

城市更新规划的碳核算方法 ——以上海市杨浦区为例

Carbon Emission Assessment Method of Urban Renewal Planning and Case Study of Shanghai Yangpu District

刘超 | LIU Chao 陈树熙 | CHAN Shuhei 庄宝怡 | CHONG Pou

中图分类号: TU-98

文献标志码: A

文章编号: 1001-6740 (2024) 06-0024-10

DOI: 10.12285/jzs.20240531001

摘要: 随着我国城市化模式转变为内涵式发展, 城市更新规划面临多维挑战。然而, 目前对于城市更新规划带来的碳排放量变化研究较少, 缺乏系统性的、便于规划从业者使用的核算方法。因此本文试图研究构建面向城市更新规划的碳核算模型, 对比杨浦区 2022 年现状与 2035 年多情景下的碳核算情况, 揭示规划实施前后碳排放的变化。结果表明, 杨浦区某街道在 2022 年的用地现状碳排放量为 15.34 万 t, 在 2035 年的用地更新规划后达到 19.35 万 t, 但在可持续发展的情景下碳排放量能够降低至 9.88 万 t。这些成果有助于科学预测规划方案对碳排放的影响, 进而促进绿色低碳的城市发展。

关键词: 城市更新、规划碳排放、用地碳排放、碳达峰碳中和

Abstract: As China's urbanization shifts toward to intensive development, urban renewal planning faces multidimensional challenges. Currently, there is limited research comparing carbon emissions before and after urban renewal planning, and lack of systematic carbon emission inventory methods for practitioners in planning to utilize. This study focuses on quantifying carbon emissions in urban renewal planning to establish an assessment system. It involves defining the carbon emission accounting scope, integrating calculation methods and models, and conducting case studies for applicability. Empirical research in Yangpu District, Shanghai, assessed carbon emissions and predicted reductions through unit planning land renewal. The study also evaluated the "micro-renewal" strategy, exploring the impact of planning implementation on carbon emission reduction and providing data support for carbon neutrality goals in urban renewal. The findings offer theoretical and practical guidance for further planning scheme optimization.

Keywords: Urban Renewal, Urban Planning Carbon emission, Carbon emission Inventory, Carbon peaking and Carbon neutrality

作者:

刘超 (通讯作者), 同济大学建筑与城市规划学院城乡规划系助理教授, 上海同济城市规划设计研究院有限公司研究员, 自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室智慧社区研究中心主任;
陈树熙, 同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生;
庄宝怡, 同济大学建筑与城市规划学院硕士研究生。

国家自然科学基金青年项目 (52108060); 上海市科技支撑双碳专项 (22DZ1207800); 上海市启明星人才项目 (22QB1404900)。

录用日期: 2024-11

一、引言

近年来, 随着全球气候变化问题的加剧^[1]。我国已提出了在 2030 年实现“碳达峰”和在 2060 年实现“碳中和”的目标 (以下简称为“双碳”目标)。城市作为碳排放主要源头, 其减排成效对实现“双碳”目标至关重要^[2]。在此背景下, 如何制定城市更新规划, 以推动城市低碳转型, 成为学界关注的问题^[3-5]。城市更新作为城市

发展的重要组成部分, 不仅需要物质层面的改造和功能提升, 还强调在保护历史文化、尊重自然生态、维护社会公平和公共利益的基础上, 推动绿色低碳的可持续发展。国务院发布的《2030 年前碳达峰行动方案的通知》明确指出了城市更新是实现“双碳”的关键途径^[6]。城市更新策略正逐步从过去的资源浪费型和高碳排型的大规模拆建模式, 转向以“留改拆”为主导、侧重于保留和提升原有建筑的可持续更新路径^[6, 7]。这一转

变与我国碳达峰与碳中和的发展战略相契合。然而，当前对于城市更新规划产生的碳排放影响的研究尚不够充分，且缺乏科学有效的评估方法与工具来对其进行量化分析，难以支撑面向“双碳”目标的城市更新规划实践。因此，本研究深入探讨了城市更新规划的碳核算方法，构建碳核算模型，并以上海市杨浦区为案例进行实证研究，旨在科学评估城市更新规划的碳排放情况，为低碳城市建设提供科学依据。

二、研究综述

1. 城市碳排放研究进展

国际上对碳排放的核算主要依据《IPCC》^①、《GPC》^②及C40^③倡议的标准，核算方法包括排放因子法^[1]、KAYA公式^[8-13]、质量平衡法^[14]、实测法^[15]、大气反演法^[16, 17]等。为了区分在城市内进行的活动中可能产生温室气体排放与排放发生在城市边界外的，《GPC》根据排放的边界将排放分为三类：位于城市边界内的污染源排放的温室气体（范围一）；由于在城市边界内使用电网供电、供热、蒸汽和/或制冷而产生的温室气体排放（范围二）；因城市边界内的活动而在城市边界外发生的所有其他温室气体排放（范围三）。

我国在《IPCC》的基础上，提出了《省级指南》^④和《市级指南》^⑤等核算清单，核算部门分为能源、工业、农业、废弃物和土地利用变化五个部门^[24-26]。然而该部门划分方法并不适合在城市更新中使用。《GPC》在《IPCC》的基础上，进一步提出适合城市及中小尺度的温室气体核算方法，核算部门分为能源、交通、废弃物、工业和土地利用变化五个部门。同时，当前城市更新碳核算主要针对建筑全生命周期碳排放、交通碳排放核算和社区公园碳汇成效等内容。因此，研究将基于《IPCC》的碳排放因子法，并结合城市更新规划的实际需求，从用地建筑、用地交通、用地废弃物以及用地碳汇等维度出发，对城市中的CO₂排放进行更为精准的核算。

当前，已有众多学者针对城市碳排放开展研究，相关研究主要集中在碳排放的核算方法、影响因素以及减排策略等方面。核算方法方面，主要分为四种方向：（1）对城市用地碳排放的量化方法^[18, 19]；（2）温室气体排放数据与用地类型及清单信息相结合评估^[2, 9, 20-22]；（3）借助复杂模型和算法进行碳排放预测与规划^[23-26]；（4）碳排放核算方法与城市规划策略的融合^[27-29]，为城市用地更新规划的碳排放评估提供了研究基础。

2. 城市更新规划碳排放研究进展

城市更新规划具有多元性，包括产权结构多元、项目对象多元和更新路径多元等方面，其重点在于划定更新的范围，并在此基础上明确规划内容与目标。因此，根据规划范围的不同，可以将城市更新规划分为“区域更新”和“零星更新”两大类，这一分类体系源自《上海市城市更新操作规程（试行）》与《上海市城市更新指引》^[30, 31]。

“区域更新”由政府或指定统筹主体负责，需整合市场资源、协调各利益相关方，编制并实施更新方案，包括改善现有建筑和环境，转变或修改用地功能、属性等内容^[30]。过程中需充分考虑政府、企业、居民等多方利益，以制定利益平衡方案，确保更新顺利进行和各方利益得到均衡。实施过程中，需明确更新范围和目标，划定更新片区并制定控制性详细规划，确保项目符合整体规划要求^[32]。“区域更新”针对不同的规划目标，有不同的规划路径。通过更新空间结构和产业布局，实现中心城区核心功能提升；通过用地类型更新，实现可持续发展；通过旧村改造项目，实现高质量提升^[33, 34]。针对区域更新的碳核算研究，主要涉及规划策略、规划技术和规划评估等方面。在规划策略方面，多篇论文聚焦于“双碳”目标下的城市更新新理念和路径，强调内涵集约、绿色低碳发展的重要性，并提出了低碳实施策略、生态低碳价值观、绿色低

碳模式的内涵与实施路径等，同时从能源系统、交通系统、城市规划设计建设管理和运维更新全过程等角度探讨了城市更新的技术路径和碳减排建议^[35-40]。规划技术方面，研究提出了具体的技术体系和实施方案，如“零碳社区”技术体系、低碳空间规划技术挑战与导则制定、绿色低碳技术选择流程等^[38, 41]。而在规划评估方面，研究通过分析碳减排效果、测算不同城市更新情景下的碳核算与固碳量、进行DEA分析等，关注城市更新规划实施后的效果评估，以确保实现预期的低碳、绿色发展目标^[42-44]。这些研究共同推动了城市更新规划策略向低碳、绿色、可持续的方向发展。

“零星更新”程序简便，为自有物业权利人自发申请，主要针对小块、不具备单独建设条件的土地，该类型具有灵活性和针对性强的特点，无需平衡多方利益，只需编制项目更新方案即可^[45]。此外，为了鼓励“零星更新”项目，物业权利人也可与市场主体合作实施^[46]。在项目提供公共服务设施、市政基础设施、公共空间等公共要素的前提下，可以将零星且不具备单独建设条件的土地与周边用地整合实施，采取转变用地性质、按比例增加经营性物业建筑量、提高建筑高度等措施，从而在有限资源和空间内实现最大效益^[31, 47, 48]。因此，“零星更新”虽规模不大，但更能显著改善居民的生活环境和城市面貌^[49]。针对“零星更新”的碳核算研究，更注重将全局化、技术化的更新理念与精准化的局部改造相结合，包括更新策略和技术创新两个方面。在更新策略方面，研究重点探讨了微更新理念、社区改造及低碳设计等，包括借鉴“城市针灸”理念、老旧小区有机更新、基于居民步行行为的“微更新”流程、城市更新低碳设计策略以及不同类型社区的绿色改造具体办法^[50-52]。同时，在技术创新上，研究聚焦于提高社区碳排放效率和绿色低碳社区改造，如揭示社区CO₂排放和碳排放效率现状、构建老旧小区绿色改造评价指标体系及可持续性评价模型，并通过实际案例

展示了城市微更新在空间改造和生活方式重塑方面的作用^[53-55]。

然而在进行这两种更新规划的碳核算时，都存在数据的高依赖性、核算的精确度问题以及适用性的限制问题。“区域更新”碳核算包括基于单位用地面积或建筑面积进行碳核算，以及通过获得现状城市能耗进行核算等方面。“零星更新”碳核算则需要通过获得大量数据进行推算，或者获得实际数据进行核算。各种方法都有其优缺点，复杂模型和算法的方法能提供高精度预测，但数据依赖性强且计算复杂，简便的估算模型对数据需求较低，但设计的核算内容也更少。本研究以已有的核算模型为基础，旨在构建一个数据易获取、计算过程易理解、核算精度高、涉及城市多部门的、面向城市更新的碳核算模型，以便更好地指导城市更新规划的低碳发展。

三、研究问题

通过对城市用地更新规划和城市微更新规划设计的碳排放研究进展进行回顾，可以发现当前研究已取得了一定的成果。然而，现有碳核算工具在城市更新实践中暴露出诸多局限性。包括依赖历史数据、未能充分考虑动态变化因素、核算过程烦琐复杂，以及缺乏灵活性和普适性等问题，这些都制约了其在城市更新中的有效应用。为了满足城市更新规划领域对碳排放量化评估的需求，本研究构建一个基于 IPCC 核算方法的、适用于城市更新规划的碳核算模型。该模型通过整合现有碳核算方法与多源数据，建立统一、标准的碳核算方法，并充分考虑地区差异和动态变化因素，以量化评估城市更新规划产生的碳排与碳汇，从而推动城市绿色低碳发展。

四、研究方法

研究构建了一套针对城市更新规划的碳核算体系，具体的研究方法如图 1 所示。

首先，明确城市更新区域的碳核算范围，并精确识别排放源及其核算要素，以确保所得数据的精确性和可比性。其次，构建一个能够综合考虑不同类型城市更新规划（包括用地更新、设施微更新等）的碳核算模型。再次，整合多源数据和现有的碳核算方法，以实现城市更新规划中碳核算的精准量化和预测。同时，引入更新动态因子，以确保捕捉到城市更新规划中的动态变化和复杂影响因素。最后，通过案例实证研究，以验证评估方法与模型的实际应用效果和准确性。此外，研究还考虑了未来城市技术发展对碳排放的影响，通过设定更新动态因子，模拟了三种未来城市环境变化（基准情景、可持续发展情景与碳中和情景）对碳排放的潜在影响，为制定长期减排策略提供了科学依据。这一碳核算评估体系的建立，将有助于推动绿色

低碳可持续的城市发展，为城市更新规划提供更为科学、精准的碳排放评估工具。

1. 核算对象、范围与用地分类

为满足城市更新规划需求，研究结合实际情况界定了具体的核算范围与清单要素（图 2），并与国际标准保持一致，以确保数据的透明性和国际可比性，避免重复计算，保证结果准确。研究的核算对象为城市更新区域内的 CO₂ 排放，和部分甲烷（CH₄）排放，转换为 CO₂ 当量进行计算。

研究范围包括范围一中的交通直接排放和建筑中居民生活产生的直接排放，范围二中的电力排放，以及范围三中的废弃物处置排放。核算内容包括用地建筑、用地交通、用地废弃物和用地碳汇四个部门。由于在城市更新规划中，通常不涉及

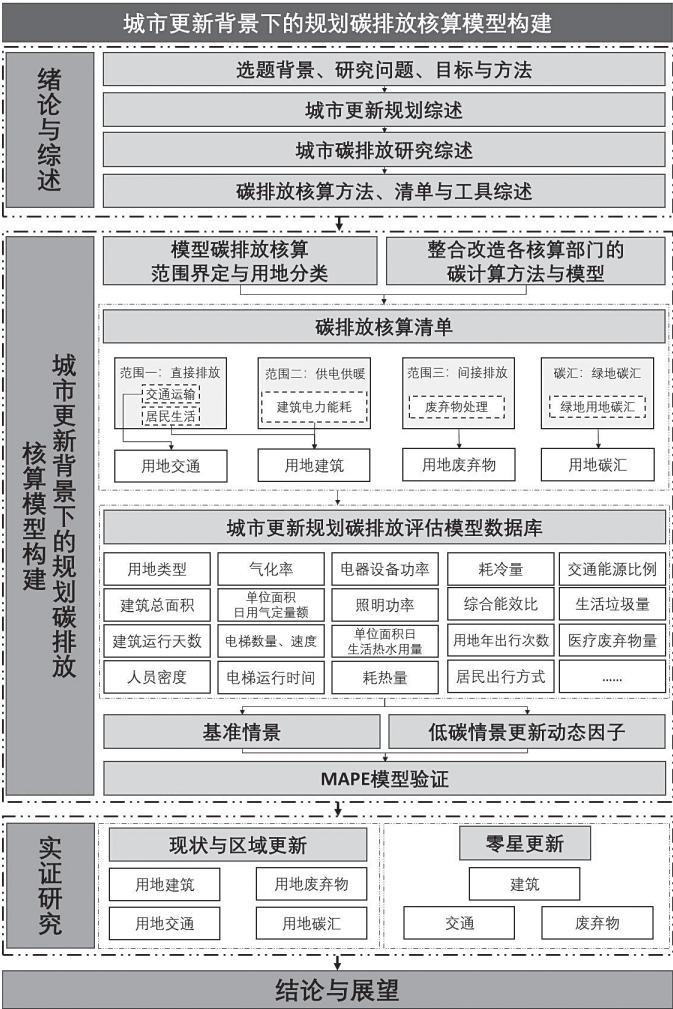


图 1：研究框架图

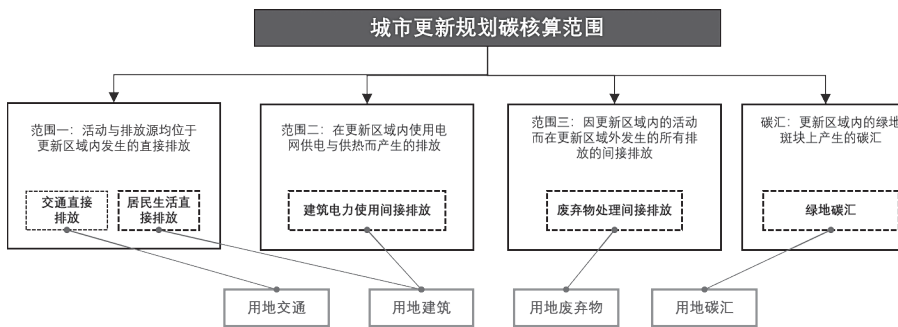


图2：碳排放核算边界

能源产业、工业产业和农业更新，且相关数据获取难度较大，因此根据《IPCC》中的部门划分，能源部门的碳排放研究中，对电力碳排放进行核算，工业部门和土地利用变化部门不参与核算。

2. 城市更新规划用地碳排放清单

研究将城市更新规划分为“用地更新”规划和“零星更新”规划。“用地更新”规划指对更新规划范围内的用地性质进行更新，因此更新范围内碳排和碳汇量都有变化。“零星更新”规划指在更新范围内仅对设施进行更新，用地性质没有发生改变的更新规划方案，但由于设施更新导致更新范围内产生了碳排放。在城市更新规划中，土地利用性质的转变不再是唯一的焦点。当前，随着规划实践的深入，越来越多的项目倾向于对特定建筑或设施开展精细化的“零星更新”。“零星更新”作为城市更新规划的一个重要组成部分，可以被视为其下一个层次的实施策略。在城市更新的大框架下，许多更新方案进一步深化和细化了规划用地的具体实施，通过小规模整治、腾挪、功能置换和置换等方式实现更新改造。

在对“用地更新”规划和“零星更新”规划进行碳排放核算时，都对更新规划中的用地建筑、用地交通、用地废弃物和用地碳汇四大类别分别进行核算。其中，针对“用地更新”规划，可以计算更新规划的碳排放量差，以便评估更新规划的低碳成效，由于“零星更新”规划的碳排放量差较小，因此不进行更新前后差值计算。

具体计算公式如下：

i. “用地更新”规划碳排放核算公式：

$$LCE_n = LCE_{B,n} + LCE_{T,n} + LCE_{W,n} - E_{G,n} \quad (1)$$

式中， LCE_n 为城市用地总碳排放量， $n=1$ 或 2（当 $n=1$ 时，指更新规划方案情况，当 $n=2$ 时，指城市现状情况）； LCE_B 为城市用地建筑总碳排放量， LCE_T 为城市用地交通总碳排放量， LCE_W 为城市用地废弃物总碳排放量， $E_{G,n}$ 为城市用地碳汇量。

$$\Delta LCE = LCE_1 - LCE_2 \quad (2)$$

式中， ΔLCE 为城市用地总碳排放量差， LCE_1 为城市更新用地总碳排放量， LCE_2 为城市现状用地的总碳排放量。

ii. “零星更新”规划碳排放核算公式：

$$CE = CE_B + CE_T + CE_W - E_G \quad (3)$$

式中： CE 为城市“零星更新”规划碳排放量； CE_B 为城市建筑设施的碳排放量， CE_T 为城市交通的碳排放量， CE_W 为城市废弃物碳排放量。

城市“用地更新”规划的碳排放核算需要涉及用地面积和容积率两个关键指标。用地面积直接反映了建设活动所占用的土地空间大小，而容积率则衡量了土地的开发强度，即单位用地面积上可建设的建筑面积。通过这两个指标的结合，用地更新的碳排放核算能够全面评估土地开发过程中对碳排放的贡献，为土地规划和开发提供科学的决策依据。城市“零星更新”规划设计是作为城市更新的一种轻量化方式，其碳排放核算则主要依据建筑面积进行。两者的主要区别在于核算的基准指标不同，“零星更新”更侧重于建筑面积，而“区域更新”则同时考虑用地面积和容积率。因此，“用地更新”

规划碳排放核算通过结合规划图纸中的基础信息（用地面积和容积率）开展，而对于“零星更新”，则基于设施的建筑面积进行碳排放核算，以更准确地反映小规模、渐进式更新过程中的碳排放情况，运用碳排放因子法计算两种模式下的碳排放，并评估其减排效能。

研究的核算内容分为用地建筑、用地交通、用地废弃物和用地碳汇四个部门。用地建筑聚焦于更新区域内能耗与运行阶段的和分析，包括暖通空调系统、生活热水系统、照明系统、电器设备系统及电梯系统在运行与维护阶段所消耗的化石能源与电力产生的碳排放。用地交通采用基于地块建筑面进行核算的交通能耗碳排放计算方法，通过用地性质、用地面积和容积率，结合不同交通方式（包括公交、小汽车、电瓶车 and 步行）的出行率及平均出行距离，来估算交通碳排放。用地废弃物以用地面积为基础，以每人每天产生的生活垃圾和每平方米医院建筑面积的医疗垃圾为计算指标进行估算。不同用地性质上的人口数量及对应的废弃物垃圾量，采用固体废弃物填埋处理、医疗废弃物焚烧处理的方式核算碳排放量。用地碳汇通过绿地率、绿地用地面积等基础数据，针对更新区域内用地性质为绿地的地块进行核算，但由于数据限制，不包括地块内的零碎绿地。具体核算公式可见表 1。

3. 城市更新规划未来碳排放情景设定

城市发展的多元性和动态性对城市更新规划中的碳排放核算提出了更高要求。为了确保碳排放核算模型能够精确捕捉城市未来发展变化与影响因素，研究采用情景分析法，针对城市更新规划模型中的四大核算部门，深入探讨了不同城市发展情景下的碳排放趋势，核算 2035 年更新区域的碳排放总量。情景类型分为基准情景、可持续发展情景和碳中和情景。各情景的动态调控因子可见表 2。

1) 基准情景

在基准情景的构建中，模型以实际

城市更新规划碳核算部门清单表 1

核算部门	核算范围	核算内容	核算公式
用地建筑	范围一	建筑燃气 $BLCE_1$	$BLCE_1 = (Q_{res} + Q_{pub}) \times e_{energy}$ $Q_{res} = \frac{LPA_{res} \times FAR_{res}}{\mu_{res}} \times \frac{kq_{res}}{H_g} \quad Q_{pub} = \frac{LPA_{pub} \times FAR_{pub} \times q_{pub} \times D_{pub}}{H_g}$ 式中，Q_{res} 指住宅用地的年用气量 ($kg \cdot CO_2$)；Q_{pub} 指非住宅用地的年用气量 ($kg \cdot CO_2$)；e_{energy} 为化石能源碳排放因子；LPA_{res} 为住宅用地面积 (m^2)；FAR_{res} 指住宅用地容积率；μ_{res} 为居住用地建筑人员密度 ($m^2/人$)；k 为计算范围内城市居民使用燃气的人占总城市人数量的百分比 (%)；q_{res} 为居住用地建筑年人均用气量定额 [$MJ/(人 \cdot a)$]；H_g 为燃气低热值 (MJ/m^3)；LPA_{pub} 为非住宅用地面积 (m^2)；FAR_{pub} 指非住宅用地容积率；q_{pub} 为公共用地建筑日单位面积用气量定额 [$MJ/(m^2 \cdot d)$]；D_{pub} 为公共用地建筑年运行天数 (d)
	范围二	暖通空调系统 $BLCE_2$	$BLCE_2 = (\frac{Q_h}{COP_h} + \frac{Q_c}{COP_c}) \times e_{ec}$ $Q_h = LPA \times FAR \times D_h \times d_h \quad Q_c = LPA \times FAR \times D_c \times d_c$ 式中，Q_h 为用地建筑的年累计耗热量 (kWh/a)；COP_h 为用地建筑的供暖系统综合能效比；Q_c 为用地建筑的年累计耗冷量 (kWh/a)；COP_c 为用地建筑的供冷系统综合能效比；e_{ec} 为计算地区的电网碳排放因子；LPA 为更新区域用地面积 (m^2)；FAR 指更新区域住宅用地容积率；D_h 为采暖天数 (d)；d_h 建筑的耗热量指标 [$W/(m^2 \cdot a)$]；D_c 为空调制冷天数 (d)；d_c 建筑的耗冷量指标 [$W/(m^2 \cdot a)$]
		生活热水系统 $BLCE_3$	$BLCE_3 = Q_r \times e_{ec}$ $Q_{r,i} = \sum_{i=1}^n (D_i Q_{p,i}) \quad Q_{p,i} = LPA_i \times FAR_i \times \frac{C_i q_{r,i} (t_h - t_c) \rho_r}{3600} / (1 - K_{L,i})$ 式中，Q_r 为更新区域内生活热水年能耗量 (kWh/a)；e_{ec} 为计算地区的电网碳排放因子；D_i 为 i 类用地的实际运行天数 (d)；$Q_{p,i}$ 为 i 类用地的生活热水日平均能耗量 (kWh/d)；LPA_i 为 i 类用地面积 (m^2)；FAR_i 指 i 类用地容积率；C_i 为水的比热容 [$kJ/(kg \cdot ^\circ C)$]；$q_{r,i}$ 为 i 类用地的生活热水单位面积日用量 [$L/(m^2 \cdot d)$]；t_h 为热水温度 ($^\circ C$)；t_c 为冷水温度 ($^\circ C$)；ρ_r 为热水密度 (kg/L)；$K_{L,i}$ 为建筑 i 所使用生活热水系统的蓄能水箱以及管路热损失率 (%)；i 为不同用地类型 (住宅、公共服务与教育、行政办公、商业服务、商业办公、文化体育、医疗卫生、工业、物流仓储、交通场站、公园绿地、市政用地等)
		照明系统 $BLCE_4$	$BLCE_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{24} LPA_i \times FAR_i \times (P_{igt,i,j} t_{igt,i,j} Z D_i) / 1000 \times e_{ec}$ 式中，LPA_i 为 i 类用地面积 (m^2)；FAR_i 指 i 类用地容积率；$P_{igt,i,j}$ 为 i 类用地上的建筑 j 的照明功率密度 (W/m^2)；$t_{igt,i,j}$ 为 i 类用地上的建筑 j 的照明系统逐时使用率 (%)；$t_{igt,i}$ 为 i 类用地的照明逐时使用率 (%)；Z 为照明每天平均使用时长 (h)；D_i 为 i 类用地的实际运行天数 (d)；e_{ec} 为计算地区的电网碳排放因子；i 为不同用地类型 (住宅、公共服务与教育、行政办公、商业服务、商业办公、文化体育、医疗卫生、工业、物流仓储、交通场站、公园绿地、市政用地等)；j 为一天中的第 j 个小时
		电器设备系统 $BLCE_5$	$BLCE_5 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{24} LPA_i \times FAR_i \times (P_{equip,i,j} t_{equip,i,j} Z D_i) / 1000 \times e_{ec}$ 式中，LPA_i 为 i 类用地面积 (m^2)；FAR_i 指 i 类用地容积率；$P_{equip,i,j}$ 为用地 i 上的建筑 j 的电器设备功率密度 (W/m^2)；$t_{equip,i,j}$ 为用地 i 上的建筑 j 的电器设备逐时使用率 (%)；Z 为电器设备每天平均使用时长 (h)；D_i 为 i 类用地的实际运行天数 (d)；e_{ec} 为计算地区的电网碳排放因子；i 为不同用地类型 (住宅、公共服务与教育、行政办公、商业服务、商业办公、文化体育、医疗卫生、工业、物流仓储、交通场站、公园绿地、市政用地等)；j 为一天中的第 j 个小时
		电梯系统 $BLCE_6$	$BLCE_6 = \sum_{f=1}^n (3.6 P_{e,f} t_{a,f} v_f W_f + E_{s,f} t_{s,f}) \times D_f \times u_f / 1000 \times e_{ec}$ 式中，$P_{e,f}$ 为 f 类建筑的电梯运行能耗 [$mWh/(kg \cdot m)$]；$t_{a,f}$ 为 f 类建筑的电梯日平均运行小时数 (h)；v_f 为的电梯速度 (m/s)；W_f 为 f 类建筑的电梯额定载重量 (kg)；$E_{s,f}$ 为 f 类建筑的电梯待机时能耗 (W)；$t_{s,f}$ 为 f 类建筑的电梯日平均待机小时数 (h)；D_f 为 f 类建筑的际运行天数；u_f 为 f 类建筑的电梯数量；e_{ec} 为计算地区的电网碳排放因子；f 为不同层高的建筑 (1~9 层数、10~28 层、19~34 层、35~45 层、45~60 层、大于 60 层)
用地交通	范围一	出行方式 LCE_f	$LCE_{f,n} = \sum_{i=1}^n LT_i \times R_{i,m} \times R_{m,o} \times e_o$ $LT_{i,j} = LPA_i \times FAR_i \times p_i \times D_i$ 式中，LT_i 为 i 类用地的交通出行总次数；$R_{i,m}$ 为 i 类用地上 m 类交通出行方式比例 (%)；$R_{m,o}$ 为 m 类交通出行方式使用 o 类能源使用比例 (%)；e_o 为 o 类能源的碳排放系数；LPA_i 为更新区域内 i 类用地总面积 (m^2)；FAR_i 为 i 类用地的容积率；p_i 为 i 类用地的全天出行率 (人次/m^2)；D_i 为 i 类用地的实际运行天数。i 为不同用地类型 (住宅、公共服务与教育、行政办公、商业服务、商业办公、文化体育、医疗卫生、工业、物流仓储、交通场站、公园绿地、市政用地等)；m 为不同交通类型 (公交、出租车、小汽车、摩托车、非机动车)；o 为不同能源种类 (电动、柴油、汽油)
用地废弃物	范围三	填埋处理 LFE_{CO_2}	$LFE_{CO_2} = LF_{CO_2} + LF_{CH_4}$ $LF_{CO_2} = (LW_f \times FSW_f \times DOC \times DOC_f \times F_1 \times \frac{44}{12})$ $LF_{CH_4} = (LW_f \times FSW_f \times MCF \times DOC \times DOC_f \times F_2 \times \frac{16}{12} - R) (1 - OX) \times GWP_{CH_4}$ 式中，LF_{CO_2} 为垃圾填埋处理产生的二氧化碳的碳排放量 (kg)；LF_{CH_4} 为垃圾填埋处理中产生的甲烷转为二氧化碳的碳排放量 (kg)；LW_f 为更新区域内垃圾填埋量；FSW_f 为填埋垃圾占生活垃圾总量比例；DOC 为垃圾中可降解有机碳比例；DOC_f 为垃圾中被降解 DOC 比例；F_1 为填埋气体中二氧化碳的比例；$\frac{44}{12}$ 为二氧化碳和碳的原子量比；MCF 为甲烷修正系数；F_2 为填埋气体中甲烷的比例；$\frac{16}{12}$ 为甲烷和碳的原子量比；R 为甲烷收集量；OX 为甲烷氧化系数；GWP_{CH_4} 为甲烷的全球升温潜能值因子
		焚烧处理 IEE_{CO_2}	$IEE_{CO_2} = LW_b \times CCW \times FCF \times EF \times \frac{44}{12}$ 式中，LW_b 为更新区域内垃圾焚烧量 (t)；CCW 为固体废弃物的碳含量；FCF 为矿物质在碳总量中的比例；EF 为燃烧效率
用地碳汇	/	绿地碳汇 E_G	$E_G = LPA_G \times e_G \times \emptyset$ 式中，LPA_G 为更新区域内绿地用地面积 (m^2)；e_G 为年固碳率 [$kgCO_2 eq/(m^2 \cdot a)$]；$\emptyset$ 为不同气候区绿地系统固碳量修正因子

注：式中， $BLCE_1$ 为用地建筑燃气量碳排放； $BLCE_2$ 为用地建筑暖通空调系统碳排放； $BLCE_3$ 为用地建筑生活热水系统碳排放； $BLCE_4$ 为用地建筑照明系统碳排放； $BLCE_5$ 为用地建筑电器设备系统碳排放； $BLCE_6$ 为用地建筑电梯系统碳排放。 LCE_f 为用地交通年碳排放量 (t)； LFE_{CO_2} 为垃圾填埋碳排放； IEE_{CO_2} 为垃圾焚烧碳排放量； E_G 为用地碳汇总量。

城市更新规划未来碳排放情景设定 表 2

情景	情景影响因子	更新动态因子
基准情景	/	$S_0=0\%$
可持续发展情景 [22, 60, 61]	能源结构转型; 可再生能源使用; 新能源车占比提高; 居民交通需求改变; 交通出行方式改变; 城市空间结构改变;	$S_{B,1}=[1-6\% (n-2022)]$ $S_{T,1}=[1+0.54\% (n-2022) -1\% (n-2030)]$ $S_{W,1}=[1-4\% (n-2022)]$ $S_{G,1}=[1+1.4\% (n-2022)]$
碳中和情景	新建、改造、保留建筑占比提高; 超低能耗及零能耗建筑占比上升; 垃圾无害化处理占比提高等	$S_{B,2}=[1-6\% (n-2022)]$ $S_{T,2}=[1-2.5\% (n-2022)]$ $S_{W,2}=[1-4\% (n-2022)]$ $S_{G,2}=[1+1.4\% (n-2022)]$

注：式中， $S_{B,1}$ 为城市更新规划用地建筑可持续发展更新动态因子； $S_{T,1}$ 为城市更新规划用地交通可持续发展情景更新动态因子； $S_{W,1}$ 为城市更新规划用地废弃物可持续发展情景更新动态因子； $S_{G,1}$ 为城市更新规划用地碳汇可持续发展情景更新动态因子。 $S_{B,2}$ 为城市更新规划用地建筑碳中和情景更新动态因子； $S_{T,2}$ 为城市更新规划用地交通碳中和情景更新动态因子； $S_{W,2}$ 为城市更新规划用地废弃物碳中和情景更新动态因子； $S_{G,2}$ 为城市更新规划用地碳汇碳中和情景更新动态因子； n 为城市更新规划年份。

2035 年更新规划为基础进行碳核算。该情景下的核算方法与 2022 年现状碳核算方法一致。通过对比这两个时间点的数据，可以了解更新规划方案产生的碳排放量。

2) 可持续发展情景

研究认为，在可持续发展情景下，随着时间发展导致的技术发展、政策变更和能源结构变化，会对城市更新规划碳排放有长期影响。因此模型以基准情境中的碳排放量为基础，根据相关研究和政策指引，为各部门制定动态调控因子，以表征可持续发展的背景下的技术进步等要素带来的减碳成效。

建筑部门的减碳要素包括技术创新、能源结构优化、建筑过程优化以及政策和管理措施。根据《2020 年全球建筑建造业现状报告》，预计 2020—2030 年间，建筑业碳排放将每年减少约 6%，以实现到 2050 年的净零运营排放目标^[56]。

交通部门的碳排放受居民需求、城市结构、能源与方式结构、拥堵程度等因素影响。综合当前相关研究，未来一段时间内由于社会经济活动的增加和交通需求的增长，碳排放量仍将保持上升趋势，预计日排放量将会持续增长，至 2030 年达到碳达峰，期间逐年碳排放增长率为 0.54%。因此此时表 2 中， $2022 \leq n \leq 2050$ 。然而，碳达峰之后，随着未来能源结构的变革与城市发展的绿色转型，预期交通碳排放将持续下降，逐年碳排放减少率为 1%^[57]。因此此时表 2 中 $2022 \leq n < 2030$ 、

$2030 \leq n \leq 2060$ 。

废弃部门中，未来随着“十四五”规划的深入实施，特别是垃圾分类和资源化利用政策的推进，中国废弃物碳排放量预计将进入显著的减排阶段。从 2021 年至 2025 年，随着垃圾焚烧技术的提升和广泛应用，以及资源化利用率的逐步提高，预计年均减排百分比可达到 1%~1.5%。到 2026—2035 年，随着全国城市生活垃圾资源化利用率目标达到 60% 左右，焚烧比例的增加和填埋量的减少将进一步推动减排，预计年均减排百分比可达到 2%~3%。长远来看，到 2050 年，随着更多先进技术的应用和普及，减排百分比有望继续提高，预计可达到 3%~5%^[58]。

碳汇方面，有研究显示我国森林面积和蓄积持续增长，森林植被总碳储量为 91.86 亿 t，年均增长 1.18 亿 t，年均增长率为 1.40%^[59]。

3) 碳中和情景

在碳中和情景下，以我国目标在 2060 年实现碳中和为背景，以 2022 年为背景年，认为更新区域需要在 2038 年逐年减少碳排量，直至 2060 年实现更新区域内的碳中和。因此模型核算中，以基准情境中的碳排放量为基础，年碳排放动态因子为 -2.5%，而绿地碳汇参考碳中和情景中的动态因子。通过这样情景设置，可以进一步探究更新区域的减碳需求。

通过制定和分析不同情景下的更新动态因子，模型能够更加全面地反映城市更新

规划中可能遇到的各种动态变化和复杂影响因素，从而确保评估结果的准确性和现实意义。这有助于规划师根据模型预测的结果，制定更加科学合理的城市更新策略，以实现节能减排和可持续发展的目标。由于城市发展是一个动态复杂的过程，碳排放影响因素众多且相互交织，因此本研究仅提供了一个初步的估算方法，未来还需根据实际情况和数据变化不断完善和调整。

4. 城市更新规划碳核算模型验证

为了确保验证的有效性，本研究选取中国碳核算数据库（CEADs）发布的《1997—2017 年县级尺度碳排放》的碳排放数据进行了系统比对，使用平均绝对百分比误差（MAPE）验证，把百分比误差阈值设置为 10% 来判断模型数据与官方数据的吻合程度。由于官方仅提供了截至 2017 年的数据，为了确保验证的有效性，需要将 2022 年的碳核算结果转换为与 2017 年相对应的数据，以与官方数据保持一致。研究将通过“可持续发展情景”下所设定的更新动态因子，把 2022 年城市现状碳核算结果转换到 2017 年相对应的数据，再与中国碳核算数据库（CEADs）公布的 2017 年杨浦区碳排放数据进行交叉数据源验证。CEADs 数据中杨浦区 2017 年的碳排放量为 326.52 万 t。通过模型核算，杨浦区 2022 年城市现状碳核算结果转换到 2017 年的碳排放量为 296.122 万 t。因此，将 $M=296.122$ 和 $P=326.52$ 代入以下公式（4）中：

$$E=|(M-P)/P| \times 100\% \quad (4)$$
$$E=|(296.122-326.52)/326.52| \times 100\%$$
$$E=9.3\% < 10\%$$

式中， M 代表模型计算出的碳排放量， P 代表官方或权威机构公布的数据， E 代表两者之间的百分比误差。通过平均绝对百分比误差的验证，验证结果为 9.3%，符合 10% 的设定阈值，与 CEADs 的数据吻合，验证了本研究城市更新规划碳核算模型的准确性。

五、上海市杨浦区某街道城市更新规划碳排放评估

1. 城市更新规划用地碳排放评估

研究选取上海市杨浦区某一个街道为研究对象，以下简称为街道 A。杨浦区位于特大城市上海市中心城区的东北部，总面积为 60.61km²。全区下辖 12 个街道办事处，根据 2022 年统计年鉴数据，杨浦区常住人口为 123.05 万人，街道 A 年末户籍总人口为 7.51 万人。

研究以杨浦区 2022 年的城市土地利用现状数据进行现状碳核算。杨浦区街道 A 2035 年的城市土地利用图（图 3）通过上海市规划和自然资源局与上海市人民

政府在 2022 年公布的《上海市杨浦区单元规划（含重点公共基础设施专项规划）》中获得，空间数据为上海市规划和自然资源局提供，在所获得的数据基础上进行更新规划碳核算，具体数据如表 3 所示。

通过模型核算，对上海市杨浦区街道 A 2022 年的现状碳排放量与 2035 年单元规划预期碳排放量进行了全面核算与对比分析。可以发现，在基准情景下，2035 年碳排总量将增加到 19.3 万 t，该用地更新规划将额外产生 6.04 万 t 碳排放。在可持续发展情景下，用地建筑部门的碳排量为基准情景的 22%，用地交通部门的为 102.2%，用地废弃物部门的为 48%，用地碳汇部门的为 118.2%。可持续发展情景总碳排放量为 9.88 万 t，较基准情景减少 9.47

万 t。在碳中和情景下，用地建筑、用地交通和用地废弃物部门的碳排放量为基准情景的 67.5%，用地碳汇部门与可持续发展情景一致，总碳排放量为 13.02 万 t。可以看出，随着技术的发展，用地建筑和用地废弃物部门在可持续发展情景下，已经有较好的减排效果。而交通部门的还仍有比较大的降碳潜力。这两个情景表明，在技术进步和实现碳中和目标的情况下，碳排放会得到控制，实现减碳。

通过这一评估过程，研究深入探讨了规划实施对减少碳排放的潜在成效，所得成果具有重要的实用价值，能够在城市规划设计方案落实之前，对其碳排放影响进行准确评估，并为方案的优化提供科学依据。这一研究不仅有助于推动杨浦区乃至

杨浦区 2022 年现状与 2035 年规划的各类用地与建筑面积 表 3

杨浦区街道 A			2022 年现状		2035 年单元规划		变化百分比 (%)	
用地性质	控规标准	对应颜色	用地面积 (km ²)	总建筑面积 (km ²)	用地面积 (km ²)	总建筑面积 (km ²)	用地面积	总建筑面积
住宅组团用地	Rr		0.887	2.01	0.837	2.06	-5.64	2.49
基础教育设施用地	Rs		0.0928	0.0947	0.130	0.156	40.09	64.73
社区级公共服务设施用地	Rc		0.0315	0.0426	0.0404	0.0574	28.25	34.74
行政办公用地	C1		0.0486	0.114	0.0248	0.0724	-48.97	-36.49
商业服务业用地	C2		0.0379	0.0729	0.0613	0.0832	61.74	14.13
文化用地	C3		0.0189	0.0277	0.0389	0.0599	105.82	116.25
体育用地	C4		0.00754	0.000454	0.000535	0.000567	-92.90	24.89
医疗卫生用地	C5		0.0136	0.0262	0.00666	0.00998	-51.03	-61.91
教育科研设计用地	C6		0.0522	0.0941	0.0472	0.11	-9.58	16.90
文物古迹用地	C7		0	0	0	0	0	0
商务办公用地	C8		0.343	0.973	0.467	2.01	36.15	106.58
其他公共设施用地	C9		0.00619	0.0127	0.0102	0.031	64.78	144.09
工业用地	M		0.131	0.118	0	0	-100.00	-100.00
仓储物流用地	W		0	0	0	0	0	0
对外交通用地	T		0.0208	0.00932	0	0	-100.00	-100.00
轨道站线用地	S2		0	0	0.0165	0.0172	100.00	100.00
社会停车场用地	S3		0.0435	0.0160	0.022	0.0242	-49.43	51.25
公交场站用地	S4		0.0114	0.0128	0.0373	0.0391	227.19	205.47
广场用地	S5		0.024	0.00126	0.00434	0	-81.92	-100.00
综合交通枢纽用地	S6		0.0189	0.0187	0.0331	0.0461	75.13	146.52
其他交通设施用地	S9		0.00644	0.0012	0.00386	0	-40.06	-100.00
公共基础设施用地	U		0.224	0.0836	0.256	0.208	14.29	148.80
公共绿地	G1		0.0645	0.00115	0.202	0.00475	213.18	313.04
特殊用地	D		0.00258	0.0027	0	0	-100.00	-100.00
总计			2.08635	3.733084	2.239095	4.989797	7.32	33.66



图 3：街道 A 2035 年城市土地利用图



图 4：街道 A “微更新”配置

街道 A 2022 年现状与 2035 年规划碳排放量对比（单位：万 t）表 4

区域 CO ₂ 碳排放统计表	2022 年现状	2035 年单元规划		
		基准情景	可持续发展情景	碳中和情景
用地建筑	10.50	12.10	2.67	8.16
用地交通	4.51	6.99	7.13	4.72
用地废弃物	0.334	0.34	0.17	0.23
用地碳汇	0.000	0.0784	0.0925	0.0925
碳排放计算结果	15.34	19.35	9.88	13.02

街道 A “微更新”建设内容表 5

更新模式	建设内容	更新设施类型	建筑面积（m ² ）	CO _{2eq} 碳排放量（t）
新建	新建保障性租赁住房	居住建筑	3000	835.617
新建	建设社区食堂	社区级公共服务设施	220	66.296
拆除改建	拆除原有违法建筑后，建设党建微花园	公园	200	32.210
拆除改建	二级旧里动迁后，在路口转弯角建设党建微花园	公园	200	32.210
新建	建设街道婴幼儿及儿童养育托管点	社区级公共服务设施	200	59.336
总量			3820	1025.671

更广泛区域的低碳发展，还可为全球可持续发展目标的实现贡献中国的智慧与力量。表 4 详细展示了本次核算的结果，为相关决策提供了有力的数据支撑。

2. 城市更新规划设施碳核算

本研究选取了上海市杨浦区街道 A 为研究对象。图 4 与表 5 为街道的“零星更新”建设内容与碳核算结果。经过模型核算，该“零星更新”规划共产生 1025.671t 碳排放（表 5）。其中，新

建住房项目碳排放量最高，达到 835.62t，占总量的 81.47%，主要源于建筑材料的大量使用。相比之下，新建社区食堂和婴幼儿及儿童养育托管点因建筑面积小，碳排放也较低。微花园建设虽不产生碳排放，但其改建过程中的拆除工作会产生一定碳排放。此外，“零星更新”策略虽占比不大，但其对城市环境和居民生活质量的改善作用重要，且其碳核算结果验证了本研究模型的实用性和前瞻性，该模型为科学预测和规划城市更新碳排放量提供了有力工具，将推动城市的绿色可持续发展。

六、结论与展望

本研究聚焦于“双碳”目标下的城市更新规划碳核算，旨在构建科学的碳核算体系，以推动城市的低碳、可持续发展。为实现这一目标，研究构建了完善的、面向城市更新规划的碳核算框架和模型，全面覆盖用地、建筑、交通和废弃物等多个方面的碳核算，以深入分析和比较城市现状与更新规划方案。

研究通过综合运用定性与定量的评估方法，对城市更新规划的碳核算进行了科学评估，为城市更新实践提供了有力的决策支持。在上海市杨浦区某街道的实证研究中，深入探讨了更新规划实施和技术进步对碳减排的潜在成效。同时，研究还验证了所构建模型的准确性，并证实了其作为指导城市更新规划的有效工具的可能性。本研究为城市更新规划提供了科学的碳核算影响评估方法，并为更新规划方案的进一步优化指明了方向。此外，本研究构建的碳核算具有广泛的应用潜力，可为国家的绿色低碳发展战略提供有力支持。该体系不仅适用于城市更新规划设计方案的选择与实施阶段，还可为其他城市在制定低碳发展规划时提供有价值的参考。

本研究的创新点主要体现在两个方面：首先，针对城市更新规划方案中的“用地更新”或“零星更新”情形，提出了快速准确的碳核算方法；其次，通过综合定性与定量跨学科评估方法的结合，构建了专属于城市更新规划的碳核算模型，确保了评估结果的全面性和准确性，为城市更新项目的规划和实施提供科学的碳核算应用。然而，本研究仍存在一定的局限性，在数据处理和模型应用方面，面临城市多源数据的整合和标准化等挑战；同时，虽然研究涵盖了多种用地类型和城市更新模式，但仍有特定用地类型未被纳入研究范畴。

随着全球气候变化问题的加剧和“双碳”目标的持续推进，城市更新在低碳发展方面的作用将更加凸显。本研究提出的碳核算框架和模型有助于为未来城市更新

项目的实施提供有力的技术支撑和保障，指导其他城市地区的低碳城市更新规划方案实施，评估已有更新规划方案，推动城市朝着低碳、可持续的方向发展，以实现“双碳”目标。

注释

- ① 指由政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change）发布的《国家温室气体清单指南》（Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories），研究中简称为《IPCC》。
- ② 指由国际标准化组织（ISO）和世界资源研究所（WRI）等组织合作开发的《社区规模温室气体清单全球议定书》（Global Protocol For Community-Scale Greenhouse Gas Emissions），研究中简称为《GPC》。
- ③ 指 C40 城市气候领导联盟（C40 Cities Climate Leadership Group），是一个致力于应对气候变化的国际城市联合组织。
- ④ 指由国家发展改革委应对气候变化司组织多家单位共同完成编写的《省级温室气体清单编制指南》，研究中简称为《省级指南》。
- ⑤ 指为国内各个省市基于《完善碳排放统计核算体系工作方案》通知，在省内开展市县（区）级的《温室气体清单编制指南》的工作，部分省市已经发布，如《上海市区级温室气体清单编制技术文件》，研究中与《省级指南》相对应，简称为《市级指南》。

参考文献

[1] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory[R]. 2006.

[2] 郭洪旭, 肖荣波, 李晓晖, 等. 城市控制性详细规划的碳排放评估[J]. 城市规划, 2019, 43 (9) : 86-94.

[3] 徐声星. 居住类建筑能耗与排放测算——以武汉市为例[J]. 中国房地产, 2019 (24) : 43-48.

[4] 杜雁, 胡双梅, 王崇烈, 等. 城市更新规划的统筹与协调[J]. 城市规划, 2022, 46 (3) : 15-21.

[5] 盛强, 李萌, 张宇, 等. 基于多源数据空间分析的城市体检方法与更新策略——以北京市海淀区街道为例[J]. 建筑师, 2024 (2) : 13-21.

[6] 国务院. 国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知[R]. 2021-10-24.

[7] 住房和城乡建设部. 城乡建设领域碳达峰实施方案[R]. 2022-06-30.

[8] 赵荣钦, 黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. 地理研究, 2010, 29 (9) : 1639-1649.

[9] 鞠鹏艳. 城市总体规划层面低碳城乡规划方法研究——以北京市延庆县规划实践为例[J]. 城市规划,

2013, 37 (8) : 9-17.

[10] 李国志, 李宗植. 二氧化碳排放决定因素的实证分析——基于70个国家(地区)面板数据[J]. 数理统计与管理, 2011, 30 (4) : 585-593.

[11] 潘晨, 李善同, 刘强. 消费视角下中国各省份碳排放驱动因素探究[J]. 经济与管理, 2022, 36 (3) : 58-66.

[12] 任晓松, 赵涛. 中国碳排放强度及其影响因素间动态因果关系研究——以扩展型KAYA公式为视角[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28 (3) : 6-10.

[13] 苏泳娴, 陈修治, 叶玉瑶, 等. 基于夜间灯光数据的中国能源消费碳排放特征及机理[J]. 地理学报, 2013, 68 (11) : 1513-1526.

[14] ANDERSSON E, SOBEK S, 王胜. 湖泊生态系统碳循环评价中质量平衡法和生态系统模型法的比较[J]. AMBIO-人类环境杂志, 2006, 35 (8) : 468-475+517.

[15] 徐伟, 何坤, 谷琳. 适用于垃圾焚烧过程的碳排放核算方法研究[J]. 绿色矿冶, 2023, 39 (5) : 58-62.

[16] 胡鹤鸣, 王池, 张金涛. 城市区域碳排放测量反演研究国际进展[J]. 计量学报, 2017, 38 (1) : 7-12.

[17] 刘良云, 陈良富, 刘毅, 等. 全球碳盘点卫星遥感监测方法、进展与挑战[J]. 遥感学报, 2022, 26 (2) : 243-267.

[18] CHUAI X, FENG J. High resolution carbon emissions simulation and spatial heterogeneity analysis based on big data in Nanjing City, China[J]. The Science of the total environment, 2019, 686, 828-837.

[19] 张捷, 于洋. 城市建设用地碳排放核算及实证应用研究——以西安市中心城区为例[J]. 住宅与房地产, 2023 (27) : 86-90.

[20] 王雅捷, 何永. 基于碳排放清单编制的低碳城市规划技术方法研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25 (6) : 72-80.

[21] 姜洋, 何永, 毛其智, 等. 基于空间规划视角的城市温室气体清单研究[J]. 城市规划, 2013, 37 (4) : 50-56+67.

[22] 罗文静, 汪颢, 熊伟. 国土空间规划“双碳”计算仿真模块构建及应用[J]. 城市规划学刊, 2023 (2) : 47-56.

[23] 闫凤英, 刘思娴, 张小平. 基于PCA-BP神经网络的用地碳排放预测研究[J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36 (6) : 1-7.

[24] 陈可欣, 陶韦华, 方晓丽, 等. 国土空间规划中碳中和评估及规划应用路径研究[J]. 规划师, 2022, 38 (5) : 134-141.

[25] 邓雪媛, 蒋灵德, 刘超. 国土空间详细规划碳排放测度与管控研究——以苏州太湖科学城核心区详细规划为例[J]. 规划师, 2023, 39 (9) : 117-122.

[26] 徐一剑, 李潭峰, 徐丽丽. 国土空间总体规划温室气体核算模型[J]. 气候变化研究进展, 2022, 18 (3) : 355-365.

[27] 张一薇. 基于“双碳”战略导向的市级国土空间规划探索[J]. 低碳世界, 2023, 13 (3) : 76-78.

[28] 李毅, 任云英. 上海市城市总体规划碳排放核算方法研究[C]//2019中国城市规划年会论文集, 2019.

[29] 王正, 周侃, 樊杰, 等. 市—县尺度能源消费碳排放核算方法研究进展[J]. 地理科学进展, 2023, 42(7):

1406-1419.

[30] 上海市城市更新操作规程(试行) [Z]. 上海市规划和自然资源局, 2022.

[31] 关于印发《上海市城市更新指引》的通知 [Z]. 2022.

[32] 杭州市人民政府办公厅关于全面推进城市更新的实施意见 [Z]. 杭州市人民政府办公厅, 2023.

[33] 关于印发《2024年上海市城市更新规划资源行动方案》的通知 [Z]. 上海市规划和自然资源局, 2024.

[34] 周楚卿. 推进城市更新行动——打开城市高质量发展新空间 [N]. 人民日报海外版, 2023-02-14.

[35] 梁浩, 龚维科. 致力于碳中和的绿色城市思考与探索 [J]. 建设科技, 2021 (11) : 28-32.

[36] 余梦娜. “双碳”目标下如何走好城市更新之路 [J]. 上海房地, 2022 (3) : 57-59.

[37] 张弓. 城市更新的低碳实施策略: 从“拆改留”到“留改拆” [J]. 可持续发展经济导刊, 2022 (4) : 22-23.

[38] 陈天, 耿慧志, 陆化普, 等. 低碳绿色的城市更新模式 [J]. 城市规划, 2023, 47 (11) : 32-39.

[39] 伍伟. 低碳城市目标下的城市更新——以深圳市城市更新实践为例 [J]. 城市规划学刊, 2010 (S1) : 19-21.

[40] 李陈宸. 低碳生态城市理念下城市交通与空间结构优化策略研究 [D]. 苏州: 苏州科技大学, 2018.

[41] 仲家骅, 陈晓东, 赵春晴, 等. 城市更新的零碳路径探索——以零碳社区建设模式为基础 [J]. 暖通空调, 2022, 52 (S1) : 254-257.

[42] PARK K, LEE S, PARK H. A Study on the Effect of the Urban Regeneration Project on the Reduction of Carbon Emission - A Case Study of Jeonju Test-Bed [J]. Journal of The Korean Society of Civil Engineers, 2016, 36 (1) : 65-74.

[43] 韦佳伶, 杨适泽, 董欣. 碳中和导向下西安城市更新情景模拟——基于系统动力学的仿真预测 [C]// 2022/2023 中国城市规划年会论文集, 2023.

[44] 叶剑鸣, 李志伟, 侯怡仕. 城市更新的碳排放效益评价——以合肥为例 [J]. 咸阳师范学院学报, 2023, 38 (4) : 53-58.

[45] 邹翊. 深度解读《上海市城市更新指引》(上) [OL]. 建纬律师, 2023-02-08.

[46] 张燕. 城市更新治理模式的探索与思考 [J]. 城镇规划, 2023: 4-6.

[47] 图解: 关于沈阳市人民政府办公室关于转发市城乡建设局《沈阳市城市更新管理办法》的通知的解读 [OL]. 市城乡建设局, 2021.

[48] 银川市城市更新条例(征求意见稿) [Z]. 银川市住房和城乡建设局, 2024.

[49] 邵任薇, 卢雪莹, 岳艺霖. “双碳”目标下老旧小区绿色

改造的有机更新策略研究——以广州为例 [J]. 上海城市管理, 2024, 33 (2) : 28-36.

[50] 段飞霞. 老旧小区步行空间微更新策略研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.

[51] 赵映辉. 城市更新规划中的低碳设计策略初探——以深圳市罗湖区木头龙小区城市更新项目为例 [J]. 城市规划学刊, 2010 (S1) : 44-47.

[52] 张晓然. 双碳目标下的老旧小区改造设计研究 [J]. 中国民族博览, 2022 (8) : 167-169.

[53] CHENG J, MAO C, HUANG Z, et al. Implementation strategies for sustainable renewal at the neighborhood level with the goal of reducing carbon emission [J]. Sustainable Cities and Society, 2022.

[54] 郭雅楠. 老旧小区绿色改造可持续性评价体系研究 [D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2023.

[55] 韩璿场. 上海老旧小区绿色低碳微更新策略案例研究 [J]. 绿色建筑, 2018, 10 (5) : 17-19.

[56] 2020年全球建筑建造业现状报告 [R]. 联合国环境规划处, 2020.

[57] 薛露露, 靳雅娜, 禹如杰, 等. 中国道路交通2050年“净零”排放路径 [R]. 中国: 世界资源研究所, 2019 (10) .

[58] 张昕雪, 高淑丹, 滕晓, 等. 我国近10年城市生活垃圾处置单元温室气体排放时空变化及减排潜能分析 [J]. 环境科学, 2023, 44 (11) : 5946-5953.

[59] 我国森林面积和蓄积持续增长将有效助力实现碳中和目标 [N]. 新华社, 2021-03-12.

[60] 毕珠洁, 邵俊, 王川. 上海生活垃圾处理碳排放现状与预测研究 [J]. 环境卫生工程, 2023, 31 (5) : 1-8.

[61] 许晔, 王钧, 刘爽爽, 等. 深圳市主要道路交通碳排放特征与低碳交通发展情景研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54 (1) : 146-156.

图表来源

图1、图2、表2—表5: 作者自绘

图3: 上海市杨浦区单元规划(含重点公共设施专项规划)

图4: 上海同济城市规划设计研究院有限公司

表1: 作者整理, 公式来源《城市建筑能耗及运行碳排放计算方法导则》《建筑碳排放计量标准》《IPCC国家温室气体清单指南》《省级温室气体清单编制指南》《上海市区级温室气体清单编制技术文件》