

基于多目标设计决策的城市形态与能耗相关性

周艺南¹, 杨沛儒^{2,3}

(1. 北京交通大学 建筑与艺术学院, 北京 100044; 2. 同济大学 建筑与城市规划学院, 上海 200092;
3. 佐治亚理工学院 设计学院, 亚特兰大 30332)

摘要: 提出了被动式能源街区概念, 并建立了多要素关联作用下的城市形态与能耗研究框架。运用多目标设计决策(MDO), 以上海气候条件下的3个模拟实验为例, 揭示了由建筑类型、街区容量、使用模式等城市形态要素改变而引发的建筑能耗变化规律。最后, 给出了被动式能源街区的城市空间形态优化设计策略。

关键词: 低碳城市; 城市形态; 被动式能源街区; 多目标设计决策; 能耗; 节能

中图分类号: TU201.5; TU984.1

文献标志码: A

Correlation Between Urban Form and Energy Consumption Based on Multidisciplinary Design Optimization

ZHOU Yinan¹, YANG Pei-Ju Perry^{2,3}

(1. College of Architecture and Art, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. College of Design, Georgia Institute of Technology, Atlanta 30332, USA)

Abstract: In this paper, the concept of passive energy district is proposed to build a research framework of urban form and energy consumption under the action of multi-element. By using the multidisciplinary design optimization (MDO) and taking three simulation experiments under Shanghai climate condition as examples, the law of building energy consumption change with urban form elements, including building typology, district capacity, usage pattern, is revealed. Finally, the optimal design strategy of urban spatial form for passive energy district is put forward.

Key words: low-carbon city; urban form; passive energy district; multidisciplinary design optimization (MDO); energy consumption; energy conservation

随着环境问题的加剧, 绿色建筑和生态城市的研究不断深入。绿色建筑的设计策略分为被动式和主动式2种。被动式建筑节能技术是指通过不采用或较少采用机械动力设备的手段, 达到室内舒适的目的, 降低建筑能耗^[1], 而主动式建筑节能技术则相反。是否使用能源是建筑节能技术的核心分野。

建筑单体的能耗不仅与其自身相关, 因其矗立于城市或自然环境中, 还不可避免地受到周边环境的影响^[2], 如相邻建筑之间的阳光遮挡、不同街区结构带来的通风影响、城市建成区的热岛效应等。同一个建筑置于城市高密度的市中心和低密度的郊区, 其能耗表现差异显著, 因此仅对建筑单体进行模拟分析而不考虑周边环境则会产生误差。一方面, 街区尺度是融合人的城市空间感知和环境性能的基本单元, 其环境性能的研究维度不同于建筑单体; 另一方面, 街区尺度相较于城市尺度, 更容易通过节能策略进行引导调控。目前对于城市及街区尺度的研究相对有限, 城市形态对于能耗的多元影响还有待深入。因此, 提出了被动式能源街区的研究框架, 并以上海气候条件下的3个模拟实验为例, 探索城市形态因子与建筑能耗之间的关系, 为当前生态城市建设提供调控策略和方法支持。

1 被动式能源街区的研究框架

1.1 相关研究综述

1.1.1 国外研究现状

国外对于城市形态环境性能研究开展得较早, 基本形成了涵盖综合研究和分类研究的框架。20世纪70年代Martin等^[2]明确地将城市形态作为影响建筑能耗的4个重要因素之一, 这开启了后续环境性能研究的大门。综合型研究致力于探讨要素之间或

收稿日期: 2021-03-07

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(2018RCW010)

第一作者: 周艺南(1985—), 男, 讲师, 工学博士, 主要研究方向为生态城市设计与绿色建筑。设计。

E-mail: ynzhou@bjtu.edu.cn



论文
拓展
介绍

一致或相悖的关系,为解决实际问题提供系统性、整体性、可权衡的策略体系。Brown等^[3]、Salat^[4]建立了城市形态环境性能研究的综合理论框架,并提出了环境性能导向的可持续城市形态的量化指标体系。分类型研究在对某一类环境性能要素或城市形态要素开展分析的同时简化其他要素的影响,此类研究相对聚焦,如Wong等^[5]、Salat等^[6]、Yang^[7]、Frenchman等^[8]关于城市形态对能量性能影响的研究,Nikolopoulou等^[9]关于城市形态和室外热舒适度作用机制的研究。

实证和模拟是城市形态环境性能研究的主要路径。实证的特点在于直面现实,立足于对现实场景的深度研判,在实证研究中总结原则和规律。在实证研究方面,Yang等^[10]收集南京14种代表性城市形态的热性能数据,建立城市形态因子和热性能之间的相关性。在模拟研究方面,Ratti等^[11]将包括院落式、集中式在内的街区类型进行模拟分析,得出连续院落式建筑在干热气候条件下比集中式建筑具有更好性能表现的结论,团队继而研究了伦敦、图卢兹和柏林3个城市400 m×400 m区域的城市肌理^[12],发现城市形态和能耗之间有着明显的正相关性。模拟的优势在于通过快速、大规模、可视化的计算揭示复杂问题的作用过程,也可以对非真实存在的(设计中的)城市形态进行模拟验证或性能预测。

1.1.2 国内研究现状

我国学者对于城市形态环境性能的研究是作为生态城市理论、可持续发展理论的重要组成部分发展起来的。李麟学^[13]在国外热力学建筑研究的基础上,进一步发展环境调控理论,提出形式追随能量的理念,将热力学作为城市和建筑设计的引擎。张彤^[14-15]率先在国内完整阐述了环境调控的概念。

同我国城市语境相结合的机理研究也在持续深化。在城市形态方面,杨俊宴等^[16]、段进等^[17]、盛强等^[18]立足于我国城市情况,开展了城市形态特征、分类系统以及测度方法的相关研究;在环境性能方面,季惠敏等^[19]通过城市形态量化模型对形态的性能指标展开研究,提出城市形态数据化的建设思路。

1.1.3 国内外研究评述

总体来说,关于城市形态环境性能的研究开始较早,基本形成将理论研究、应用研究和方法工具相结合的较为全面的研究体系。然而,环境性能大多聚焦于风、光、热、微气候等单一要素层面,对于被动式能源街区的核心问题——能量与城市形态的关系研究相对较少,针对耦合机理的综合研究还有待建

立,多元要素之间的影响需要进一步揭示。此外,国外研究往往立足于本国城市形态特征和气候特征,难以照搬运用。

1.2 被动式能源街区的概念

被动式能源街区是在被动式建筑的基础上提出的,并进一步将节能策略扩展到街区层面,以不使用机械设备达到节能目的为前提^[20]。具体地,在符合功能使用要求的基础上,通过优化包括道路结构、空间布局、建筑类型、街区容量、使用模式和环境设计等在内的城市形态要素(见图1),改变室内外风、光、热的流动状态,满足室内外空间舒适度要求的同时减少能源消耗。除上述本体要素外,被动式能源街区的研究对象还包括外延要素,即作为主动式策略的空间手段,其节能效果是通过使空间与能源设备要求相协调或促进可再生能源使用而达到的,包括与分布式能源系统相适应的路网结构、最大化太阳能光电板能效的城市形态等,城市形态与能源系统的协同优化也是当今前沿研究方向之一。

1.3 内涵特征、研究层次及设计流程

同建筑相比,被动式能源街区具有2个内涵特征。

(1) 决策目标的多元性

街区尺度节能问题的复杂性和综合性远高于建筑单体,街区形态的调整会影响建筑能耗及风、光、热性能,从而影响室内和室外的舒适度。此外,街区形态还受交通出行方式、公共空间感受、经济价值等使用要求的影响。这些影响因素有时不完全一致甚至相悖,因此在优化城市形态以降低建筑能耗的同时,要区分主次需求,构建多目标设计决策模型,综合考量各因素的影响程度,尽量达到多目标的共赢。

(2) 作用效果的兼容性

生态城市设计主张对物质和能量流动的关注,流动本身是没有边界的,贯穿各个空间层级。街区作为连接上位片区和下位建筑的中间环节,具有较大的节能潜力,但也受到上下层级的共同影响和制约,尤其是在考量与建筑层级密切相关的运营能耗时,仅仅依靠街区策略本身较难满足室内舒适度需求。不同空间层级策略的兼容协同,可以在放大节能效果的同时避免单一策略所带来的更高代价。

规划师视角下的被动式能源街区包含3个研究层次:一是在耦合机理方面,通过构建科学模型探求街区形态要素和城市能耗之间的关系;二是在设计实践方面,将复杂性分析和多目标决策纳入城市设计中,驱动高能效城市形态的生成;三是在管控实施

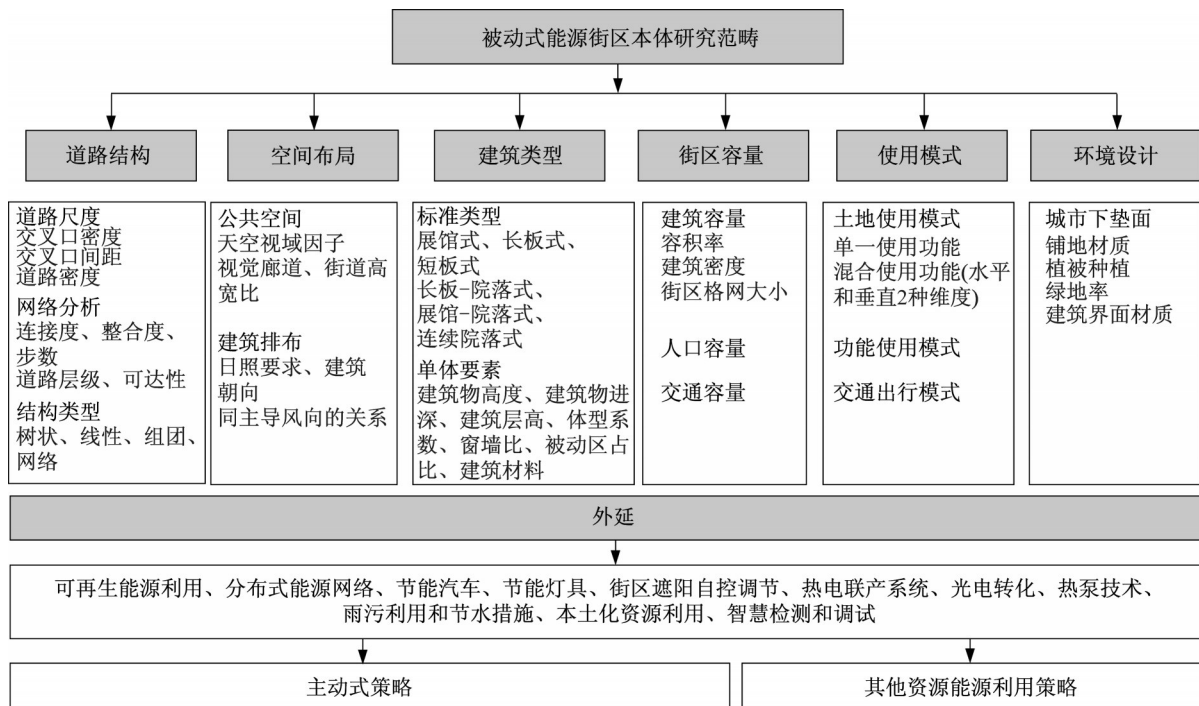


图 1 被动式能源街区的研究框架

Fig.1 Research framework of passive energy district

方面,针对不同城市的气候环境,基于实证数据和模拟实验,建立“能量+城市形态”数据库,进一步形成管控方法,为高效城市设计提供管控指引。

随着全球变暖和城市环境问题频现,城市能源性能的重要性逐渐凸显,并在城市设计中得到重视,和其他社会、经济、环境要素一起构成城市设计优劣的评价标准,被动式能源街区的设计具有跨学科合作的特征。通过对设计策略在性能优化和实际需求之间的持续调整,形成融合、共赢的解决方案,呈现出动态的设计过程。一般来说,被动式能源街区的设计流程包括实验研究、适宜性被动式策略设计、多

原则整合及性能化评估4个阶段(见图2)。

2 基于理想模型模拟的实验

在特定的气候条件下怎样的城市街区形态组合具有最佳的建筑能耗表现? 研究针对这一问题展开。多目标设计决策(MDO)通过权重设置来量化分析变量对于目标的影响,为利益相关方动态决策提供支持^[21],可解决多要素影响下的综合问题。具体步骤包括提出研究问题、拆解常量变量、建立三维模型、开展性能模拟、建立决策模型。

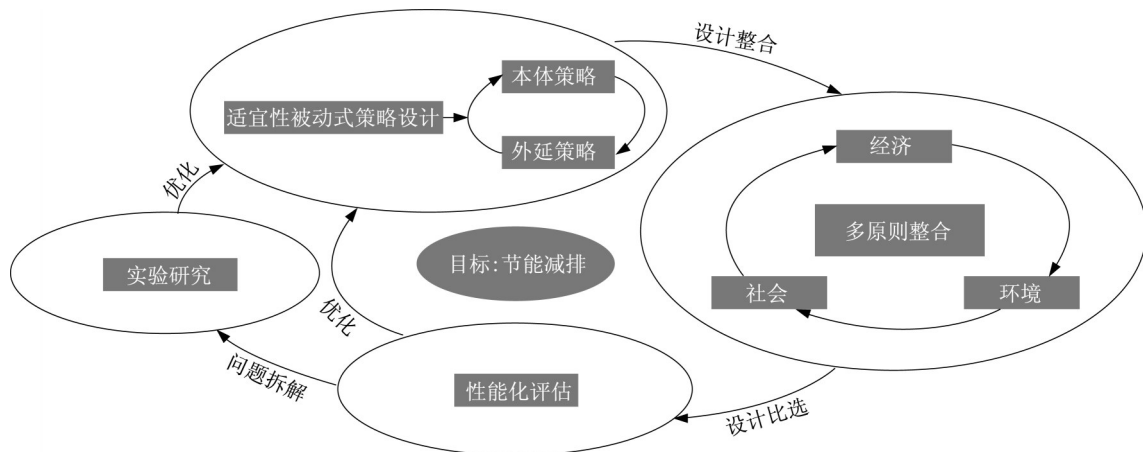


图 2 被动式能源街区的设计流程

Fig.2 Flow chart of passive energy district design

Phonix Model Center 软件可用于多目标设计决策的开展,通过编程调用并整合其他各类软件,类似于发布指令的中枢,内嵌的数据分析和可视化技术为决策模型构建提供支持。三维模型生成采用参数化形式,由基于 Rhino 平台的 Grasshopper 插件搭建,可以通过变量设定和阶数变化自动获取大量的目标城市形态。三维模型生成后,通过 Grasshopper 插件及 umi 插件对目标形态逐一开展性能模拟,采用的模拟软件包括但不限于基于 Archisim 插件(内置 EnergyPlus)的能耗模拟、基于 Ladybug 插件的太阳辐射模拟、基于 Butterfly 插件的通风模拟以及基于 Honeybee 插件的人体舒适度模拟等。模拟结果和对应的城市形态测度以 Excel 数据集形式回传给 Phonix Model Center 软件,进行数据分析和可视化呈现,最终基于多目标设计决策建立城市形态与能耗的相关性。此外,Phonix Model Center 软件中的机器学习程序可以针对提前设定的多元决策目标,通过自主学习有效收敛备选方案范围,避免了大量试错所带来的计算冗余和时间浪费。

3个实验均基于上海气候条件(夏热冬冷地区),气候条件的改变会对实验结论产生较大影响。模拟能耗仅包括与城市空间形态相关的采暖、制冷以及照明能耗,不包含电梯、通风系统、消防等其他设备能耗;仅提取场地中心计算区域内建筑的模拟结果,不考虑更大范围城市环境及热岛效应的影响(场地

处于城市新区或郊区)。

3个实验均采用理想模型模拟的方式,优势在于:样本量大,消除了真实场景中外界因素的干扰,可以直接获取城市形态与能耗之间的关系,同时可梯度控制形态变量,观察形态变量对能耗的影响程度,为下一步开展高能效城市形态设计提供支持。

2.1 建筑类型与能耗实验(实验1)

2.1.1 实验目的

街区能耗与碳排放情况会随建筑类型的改变而改变,该实验目的在于研究建筑类型和容积率对于能耗和碳排放的影响^[22]。

2.1.2 常量与变量

该项研究中,所有街区模型的建筑密度设定为25%,街区尺度为400 m×400 m。为了避免周边建筑对该街区的影响,模拟结果取中心200 m×200 m范围区域。2个实验变量分别是建筑类型和容积率。测试了12种街区形态(见图3),类型1~6为 Martin 和 March 提出的6种典型街区形态,分别对应展馆式建筑、长板式建筑、短板式建筑、长板-院落式建筑、展馆-院落式建筑以及连续院落式建筑。类型7为从柯布西耶光明城市中提取的原型,类型8为顺应盛行风向对院落式建筑进行变形后的街区形态,类型9为多种尺度建筑单体混合布置而成的街区形态,类型10~12源自上海的实际街区。实验中所有类型平面均固定,通过建筑高度的增大使容积率产生1.0~8.0的梯度变化。

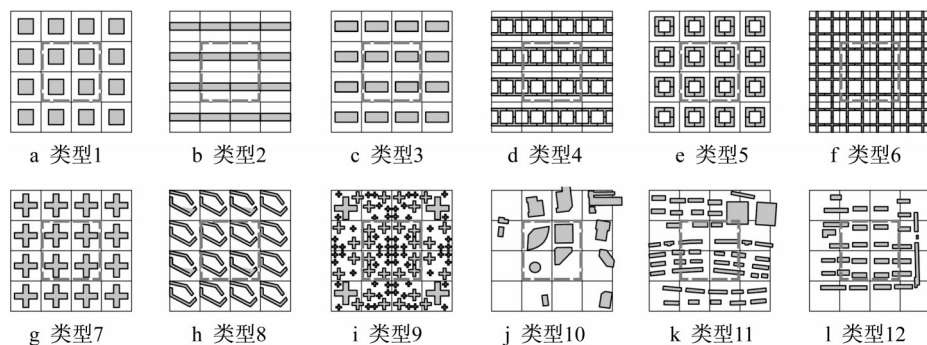


图3 12种街区形态及计算区域

Fig.3 Twelve district forms and calculation areas

2.1.3 实验流程

(1)将12种街区形态分别按照容积率1.0~8.0的变化建模,共形成96个模型,如图4所示。

(2)在能耗模拟软件中设定相应的模拟参数,包括上海气象数据、建筑使用类型、使用者使用方式、材料和构造做法、建筑窗墙比等,模拟并记录每个模型的相应能耗和碳排放数据。

(3)根据所得模拟数据计算每种街区形态的建筑单位面积平均能耗(供暖、制冷、照明及总能耗)与碳排放量,并形成相关图表。

(4)基于表格数据建立多目标设计决策模型,针对不同的设计目标设置相应权重,对96个模型按照目标匹配度进行排序,筛选满足目标要求的最佳建筑类型和容积率组合。

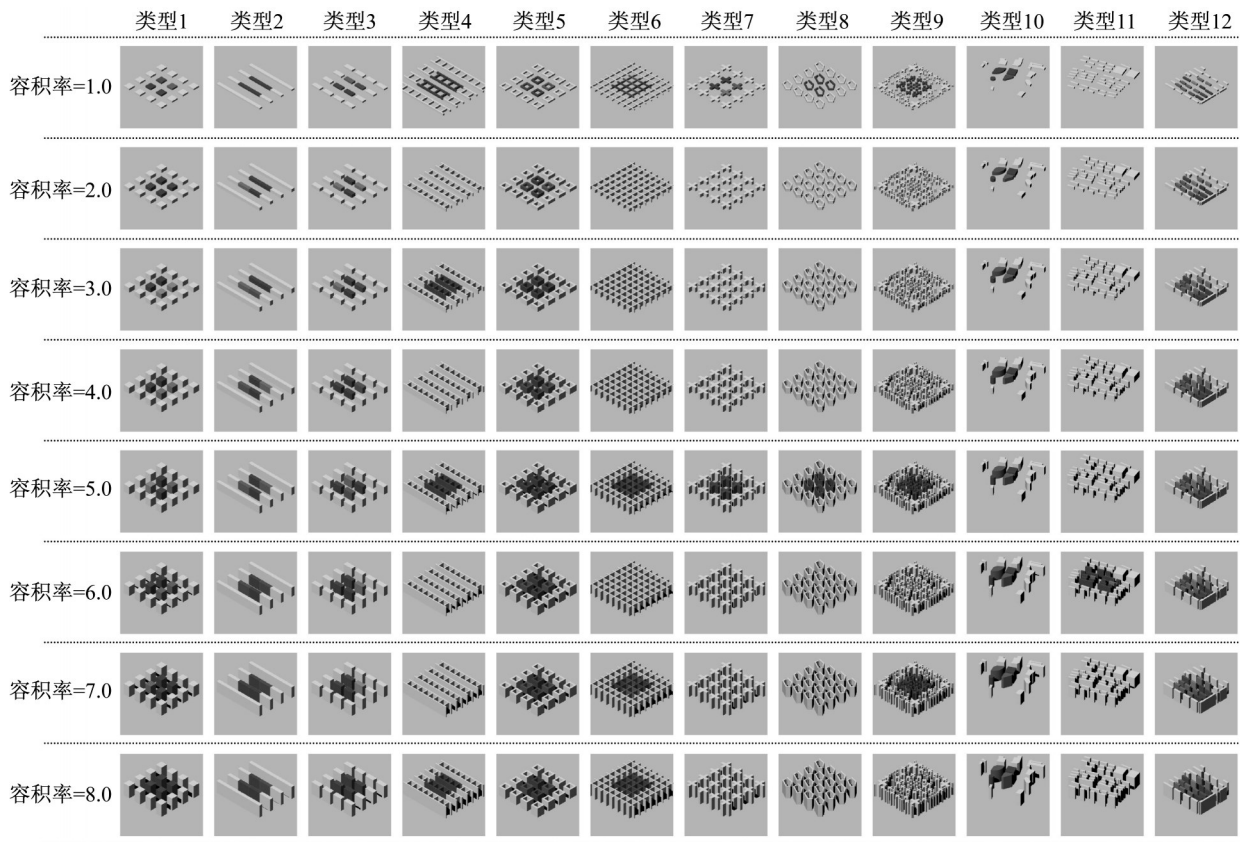


图 4 模拟模型

Fig.4 Simulation model

2.1.4 实验结论

(1)单位面积平均能耗随街区形态的不同而变化,统计了每种街区形态的单位面积平均能耗,并将其从低至高进行排名,如表1所示。类型8单位面积平均能耗最低,类型11和类型12单位面积平均能耗最高,两者相差约27%。

表 1 12种街区形态能耗排名

Tab.1 Energy consumption ranking of twelve district forms

排名	单位面积平均能耗/(kWh·m ⁻²)	类型
1	134	8
2	135	2
3	136	3
4	136	1
5	143	7
6	143	10
7	149	4
8	149	5
9	159	9
10	162	6
11	170	12
12	170	11

(2)单位面积平均碳排放量随街区形态的不同而变化,统计了每种街区形态的单位面积平均碳排

放量,并将其从低至高进行排名,如表2所示。类型10单位面积平均碳排放量最低,类型9单位面积平均碳排放量最高,两者相差约64%。

表 2 12种街区形态碳排放排名

Tab.2 Carbon emission ranking of twelve district forms

排名	单位面积平均碳排放量/(kg CO ₂ ·m ⁻²)	类型
1	61.0	10
2	74.6	8
3	78.9	1
4	80.0	3
5	81.7	2
6	84.3	7
7	88.2	4
8	95.2	5
9	95.8	6
10	97.6	11
11	98.0	12
12	99.8	9

(3)单位面积平均能耗随容积率增大而减小。街区形态不同,单位面积平均能耗受容积率影响的程度也不同,类型2、3、11受容积率影响程度较大。总体来说,当容积率由1.0增大到3.5时,单位面积平均能耗减少较快,当容积率由3.5增大到8.0时,

单位面积平均能耗近乎稳定。当容积率由1.0增大到4.5时,单位面积平均碳排放量降低幅度较大,约为40%;当容积率由4.5增大到8.0时,单位面积平均碳排放量降低幅度较小,约为10%。

(4)可按照实际需求自主设定优化目标和权重,Phonix Model Center软件会依据设计目标将决策分析结果可视化,反馈符合要求的最优城市形态。例如,在满足单位面积平均能耗最小(权重1)、单位面积平均碳排放量最小(权重1)同时容积率最大(权重0.5)的条件下,结合地方容积率限制规定,容积率为3.5时的类型8具有较高的性价比。单位面积平均碳排放量成为该目标下最主要的影响因素。

2.2 复杂形态因子整合实验(实验2)

2.2.1 实验目的

本实验以一个由院落式建筑构成的步行街区为例,探讨街区格网大小、建筑物进深等建筑几何参数在多目标多变量情况下和能耗之间的复杂关系,以及根据其能源表现进行被动式能源街区形态设计的决策过程。

2.2.2 常量与变量

该实验中的常量包括以下内容:用地范围,用地范围限定为边长1.5 km的正方形,大约等同于一个以交通站点为核心、用地范围内步行10~15 min可达的大型社区;建筑类型,所有建筑均形成院落式街

区;建筑功能,均为普通办公,标准能耗负荷与对应的时间表等参数参考ASHRAE 90.1原型建筑模型,建筑热工性能参数参考《上海市公共建筑节能设计标准》(DGJ08-107-2015)^[23]。

该实验中的变量均为独立变量(其他变量的改变不会带来该变量的改变),包括:街区格网尺寸,整个用地范围被划分为若干同样大小的正方形街区格网,其边长的可变范围为250、200、150、100 m四档;建筑物边长,将街区格网尺寸设为A,以格网尺寸的12.5%为梯度并满足常见建筑退界规则,将其分为四档,即62.5%A-2.5 m、75.0%A-5.0 m、87.5%A-7.5 m、100.0%A-10.0 m;建筑物进深,可变范围为6、10、14、18 m四档;建筑物高度,可变范围为9、27、45、63、99 m五档;窗墙比,为简化模型,每栋建筑物的内外立面各个朝向均采用相同的窗墙比,窗墙比的可变范围为0.2、0.4、0.6和0.8。参数化模型常量和变量的定义如图5所示。除上述独立变量外,还有可以通过公式表达出的非独立变量,考察其对街区能耗的影响,包括建筑密度、容积率、体形系数及被动区占比。

2.2.3 实验流程

(1)基于上述常量和变量,利用Rhinceros软件和Grasshopper软件建立参数化模型。后续的模拟过程可以由计算机自动运行,不需要人工操作。

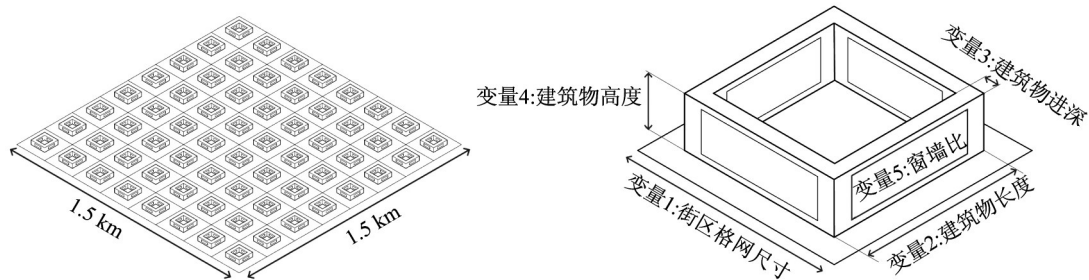


图5 参数化模型常量与变量

Fig.5 Constants and variables in parametric model

(2)利用智能软件将建模软件和能耗模拟软件(EnergyPlus)进行连接,通过遗传算法逐一改变参数化模型变量并进行能耗模拟。在每次模拟前依次改变上述5个变量中的1个,然后对新生成的模型进行能耗测试。根据变量个数,生成并模拟了1 280个不同形态的街区模型。

(3)对各个街区模型的形态变量和与之对应的能耗数据进行统计分析,归纳形态变量对能耗的影响。

(4)利用Phonix Model Center软件建立多目标设计决策模型,通过设定多目标及其权重,按照目标匹配

度对所有街区形态组合进行排序。

2.2.4 实验结论

(1)如图6所示,单位面积平均能耗与街区格网尺寸、建筑物进深、建筑物高度、建筑密度、容积率均成负相关,与体形系数成正相关(限于篇幅未列出),窗墙比在多要素叠加作用下对能耗的影响不明显。街区形态因子对单位面积平均能耗的影响呈现出很强的规律性,在叠加效应下,容积率的影响约为90%,体形系数的影响约为90%,建筑物的高度影响约为84%,建筑密度的影响约为82%,街区格网尺

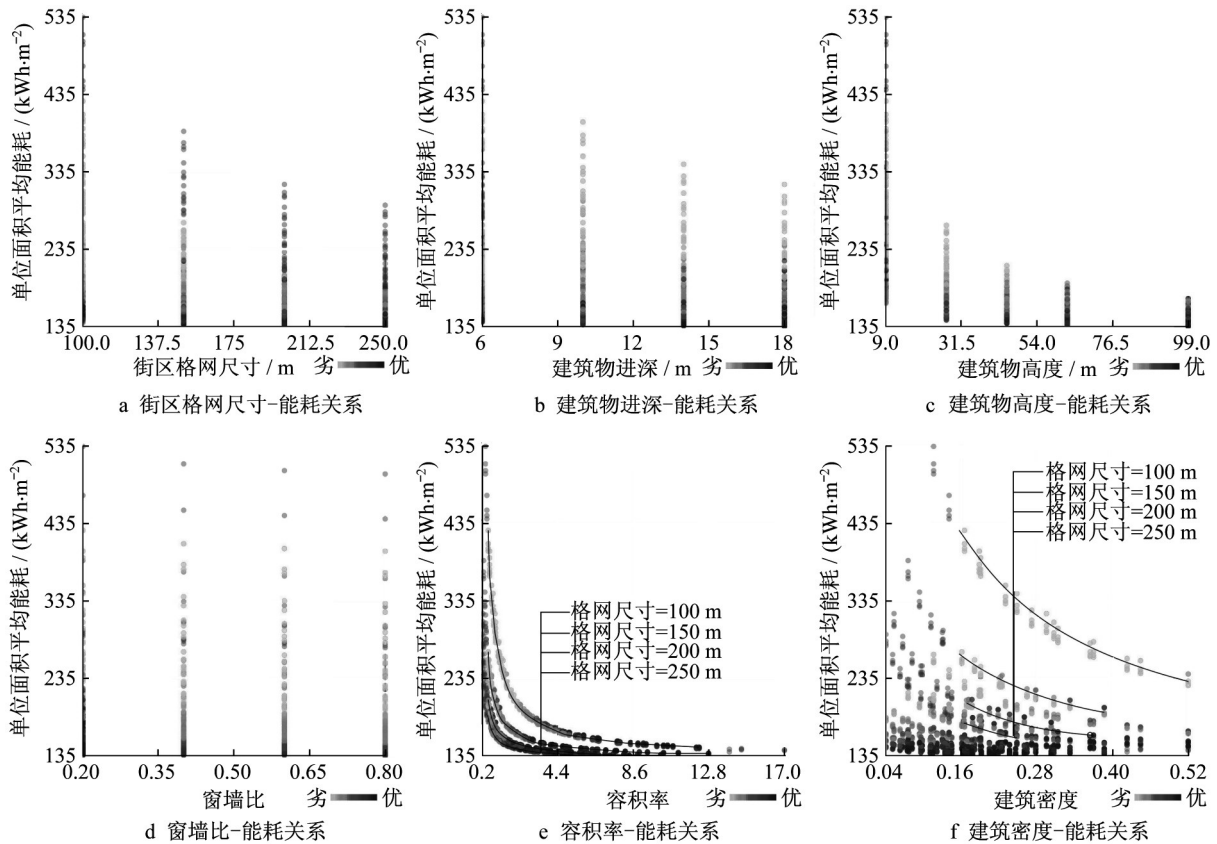


图6 不同变量与能耗相关性统计

Fig.6 Statistical graph of correlation between variables and energy consumption

寸的影响约为63%,建筑物进深的影响约为60%,窗墙比的影响约为10%。

(2)从图6e可看出,单位面积平均能耗随容积率增大而减少,呈现出先急剧后平缓的趋势。不同尺寸的街区格网,转折点也不同。对于街区边长分别为100 m、150 m、200 m和250 m的街区格网来说,转折点对应的容积率分别约为2.5、1.5、1.0和0.7。

(3)单位面积平均能耗的波动程度(变异系数)受街区形态因子的影响普遍较小。

(4)在搭建多目标设计决策模型阶段,会出现目标权重设定不精准或形态因子不满足实际需求等情况,应将此类变量组合予以剔除。此外,也可以通过Phonix Model Center软件界面调整目标权重来获取实时的可视化反馈,这一过程有利于设计者开展多方案比选。

2.3 混合使用功能与能耗实验(实验3)

2.3.1 实验目的

不同使用功能的建筑如住宅、办公建筑及商业建筑等有不同的能耗需求,并在一定的时间段上表现出不同的能耗峰值和低谷曲线。不同使用功能

建筑的组合影响街区能源系统的整体能耗表现^[24]。该实验围绕混合使用功能对于建筑能耗的影响展开,回应了以下2个问题:能否在各建筑使用功能面积需求不变的情况下通过改变街区形态以减少能源使用?何种使用功能面积组成比例能够利用不同使用功能的能源错峰效应来达到最佳的系统稳定性。

2.3.2 常量与变量

实验分为2个子项以形成对比研究。第一项考察在相同使用功能面积组成比例下,街区形态变化对街区能耗以及系统稳定性的影响,仅限于相同容积率条件下建筑密度变化带来的形态变化。第二项考察基于同一个街区模型,不同使用功能面积组成比例对街区能耗以及系统稳定性的影响。子项一中设置4个街区模型,具有相同的街区尺寸、容积率和使用功能(居住、商业和办公)面积组成比例。子项一的变量为建筑密度,4个实验模型的建筑密度分别为0.48、0.36、0.24和0.12,分别对应不同的城市形态(见图7a)。子项二基于同一个街区模型,通过改变居住、商业和办公3种使用功能面积组成比例,形成4个实验模式,分别为(住宅面积:商业建筑面积:

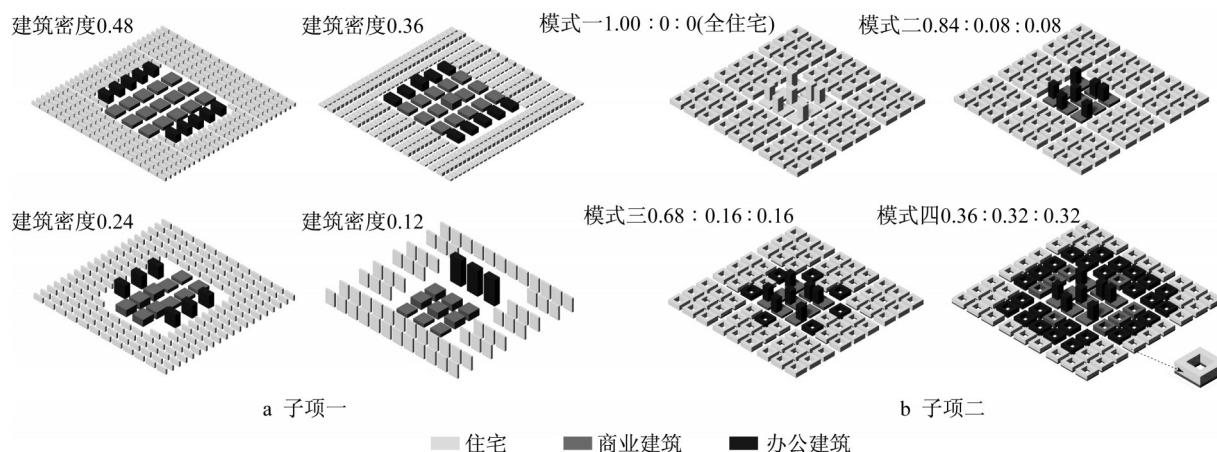


图7 混合使用功能街区模型

Fig.7 Mixed-use function district model

办公建筑面积)1.00:0:0(全住宅)、0.84:0.08:0.08、0.68:0.16:0.16、0.36:0.32:0.32。

2.3.3 实验流程

每一子项的实验流程均包括建模、能耗模拟和数据分析。2个子项在进行能耗模拟的同时,也考虑了作为可再生能源的太阳能潜力。实验参数包括气象数据、使用模式、暖通空调参数、围护材料与构造等,相关参数均参照上海当地相关建筑规范和常用工程做法图集。模型中设置了3种功能,分别是居住、办公和商业。输出的总能耗包括照明能耗、制冷能耗及采暖能耗。对于太阳能潜力模拟,将每栋建筑单体的屋面板作为测试对象,设定80%的有效率与0.15的转换相率,结合地方气象参数得到太阳能产能的输出。

提取模拟数据中全年逐时能耗,夏季、冬季典型周逐时能耗,夏季、冬季典型日逐时能耗作为分析对象。使用线性图表分析能耗在不同时段的波动规律,并将每组数据的平均值与变异系数进行比较,归纳不同街区形态下能耗变化规律。

2.3.4 实验结论

(1)子项一

对比4种建筑密度下的逐时能耗,单位面积平均能耗相差较大,但波动程度相差不大。建筑密度为0.12时的单位面积平均能耗比建筑密度为0.48时高出36%。这说明在上海地区作为街区形态因子之一的建筑密度,对街区的单位面积平均能耗产生较大影响,相对密集的街区形态单位面积平均能耗较低,但其并不是影响街区能耗稳定性的主要因素。

(2)子项二

由于住宅单位面积平均能耗比商业建筑和办公

建筑低很多,当商业建筑和办公建筑的面积比例升高时,导致街区整体能耗的上升,比例越高能耗总量越大,所以研究不同使用功能面积组成比例的变化对单位面积平均能耗的影响意义不大。变异系数体现了能耗波动的情况,4种使用功能面积组成比例下能耗的变异系数变化明显(见图8)。考察全年、冬夏典型周和典型日,均出现随办公建筑、商业建筑面积组成比例上升变异系数先降低后上升的情况,使用功能面积组成比例对街区能耗的稳定性具有较显著的影响。比较稳定性最优和最差模型在不同时间段的统计结果发现,对于全年来说,模式二比模式四低20%,冬季典型周下模式二比模式一低26%,夏季典型周下模式二比模式四低59%,冬季典型日下模式三比模式一低60%,夏季典型日下模式二比模式四低53%。总体来说,模式二即住宅面积、商业建筑面积和办公建筑面积组成比例为0.84:0.08:0.08时能耗表现最佳,高于其他模式。研究证明,通过优化街区建筑的不同使用面积组成比例可以达到能源削峰的目的,以提高设备系统的稳定性。

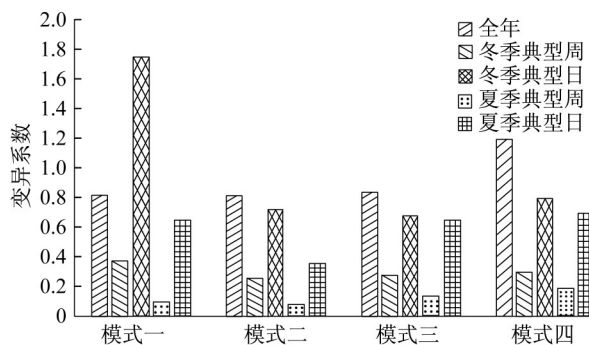


图8 4种模式变异系数比较

Fig.8 Comparison of variation coefficient between four modes

3 城市空间形态优化设计策略

被动式能源街区的城市空间形态优化设计策略集中体现在定形、定量和定性3个方面。

在定形方面,应以适应地方气候的高能效街区类型特征指导设计。街区类型是对空间布局特征和建筑特征的统合考虑,按照城市类型学观点,可以沿时间发展脉络将城市形态归类。各个类型能耗表现差异明显且受地方气候影响较大。在上海,夏季制冷能耗占全年能耗比例较大。前述实验证明,在容积率一定的条件下,顺应主导风向布局、进深适宜、院落式、建筑间距疏朗的街区类型能耗表现普遍较好(以上4个策略的重要性有先后顺序)。可以看出,街区类型的夏季通风性能是影响建筑能耗的关键。现代板式街区性能表现普遍不佳,可能与建筑进深过浅受热面较大、楼间距较小以及排布无序阻碍通风有关。设计实践中,可以结合居民的朝向意愿、使用习惯、经济效益等因素,对实验得出的高能效街区类型做进一步修正,综合权衡。

在定量方面,能耗表现是框定街区尺度和容量的考量要素之一。常见的街区尺度和容量指标包括街区格网、容积率、建筑密度以及建筑物高度等,往往由上位规划明确,以往其厘定的标准在于交通影响、城市风貌、经济收益等方面。明确城市空间形态的能耗表现将使街区尺度和容量的确定获得更广泛的依据,为决策提供量化支持。研究表明,在与上海气候条件类似的夏热冬冷地区,街区类型一定的情况下,宜采用150~250 m的街区格网,小于150 m的格网会引发能耗的增长;在预期能耗相同时,小格网宜采用较高的容积率和建筑密度,而大格网的容积率和建筑密度可适度降低(见实验2);容积率对能耗影响显著且有较明显的转折点,容积率指标制定可选择超越转折点的数值以获取最大节能效益。上述策略亦可与其他因素相协同,如150~250 m街区格网符合现行对于小街区、密路网的要求,在便于营造慢行系统的同时也有利于建筑节能。

在定性方面,打造与分布式能源微网相结合的多功能混合街区。一方面,对于多功能建筑混合的土地利用模式,由于各种功能建筑能源使用时段不同,按照一定比例叠加后能够有效削减片区的能源峰值,但目前能源系统配置仍以地块为单元,缺乏片区层级的整体统筹,能源削峰还难以实现;另一方面,近年来全球广泛认同的分布式能源微网技术为实现能源削峰提供了新的契机,以片区为单元,通过

设立智慧中枢集中控制片区内的建筑能源使用,将市政电网和片区内生产的可再生能源整合形成供给端统筹,依据能源需求进行整体调配。与分布式能源微网相结合的多功能混合街区能够提高系统效率,增加能源安全韧性,可作为城市的能源细胞。此外,细胞尺度也是考量的要素之一,范围过大能源传输损耗较高,范围过小则不利于能源的整体调配,城市用地功能组合对能源细胞范围划定影响较大。

4 进一步思考

被动式能源街区从更大的空间层级聚焦城市节能问题,通过城市形态优化适应地方气候环境,符合能量流动的空间规律,能够弥补建筑节能的不足,形成更为系统化的解决策略。结合本研究,进一步提出以下思考:

第一,无论是模拟还是实证研究都表明,优化城市形态具有较大的节能潜力,能耗可以成为辅助城市形态定形、定量和定性的影响因素之一。不同街区形态要素对建筑节能的贡献率不同,有主次层级之分,据此总结的一般规律可以有效地指导设计实践^[25]。

第二,应进一步强化综合的、多要素的关联研究。一方面,在现有研究中纳入风、光、热等室内外环境性能、室内外人体舒适度的考量,建立整合各类环境性能的研究模型,进一步揭示城市形态与各类环境性能要素之间的规律^[26];另一方面,还应整合包括能源供给结构、供给模式、消费行为等在内的“供给-消费”链的研究,这些要素对建筑能耗的影响甚至超越街区形态本身,亦可以通过街区形态进行适配或引导。通过建立关联模型,权衡性能、经济和社会效益,探索共赢设计策略。

第三,多目标设计决策模型是构建被动式能源街区的重要方法。由于街区形态的影响要素和设计目标都较多,其问题复杂度已超越了人脑思考范围,因此需借助计算机手段对内在关系进行分析和权衡。多目标设计优化模型对现实问题进行抽象,通过提出研究问题、拆解常量变量、建立三维模型、开展性能模拟、建立决策模型5个步骤,将各备选方案的优劣反馈给设计者,并结合设计者决策同步调整、再反馈,有利于提升设计的科学性和精细化水平。

作者贡献说明:

周艺南:整体思路架构,实验设计和论文撰写。
杨沛儒:理论支撑,整体思路架构和论文校核。

参考文献:

- [1] MAZRIA E. The passive solar energy book [M]. Emmaus: Rodale Press, 1979.
- [2] MARTIN L, MARCH L. Urban space and structure [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- [3] BROWN Z G, DEKAY M. Sun, wind & light: architectural design strategies[M]. Washington DC: Wiley, 2000.
- [4] SALAT S. 城市与形态:关于可持续城市化的研究[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
SALAT S. Cities and forms on sustainable urbanism [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [5] WONG H N, JUSUF K S, SYAFII I N, *et al.* Evaluation of impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption[J]. Solar Energy, 2011,85(1):57.
- [6] SALAT S, MERTOROL A. Factor 20: a multiplying method for dividing by 20 the carbon energy footprint of cities: the urban morphology factor [R]. Paris: Urban Morphologies Laboratory, 2006.
- [7] YANG P P. Energy resilient urban form: a design perspective [J]. Energy Procedia, 2015,75(8):2922.
- [8] FRENCHMAN D, ZEGRAS C. Making the clean energy city in China: year 2 report[R]. Boston: MIT, 2012.
- [9] NIKOLOPOULOU M, BAKER N, STEEMERS K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter[J]. Solar Energy, 2001,70(3):227.
- [10] YANG X, YAO L, JIN T, *et al.* Assessing the thermal behavior of different local climate zones in the Nanjing metropolis, China [J]. Building and Environment, 2018, 137(7):171.
- [11] RATTI C, RAYDAN D, STEEMERS K. Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate[J]. Energy and Buildings, 2003, 35(1): 49.
- [12] RATTI C, BAKER N, STEEMERS K. Energy consumption and urban texture [J]. Energy and Buildings, 2005, 37(7):762.
- [13] 李麟学. 热力学建筑原型环境调控的形式法则[J]. 时代建筑, 2018(3):36.
LI Linxue. Thermodynamic architectural prototype formal principles of environmental mediation[J]. Time+Architecture, 2018(3):36.
- [14] 张彤. 空间调节:中国普天信息产业上海工业园智能生态科研楼的被动式节能建筑设计[J]. 生态城市与绿色建筑, 2010(1):82.
ZHANG Tong. Space-conditioning: passive energy-saving design at the green office building of China Potevio Group Shanghai Industrial Park [J]. Eco-city and Green Building, 2010(1):82.
- [15] 张彤. 环境调控的建筑学自治与空间调节设计策略 [J]. 建筑师, 2019(6):4.
ZHANG Tong. Environment regulation and space-conditioning: the disciplinary autonomy and design methodology of sustainable architecture [J]. Architect, 2019(6): 4.
- [16] 杨俊宴, 吴浩, 金探花. 中国新区规划的空间形态与尺度肌理研究[J]. 国际城市规划, 2017, 32(2):34.
YANG Junyan, WU Hao, JIN Tanhua. Research on spatial morphology and scale texture of new district planning in China [J]. Urban Planning International, 2017, 32(2): 34.
- [17] 段进, 邵润青, 兰文龙, 等. 空间基因[J]. 城市规划, 2019, 43(2):14.
DUAN Jin, SHAO Runqing, LAN Wenlong, *et al.* Space gene[J]. City Planning Review, 2019,43(2):14.
- [18] 盛强, 杨滔, 刘宁. 空间句法与多源新数据结合的基础研究与项目应用案例[J]. 时代建筑, 2017(5):38.
SHENG Qiang, YANG Tao, LIU Ning. Fundamental research and project applications of integrating space syntax and multiple types of new data [J]. Time+Architecture, 2017(5):38.
- [19] 季惠敏, 丁沃沃. 基于量化的城市街廓空间形态分类研究[J]. 新建筑, 2019(6): 4.
JI Huimin, DING Wowo. A study on classification of urban space in the block based on quantification [J]. New Architecture, 2019(6): 4.
- [20] ZHOU Yinan, TAO Xinyu, YANG Pei-Ju Perry. A simulation-based research on passive district [J]. Energy Procedia, 2016, 104(12):257.
- [21] BASBAGILL J, FLAGER F, LEPECH M. A multi-objective feedback approach for evaluating sequential conceptual building design decisions [J]. Automation in Construction, 2014, 45(12): 136.
- [22] 周艺南. 高能效城市设计:密度、类型与能源性能[J]. 建筑科学, 2017, 33(4): 164.
ZHOU Yinan. Energy-efficient urban design: density, typology and energy performance [J]. Building Science, 2017, 33(4): 164.
- [23] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 上海市公共建筑节能设计标准: DGJ08-107-2015[S]. 上海: 同济大学出版社, 2015.
Shanghai Housing and Urban-Rural Construction Management Committee. Design standard for energy efficiency in public buildings: DGJ08-107-2015[S]. Shanghai: Tongji University Press, 2015.
- [24] ZHOU Yinan, LI Ziyue, TAO Xinyu. Urban mixed use and its impact on energy performance of micro grid system [J]. Energy Procedia, 2016, 103(12): 339.
- [25] 杨沛儒. 生态城市主义:尺度、流动与设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.
YANG Pei-Ju Perry. Ecological urbanism: scale, flow and design [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [26] BATTY M. Cities as flows, cities of flows [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2014, 38(2): 195.