

朱竞翔 ZHU Jingxiang

轻量建筑系统的多种可能

Possibilities of Light-weight Building Systems

摘要 文章介绍了香港中文大学建筑学院团队自2009年以来开发的四种不同的建筑系统——新芽系统、箱式系统、板式系统、框式系统以及它们特性上的细微差别。文章讨论了这些系统在灾后重建之外更广泛的应用,即在偏远地区以及城市开发方面的应用。最新完成的肯尼亚内罗毕 MCEDO 学校则揭示了轻量建筑系统用于海外援助与拓展时的巨大价值。

关键词 轻量建筑系统;新芽复合系统;箱式系统;板式系统;框式系统;应用领域

ABSTRACT This article introduces various characters and specifications of four light-weight building systems: the New-bud composite system, box system, panel system, and frame system, all developed by a team at the School of Architecture of the Chinese University of Hong Kong starting from 2009. The article

also discusses the expanding application fields of these systems to development in rural and remote areas as well as in big cities, in addition to post-disaster rescue efforts. The recently completed MCEDO School in the Kenyan capital Nairobi reveals the tremendous and comprehensive values of light-weight building systems when applied to slum improvement by a foreign task force.

KEY WORDS Light-weight Building Systems; New-bud Composite System; Box System; Panel System; Frame System; Application Field

中图分类号: TU318

文献标识码: A

文章编号: 1005-684X(2015)02-0059-005

DOI:10.13717/j.cnki.ta.2015.02.012

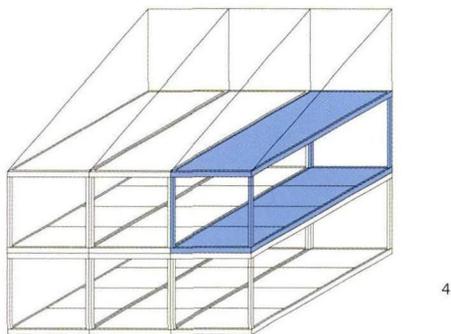
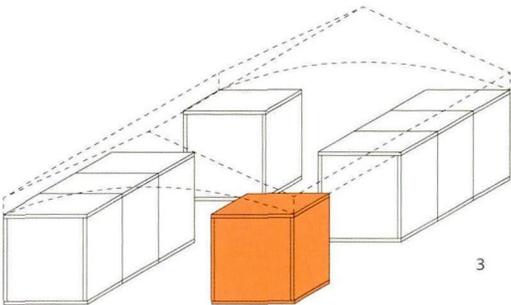
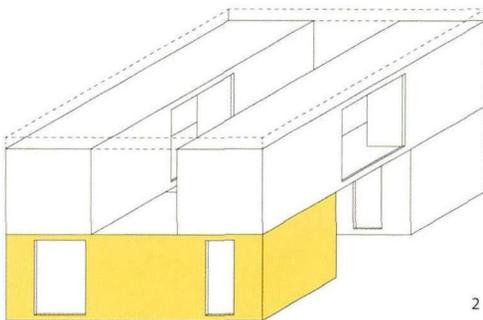
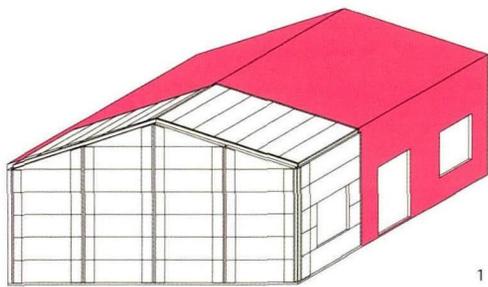
1 系统及演化

多个个体汇聚到一起,互有关联,完成单个元件不能单独完成的工作,就组成了系统。系统的形态同义词包括“总体”、“群体”或“联盟”。系统可以是真实存在的,也可以是抽象的。物理学家与发明家会特别强调系统做功的能力,生物学家则将它扩展到环境层面。系统有人造和自然之分,自然系统有时没有明显的目的,但是人造的系统通常是有目的的。所有人造系统其实都是设计过的系统,它们自身能够作为一个有机或者非常紧密的实体来一起工作。

建筑无疑是一个人工系统,由材料个体组成,经由分层次的建造步骤联合成一个总体。内部合理可行的结构原则统领着这些材料个体,使它能够对抗那些试图威胁、毁坏它的自然力。兼容的原则统领着这些

个体,使建筑围护能够控制自然能量的进出,维持对人而言舒适的内部环境。建筑系统的群体复制与繁衍造就了宏大的聚落,或者更加复杂的城市系统。

汇聚成系统的个体多到一定程度,系统内部的联系令人捉摸不清,就会产生复杂(complicated)或者混乱(chaotic)的感受。而人造系统和自然系统都会发展到复杂体(complex)的程度,以实现高级功能,或者适应变化的环境。虽然建筑系统的演化周期长过机械系统,使人们能够看到亘古不变的凝固艺术,但当代科技的长足进步改变了这一点,建筑系统的演化也在加速。建筑系统涉及建造活动、结构组织以及材料供应。而子系统任何一个层次的变化都会引发建筑系统及具体产品的变化。由于材料供应最为底层,它所带来的变化尤其巨大。近代钢筋混凝土的应用清晰



地说明了这一点，而当代的木集成材料也正启发着建筑系统发展的新方向。

专业化的自由市场条件对系统演化有影响：用户会追求时尚，避免形态的雷同。开发者会希望供应形成规模。工匠需要提升效率才能在竞争中立于不败之地。设计者努力设计差异化的产品或者精细化产品，发明家则会提供新的材料与工具，而组织者会设法优化架构以应对不同规模或地点的竞争。以上这些在古代社会依赖优胜劣汰后的能人来做出行动，而现代社会则需要专门的研究者收集、分析、澄清海量的数据来提供行动的策略准备以及行动依据。这些不同的力量使得建筑系统分化，不同建筑系统因而出现。

开放市场条件对系统演化的影响在现当代更加明显。封闭市场意味着地理的隔离、深受限制的材料供应，或者人为的保护（如行会或者行政力量）。保护性力量会带来产品的地方性特征，设计师、工匠的竞争会趋于精细化以及装饰化。而当市场更加开放时，差异性的产品会同台竞技，效能弱势的一方会受到严重威胁，就好比生物学中外来物种对本地物种的压力，这一角力可以相当残酷，对职业生态、资源生态以及社会生态都产生长远的影响。

中国大陆还处在复杂的现代化过程中，自由市场的影响混合着开放后的压力，不同的外来系统和设计力量使得许多传统被放弃或等待更新。新生事物即使占有先发优势，也须努力方能求存。同时由于理想设计所涉及的智力工作——集成、应用、发现与传播，既是可以串联现实行动的链条，其实也是大学的学术研究工作的几种形式。因而对于作者领导的香港中文

大学建筑学院研究（开发）团队而言，已知的系统成为参考，转而在应用工作中尽量优先探索新的系统级别的可能性，因为它既能丰富专业世界，也带来对学术分类和现实力量的深入理解，并且帮助工作伙伴获得系统知识以及工具的优势。2009年开始的轻量建筑项目应用之路，已引导团队开发了四种建筑系统及其关联产品，并产生更多样的变体。

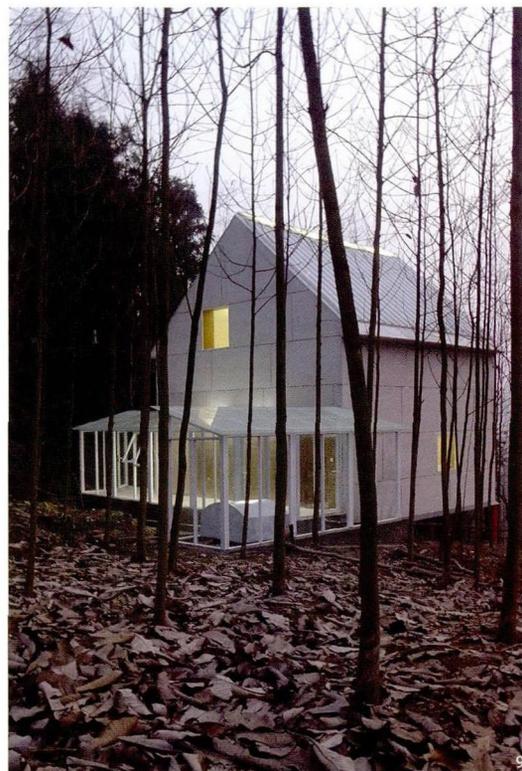
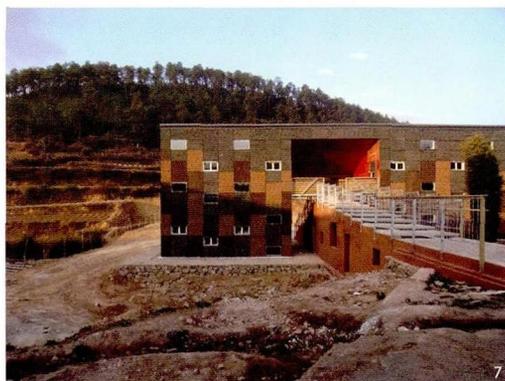
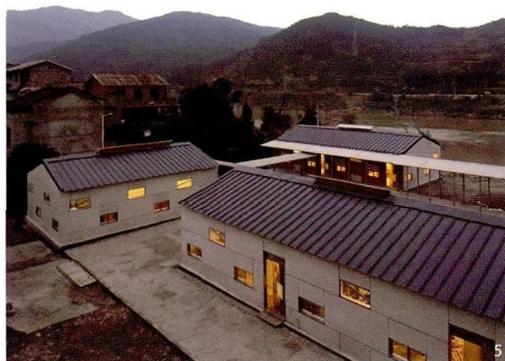
2 四种轻量¹建筑系统

2009年开发的新芽系统是使用C型钢轻钢框架与木基墙板的建筑系统（图1）。两者复合受力。C型钢由机器直接冷轧钢板获得，它是最容易获得的钢型材，也因为已经在大量的板房中使用，所以材料成本具有优势。两个C型钢合在一起就变成了“工”字，两个C口相对的时候就变成了一根管，C型钢的开口面相当于一个卡槽，C型钢既提供节点也可以简单地变换来获得适应性。新芽系统施工时先树立双C构成的框架，然后把填充板插进卡槽，之后还有一层加强板，覆盖在钢骨的表面，并绕过钢骨把两边的填充板连接到一起，整体结构形成后非常稳固，可有效抗震与防风。这一系统目前适用于三层及以下的各类房屋建造，由于构件具有通用性，平面组织与外观设计可根据需要定制，可提供相当的设计灵活性。结构有多种跨度尺寸，也可以用于建造大型空间，团队建成项目中平面尺寸最大的房间达到了9m×7.2m。由于墙体相对较薄，用户能获得相对传统房屋更大的实用面积。

现场采用干法安装，使用人力或者机械，地面以

1. 新芽复合系统图解
2. 箱式系统图解
3. 板式系统图解
4. 框式系统图解
5. 四川下寺新芽小学重建
6. 四川盐源达祖小学新芽学堂
7. 云南美水小学新芽教学楼
8. 四川鞍子河自然保护区工作站
9. 四川白水河自然保护区宣教中心

1. New-bud composite system diagram
2. Box system diagram
3. Panel system diagram
4. Frame system diagram
5. Sichuan Xiasi Newbud Primary School reconstruction
6. Sichuan Yanyuan Dazu Primary School Newbud Hall
7. Yunnan Meishui Primary School Newbud Lecture Building
8. Sichuan Anzhihe Nature Reserve workstation
9. Sichuan Baishuihe Nature Reserve Educational Center



上结构只需二至四周时间进行施工,即可达到交付程度。构件可由大型工厂预制,也可由地方小厂分布式生产。系统对地基承载力以及场地施工条件要求都较低,房屋也可以拆卸至构件层级,再搬迁或翻新。围护体使用了多层连续构造,木基墙板将C型轻钢框架完全封闭,杜绝了冷、热桥,表面的无机板材也提供了防火隔离,由此带来稳定、舒适、安全的室内环境。集成设计将建筑成本控制在非常合理的范围之内。根据需要,具体项目可再选配高性能窗、不同热容物、节能通风装置来调节气候适应性。

这一系统建造的实例有先后建造的多个项目,包括四川下寺新芽小学重建(2009年)(图5)、四川盐源达祖小学新芽学堂(2010年)(图6)和云南美水小学新芽教学楼(2011年)(图7),以及四川鞍子河自然保护区工作站(2011年)(图8)、四川白水河自然保护区宣教中心(2013年)(图9)。而团队刚刚完成的江苏徐州格莱珉中国陆口支行(2014)(图10)也采用了这一系统,并且示范了综合性的乡村公共建筑以及乡村住宅原型产品。

2011年开发的箱式系统则是一种模块建筑系统,它使用全预制木基箱体,组合堆叠成房屋建筑(图2)。单箱外围宽度受到运输限制,为3m,长度允许多种尺寸,单箱由木制框架与板材联合而成,利用了结构上的蒙皮效应,木肋条间距约为500mm,由于使用窗框加劲,单箱允许大尺寸开口以获得内部空间的流通感。构件完全由工厂预制,通过公路直接运送到工地并由机械吊装,干法连接使地面以上结构施工只需一至两天,即可达到交付使用程度。系统对地基承载

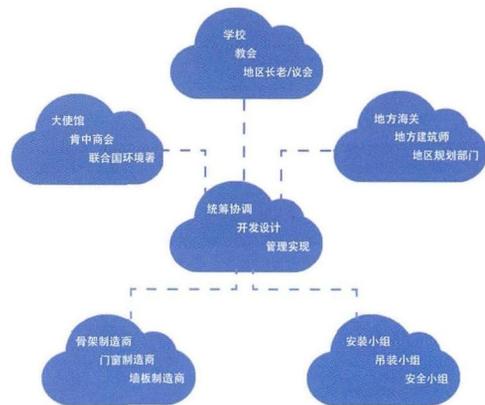
力及场地施工条件要求极低。箱体完成连接后整体性良好,可有效抗震与防风。由于使用木材内芯以及连续的围护子系统,冷、热桥可以被完全杜绝,并带来稳定、舒适的室内环境。系统适用于四层及以下的房屋建造。箱体之间的空间可帮助用户获得更大的实用面积,而超越单箱宽度3m的限制。建造的实例包括“第十三届深圳中国国际高新技术成果交易会”上展出的雅致住宅产品原型(2011年)(图11)以及上海南汇东滩鸟类禁猎区移动工作站(2012年)(图13)。

板式建造系统开发于2011年,它从当代的结构绝缘板材(SIP)中获得启发。胶合板和保温材料联合成一个预置的墙面板块,窗洞开凿受到更少的限制,每侧建筑立面划分为不多的预制构件,垂直板块与平面板块通过边缘联合成一体,房屋就像一个纸箱子一样成型(图3)。这一系统由于胶合板的蒙皮效应以及空间性的折角而获得坚固性。这种施工方法大大压缩了现场拼装的时间,设计与制造也有极多的自由,盖房子就像搭积木一样简单和有趣。而当制造、运输、现场吊装能够更多地采用机器时,便可以建造更大、更重的预制墙体,可以引入更高的预制程度和更复杂的设计思维,也可以由小型作坊提供简易的版本。因而,板式建造系统非常适用于对热物理性能要求高的气候地区或建筑物。2011年团队在四川石棉栗子坪自然保护区大熊猫监测工作站的建造中运用了这一系统(图15)。由于这一系统的变化来源于底层的材料供应,因而也是发达国家工业厂商着力发展的建筑系统。

框式系统也是模块化的建筑系统,它的开发始于2013年。它使用钢质立柱连接水平楼、地板,单模

块外围尺寸由于运输的限制,宽度为3m或更小,长度允许多种尺寸。之后它们再组合堆叠成房屋建筑(图4)。这一系统具有施工迅速、可多次使用等特点,可有效抗震与防风。构件完全由工厂预制,通过公路直接运送到工地,必须采用机械吊装,干法连接使地面以上结构施工只需一至两天,即可达到交付使用程度。系统对地基承载力以及场地施工条件要求极低,具备停车场的承载力的地坪上即可建造3~4层的房屋。结构单元适合于远距离运输,标准箱产生了入口箱、设备箱、楼梯箱以及坡屋顶箱四种变体,再通过几种类型的搭配组合,构成各类三层以内的建筑物。由于室内的支柱被减到最少,这一系统能够形成水平向展开的大空间。坡屋顶箱可产生富于变化的阁楼空间,并可通过平面洞口获得与下层空间的知觉、视觉与气流联系。平面组合与外观的设计有一定规则和限制。夹芯墙体大约70mm厚,由于结构构造存在部分冷桥,绝热特性一般,因而更适合亚热带及热带地区的公共使用功能。

2013年夏季,研究团队联合深圳集成房屋公司研发设计建造了深圳世界低碳城市联盟大会媒体中心(图14)。由于这座三层的箱房大楼能够提供宽敞、灵活的大型空间,可以满足办公、商业、展览、住宿等多种功能需求,因而也被制造商定位为“多功能移动总部”产品。2014年夏季,研究团队进一步对框架系统进行了改良与发展,并将变体应用在肯尼亚内罗毕MCEDO学校项目²中(图16)。改良主要包括以下三方面。第一,改造垂直结构,使得现场建造工作只需要打开事先折叠好的结构以形成楼面、地面与



12

屋面，之后安插墙体与维护面；而“Y”形的结构支柱在强化侧向抵抗的同时也赋予空间以特殊的美感。第二，对基本模块尺寸进行微调，以便将构件装满海运敞口集装箱或者封闭集装箱。第三，扩充附件系统，获得外廊道、楼梯、雨棚等构件，从而形成多样的校园空间。这些工作除了带来空间品质的提升，更重要的是节省了物流所需的成本，也显著提高了现场的建造效率。它使得团队仅仅派出两名经理就可以在三周左右时间组织完成建造活动。而当地调用的工人除了吊车班组有一名中国吊车司机之外，其余均为贫民区的黑人工人。

3 应用领域

可以看到，自2009年以来，香港中文大学建筑学院团队的轻量建筑系统应用开始影响到多个领域，虽然它最初用于抢险救灾。灾后重建通常会有几个阶段，第一是应急重建，就是在几天之内搭建帐篷，以解决临时的住所问题；第二阶段是安置重建，板房的批量投放是当时的主要事件；第三阶段则是持续一两年的永久性重建。不同于日本建筑师坂茂因关注第一和第二阶段而开发纸管建筑系统，新芽系统的开发主要关注了第二和第三阶段。团队希望能把临时性需求和永久建设综合在一起。板房的浪费和砖房的高人工可以被一个更全面、更优良的系统来分散或取代。“5·12”汶川大地震直接促进了新芽系统的出现，它亦可以应用在水灾、海啸、大规模火灾以及其他形式的人道危机后的重建工作中。

在救灾的工作中，团队也发现偏远地区生活物资普遍匮乏。由于无法获得很多高性能建筑材料、同时

缺少有效的工具和现代建造知识，使得建筑品质受到大自然广泛的挑战，例如没有优质的防水或防潮材料，没有好的绝热材料，这导致民居普遍出现维护不严密、能量流失严重、室内采光不足、卫生条件不佳等情况，也经常需要采用主动方式，例如火塘、地炕等来获得能源。难以获得具备现代舒适性的建筑也是促使人们逃离乡村的原因之一。在四川保护区修建建筑时，团队遇到过工人一看过现场就想要离开的状况。而事实上，装配建筑广泛采用干作业，几乎没有重体力的湿作业，可以雨季施工，允许全季节施工，这其实是带给建筑工人以及维修者的福利，他们中的多数来自偏远乡村。达祖小学新芽学堂修建时，用于包装保护的泡沫珍珠棉被当地的村民疯抢，他们希望使用这种密闭性好的材料制作坐垫与敷面。在这种状况下，轻量建筑系统其实提供了偏远地区开发建设的新模式，当知识与技术被系统性地结合在产品之中，偏远地区的居住条件便得以提升，可以更有效地抵御极端的自然环境，更好地从事资源的生产、跟随资源的生产或者保护珍贵的资源。当下可持续的议题要求降低建筑系统的物质消耗，以减少污染，融入外部环境。轻量建筑系统通过使用更轻的材料或者更优化的结构原则，能够全面、平衡地实现上述多重目标。这种建筑也有着重型系统所没有的新特性：容易搬运或者移动、便于回收再用、容易预制与定制。这些特性使得轻量建筑系统在环境敏感地区、资源稀缺地区可以广泛应用。

在香港，潮汕社群、离岛民众以及新界村落的原住民会举行一些年度传统活动。他们通过活动以及为此临时建造竹戏棚的方式，将排解乡愁、团聚社群的

10. 江苏徐州格莱珉中国陆路口支行
11. 雅致住宅产品原型
12. 项目资源集成图解
13. 上海南汇东滩鸟类禁猎区移动工作站
14. 深圳世界低碳城市联盟大会媒体中心
15. 四川石棉栗子坪自然保护区大熊猫监测工作站
16. 肯尼亚内罗毕MCEDO学校项目

10. Grameen China Lukou Branch in Jiangsu Xuzhou
11. Yaghee housing prototypes
12. Project Diagram of Resource Integration
13. Shanghai Nanhui Dongtan Bird Sanctuary Workstation
14. Shenzhen Low-carbon City Media Center
15. Sichuan Liziping Nature Reserve workstation
16. Kenya Nairobi MCEDO School



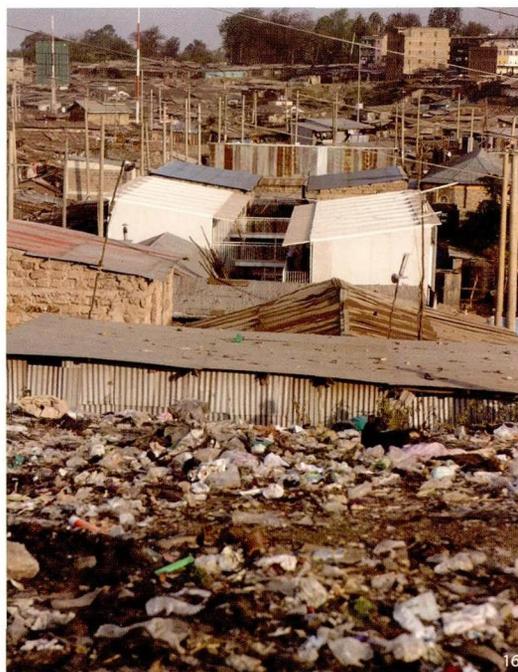
13



14



15



16

社会价值体现得淋漓尽致，这些活动也起到维系传统技艺的作用。频繁的商业、交往活动是城市生活的特征之一，这些活动的需求并不能完全事先规划清楚，可持续性也受到市场波动以及行政管理的影响。而使用轻量建筑系统则可以减小固定资产的初期投资，摆脱土地所有权与使用权关联所带来的麻烦，同时也避免了拆迁、搬迁时的物质损失，那些承受着巨大变化的地方，如城市郊区或开发前期的土地，轻量建筑系统也有用武之地。发展带来城市加建的问题，轻量建筑系统可以方便地在原有合乎标准的房屋上增加数层高度，而不至于破坏结构与防火能力，专业人士的合理介入可以有效避免非专业人士自由加建的破坏性，并且使得城市建筑在一个特定的高度上形成协调关系。

研究今天的北美地区，可以发现其城市风貌与建筑传统深受“气球框架”建造系统（或者木杆框架建造系统）的影响。这源自19世纪美国大拓荒期间，移民不断向北美洲西部移动，他们需要在荒原上快速建造住房，但又没有技巧熟练的木匠，气球建造系统的出现与传播解决了这一问题，这也促进了商业方材和廉价铁钉的规模生产、大量供应以及标准化工作。轻便的建筑系统可以为建造者的开拓提供便利，而开拓活动本身也会直接促进新建筑系统的开发。新近完成的肯尼亚内罗毕MCEDO学校再次证明了轻量建筑系统的这种拓展能力。作为团队参与的距离最远的工程，该项目需要跨越数千公里将产品运抵非洲内陆，其中的挑战不可言喻，但苛刻的设计条件最终促成结构、空间与建造的一体化解决，而框架系统的可折叠变体的开发亦体现了项目外的学术成果价值。

4 拓展中的价值

当团队成员在一个陌生的地方工作时，当地人也在观察团队，调整与团队的关系，直到建立起信任。因此，来自陌生世界的第一个项目需要具备经得起推敲的普遍价值，应该是一个高度集成的、有相当技术含量的，并且可以通过形式与空间带来美好希望的设计。人们往往看到物质世界的变化后才会跟进，思考当中蕴含的非常多的信息。当中国古代的木构系统在边疆区域传播，它的系统性的优势及高度的功能适应性体现了当时中原生产力的先进，文化的价值自然蕴含其中。而当教堂以一种异类的形式出现在古代西方城镇中，宗教空间呈现了神圣的精神意蕴，可以想象即使这一建筑类型因为太过特别而不能用于民居，它也会因为给社区带来持续的希望而变得宝贵。

只有在首次工作中清晰呈现出区别于乡土的价值，持续的本地化工作才有机会开展：传递工具与技术、传播知识与价值。在内罗毕MCEDO学校工作中，团队发现政府和大企业不容易在文化异质的地区项目及初期开拓工作中与地方建立起这种信任，归纳下来原因大概有两方面：没能集成价值，呈现给当地人的要么是旧事物，要么是碎片集结成的新事物；或者事物的“新”与“大”压制了正常的、人性化的阅读，留下的只是使人崇拜的权威，但却制造了距离。

理想情况下，团队工作也设定了一个有关未来发展的模式。肯尼亚项目近郊的贫民区属于自主搭建的项目，贫民区内部的社会网络发达，聚落形态丰富而平衡，但发展缺少资金、技术以及有力的社会协调。传统贫民区的改造模式之一是使用自上而下的政府资源，进行短期的大规模改造，地方民众得益较少，社

会组织的现代化难以发生。另一个模式则是由非政府组织及志愿者团体深入基层从事自下而上的改造，社群纽带可被维系，但技术与供应的现代化较难发生。内罗毕MCEDO学校项目突破了这两种常见模式，通过大范围的组织协作，同时调动大型组织、小型企业以及基层能工巧匠的资源，集成了“世界工厂”的冗余制造能力以及大都市的信息研究优势，再以技术创新与组织创新高效地解决问题（图12）。通过这一项目，团队有效地将工作机会与技能培训带到不同地方，从而为深入、持续解决问题提供了基础，也传递了能动高效、积极向上的海外形象。这种“快刀斩乱麻”式的解决复杂问题的方法，启示了新的城市更新模式，项目其后潜力巨大的社会价值已从当地社群的反映和媒体的讨论中得到证实。

这最终揭示了轻量建筑系统的另一个能力——它的筹划与建造能够、也应该成为一系列后续活动的开端：在解决现实问题之外，带来人本尺度的希望与启迪，以及思考与交流。

注释：

- 1 随着工作的深入，我们将“轻型”修正为“轻量”，这能更贴切地区分形态之轻、质量之轻。
- 2 MECDO学校全称马萨雷儿童教育与发展组织(Mathare Children's Education and Development Organization)，位于东非肯尼亚内罗毕的第二大“贫民区”——马萨雷谷(Mathare Valley)社区内。

作者单位：香港中文大学建筑学院

作者简介：朱竞翔，男，香港中文大学建筑学院副教授

收稿日期：2015-01-15

