重成为使用荷载,其重量要轻于等跨度的实体承重体系许多倍,所以被称为消失了的承重结构(参考向量承重体系/Engel)。

这张单子可以继续列下去,而且在将来肯定还会得到补充,建筑实用性的需要会迫使人们想出特殊的解决方法,只不过从实用的角度出发并不能得到一个系统的结构分类秩序。

几种分类方法

a. Klaus C.Haugk在他的著作《建筑学中的反形式主义》写道:“建筑材料,结构和经济条件影响一幢建筑的外观。想要达到的跨度以及承重构件限定并受到材料选用的限制。这些因素合在一起决定了一幢建筑的特征。但只要涉及材料和结构,它们则很清楚地显示出,建筑类型从根本上可以划分为两种:“生物的”和“非生物的”。

Haugk在对不同的建筑加以分析后得出这个结论:Goetheanum (Dornach, 1923. 建筑师: Rudolf Steiner. 图9、图10), 柏林爱乐剧场(建筑师: Hans Scharoun. 图11)和勒·柯布西耶的朗香教堂(图12)。

按照他的观点,一个“非生物的”或者“矿物质的”具有“晶体”结构的建筑是对抗自然的,而“生物的”或者“器官的”建筑则是自然的从而更适合人类使用。这些建筑是自然或城市景观的人工延伸。但不论是Goetheanum I 还是Goetheanum II 都是以几何形体为基础设计的;Goetheanum II 采用混凝土材料,由此可见Haugk的“生物的”及“非生物的”建筑分类并不合理。对于其他按照Haugk的分类法显然可以划归于“生物的”及“非生物的”建筑实例,他没有进行进一步调查。

b. C. Norberg-Schulz在他的《建筑艺术的逻辑》一书中首先将建筑分为两大类——不定型结构(amorphous structure)和技术结构(technical structure)。所谓的不定型结构并非是指建筑结构没有“固定”形态,而是指建筑的空间和平面是处于一种自然的、偶发的状态,不按照某种逻辑进行重复(拓扑形

态)，通常是用黏土或其他塑性材料，如比较原始的住居等；与之相对应的是技术结构，由若干具有某种技术功能的结构构件或结构元素按照一定的秩序重复叠加或组合而成——技术因素是它的主导特征。当人们的建筑行为逐渐增强，打个比方来说，把石头一块块垒起来，其堆叠的方式具有了一定的逻辑，并且这种方式在别处也可以使用，这就形成了从不定型结构向技术结构的过渡。

《建筑艺术的逻辑》一书写于20世纪60年代，当时建筑中引入新的建筑技术正处于一个加速的过程中，Norberg-Schulz写此一书的目的也正在于附和甚至强调这种趋势，所以他将不定型结构一笔带过，主要针对技术结构进行讨论，并将其划分为实体建筑结构和框架建筑结构。

实体建筑的技术构件主要是顶盖系统和围合系统，顶盖系统包括屋面和楼板，围合系统是指墙体。围合系统的形式在平面和空间上都不受限制，可以是规则几何图形，也可以是自由曲线，但是顶盖系统却在极大程度上限制空间自由，因为水平方向的楼板和屋盖受材料抗拉能力的限制，而通常可选用的材料抗拉性都比较差，所以围合系统常常是与框架式的顶盖系统搭配使用。

今天顶盖系统已经不再受这种限制，钢筋混凝土楼板中的钢筋可以很好地抵抗拉应力，所以理论上楼板的跨度可以不受限制。然而一个真正的实体结构的主要特征是其总体技术元素的价值等同性，其构件是各向同性的物质，通过叠加组成（如砖），或者整体浇筑而成。由此得到整块的、不分层次的实体，开洞的尺寸和排列也同样受到限制，但洞口的形状可以获得整体的图案效果，整体的形式可以是非常有雕塑感的，但单一的空间和空间组织方式由于顶盖系统的约束通常限制在几个有限的基本形中。

过去的建筑通常是在为摆脱实体建筑结构的这些限制做努力：如果是出于造型要求的话，在平面上常常采用结构和功能上并不需要的列柱来装饰；如果是出于功能上的需要，则是想办法把实体的围合结构改造成“框架”从而也同时得到窗体的有规律排列。

相比之下框架结构则更为“建筑”——这里不是指美学方面，而是其体现在建筑构件之间层次关系的逻辑性上。在这种结构中构件按照其在结构体系中所起的作用有主次之分，其构件的承重和围合作用是分开的：主要构件为承重构件，次要构件为围合界定构件。平面的划分是从一开始就定好了的，有一个明显的网格关系——通常是规则的，建筑师或结构设计师会将柱子——起主要支撑作用的构件——放置在网格的交点上。空间的尺寸和形状也有很大的自由度。开洞是体系的一部分，

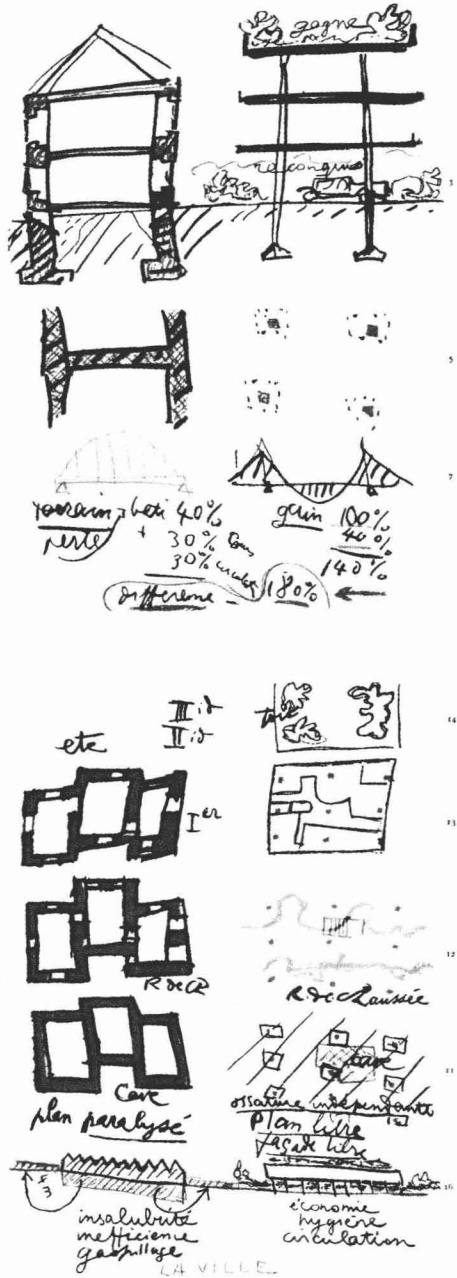


图13、图14 《确定》一书中的插图，1929，勒·柯布西耶

“实墙是楼板的承载体，墙面上的开窗削弱了墙体的承重功能，这是一个内部自相矛盾的过程。承重的功能和采光的功能的确是有所区别的”。