

# 从现代趋向当代

## ——预制装配式木构建筑与建筑系统发展相关问题讨论

### FROM MODERN TO CONTEMPORARY: DISCUSSION ON PREFABRICATED WOOD CONSTRUCTION ARCHITECTURE AND BUILDING SYSTEM

赵妍 孙宇璇 何英杰 孙旻杰 朱竞翔 | Zhao Yan Sun Yuxuan He Yingjie Sun Minjie Zhu Jingxiang

**摘要** 2016年，朱竞翔教授带领的香港中文大学的研究团队和深圳元远建筑科技发展有限公司接到第十五届威尼斯建筑双年展的邀请，他们以轻型预制装配的童趣园为原型，发展出具有全新适应性的“斗室”，在有限的时间内完成设计和建造。本文主要围绕预制装配建筑话题，讨论朱竞翔团队对预制装配木构建筑的研究与探索。

**关键词** 预制 木构建筑 轻结构 建筑系统

**Abstract** In 2016, the research team of the Chinese University of Hong Kong led by Prof. Zhu Jingxiang and Unitinno Architectural Technology Development Ltd received the invitation of the 15th Venice Architecture Biennale for the Chinese Pavilion. Based on a prototype of the light-weight checkered playroom, the team developed it into a new adaptive "Dou Pavilion", which was completed within a limited time. The interview focuses on the prefabrication of light-weight architecture, discussing the research and exploration of prefabricated wooden building construction by the team of Zhu Jingxiang. Prof. Zhu Jingxiang, Zhao Yan, He Yingjie, Sun Minjie, and Sun Yuxuan are the team members of the Chinese University of Hong Kong in the conversation.

**Keywords** prefabrication, timber construction, light-weight structure, building system

**孙宇璇**：针对预制装配建筑这个热门话题，能否谈谈团队近期的研究和项目实践？

**朱竞翔**：预制装配的建造方式是团队研发和实践的重点，近期团队平行进行的几个海外和国内的项目都选用预制装配建造方式，但由于不同的设计条件的制约而采用了不同的建筑系统。其中近两年在全国各地区持续进行的童趣园系列项目，是团队为尝试整体设计和敏捷开发而进行的建筑产品研发。童趣园的原型是一个为乡村学前教育开发的房屋产品。从2015年中国甘肃省会宁县的10个乡村教室开始，至2016年夏天，已有45座童趣园在中国各地的偏远地区落成，服务于各区域数千名学龄前儿童（图1）。

“倘若拿走了玩具和教具，一个空间还能够吸引孩童吗？”带着这个疑问，建筑以格子形的木盒子作为基本组织单元，组合成高低不等、凹凸不平的变幻空间，给孩子探索的自由。这种盒子基本单元既是围合丰富室内外空间的表面，也是累叠成房屋的结构构件和建造单元，更是针对孩童的尺度和活动特点订制的家具、玩具。由于环境、结构、性能、空间等一体呈现，各地落成的童趣园都令人印象深刻。由于充分考虑了产业条件的制约，产品具有造价亲民和生产建造快捷的优势，得到广泛认可与推广。

**孙宇璇**：目前在国内的建筑行业，预制装配建筑的话题大多集中在预制混凝土、重型钢材这些材料上，构件也多为需机械吊装的大型构件。但你们团队的研究和项目更多集中在轻型建筑材料上，可以谈一谈其中的缘由么？

**何英杰**：在团队工作中，第一要考虑的因素并非材料而是建筑体系。团队以设计系统和集成建筑为研究重心，通过系统设计的方式来优化建筑的综合表现。在设计中，我们将环境、结构、空间和性能一体化地呈现在建筑上，同时在设计之初就已经综合考虑制造、建造、运输和维护等产业

制约因素。设计议题、产业议题及其他在地的具体条件都是项目的影响参数，设计系统的优势在于对诸多因素的综合评价与权衡取舍，实现建筑的全流程优化。

系统层级下的工作，帮助我们获得材料选择的主动权。除了单一材料的应用，我们还会考虑不同材料的复合应用。以木材为例，这种材料加工方式多样，且物理性能与多种建材兼容，在复合结构中被大量应用，与钢材、人工板材、混凝土、保温板材和有机材料等都可组合作为结构使用。

建筑应用的每一种材料都没有绝对的优劣，就国内的政治、经济、行业发展而言，占据建筑业主导地位的混凝土建造依托现有的工业生产能力，逐步从传统的在地施工转向预制装配，这是一种惯性式的改良，在一定程度上提升了建造的效率和建筑的品质。但这并不代表混凝土通过不断改良可以解决所有问题，我们选择木材作为主要的建筑材料，是考虑到其优良的强度与密度比，也就是轻的特点；另外，从绿色建筑的角度，木结构在节能环保上也有不可替代的优势。

**赵妍**：由政府间气候变化专门委员会（IPCC）给出的报告数据可知，在2010年，全球建筑行业（涵盖了住宅、商业、公共和服务等业态）的能耗占到最终能源使用的32%。时至今日，我国建筑业的发展方式仍较为粗放，如何有效地控制建筑在各个阶段的能耗已成为我国建筑从业者在这个时代不可回避的任务。从材料生产阶段来看，木材不但不排放二氧化碳，还对其具有一定的吸收（图2）；从构件加工阶段来看，木材容易加工，每制造同等单位的构件，木材的能量消耗远低于其他建材（图3）；而且木材质轻，在运输上的能耗也可降低；施工快速便捷，木材对人力、机械和能源的消耗都相对较低；一般情况下，木材的导热率低，是天然的保温材料，有助于维持建筑在使用阶段的低碳排放；此外，木材还是真正可以实现回



图1 童趣园系列第一个项目落成在甘肃会宁县库去村 (图片来源: 赵妍拍摄)

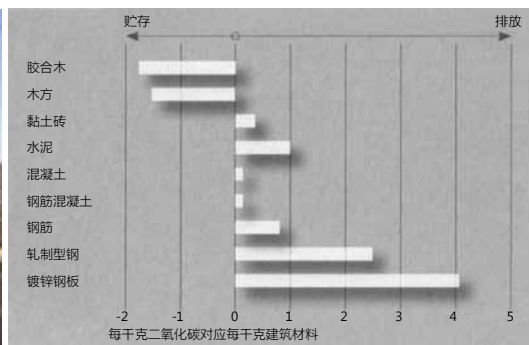


图2 不同材料的生产所产生的二氧化碳量的对比 (图片来源: Josef Kolb的*Systems in Timber Engineering: Loadbearing Structures and Component Layers*一书)

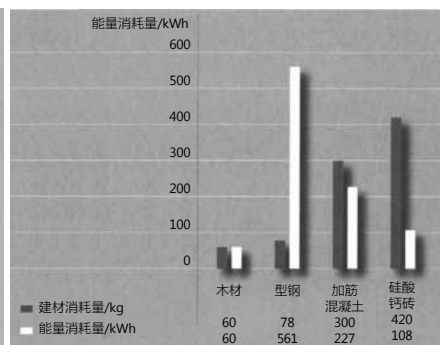


图3 不同材料的构件加工耗能对比 (图片来源: Josef Kolb的*Systems in Timber Engineering: Loadbearing Structures and Component Layers*一书)

收再利用的建材。因此, 预制装配式木构建筑与以其他材料为主的建筑相比, 在降低建筑能耗上有优越性, 可以真正实现建筑全生命周期的循环和周期内各阶段的低碳环保。

木构加工相对容易, 在建设速度上有着不可忽视的优势, 特别是要平衡效率议题时尤其值得重视。在历史上, 当城市建设面临人口巨大增长的压力时, 木材便作为主要建材被推崇, 以18世纪的芬兰为例, 有数据显示, 截至18世纪末木结构教堂建设量为120余所, 而石砌教堂仅10余座。<sup>[1]</sup>

**孙宇璇:** 木建筑体系在东方和西方都有悠久的历史, 不仅我国有悠久的木构建造历史, 以欧洲为例, 整个村子、城镇的房屋或者构筑物(住宅、风车甚至教堂、钟塔等)均为木结构建筑的情况屡见不鲜, 通过对木结构的系统研究和比较, 可以简单谈一谈你对木构建造的认识么?

**赵妍:** 的确, 木材作为天然的建材, 在房屋营造史上有着广泛的应用。只不过木构建筑的发展曾一度受制于林业资源的配置。而随着运输业的蓬勃发展、全球森林认证体系的完善和速生林的大力发展, 这一制约已经被打破。

在欧洲、日本, 还有木构历史相对较短的北美地区, 用木材建造建筑的传统不曾中断, 传承更新至今。随着木材改性、胶结产品和金属链接件的研发, 结构计算和构造设计的深化, 木构建造体系不断发展并逐渐完善: 从井干式结构体系(Log Construction System)和早期的木框架体系(Timber-frame Construction System), 到近代的气球框架建造体系(Balloon-frame Construction System)和平台框架建造体系(Platform-frame Construction System), 再到现代的板式建造体系(Panel Construction System)、现代的框架建造体系(Frame Construction System)和实体建造体系(Solid Timber Construction System), 建筑不仅在形态、空间和规模上获得了更多可能, 在使用性能上也实现了质的飞跃。

在这些木构建造体系中, 真正意义上的现代木构建筑, 即运用预制装配式思维和工作方式研发的木构建筑可以追溯到20世纪20年代。那时, 以康拉德·瓦克斯曼和沃尔特·格罗皮乌斯为代表, 他们把对建筑预制和建造过程工业化的冲动投向了预制装配式木构建筑。二人均就单一的井干式小住宅项目实现了构件的预制加工和现场的装配完工。

**孙宇璇:** 也就是说, 现代木结构从20世纪20年代就已经发展为预制装配的建造模式?

**赵妍:** 是的。建筑工业化的初期以木构试水, 这与木构建筑很适合进行标准化生产和模数化组装有着必然的联系。到了20世纪40年代, 这些来自欧洲的先锋建筑师们——瓦克斯曼与格罗皮乌斯来到美国后, 合力研发了板式建造体系。后来, 瓦克斯曼对构件标准化设计的兴趣促使他不断研

发三维通用链接器, 为现代框架结构的木构工作建立起新的标准。可以说瓦克斯曼完成了从个体建筑构件的预制到模数化建筑系统研发的过渡。<sup>[2]</sup>

**孙宇璇:** 与传统木结构相比, 现代采用预制装配方式建造的木构建筑有什么特点或者突破?

**赵妍:** 首先, 材料的革新对现代木构建造的发展有着深远的影响。传统木构建筑采用经简单处理的原木, 经能工巧匠之手打磨、拼装。木材受本身物理化学性质所限, 易受环境侵蚀而失去原有的品质, 使用若干年之后就要被翻新更换。而得益于化工技术的发展, 现代可以通过覆盖或渗透的化学添加方式将木材改性, 使得木制品在尺寸稳定性、阻燃、防潮、防腐、防虫, 以及抗UV辐射等性能上均取得了骄人的成绩。

另外, 经过工厂的深度加工, 木材可被制成性能更稳定的人工复合木材。被切片、刨片或碎末处理后的木材原料, 经过干燥、铺叠、压制成型等一系列工艺加工后, 成为板状或其他几何形态的工程用木材。工程用木材不仅在尺度和形态上更灵活, 在力学性能上也得到了极大的优化, 区别于原木在结构性能上多向异性的特点, 现代加工工艺以分解并重组的方式改变了木纤维的方向和密度, 从而使其获得更佳的结构性能及抵抗变形的耐候性。常见的用木碎末加工的木制品有刨花板和定向结构刨花板OSB; 用木纤维加工的木制品有湿法制作的纤维板和干法生产的中密度纤维板MDF; 胶合层积材有单板层积材LVL、交叉层积材CLT及较新的木薄片层积材LSL等。

**何英杰:** 工程木材在几何上的突破给予当今木构预制装配更开阔的发展空间, 推动了木构建筑的预制装配发展。

就尺寸而言, 以往需要数百年才能成材的大截面、超长度材料, 如今通过各类手段对木纤维进行重组, 可随时从工厂加工获得。而现代机械可以对原木进行批量再加工, 给木构件的几何选择提供了多样化的可能。现代工程可以根据需求更自由地选择不同厚度、宽度和长度的木材产品, 市场上也出现更多适应现代装配建造的大型木制预制构件产品。

另外一个比较明显的转变是材料形态的多样化。传统木结构构件基本都是长向构件, 是顺应自然的选择。为应对现代建造工程的多样需求, 片状、厚板状、砌块状、空腔形等各种形状的木型材被加工出来并推向市场。而且复杂的材料截面形态也更易得, 中国传统木构中精密的榫卯连接极大依赖于匠人的手艺, 如今在精工车床上就能被精准地批量加工出来。

**赵妍:** 此外, 现代的预制装配式木构建筑, 其速度优势也不可忽略。目前世界上最高的木构建筑为加拿大UBC校园的一栋学生公寓, 此公寓共18层, 高53 m, 采用混凝土核心筒和现代木框架复合的结构形式。计算机辅助设计结合数控机床(CNC)的加工方式实现了高精度的预制, 配合现

代化的吊装机械，全部木结构完工仅用66天。

**孙旻杰**：在大型吊装设备不可抵达的地区，预制装配式木结构的速度优势将更凸显。以童趣园为例，其生产和建造环节都很高效。部分地区的童趣园搭建是由志愿者在专人指导下完成的，完全没有建造经验的8个人在2~3天内即可完成现场搭建，而专业的4人搭建团队仅需1天可完成所有工作。

**赵妍**：需要补充的是，我们在强调预制装配式建筑时，并不是要否定传统手工艺制作的价值，发展预制装配式建筑也不应该片面强调效率和产业调整。只是在批量建设的前提下，采用现代机械加工预制和装配式的木构建造方式来代替木匠的手工艺，是可以同时平衡材料集约、加工精度、建设速度、建筑质量和成本控制的选择。

**孙宇璇**：材料形态和性能的改变必然导致设计策略的变化。能否结合具体的项目，谈谈团队在设计中是如何考虑材料因素的？

**孙旻杰**：市场上的木材从原木逐渐转向各种特定规格的木材，工程常用的SPF木方即北美松木，OSB，CLT等各类工程板材都是标准化的材料。标准化是预制装配建造系统发展的前提，固定的模数系统让“设计—制造—建造”产业链的协作发展有章可循，而各生产环节中日益提高的精度及优良率保证了预制装配的效率。

在过去，团队的许多项目时间周期都十分短，市场材料的尺寸常常成为设计中的重要依据甚至是模数标准。符合市场的标准的确立，不仅能保证材料及相应配件的供应，还能节省材料、减少再加工环节。例如，童趣园以常见的工程板材的尺寸（1.20 m × 2.40 m）为模数依据，而夏季版本的童趣园，由于采用SPF木方，模数依据也根据材料截面而有所调整，这些都是设计之初就确定好的。

**孙宇璇**：以建筑全生命周期的视角去审视预制装配建筑，请问这对未来建筑从业者的工作会有怎样的影响或挑战？

**孙旻杰**：预制装配建筑开始从承重结构的构件化着手，发展出了木结构、预制混凝土结构、装配式钢结构等分支；围护结构的工业化也成果丰硕，玻璃幕墙、门窗、架空地板和外墙挂板等建筑产品的专业化程度已经非常之高。功能上相对独立且固定的卫浴和厨房被分离出来，成熟集成产品日益普及。空调新风等建筑设备由于需要在多变的建筑形体中布置，也开始按系统销售。在这样的趋势下，各专业各自深入，专业性不断增强，几乎形成壁垒，预制装配建筑对建设、设计、制造、建造等各方的协作能力提出了更高的要求。不仅需要每个项目中贯穿全生命周期的交流，而且需要各方将视野扩展到项目之外，共同维系预制装配建筑背后的工业链条。

**赵妍**：产业链条式生产及全体系组织运作的预制装配式建筑，意味着设计须以集成化为导向，建筑师不仅要综合考虑地域环境、结构和建筑性能等传统建筑学议题，还要对设计背后的建造产业中的各类限制加以预判，并提早进行统筹安排。这些全面的考量须涵盖建材采购、制造、运输、装配、使用、维护和回收等建筑生命周期中的各阶段。这对建筑师而言是个极大的挑战，意味着其知识结构和工作模式的巨大调整。

**何英杰**：十余年来，团队以建筑系统设计和集成建筑为研究重心，以系统设计的方式来优化建筑的综合性能，将环境、结构、空间和性能一体化地呈现在建筑上，并综合考量其他与建造相关的产业制约因素。这个思路与预制装配建造在策略上是契合的。

童趣园项目的设计结合对气候、结构、家具、制造、建造、运输、维修的多重考虑，以标准模块预制装配的建造方式达到低成本、易建造、易搬运的效果，帮助公益机构在偏远乡村高效地开展服务。经过改进的SIP模块既是围护体又是结构体，模块设计考虑到人力搬运和搭建，任一组件的重量都控制在50 kg内，即在两个成年人能进行举高操作的范围内。构件的

尺寸除考虑材料利用率外，还要兼顾人体的舒适度和运输体积集约化。

2016年威尼斯建筑双年展中，中国馆的“斗室”针对室外展览的需求和当地气候等条件，设计出可折叠的通透格栅结构。在保证展览效果的同时，将打包运输体积压缩在一个20英尺（约6 m）的标准集装箱的容积内，接近展开后的围护体积的一半，而现场的安装与拆卸打包都只需4天。

但预制装配并非可以“以不变应万变”，应对不同的建造环境，设计师应该灵活变通，采用相应的策略。在青海玉树援建的拉吾尔小学项目中，4 000 m海拔地区的高寒大风缺氧环境给建造带来了巨大挑战，团队在综合评估当地环境、运输和施工条件后，决定以“Z板建造系统”进行吊装建造。200 m<sup>2</sup>的双层教学楼由80块集成结构、保温和内外饰面的木制大型预制模块纵横构成，将所有板材的吊装压缩在8天内完成。最终，建造的困难并未削弱建筑品质，Z板模块独特的形态反而赋予建筑独特的空间效果。

**孙宇璇**：能否就国内的情况，谈谈团队在当代木构建筑的预制装配化发展中是如何工作的？

**朱竞翔**：团队的工作一方面依托于香港中文大学提供的研究环境储备先进的资源和技术，并保持工作的前瞻性；另一方面，又得益于与生产制造企业和开发者的合作，在实践与实验中深入了解整个产业链条，并获得经验与数据。对团队而言，项目是前驱，研究是核心，教育则是传播并影响下一代的方式，三者相互作用、密不可分。研究在企业级别中体现为产品和工具的创新；在学术上体现为分析案例，追踪动向和攻克难题；在建筑教育级别体现为行之有效的课程和恰如其分的议题。团队通过这三个方面的密切配合，形成持久并较难复制的创新机制，以推动当代木构建筑预制装配化的发展。

## 结语

在2016年WA中国建筑奖的评选中，深圳元远建筑科技发展有限公司与香港中文大学建筑学院团队斩获四个奖项，是获奖作品最多的建筑师/团队。从获奖情况不难看出，获奖作品的集中度在提高，中国当代建筑师之间价值观的认同感不断增强。朱竞翔团队在四个大类（即建筑成就、设计实验、社会公平和技术进步）中都有获奖，可以看出他们的团队在追求这些议题的协调性与整体性。正如同对绿色建筑与预制装配式建筑的思考，他们的工作并不是从单一或局部概念出发，而是对全流程及建筑系统的全面把控。这也是他们的研究和实践能持续进行、相互促进的动因。■

## 参考文献

- [1] NIKULA R. Architecture and Landscape: The Building of Finland[M]. Keuruu: Otava Printing, 1993.
- [2] BURKHALTER M, SUMI C. The Timber Buildings[M]. Zürich: GTA, 1996.

作者简介：朱竞翔 香港中文大学副教授

赵妍 香港中文大学博士候选人

何英杰 香港中文大学研究助理

孙旻杰 香港中文大学研究助理

孙宇璇 香港中文大学博士研究生

收稿日期：2017-03-30