

2009年以来笔者的研究团队进行着轻型建筑系统的发明和项目应用。本文描述了其中一个轻型结构系统（新芽系统）的五个实验项目，它们具有多变的形态，以反映场地、地质、气候、功能、预算的特定挑战，它们还有着不断推进的、系统级别的探索——分别是系统的成型、适应性的扩展、围护体的突破、高度方向的拓展以及山地应用。这些小型项目包含了学术研究工作的几种形式：有通过应用发展实用的创新技术，也有集成多分支的技术，还有利用足尺试验收集验证数据。它们还反映了大学学术研究者的价值观及方法，即在区分“发现、集成、应用与教学”学术类型的基础上，探寻其间重叠、依存的关系，以及不同学术形式之间关联的途径。

## THE EXPERIMENTS AND ACADEMIC FORMS OF THE LIGHT ARCHITURE SYSTEM

### 轻型建筑系统的实验及其学术形式

text\_朱竞翔（香港中文大学建筑学院副教授）



2008年以来，我带领香港中文大学的研究团队设计建造了一系列慈善学校及保护区建筑。这些小型项目除了带来专业奖项、社会认可和持续的研究机会外，也证明了轻型建筑系统的优越性能以及巨大潜力。应UED杂志社的邀请，我在这里介绍其中的一组工作。通过回顾这些应用工作，我希望能够介绍所涉及到的学术活动和团队对于建筑学独特学术性的理解。

#### 2009年四川广元下寺新芽小学——系统的成型

2008年“5·12”汶川大地震之后，我向香港龙的文化慈善基金建议使用轻结构帮助四川小学重建。尽管当时还没有建成的实物，香港古董交易商蔡宏炯先生仍然决定资助两间学校。之后我和博士研究生夏珩进行了7个月的研发和试验工作。2009年6月，我们在深圳及成都的建材工厂组织构件预制，并在8月带领工匠与大学生重

建了四川灾区剑阁县下寺村新芽小学。这个项目提供了450m<sup>2</sup>的永久校舍，包括四间标准教室、多功能礼堂、教师办公室及环保厕所。四栋双坡屋顶单层建筑界定了中央庭院，布局概念来自于村落肌理。

利用这一建造机会，我能够实现一个酝酿了相当长时间的构思：研发一套创新的结构系统，它也



图 A

- 1 下寺新芽小学俯瞰——嵌入村落的重建布局
- 2 下寺新芽小学教室内景

建筑设计：朱竞翔，夏珩  
 建筑面积：437m<sup>2</sup>

是可定制的预制房屋，先在工厂低成本生产，然后在工地迅速组装。轻钢框架为承重主干，预制墙板与之拉接，形成复合的轻型结构系统<sup>[1]</sup>。它具备高抗震能力。轻钢框架受面材及表面涂层保护，寿命最少可达 20 年。虽然外墙仅 16cm 厚，但采用了隔热物料，配合多层构造、室内储热材料、恰当的门窗位置与面积比率，确保室内冬暖夏凉。分散式的自然采光与通风系统帮助减少了主动能源消耗。构件多以机械方式连接，便于未来的维修、拆卸或移动，也减少了使用化学胶结剂产生的有害物质。它造价合宜，允许远距离的预制生产。

四川大地震揭示了两方面的问题，一方面乡镇重型建筑物缺乏良好的结构设计与施工监管，导致重大伤亡及财物损失；另一方面灾后的重建工作繁重，临时建筑充斥却缺少舒适性，拆除后更造成难以处理的环境垃圾。这一创新的轻型结构系统在临时工棚般的安置房与钢筋混凝土的重型传统建筑之间找到一个有趣的解决途径<sup>[2]</sup>。新芽小学则将它以实物形式第一次完整地呈现在大众眼前（图 A）。

### 2010 年四川盐源达祖小学新芽学堂——空间适应性

同样在香港龙的文化慈善基金及中大新亚四川重建基金的资助下，2010 年我选择了四川省边境的凉山州盐源县泸沽湖镇，位于海拔 2 600m 的少数民族摩梭族村寨达祖建造第二所新芽学堂。这里靠近西昌，也是地震多发区域，有着由传统井干房屋构成的漂亮村落，美丽的自然环境吸引了旅游开发，但也带来了越来越多的砖混及水泥框架建筑。

新建筑继续采用了前述的轻型复合结构系统，但在以下几个方面做了新的尝试：学堂位置依据泸沽湖区自然环境、当地村落的肌理和校园生长机制而定。校舍是单层建筑，占地 260m<sup>2</sup>，设有三间教室和一个阅读空间，使用了紧凑的扇形平面，没有浪费任何地方作走廊，室内四个空间的尺寸、比例与朝向各不相同，孩童可以自然地感知所处的教室，教师也能按需要调整门扇，灵活制造不同教学空间，房间之间半透明的墙壁可阻隔声音，而不阻挡光线渗透。简单的外围木制格架设计，

使这个现代的建筑融入乡村氛围，又无须像当地传统的井干式建筑般消耗许多原木<sup>[3]</sup>。这一空间设计由新加入的香港同事谭善隆建筑师负责。

由于盐源天气寒冷，昼夜温差很大，但日照、风力充沛。建筑围合延续当代发达国家的构造原则来设计，使用 8cm 厚的保温材料来抵御严寒天气，还利用了烟囱效应在维持夏天室内的凉爽。清洁能源由一部风力发电机提供，用于点亮 LED 灯具，全部照明的能量消耗只有 1.2kW。设计还预留空间，供后续安装太阳能地板辐射热系统（图 B）。

### 2011 年云南大理陈碧霞美育小学新芽教学楼——围护体的突破

香港陈碧霞女士通过媒体信息联络到我，希望捐资为大陆学校修建新教学楼。我也有机会第三次应用轻型系统。2011 年春季，云南美育小学新芽教学楼落成。相比于前两次实践，这一项目在多方面有所发展：结构从单层发展到二层，平面组织转变为条状，屋顶形态也改变为单坡；而在场所的应对上，校园地形落差、校园以及村落肌理



图 B

- 1 达祖新芽学堂顶视，远处为达祖社村落
- 2 达祖新芽学堂的窗户利于儿童使用。
- 3 达祖新芽学堂墙身及屋面的构造示意图

建筑设计：朱竞翔，夏玟，谭善隆  
 建筑面积：260m<sup>2</sup>



图 C

- 1 美水小学新芽教学楼操场侧外观——围护色彩接近其他建筑物，洞口处理则很特别
- 2 陈碧霞美水小学校园轴侧图
- 3 美水小学新芽教学楼校园侧外观
- 4 美水小学新芽教学楼教室及开口——开口与灯具形成连续的光亮洞口

建筑设计：朱竞翔，夏玟，孔德钟，张东光  
 建筑面积：359m<sup>2</sup>

都被调动来发展设计，建筑周边出现了丰富、穿插的院落空间<sup>[4]</sup>。

建筑围护体是这次设计的重点，也是香港中文大学建筑学院夏玟博士的工作重点。它首先指的是沥青瓦的面层，优化的构造打破了厂家对沥青瓦使用在垂直墙面上的限制，并依机械式连接的思路将其发展为预制挂板模块。挂板尺寸来自于对人力施工、挂板重量与施工效率、图案自由度的综合考量。针对不同高度，挂板最终被设计成大小两种模块。在

现场建筑师仅告诉工人施工的原则——先取大而重的模块布置在下方，用小而轻的模块布置在上方——最终的表面效果是工人自主随机的决定与设计提前安排的原则共同作用的结果。

整个项目使用了 80 多个预制窗构件，基本构造方式完全相同，但分为两种类型：固定窗扇用于高侧采光，玻璃置于最外侧，开启窗用于低侧通风，窗扇后退并向内开启，适应小朋友的视线与使用。固定窗还增加了通风间隙，以配合开启窗实现更

好的夏季自然换气；开启窗则在对应位置安装了隐蔽的嵌入式遮阳卷帘，以遮挡夏季低角度的阳光辐射。这一隐形构造也利用了沥青瓦挂板的模数与系统填充板模数在几何尺寸上的一个差值，将构造矛盾转变为性能机会。开口系统的立面设计与色彩分布也遵循上述的内外空间逻辑：北面窗类似棋盘格随机分布，南面则为阵列复制，东西两侧的开口数量则根据黑板布置减至最少。由此逻辑，北面墙体沥青瓦的色彩与其余四面的单一黛青色形成对比，黛青色则来自对周围群山色



图 D

- 1 鞍子河工作站轴测图
- 2 鞍子河工作站的凸窗——能够强化整体结构的凸窗
- 3 鞍子河工作站的悬浮体量——规避林地湿气也便利基础的快速作业
- 4 鞍子河工作站的内景——从上层下挂的楼梯和 9m×7m 的大空间

建筑设计: 朱竞翔, 夏珩, 谭善隆  
 建筑面积: 260m<sup>2</sup>

调的响应。这一轻型校舍同达祖芽学堂一样, 视觉上有着厚重的防卫感。

建筑的内外还有很强的材料反差, 每间教室地板、隔墙的用色亦有所差别。室内开口较多, 天花板上的方形灯箱也设计得如同开口一样, 它们形成连续的表面, 包裹着室内空间。因此教室尺寸不大, 但空间的实际感觉很大, 既适应村校小班的情况, 也带来更高的能源效益 (图 C)。

### 2011 年四川鞍子河自然保护区工作站——高度上的拓展

成都以西的崇州鞍子河自然保护区工作站位于高原与平原地质板块的交界处, 汶川地震损毁了保护区内的房屋建筑。WWF 世界自然基金会北京及成都办公室提供资金, 香港中文大学的团队在 2011 年夏天组织新建了工作站兼宣教中心。这一项目是第四次系统应用, 形态方面的新尝试包括: 结构发展到三层, 悬浮布置, 内部空间布局及窗构件与结构有着紧密联系。

宣教中心坐落在 20 多公里进山公路的尽头。灰

白色量踞于高出路面 3m 的高地上。建筑整体架空于点式基础之上, 除了有利于保留自然地貌、减少房屋对土地的破坏、获得底部的自然通风外, 还可以减少野外基础施工的时间和难度。结构高 11m, 分三层, 每两层的主梁布局互成 90°, 每侧的柱体只承担两层荷载。填充板材与斜向拉杆使细长的结构立柱免于屈曲。底面架空而设置的地梁将柱子底端拉结为一体, 形成整体的笼状结构。窗洞使用匀质的棋盘图案分布在立面, 以确保结构对角的传力路径, 凸窗挑出 70cm, 其多面体的形体可加强自身乃至整体房屋的结构。首、二层楼梯的布置方向来自于各层主梁布置方向的变化, 也自然强化了各层空间的差异性体验。

所有的预制构件均委托成都与崇州附近的当地工厂进行加工, 以减少运输的能源消耗以及方便使用当地木材资源。在施工期间, 当地林业工人搭建了临时缆车系统用于材料上运, 房屋施工使用了很少的手脚架。工地位于深山之中以及雨季施工都对先期施工组织提出了高要求, 否则项目无法在短期内执行完毕 (图 D)。

### 2012 年四川白水河自然保护区工作站——山地住宅原型

2012 年, VANCL 凡客诚品捐资 WWF 世界自然基金会成都办公室修建了白水河自然保护区工作站。通过这一刚刚完成的项目, 我和团队探讨了乡村山地住宅的可能性。中心选址于白水河自然保护区入口附近的村庄, 房屋处在村旁的山脊落叶林中, 俯瞰着狭长的河谷与山下村庄。整个房屋由一圈 16 根短桩从地面顶升而起, 远望如同飘浮在基地之上。这一处理减少了土方的开挖与平整, 也使得建筑对山体的扰动降到了最低。

建筑平面尺寸 9m×7.2m, 山墙高耸, 内部有两层楼面。建筑量体上分布有不同大小的开口, 既用于调节室内采光与通风, 也用于观景。宣教中心的两层楼面空间处理不同。首层室内空间为平顶, 中央有一个服务箱体, 箱体内部包含卫生间、厨房、楼梯以及储物。箱体外围的空间用作饭厅、展览空间, 还可被划分为两间客房。二层空间为坡屋顶, 中央高大, 开放厨房与楼梯布置于一侧。剩下的空间适宜作为展览、会客、活动或者起居之用。首层东侧还布置有阳光房, 形成入口与街

接室外的温室。宣教中心空间的差异可以适应不同的功能安排，甚至更为长远的布局调整。除了展示、活动之用外，宣教中心很容易调整成为小型客栈以及独幢住宅。

房屋总面积不大，但性能不凡。建筑给水来自山上小型蓄水池。卫生间污水则经由生态化粪池洗净后排入野外。由于宣教中心的标高与邻近的公路有着约 20m 的高差，建筑师还坚持采用了电力驱动的山地缆车系统，它载荷约为 400kg，可由乘员通过遥控器自主控制行进速度与停留位置。这一缆车系统原用于山地农业生产<sup>[15]</sup>，在植入宣教中心项目后，它在施工期间解决了物料山地搬运的难题。而在建筑物投入使用后，它将方便用户搬运物资，同时也提供通过机械载具登堂入室的不凡体验。

宣教中心一方面延续着新材料与新技术的尝试，另一方面也通过规划选址、建筑设计以及整合机械系统示范如何高效利用山坡地，从而节约平坦的田地。凭借细致周密的设计与组织，团队仅派出张东光一名项目现场经理就监督完成了构件加工、物流协调以及现场拼装的全流程工作（图 E）。

#### 学术形式

以上的五个项目，建筑面积总共不到 1 500m<sup>2</sup>，从工程的角度看非常细微。但就像“轻”并不意味着“弱”一样，“小”也不代表“简单容易”。按照德国研究者的图解（图 F），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<sup>[16]</sup>。

来自于同一个轻型结构系统，上述五个项目性能的变化反映了研究团队在不断推进系统的内在复杂性，以便应对功能、外观、场地、地质、气候的特定挑战。不同形态使得客户感觉到特别，如同度身设计，这实际是一种标准化架构之上的多样定制。设计团队由此需要转译形态变化，以便工厂、作坊能够重复性地、有效率地组织构件生产。因为此种挑战，团队需要不断明晰设计议题、优化设计架构、开发设计工具并且撰写设计程式。

团队将这些建成房屋当作难能可贵的足尺模型，追踪它们承受自然力量与社会力量挑战时的变化，进而评估其表现。建成后，一个项目经历了后期修补，另一个由用户进行了局部改装。团队派人进行了头三个项目的基本气候与舒适性测试。在 2013 年，下寺新芽小学在使用四年后，将由于高铁穿越村庄而被局部拆除。对于常规方式的慈善建造，这会是一个令人十分沮丧的消息。但由于系统构想本身已考虑了维修、拆卸或移动的便利

性，这反而将是一次绝佳的验证想法及完整呈现系统优势的机会。

项目的构想、研究、设计、制造、建造与验证如同长链条，每一个环节、每一次项目都带来对比假设与真实的机会，两者的差异及对背后机制的追问不断带来新的问题，而它正是研究的钥匙，指向着下一次的发现<sup>[17]</sup>。例如复合结构的性能虽然优越，小尺度加载测试和工程师评估也已经验证此点，但系统级别的定量计算模型与工具仍然缺乏，这妨碍着项目设计效率与技术推广。目前团队正和国内顶级的土木工程学院合作，探讨对复合结构承载力机制精确的描述，之后将根据更准确的计算模型来发展便利的模拟工具。

围绕着这些项目，团队在资金方面得到了香港的大学基金、慈善基金、个人捐资者以及深港两地的设备捐助商的帮助，制造工作则得到从深圳、成都大型制造企业到当地小型家庭作坊的协助。其中的雅致集成房屋股份有限公司受到以上项目的启发，邀请团队为其开发新的产品原型。轻型建筑系统的研究工作不仅丰富了中文大学建筑学院日常课程教学的主题与内容，慈善学校及保护区建筑的建造活动还成为夏季短训课程。两周的施工过程即可帮助学生全面认识建筑构造的目的与策略，亲身体验实际施工和创新能力，也能够现实中认识乡村都市互哺共生的理念。四年来共有近 200 名来自香港及内地的大学生、志愿者及建筑师接受了夏季短训。

1990 年，美国当代著名教育家欧内斯特·博耶（Ernest L. Boyer）通过卡耐基教学促进基金会（The Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching）发表了《学术反思：教授工作的重点领域》（Scholarship Reconsidered: Priorities of the Professoriate），报告曾引发广泛讨论并对美国乃至英语国家的高等教育产生影响<sup>[18]</sup>。博耶在此文中简明扼要地指出学术研究工作的几种形式，即发现、集成、应用与教学。

作为大学教授，教学的学术即传播知识，由此保证知识发展的连续性，教学能成为学术活动的条件在于，教授从自己掌握的专业知识开始，不断对教学实践进行审视。应用的学术则是知识的运用和发展，也就是运用学科知识和技能解决具体问题，产生社会影响。集成的学术则指不孤立看待专业，因为它来自于人工的抽象与切分。研究者应把眼光从专业中解放出来，在多学科范围内审视学术问题，在更宽广的视界中去分析问题、解决问题，从而产生深远的认识或者新问题。高等教育的终极学术工作无疑是知识的探究，这可以被叫做发现的学术，主要指产生学术新思想或者赋予学术思想以新内涵。

有意思的是，博耶强调虽然人们常常将这四种学术形式作为独立的个体来规范日常工作，或者其中一种学术形式已经能够耗尽一个学者的有限时间与精力，但他希望大家明白它们是相互关联、经常重叠、并且相互依赖的整体，每一种独特的形式都包含了其他三种学术形式的每一个。

站在建筑学的立场，我个人非常认同此种分类。虽然建筑学在当代科学领域并不主导新知识的生产，但建筑实践活动却常常提出新的问题与要求。建筑学往往以一种延迟的方式深化对来自其他学科新知识的理解，甚至如同后卫般留存知识。但建筑学涉及的知识非常广泛也互为影响，因而有可能不断组织、建构它们，这种对内在组织、结构关系的反复研讨特别产生了集成与应用的学术，即通过综合已知事物的关系，或者提出具体问题的独特解决，对广泛的社群、环境产生具体的影响。此种能够不断吸收不同学科常识，加以创造性地运用，能够组织不同群体联合工作，并且进行批判性反思的能力既是建筑师的必备素质，也是建筑学课程设计与人才培养的难点。建筑学常常因为这种广博、变化的特点而游离于大学传统科学的专业评估体系之外，被简单类比为工程或是艺术。

前述的这些小型项目既包含有建筑实践的目标：满足客户需求，提示了具体社会问题的另类解决；也包含了学术研究工作的几种形式：例如通过应用发展实用的创新技术，还有集成多分支的知识（结构、物理、空间语法、施工建造、材料科学、制造加工、物流运输乃至社会科学），架构有普适意义的系统。但再深一层，它们还反映了我作为大学学术研究者的本体价值观及方法框架，即在区分“发现、集成、应用与教学”学术类型的基础上，探寻其间重叠、依存的关系，还有不同学术形式之间关联、转换的途径与方法。这一联络不同学术形式的方法论议题显得抽象宏大，但却因为建筑学（或者设计学科）独具的连接现实与学术的强大能力（或者潜力）而值得我们深究。

过去五年我和团队从事的寻求差异化的系统实践，也在追求轻型建筑知识的不断建构。当年轻一代因为新颖的建筑、独特的技艺来关注这些设计实践时，我们需要揭示：可持续性议题下的建筑系统应有怎样的可能？信息时代如何整合传统的工业预制技术？这一独创的体系和别的轻结构系统有什么关联？它的现实限制条件与未来发展方向又可能是什么？怎样才能有不断创新的机会和途径？当我们能够以设计学科专业特有的规律呈现和发展以上问题的答案时，不仅更多人可以投身到这条路上来，建筑学会因为明确的、核心清晰的贡献而变得更具独立价值，我们自己也获得了全新的自由——学术世界的自由和通过学术研究取得的社会自由。



图 E  
 1 白水河工作站缆车施工期间吸引村民试乘  
 2 白水河工作站二层大空间内景  
 3 白水河工作站缆车系统图

建筑设计: 朱竟翔, 夏珩, 张东光, 韩国日  
 建筑面积: 140m<sup>2</sup>

## 轻重型结构分期比较

德国基准

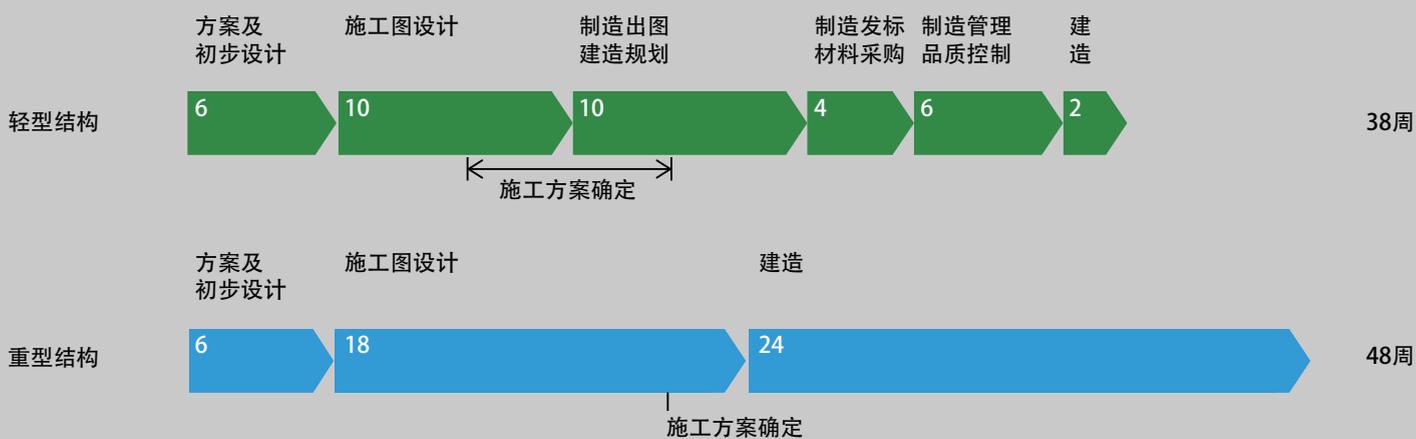


图 F 轻重型结构分期比较图

注释:

- [1] 震后重建中的另类模式: 利用新型系统建造剑阁下寺新芽小学, 朱竟翔, 建筑学报, 2011.4, P70-75
- [2] 朱竟翔: 在板房与混凝土建筑之间寻找答案, JASON CHOW, 华尔街日报 (中文版), 2012.11.05
- [3] 达祖小学新芽学堂, 王方戟, 一座预制的城堡, Domus China, 2011.02.
- [4] 成长的新芽: 访“新芽”小学设计师团队, 黄正疆, 城市中国, 第48期, 2011.08
- [5] 山地橘园遥控牵引式无轨运输机的设计, 张俊峰, 张康娟, 张衍林, 湖北农业科学, 第51卷第10期, 2012.05
- [6] a37 - timber building/concrete building, comparison of building phases, Systems in Timber Engineering: Loadbearing Structures and Component Layers, Josef Kolb, DGfH (Editor), Lignum (Editor), Birkhäuser, 2008
- [7] 新芽学校的诞生, 朱竟翔, 时代建筑, 2011.2
- [8] Scholarship Reconsidered: Priorities of the Professoriate, Ernest L. Boyer, The Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching, Jossey-Bass, 1997