

既有社区低碳更新的路径与实践：以上海7个社区为例*

余翔宇 何京洋 朱丹 王德

提要 兼具空间和社会双重属性的社区低碳更新，是我国居民生活部门和建筑部门实现“双碳”目标的重要着力点，如何以城市更新、老旧小区改造为契机完成社区低碳更新，是亟待破解的难题。目前既有社区低碳更新存在本底不清、体系缺乏和量化不足等突出问题。辨析社区要素和碳流要素的内涵和联系，据此提出社区低碳更新的策略体系和技术路径。以上海市低碳社区创建中的7个社区为例，详细阐释“现状调查—碳排摸底—数据分析—策略制定—策略实施”的完整工作流程。提出具有实际操作价值的社区低碳更新技术库，尤其对技术的重要性、难易度和减排效果进行分级评估，以期在社区低碳更新提供技术和路径引导。

关键词 双碳；既有社区；低碳更新；策略体系；技术路径；案例实践

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202204014
文章编号 1000-3363(2022)04-0111-09

作者简介

余翔宇，同济大学建筑与城市规划学院，博士研究生，darrenyu1212@163.com

何京洋，上海徐汇区斜土社区爱创益公益发展中心理事长

朱丹，同济大学建筑与城市规划学院自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室博士后研究员，通信作者，88zhudan@tongji.edu.cn

王德，同济大学建筑与城市规划学院自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室教授，博导

Path and Practice of Low-Carbon Urban Renewal: A Case Study of Seven Communities in Shanghai

YU Xiangyu, HE Jingyang, ZHU Dan, WANG De

Abstract: The low-carbon renewal of communities, which focuses on the dual aspects of spatial and social development, is an important strategy to achieve the double goals of peak carbon and carbon neutrality. However, how to tap the opportunity of urban renewal and bring about the transformation of old residential areas remain to be seen. At present, some critical problems in the low-carbon renewal still remain, such as lack of information of the base scenario, systematic deficiency, and the methodological gap in quantifying parameters. The concepts and the relationship between community elements and carbon flow elements, and puts forward a system of strategies and processes of low-carbon renewal. The seven communities in Shanghai as an example, explains in detail the complete workflow of "status survey - carbon emission inventory - data analysis - strategy formulation - strategy implementation", and proposes a practical community low-carbon technology information system that can be constantly updated. The importance, difficulty, and carbon reduction effect of each technology is graded and evaluated in order to provide guidance for low-carbon community renewal.

Keywords: peak carbon and carbon neutrality goals; existing community; low-carbon renewal; strategy system; technical path; practice

社区低碳更新既是建筑行业节能减排的重要着力点，也是居民生活部门实现“双碳”目标的抓手，还是“十四五”期间“实施城市更新行动”的主要途径。截至2019年，我国城镇居住建筑仅运行阶段碳排放（不含建材生产和拆除阶段）CO₂高达8.72亿t，占全国碳排放8.83%^[1]；与此同时，居民生活部门成为我国能源消费的主要增长点，截至2019年，居民日常生活能源消费占能源消费总量约12.65%^[2]。社区兼具空间和社会双重属性：一方面，可以通过建筑空间、设备设施的低碳改造，降低后续运行阶段碳排放，完成空间环境低碳化更新；另一方面，为居民低碳生活提供空间硬件环境支持，并在此过程中使居民培养意识、提升认知，进而在日常生活中践行低碳生活方式。因此，以城市更新为契机，开展既有社区低碳更新实践和理论探索迫在眉睫。

从国外二三十年的经验来看，低碳社区更新既是节能降碳、有机更新的有效途径，

*教育部人文社会科学研究青年基金项目“基于历时性数据的社区公共空间微更新后评价研究：以上海为例”（项目编号：21YJCZH250）、上海市软科学重点项目“上海存量建筑碳达峰时空推演及路径研究：基于全生命周期视角”（项目编号：21692195000）

也为学科知识生产、技术创新提供契机和动力。我国既有社区低碳更新试点的创建工作于2014年启动,目前尚处于探索阶段,更鲜见理论总结。在此背景下,本文以上海市7个既有社区低碳更新为例进行实践探索,梳理完整工作流程,并基于不同碳排放基线数据和特征制定相应减排策略,以期形成一套完整的方法和理论,为后续量大面广的既有社区低碳更新提供借鉴。

1 现状与问题

1.1 研究与实践现状

受可持续发展理念的影响,国外在20世纪末开始了低碳社区的实践和研究,积累了大量的数据、技术和经验。根据建成后能源统计:在城市棕地上建成的瑞典哈马碧湖城(Hammarby Sjöstad)人均碳排放为斯德哥尔摩平均值的60%^[3];英国贝丁顿社区(BedZED)通过20多年的探索已建成零碳社区,达到运行阶段零碳排^[4];弗莱堡太阳能社区(Solarsiedlung neighbourhood, Freiburg)通过光伏板生产的电能甚至超过社区自身所需,多余电力可向电网输送,成为负碳社区^[5]。广泛开展的低碳社区实践也促进了一系列技术和理论创新,这些知识和技术通过学者、非政府组织、商业公司和各级政府以多种形式向其他城市和国家输出^[6-7]。如基于哈马碧湖城的低碳实践,先后形成Sustainable City(2002), Symbiocity1(2007)和Symbiocity2(2015)3种低碳城市实践模式,在瑞典政府(瑞典国际发展合作署)、咨询公司(SWECO、SKL国际)、技术公司(如EnVac)和中国政府的合力推动之下, Symbiocity1体系通过上海世博会(Expo 2010)被引入中国,进而指导了曹妃甸生态城(唐山)、东丽湖(天津)、太湖生态城(无锡)等一系列国内实践。

国内实践起步较晚,除上述Symbiocity1模式下的生态城市建设之外,自2015年国家发改委印发《低碳社区试点建设指南》^[8],上海、北京、深圳、杭州、天津和武汉等地相继开展了低碳社区试点创建工作。如:深圳龙悦社区通过地下空间改造、可再生能源利用、雨水与

资源回收利用等技术的推广获得了全国低碳示范社区的称号^[9]。上海打浦桥街道多个社区通过生态环境治理、资源回收利用、海绵路段改造、低碳花园建设等措施实现低碳化社区更新。杭州环西社区采取雨水收集、可再生能源利用、低碳出行引导、节能家电推广等努力实现节能减排^[10]。武汉百步亭社区规模较大,社区通过自治的形式,发动居民参与到低碳社区建设中,并开展低碳交通、资源循环利用、土地资源高效利用等方式降低碳排放^[11]。可见,我国的低碳社区更新已经取得了零星的成效,但由于样本数量和质量不佳,难以形成系统性的经验总结。相关研究主要从3个方面展开:①国外研究实践引介。如:辛章平等^[12]、陈佳佳^[13]分别介绍了国外低碳社区建设模式;倪前龙等^[14]重点研究了塆边绿地、藤泽生态智慧城等优秀低碳社区低碳发展策略;陈欣等^[15]通过对阿联酋马斯达尔零碳城案例分析,总结了零能耗住区的居住生活模式和节能减排策略。②影响因素分析及规划应对策略。颜文涛等^[16]通过调查数据分析住区碳排放构成因子构建基于上述因子的低碳住区规划要素体系,提出要素导向下的减排路径。③特定场景、背景下社区减排措施。叶红等^[17]以厦门社区家庭出行碳排为研究主体,有针对性地提出社区家庭出行碳减排的措施;郭瑶^[18]探讨新型城镇化背景下城中村转型低碳社区的基本策略;李鸿儒^[19]以绍兴古城八字桥片区为例探讨了历史文化名城保护中的低碳社区理念实践的相关问题。

1.2 现存问题

本研究以低碳社区更新实践为导向,基于国内外相关实践和研究现状的梳理,总结出国内实践层面仍有以下问题有待进一步探讨。

(1)本底不清。碳流基线数据和社区本底情况摸排不足。与新建社区不同的是,既有社区低碳更新策略的制定和实施,需要基于现状而不是所谓“一般情况”^[20]。既有社区的本底情况除碳流基线数据外,还包括社区属性、空间现状、居民低碳意识和低碳行为、社区已完成低碳更新措施、居民改造意愿等等。由于调研困难、数据缺失等种种原

因,现有研究和实践往往忽略了对本底情况的完整调查。

(2)体系缺乏。减排策略缺乏体系化思路和流程。现有研究多针对特定碳流因素或特殊视角展开,获得的结论具有片段化的特征,而社区碳排放是多方面因素共同作用的结果,导致研究结论片面化或无法指导实践。此外,碳排放评估和减排策略在研究过程中存在因果关联,但绝大多数研究将两者分开讨论,导致通过碳排评估或计算发现的问题难以对应专业的改造策略。上述两个问题体现出了体系化思维在社区节能减排研究中的重要性,全面且成套的研究思路和实践流程对于研究和实践工作极其重要。

(3)量化不足。相关研究定性较多而定量不足。由于社区的碳排数据涉及居民隐私,在数据获取和量化研究层面存在一定的难度。目前社区减排的研究多为改造策略分析,并未落实到具体的减排效果上,少量定量分析的研究仅集中在某一方面或某个社区,然而国内各类既有社区类型较多,在建筑寿命、建设标准、建筑现状和居民用能习惯等方面都存在明显差异,因此需要更广泛的量化研究作为基础支撑。

2 社区低碳更新策略体系和技术路径

低碳社区推广还存在很多亟待解决的问题,尤其是既有社区更新的相关实践缺乏体系化的策略和思路。国外低碳社区更新或邻里规划(neighborhood plan)已经形成了较为成熟的模式,一般包含社区功能规划、低碳交通引导、建筑节能增效、可再生能源利用等多个方面的硬性技术支撑^[21]。但国内外社区在形式和运作机制上存在较大差异,很难直接借鉴国外的成熟经验。本文借鉴上海多年来的低碳社区更新改造经验,提出适应国内社区特征的更新策略体系和技术路径。

2.1 社区低碳更新策略体系

从碳排放角度来看,维持社区运转的要素可概括为建筑、环境和能源等3个方面,上述3个方面要素的运转会产

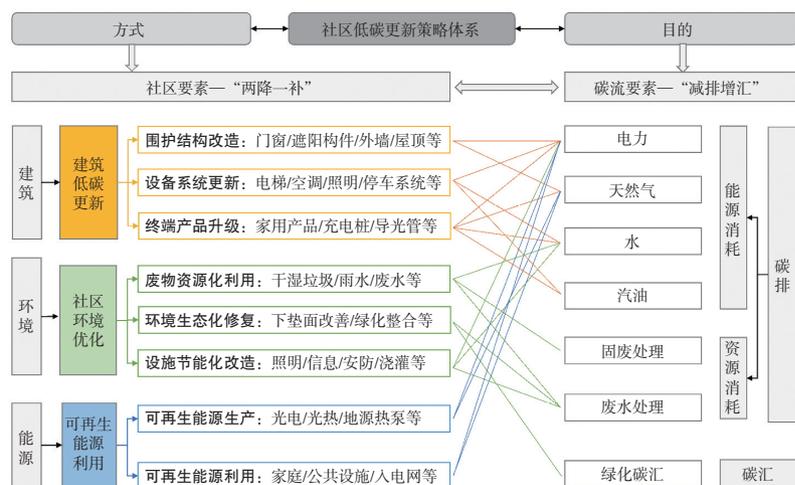


图1 社区低碳更新策略体系
Fig.1 System of low-carbon community renewal strategy

生相应的碳排和碳汇^[22]。以节能减排为目标的社区低碳更新核心思路是“减排增汇”，策略体系（图1）的构建首先需明确策略体系中的社区—碳流两方面具体要素，进而建立二者联系，最终通过作用于社区要素的“两降一补”达到减排增汇目的。

围绕社区要素的策略体系从建筑、环境和能源3个方面展开，“两降一补”即：建筑和环境层面主要通过降低资源和能源消耗来减少碳排，能源层面主要通过补充可再生能源从而减少化石能源依赖来降低碳排。社区要素主要包括：①建筑低碳更新，主要包括维护结构改造、设备系统能源使用效率优化和能耗终端产品升级；②社区环境优化，主要包括废物资源化利用、环境生态化修复和设施节能化改造；③可再生能源利用，主要包括可再生能源生产和利用。

碳流要素主要由包括碳排和碳汇两方面^[23]，其中碳排中的能源消耗包括电力、天然气、水和汽油，资源消耗包括固废处理和废水处理；社区唯一碳汇来源为绿化碳汇（社区中水体碳汇因数量过少暂不做考虑）。

社区要素—碳流要素二者之间并非一对一，而是存在一对多和多对一的联系。建筑节能改造和社区环境优化牵涉的碳排要素较为复杂，可再生能源利用主要与电力和天然气产生关联，而电力的产生和使用是关联社区要素最多的碳流要素。

2.2 社区低碳更新技术路径

不同于新建社区的低碳建设，既有住区的低碳更新因涉及碳流现状、参与主体、基础条件和相关资源等各方面因素，因此技术路径流程更长、要素更多。整个技术路径由“现状调查—碳排摸底—数据分析—策略制定—策略实施”5个步骤组成，在最终实施完成后进行碳排核查，将最终效果与目标对比，完成后评估（图2）。

3 社区低碳更新案例实践

为贯彻落实上海市“双碳”目标，引领倡导全社会绿色低碳转型，积极推进上海市“十四五”期间低碳示范创建工作，上海市生态环境局制定了《上海市低碳示范创建工作方案》（2022—2024年）^[24]，并向全市各区开放申报。本文以上海市低碳社区创建工作为实践契机，结合低碳更新案例实践对上述策略体系和技术思路进行说明。其中研究对象选取了本轮低碳更新示范申请社区中的7个拟创建社区，原因有：①属性不同，包括老旧小区、回迁房小区和商品房小区；②要素丰富，社区在建造年代、建筑类型、社区环境、居民社会人口学特征、碳排放现状等方面具有代表性和典型性；③措施多样，作为示范社区，7个案例社区的低碳更新要素和实施路径各有侧重，便于展开对比研究。



图2 社区低碳更新的技术思路
Fig.2 Technical ideas for low-carbon community renewal

3.1 现状调查

3.1.1 社区属性和空间现状

如前文所述，本文研究的7个案例社区类型丰富，能够全面代表上海现阶段既有住宅的现状（图3）。社区类型分别为：老公房、老公房+商品房、回迁房和商品房（表1）。社区1、社区2和社区3为代表的多层老公房社区以紧凑型单居室或两居室为主，停车方式为地面停车^[25]；社区5和社区6为近十年的次新回迁房社区，属于配套设施齐全的高层住宅，户型主力为大两居或三居；社区7是高端商品房社区，配套设施一应俱全，社区户数与停车位配比高达1:1.31，户均面积达到147.5 m²。

3.1.2 居民低碳意识和行为

通过现场探勘和问卷调查的方式，对7个社区的居民低碳意识和社区现有低碳措施等进行调研。问卷通过线上的方法发放，共回收有效问卷774份（图4）。

问卷结果显示：关于居民低碳意识，超过93%的居民有节约能源的习惯与意识（如随手关灯，关水龙头等），超过80%的居民会关注家用电器的耗能情况，超过94%的居民愿意在性价比合理的情况下更换节能设备。关于居民低碳改造行为，超过1/3的家庭对门窗进行了节能改造（如采用断桥门窗、Low-E玻璃、双层中空玻璃等），约有20%的家庭对外窗进行了遮阳改造，另有部分家庭对墙体进行了保温、隔热改造，以

及其他一些节能改造措施（如更换LED节能灯等）。改造效果的反馈，有不到27%的家庭感觉节能效果明显，但约有35%左右的家庭感觉没有节能效果或无法感知，说明社区居民对于节能改造带来的实用价值认可度仍然不高，需要优化技术策略、加强宣传教育。低碳出行层面，被调研家庭中有超过50%的家庭不使用私家车，约有51%的有车家庭每天都会使用私家车辆，且大部分社区新能源车占比不到10%。

3.1.3 社区已完成的低碳更新

在以往社区更新过程中，部分社区已开始尝试将低碳技术措施融入社区更新（表2）。在建筑低碳更新方面，社区5、社区6和社区7属于近10年内的次新住宅，建筑的围护结构节能效果都不错，电梯系统也采用分时调控、联动运行的节能措施，而老公房社区1对于部分公共建筑进行门窗的节能改造升级。在环境优化层面，社区1和社区3通过雨水花园改造和透水砖铺设项目实现了雨水的收集和利用，社区1和社区7还配备了湿垃圾堆肥处理机器，能够将部分湿垃圾直接在社区内处理掉，减少环境负荷（图5）。在可再生能源利用方面，社区1在停车库屋顶安装了一定规模的光伏发电装置，并在公共区域设置了风力和水力发电示范装置，还在小区内内部道路两侧安装了太阳能路灯，社区2和社区4也在每栋楼的入口处安装了太阳能灯。此外，几乎所有社区的楼道都安装了节能灯具，并通过声控和感性系统进行智能化控制。

3.2. 基线碳排

3.2.1 数据采集

7个社区公共区域的数据主要来源于物业和居委的能源台账，家庭的能源数据来源于问卷调查。数据的内容包含：用电、用气、出行、垃圾和绿化等5个方面（表3）。由于上海地区水利用过程产生的碳排较少，因此本文在数据分析阶段未做讨论。

3.2.2 碳排计算及特征分析

本文碳排放的计算参照上海市生态环境局发布的《上海市低碳示范创建工作方案》中关于碳排放统计、核算范围

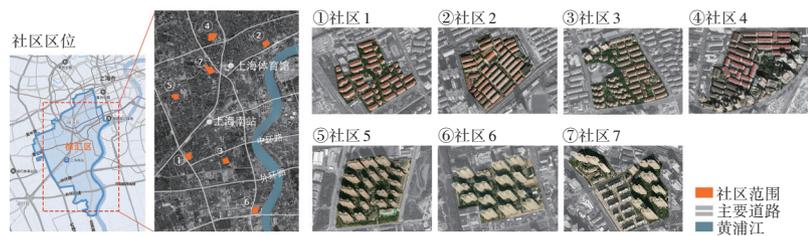


图3 案例社区区位及现状卫星图

Fig.3 Satellite map of the location and current situation of the case communities

表1 案例社区的基本信息统计

Tab.1 Statistics of the basic information of the case communities

社区名称	社区类型	户数/户	建筑类型	建造年代	户均面积/m ²
社区1	老公房	2369	多层	1993年	61.60
社区2		2504	多层	1953年（始建）	43.43
社区3		2739	多层	1988年	56.39
社区4	老公房+商品房	5076	多层+小高层+高层	1988年	65.77
社区5	回迁房	2170	高层	2013年	98.33
社区6		3000	高层	2014年	105.32
社区7	商品房	1602	多层+高层	2015年	147.50

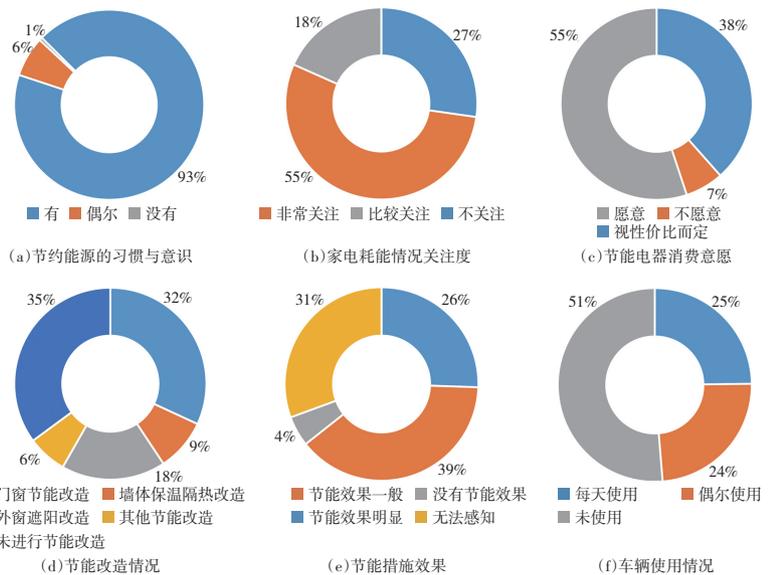


图4 居民低碳意识和行为调研数据统计图

Fig.4 Statistics of residents' low-carbon awareness and behavior

表2 社区已采用的低碳更新技术

Tab.2 Low-carbon renewable technologies that have been adopted by communities

低碳措施	建筑低碳更新				社区环境优化			可再生能源利用		
	门窗节能改造	遮阳节能改造	配备新能源充电桩	声控照明技术	空调电梯节能改造	雨水收集利用	垃圾分类回收	透水材料使用	光伏发电装置	设施使用清洁能源
社区1	●	●	●	●		●	●	●	●	●
社区2				●						●
社区3				●		●		●		
社区4			●	●						●
社区5	●		●	●	●					
社区6	●		●	●	●					
社区7	●		●	●	●		●			

的相关规定，社区的碳排量等于各类能源使用活动水平数据与排放系数的乘积再减去碳汇面积与固碳系数的乘积（表4）。本文对社区碳排放的计算以一年为周期，对于需要达到的节能减排目标也是以一年的数据作为基础进行对比。

从社区碳排放总量（表5）来看，户数最多的社区4 CO₂年总排放量高达13 812.12 t，其次是高层住宅社区，老公房社区碳排放总量最低。从碳排要素来看，电力产生的碳排最多，如社区7年电力碳排量占比超过年社区碳排总量的60%，其次是天然气、垃圾处理和汽油，绿化碳汇在社区碳排总量中的占比不到1%，减排效果甚微。从每户均值来看，社区总碳排、电力碳排和天然气碳排的户均值都存在社区7远高于其他社区的情况，如社区7的年户均CO₂排放总量高达6.23 t，约为其他社区的2—3倍；各社区生活垃圾产生的户均碳排差异较小；汽油碳排、绿化碳汇与社区资源现状相关，如社区5和社区7停车位比较充足，因此汽油户均碳排更高。

3.3 数据分析

社区中使用最多最广泛的能源是电能，家庭用电量约占社区总用电量的60%—96%。老公房社区家庭用电占比超过总量的90%，而高层住宅社区需要更多的电能维持高层和地下车库设备运行，导致公共区域用电量明显高于老公房社区，其中社区7的户均公共区域年用电量超高达2200 kWh，远超其他社区。从户均用电碳排放数据（图6）来看，社区1、社区2和社区3每户平均每年约排放CO₂ 1 t，略低于社区4、社区5和社区6排放CO₂的1.5 t，远低于社区7排放CO₂的3.7 t。

社区中天然气主要用于居民烹饪、洗澡和采暖等。老公房社区多为小户型住宅，户均天然气用量和碳排最少（图7）。社区4、社区5和社区6数值相当，户均年天然气用量超过300 m³，约产生CO₂ 0.6 t。社区7的部分住宅安装了天然气采暖设备，因此户均天然气用量约为600 m³，约为其他社区的2倍。

汽油产生的碳排主要受燃油汽车保有量影响（图7），老公房社区基本没有地下车库，且停车位有限，其中建筑密



图5 社区已采用的低碳更新技术的现状照片

Fig.5 Current photos of low-carbon renewable technologies that have been adopted by communities

表3 社区各类资源、能源2020年数据统计

Tab.3 Annual statistics of various resources and energy in communities

资源类别		社区1	社区2	社区3	社区4	社区5	社区6	社区7
用电	年家庭用电量/万 kWh	311.25	383.88	376.83	862.11	368.25	532.32	500.49
	年公共用电量/万 kWh	27.60	14.40	34.80	70.20	102.00	54.00	345.17
用气	年天然气用量/万 m ³	62.52	66.48	69.72	152.52	64.80	90.84	93.12
出行	车辆出行次数/万次	19.11	7.69	28.16	26.61	45.60	24.97	46.74
垃圾	年垃圾总量/t	2810.23	3034.35	2639.30	6169.62	2376.15	3701.10	1800.97
绿化	绿化面积/hm ²	3.30	0.64	3.00	2.60	2.91	2.94	3.92

表4 排放系数相关参数汇总

Tab.4 Summary of parameters related to emission factor

序号	消耗品种	活动数据单位	排放类型	排放/固碳系数	备注
1	电力	万 kWh	间接排放	7.035	近3年华东电网排放系数
2	天然气	万 m ³	直接排放	21.84	—
3	汽油	t	直接排放	3.105	汽油密度按0.73 kg/L
4	生活垃圾	t	直接排放	0.549	取全市平均值
5	碳汇	hm ²	碳吸收	14.50	取全市平均值

注：汽油碳排根据2019年全市小客车出行平均公里数7.6 km，测算小汽车行驶的公里数，百公里汽油消耗量取全市平均值12.5 L。

资料来源：参考文献[24]

表5 各社区2020年CO₂排放量统计

Tab.5 Statistics of annual carbon emissions in each community

单位：t

碳排要素		社区1	社区2	社区3	社区4	社区5	社区6	社区7
电力	总值	2383.81	2801.90	2895.82	6558.80	3308.21	4124.76	5949.22
	户均	1.01	1.12	1.06	1.29	1.52	1.37	3.71
天然气	总值	1365.44	1451.92	1522.68	3331.04	1415.23	1983.95	2033.74
	户均	0.58	0.58	0.56	0.66	0.65	0.66	1.27
汽油	总值	411.39	165.52	606.30	572.97	981.87	537.78	1006.54
	户均	0.17	0.07	0.22	0.11	0.45	0.18	0.63
生活垃圾	总值	1542.81	1665.86	1448.98	3387.12	1304.51	2031.90	988.73
	户均	0.65	0.67	0.53	0.67	0.60	0.68	0.62
绿化碳汇	总值	47.85	9.28	43.50	37.70	42.20	42.63	56.84
	户均	0.020	0.004	0.016	0.007	0.019	0.014	0.035
总排放量	总值	5655.60	6075.92	6430.28	13812.23	6967.62	8635.76	9921.39
	户均	2.39	2.43	2.36	2.73	3.23	2.89	6.23

度较大的社区2和社区4车位与户数比仅为0.15,远低于高层住宅社区,且高层住宅社区新能源车和燃油车的保有比例远高于老公房社区,因此其产生的汽油碳排也更高。从户均年汽油碳排放数据(图8)来看:社区2和社区4建筑密度大导致停车位较少,因此户均碳排较低;社区5和社区6虽同为高层回迁房,但社区5周边公共交通不便,社区6位于地铁口,因此汽油碳排差异明显,社区6户均汽油碳排不到0.2 tCO₂,社区7作为高端商品房社区,户均汽油碳排高达0.6 tCO₂。

社区垃圾处理量受社区类型的影响较小,通过垃圾处理量与碳排系数的计算,可以得出户均每年产生垃圾处理CO₂排放约0.55—0.65 t(图9)。社区1、社区2、社区4和社区6每户干、湿垃圾日产生量差值较小,差值在0.15 kg以内。社区3和社区7的干湿垃圾量差值较大,达到0.25 kg以上,但社区3干垃圾量较少,仅为1.2 kg,社区7湿垃圾量较少,仅为1.4 kg。

绿化碳汇主要受社区绿化面积的影响。社区2和社区4由于建筑密度大,户均年绿化碳汇不到CO₂ 0.01 t,社区7人均绿化面积最高,但户均年绿化碳汇仅为CO₂ 0.035 t。可见,社区绿化的固碳能力有限,与资源利用产生的CO₂相比相形见绌。

3.4 策略制定

3.4.1 梳理重点、提炼特色

从数据分析可知,不同类型社区的碳排情况存在较大差异,老公房社区碳排主要集中在家庭用电、用气和垃圾处理上,高层住宅社区除家庭碳排外,其公共设备系统用能和燃油车产生的碳排也不容小觑。因此,社区在制定减排策略时应因地制宜,主次分明。

社区1有一定的低碳基础,具备发展成为近零碳示范社区的潜力,接下来一方面对基础设施进行低碳化的提升改造,另一方面通过加装屋顶光伏来显著减少社区碳排放。社区2老年人口多,且相关基础设施并不完善,因此提出适老化低碳公共空间营造的主题,既可以实现公共区域节能减排,又通过对老年人行为引导(增加户外活动)降低家庭

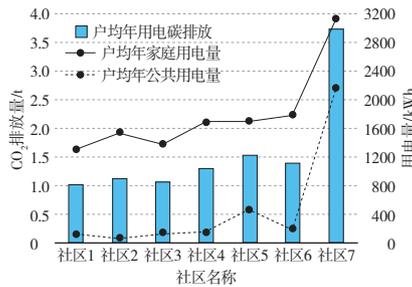


图6 社区年用电量与户均年用电碳排放量统计图

Fig.6 Statistics of annual electricity consumption and carbon emissions per household in communities



图7 社区年用气量与户均年天然气碳排放量统计图

Fig.7 Statistics of total annual natural gas consumption and carbon emissions per household in the communities

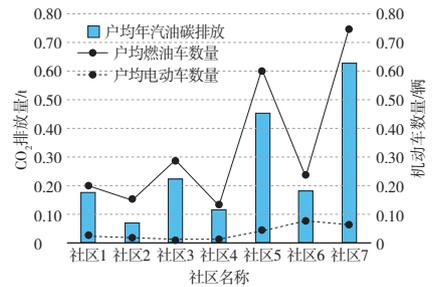


图8 社区车辆保有量与户均年汽油碳排放量统计图

Fig.8 Statistics of vehicle ownership and annual gasoline carbon emissions per household in the communities

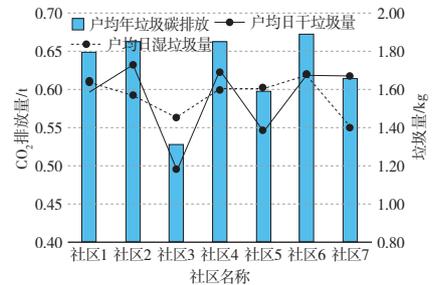


图9 社区日户均垃圾量与户均年垃圾处理碳排放量统计图

Fig.9 Statistics of the average amount of garbage disposal per household per day and the annual carbon emissions generated by garbage disposal per household in the communities

表6 被调研社区的基本信息统计表

Tab.6 Basic statistics of the surveyed communities

社区名称	社区特点	特色主题
社区1	低碳措施完善,具备近零碳发展的潜力	近零示范社区
社区2	老年人口多,社区基础设施不完善	低碳适老社区
社区3	社区绿化条件好	绿化固碳社区
社区4	建筑密度较大,楼间距小,地面可用空间较小	屋顶能源社区
社区5	公共碳排集中在车库、电梯和电车充电等交通要素上	低碳交通社区
社区6	具有部分智慧建设基础,安装有智能监控与显示设施	低碳智慧社区
社区7	用能结构差异大,户均碳排远高于其他社区	低碳商品社区

能耗。社区3由于社区绿化条件好,减排特色围绕绿化固碳开展,整合社区未充分利用的场地来扩大绿化面积,增植固碳效果好的植物和合理设置复合生态景观增加绿化碳汇。社区4是典型低层高密社区,建筑密度较大且地面可用空间较小,减排策略主要考虑屋顶能源系统的利用,拟通过光伏、光热等系统减少社区能源消耗。社区5公共碳排集中在地下车库、电梯系统和电动自行车充电等交通要素上,减排特色主要围绕社区低碳交通开展,通过优化地下车库的采光条件,降低和补充电梯系统能耗,优化社区对外交通资源,合理配置电动

自行车的使用与充电,打造内部低碳交通的典范。社区6作为全国智能防灾社区,有一定的智慧社区建设基础,据此从智能能源系统、智能环境监测、智能安防、智能停车等层面降低社区能耗。社区7皆为高端商品房,在用能结构和用能量上与其他社区存在差异,减排策略可以针对高耗能要素,通过改进系统设施和加强节能宣传等逐步降低社区碳排放。见表6。

3.4.2 提出策略,细化目标

根据上述特色和主题分析,各社区进一步提出低碳更新策略要点,并通过碳流估算3年更新完成后(2024年)的

减排目标（表7）。从更新要点来看，可再生能源利用和废物资源化利用是现阶段各社区最具减排潜力的策略要点，其他更新要点则根据社区特色和减排目标适度采用。社区1的目标是减排40%，达到上海市近零示范社区要求^[24]，因此低碳更新策略需要多点开花；社区2、社区3和社区4以老公房为主，近期减排目标设定为10%，相应的低碳更新策略主要围绕能源利用和环境优化展开；社区5、社区6和社区7作为高层社区，公共区域存在一定的减排潜力，因此减排目标设定为20%，相应的低碳更新措施主要关注可再生能源利用和设备系统及终端的改造。

3.4.3 落实资金

低碳社区改造需要大量的资金投入，在策略制定阶段对资金来源和落实情况的考虑极为重要。目前，社区低碳化改造属于早期示范和探索阶段，具有较强的政策导向，改造资金主要来自于政府低碳更新专项拨款，并结合政府牵头的各类其他资金（如旧改、绿化等）同步开展。随着政策力度的加大和市场规模效应的叠加，低碳社区改造的资金来源模式将呈现多元化的趋势，除政府专项资金外，还可考虑社区自筹资金、企业投资资金或社会资助资金等^[26]。

3.5 策略实施

通过对不同社区低碳更新策略的分析和整理，本文根据低碳更新中的社区要素总结归纳出指导策略实施的技术库，供不同类型的社区选定适宜自身改造的策略（表8）。不同更新策略在开展过程中存在重要程度、难易程度和减排强度的差异。其中：重要程度与政策支持力度和社区开展力度等因素相关，如新能源的开发利用、围护结构的节能改造和垃圾分类回收等受政策加持且在社区内已自发开展的项目为重点策略；难易程度与居民接受度、资金来源、维护难度和施工难度等因素相关，如屋顶安装光伏发电装置既需要征得居民同意，也需要政府或外界资金支持，还需要持续养护，推行难度很大；减碳强度与能源类型和可实施规模等因素有关，如与可再生能源利用及节约用电相关的措施减排效果较强，而与节约水资源、增加

表7 各社区低碳更新要点及减排目标

Tab.7 Low-carbon update points and carbon reduction targets of each community

低碳措施	建筑低碳更新			社区环境优化			可再生能源利用		2024年减排目标/%
	围护结构改造	设备系统提升	终端产品升级	废物资源化利用	环境生态化修复	设施节能化改造	可再生能源产生	可再生能源利用	
社区1	●	●	●	●			●	●	40
社区2				●	●	●	●	●	10
社区3				●	●	●	●	●	10
社区4		●		●	●	●	●	●	10
社区5		●	●	●		●	●	●	20
社区6		●	●	●		●	●	●	20
社区7		●	●	●		●	●	●	20

表8 社区低碳更新技术库

Tab.8 Community low-carbon renewal technology information system

		低碳技术策略	重要程度	难易程度	减排强度
建筑低碳更新	围护结构改造	门窗节能改造，如采用隔热断桥和真空玻璃	●	●	●
		遮阳节能改造，如采用外遮阳或可调节遮阳等	○	●	○
		外墙进行保温隔热、气密性改造，如增加外墙内保温等	○	●	●
	设备系统提升	屋顶进行保温隔热、防水和气密性改造，如采用双层屋面或平改坡等	○	●	○
		公共电梯系统进行节能改造，如多梯联动、分时分区控制等	○	○	○
		公共区域空调系统采用可以独立控制的终端，空调能效选择节能效率高的产品	○	○	○
		公共空间或楼道内的照明系统全部使用声控或感应技术，灯具采用节能灯	●	○	●
	终端产品升级	大空间照明系统改装为点式节能灯，节能灯进行分区化管理，节能灯亮度可以分档调节	○	○	●
		车库采用智能管理系统，实时收集停车信息，引导车辆快速入位，减少滞留排放	○	●	○
		地下空间安装太阳能导光管，白天利用自然光，夜间利用太阳光源照明	○	○	●
社区环境优化	废物资源化利用	结合停车空间配备新能源汽车、助动车充电桩	○	○	●
		家庭推广应用节能产品，如节能灯、节能家电、节水器具等	●	○	●
		水电气的表头进行分户计量	●	○	○
	环境生态化修复	家庭倡导采暖和烹饪工具进行“气改电”	○	○	○
		建立雨水收集、过滤和利用系统，用作景观水、冲洗路面等	○	○	○
		生活垃圾分类回收，干垃圾最大限度进行再利用，湿垃圾处理为肥料用于植物种植	●	●	●
		园林垃圾分类处理，部分用作手工艺制作，其余用作肥料	○	○	○
	设施节能化改造	整合社区闲置的场地空间，包括场地、屋顶和立面绿化，尽可能拓展生态绿化面积增加碳汇	○	○	○
		通过立体化、复合化的生态景观设计增加碳汇	○	○	○
		适当增加常绿乔木或固碳量高的本地树种	○	○	○
可再生能源产生	停车场铺设植草砖，并采用绿荫遮阳	○	○	○	
	鼓励居民在家中阳台或限定公共区域进行家庭种植、家庭菜园或楼道美化	○	○	○	
	公共休闲设施布置攀爬植物，形成绿化顶棚或立面	○	○	○	
	规划社区绿道或公共活动区，铺设透水混凝土、透水砖	○	○	○	
可再生能源利用	照明、监控和电子宣传等设施采用清洁能源驱动	○	○	○	
	路灯系统进行分区化管理，节能灯亮度可以分档调节	●	○	○	
	社区灌溉系统由喷灌改为滴灌	○	○	○	
	社区内冲洗设施均采用节水设备或制定节水措施	○	○	○	
其他策略	居民楼屋顶安装光伏发电装置	●	●	●	
	活动中心、居委、门卫亭、垃圾站、自行车棚等公共建筑屋顶安装光伏发电装置	●	○	●	
	居民屋顶和阳台外侧安装太阳能光-热系统，为居民提供生活热水	○	●	●	
	其他可再生能源利用，如风力发电、水力发电、地源热泵、水源热泵等	○	●	●	
其他策略	用于居民家庭用电	○	●	●	
	用于居民充电，比如新能源汽车、助动车充电	○	○	●	
	用于公共设施用能，如楼宇照明、道路照明、电梯系统运作以及其他基础设施用电	●	○	●	
		汇入电网，获取收入	●	○	●

注：○代表程度弱 ○代表程度中 ●代表程度强

绿化面积相关的措施减排效果较弱。本文通过实地调研和数据研究，对低碳社区更新技术库中各策略的重要程度、难易程度和减排强度进行了评价，以期对实践改造设计提供参考。

4 结语

低碳社区作为中观尺度的研究对象，相比宏观尺度的低碳城市，其实施

性、操作性更强^[27]；相比于微观尺度的低碳建筑，其包含更多空间系统、社会文化和经济政策要素，且单体建筑必须在低碳社区的背景下^[1]，才能真正的实现低碳^[28]，因此社区/街区尺度被认为是进行低碳城市更新探索最适宜的尺度^[29]。

本研究针对低碳社区特征和现存问题，提出一个较为全面的低碳社区更新“社区—碳流”要素和策略框架，和一个以实践为导向的技术路径。基于案例研究，验证了上述策略和路径的科学性、合理性和可操作性，由案例归纳总结的社区低碳更新技术库，也可进一步为相关研究和实践提供参考。此外，笔者也将对7个案例社区的低碳更新进行全程跟踪研究，以期发现更有价值的研究问题和结论。

如前文所言，兼具空间、技术、社会多重属性的社区低碳更新，为学科知识生产提供了丰富的素材和动力^[30]。如：如何更好地汲取国外低碳社区建设的经验和教训，完成不同文化、政治背景的经验迁移；如何设定边界，科学量化更新过程中碳流变化；如何更好地进行居民低碳行为的引导，鼓励居民参与等等议题，都有待进一步思考和研究^[31-33]。

感谢上海徐汇区斜土社区爱创益公益发展中心在案例调研中提供的支持。

参考文献 (References)

[1] 中国建筑节能协会. 中国建筑能耗研究报告[R]. 2020. (CABEE, China's building energy consumption research report[R]. 2020.)

[2] 国家统计局. 中国统计年鉴2020[R]. 2021. (National Bureau of Statistics. China statistical yearbook[R]. 2021.)

[3] WILLIAMS J. Lost in translation: translating low carbon experiments into new spatial contexts viewed through the mobile-transitions lens[J]. Journal of Cleaner Production. 2017, 169: 191-203.

[4] CHANCE T. Towards sustainable residential communities; the Beddington Zero Energy Development(BedZED)and beyond[J]. Environment and Urbanization. 2009, 21(2): 527-544.

[5] FREYTAG T, GÖSSLING S, MÖSSNER S. Living the green city: Freiburg's Solarsiedlung between narratives and practices of sustainable urban development

[M]. Local Environment, 2014.

[6] BENITES H S, OSMOND P, ANGELA R. Developing low-carbon communities with LEED-ND and climate tools and policies in São Paulo, Brazil[M]. Journal of Urban Planning and Development, 2020.

[7] 李云燕, 赵万民, 朱猛, 等. 我国新时期旧城更新困境、思路与基本框架思考[J]. 城市发展研究, 2020, 27(1): 57-66. (LI Yunyan, ZHAO Wanmin, ZHU Meng, et al. Thoughts on the dilemma, ideas and basic framework of old city renewal in China in the new era[J]. Urban Development Research, 2020, 27(1): 57-66.)

[8] 国家发改委. 低碳社区试点建设指南[S]. 2015. (National Development and Reform Commission. Guidelines for the pilot construction of low-carbon communities[S]. 2015.)

[9] 王彩云, 徐慧贞, 万迎峰. 我国低碳社区建设经验及对武汉的启示[J]. 工业安全与环保, 2018, 44(2): 97-99. (WANG Caiyun, XU Huizhen, WAN Yingfeng. Low-carbon community construction experience and its enlightenment to Wuhan in China [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2018, 44(2): 97-99.)

[10] 冯佳静, 宋辉. 我国城市低碳社区构建困境及改进对策[J]. 改革与开放, 2016(7): 65-67. (FENG Jiajing, SONG Hui. The predicament and improvement countermeasures of urban low-carbon community construction in China[J]. Reform and Opening, 2016(7): 65-67.)

[11] 熊贝妮. 低碳社区的规划与实践: 以武汉百步亭社区建设为例[C]//转型与重构: 2011中国城市规划年会论文集. 中国城市规划学会, 东南大学出版社, 2011. (XIONG Beini. Planning and practice of Low-carbon community: taking Wuhan Baibuting community construction as an example[C]//Transformation and reconstruction: proceedings of the 2011 China Urban Planning Annual Conference. China Urban Planning Society, Southeast University Press, 2011.)

[12] 辛章平, 张银太. 低碳社区及其实践[J]. 城市问题, 2008(10): 91-95. (XIN Zhangping, ZHANG Yintai. Low-carbon community and its practice[J]. Urban Issues, 2008(10): 91-95.)

[13] 陈佳佳. 国内外低碳社区建设研究进展[C]//2017城市发展与规划论文集. 中国城市规划学会, 东南大学出版社, 2017. (CHEN Jiajia. Research progress of low-carbon community construction at home and abroad[C]//2017 Urban development and planning proceedings. China Urban Planning Society, Southeast Uni-

versity Press, 2017.)

[14] 倪前龙, 杨舒涵, 齐康, 等. 国内外低碳社区现状、发展趋势研究及我国低碳社区发展建议[J]. 上海节能, 2015(11): 586-591. (NI Qianlong, YANG Shuhan, QI Kang, et al. Research on the current situation and development trend of low-carbon communities at home and abroad and suggestions for the development of low-carbon communities in China[J]. Shanghai Energy Conservation, 2015(11): 586-591.)

[15] 陈欣, 宋德莹. 基于零能耗理念的城市社区低碳生活模式研究[C]//中国城市科学研究会, 苏州市人民政府, 中美绿色基金, 中国城市科学研究会绿色建筑与节能专业委员会, 中国城市科学研究会生态城市研究专业委员会. 2020国际绿色建筑与建筑节能大会论文集. 2020. (CHEN Xin, SONG Dexuan. Research on the low-carbon life mode of urban communities based on the concept of zero energy consumption[C]//China Urban Science Research Association, Suzhou Municipal People's Government, China-US Green Fund, China Urban Science Research Association, Green Building and Energy Conservation Professional Committee, Eco-city Research Professional Committee of China Urban Science Research Association. Proceedings of the 2020 international conference on green building and building energy efficiency, 2020.)

[16] 颜文涛, 俞诗言, 邹锦. 基于碳排放构成因子的城市住区低碳规划要素体系构建: 以重庆主城区为例[J]. 现代城市研究, 2017(6): 113-120. (YAN Wentao, YU Shiyan, ZOU Jin. Construction of a low-carbon planning element system for urban residential areas based on carbon emission components: taking the main city of Chongqing as an example[J]. Modern Urban Research, 2017(6): 113-120.)

[17] 叶红, 潘玲阳, 陈峰, 等. 城市家庭能耗直接碳排放影响因素: 以厦门岛区为例[J]. 生态学报, 2010, 30(14): 3802-3811. (YE Hong, PAN Lingyang, CHEN Feng, et al. Influencing factors of direct carbon emissions from urban household energy consumption: taking Xiamen island as an example[J]. Journal of Ecology, 2010, 30(14): 3802-3811.)

[18] 郭瑶. “城中村”转型型低碳社区的理论构架与实施策略研究[D]. 北京交通大学, 2014. (GUO Yao. Research on theoretical framework and implementation strategy of “urban village” transformation to low-carbon community[D]. Beijing Jiaotong University, 2014.)

[19] 李鸿儒. 历史文化名城保护中的低碳社区

- 理念实践[D]. 北京交通大学, 2019. (LI Hongru. The practice of low-carbon community concept in the protection of historical and cultural cities[D]. Beijing Jiaotong University, 2019.)
- [20] 王书评, 郭菲. 城市老旧小区更新中多主体协同机制的构建[J]. 城市规划学刊, 2021(3): 50-57. (WANG Shuping, GUO Fei. Construction of multi-agent collaborative mechanism in the renewal of old urban communities[J]. Urban Planning Forum, 2021(3): 50-57.)
- [21] EKHI A, IMANOL Z, 王天奇. 西班牙低碳能源社区的可扩展性: 一种源自共享更新模式的经验方法[J]. 城市规划学刊, 2022(1): 123-124. (EKHI A, IMANOL Z, WANG Tianqi. Scalability of low-carbon energy communities in Spain: an empirical approach derived from a shared update model[J]. Urban Planning Forum, 2022(1): 123-124.)
- [22] 郑德高, 吴浩, 林辰辉, 等. 基于碳核算的城市减碳单元构建与规划技术集成研究[J]. 城市规划学刊, 2021(4): 43-50. (ZHENG Degao, WU Hao, LIN Chenhui, et al. Research on the integration of urban carbon reduction unit construction and planning technology based on carbon accounting[J]. Urban Planning Forum, 2021(4): 43-50.)
- [23] 李晓江, 何炯, 罗彦, 等. 粤港澳大湾区碳排放空间特征与碳中和策略[J]. 城市规划学刊, 2022(1): 27-34. (LI Xiaojiang, HE Ge, LUO Yan, et al. Spatial characteristics of carbon emissions and carbon neutralization strategies in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Urban Planning Forum, 2022(1): 27-34.)
- [24] 上海市生态环境局. 上海市低碳示范创建工作[R]. 2021. (Shanghai Municipal Bureau of Ecology and Environment. Work plan for the construction of low-carbon demonstration in Shanghai[R]. 2021.)
- [25] 张晨杰, 伍江. 基于空间演变研究的上海老城厢更新问题剖析[J]. 城市规划学刊, 2021(2): 72-78. (ZHANG Chenjie, WU Jiang. Analysis of Shanghai old city renewal problem based on spatial evolution research[J]. Urban Planning Forum, 2021(2): 72-78.)
- [26] 周弦. 15分钟社区生活圈视角的单元规划公共服务设施布局评估: 以上海市黄浦区为例[J]. 城市规划学刊, 2020(1): 57-64. (ZHOU Xian. 15-minute community life circle perspective in unit planning public service facilities layout evaluation: taking Huangpu district, Shanghai as an example[J]. Urban Planning Forum, 2020(1): 57-64.)
- [27] PACHO M A. Retrofitting residential districts to nearly zero-energy: a conceptual energy master planning framework[D]. University of Mons, 2021.
- [28] 杨辰, 辛蕾, 兰蓓, 等. 超大城市治理的“社区”路径: 《成都市城乡社区发展规划(2018—2035年)》的编制与思考[J]. 城市规划学刊, 2020(1): 71-78. (YANG Chen, XIN Lei, LAN Bei, et al. The “community” path of mega-city governance: compilation and thinking of “Chengdu urban and rural community development Plan (2018-2035)”[J]. Urban Planning Forum, 2020(1): 71-78.)
- [29] 陈宇琳, 肖林, 陈孟萍, 等. 社区参与式规划的实现途径初探: 以北京“新清河实验”为例[J]. 城市规划学刊, 2020(1): 65-70. (CHEN Yulin, XIAO Lin, CHEN Mengping, et al. A preliminary exploration of the realization way of community participatory planning: taking Beijing’s “Xinqinghe experiment” as an example[J]. Urban Planning Forum, 2020(1): 65-70.)
- [30] 王富海, 刘泉, 黄丁芳. 工作回归引领智慧社区的功能增强与空间发展[J]. 城市规划学刊, 2022(2): 103-110. (WANG Fuhai, LIU Quan, HUANG Dingfang. The return to work leads the functional enhancement and spatial development of smart communities[J]. Urban Planning Forum, 2022(2): 103-110.)
- [31] 黄钊, 骆骏杭, 宋春攀, 等. 基于社区生活圈理念的社区家园体系规划: 以重庆市两江新区翠云片区为例[J]. 城市规划学刊, 2021(2): 102-109. (HUANG Ling, LUO Junhang, SONG Chunpan, et al. Community home system planning based on the concept of community life circle: taking Cuiyun area of Liangjiang new district in Chongqing as an example[J]. Urban Planning Forum, 2021(2): 102-109.)
- [32] MAGUIRE B, KLINKENBERG B. Visualization of place attachment[J]. Applied Geography, 2018(7): 77-88.
- [33] 华霞虹, 庄慎. 以设计促进公共日常生活空间的更新: 上海城市微更新实践综述[J]. 建筑学报, 2022(3): 1-11. (HUA Xiaohong, ZHUANG Shen. Using design to promote the renewal of public daily life space: a review of the practice of urban micro-renewal in Shanghai[J]. Architecture Journal, 2022(3): 1-11.)

修回: 2022-07