

EVIDENCE-BASED DESIGN PRINCIPLES AND THEIR APPLICATION IN GREEN BUILDING

循证设计原理及其在绿色建筑领域的应用

陈冰 张华 尹金秋 宋蕾 康健 / CHEN Bing, ZHANG Hua, YIN Jinqiu, SONG Lei, KANG Jian

摘要: 本文对我国绿色建筑发展现状及主要问题进行了回顾, 诠释了循证设计原理及算法设计思维, 并探讨了运用该理念指导全生命周期绿色建筑发展的重要性。在案例分析的基础上, 阐明如何运用“研究指导设计”的理念有效闭合绿色建筑的全生命周期, 从而取得真实的可持续收益。

Abstract: This paper reviews the current status of green architecture in China and explores issues arising in relevant areas. Then, it introduces the concept of Evidence-Based Design (EBD) and computational design thinking, and explores the importance of using EBD principles to inform the development of green building. Based on case studies, the methods of using research to inform design and thereby closing the loop (full life-cycle) of green building in practice are illustrated in detail. It proposes that by looking at buildings from a full life-cycle perspective, sustainability values of green building can be truly achieved.

关键词: 循证设计 绿色建筑 全生命周期 建筑信息模型

Key Words: Evidence-Based Design (EBD), Green Building, Full Life-cycle, Building Information Modeling (BIM)

1 引言

针对当前全球气候变化的严峻形势, 研发低碳绿色建筑及相关技术、发展低碳生态社区、建设低碳生态城市, 已成为世界各国的重要发展战略。我国住房和城乡建设部(当时名为建设部)、质量监督检验检疫总局于2006年联合发布了《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2006), 旨在推动建筑业朝可持续方向转型。发展改革委、住房和城乡建设部于2013年制订并颁布了《绿色建筑行动方案》, 以期在深入贯彻落实科学发展观的基础上, 进一步引导地方建筑市场健康有序地发展。据中国城市科学研究会统计, 截止2012年, 我国已有287个“生态城(区)”项目(包括在建和已建成的), 相关的绿色建筑示范项目和技术推广活动也在全国各地如火如荼地展开。然而, 目前建筑能耗占社会总能耗的比重仍然较高, 占比达1/3, 且存在单位建筑面积能耗效率低的问题。毫无疑问, 为完成长期的可持续发展目标, 实现“美丽中国”, 需要切实转变城乡建设模式和建筑业发展方式, 进一步加强建筑领域节能减排约束性目标的落实。

本文将针对绿色建筑市场化进程中面临的主要问题与挑战, 从全周期视角出发, 结合先进的数字化平台, 阐述在循证设计原理的基础上, 运用算法设计思维指导绿色建筑发展的重要意义, 及其对建筑领域带来的潜在冲击。通过案例分析, 阐明循证设计原理在实际项目中的应用流程, 提出通过搭建“政、产、企、学、研……”合作平台, 在市场上孕育“研究—设计”相互交融的工作氛围的建议, 以期在闭合项目回路的基础上实现建筑整体性能水平的提升, 并最终取得真实有效的可持续收益。

2 当前绿色建筑面临的主要问题

早期的绿色建筑相关研究指出, 从综合视角出发, 为了在建筑全生命周期(Full Life-cycle)^①取得理想的节能减排效果, 并将相关的增

量成本控制在合理范围内^②, 需要在项目初期就对相应的设计策略(包括主动和被动式设计策略)做出全盘考量。随着项目的展开, 新增设计策略带来的增量成本, 包括时间、金钱、人员等方面的投入会大幅增加, 但对最终建筑实际能耗和CO₂排放的影响却大幅减弱(陈冰等, 2012)(图1)。所以, 建筑师常在项目的设计阶段(即图1所示的含“项目任务书”和“草图阶段”在内的临界设计决策区), 就通过计算机模拟等手段对不同设计策略可能带来的建筑物理环境优化及节能减排效果进行预测与评估, 并根据模拟结果辅助设计决策。

然而, 国外绿色建筑使用后评估(Post Occupancy Evaluation)研究显示, 受室温设定值、气密性、用户行为和运行模式等因素的影响, 传统设计过程中对理想使用环境下(standard occupancy)建筑能耗和CO₂排放的预测值与建筑使用过程中的实测值之间常存在显

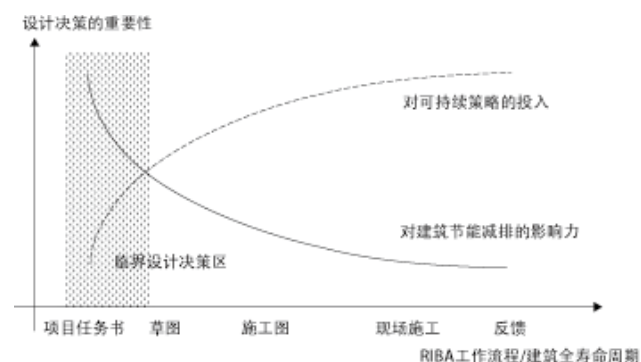


图1 建筑全生命周期不同阶段可持续设计策略对其综合节能减排效果的影响, 以及对应增量成本间的关联(来源: 陈冰等, 2012)

著的差异——实测值可能是预测值的2倍、甚至3倍(林波荣, 肖娟, 2012; 陈冰, 康健, 2010)。另外, 由于缺少比较研究, 所以难以论证在取得绿色建筑认证的建筑环境中, 人们的工作效率是否如预期般得到了显著提高。目前国内关于这方面的系统研究和相关案例分析还比较少, 但这种情况确实存在(邹芳睿, 游唤民, 2014)。住房和城乡建设部颁布的新版《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2014)中, 强调从全生命周期视角发展和评估绿色建筑, 评价细分为“设计评价”和“运行评价”, 扩大了适用范围, 增设了“施工管理”类评价指标, 鼓励绿色建筑技术、管理等方面的创新和提高, 以期建筑综合性能在全周期过程中保持一致。然而, 与市场上其他可持续建筑评价标准如英国的BREEAM(Building Research Establishment Environmental Assessment Method, 建筑研究院环境评估方法)和美国的LEED(Leadership in Energy and Environmental Design, 能源及环境设计先锋)体系一样, 《绿色建筑评价标准》虽然可以在既定范畴内引导建筑市场向可持续方向转型, 却无法在市场化过程中及时反映建筑市场的发展状况, 并对评价标准中的指标体系进行适时更新。因此, 在很大程度上, 获得《绿色建筑评价标准》中的高分, 仅是实现“全生命周期绿色建筑”的必要非充分条件。另外, 与欧美国家相对平稳的发展模式不同, 在当前我国城市化进程快速发展的背景下, 建筑市场的变化速度也非常快, 亟需绿色建筑的相关评价标准和指标体系能够根据市场的变化和及时更新和调整。同样, 也需要在总结过往经验的基础上, 将研究成果及时反馈给当前的建筑产业链, 以指导下一阶段的产业结构调整或转型。

当前建筑设计周期过短导致深入研究的时间不够, 而全生命周期绿色建筑涉及问题的深度和广度都高于传统建筑, 所以在目前市场熟知的工作模式下, 无法形成有效的从“研究”指导“设计”的反复迭代过程, 即发现当前项目存在的问题后, 通过研究(如建筑使用后评估等)提出改进意见, 再在下一轮设计中对改进措施及改进后的效果加以验证。在实践中, 由于没有形成“设计项目—研究项目—新设计项目—新研究项目……”的闭合路径(closed loop), 项目参与者的知识结构、能动性和价值观各不相同, 且在项目全周期的不同阶段对建筑性能又有着不同的权限和影响, 所以在评价全生命周期绿色建筑的设计元素时, 他们解读问题的动机、视角、顺序、形式和深度均有所不同。而且, 由于缺乏“共同的语言”(common language), 他们也难以在参与式决策过程中“自发地”形成有效的合作关系(陈冰, 康健, 2010)。所以, 在缺乏客观数据提供系统化支持的情况下, 建筑全生命周期不同阶段的主要责任人(stakeholder)常习惯根据个人的主观偏好或过往项目经验, 决定可持续设计策略的优劣取舍或应用模式, 这也是造成建筑综合性能表现在全周期过程中(如设计阶段、完工阶段与使用阶段等)不一致的主要原因之一。

综上所述, 我国绿色建筑行业当前面临的主要问题是: 一方面, 由于没有从全生命周期视角出发普及绿色建筑项目的闭合路径理念, 市场上大部分绿色建筑项目的综合性能均在不同程度上与预期效果有所出入, 这也导致项目初期在增量成本和节能减排等方面的控制性目标难以落实; 另一方面, 市场上现行的绿色建筑相关政策、法规和规范, 无法根据市场的变化和及时作出调整, 难以在项目全周期过程中促进不同参与者之间就绿色建筑综合性能等相关问题进行建设性对话(constructive dialogue)。为解决上述问题, 实现真正意义上的全生命周期绿色建筑, 不仅需要打破相关研究与设计之间的隔阂, 形成闭合的项目路径, 还需要根据严密推理和量化分析的思维方法, 制定、修正与改进设计方案, 克服传统设计方法的片面性、阶段性和不确定性, 使设计趋向于科学化、系统化, 从而增强设计结果的客观性和可靠性, 提升建筑的整体性能。这种用研究指导设计的方法在很大程度上反映了循证设计的原理。

3 循证设计原理和算法设计思维

循证设计(Evidence-Based Design)是“建筑性能化设计”

(Performance-based Building Design)与“循证医学”(Evidence-based Medicine)相结合的创新设计理念, 旨在弱化设计过程中人为主观因素的影响, 强调可靠的(credible)客观证据对建筑设计的指导作用(陈冰等, 2011; ZHOU Lei et al, 2013)。目前循证设计原理已广泛应用于医疗建筑领域(Ulrich R.S, 1984; PHIRI M., CHEN B., 2014)。

在这个融合了循证医学、环境心理学和行为经济学等多学科领域, 建立在严密推理和量化分析基础上的新型建筑设计思维模式中, 科学数据成为医疗建筑全生命周期中不同利益相关者(如医院建筑项目中建筑师、医护工作人员、患者及家属、行政与财务、工程技术人员等)之间的“共同语言”, 有效促进了沟通并孕育了潜在的建设性交流环境。同时, 以研究数据说话的科学方法为设计决策提供了有力的依据, 通过案例积累不断完善的循证数据库(Evidence Database)也可以为后续的同类型项目提供更为全面和系统化的体系支撑(PHIRI M., CHEN B., 2014; BARLOW J. et al, 2009; 王一平, 2012)。

近年来, 建筑行业的学者在强调使用后评估研究的基础上, 开始探索循证设计原理在绿色建筑领域的应用, 这在很大程度上反映出人们对通过发展绿色建筑来改善人居环境的期望——除在节能减排等建筑性能方面的提升外, 还包括改善后的建筑物理环境给使用者带来积极的影响, 如舒适度、满意度、工作效率等方面。

在用研究指导设计的过程中, 影响绿色建筑综合性能的不同因子之间存在着复杂的关联关系。传统思维模式下的研究分析方法因其片面性、阶段性和不确定性等因素的影响, 不能及时有效地辅助设计决策。为解决上述问题, 使设计决策趋向于科学化、系统化, 增强设计结果的客观性和可靠性, 循证设计原理要求项目团队突破传统思维定式, 采用更为全面的算法设计思维(Computational Design Thinking), 以提升建筑的整体性能。算法设计源于计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD), 其在建筑环境领域的应用不仅标志着相关设计思维和设计方法的显著提升, 也对原本以惯性思维、手工作业(如制图、模型等)为主的设计流程产生了深远的影响, 使之由设计者自定义的计算过程(designer-authored computational processes)逐步向综合系统生成模式过渡(Menges A., Ahlquist S., 2011)。

以大数据为基础的算法设计思维强调数据的循环迭代, 因此它蕴含当下城市规划与建筑设计中所缺乏的时间和空间上的连续性。对全生命周期绿色建筑而言, 算法设计思维所关注的不是局部的变化, 而是不同影响因子组合后带来的全局影响(即对环境、社会和经济等可持续发展因素的综合考量), 而这一点也恰恰是以往建筑设计方式难以实现的。所以在一定程度上, 循证设计原理与算法设计思维的推广应用也体现出当前国内新实用主义设计实践理论中对“大设计”的渴望(高岩, 2015)。

下文将通过案例分析, 探讨循证设计原理和算法设计思维在指导绿色建筑发展中的实际应用, 以及这种新型思维和工作模式对传统建筑行业可能带来的冲击。

4 基于循证设计原理的全生命周期绿色建筑项目案例分析

基于循证设计原理的全生命周期绿色建筑项目不再局限于传统建筑设计的常规工作范畴, 而是将触角延伸到绿色建筑全生命周期的各个阶段(图2)。首先, 基于循证设计的基础研究, 通过对海量信息的系统化“检索”工作^②, 判断、筛选并归纳总结不同设计策略所对应的客观证据(包括不同技术集成方法所能带来的节能减排效果, 以及对使用者的影响等多方面因素), 将其作为辅助设计决策的科学依据。在此基础上, 在项目初期就对设计策略进行综合考量, 然后通过全周期项目管理与跟踪研究, 确保在合理的增量成本范围内, 设计阶段拟定的节能减排目标能够在建筑全生命周期过程中得以实现, 同时保证建成环境使用者的满意度、工作效率等指标也能得到显著改善。最后

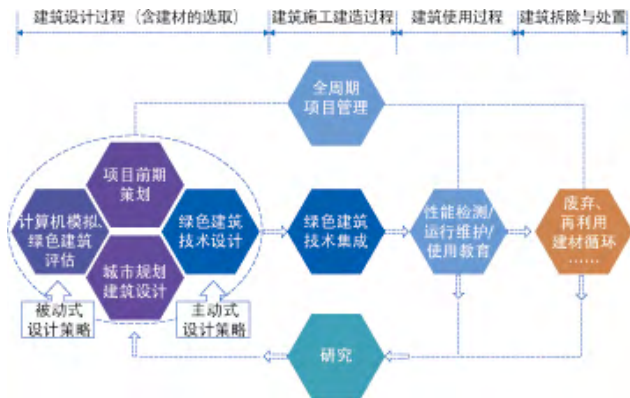


图2 闭合的、“研究—设计”的全生命周期绿色建筑项目路径

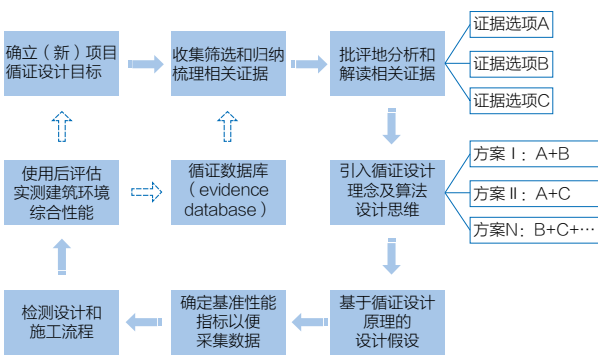


图3 全生命周期绿色建筑的循证设计路径

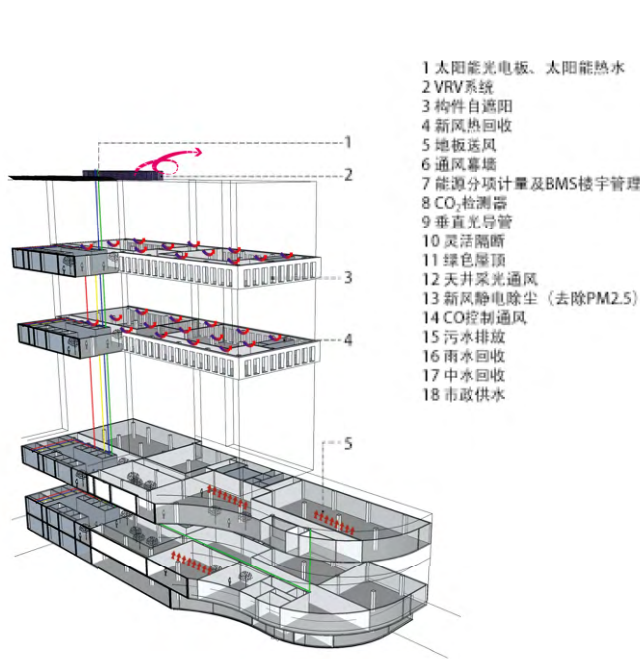


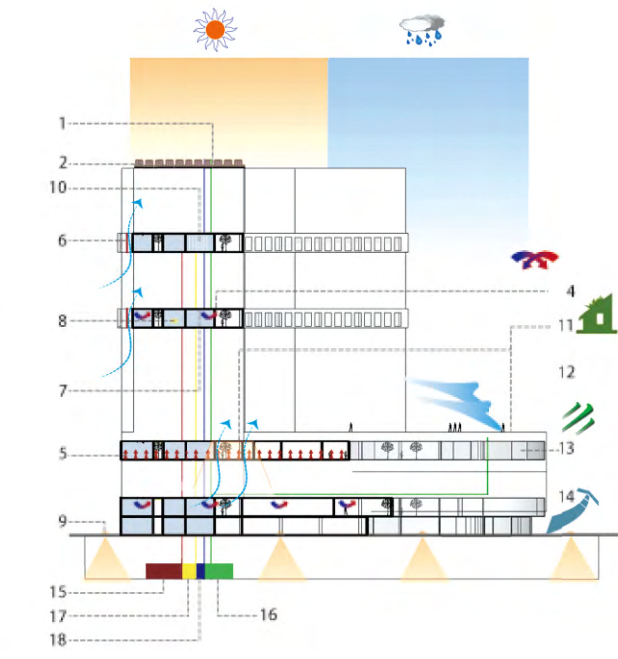
图4 项目采用的绿色建筑“被动式”和“主动式”设计策略及相关技术集成

对项目的后续研究结果进行分析和整理，并将相关成果和经验反馈回循证数据库，进行补充或更新，用以指导下一阶段同类建筑项目的策划与设计。

在实际工程项目中，上述理想化的工作流程并不容易实现。首先，由于我国项目设计周期普遍偏短，项目团队并没有足够的时间和精力以及相关技能对该类型建筑已有的循证设计基础研究进行系统化的检索和整合；其次，绝大多数建筑项目都没有形成闭合的全周期项目路径，与循证设计相关的后续研究工作（如使用后评估）难以实质性地展开^④；最后，即使部分公司有意贯彻循证设计理念，鼓励下辖的研发部门（如智库）开展基于全生命周期绿色建筑的循证设计基础研究，并建立相关的循证数据库，但由于这项工作费时费力，所以相关成果往往属于保密范畴，很少对外公开和分享，也就失去了开展循证设计研究的意义。基于上述原因，目前我国的建筑市场尚未形成完整的循证数据库。然而，不积跬步，无以至千里，要从现在开始，在市场上强调基于循证设计原理的全生命周期绿色建筑项目流程，开展循证设计基础研究，逐步建立和完善循证数据库。

下文以苏州吴中区国裕大厦二期写字楼项目为例^⑤，简述如何在实践中落实全生命周期绿色建筑项目流程（图3）。

首先，在项目初期，项目团队根据场地分析以及与业主沟通的结



果（即影响项目定位的主、客观因素），对项目做了细致的前期策划，将该写字楼定位为以总部办公为主的租赁式写字楼，目标是获得国家《绿色建筑评价标准》（GB/T50378-2006）二星和美国绿色建筑协会 LEED 金级认证。

其次，以建筑综合性能指标（内容涵盖建筑节能减排率、人居环境改善后效果等）为导向建立设计的控制性要点，对绿色建筑设计策略及相关技术集成进行综合考量（图4），并提出不同组合方案以备初步甄选（即图3中的“方案A”、“方案B”、“方案C”等）。在本案中，由于缺少相应的循证数据库，项目团队仅能根据《绿色建筑评价标准》（GB/T50378-2006）中“四节一环保”^⑥的核心内容，综合比对 LEED-NC（LEED for New Construction，能源与环境设计先锋奖—新建建筑）的具体要求，提出相应的被动和主动设计策略，内容涵盖日照及采光、建筑外遮阳、室外风环境、室内自然通风、场地噪声、节能措施、水系统综合管理等方面。此外，参考早期关于“自然通风和自然采光等低成本的被动技术在国内外示范公共建筑中效果良好，节能效果显著，使用满意度高”（林波荣，肖娟，2012）的研究，依据“被动优先、主动优化”的原则（程志军 等，2012），在设计过程中优先考虑自然通风和自然采光等被动设计策略。

再次，通过计算机模拟等方法（图5～7），完善上述初步设计

对本项目200m半径内的区域进行冬季的风场模拟计算，重点缝隙室外1.5m高处人行区域的风速分布，以及裙房屋面在冬季的风环境舒适度表现，在计算结果的基础上对局部构造进行优化



图5 运用 Phoenix 软件对初模进行风环境模拟

对本项目主要功能空间进行自然采光模拟分析，在距地面0.8m的工作面上进行计算



图6 运用 EcoTect 软件对初模进行采光模拟

提取立面元素：根据EcoTect计算出立面上的年均太阳辐射量，在高辐射的地方，采取遮阳措施，结合抽象立面元素2进行设计

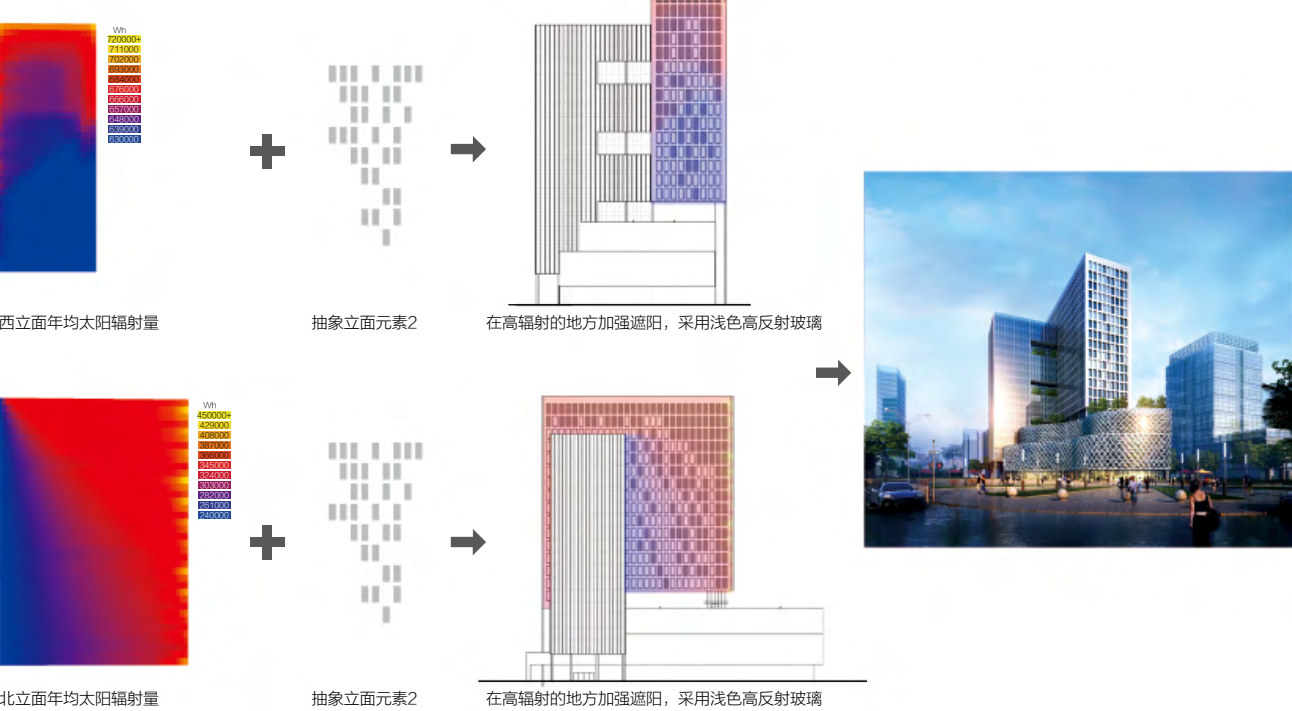


图7 运用 EcoTect 软件对初模进行立面的太阳辐射量模拟

方案，并对结果做进一步的分析比较：“模拟”不同组合方案所营造的建筑物理环境，通过“（再）设计”流程完善相关设计策略与技术集成的组合模式和应用细节，并在“模拟”与“（再）设计”的反复迭代分析基础上，完成对初步设计方案的甄选、优化和深化，形成可以满足项目初期定位要求的备选设计方案（即图3中的“方案I”、“方案II”等）。

最后，从经济学（如成本效益分析）和社会学（如设计策略或技术集成所蕴含的社会价值）的视角出发，进一步进行多方案的比选及优化整合。通过比较不同备选设计方案中设计策略与技术集成的组合

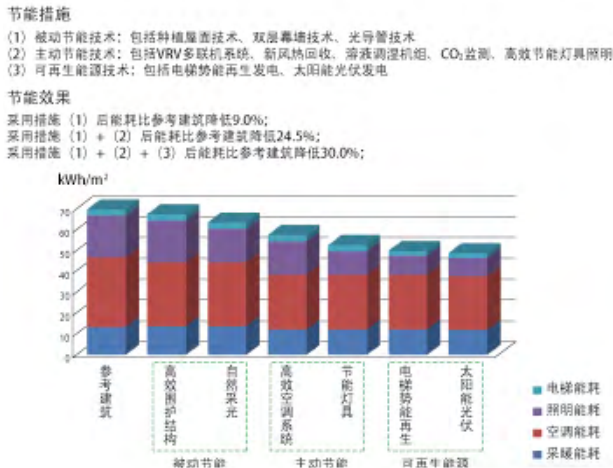


图8 项目节能分析

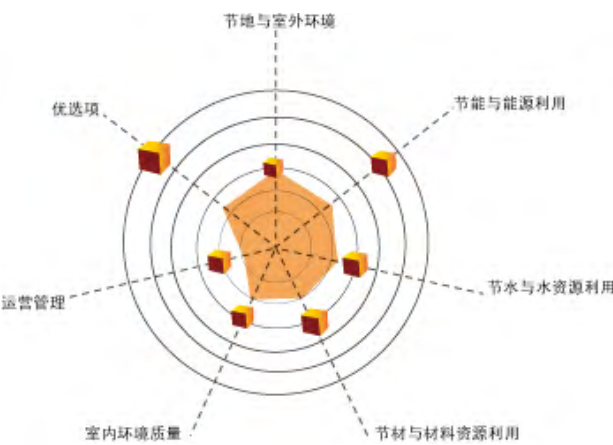


图9 《绿色建筑评价标准》（GB/T50378-2006）二星和 LEED 金级得分雷达图

表1 项目绿色建筑分项得分

评价内容	节地与室外环境	节能与能源利用	节水与水资源利用	节材与材料资源利用	室内环境质量	运营管理
一般项	6	5	5	4	4	2
优选项	1	2	0	0	2	0
星级	二星					

表2 项目 LEED 分项得分

项目	可持续场地	节水率	能源与大气	材料与资源	室内环境质量	创新与设计	地区优越性
分数	26	10	10	6	8	3	0
总计	63						
LEED 等级	金级						

特点，力求在业主认可的增量成本范围内，实现全生命周期绿色建筑项目经济和社会效益的最大化，并在此基础上形成设计方案定稿，完成项目的设计自评（表1、2，图8、9）。

需要注意的是，在上述流程基础上形成的项目方案定稿并完成设计自评，并不是全生命周期绿色建筑项目的终点，还需要开展与循证设计相关的后续研究工作，以取得闭合的项目路径。所以，项目团队计划对该写字楼项目进行全周期跟踪监测，将使用阶段实测的建筑综合性能数据（包括能耗、CO₂排放、使用者满意度和工作效率、技术集成带来的经济和社会效益等）与设计阶段的预期值（模拟值）进行比较分析，通过总结经验教训，改进设计和预测方法。在使用后评估的基础上，总结不同设计策略和技术集成方法的优缺点，通过客观、科学的方法（如比较研究、统计学方法等）筛选出相关“证据”，并将研究成果（即相关的科学证据）反馈回循证数据库，作为指导下一轮项目设计的科学依据。

此外，一些设计元素所对应的证据有时也是矛盾的。例如，在上述写字楼设计的早期研究中，已有证据表明：一方面，大面积玻璃窗可以在强调自然采光的同时，为使用者提供宜人的自然视觉景观，从而提高他们的工作效率与健康水平；但另一方面，大面积玻璃窗也意味着建筑的整体能耗将大幅增加，即使能够通过提高窗体自身的保温隔热性能进行改善，也会产生不容忽视的增量成本。所以，在已有实证的基础上，通过严谨的后续比较研究，取得合理增量成本范围内最优化的窗体设计效果，则成为一个重要的循证设计研究课题。

类似循证设计研究课题的开展需要对市场上同类办公建筑进行大量的证据采集，所以循证设计数据库的建立要求各公司绝不能敝帚自珍，而应在分享数据的基础上，总结经验，并在此基础上尝试创新

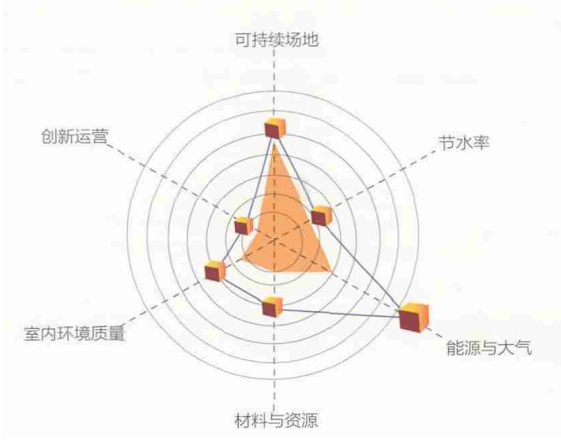


图9 《绿色建筑评价标准》（GB/T50378-2006）二星和 LEED 金级得分雷达图

表1 项目绿色建筑分项得分

评价内容	节地与室外环境	节能与能源利用	节水与水资源利用	节材与材料资源利用	室内环境质量	运营管理
一般项	6	5	5	4	4	2
优选项	1	2	0	0	2	0
星级	二星					

表2 项目 LEED 分项得分

项目	可持续场地	节水率	能源与大气	材料与资源	室内环境质量	创新与设计	地区优越性
分数	26	10	10	6	8	3	0
总计	63						
LEED 等级	金级						

设计，反复验证，进而形成针对全周期绿色建筑的、循环反复的“研究—设计”闭合路径，不断完善和更新循证设计数据库。显然，上述资源的整合和共享也是一项长期、繁复的工作。

5 研究指导设计：基于 BIM 平台的循证设计

建筑信息模型(Building Information Modeling,BIM)的引入,极大地提高了上述工作的可行性与效率。BIM 以三维数字技术为基础，集成了建筑工程项目全周期过程中各种相关信息的数据模型，在早期工程项目中作为不同工种“可视化”沟通和协同工作的平台，后来逐渐成为在项目全周期过程中提高效率 and 减少风险的数字化管理方法。结合当前的云计算（cloud computing）技术，BIM 可以对循证数据库提供连续支撑和实时互动，并最终形成大数据（Big Data）平台基础上的资源共享，进而建立起研究与设计之间的闭合关联——用研究指导设计。这就要求每个实际的工程项目都要建立起一套完整的、贯穿项目全周期的 BIM 数据库，以方便循证设计相关研究的开展。

另外，也有不少学者质疑这种基于严密推理和量化思维的设计方法，认为循证设计会束缚设计人员的创造性思维，影响建筑领域的革新。事实上，在用研究指导设计的过程中，循证数据库已有的信息与实际项目面临的问题可能并不完全匹配，因而需要根据项目的具体情况，对具有相同（或相似）成效的不同循证设计策略进行甄选或整合，所以创新的批判性思维在循证设计过程中显得尤为重要。换言之，循证设计原理的应用是为了把对全生命周期绿色建筑的创造性设计思维提升到“有据可依、有始有终”的高度。

显然，这种创新的思维和工作模式将对当前我国建筑市场带来巨大的冲击，并且将对相关产业的结构性调整起指导作用。在市场上推广该模式，不可能靠一己之力完成，需要打造“政、产、企、学、研……”结合的平台，鼓励不同专业、不同领域的合作与互动，并在以 BIM 为基础的数字化平台上进行相关数据和资源的整合，在实践中探索、贯彻循证设计原理。以此为基础，在市场上孕育“研究—设计”交融的绿色建筑研发环境，辅助地方政府进一步落实《绿色建筑行动方案》，同时通过大数据平台，对市场的最新动向进行及时反馈，修正和完善现行的绿色建筑相关政策、法规和规范，进而推动建筑市场健康有序地发展。

6 结语

上文针对当前绿色建筑发展进程中出现的主要问题，提出了从全生命周期综合视角出发，运用循证设计原理指导绿色建筑实践的方法论，旨在通过运用 BIM 和云计算等先进的数字化信息平台，构建全生命周期绿色建筑中“研究”与“设计”相互交融的工作链，遵循用研究指导设计的原则形成连续的闭合项目回路，并最终实现建筑综合

性能水平的全面提升，取得真实有效的可持续收益。相关案例分析也进一步阐明了循证设计思维在实践中的运作模式，及其在绿色建筑市场转型过程中的指导作用。

随着循证设计原理和算法设计思维在绿色建筑领域的推广和应用，建筑行业以往建立在专家经验基础上的、以单兵作战为主的工作模式将受到大的冲击，并将逐步被建立在大数据平台基础上的、以跨专业多团队协同作业为主的新型工作模式所取代。而且，通过“政、产、企、学、研……”联动实现对循证数据库的资源共享，在引导建筑市场向“研究导向型绿色建筑设计”转型的同时，也势必会在市场上形成一整套相对透明的、规范的竞争机制——在算法设计思维的基础上，对不同循证设计策略的甄选以及对相应建筑技术的整合，将成为决定未来建筑综合性能的关键。同理，建筑设计人员在进行循证设计时所采用的批判性思维也将成为决定他们在未来市场化竞争中成败的关键。希望这个趋势能够逐步扭转我国当前绿色建筑领域以“贴绿色标签”项目为主的现状，引领建筑行业向全生命周期绿色建筑方向转型。

注释

- ① 建筑全生命周期是指从建筑原材料的开采，材料构件的生产、加工和运输，到建筑的规划与设计，施工与建造，再到建成后的运行与维护，最后到建筑的拆除与处置（废弃、再利用、部分建材的循环使用等）的全过程。如果说涵盖环境、经济、社会等因素的可持续特性（Sustainability）体现的是绿色建筑的广度，那么绿色建筑全生命周期分析（Life Cycle Analysis/Assessment 或 cradle-to-grave analysis）则旨在发掘绿色建筑的深度。后文中提到的使用后评估就是该理念的一种演化。
- ② “绿色建筑增量成本的定义为：建设项目按照《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2006 设计并以星级绿色建筑为目标，在项目建设实施的过程中所导致的成本增加额[《绿色建筑设计规范（征求意见稿）》，2010]”（孙大明，邵文晔，2010）。研究显示，因地制宜地采用使用相关技术可以有效降低绿色建筑的增量成本，而且近年来，随着被动式节能设计的广泛应用，以及主动式节能技术和新产品价格的下降，绿色建筑的增量成本总体呈下降的趋势，并已在市场的承受范围内（孙大明 等，2009；叶祖达 等，2013；中国绿色建筑委员会，2014）。然而，由于所选研究样本的不同，不同研究团队对绿色建筑增量成本的具体数值有不同的结论。例如：

建筑类别	《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2006	中国建筑科学研究院上海分院 绿色与生态建筑研究中心 （数据来源：孙大明等）	北京大学城市与环境学院： 住房和城乡建设部科技发展促进中心 （数据来源：叶祖达等）	中国绿色建筑委员会：住房和城乡建设部专项课题“我国绿色建筑效果后评估与调研”
公共建筑	一星	45.00 元 /m ²	5.72 ～ 58.93 元 /m ² （平均 28.82 元 /m ² ）	40.00 元 /m ²
	二星	176.00 元 /m ²	39.28 ～ 306.07 元 /m ² （平均 136.42 元 /m ² ）	152.00 元 /m ²
	三星	320.00 元 /m ²	5.06 ～ 264.52 元 /m ² （平均 163.23 元 /m ² ）	282.00 元 /m ²
住宅	一星	63.00 元 /m ²	0.43 ～ 168.90 元 /m ² （平均 15.98 元 /m ² ）	33.00 元 /m ²
	二星	131.00 元 /m ²	20.24 ～ 58.90 元 /m ² （平均 35.18 元 /m ² ）	73.00 元 /m ²
	三星	219.00 元 /m ²	11.01 ～ 157.41 元 /m ² （平均 67.98 元 /m ² ）	222.00 元 /m ²

③ 常见的是基于建筑使用后评估研究的“文献检索”，但实际的证据收集方法并不局限于此。

④ 市场上常见的使用后评估多是为了迎合绿色建筑评估的要求，所以缺乏长期性和连贯性。当然，缺少相关的资金支撑，也是相关工作难以开展的主要原因之一。

⑤ 分析的案例主要来自苏州中科院全周期绿色建筑研究院（SACO，以下简称苏科院）。苏科院由中国科学院广州分院、苏州市吴中区人民政府于2012年11月共建成立，肩负政府智囊的职责，旨在通过院地合作，为地方政府解决城市发展和转型过程中的棘手问题，侧重于绿色建筑设计策略及相关技术的研发、集成与应用。更多相关信息参见<http://www.saco.ac.cn/cn/index.asp>。

⑥ 《绿色建筑评价标准》（GB/T50378-2006）中指出，“四节一环保”具体表示“节地与室外环境”、“节能与能源利用”、“节水与水资源利用”、“节材与材料资源利用”和“室内环境质量”。

参考文献

[1] ZHOU Lei, KEIVANI Ramin, KURUL Esra. Sustainability performance measurement framework for PFI projects in the UK[J]. Journal of Financial Management of Property and Construction, 2013(18).

[2] Ulrich R.S. View through a window may influence recovery from surgery[J]. Science, 1984(224).

[3] PHIRI M., CHEN B. Sustainability and Evidence-Based Design in the Healthcare Estate[M]. Heidelberg: Springer, 2014.

[4] BARLOW J., KÖBERLE-GAISER M., MOSS R., et al. Adaptability and innovation in healthcare facilities: Lessons from the past for future development[R]. The Howard Goodman Fellowship Report. London: The Health and Care infrastructure Research and Innovation Centre (HaCIRIC), 2009.

[5] Menges A., Ahlquist S. Computational Design Thinking: Computation Design Thinking[M]. San Francisco: John Wiley & Son Ltd, 2011.

[6] GB/T50378-2006, 绿色建筑评价标准[S]. 北京：中华人民共和国建设部，2006.

[7] 国务院办公厅．国务院办公厅关于转发发展改革委、住房城乡建设部绿色建筑行动方案的通知[EB/OL]．[2013-1-6]．http://www.gov.cn/zwggk/2013-01/06/content_2305793.htm.

[8] 陈冰, SODAGAR B., KING B., CHISHOLM P. 运用虚拟现实技术辅助可持续建筑参与式设计[J]. 建筑师, 2012(5) .

[9] 林波荣, 肖娟. 我国绿色建筑常用节能技术后评估比较研究[J]. 暖通空调, 2012(10) .

[10] 陈冰, 康健. 英国低碳建筑：综合视角的研究与发展[J]. 世界建筑, 2010(2) .

[11] 邹芳蓉, 游唤民. 绿色建筑节能效果后评估研究[C]// 第十届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集, 2014.

[12] 陈冰, PHIRI M., MILLS G. and CHANG C. 医院建筑设计策略及评估方法——英国 BREEAM 的启示[J]. 建筑学报(学术论文专刊), 2011(6) .

[13] 王一平. 为绿色建筑的循证设计研究[D]. 武汉：华中科技大学, 2012.

[14] 高岩. 大设计——设计新实用主义理论框架[EB/OL]. [2015-1-6]. UED 寻找青年建筑师. <http://www.wtoutiao.com/a/780489.html>.

[15] 程志军, 叶凌, 王清勤. “绿色建筑实施效果调研与评估”研究成果简介——“绿色建筑评价后工作”报告之二[C]// 第八届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集. 北京, 2012.

[16] 陈冰, 康健, 陈天地, 尹金秋, 宋蕾. BIM支撑的绿色建筑循证设计研究[J]. 城市建筑, 2015(166) .

[17] 孙大明, 邵文晞. 当前中国绿色建筑增量成本统计研究[J]. 生态城市与绿色建筑, 2010(4) .

[18] 孙大明, 邵文晞, 李菊. 我国绿色建筑成本增量调查分析[J]. 建筑科技, 2009(6) .

[19] 叶祖达, 李宏军, 宋凌. 中国绿色建筑技术经济成本效益分析[M]. 北京：中国建筑工业出版社, 2013.

[20] 中国绿色建筑委员会. “我国绿色建筑效果后评估与调研”课题成果[EB/OL]. [2014-9-10]. <http://www.chinagb.net/weixin/20140910/109442.shtml>.

基金项目

国家自然科学基金重点项目（编号：51438005）；西交利物浦大学研究发展基金资助项目（RDF-11-01-15 & RDF-15-01-19）；苏州市国际科技合作计划项目（项目名称“服务苏州中英科技转移合作项目”）；常州市既有建筑节能改造相关课题（常建[2015]218号，项目名称“常州市既有建筑节能改造产业发展研究”）。

作者简介

陈冰，西交利物浦大学
张华，宁波大学
尹金秋，苏州中科院全周期绿色建筑研究院，英国谢菲尔德大学
宋蕾，苏州中科院全周期绿色建筑研究院
康健，英国谢菲尔德大学

收稿日期

2016-02-04