

城市微绿系统更新规划智能体的构建与应用*

Development and Application of a Planning Agent for Urban Micro-Green System Renewal

周聪惠 张诗宁 杨柳一 程瑞霞

ZHOU Conghui, ZHANG Shining, YANG Liuyi, CHENG Ruixia

关键词 微绿系统; 城市更新; 口袋公园; 人工智能; 城市绿地; 社区生活圈

Keywords: micro-green system; urban renewal; pocket park; artificial intelligence (AI); urban green space; community life circle

提 要 在城市高质量发展与可持续更新背景下, 构建高效协同的微绿系统正成为统筹小微绿地、完善建成区绿色服务网络的重要途径。针对高密度环境下潜力地块规模小、分布散、识别难、转化条件复杂等现实困境, 以昆山市中心城区为例, 聚焦微绿系统更新中资源甄别与协同优化两大核心问题, 围绕“地从何来、何地更优、地如何用地、地何时用”四大规划难点, 构建城市微绿系统更新规划智能体。该智能体集成图像识别、目标检测、多目标优化等算法, 通过任务适配与模型集成, 形成覆盖潜地识别、结构优化、设施配置、发展时序的连续决策链, 并在昆山中心城区更新规划实践中得以应用。结果表明, 该智能体突破了“随机单点补绿”的传统模式, 在高密度环境多重约束下将分散的存量空间重构为高效协同的服务网络, 推动了系统效能整体跃升, 促进了规划从“单体评估”向“系统协同”、从“静态蓝图”向“滚动实施”的范式转型。

Abstract: In the context of high-quality urbanization and sustainable urban renewal, the development of efficient and synergistic micro-green systems has emerged as a critical pathway for integrating fragmented green spaces and enhancing urban green networks in built-up areas. Given the challenges posed by the small scale, scattered distribution, difficulty in identification, and complex implementation conditions of potential sites in high-density environments, this paper uses the central urban area of Kunshan as a case study, focusing on two core issues in micro-green system renewal: resource screening and collaborative optimization. To address four fundamental planning challenges—where potential sites originate, which sites are most suitable, how sites can be effectively utilized, and when projects should be implemented—this study develops a planning agent for urban micro-green system renewal. The agent integrates intelligent technologies, including image recognition, object detection, and multi-objective optimization, forming a continuous decision chain that covers site identification, layout optimization, facility allocation, and phased implementation through task adaptation and model integration. The agent is applied in the renewal planning practice of Kunshan's central urban area. The results demonstrate that the agent-based approach surpasses the conventional strategy of "random single-site greening" by effectively reorganizing dispersed existing spaces into an efficient and synergistic green service network under multiple constraints in high-density contexts. It enables systemic improvements in overall performance and facilitates a paradigm shift in planning from "individual site assessment" to "systemic coordination" and from "static blueprinting" to "adaptive implementation".

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202603011
文章编号 1000-3363(2026)03-0090-09

作者简介

周聪惠, 东南大学建筑学院教授、博士生导师, conghuizhou@seu.edu.cn
张诗宁, 东南大学建筑学院博士研究生
杨柳一, 东南大学建筑学院硕士研究生
程瑞霞, 昆山市住房和城乡建设局高级工程师

* 国家自然科学基金面上项目“高密度城市微绿地组群布局协同机理及调控关键指标研究——以南京主城区为例”(项目编号: 51978146)

在城市高质量发展导向下,我国城市更新正由“大拆大建”转向“小规模、渐进式”的可持续更新^[1]。2025年,中共中央办公厅、国务院办公厅《关于持续推进城市更新行动的意见》将“修复城市生态系统”列为八项重点任务之一,并指明要“增加群众身边的社区公园和口袋公园”;同年,《中共中央 国务院关于推动城市高质量发展的意见》也强调“健全城市公园和绿道网络体系,建设口袋公园,推进绿地开放共享”。在此背景下,以口袋公园为代表的小微型绿色空间(微绿空间)正成为完善游憩服务体系、织补生态网络的重要载体。然而,传统“随机单体型”补绿模式受限于微绿空间单体容量和服务效能,难以充分响应密集多样的居民需求,且因缺乏整体统筹,极易引发布局失衡、服务失调、增补失序等问题^[2]。这意味着,微绿空间发展的核心命题不在于单个地块的优劣判断,而在于能否在生活圈尺度上将分散的空间要素组织为功能互补、协同增效的服务系统——这正是本文倡导的“微绿系统”理论出发点。“微绿系统”强调从系统整体绩效出发,统筹潜力地块(下文简称“潜地”)甄别、布局优化、设施配置与时序安排,使分散的存量空间转化为支撑城市生态系统修复、公共服务网络完善和更新治理转型的可操作载体,为推动城市更新从“大拆大建”走向“小规模、渐进式”的可持续路径提供绿色基础设施层面的系统解决方案。为此,自然资源部2021版《社区生活圈规划技术指南》倡导整合存量空间资源,构建“覆盖均衡、点线面结合的绿色开放空间网络”,相关研究也开始围绕“微绿地组团”^[3]、“口袋公园簇”^[4]等概念探索生活圈尺度下小微空间的协同组织,推动构建分布式、协同型的微绿系统已是大势所趋。

1 规划基本原理与难点

1.1 基本原理

微绿空间属于非传统绿色空间,面积通常小于社区公园门槛面积(我国为1 hm²)^[5]。与大公园通常以独立完整的地块或街区作为空间载体不同,微绿空间主要由分散破碎的边角地、废弃地、

空闲地等附属空间发展而来^[6]。由于占地小、布局灵活、就近服务等优势,微绿空间能在高密度环境下将绿色服务延伸至大体量绿地难以覆盖的地段,逐渐成为存量空间盘活与绿色服务补足的重要工具^[7]。

微绿空间服务状态受到场地自身条件与周边环境共同影响:场地自身的面积、形态、设施基础和环境品质等因素决定其可用性、建设成本与吸引力^[8-9];场地周边的居民分布、慢行网络、游憩关联设施和既有绿地分布等因素则影响潜在需求强度、可达性、外部支持效应以及绿地之间的竞争与互补关系^[10-11]。因此,微绿空间选址不仅要识别适合的发展载体,还需综合甄别其内外部发展条件。

受限于单体规模,微绿空间通常难以像大公园一样配置完整的功能分区和设施体系,故要在高密度环境下有效缓解供需矛盾,推动多个微绿空间从“单点集合”走向“系统集成”,共同分摊和疏解密集多样的服务需求成为规划重要选项。其背后的核心逻辑在于:系统层面的服务效能并非各单体潜力的简单叠加,而是取决于空间布局的互补性、设施配置的匹配性和实施时序的连贯性——这构成了微绿系统“结构决定功能”的理论前提。

实现微绿系统的高效协同通常满足两个条件:一是服务单元不宜过大,且内部应具有相对完整连续的慢行交通环境,使多个微绿空间能够共同分摊同一目标地段的服务需求,因此一般限定在15分钟社区生活圈居住区范畴内^[12-13];二是应结合周边地段职能实现差异化和多样化发展,避免邻近绿色空间同质化竞争,同时强化微绿空间与慢行系统、绿道等要素的空间整合,形成分散连贯的服务序列,从而代偿大体量公园的职能缺口^[14]。

1.2 规划难点

在高密度复杂环境下,微绿系统规划面临两大核心问题:一是资源甄别问题——在复杂建成环境下高效识别、精细评价和择优筛选存量小微空间(即如何回答“地从何来、何地更优”);二是协同优化问题——将众多微绿空间组织

为功能互补、设施协同和分阶段推进的服务系统(即如何回答“地如何用地、何时用”)。二者共同构成从“资源发现”到“系统构建”的完整规划逻辑,其中涉及四大难点。

(1) 地从何来:传统资源调查方式难以支撑微绿系统的全域识别。既有微绿空间选址多依赖规划底图、人工踏勘、显性闲置地清单或项目申报线索,虽能识别边界明确、条件清晰的建设对象,但对道路边缘、街角缝隙、建筑退界、桥下空间、社区内部低效空间及单位附属空间等隐性资源覆盖不足。这类空间权属和边界复杂,现状使用状态动态性强,常规调查方式难以形成完整、可更新的资源台账^[15]。因此,需首先解决潜地的城市全域识别问题^[8,16]。

(2) 何地更优:微绿系统选址追求的是生活圈尺度下整体结构绩效最优,而非单点潜力的简单叠加。传统选址多依据局部评估或单一指标,难以统筹可达性、需求响应、生态连通性和实施成本等相互制衡的目标。同时,潜地之间既存在服务范围竞争,也可能形成功能互补,单个地块的“优”不等同于系统整体的“优”。因此,如何在多重约束下平衡单体潜力与组合优化,以有限增补数量最大化系统服务效能,成为选址环节的核心挑战。

(3) 地如何用地:微绿空间单体面积小、形态各异,无法承载完整功能谱系,设施配置更依赖多个微绿空间的分工协作与功能互补。传统配建指标难以反映不同区域人群活动特征、使用偏好和现状设施供给差异;群体行为、年龄构成、设施分布等信息依靠常规调查获取成本较高,也增加了需求侧精准刻画的难度^[17]。同时,微绿空间的规模和形态差异会影响可建设施类型、规模及配置点位,进而影响功能联动与路径联结^[18]。因此,如何匹配细粒度需求特征与差异化供给条件,推动微绿空间差异化定位、设施互补和网络联动,是设施配置环节的关键问题。

(4) 地何时用:在城市更新过程中,受到财政预算、土地权属和政策衔接等现实约束,微绿系统难以一次性全部建成,需要转向分阶段、滚动式实施。传统时序安排往往依据地块成熟度或项目

便利性排定优先级,容易忽视不同生活圈单元间问题紧迫程度的差异,也难以兼顾近期政策窗口与远期收储条件^[19]。如何在保障系统结构完整性的前提下,将布局方案转化为可逐年、分批推进的行动清单,并兼顾近期见效与远期弹性,仍是当前规划难题。

2 技术集成与方法构建

2.1 研究进展与技术集成

近年来,人工智能方法逐步嵌入城市规划的感知、分析、评价和决策过程,推动规划方法从经验判断和静态图纸表达,转向数据支撑、模型辅助和动态迭代的综合决策支持^[20-21]。街景图像、遥感影像、POI、人口活动和公众反馈等多源数据,为建成环境识别、公共服务供需分析和城市更新诊断提供了更精细的基础;图像识别、目标检测、多目标优化等工具,也为复杂空间对象识别和多目标方案比较提供了新的技术条件。

在城市更新及绿地规划领域,人工智能技术也已介入各个工作环节,为微绿系统规划提供了技术基础^[22]。街景图像识别与遥感解译可用于识别街旁空地、边角地及低效用地,突破传统人工踏勘的局限,为回答“地从何来”创造条件^[8,16];机器学习与多目标优化等方法已被引入绿地选址和设施布局研究,用以统筹可达性、需求响应、生态连通等多重目标,为解决“何地更优”提供新思路^[23-24];目标检测与街景语义解析可识别人群活动与设施供给,为回答“地如何用”提供工具^[17,25];公众参与数字平台与反馈文本解析等技术可用于过程协商与项目分期调整,为回答“地何时用”提供依据^[26]。

总体来看,既有研究为微绿系统规划奠定了技术基础,但相关方法多集中于单一任务,对任务之间的连续传导关系关注不足。本文基于团队前期关于微绿空间属性、组群协同、潜地识别、布局调控和设施配置的研究积累,进一步将相关技术整合为城市微绿系统更新规划智能体。该智能体的核心技术创新在于面向“资源甄别—协同优化”的完整规划逻辑,将分散的单体任务模型整合为“潜地识别—结构优化—设施配置—

发展时序”的连续决策链,使规划分析从单点判断走向系统比较,使方案生成从静态编制走向滚动校核。该智能体以街景图像、遥感影像、人口、POI、路网等多源数据为输入,围绕四个任务展开模型构建,形成从空间感知到规划实施的连续决策链,涵盖9个技术模块(图1)。

2.2 模型构建与运行逻辑

模型构建时,算法选择遵循四项原则:一是在同类任务中优先选择表现最优(如NSGA-Ⅱ在多目标优化中的非支配排序优势);二是充分适配规划场景中的数据形态与识别对象(如街景图像识别对应沿街潜地判读);三是在保证识别效果的前提下控制训练与部署成本(如EfficientNetB0可借助迁移学习和批量推理提高识别效率);四是确保输出结果可转化为规划判断、方案比选和实施校核的依据。

2.2.1 潜地识别模型构建

为解决“地从何来”问题,构建潜地识别模型,包含沿街和非沿街潜地识

别模块(图2)。

沿街潜地是建成区微绿空间增补的主要对象,但其面积小、分布广、形态不规则,易受遮挡、街角转折和建筑退界等因素影响,传统调查难以稳定覆盖。为此,模块基于街景大数据和深度学习方法开展全域识别:按照50 m间距设置街景提取点,并采取单双行道差异化策略采集近街侧三个角度(45°、90°、135°)街景数据,以兼顾全域覆盖效率与微小潜地识别精度。模型采用以EfficientNetB0为骨架的图像识别算法,对直接影响潜地可用性的空间规模、空间形态和界面环境进行综合识别^[8,16]。相较于参数规模更大、对样本规模要求更高的复杂深度学习模型(如部分transformer类模型),EfficientNetB0能够在模型复杂度与识别效率之间取得较好平衡,更适合城区尺度、多点位、批量化的沿街潜地识别任务。

非沿街潜地识别模块基于遥感影像和多架构深度学习算法(AIEARTH地球科学云平台)构建,用以识别街区内部公共道路沿线以及学校、商业、办公等

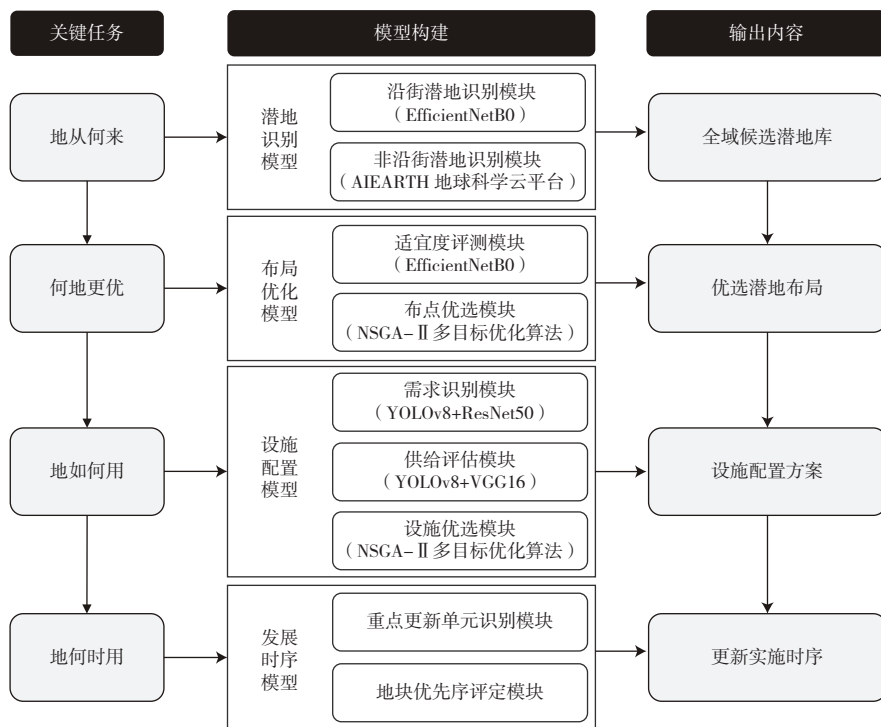


图1 微绿系统智能优化框架

Fig.1 Framework for intelligent optimization of the micro-green system

图2 潜地识别模型构建与运行流程

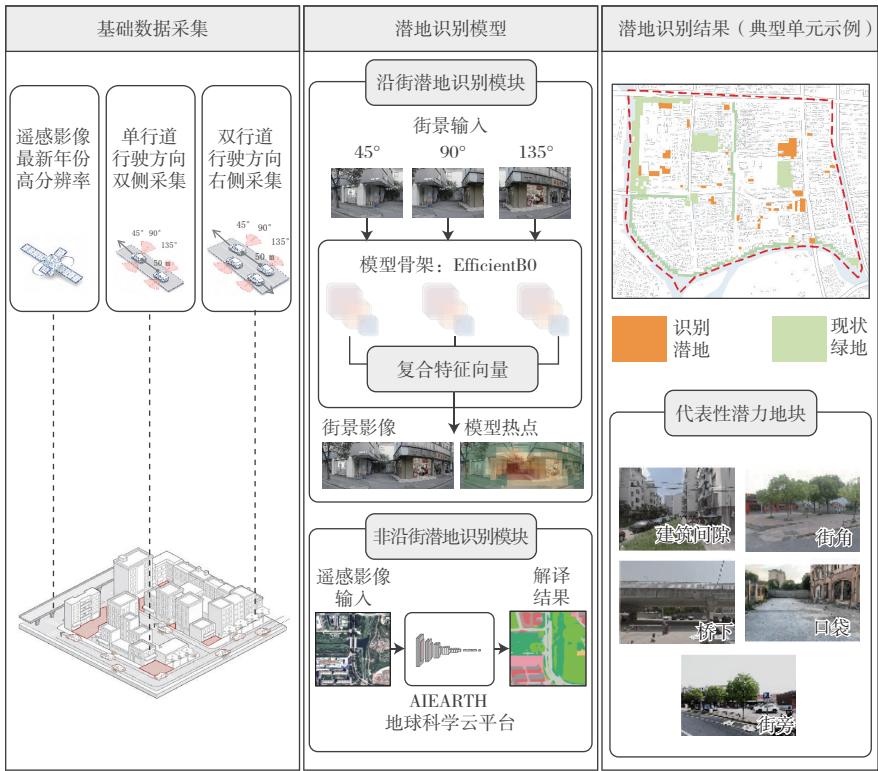


图2 潜地识别模型构建与运行流程
Fig.2 Model workflow for potential site identification

具备开放潜力单位内的裸地、硬地、草地和林地等空间。遥感影像优先选取地物边界清晰、无明显云雾和云影覆盖的影像，并进行裁剪、空间配准和人工校核等预处理，以保证潜在用地的可识别性。该类空间单体规模通常大于沿街空间，虽非微绿空间增补主体，但可作为沿街碎片空间的重要补充。经多源融合、归并和边界校核后，两个模块共同形成全域候选潜地库，为后续布局优选提供基础。

2.2.2 结构优化模型构建

为解决“何地更优”构建结构优化模型，包含适宜度评测模块和布点优选模块（图3）。

适宜度评测模块用于评估潜地的场地条件和周边环境条件。沿街潜地评估基于街景图像，采用 EfficientNetB0 骨架算法，在空间特征模型之外，再分别建立设施基础、环境品质和空间活力三类并行任务评估模型^[16]，用于判断内部及周边服务支撑、空间吸引力，以及潜在使用需求。四类并行任务模型均采用预

训练迁移学习，并结合本地标注样本进行训练与验证。非沿街潜地场地条件主要基于遥感影像的场地覆盖及附着物解译分析，以评估其更新改造和使用难度。周边环境条件则采用空间分析方法，测度各个潜地的交通可达性（OSM数据）、支持设施（公厕、餐饮、零售等POI数据）协同效应以及周边大型公园（综合公园POI数据）竞争效应，以此量化外部环境对微绿空间发展的积极和消极影响^[10]。相关 OSM 路网、POI、综合公园和现状绿地数据在进入模型前统一进行坐标转换、分类归并和空间匹配。

受限于财政预算、现状绿地分布以及潜地自身区位、场地条件、周边环境等限制，并非所有潜地都适合在短期发展为微绿空间。为此，应用 NSGA-II 多目标优化算法建立布点优选模块，将微绿系统布局转化为生活圈尺度下的多目标组合优化问题。模块以15分钟社区生活圈居住区为调控单元，综合考虑绿地可达性、需求响应性和生态连通性等目标，并将潜地适宜度、建设成本、权属

条件和近期实施条件等纳入约束条件与规划校核过程。相较于将多目标直接加权合成为单一评分的方法，NSGA-II 不预设固定权重，而是通过非支配排序保留不同目标之间的权衡关系，生成帕累托备选方案集，更适合多目标之间的复合权衡。帕累托前沿集形成后，将各目标的最优表现组成“理想点”，计算各方案与理想点的距离，并选择距离最近的方案作为初步推荐方案；最后结合现场建设条件和规划可实施性进行校核，确定最终推荐方案。通过这一过程，模型能够形成一组可比较、可校核的布局方案^[23-24]。

2.2.3 设施配置模型构建

为回答“地如何用地”问题，构建设施配置模型。根据微绿空间的使用特征以及昆山当地现实需求，将设施配置主体聚焦于居民健身设施，并围绕需求识别、供给评估、设施优选等三个模块展开模型构建（图4）。

需求识别模块综合应用“七普”和 WorldPop 高分辨率人口数据，量化城区人口静态分布；同时，基于街景数据，在应用 YOLOv8 提取街旁行人后使用 ResNet50 识别年龄群体和行为姿态类型，以刻画不同区域居民活动分布特征。YOLOv8 对复杂街景背景下的多尺度目标具有较好识别稳定性，适合用于尺度和遮挡情况差异较大的行人目标提取；ResNet50 训练过程相对稳定，能够适应街景行人数量多、尺度变化大的分类任务^[17]。两类模型均基于本地标注街景样本进行训练与验证。考虑到街景行人活动受季节、天气、工作日/周末和拍摄时段影响，本研究主要将其用于刻画活动分布和群体特征的相对差异，并结合人口静态数据进行需求侧校核。

供给评估模块一方面基于政府统计及 POI 数据量化现状正规健身设施分布，另一方面依托街景数据和 YOLOv8 识别小型健身器材、活动场地和绿植等设施及支持要素^[18]。在此基础上，采用 VGG16 算法训练设施增补潜力评价模型，量化现状绿地和待增补潜地的设施承载潜力。YOLOv8 和 VGG16 均基于本地标注样本进行训练与验证：前者适合识别街景中尺度差异较大的设施目标，后者在中小样本分类任务中具有较稳定

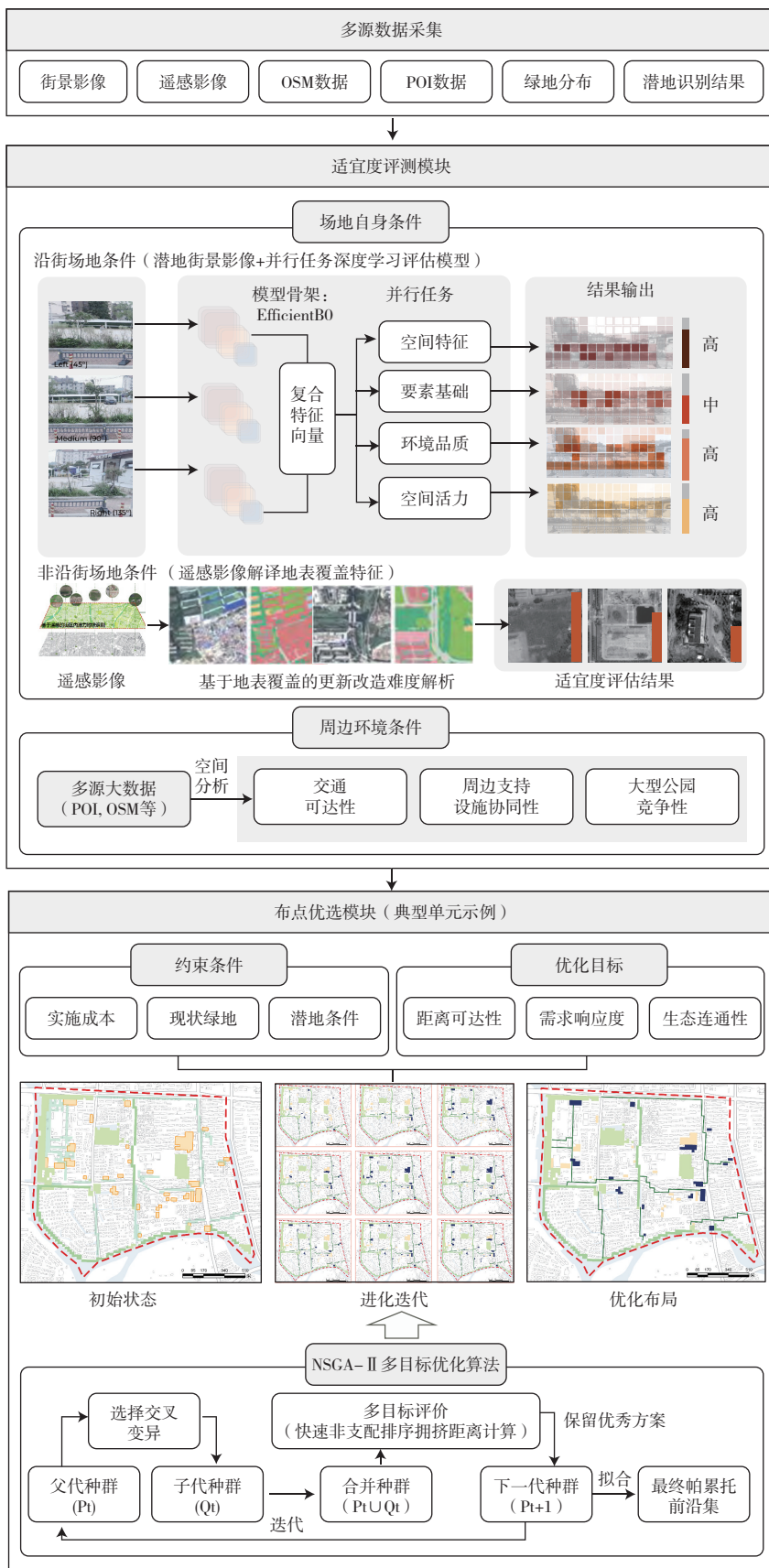


图3 结构优化模型构建与运行流程

Fig.3 Model workflow for layout optimization

的表现，二者结合能够同时支撑现状供给识别和潜在承载能力判断。模型识别结果进一步与政府统计、POI和街景识别结果交叉校核，可降低遗漏风险。

设施优选模块依托NSGA-II算法，结合群体需求分布、潜地设施承载能力和各类设施底限尺寸需求开展设施配置，并组织微绿空间之间的路径联系，为生活圈内健身步道和自行车道建设提供依据。模块以设施底限尺寸、潜地承载能力和现状建设条件为约束，以设施服务覆盖率、供需匹配度和连通效率为主要优化目标，分别回应设施可达、需求适配和路径组织问题。各目标标准化后作为独立目标参与非支配排序，不预设固定权重，并在帕累托备选方案集基础上遴选推荐方案^[23-24]。

该模型形成“需求识别—供给评估—设施优选”的闭环逻辑，将对“人”活动的精细感知与对“地”承载力的差异化利用相结合，使设施配置由孤立配比转向需求、供给与空间联系的综合统筹^[18,27]。

2.2.4 发展时序模型构建

发展时序模型用于将静态规划方案转换为可分阶段实施推进的行动计划和指引。与潜地识别、适宜度评测和布点优选等智能算法模型不同，发展时序模型并非基于智能算法的求解模型，而是依据上述模型的输出结果与实施条件进行综合判定的规则决策模型。该模型需要结合政府近期更新计划、资金安排、权属协调、社区沟通、实施成熟度和后期运维等现实因素进行综合判断，这些因素涉及治理协同和基层协商，难以完全通过纯算法自动生成，也难以全部量化为模型参数。因此，模型在潜地识别、适宜度评测和布点优选结果基础上，引入规则判定，对问题强度、系统收益和实施条件进行综合比较，形成可解释的实施优先序。

该模型包括重点更新单元识别和地块优先序评定两个模块。首先，以15分钟生活圈单元的问题强度、结构短板和现行更新计划为依据，识别优先更新单元，为公共资源投入提供结构性指引。其次，在地块层面，依据其是否纳入布点优选结果，并结合建设难度、权属协调、场地可进入性和政策衔接条件，将



图4 设施配置模型构建与运行流程
Fig.4 Model workflow for facility allocation

潜地划分为优先建设、次优先建设和远期收储等三类。综合两类判断结果，模型形成地块优先序分级和分阶段推进方案。该分层方式同时纳入问题紧迫性、系统收益、实施条件和政策衔接等因素，相较于仅依据地块成熟度或项目便利性排定建设时序的做法，更符合建成区更新中分批推进、滚动实施的现实过程，也增强了规划方案的可执行性和持续推进能力。

2.3 模型可靠性检验

上述模型的任务模块涉及图像识别、目标检测、多目标优化和规则判定等不同技术方法。对具备量化检验条件的核心算法，分别采用人机一致性（HITL Maturity）、平均精度均值（mAP@50）和重复运行稳定性等指标进行验证（表1），分别检验图像识别结果与人工判读的吻合程度、目标检测的准确率以及多目标优化结果的运行稳定性。检验结果均达到预设参考门槛，说明模型输出具备支撑规划判断的基础可靠性，能够为后续方案生成和规划校核提供可用依据。

表1 核心算法主要检验方法与结果

Tab.1 Main validation methods and results for the core algorithms

任务	模块	核心算法	检验方法	验证结果	门槛参考值
地从何来	沿街潜地识别模块	EfficientNetB0 为骨架的图像识别模型	人机一致性 (HITL Maturity)	0.87	0.75
	非沿街潜地识别模块	AIEARTH 地球科学云平台构建的多构架深度学习模型	F_1 值	0.83	0.80
何地更优	适宜度评测模块	EfficientNetB0 为骨架的图像识别模型	人机一致性 (HITL Maturity)	0.83(并行任务均值)	0.75
	布点优选模块	NSGA-II 多目标优化模型	重复运行稳定性	入选地块重合率 98%	≥90%
地如何用地	需求识别模块	基于 YOLOv8 的行人目标提取模型	平均精度均值 (mAP@50)	0.88	0.75
		基于 Resnet50 的年龄与姿态识别模型	平均精度均值 (mAP@50)	0.81(并行任务均值)	0.75
	供给评估模块	基于 YOLOv8 的设施及支持要素识别模型	平均精度均值 (mAP@50)	0.82(并行任务均值)	0.75
		基于 VGG16 的潜力评价模型	人机一致性 (HITL Maturity)	0.81(并行任务均值)	0.75
	设施优选模块	NSGA-II 多目标优化模型	重复运行稳定性	设施方案重合率 93%	≥90%

3 实证分析：昆山中心城区微绿系统智能构建与更新规划实践

3.1 案例背景与研究目标

昆山中心城区作为长三角城市群高

密度建成区的典型代表，为验证微绿系统智能优化方法提供了理想的实证基础。城区部分社区人口密度超 3 万人/km²与既有“昆小微”项目空间分布失衡并存，精准折射出当前城市更新中的核心矛盾：

一方面,高密度催生了对绿色空间服务的迫切需求;另一方面,既有的机会主义、项目导向的单体建设模式,已难以在系统层面响应这种复合需求。这种“需求—响应”的结构性落差,并非昆山独有,而是我国快速城市化进程中普遍面临的治理困境。因此,本项目案例不仅是对一套技术方法的检验,更是对一种从“碎片化增补”迈向“系统化协同”的规划范式可行性探索。

以15分钟社区生活圈居住区为基本调控单元,在中心城区共划定107个单元,总面积286 km²,覆盖常住人口145万人。整合最新可获取的百度街景影像(多拍摄于2022—2023年,缺失路段于2025年7月人工补拍)、Google Earth高分辨率遥感影像(2025年2月)、OSM路网与POI数据(2025年7月)、“七普”与WorldPop人口数据(2020年),以及政府提供的“昆小薇”项目清单与更新计划(2025年)。其中:街景影像剔除遮挡严重、成像模糊的样本,遥感影像选取无明显云雾和云影的影像,并进行裁剪、空间配准和人工校核;其余数据经坐标统一、分类归并、空间匹配和生活圈尺度汇总后,共同构成刻画物理空间、社

会需求与政策意图的多维数据底座,为后续模型的“感知—分析—决策”提供基础。

3.2 地从何来——潜地识别结果

根据潜地识别模型应用结果,共识别出16 691处潜地,其中小型潜地占比超85%,且大量集聚于老城核心区与高密度住区[图5(a)和(b)]。这说明,高密度建成区微绿系统的主要增补资源并非传统认知中待开发的“空地”,而是已建成环境中那些功能模糊、价值被低估的“附属空间”。它们与居民日常活动轨迹高度耦合,这为后续通过“微更新”手段激活其服务效能提供了先决条件。反之,外围工业区虽存在较大面积潜地,但与生活服务需求联系较弱,近期转化价值相对有限。由此可见,微绿系统构建应优先遵循“生活服务逻辑”,而非单纯依赖“土地供给逻辑”。算法在此主要发挥全域识别和资源发现作用,拓展了规划师对存量空间的认知边界。

3.3 何地更优——结构优化结果

适宜度评测结果显示,高适宜度潜地主要分布于老城核心区和高密度住区

的生活性道路沿线。这些地段虽面积局促,但人口密度高、服务需求强,具备较强的微绿空间转化价值。然而,单纯按适宜度排序进行建设,很可能导致资源向本就条件较好的区域进一步集聚,加剧空间不公。因此,布点优选模块依托NSGA-Ⅱ算法引入单元增补配额救济机制,强制在“提升系统绩效”与“兼顾增补公平”等多目标间进行权衡。

模型在预算上限、现状绿地分布、潜地适宜度和实施条件等约束下,综合绿地可达性、需求响应性和生态连通性目标,生成1747处优先更新潜地。其中,面积不超过2000 m²的小型潜地占比86%,且多位于沿街地段[图5(c)]。方案评估结果显示,各单元绿地面积基尼系数改善24%,服务半径覆盖率提升17%,平均需求响应度提升27%。这表明,分布式、小规模、精准的“针灸”,可以在不依赖大规模土地供给的前提下,有效改善高密度建成区绿色空间的整体结构绩效。这为“城市更新不是大拆大建,而是系统调优”的理念提供了量化依据。

3.4 地如何用——设施配置结果

供给评估识别出具备设施增补潜力的场地3046处,约为现状官方统计健身设施数量的12倍,说明存量微绿空间具有较强的功能补足潜力。设施优选模块调用NSGA-Ⅱ算法,将人群需求分布、潜地空间承载力和不同设施类型的底限尺寸进行耦合,形成设施配置方案。推荐方案中,小型正规及非正规健身设施占比超65%,成为补短板的主体[图5(d)]。可见,在高密度城区,微绿系统服务效能提升应更多依托小型化、日常化和嵌入式设施配置,而非单纯追求设施等级。方案评估结果显示,大中型和小型健身设施服务覆盖率分别提升48%和34%,调控单元健身设施数量和场地面积基尼系数分别改善33%和43%,远超微绿空间面积增幅。这说明,在资源增量受限的约束下,通过优化存量空间的要素配置,可以释放出比单纯增加面积更显著的综合效益。

3.5 地何时用——时序安排结果

发展时序模型将前序布局结果进一步转化为分阶段实施建议。模型结合各单元的问题强度与上位更新计划,识别

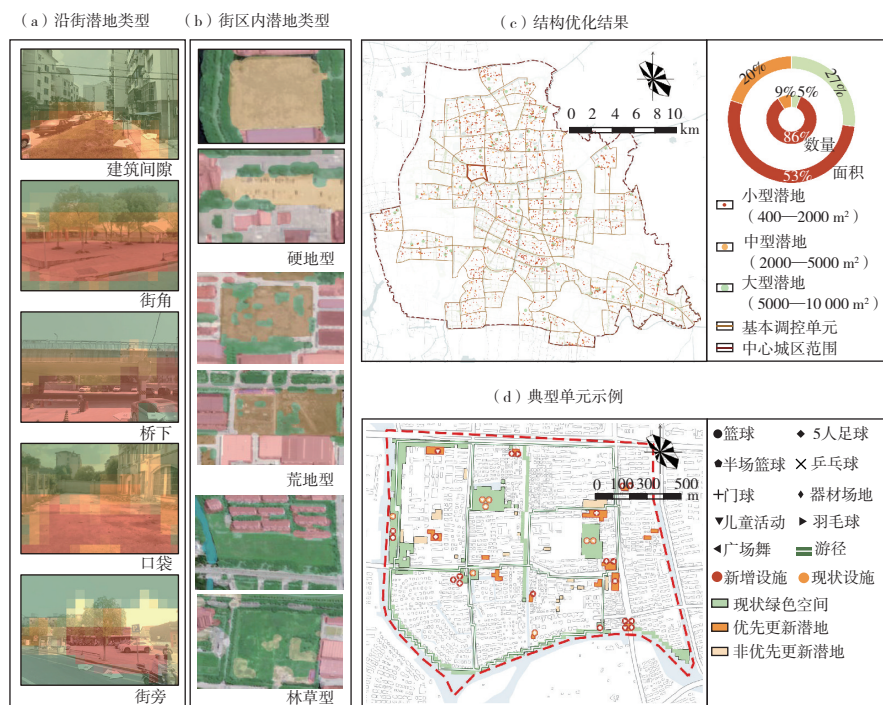


图5 潜地识别、结构优化与典型单元综合配置结果

Fig.5 Results of potential site identification, layout optimization, and integrated configuration in a typical unit

出15个重点示范单元,确保有限资源优先投向矛盾最集中、撬动效应最强的地区。其次,将地块分为优先建设(示范单元内优选)、次优先(非示范单元内优选)和远期收储等三个等级。该分层结果有助于将静态布局方案与财政节奏、权属协调和政策衔接等现实条件相结合,为后续滚动实施提供参考。

3.6 成果转译与校核

基于智能体完成的更新规划方案仍需经过转译与校核,方可进入实施流程。转译环节面向两类受众分别展开:面向规划编制与管理端,将推荐地块、设施配置和建设时序等算法结果,转化为以15分钟生活圈为基本单元的“规划设计导则”,用以衔接现有规划编制体系与行政审批流程;面向社会和实施端,将方案空间布局与设施配置意图转化为“沟通工作手册”,用以支撑社区层面的方案解读与意见征询及实施过程中的工作环节衔接。

校核环节依托APP与社区工作坊采集居民反馈,对方案的空间绩效与社会接受度进行交叉验证。反馈结果显示,采样社区方案对各年龄群体需求响应度均超85%,表明推荐方案与居民实际使用需求具有较好一致性。上述转译与校核工作使算法生成的“最优解”能够进入公共讨论、行政决策与实施监管流程,增强了规划方案的可沟通性与可执行性。

4 进一步思考与讨论

4.1 应用特点

本研究构建的城市微绿系统更新规划智能体,面向高密度建成区微绿空间随机增补、系统协同不足和实施转化困难等问题,在理论认知、技术方法、系统架构和实施路径等四个层面形成了区别于传统规划范式的贡献。

(1) 规划认知层面:从“地块供给”到“系统服务”。传统模式将微绿空间视为独立评估、逐个落地的建设对象,其价值判断停留在“该地块是否适合建绿地”的单体层面。本文提出的“微绿系统”规划模型突破了这一认知局限——规划的基本单元不再是单个潜地,而是生活圈尺度上功能互补、协同增效的空

间集合。这一认知转变回答了“为何分布式、小规模潜地的组合能够产生超越单体潜力简单叠加的系统增益”,为高密度更新场景提供了有别于传统“见缝插绿”的理论解释框架。

(2) 技术方法层面:从“人工踏勘”到“多源智能感知”。传统方法依赖规划底图判读和人工现场踏勘,对于用地条件清晰、边界明确的单个地块尚能做出较为可靠的评估,但小微潜地规模小、分布散、形态杂,大量空间隐没于道路边缘、街角缝隙、建筑退界和社区内部,传统方法在识别环节即存在“看不清、跑不全、查不深”的困境。与之相比,本文构建的规划智能体在信息采集、分析精度和分析广度等三个维度上形成了差异化优势:信息采集上,融合街景影像、遥感解译与多源时空数据,突破了传统踏勘的视野局限,将隐性潜地纳入识别范围;分析精度上,通过深度学习模型对潜地规模、形态、界面环境及设施供给条件进行定量化评测,相较人工定性判断具有更高的细粒度和可重复性;分析广度上,以标准化流程覆盖全域107个生活圈单元,实现了人工难以企及的规模化筛查与跨单元横向比较。

(3) 系统架构层面:从“孤立模型”到“连续决策链”。在感知层获取的多源数据基础上,本研究进一步解决“如何将信息转化为规划判断”的问题。这一层面的核心贡献并不在于底层算法的原创性突破,而在于面向具体规划任务的模型适配与连续决策链集成,具体体现在两个递进环节:一是单体模型构建——面向潜地识别、适宜度评测、布点优选、需求识别、供给评估和设施配置等规划任务,对图像识别、目标检测和多目标优化等算法进行场景适配、指标构建和结果校验,使算法输出能够直接服务于具体规划判断;二是连续决策链集成——通过数据衔接、指标传导、约束嵌入和结果校核,将各单体模型整合为可连续运行、可比较、可解释的辅助决策链,使规划分析从单点判断走向系统比较,使方案生成从人工枚举走向组合优选。算法模块主要承担信息提取、方案生成和多目标比较功能,最终方案由规划师结合地方知识、现场条件和公众反馈进行校核。由此,规划判断由经

验直觉转向“模型生成—规划校核—反馈修正”的辅助决策过程。

(4) 实施路径层面:从“静态蓝图”到“滚动治理”。既有规划止步于推荐布局方案,对实施转化关注不足。该研究通过发展时序模型将优选结果与财政节奏、权属谈判和政策窗口等现实约束对接,将系统的规划方案转化为可分阶段推进、可持续校核的实施路径。这一设计使“微绿系统”规划的理论模型具备了应对建成区更新不确定性条件的适应能力,规划方案不再是“一次性画完的蓝图”,而是可在实施过程中根据反馈持续修正的“动态框架”。而智能体的输出结果还需经过转译与校核——通过规划设计导则衔接行政决策流程,通过公众沟通手册支撑社区协商,通过居民反馈进行方案校核——才能进入公共讨论、行政决策与实施监管流程,使算法生成的“最优解”具备可沟通性与可执行性。

4.2 局限与改善方向

智能优化方法实现了从“地块”到“系统”的认知跃迁,但城市更新本质上仍是社会、空间与治理共同作用的过程,模型对政策统合、基层协商等“软约束”建模能力有限。

(1) 政策统合作用难以量化建模:城市更新中的关键决策常受制于更高层面的政策统合与协调——哪些潜地由市级统建、哪些由区级落实、哪些纳入社区微更新,背后涉及行政协商、资源分配和治理体系运行,此类制度性协调工作难以转化为模型参数或算法约束。这也正是在发展时序模型中采用规则判定而非纯算法求解的原因所在。

(2) 居民深度协商与基层民主实践难以被算法替代:绿空间的合理性最终检验标准是使用者的满意度。选址、设施配置和后期运维涉及产权协调、偏好差异、社区组织和居民自治等问题。技术上可行的方案还需经过社会协商和在地调整,才能转化为可实施、可持续的更新项目。

(3) 常态化应用仍受数据、技术和合规条件制约:研究框架依赖街景、遥感、POI、人口等多源数据,但转化为基层部门长期使用工具时,面临数据获取与更新成本、技术门槛等现实压力。数

据质量受平台更新周期、影像质量和空间偏移影响,模型运行与结果解释亦对基层部门数据处理能力提出要求。此外,街景采集、行人识别和居民反馈涉及隐私合规,后续应用需加强数据脱敏与用途限定。

(4) 长期运行效能尚未得到充分验证:推荐方案在服务覆盖、需求响应、绿地公平性和设施供需匹配等方面的改善,以及居民反馈的一致性,仍不能直接等同于建成后的长期效果,后续需通过建成后评估,持续跟踪使用频率、满意度、设施完好率与服务公平性等指标。

5 结语

本研究为高密度建成区微绿系统更新提供了一条“可计算、可协同、可滚动”的技术路径。规划智能体的构建,本质上是将“微绿系统”理论嵌入规划决策过程的一次方法探索,它使分散的存量空间能够在系统逻辑下被重新识别、组织和激活,为存量更新阶段的绿色空间治理提供了一种有别于传统“自上而下指标管控”和“自下而上项目申报”的“系统统筹+智能辅助”的新路径。与此同时,技术理性仍有边界。潜地转化、设施配置和建设时序不仅取决于模型判断,也受到权属协调、资金安排、公众协商和后期运维等因素影响。未来需进一步探索“智能优化+制度设计”的协同机制,提升模型对治理逻辑的适应性,并将算法输出嵌入公众参与、行政决策和建成后评估过程,使规划智能体既能支持方案生成,也能服务于实施过程中的持续校核和滚动调整,为我国存量更新阶段的绿色空间治理提供更加清晰、可比较和可协同的决策支持。

参考文献

[1] 王世福,易智康,张晓阳.中国城市更新转型的反思与展望[J].城市规划学刊,2023(1):20-25.
[2] Zhou C, An Y, Zhao J, et al. How do mini-parks serve in groups? a visit analysis of mini-park groups in the neighbourhoods of Nanjing[J]. Cities, 2022, 129: 103804.
[3] 周聪惠.城市微绿地的基本属性与规划关

键问题[J].国际城市规划,2022,37(3):105-113.
[4] 稻雨桐,胡坤宇,李雄,等.从布局到功能:“口袋公园簇”协同设计模式[J].风景园林,2024,31(2):95-101.
[5] 住房和城乡建设部办公厅.关于推动“口袋公园”建设的通知:建办城函[2022]276号[EB/OL].(2022-07-29)[2026-07-20].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/09/content_5704766.htm.
[6] 潘剑峰.上海老城厢里的口袋公园实践[J].中国园林,2019,35(增刊2):46-50.
[7] Liu S, Wang X. Reexamine the value of urban pocket parks under the impact of the COVID-19[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, 64: 127294.
[8] 周聪惠,宋鑫鑫,杨柳一.适应复杂建成环境的口袋公园智能化选址方法[J].中国园林,2025,41(8):51-57.
[9] Rosso F, Pioppi B, Pisello A L. Tactical urban pocket parks (TUPPs) for subjective and objective multi-domain comfort enhancement[J]. Journal of Environmental Management, 2024, 349: 119447.
[10] 周聪惠,张斌.高密度城区小微公园绿地布局调控方法[J].中国园林,2021,37(10):60-65.
[11] Ma G, Pellegrini P, Han H. The vitality of pocket parks in high-density urban areas: an evaluation system from the users' perspective in southwest China[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2025, 104: 128596.
[12] 朱德妮,李翅.城市绿地系统规划中社区生活圈规划理念运用策略:以岳阳市为例[J].中国园林,2024,40(7):97-103.
[13] Kabisch N, Egerer M. Resetting the clock by integrating urban nature and its biodiversity into the 15-minute city concept[J]. Nature Communications, 2025, 16(1): 9281.
[14] 孙睿,李一辰,王柯力,等.基于空间潜力评价的老城区微绿地营造路径:以北京模式口街区为例[J].中国城市林业,2021,19(3):67-72.
[15] 陈旭阳,杨俊宴,邵典,等.“人地业”协同视角的城市低效用地逐级智能识别[J].城市规划学刊,2025(6):90-98.
[16] Zhou C, Yang L, Jiang Z, et al. A deep learning approach to identify potential sites for pocket park installation in Nanjing, China[J]. Journal of Urban Technology, 2024, 31(4-5): 191-217.
[17] Zhou C, Zhan H, Zhang S, et al. Investigating environmental influence on active travel of multi-ages: a deep learning-based approach[J]. Cities, 2026, 172: 106897.
[18] Zhou C, Liu J, Tao C, et al. How does group availability affect distributional equity of outdoor physical activity facilities? evidence from Nanjing, China[J]. Local Environment, 2025, 30(5): 669-690.
[19] 冯斐菲.公益基金撬动城市小微公共空间改造提升[J].建筑学报,2022(3):28-32.
[20] 钮心毅,刘思涵,林诗佳,等.大模型融入城市规划专业工作的技术范式与模型构建[J].城市规划学刊,2026(1):21-28.
[21] 田莉,于江浩,林雨铭,等.生成式人工智能赋能城乡规划治理决策新范式:基于复杂系统视角[J].城市规划,2025(6):4-15.
[22] 周聪惠,张诗宁.更新背景下城市绿地规划的智能化路径框架[J/OL].中国园林,2025.<https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=ZGYL20250827001>.
[23] 刘颂,董宇翔,裴新生,等.基于NSGA-II算法的绿色基础设施多目标空间优化[J].风景园林,2024,31(4):95-103.
[24] Feng L, Mi X, Yuan D. Optimal planning of urban greening system in response to urban microenvironments in a high-density city using genetic algorithm: a case study of Tianjin[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 87: 104244.
[25] Zhou C, Zhang S, Zhao M, et al. Investigating the dynamicity of sentiment predictors in urban green spaces: a machine learning-based approach[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2023, 89: 128130.
[26] 杨俊宴,张钟虎,史宜.面向城市更新的城市设计公众参与数字平台探索:以南京阅江楼片区为例[J].城市规划学刊,2024(3):74-81.
[27] 周聪惠,陶成蹊,刘婧方,等.基于弹性共享的户外健身设施群体需求响应评测研究[J].风景园林,2024,31(2):48-55.

修回:2026-06