



ARCHITECTURE TECHNIQUE

07-2020



构建新时期绿色建筑设计创新体系
INNOVATION SYSTEM OF GREEN BUILDING DESIGN IN THE NEW ERA

构建新时期 绿色建筑设计创新体系	
INNOVATION SYSTEM OF GREEN BUILDING DESIGN IN THE NEW ERA	
篇首语	/ 7
Prologue	
统一而多样——地域特色现代转译的本土理论实践 *	/ 8
Unity and Diversity: Local Theory and Practice of Modern Translation with Regional Characteristics	
[崔岱 景泉 崔海东]	
亚洲绿色建筑评价体系 CO ₂ 减排指标比较研究 *	/ 14
Comparative Study on CO ₂ Reduction Indicators of Green Building Assessment Systems in Asia	
[刘科 冷嘉伟]	
建筑方案阶段绿色性能优化目标的设定方法 *	/ 18
Research on Performance Optimization Objective Setting Process in Architectural Scheme Phase	
[孔黎明]	
中国台湾建筑生命周期碳排放评估体系研究 *	/ 22
Research on Taiwan Building Life Cycle Carbon Emission Assessment System	
[刘依明 刘念雄]	
中外绿色建筑评价标准文脉关联指标比较与启示 *	/ 27
Comparison and Enlightenment of Context-related Indicators of Chinese and Overseas Assessment Standards for Green Buildings	
[徐雪芳 荆昕 张思乔 陈姵娅]	
被动式气候调节腔层的设计研发与应用——以华师大盐城实验学校教师培训中心为例 *	/ 32
Design and Application of Passive Climate Regulation Intermedia: Taking the Teacher Training Center of ECNU Experiment School in Yancheng as an Example	
[郑立君 张彤]	
环境响应与气候适应性理念驱动的寒冷地区高校图书馆绿色设计策略分析 ——以中央财经大学沙河校区图书馆为例 *	/ 40
Analysis on the Green Design Strategy of University Libraries in Cold Areas Driven by the Concept of Environmental Response and Climate Adaptability: The Library of Shahe Campus of Central University of Finance and Economics	
[徐斌 李东哲]	
当代校园建筑设计中的人文与绿色维度——以杭州师范大学仓前校区新能源学院楼为例 *	/ 44
The Human and Green Dimension in Contemporary Campus Architectural Design: Taking New Energy College Building in Cangqian Campus of Hangzhou Normal University as an Example	
[邱培昕 蒋楠]	
严寒地区建筑气候适应性设计研究——以哈尔滨华润·万象汇为例 *	/ 50
Research on Climatic Adaptability Design of Buildings in Severe Cold Area: Taking the Mixc in Harbin as an Example	
[李玲玲 张文]	
从窗牖、模数制、烫样谈传统文脉在被动式超低能耗绿色建筑中传承与演变 ——以雄安城乡管理服务中心为例 *	/ 54
On the Inheritance and Evolution of Traditional Culture on Passive Ultra-Low-Energy Green Building from Chuang You, Modular System, Tang Yang: Taking Xiong'an Urban and Rural Management Service Center as an Example	
[白羽 钱嘉宏 刘郁林]	
浅析绿色综合能源站设计——以天津北辰核心区 1 号综合能源站为例 *	/ 58
Analysis on the Design of Green Comprehensive Energy Station: Taking Tianjin Beichen Core Area Comprehensive Energy Station 1 as an Example	
[程轩 董妍博 常钟伟]	
文脉视角下传统建筑构成要素层级差异研究——以明清都城为例 *	/ 61
Research on the Different Levels of Traditional Building Components from the Perspective of Context: Taking the Capital City During the Ming and Qing Dynasties as an Example	
[牛婷婷 赵俊然 李睿斌]	
基于传统绿色营建理念的当代建筑设计策略研究 *	/ 66
Research on Contemporary Architectural Design Strategy Based on Traditional Green Construction Concept	
[景泉 贾潇 周晔]	

建筑方案阶段绿色性能优化目标的设定方法 *

Research on Performance Optimization Objective Setting Process in Architectural Scheme Phase

孔黎明
KONG Liming

西安建筑科技大学建筑学院

中图分类号: TU201.4; TU201.5

文献标识码: A

摘要

建筑方案的设计决策是提高建筑性能的关键,性能目标的选取与设定是建立优化逻辑的前提。各性能指标之间存在的相互作用和相互矛盾,使建筑性能的优化变得极为困难。根据外部气候和场地环境特点,以及建筑内部功能的差异化要求,分析性能目标的选择范围。从优化潜力、可操作性和形态敏感性的角度分析目标的选择优先级,提供优化目标的具体实例并简化多目标,从而探索设计决策的方法。

关键词

建筑性能; 多目标优化; 性能目标; 优化设计

Abstract

Design decisions in the architectural scheme phase are essential for building performance improvement, but various performance indicators interact with each other or contradict each other, which makes it extremely difficult to optimize. The selection and reasonable setting of performance objectives is the premise of establishing optimization logic. This paper analyzes the selection range of performance objective based on the external climate and site environment characteristics, and the differentiated requirements of the building's internal functions. Analyze objective selection priorities from the perspective of optimization potential, operability, and morphological sensitivity. It also gives examples of optimization objective inclusions, and the method of simplifying Multi-objective for supporting the design decision.

Keywords

building performance; multi-objective optimization; performance objective; optimization design

随着我国城市化进程的不断推进,建筑能耗占社会商品总能耗的25%左右^[1],并且还将持续增加,建筑节能已成为提高社会能源使用效率的重要手段。建筑的各阶段都涉及到能量的消耗,建筑方案设计是建筑节能设计的基础和关键环节,可以在几乎不增加任何费用的情况下提升建筑性能。随着“绿色”被正式列入建筑方针,越来越多的建筑师试图通过建筑形体和表皮的优化提升建筑绿色性能。

建筑绿色性能通常包括建筑日照、室内采光、自然通风、室外风环境、声环境、热舒适度、室内空气质量等,这些性能指标可以被量化,具备定量优化的前提条件。但由于各性能间的互相影响和相互矛盾,大大增加了建筑绿色性能优化设计的复杂性,例如通风与保温、遮阳与采光、采光与热舒适度等。另一方面,设计参数是随着设计的推进才逐步明确的,这给优化目标的设定带来巨大困难,绿色性能目标很难通过建筑体量或表皮的优化来回应设计,多依赖于建筑材料或设备。虽然优化算法的强大搜索功能与建筑师的主观经验有利于实现绿色建筑设计,但如何选取和设定合理的绿色性能目标是设计决策的第一道难题。

随着参数化设计的应用越来越广泛,其性能高效的优势越来越明显^[2]。孙澄团队借助Rhino/Grasshopper等建模平台、Ladybug性能模拟平台以及Octopus数据处理平台,对建筑表皮的多目标优化进行实验,总结了以绿色性能为导向、建筑数

字化节能设计理论下的设计流程和技术平台^[3-5]。近些年,国外以建筑设计为原型的性能优化研究案例明显增多,优化目标大多和能耗有关^[6]。Evins R在建筑性能优化设计的相关论述中对已有研究中的优化目标进行统计分析,可见性能优化设计的相关技术平台日益成熟,针对特定目标的优化流程也相对清晰^[7]。但当前此技术应用于建筑实践项目中的案例并不多见,对建筑师来说,如何在分析建筑性能的过程中选取合理的性能优化目标,仍是一件非常困难的事。

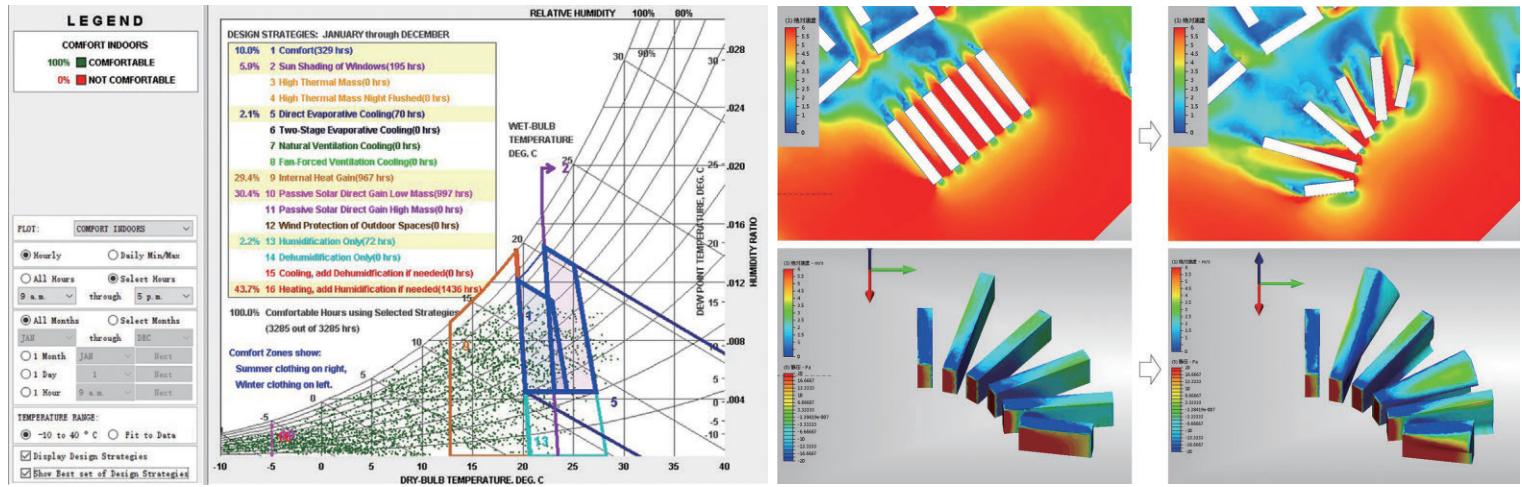
1 绿色性能目标的选择

1.1 选取范围

《绿色建筑评价标准》中将绿色建筑定义为“在全寿命期内,节约资源、保护环境、减少污染,为人们提供健康、适用、高效的使用空间,最大限度地实现人与自然和谐共生的高质量建筑。”刘加平团队从绿色建筑基本内涵分析了如何从建筑方案创作开始,实现绿色建筑设计^[8]。考虑到建筑方案设计阶段很多规划指标已确定,部分建筑材料参数待确定等特点,建议绿色建筑设计从节能、提高舒适度和节材三个方面进行研究。

1.1.1 从外部气候和场地环境特征角度选择节能相关目标

与外部气候条件相适应是绿色建筑最本质的特征。因此在方案设计阶段,应先对建筑所处地区的的主要气候影响参数进行分析,进而将适宜的



1 西宁焓湿图

2 建筑体量布局回应海陆风环境

气候调控措施与建筑布局、形式和表皮等被动式设计策略有机结合，从而得到最直接有效的建筑节能途径。在获取项目所在城市的典型气象年（TMY）数据后，Weather Tool和Climate Consultant等气候分析软件可以将原始数据转化为便于建筑师理解的图示语言，如日照分析图、风速分析图、焓湿图（Psychrometric Chart）等，这些图表能展示出细微的气候属性及其对建筑形态的影响，并能够提出适宜当地气候的有效设计建议。例如在青海会展中心设计前，通过Climate Consultant分析西宁被动式策略组合，按照有效时间的长短，排列适用的被动式建筑策略，依次为被动式太阳能直接得热+蓄热（30.4%）、遮阳（5.9%）、蒸发降温（2.1%）等（图1）。通过西宁被动式建筑策略在夏季和冬季各月以及全年有效时间比，可以得出将冬季室内累积日辐射量作为重要优化目标的结论（表1）。

部分建筑项目受基地环境微气候的影响更为显

著，在选取优化目标时，可以从基地的自然气候条件出发，既要考虑区域的气候普遍特征，也不能忽略基地环境自身的特点。例如在毕业设计教学中，学生选择项目基地位于深圳市盐湖区大鹏湾畔，通过分析发现这里白天的海风平均风速为7m/s，建筑外部风环境舒适度较差，而夜晚陆风平均风速为1m/s，风速过低不利于利用夜晚凉爽空气降低结构温度。因此通过设定优化目标将建筑外环境白天的海风平均风速从7m/s降低到4m/s，夜晚陆风平均风速从1m/s增至3m/s，以提高白天外部环境的舒适度并增强夜晚的通风潜力（图2）。

1.1.2 从建筑内部功能的差异化需求选择舒适度相关目标

从建筑使用者生理和心理需求的角度分析，热舒适度、采光系数和均匀度、日照时长等是优化考虑的主要因素。在方案设计初期设计师会初步考虑建筑朝向、风向的影响，将使用者停留时间较长或重要的功能用房布置在相对舒适的区域，这也

是建筑师朴素的绿色观。此外，因为建筑内部功能的不同，使用者的分布密度和行为差异也会影响建筑性能目标的设定。虽然部分规范已经规定不同功能用房的指标要求，但是规范要求的是最低标准而不是最适宜标准，加之当前建筑正向综合化和复合化发展，同一建筑物可能包含多种功能和行为模式，不同性能目标的重要程度和权重差异会使同一性能目标在建筑内不同功能区的设定值不同。

对建筑师而言，通过软件模拟得到建筑内部不同区域的热、光舒适指标，在综合考虑其他设计要素的前提下，可以将差异化需求适应性匹配不同的性能指标区域。反之，也可以根据功能使用的差异化需求，设定更加匹配的性能目标进行优化设计。随着方案的深化，这两种优化方法也可以交替使用。与整栋建筑按照同一标准优化相比，这种系统性思维方式也体现了建筑师在方案阶段进行绿色性能优化的独特优势。

表1 西宁被动式建筑策略在夏季和冬季各月以及全年有效时间比（%）

控制时间	6月	7月	8月	12月	1月	2月	全年
热舒适	24.8	40.5	41.6	—	—	—	10.0
窗户遮阳	8.9	33	22.6	—	—	—	5.9
直接蒸发制冷	1.1	11.5	3.6	—	—	—	2.1
内部得热	57.8	46.6	50.2	—	—	—	29.4
被动式太阳能采暖+低蓄热	35.6	—	—	24.4	20.1	20.4	30.4
单纯加湿	2.2	—	—	—	—	—	2.2
主动采暖，必要时加湿	12.2	1.4	4.7	75.6	79.9	70.6	43.7

1.1.3 节材

建筑方案阶段的节材主要为减少材料的使用。一方面与结构工程师紧密配合,使建筑形态与结构逻辑更契合,以减少结构材料。另一方面在满足功能和其他性能要求的前提下,优化建筑形态以减少围护和构件材料。在实际项目中,材料的优化主要取决于建筑造价的控制,进而为其他优化目标提供约束条件。

1.2 选取原则

1.2.1 重要性

理论上对“绿色”贡献越大的性能目标应该被优先选择,但如何评价某项性能的贡献程度是一项复杂工作。李涛曾通过问卷和层次分析法将最低能耗设计为最高权重,其次是自然资源直接利用^[9]。但这种方法建立在主观判断的基础上,和受访者的知识结构有很大关系。LEED和《绿色建筑评价标准》中通过分值直接体现不同指标的权重,但评价对象和地域不同时,其分值并不能完全体现性能提升的实际作用和效果。再者某些评分项包含多项性能指标,也无法体现单个性能指标的重要程度。因此,《绿色建筑评价标准》中的权重很难直接支撑方案设计中性能选择的优先级,而更多辅助于定性判断。

1.2.2 优化潜力

性能指标的提升潜力也是目标选择的重要考量因素,以往更多依赖建筑师的主观经验评估,当前随着计算机性能模拟效率的提升,通过对对照组和实验组的比对,量化性能提升潜力。例如笔者团队在进行办公建筑表皮遮阳构件光热性能优化研究过程中,通过对无任何遮阳的对照组和经过采样后的768组不同遮阳构件参数的实验组进行对比(表2),发现在日辐射得热、采光系数、采光均匀度、热舒适时间百分比和采光达标面积百分比等性能目标中,日辐射得热和采光均匀度更具优化潜力,可以作为表皮设计阶段的主要优化目标。

1.2.3 可操作性

可操作性主要体现为设计手段与性能指标之间的作用机制是否清晰,以及所设定目标与其他目标

之间的边界是否清晰。根据Berk Ekici对100多项相关案例的统计研究,已有智能优化研究中以节能和造价为优化目标的案例占近一半数量^[10]。但是在实际设计项目中,综合能耗和成本包含的子项或相互影响因素过多,方案阶段以此为目标并不利于分析设计操作与性能指标之间的机制。而类似日辐射、采光系数等指标相对单一的目标,则便于优化过程中建立目标与变量之间的关系及定量优化,多数情况下这些指标的优化也将起到明显的节能效果。

1.2.4 与形态和表皮的关联度

方案阶段的被动式设计主要通过建筑布局、形态和表皮的适应性变化回应自然采光、日辐射、通风等要求,因此方案阶段所选择的性能目标需对体量或表皮变化较为敏感,才有利于提升被动式设计的效果。根据Berk Ekici的分析统计,得出能源、自然采光、日辐射和热舒适度等目标与建筑体量、朝向、表皮、窗墙比的关系更为密切,适合作为方案阶段优化目标。同时,设计过程中也可以通过敏感性分析,量化、优化目标与形态或表皮参数的关联程度,进一步理清设计变量与性能目标之间的机制。

2 绿色性能目标的量化

以往的绿色建筑性能目标大多停留在“自然通风更好”等笼统概念,目标的不清晰将导致后期优化的指向不明确。对性能目标进行量化,也是对绿色建筑设计深入思考的过程,正如根里奇·阿奇舒勒所说,“创造力是正确表述问题的技能”^[11]。同一个性能目标有可能在不同阶段采取不同的量化指标,例如,“自然通风更好”在概念体量设计阶段(还没考虑窗或洞口的位置)可以设定为“夏热冬冷地区建筑迎风面和背风面70%以上区域风压差大于4Pa”,待体量确定后在开窗和洞口设计过程中可以设定为“夏热冬暖地区过渡季节建筑内部80%以上办公空间自然通风换气次数达3次/h以上”。可见随着性能目标量化,设计操作的指向也会更加明确。

优化目标的量化也是建立完整优化逻辑、实

现计算机算法自动寻优的前提条件。部分优化目标的量化可以参考相关规范和标准,例如《建筑采光设计标准》(GB 50033-2013)详细规定了不同功能用房的采光系数标准值和室内天然光照度标准值,但其中规定的是最低标准而不是最优标准,在设定优化目标时可以在此基础上结合项目实际情况提高标准。大部分优化目标是求极值,也就是最小值或最大值,例如室内夏季累计日辐射最小、采光均匀度最高、单位建筑面积能耗最小等。虽然是求极值,但仍需要建筑师对极值的适宜范围进行预判,这样有助于纠正错误的边界条件或不合理的基本参数。还有部分目标需设定范围,但规范中没有规定具体数值,这种情况则可以通过对优秀案例的实测,结合计算机模拟分析,确定适宜的目标区间,在前人的研究成果上根据自身项目的特点适应性调整设定。

3 绿色性能目标转化

建筑绿色性能优化本质上是对目标进行综合优化(MOP),相比较传统的单目标优化或加权求和多目标优化方法,基于Pareto最优概念的多目标演化算法不是寻求唯一最优解,而是得到多个最优解集,弥补加权目标优化的不足^[12]。但能否从最优解集中选出现实可行的最优方案进行设计决策,仍然依赖于决策者对不同目标重要程度的主观判断。在实际应用过程中,多目标优化与设计决策是不可割裂且递进的,决策者通过非劣最优域的搜索不断获取与精炼决策信息,再基于主观经验逐步引导优化器搜索最感兴趣的非劣最优域。盲目地将各优化目标同时输入计算机程序,会使计算的复杂度和搜索空间急剧扩增,给评估决策增加巨大难度。因此,在确定设计手段与不同性能作用机制的前提下,主观选择不同阶段的核心性能进行排序优化,可以建立更合理的优化逻辑,提高决策效率。

3.1 多目标排序优化

复杂设计问题的传统解决方式是分阶段、分层次、系统性解决,性能优化的过程应紧密结合设计流程进行排序优化。排序的依据可以从重要性、优

表2 表皮性能潜力分析汇总表

	日辐射得热RAD (kW·h)	采光系数 (DF)	采光均匀度 (URD)	热舒适时间百分比 (APMV)	采光达标面积百分比	用料面积AREA (m ²)
对照组(无外遮阳)	153.777	10.084	0.293	0.458	0.981	0.000
实验组min	-30.871	1.960	0.278	0.458	0.212	21.422
实验组max	348.531	6.013	0.396	0.517	0.683	74.524
实验组平均数	160.464	3.748	0.325	0.496	0.446	38.603
实验组最大提升(%)	127	-40	35	13	-30	-
实验组最差提升(%)	-120	-81	-5	0	-78	-
实验组平均(%)	4	-63	11	8	-55	-

化潜力、与该阶段建筑形式操作的关联度等角度考虑，边界相对清晰的优化目标更便于优化排序，例如在某办公楼的体量设计阶段，重点通过中庭和迎风角度的优化提升夏季通风潜力，而表皮设计阶段的重点是优化光热性能相关目标。后一阶段并非完全不考虑通风，而是在前一阶段的成果上确定开洞位置、尺寸等深化设计，并评估是否会对前一阶段的目标造成重大影响。关联度很强的优化目标如采光和日辐射等，则更适合同时寻求解。

3.2 多目标转为单目标

多目标优化问题可以通过分配权重、加权求和的方法将多目标转化为单目标优化。虽然权重的赋值仍具有主观性和随意性，但其逻辑化的思维方式有助于辅助建筑师分析和确定设计过程中的核心优化问题。当优化目标数量较少时，如果把多目标优化问题中的一个目标看成优化对象，其余目标均视为约束条件，则多目标优化问题也可以转化为带约束条件的单目标优化问题。例如将“日辐射量、采光系数和材料面积”的多目标优化转化为以“采光系数大于3.0，材料面积小于某值”为约束条件，以“冬季累计日辐射量减夏季累计日辐射量差值最大”为优化目标的单目标优化。但在转化的过程中究竟哪些目标更适合转化为约束条件，仍依赖于建筑师的主观经验判断。

3.3 多目标敏感性分析

敏感性分析是近些年在建筑能耗方面使用较多的一种分析法，用于探讨建筑性能与设计手段之间的关系^[13]。它是一种确定设计参数重要程度和贡献率的方法，可以帮助建筑师量化形态参数与不同性能的敏感性，提高建筑师对优化过程的控制力。例如，Nguyen认为通过敏感性分析的设计参数，更容易高效提高建筑性能；Mastrucci则通过敏感性分析简化能耗优化模型^[14, 15]。敏感性系数低的形态变量在适应功能和审美时，对建筑性能的影响较小，在实际设计中可以根据敏感性分析结果，排除部分敏感性低的目标，重点研究和优化敏感性高的形态参数，提高优化和决策效率。因此，方案设计阶段的敏感性分析可以从形态与性能关联性的角度减少优化目标数量，提高设计决策效率。

4 结语

当建筑师对计算机智能优化充满憧憬和期待时，发现算法虽然解决了多目标求解的问题，却仍然不能代替建筑师进行设计决策，计算得到非劣解集后的最终决策仍然取决于建筑师的主观经验。但对大多数仅擅长空间操作的建筑师而言，这部分经验并不丰富甚至是匮乏的，建筑设计人员只

能在寻找优化目标和建立优化逻辑的过程中积累经验。在项目设计阶段明确与绿色性能相关的问题，清晰而有逻辑地描述这些问题是很重要的。结合方案设计阶段的特点，在剖析建筑绿色性能优秀案例和已有研究成果基础上，提出性能目标的选取范围和选取原则，探索优化目标量化以及提高决策效率的方法，有助于推动优化理念在建筑方案设计阶段的应用实践。**AT**

致谢：感谢参与学生姚启帆、时雨辰、胡已宏。

* 注：本研究由国家重点研发计划（2016YFC0700200）“西部太阳能富集区城镇居住建筑绿色设计新方法与技术协同优化”（2016YFC0700208）；国家自然科学基金面上项目“太阳能富集区大型公共建筑表皮光热性能优化设计方法”（51878530）资助。

图表来源

本文图表均由项目团队绘制。

参考文献

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告, 2014[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] 姚佳伟, 陈侃, 郑晓薇, 等. 环境性能导向的建筑数字设计研究[J]. 建筑技艺, 2019 (9) : 58-63.
- [3] 袁栋, 孙澄. 多目标优化在建筑表皮设计中的应用[J]. 城市建筑, 2018 (17) .
- [4] 孙澄, 韩昀松. 光热性能考虑下的严寒地区办公建筑形态节能设计研究[J]. 建筑学报, 2016 (2) : 38-42.
- [5] 孙澄, 韩昀松. 绿色性能导向下的建筑数字化节能设计理论研究[J]. 建筑学报, 2016 (11) : 89-93.
- [6] Shi X, Tian Z, Chen W, et al. A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 65: 872-884.
- [7] Evins R. A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 22: 230-245.
- [8] 刘加平, 高瑞, 成辉. 绿色建筑的评价与设计 [J]. 南方建筑, 2015 (2) : 4-8.
- [9] 李涛. 基于性能表现的中国绿色建筑评价体系研究 [D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [10] Ekici B, Cubukcuoglu C, Turrin M, et al. Performative computational architecture using swarm and evolutionary optimization: A review[J]. Building and Environment, 2019, 147: 356-371.
- [11] 根里奇·斯拉维奇·阿奇舒勒. 创新算法: TRIZ、系统创新和技术创造力 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- [12] 谢涛, 陈火旺. 多目标优化与决策问题的演化算法 [J]. 中国工程科学, 2002: 1-94.
- [13] Tian W, Song J, Li Z, et al. Bootstrap techniques for sensitivity analysis and model selection in building thermal performance analysis[J]. Applied Energy, 2014, 135: 320-328.
- [14] Nguyen A T, Reiter S. A performance comparison of sensitivity analysis methods for building energy models[J]. Building Simulation, 2015(6): 651-664.
- [15] Mastrucci A, Perez-Lopez P, Benetto E, et al. Global sensitivity analysis as a support for the generation of simplified building stock energy models[J]. Energy & Buildings, 2017, 149: 368-383.

孔黎明

西安建筑科技大学建筑学院副教授。