

当建造成为建筑学的核心

——也谈朱竞翔团队的“新芽”轻钢复合体系

When Construction Becomes the Core of Architecture,
or the Light-Weight New-BUD Building System by
Zhu Jingxiang's Team

[王骏阳] Wang Jun-Yang

作者单位
同济大学建筑与城市规划学院 (上海, 200092)

收稿日期
2015/05/17

摘要

以MoMA“轻的建造”展为切入点,指出这次展览所谓“轻的建造”本质上只是“轻”的效果,而非轻的建造,进而在与“轻”的效果进行比较的思辨中揭示“新芽”轻钢复合体系以建造作为核心的建筑学意义。

关键词

轻型建造 ;建构 ;新芽建造体系 ;朱竞翔

ABSTRACT

Starting with a review of the MoMA exhibition entitled “Light Construction”, this paper argues that idea behind the exhibition is the effect of lightness rather than light construction. This is followed by an examination of significance of the light-weight New-BUD building system in which, unlike the effect of lightness, construction becomes the core of architecture.

KEY WORDS

light-weight construction; architectural tectonics; New-BUD building system; Zhu Jingxiang

在当代中国建筑发展之中,香港中文大学朱竞翔团队的工作可谓不同凡响。不同于大多数职业建筑师在既有建筑体系进行大规模建筑生产的实践之路,朱竞翔团队潜心一种另类建造体系的研究和实验;另一方面,相对于那些勇于创新但又往往陶醉在时尚形式之中的“明星建筑师”们而言,朱竞翔团队甘愿寂寞,从一种看似只适用于偏远地区(至少到目前为止是这样)的相对廉价的建造体系入手,探索建筑学的本土可能。

我曾与朱竞翔在南京大学建筑研究所(现南京大学建筑与城市规划学院)共事数年。之后他于2004年去香港中文大学任教,至2014年完成的位于江苏徐州的格莱珉银行陆口村支行(图1)正好10年时间。常言道,十年磨一剑。正是在香港中文大学的这10年中间,朱竞翔团队以其清晰的思路和坚韧的毅力展开自己的研究和探索,并以不俗的初步成果令人刮目相看,发人深省。那么,什么是“新芽”轻钢复合体系的建筑学意义?

1 Light Construction 展 :从建造到效果

顾名思义,“新芽”轻钢复合体系的核心是“轻”,或者更准

确地说是“轻型结构”或“轻型建造”。这使我立刻想起一个英文名词以及以这个名词为题的一个展览及其后续的理论文献:Light Construction 和 Light Construction Reader。

先说前者。1995年,在纽约现代艺术博物馆(Museum of Modern Art)时任建筑与设计部主任策展人泰伦斯·莱利(Terence Riley)的主持下,该博物馆举办了一次以Light Construction(一个“轻的建造”和“光的建造”的双关语)为主题的展览。展览于1995年8月21日开幕,1996年1月2日闭幕。作为世界上举足轻重的艺术机构,纽约现代艺术博物馆曾经举办了一系列对20世纪建筑发展具有决定意义的展览,如1932年的“国际风:1922年以来的建筑”(International Style: Architecture Since 1922),以及1988年的“解构主义建筑”(Deconstructivist Architecture)展等。

在纽约现代艺术博物馆几近不胜枚举的建筑展中,莱利策划的这次展览的规模并不算大,展出了约30位现、当代建筑师的建成或未建成作品,如让·努维尔的巴黎卡迪尔当代艺术基金会、密斯的范斯沃斯住宅、皮埃尔·夏柔的玻璃住宅、佐姆托的布雷根茨美术馆、伊东丰雄的仙台媒体中心(方案)、帕克斯顿的水晶宫、库哈斯的法国

国家图书馆(方案)、妹岛和世的熊本市青春馆制药厂女子宿舍、SOM的耶鲁大学贝内克典籍与手稿图书馆等。

关于该展览的意义,莱利如此阐述道:“近年来,一种新的建筑感呼之欲出,不仅反映出我们这个时代的文化与20世纪早期机械美学的差距,而且也标志着在历经30年的形式争论之后建筑学侧重点的深刻转移。”那么,建筑学的侧重点究竟发生了怎样的转移呢?莱利继续写道:“在这些艺术和技术成就非凡的作品中,现当代设计者们致力于探索建筑表面的本质和潜能。他们不仅关注建筑的视觉和材料品质,而且也关注建筑传达的意义。受我们这个时代包括电子媒介和计算机在内的文化因素的影响,建筑师和艺术家们正在重新思考建筑、视觉感知和结构的关系。”^[1]

完全可以理解,从“国际风”到“建筑的矛盾性与复杂性”再到“解构主义建筑”,建筑学确实为形式所困,并且为之争论不休,尽管这些争论并非完全没有意义。当然,形式问题也不是纽约现代艺术博物馆建筑展的唯一内容,技术、材料和结构问题也曾受到关注。比如,1964年莱利的前任亚瑟·德莱克斯勒(Arthur Drexler)主持下举办的大型展览“20世纪工程”(Twentieth Century Engineering)就是这方面的案例之一。

但是莱利所谓的“转移”显然不是从形式到工程这么简单。事实上,建筑学的复杂



1 朱竟翔团队作品:格莱珉银行陆口村支行(江苏徐州)

和微妙之处(同时也是它的有趣之处)就在于它是一个综合的艺术,需要将与建筑学相关的诸多因素综合在一起。这一点在莱利的这次展览中充分体现出来,也可以说是莱利上述论述的要点之一。不过,如果人们沿着莱利对本次展览的介绍继续读下去,就会发现莱利真正关心的“转移”其实是建筑的一种视觉效果,其中玻璃的透明与半透明或者电子媒介和计算机设计带来的不同寻常的甚至如梦似幻的形式才是重点。这次展览以同时具有“轻的建造”和“光的建造”双关意义的Light Construction为主题也在一定程度上说明了这一点。就此而言,莱利策划的这次展览与其说是关注建筑学从形式向结构和建造的转移,不如说是从一种形式向另一种形式的转移。

按照莱利的观点,不同于之前的形式,尤其是不同于后现代主义热衷的再现性形式,这种形式是建筑的“自主形式”,其意义或者说效果来自建筑本身,而不是附加的。建筑理论家杰夫里·基普尼斯(Jeffrey Kipnis)也在该次展览之后出版的理论读本的前言中这样写道:“什么是建筑本身就能产生的效果(effects),即无需其他媒介或实践的介入就能产生的效果?‘Light Construction展’之前30年中,这类问题要么随风飘荡,在后结构主义的文字游戏中显得无足轻重,要么被放逐到晦涩的现象学泥潭之中。‘Light Construction展’直面材料效果,直面尺度,直面建造方法的感知性结果,从而为摆脱上述问题的困境创造条件。”^[2]

也许,正是对效果的追求使得莱利在接下来的文字中大谈“波贝亚的面纱”“无影空间”“隐藏的梦想”“透明”“半透明”“延迟”“神秘的立面”“光的减速”“暧昧”“失重”“轻”“玻璃之梦”之类的议题吧,而展览之后的理论读本完全被“透明性”等理论主题所占据也不奇怪。相比之下,建筑、视觉感知与结构之间更为实质性的建造问题既没有真正成为展览的主题,也没有在读本中得到理论上的探讨。

2 “像鸟儿那样轻”

Light Construction展结束之后不到半年,肯尼斯·弗兰姆普顿《建构文化研究:论19世纪与20世纪建筑中的建造诗学》^[3]问世。同样出于对后现代主义的不满,同样呼吁回归建筑本体而非再现,弗兰姆普顿强调的是建造本身而非以“建造”为手段去获取某种效果。强调建造本身并非不考虑效果,但这种效果是建造的显现,是材料、结构、施工作为建造内容的表达。与之不同,强调效果则容易使人们出于效果的诱惑而把建造作为手段,从某种特定的效果出发,反过来寻求结构和建造的手段,就像形式先行的设计反过来寻求结构和建造的手段一样。

当然,上述区别只是出发点、侧重点或者追求不同的区别,两者之间并没有截然的分野,也没有黑白分明的非我即他。但是,如果以具体的案例来进行说明,上述观点也许就没有那么晦涩和模糊不清了。

最为经典的案例也许是密斯的巴塞罗那馆。这是现代建筑的一个里程碑作品。自其诞生以来,人们就被它的形式和空间效果所折服——自由平面、纵横交错的“风格派”板片形式、柱子与墙体的分离、流通空间、上下限定但前后左右不限定甚至向四周无限延展……人们的描述和形容不一而足。但是,当人们暂时离开效果迷恋,转而关注一下这样的效果是以怎样的建造手段取得的话,人们也许会大吃一惊:形式和空间是动态的和流通的,结构却是静态的和稳定的;形式的语言元素是板片交错,建造手段却是杆状的钢结构框架;建筑形式上是片状的屋顶与线状的钢柱之间抽象的线面组合,实际结构却并非如此……在这里,如果以建构形式进行表现而需要得到呈现的钢结构框架及其受力关系被板片穿插和线面的抽象组合所取代。因此,弗兰姆普顿在《建构文化研究》中断言“抽象空间与建构形式乃是鱼与熊掌不可兼得”(the relative incompatibility of abstract space and tectonic form)^[3]。这里所谓的“鱼与熊掌不可兼得”也许是一个过于中文化的

表述, 如果从其英文原文直译过来, 意思就是两者“相对的不可兼容性”。

弗兰姆普顿的这句话可能极端了些, 但值得注意的是并非只有抽象形式才会遭遇这样的两难。作为效果 / 造型建筑学的另一个极端案例, 位于纽约的“自由女神像”完全不具建筑的抽象性; 相反, 它极为具象, 而且正因为这种具象成为一个极端的案例。它的极端性在于, 结构和建造在这里完全不具自身的意义, 而彻底沦为服务于具象造型 / 效果的手段。就此而言, 这里所谓的“具象”是造型的具象, 而非弗兰姆普顿意义上的不同于抽象形式的建构具象。

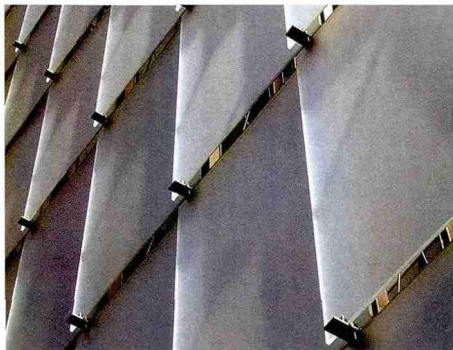
如果再以 Light Construction 展中的案例进行比对, 那么彼得·卒姆托 (Peter Zumthor) 的布雷根茨美术馆 (Kunsthaus Bregenz, 图 2) 无疑展现了策展人莱利关注的一系列 (效果) 诉求: “波贝亚的面纱”“无影空间”“隐藏的想象”“透明”“半透明”“延迟”“神秘的立面”“光的减速”“暧昧”“失重”“轻”“玻璃之梦”, 如此等等。但是, 布雷根茨美术馆的杰出之处不仅在于这些效果, 而且在于它获得这些效果的方法。在这些效果的背后是清晰的结构逻辑和建造

手段, 而且它们在建筑的整体表达中占据着至少同样甚至更为重要的地位。相比之下, 位于美国明尼阿波利斯的魏斯曼美术馆 (Frederick R. Weisman Art Museum, 图 3) 则是后来以毕尔巴鄂古根海姆博物馆为标志的盖里式“自由女神建筑学”的早先作品。这是一个既不“轻”也不“透”的建筑, 其建筑结构在很大程度上也只是奇异造型的手段而已。把它与布雷根茨美术馆等建筑置于同一个展览之中, 大概只能表明策展人思路的混乱吧。

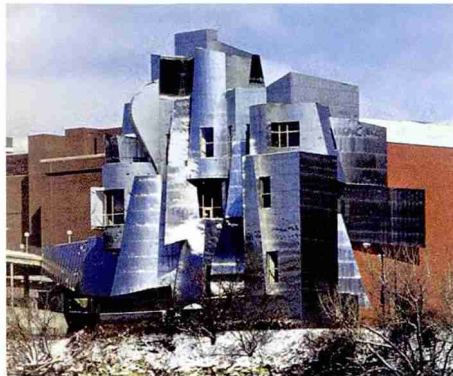
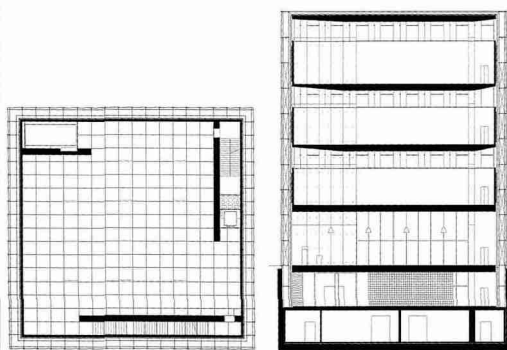
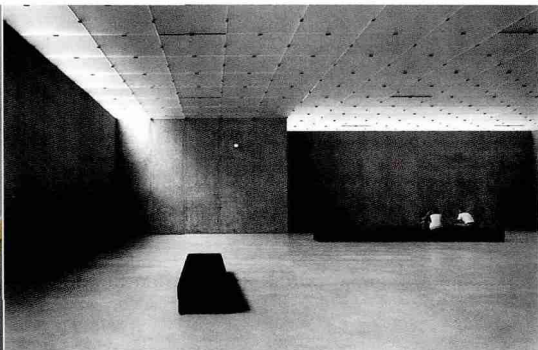
布雷根茨美术馆的另一个特点是抽象性。就此而言, 它也许可以被视为对弗兰姆普顿“抽象空间与建构形式乃是鱼与熊掌不可兼得”论断的挑战。这样的挑战还有许多。柳亦春近年来最乐于谈论的一个案例是石上纯也的一张桌子。确实, 这张钢、铝板复合制成的桌子跨度近 9.6m, 厚度却只有 6mm, 其轻、薄的效果惊人 (图 4)。通过与结构工程师小西泰孝的合作, 石上纯也成功铸就了一个形式极为抽象简单、构造节点极为巧妙隐秘、同时又充满结构智慧的作品。但是很显然, 为了更为抽象, 石上纯也最终还是把原本有趣的建构节点用包裹整个桌子

的木皮遮蔽掉了。柳亦春因此写道: “在石上纯也这里, 抽象性的思考及其表达是首位的, 结构、构造与材料在完成了它们的任务之后最终隐匿在空间之后。然而由此产生的空间形式却又离不开这背后的结构、构造与材料。极致的技术产生了极致的形式, 却不一定要表达技术本身。”^[4] 同样的策略也出现在柳亦春列举的石上纯也与小西泰孝合作的神奈川工科大学 KAIT 工坊之中 (图 5)。在这里, 区分受拉柱和受压柱的节点被隐匿了, 取而代之的是不那么引人注意的柱子断面形状的区别。

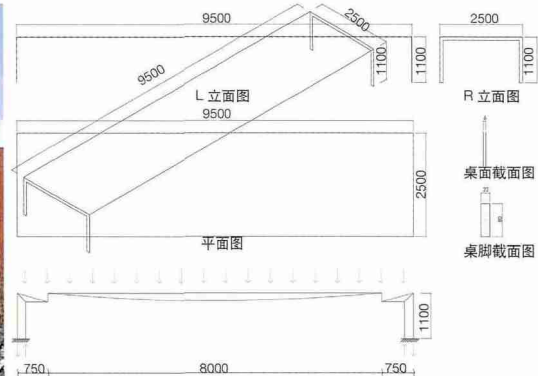
但是, 如果说这些对结构、构造和材料的隐匿都是为了取得“轻”的效果而展现的一种“诙谐”智慧和“修辞”手段的话, 那么据说也是石上纯也设计并即将建成的厚度只有 8mm 的神奈川工科大学另一建筑则几乎要为“轻”和“薄”的效果而不择手段了。同样是小西泰孝担任结构工程师, 也同样有着种种精妙的结构设计 (包括附和在钢板表面的沥青所起到的结构作用), 然而由于该建筑尺度的巨大 (跨度超过 100m) 以及由此产生的抗震要求, 设计者不得不在地下结构上大做文章, 以保证可视的地上部分的“轻”



2 彼得·卒姆托的布雷根茨美术馆外观、展厅、平面、剖面



3 弗兰克·盖里的魏斯曼美术馆外观



4 石上纯也 / 小西泰孝: 桌子



5 石上纯也 / 小西泰孝: 神奈川工科大学 KAIT 工坊

和“薄”，就像中央电视台大楼为了完成那个抽象的造型而把超过1万吨的用量埋在地下一样。从桌子到建筑，尺度扩大了10倍，效果至上的形式诉求却没有变，其极致的抽象性也与布雷根茨的抽象性相去甚远。就此而言，石上纯也的这些作品与其说是对弗兰姆普顿论断的挑战，不如说是从反面印证了这一论断。

所幸柳亦春还有另外两个案例可以把我们从石上纯也对“轻”“薄”的几近走火入魔般的迷恋中拉回来。这两个案例都是桥，一个是瑞士结构工程师约格·康策特(Jürg Conzett)设计的索兰孙斯悬索步行桥(Punta Suransuns, 图6)，另一个是位于浙江台州的木结构石板桥(图7)。前者无疑是一个既轻又薄的结构杰作，后者则出自中国乡间能工巧匠之手，并且都与石上纯也的刻意遮蔽以追求“轻”“薄”效果的策略有很大不同。诚然，通过引述康策特的一段话——“我不寻求独立的‘工程美学’，即常被人提起的‘承重的清晰性’。我的目标更加适度，但同时又雄心勃勃——工程师的工作应是建筑的一个部分，不论它是有形的还是无形的，也就是说，它应该属于建筑”^[4]，柳亦春试图说明康策特与石上纯也/小西泰孝的共同之处，但是如果回到康策特的原文，我们便不难发现他这里所谓的不追求“承重的清晰性”其实不是泛泛而谈，而是有所指的，即放弃通常被认为呈现了“承重的清晰性”的框架结构，转而探讨将建筑需求与结构需求合而为一、但看起来却“完全不起眼”的“板结构”(更准确地说应该是钢筋混凝土“楼板-墙板承重结构”，即德文的Schottenbau或英文的floor-and-slab structure，也是布雷根茨美术馆的主要结构形式)。尽管如此，“承重的清晰性”还是在索兰孙斯步行桥上(当然也在那个台州木构石板桥上)彰显无疑。可以说，正是这种“承重的清晰性”使得康策特的“轻”“薄”诉求与石上纯也/小西泰孝的迥然不同。当然，我们无须立马在两者之间区分优劣，但是在笔者看来，辨析两者的区别却至关重要。

同样，柳亦春所谓的“像鸟儿一样轻”也是一个极具思辨潜能的表述。这个由卡尔

维诺从保罗·瓦莱里(Paul Valéry)那里引述而来的表述之所以极具思辨性，因为它区分了“鸟儿”和“羽毛”：“应该像鸟儿那样轻，而不是羽毛。”在我看来，与羽毛的绝对轻不同，鸟儿的“轻”来自它是一个精妙的生物结构(图8)，是自然的造化，是苏格兰生物学家和数学家达西·汤姆森(D'Arcy Thompson)的《生长与形式》(On Growth and Form)的轻^[5]，或许也是布雷根茨美术馆的轻，是索兰孙斯步行桥的轻，台州木构石板桥的轻，却很难说是石上纯也的“轻”。

3 当建造成为建筑学的核心

在一篇旨在论述朱竞翔及其团队的“新芽”轻钢复合体系的文章中，花费如此多的笔墨“顾左右而言他”，似乎有偏离主题之嫌。但是，在《建筑学报》已经对该体系做了系列报道之后(其中包括朱竞翔及其团队自己的介绍以及其他学者的论述)，我倒更愿意在一个更为广阔的建筑学视野中看待“新芽”轻钢复合系统的意义。

在笔者看来，不能因为是轻钢结构，就导致整个讨论把重点放在“轻”上。“新芽”轻钢复合体系的核心是一种轻型建造系统，而非“轻”的表现或者“轻”的效果的追求。诚然，既是一种轻型建造系统，最终的建造结果呈现出某些轻的特质也是理所当然的事情。对于这一点，朱竞翔团队并没有完全避而不谈，但是很显然，“轻”的效果既非他们的重点之所在，也非处心积虑的追求目标。毋宁说通过“新芽”轻钢复合系统，朱竞翔团队所进行的是在将建造作为建筑学核心之时所需要的全方位的思考和应对。这些在《建筑学报》2014年1期和4期登载的作为“轻型建筑体系：理论、开发与应用系列”之一和之二的朱竞翔团队对“新芽”轻钢复合体系的自我介绍、以及《建筑学报》2014年第12期由朱竞翔担任特邀学术主持人的“轻型建筑体系理论、开发与应用系列之三——民间原型与演化”中都已经得到清晰的表达。在这里，轻型体系的形式表达只是全部建筑学维度的一个方面^[6]；相比之下，朱竞翔团队介绍和讨论更多的是与建造相关的诸多其他问题，如轻型建筑实践中基础设计的策略、



6 康策特：索兰孙斯悬索步行桥



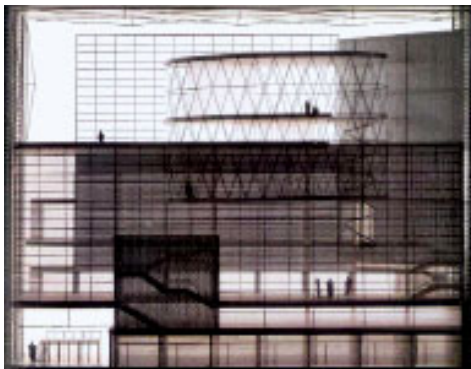
7 台州木结构石板桥



8 飞鸟

围合结构的热物理性能、结构与建造的整合、材料系统与施工的关系等等，更不要说体系研发需要面对和解决的资金问题、适应性问题以及日常使用和后期维护的问题。类似的思考也体现在发表于《时代建筑》的“轻量建筑系统的多种可能”一文中，包括其作为复合受力结构的材料成本优势问题、抗震与防风的性能问题、构件的通用性与设计灵活性的关系问题、干法安装与提高施工进度的问题、轻型系统对地基处理要求比较低的问题，以及多层连续构造杜绝冷、热桥、提高提造价建筑室内环境舒适度的问题等^[7]。

对于建造来说，这些问题的意义不言而喻，但不可否认的是并非所有建筑师都能对之驾轻就熟，得心应手。这是我们建筑学教育并未很好解决的问题，也是当代建筑实践常凸显的问题。尽管自世纪转折以来在中国建筑学界方兴未艾的“建构”讨论在一定程度上强化了学界和业界对“建造”问题的关注，弥补和纠正了我国建筑学教育和建筑实践长期以来的偏颇和不足，但是通过“新芽”



9 槇文彦的萨尔兹堡会议中心方案模型

轻钢复合体系我们看到的是一种真正全方位地将建造作为建筑学核心的意识和系统。用难能可贵来形容朱竞翔团队的这一工作并不为过。

值得一提的是，对建造问题的思考已经在朱竞翔于1990年在东南大学完成的博士学位论文《约束与自由——来自现代运动结构先驱的启示》^[8]初现端倪。据我所知，选择这样的博士论文研究方向在当时并非没有阻力，它是朱竞翔执着坚持的结果。在众多学界和业界人士对形式甚至是符号式的后现代形式津津乐道之际，朱竞翔从建造的角度发现了己的建筑学兴趣点，而这个兴趣点的最基本切入点就是结构，或者说结构与建筑的关系。值得一提的是，这篇论文出现的第一张插图是埃菲尔铁塔，而第二张插图则是作为纽约现代艺术博物馆 Light Construction 展参展作品之一的日本建筑师槇文彦的奥地利萨尔兹堡会议中心方案的模型照片(图9)。朱竞翔为该照片配备的图注是“模型显示了支撑与围合系统的融合”。正如朱竞翔自己在博士论文绪言中阐述的那样，这种对结构与建筑表达的兴趣点曾经在1997年巴黎蓬皮杜艺术与文化中心举办的“作为艺术的工程”(Engineering as Art)的展览上被强烈激发，也出自对他自己曾经接受的建筑学教育导致学生技术意识偏弱以及局限于从形式理解现代建筑的状况的不满。因此，尽管一个以现代建筑结构先驱为主题的 历史研究对当时的朱竞翔来说不能不说是一个陌生的领域，但是他坚信只有通过这样的

研究，我们对现代建筑的理解才能超越时髦的形式风格，才能看到在现代建筑的发展过程中，结构作为设计重要出发点甚至建筑流派决定因素的潜能。

然而朱竞翔告诉我们，他选择以现代建筑结构先驱的历史研究作为博士论文主题的动机最初还是来自自己的工程实践。他写道：

“在工地与材料及施工的经常接触中，笔者越来越体会到建成空间的效果受制于构件的尺寸，而整体艺术效果非常依赖结构工程师与施工人员的配合。然而在1990年代，按照规范设计制造出来的许多建筑构件甚至比钢筋混凝土刚发明时结构先驱的作品还要粗壮许多，这不能归咎于材料，它们的质量和可靠性只应越来越好。基于这些疑问，笔者阅读了技术工程史方面的文章，从中逐渐意识到尺寸的差异只是表面的现象，创新机制的优劣则是根本。结构先驱们一旦解决安全问题，便会向更高效更经济的方向探索。而在中国，部分设计者出于对材料、施工乃至自身能力的不信任不断加大保险系数，这种思路有时甚至影响到官方规范的制定。尺寸的些许差异或许不足为怪，但它所带来的巨大浪费以及对自由竞争的扼杀却是不能忘记的。”^[8]

可以说，在这样的最初动因中，朱竞翔关注和思考的已经不仅仅是结构与建筑的关系问题，而是包括结构在内的建造问题对建筑本身的深刻影响。但是，如果说许多这类建造问题并没有在论文中得到足够回应的 话，那么“新芽”轻钢复合体系中无疑为朱竞翔及其团队对这类问题的探讨提供了更为具体和现实的语境。诚如韩国日和朱竞翔指出的，“轻质结构与重型结构相比，工期短，工作阶段多，设计者介入环节与涉及的知识更广泛，轻质结构因而对设计者的挑战更大。这些项目工程背后，是建筑系统的研究与开发、全生产建造链条的统筹与管理、后期的测试与维护、资金的筹措与调配。”^[9]当然，作为一种全方位的建造体系的探索，“新芽”轻钢复合体系还涉及诸如适应性技术、工业

化生产、可持续发展、扶贫帮困与人文关怀等更具有社会意义的问题，尽管限于篇幅我们无法在本文中逐一讨论这些问题。

我无意否认建筑师的形式素养在“新芽”轻钢复合体系及其实施项目中发挥的至关重要的作用。相反，透过这些项目，朱竞翔及其团队对建筑形式的驾驭和把控能力已经不容置疑。没有这种能力，“新芽”轻钢复合体系绝不会呈现如此不同凡响的建筑结果。我们甚至可以说，正是通过形式、空间、使用等问题的转换，“建造”问题才不再仅仅是一个简单的工程学概念，而是建筑学不可或缺的内 在要素之一。也正是在这样的意义上，我们才能理解“当建造成为建筑学的核心”之命题在“新芽”轻钢复合体系中的全部含义。^[1]

参考文献

- [1] Terence Riley. Light Construction[M]//Todd Gannon. The Light Construction Reader. New York: The Monacelli Press, 2002: 23.
- [2] Jeffrey Kipnis. Preface: Give It a Name[M]//Todd Gannon. The Light Construction Reader. New York: The Monacelli Press, 2002: 15.
- [3] 青尼斯·弗兰姆普顿. 建构文化研究——论19世纪和20世纪建筑中的建造诗学[M]. 王骏阳, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 163.
- [4] 柳亦春. 像鸟儿那样轻——从石上纯也设计的桌子说起[J]. 建筑技艺, 2013(2): 36-45.
- [5] 达西·汤普森. 生长和形态[M]. 袁丽琴, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.
- [6] 谭善隆. 权衡“轻”“重”——谈两个轻型建筑作品的不同表达[J]. 建筑学报, 2014(4): 10-14.
- [7] 朱竞翔. 轻量建筑系统的多种可能[J]. 时代建筑, 2015(2): 59-63.
- [8] 朱竞翔. 约束与自由——来自现代运动结构先驱的启示[D]. 南京: 东南大学, 1999: 3.
- [9] 韩国日, 朱竞翔. 轻型建筑系统研发应用中的设计类型及其效能[J]. 建筑学报, 2014(1): 95-100.

图片来源

- 图1: 朱竞翔提供
图2: Thomas Durisch. Peter Zumthor: Buildings and Projects Volume 1, 1985-1989[M]. Zurich: Verlag Scheidegger & Spiess, 2014.
图3、9: Todd Gannon. The Light Construction Reader[M]. New York: The Monacelli Press, 2002.
图4: 作者自绘
图5: 作者拍摄
图6、7: 柳亦春提供
图8: Richard Weston. Utzon[M]. Copenhagen: Edition Bl ndal, 2002.