

研究论文

AI 驱动下城市空间营造与设计的研究进展与展望

孔宇^{1,4}, 甄峰^{2,5*}, 黄芸璟^{3,5}, 陈翰新^{3,5}

摘要 人工智能(artificial intelligence, AI)正日益成为推动城市空间营造与设计智能化转型的重要技术力量。从城市空间要素识别与测度、城市空间规划与设计、城市空间运营管理3个维度系统梳理了AI技术应用的相关研究进展。其中,城市空间要素识别与测度主要涉及要素感知与量化、空间功能识别与模式挖掘,城市空间规划与设计则重点聚焦城市设计支持以及土地利用识别、评价、配置与优化,城市空间运营管理则主要涵盖实时监测及交通、能源、安全和公共服务等领域的运营与管理优化。在此基础上,进一步从坚持人居环境提升与可持续城市建设导向、构建AI驱动的技术融合与人机协作新模式、完善AI赋能的城市空间营建规范3个方面展望未来发展方向,以期为AI赋能城市空间营造与规划实践提供参考。

关键词 人工智能;城市空间;空间营造;城市设计;城市规划

在过去的数十年里,中国的城市建设已取得了巨大的发展,并逐步迈入智能化的新时代,城市的发展与建设也呈现出向数字化和智能化转型的明显趋势^[1]。在2024年,国家发展和改革委员会等多部委发布的《关于深化智慧城市发展 推进城市全域数字化转型的指导意见》提出,要“推进城市数字化转型、智慧化发展,鼓励发展基于人工智能等技术的智能分析、智能调度、智能监管、辅助决策,全面支撑赋能城市

数字化转型场景建设与发展”。2025年中央城市工作会议也进一步明确要“着力建设便捷高效的智慧城市”。从国家的政策导向看,中国智慧城市建设已进入关键发展阶段,对于城市空间的营建和规划而言,也需要顺应技术发展的趋势^[2],识别技术的作用并善用技术。

近年来,随着人工智能技术体系的持续发展,其在城市研究中的应用路径也不断拓展。从技术演进视角来看,早期研究主要依赖如随机森林、支持向量机等传统机器学习方法,对城市空间数据进行分类、回归与模式识别,侧重于特征学习^[3-4]。随后,随着深度学习的发展,以卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)和循环神经网络(recurrent neural network, RNN)等为代表的方法显著提升了对遥感影像、街景图像等多源时空大数据的处理能力,使城市空间要素识别、过程模拟、规律预测更加精细化与自

1. 中国矿业大学建筑与设计学院,徐州 221116

2. 南京大学建筑与城市规划学院,南京 210093

3. 重庆市规划设计研究院,重庆 401120

4. 城市AI与绿色人居环境营造省高校重点实验室,南京 210093

5. 自然资源部国土空间规划监测评估预警重点实验室,重庆 401147

收稿日期:2025-10-28;修回日期:2026-04-13

基金项目:国家自然科学基金重点项目(42330510);国家自然科学基金青年项目(C类)(42501230);中国矿业大学教学研究与改革专项一般课题(2026JY60)

作者简介:孔宇,副教授,研究方向为智慧城市规划,电子信箱:kongyu.up@outlook.com;甄峰(通信作者),教授,研究方向为智慧城市、大数据与城市规划等,电子信箱:zhenfeng@nju.edu.cn

引用格式:孔宇,甄峰,黄芸璟,等. AI驱动下城市空间营造与设计的研究进展与展望[J]. 科技导报, 2026, 44(16): 158-168; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2025.10.00109

动化^[5]。最近,以大模型为代表的生成式人工智能(artificial intelligence generated content, AIGC)快速兴起,在计算机视觉、大语言模型、生成式设计与预测建模等领域取得突破性进展,进一步推动 AI 从“识别与预测”向“生成与交互”拓展^[6-11],具备生成与优化设计方案、动态模拟空间演化以及辅助决策的能力^[12-14]。因此, AI 正逐步成为推动城市空间建设与管理智能化的重要支撑。面对 AI 影响下城市空间建设的新机遇与变革,本研究聚焦于 AI 赋能的城市空间营造与设计,梳理和总结 AI 在城市空间要素识别与测度、城市空间规划与设计支持、城市空间运营管理方面的研究进展,并对 AI 驱动的城市空间营建研究的重点方向进行展望(图 1)。

1 城市空间要素识别与测度

准确识别和量化城市空间要素是城市规划的重要基础工作,过去常依赖人工调查、统计数据分析和遥感影像判读等方式,通常成本高昂,阻碍了大规模分析,难以保证结果的客观性与时效性。而 AI 技术的发展为城市空间要素的精准识别和测度提供了新方式,为城市空间要素感知提供了新的技术路径,提升了城市空间要素识别的精度和效率。

1.1 要素感知与量化

随着街景、轨迹等各种类型数据源的出现,在城

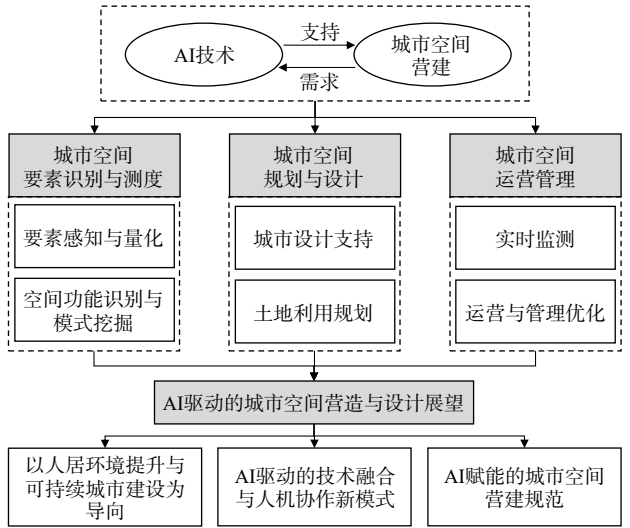


图 1 AI 驱动的城市空间营造与设计研究框架

市空间的要素感知与量化中,不同的研究也基于各类语义分割、对象检测、图像分类等 AI 应用技术的组合,在数据分析和信息提取方面进行了相关探索(表 1)。例如, AI 技术可支持自动化处理街景数据,为量化城市建成环境提供了一种客观方法^[15],可通过自动和高效的方式测量人类对大规模城市环境的感知^[16],已被用于评估城市街道绿化^[17]、步行性^[18]、视觉围闭^[19]、安全性和便利性^[18,20]等方面。同时,基于检查的不同空间方面(如建成环境、可步行性等),可被用于分析如城市犯罪、健康、城市活力等与城市社会经济发展和空间营建相关的问题,而分析的结果可为可持续的城市规划提供有价值的信息^[15,18,21-23]。

表 1 不同方法在城市空间要素感知与量化中的比较

方法类型	典型任务	数据类型	优势	局限
语义分割	绿视率计算、街道界面构成识别、地表覆盖分类等	街景图像、无人机图像、高分辨率遥感影像等	空间精度高,可获取连续空间分布信息,适合精细化测度	标注成本高,对计算资源依赖强
对象检测	行人、车辆、设施等物体识别,建筑立面要素提取等	街景图像、监控视频、无人机影像等	可实现多目标识别,并进行数量统计与监测追踪任务	难以处理密集重叠对象,对占比很小、尺寸较小的小目标不敏感
图像分类	空间类型识别、城市功能区划定	街景图像、遥感影像等	适合大规模图像的场景标签化,计算效率高,标注相对简单	缺乏空间细节表达能力,难以支持精细分析
多模态方法	功能识别、空间语义理解、模式挖掘	高分辨率图像、兴趣点、社交媒体文本、轨迹数据等	融合多源信息,语义表达能力强,可建模更复杂的城市现象	数据预处理与对齐复杂,模型构建与训练成本较高,可解释性难度高

另外, AI 技术也使得建筑形态、地表覆盖类型、街区肌理等空间要素的自动识别成为可能,与传统人

工判读相比, AI 支持的方法能够在更大范围和更高时间频率上捕捉空间变化,并且已经广泛应用于城市要

素识别、热环境评估、空间感知等领域^[24-26]。例如,采用卷积神经网络架构在提取城市地区道路和建筑物方面具有有效性和优越性^[27]。而基于地理空间智能(Geospatial AI, GeoAI)的视觉智能可以将卫星光谱信息投影到空间特征上,提取建筑物、道路等城市视觉要素,克服传统地理信息系统(geographic information system, GIS)数据的时空限制,实现对不同区域城市环境的全面表征^[28]。通过集成大语言模型和 BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)建模等先进技术,空间感知分析方法,可以融合城市图像与文本数据,确定涵盖物理空间特征、环境质量和个人体验的城市空间感知主题^[29]。

1.2 空间功能识别与模式挖掘

除空间要素外,空间功能及居民活动模式也是城市空间研究的重要内容。AI 技术通过对多源异构数据的融合与建模,极大地拓展了对空间功能识别和居民活动模式挖掘的深度与广度。

在城市空间功能识别方面,相关研究采用轮换森林算法(rotation forest algorithm)的机器学习集成方法,可以实现从城市用水时间序列数据中提取特征值,对社会经济功能和混合土地利用模式进行分类,展示了非传统数据源在 AI 技术支持下赋能空间功能识别的潜力^[30]。而基于兴趣点(point of interest, POI)数据和城市形态数据,结合机器学习分类等算法实现了对复杂的城市空间功能的分类,为自动识别复杂城市系统背景下城市空间功能的空间异质性和时间变化提供了支持^[31]。还有研究融合了 POI 数据和 Word2Vec 模型,建立了在交通分析区尺度上检测城市空间功能的分析框架^[32]。而融合视觉和语义特征的框架,可以通过对人类活动数据与高分辨率卫星图像的整合,使 AI 模型能够在识别混合空间功能方面实现高精度,为规划者提供对复杂城市环境的详细见解^[33]。

在模式挖掘方面,社交媒体签到、手机信令和轨迹等大数据的应用使得居民的时空行为模式可被捕捉。例如,相关研究利用深度学习模型构建了基于社交媒体数据的分析框架,并通过与精细尺度建筑和土地利用数据进行空间连接,展示了地理标记社交媒体数据在识别城市活动的空间、时间和人口模式方面的应用^[34]。还有学者制定了基于时空知识图谱的手机

数据识别活动位置的方法,通过设计和构建时空知识图谱来存储和组织个人移动信息,为个人活动模式分析提供了更精确的见解^[35]。而结合 LightGBM(Light Gradient Boosting Machine)、BERT 和 DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)模型,通过将多模态出行特征嵌入到矢量空间中,为识别居民多式联运出行模式提供了新的识别框架^[36]。

2 城市空间规划与设计

AI 技术支持的各类应用不仅能够作为识别和测度城市空间要素的工具,还逐渐成为生成与优化城市空间设计方案的重要手段。这种转变为城市空间营造提供了新的范式,即以数据驱动和智能算法为基础,辅助甚至部分替代传统依赖经验与人工推演的规划设计方法。

2.1 城市设计支持

传统的城市设计通常依赖专家经验与案例类比,而 AI 技术的引入则为其提供了更加科学和系统的支持(图 2)。通过将典型的设计过程转变为集成的人机协作机制,计算算法的进步和整合极大地改变了传统的城市设计范式,使设计师能够探索更多的空间解决方案,并支持更为科学的设计决策^[37]。

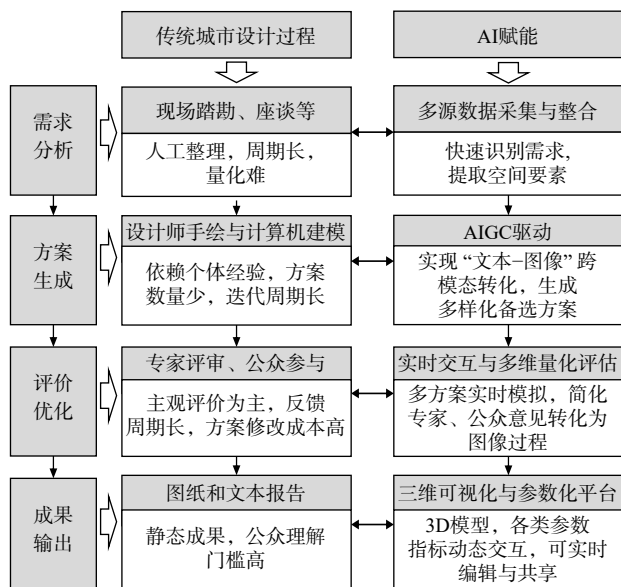


图 2 AI 赋能的城市设计

在空间方案生成方面,随着基于规则的方法和深度学习等技术在城市设计领域的发展,通过将城市元

素编码为参数化或图形数据,将设计性能编码为数学函数或约束,或者在对大量城市街区、建筑群的形态数据进行训练后,学习不同空间形态之间的隐含规则,并在此基础上生成设计方案^[37-39]。例如,相关研究融合深度卷积神经网络、基于案例的推理和生成对抗网络等技术构建了 Urban-GAN 模型,可以实现把抽象的“城市设计知识”转化为可计算的“密度函数”,并利用这些知识生成不同风格的设计方案^[40]。还有研究构建了用于自动建筑布局生成的站点嵌入式生成对抗网络(site-embedded generative adversarial networks, ESGAN),该模型在生成过程中加入了条件向量,以提高不同设计场景下的性能,用于自动生成涉及建筑物数量、建筑面积、平均建筑高度等内容的建筑布局^[41]。最近, AIGC 的发展使得从“文本—图像”的跨模态转化成为可能,例如已有学者结合 Stable Diffusion、ControlNet 和 LoRa 算法,开发了一种从文本到图像的 AIGC 工具,能够生成更精细、更具视觉吸引力且结构更连贯的设计,并应用于自然公园、城市广场和庭院花园 3 类景观设计场景中^[42]。

在方案评价与优化方面,考虑到城市设计所应用场景的多样性需求, AI 支持的城市设计类应用能够面向不同情境导向,基于模拟与预测算法实现对设计方案的多维评估。相关研究开发了城市设计方案的可视化平台,可利用 3D 几何模型交互展示设计方案的边界、环境和建筑分布,结合电子表格定量呈现建筑参数和性能指标,以突出不同设计方案间的差异^[43]。还有研究聚焦街道设计,通过整合先进的计算机视觉和聚类方法,系统评估街景美学和设计质量,为创造可持续、美观的环境提供了可行的见解,有助于指导城市街道设计实践^[44]。此外,还有学者提出了一种将 AIGC 文本到图像的工具集成到参与式设计过程中的新方法,结合在参与式讨论中收集的关键词,简化将参与式讨论内容转化为图像输出的过程,能够在较短的时间内实现协作式设计开发^[45]。

2.2 土地利用规划

随着城市的不断扩张和发展,城市土地利用的复杂性也在不断升级,传统的土地利用规划往往依赖静态数据与经验推测,难以捕捉和应对快速变化的城市发展需求。 AI 成为应对这些挑战的有力工具,有助于增强土地利用的规划流程,提高土地资源的有效配

置^[8,24,46-47]。

土地利用识别与评价方面, AI 技术可以集成不同数据集,实现对城市土地利用复杂性的有效绘制^[24],例如融合大数据和机器学习的方法,可以实现从精细尺度上对土地扩张的时空差异及其决定因素的分析,为决策者更好地规划和管理城市土地提供支持^[48]。通过结合机器学习方法与全面的土地价值决定因素特征集,可以实现对城市土地价值的精确空间测绘,为规划者评估土地利用策略、构建可持续的住房系统提供决策支持^[49]。而考虑城市土地利用的综合性、空间性和复杂性的深度学习方法,可以实现对城市土地集约化利用水平的评价,支撑城市空间扩张模式、土地整合与开发、保护区建设强度控制等内容确定^[50]。

土地利用配置与优化方面, AI 支持的方法能够突破传统人工推演的局限,使土地利用规划更具科学性和可操作性。基于土地价值的生成对抗网络(land value generative adversarial networks, LVGAN)框架,其将土地估价视为图像生成任务,可以有效模拟公共投资对土地价值的影响,实现对土地价值分配变化的预测^[51]。而利用生成对抗网络,基于收入水平、住房密度和就业率等历史社会经济与空间数据生成真实的土地利用配置,可以支持城市土地利用优化改进决策的制定^[52]。基于遗传算法与博弈论的土地利用空间优化模型,可以通过模拟诸如城市扩张与农业保护等竞争需求的博弈来协调局部土地利用冲突,服务于制定更具社会平衡性的城市发展战略^[53]。

3 城市空间运营管理

AI 的引入使城市空间的运营管理从传统依赖经验与静态指标,转向基于数据驱动的实时感知与智能决策。通过 AI 支持的多源数据采集与模型分析的融合,能够实现对交通、能源和人群活动等的动态监测,并在异常预警、资源调度和系统优化中发挥重要作用,支持城市运营管理向精细化、智能化方向转变。

3.1 实时监测

实时监测是城市智慧运营的基础,随着物联网传感器、遥感卫星、无人机、移动通信数据和视频监控等多源数据不断汇集,城市逐渐形成了庞大而复杂的

“感知网络”。然而,这些数据类型多样、规模巨大,传统分析方法难以高效处理,而 AI 技术支持的大数据分析方法能够在其中提取有价值的信息。例如,计算机视觉算法可以基于视频数据自动识别交通流量、车辆类型与行人密度^[54]。而结合遥感或物联网传感器数据的各类如图像分割、机器学习等 AI 支持的方法,能够监测地表温度^[55]、植被变化^[56]和环境污染状况^[57]。结合社交媒体数据的自然语言处理方法可以捕捉市民对城市设施的即时反馈^[47,58-59]。

另外, AI 模型还可以基于实时数据对城市不同方面进行评估,为政策制定提供支持。例如,基于机器学习和计算机视觉的实时测量街道活动的监测框架,可以区分不同类型的行人活动、街道上的汽车数量和移动模式,为城市研究人员提供了监测城市空间在一段时间内使用情况的工具^[60]。AI 还被用于监测和预测城市的犯罪热点,可以更准确、快速地可视化和预测不同街区的犯罪分布,为工作人员进行安全规划和设计提供依据,以帮助提高地区的安全性^[61]。融合车载摄像头和深度卷积神经网络模型的方法也已被用于城市垃圾监测,有助于了解城市垃圾源,为制定管理城市垃圾的策略提供支持^[62]。

3.2 运营与管理优化

AI 技术已经开始应用于交通运营、能源与安全、社会与公共服务管理等与人居环境息息相关的不同方面,从单纯的数据分析演变为 AI 驱动、主动的城市空间运营管理。未来的城市不仅可以预测变化,还将通过决策和自主适应来影响城市的运营管理^[8,63-64]。

在交通运营方面, AI 的强化学习和智能调度算法已被广泛应用。例如, AI 驱动的多式联运公共交通系统将显著提升城市交通网络的运营效率,通过智能调度、路线优化和多式联运的集成,实现对复杂、动态的乘客出行需求的响应^[65-66]。而整合 AI 技术和居民主观感知数据,有助于构建一个感知、理解和迭代的自治反馈循环,使城市能够根据居民主观反馈及时调整交通策略^[67-68]。另外, AI 驱动的交通效率优化也将助力减少无效出行的碳排放,推动城市向绿色交通方向发展^[69-71]。

在能源与安全方面, AI 也展现了巨大潜力。例如, AI 方法提高了全球废水处理效率,并且可以根据具体需求定制 AI 策略以提升处理设施性能并支持可

持续发展目标^[72]。在建筑能源管理中, AI 已经越来越多地集成到建筑能源管理系统中,通过实现实时监控、预测分析和自动化控制,提高了建筑能源效率和可持续性^[73]。在安全方面, AI 支持的如地理空间分析、遥感技术、事故和热点分析等应用,已经广泛应用于洪水、地震、疾病等各类城市灾害管理的不同阶段,并成为城市灾害管理的关键支持工具,可以帮助政府在灾害发生后快速做出决策响应^[74]。

AI 在社会与公共服务管理中也逐渐发挥作用。AI 技术和人类流动数据的结合,可以识别居民活动类型,追踪人口流动模式与社会经济属性之间关系^[67]。例如,结合智能卡交易数据的模型可以在空间和时间上量化、可视化和检查大都市区的城市居民的活动景观,为城市提供实时决策支持^[75]。融合可解释的 AI 技术和公共交通大数据,验证了新兴人口流动数据在精细化收入估算与社会空间不平等研究中的有效性,为可持续和包容性城市发展的研究提供了分析工具^[76]。而在公共服务管理方面, AI 技术支持的数字化城市设施已成为包容性和可持续城市发展的重要内容,为政府配置公共服务提供了新渠道,其允许用户远程访问医疗、教育等服务,增强了偏远地区的城市公共服务可达性,提高了服务效率和可靠性^[77]。

4 AI 驱动的城市空间营造与设计展望

AI 的快速发展正在深刻改变城市规划的理念与实践, AI 支持的各类应用已逐渐成为应对复杂城市空间营造和多样化社会经济需求的重要工具,其支持的数据驱动方法正在重塑城市治理的决策与政策制定方式^[63]。随着 AI 技术的持续演进与融合,不同于传统城市规划以人工为主的工作模式,城市规划正经历向 AI 赋能的智能化转型^[78-79], AI 技术可以使规划人员能够实时处理庞大的城市大数据,识别潜在模式和趋势,并通过建模与模拟提供更具前瞻性的预测^[8]。这一转变不仅增强了决策的精细化与科学性,也提升了城市规划的创造力。

4.1 以人居环境提升与可持续城市建设为导向

技术进步会驱动规划范式演进,而城市空间、技术与规划三者的螺旋式互动也推动城市规划由早期的理念探索走向以空间规律为基础、AI 深度赋能、覆

盖全要素的智能化新阶段^[80]。在 AI 蓬勃发展的新时期,虽然 AI 技术已经被越来越多地用于应对城市的经济、社会、环境和治理挑战,但是需要说明的是,规划的核心仍是要把握“人-技术-空间”三者关系^[81],并明确人居环境提升和可持续发展的城市规划价值导向。特别是面对城市日益增长的各类多源数据,其对人类活动的记录能够精准呈现个体与城市空间的交互关系、群体之间的联系以及个体行为的空间格局,而 AI 算法与模型则提供了分析大数据、识别规律和生成智能决策的能力^[82-83],可以帮助我们理解和揭示宏观复杂的社会经济现象及背后的影响机理,为有效解决不断增长的城市复杂可持续性问题的提供支撑。因此,在新时期亟需依托 AI 构建更加智能化与高响应性的城市规划体系,使其能够实时适应城市空间与居民不断变化的需求,有效应对复杂的人居环境问题,并提供更具可持续性的解决方案^[84-85],实现技术赋能的城市规划回归以人为本,并强化理性决策,更好地把握城市发展规律^[4,80],推动城市向着“可感知、能学习、善治理、自适应”的智慧化人居环境营造方向发展。

4.2 AI 驱动的技术融合与人机协作新模式

随着 AI 在城市空间研究与实践应用中的不断深入,未来的城市规划将由“人工驱动”迈向 AI 支持的“智能驱动”。AI 不再仅是一类“技术”或“工具”,未来的城市空间营造将越来越依赖 AI 支持的数据、算法与模型等工具的深度整合,其强大的分析、拟合、预测等能力为实现人机协作新模式的形成提供了可能。首先,在“政府人员-机”方面,AI 技术通过对多源大数据的实时处理与智能分析,实时精准地识别城市问题和潜在风险,为政府管理部门提供更精准、科学和高效的政策与规划决策支持。其次,在“规划人员-机”方面,AI 在城市规划中的辅助和增强作用逐渐显现^[79],诸如 AIGC 等新兴工具能够辅助规划人员进行复杂空间情境的模拟、方案比选与设计优化,从而提升空间营造的创造力与科学性,支持更好的空间营造方案与设计。而大语言模型的发展强化了其在自然语言理解、推理与问题求解方面的综合能力,使其能够在规划文本编制、空间分析支持与信息整合等环节发挥重要的辅助作用^[6,10]。最后,在“公众-机”方面,AI 支撑的交互式平台和可视化工具能够为

公众提供更直观的规划信息理解渠道,并便于其就城市决策表达个体诉求,可以提高公众参与度并简化规划流程^[58-59,86]。

但需要注意的是,在人机协作的实际应用过程中,政府人员和规划人员的技术采纳行为受到感知有用性、易用性及专业背景等因素影响,对 AI 工具的接受度与使用能力可能存在差异,同时既有的工作范式也可能形成路径依赖,从而限制他们对 AI 批判性、创造性地使用^[87]。与此同时,公众在数字能力方面的差异亦可能影响参与效果,不同群体在信息获取、理解能力以及技术接受和使用程度上的差异^[88],也会影响公众在城市空间营造相关议题中的参与质量。因此,考虑到人工智能和人类智能的融合对于充分解决城市化问题和实现城市智能和可持续发展的重要性^[8],这也需要加强规划专业人员和公众的 AI 技术应用能力建设与制度引导,降低 AI 技术应用门槛,促进多层次、多主体的新型人机协同模式的形成,提升多主体协同的有效性,为实现公众参与的广泛性提供可能,增强城市治理效率和规划设计的科学性。

4.3 AI 赋能的城市空间营造规范

虽然 AI 在空间要素识别、设计生成与运营管理等方面已展现出巨大潜力,但其应用仍伴随着一系列潜在风险。比如 AI 驱动的城市空间分析需要大量数据才可以实现较全面的洞察,这些数据涉及居民的各类行为习惯信息,这也带来了潜在的监控问题,并可能侵犯个人和群体的隐私^[89-91]。另外,某些性别、年龄或特殊群体在数据集中缺失,会导致算法模型因训练数据偏差产生具有偏见的结果^[92-93],这些偏见可能无法充分代表城市不同群体的多样化需求,并影响公共资源配置的公平性,导致城市向着不均衡方向发展^[91]。因此,如何建立科学合理的规范体系,已成为未来城市发展的关键议题。首先,有必要在数据与算法层面建立规范,明确数据采集、处理与应用的规则^[8,94-95],同时还需要加强模型的透明性与可解释性,避免“黑箱化”影响规划与设计的合理性,使规划人员能够理解其逻辑^[24]。其次,要重视 AI 支持的城市规划与设计的规范化引导,建立基于 AI 的设计流程规范,明确人机协作的责任边界,避免出现“技术取代人”的误区。最后,还应重视 AI 驱动的城市空间营造在支持社会公共价值实现方面的作用,考虑如何利用

AI 保障城市服务、基础设施和发展机会的公平获取^[85,96],这也有必要引入伦理审查与社会监督机制,以避免因算法优化而加剧空间不平等。因此,推动 AI 赋能的城市空间营造规范建设,是实现技术与实践良性互动的必然要求。只有在科学、透明、具备伦理约束的规范体系下^[97],AI 驱动的城市空间营造才能逐步走向规范化、透明化与制度化的阶段,助力城市人居环境提升和可持续建设。

5 结论

AI 的快速发展正在深刻改变城市空间营建的理念、方法与实践。从空间要素识别与测度,到规划与设计支持,再到空间运营管理,AI 已经可以助力完成一系列城市规划任务,以应对复杂的城市发展挑战,这不仅提升了城市空间分析和实践的精度与效率,更推动了城市规划向更加自主和适应性更强的“智能驱动”方向转型,为应对经济、社会、环境和治理的复杂性,实现人居环境提升、空间优化与可持续发展提供了新的可能。

尽管 AI 在城市空间营建中展现出广泛潜力,但在其实际应用过程中仍面临挑战。首先,现有模型多依赖特定数据分布进行训练,泛化能力有限,限制了在跨城市、跨区域情境下的推广应用。其次,城市系统具有多尺度特征,而当前 AI 应用方法多聚焦于单一尺度的数据建模,跨尺度信息整合与建模能力不足。同时,深度学习及 AIGC 对数据与算力依赖较高,带来较高的能耗与计算成本,而数据异构性与质量差异也将增加模型应用的不确定性。最后,AI 的广泛介入也对以“人”作为设计主体的规划范式提出了新的挑战,AIGC 在方案生成中的高效性可能弱化设计师的主体性与创造性,带来一定程度的路径依赖与设计趋同风险,而算法逻辑的不透明性也可能削弱设计决策的可解释性。因此,这也需要中立地看待 AI 应用于城市空间营建的作用,探索人机协作的新模式,并关注 AI 可能带来的隐私、偏见和不平等复杂问题,建立科学透明且具有动态适应性的规范体系,为 AI 在城市空间领域的广泛应用提供制度保障。

AI 将在未来城市规划与运营中继续发挥重要作用,但 AI 驱动的城市空间营建不应被简单视为技术

演进过程,其应用效果不仅取决于算法与模型本身,还受到社会需求与政策环境的共同塑造,技术应用的边界、数据获取的合规性以及模型结论的采纳方式,均嵌入特定的制度与社会情境之中。因此,AI 在城市空间营建中的价值实现并不在于技术本身,而在于如何将 AI 嵌入城市发展的目标愿景与社会价值体系之中,使其服务于人本需求与理性决策要求。这也要求在推动 AI 应用的过程中,需在技术创新的同时,统筹考虑社会影响与政策环境,促进技术进步、社会认知与治理机制之间的协同发展。只有确保 AI 驱动的城市规划是人本的、科学的、透明的、负责任的,AI 才能真正助力城市人居环境提升和可持续发展,推动城市走向更加宜居和智慧的未来。

参考文献(References)

- [1] 甄峰,孔宇.“人—技术—空间”一体的智慧城市规划框架[J]. *城市规划学刊*, 2021(6): 45–52.
- [2] 吴志强.国土空间规划的五个哲学问题[J]. *城市规划学刊*, 2020(6): 7–10.
- [3] 王存颂,黄经南.城市规划人工智能的应用前景与规划应对:基于人机交互关系视角[J]. *城市发展研究*, 2025, 32(5): 1–7.
- [4] 甘惟.城市生命视角下的人工智能规划理论与模型[J]. *规划师*, 2018, 34(11): 13–19.
- [5] 姚冲,甄峰,席广亮.2023年城市AI研究热点回眸[J]. *科技导报*, 2024, 42(1): 306–313.
- [6] Zheng Y, Xu F L, Lin Y M, et al. Urban planning in the era of large language models[J]. *Nature Computational Science*, 2025, 5(9): 727–736.
- [7] 杨天人,金鹰,方舟.多源数据背景下的城市规划与设计决策:城市系统模型与人工智能技术应用[J]. *国际城市规划*, 2021, 36(2): 1–6.
- [8] Son T H, Weedon Z, Yigitcanlar T, et al. Algorithmic urban planning for smart and sustainable development: Systematic review of the literature[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 94: 104562.
- [9] Batty M. Artificial intelligence and smart cities[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2018, 45(1): 3–6.
- [10] Zhao X K, Huang H, Yang T, et al. Urban planning in the age of large language models: Assessing OpenAI o1's performance and capabilities across 556 tasks[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2025, 121: 102332.

- [11] Fu X Y, Li C S, Quan S J, et al. Large language models in urban planning[J]. *Nature Cities*, 2025, 2(7): 585–592.
- [12] 吴志强, 甘惟, 刘朝晖, 等. AI城市: 理论与模型架构[J]. *城市规划学刊*, 2022(5): 17–23.
- [13] 甘惟, 吴志强, 王元楷, 等. AIGC辅助城市设计的理论模型建构[J]. *城市规划学刊*, 2023(2): 12–18.
- [14] 杨俊宴, 朱晓. 人工智能城市设计在街区尺度的逐级交互式设计模式探索[J]. *国际城市规划*, 2021, 36(2): 7–15.
- [15] Zhou H, He S J, Cai Y Y, et al. Social inequalities in neighborhood visual walkability: Using street view imagery and deep learning technologies to facilitate healthy city planning[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 50: 101605.
- [16] 杨文越, 朱钰娴. “人本转向”下的城市步行环境测度与评价方法研究进展[J]. *科技导报*, 2024, 42(3): 75–88.
- [17] Lu Y. Using Google Street View to investigate the association between street greenery and physical activity[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 191: 103435.
- [18] He X, He S Y. Using mobile phone big data and street view images to explore the mismatch between walkability and walking behavior[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2024, 180: 103946.
- [19] Yin L, Wang Z X. Measuring visual enclosure for street walkability: Using machine learning algorithms and Google Street View imagery[J]. *Applied Geography*, 2016, 76: 147–153.
- [20] He X, He S Y. Using open data and deep learning to explore walkability in Shenzhen, China[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2023, 118: 103696.
- [21] Liang X C, Zhao T H, Biljecki F. Revealing spatio-temporal evolution of urban visual environments with street view imagery[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 237: 104802.
- [22] Marasinghe R, Yigitcanlar T, Mayere S, et al. Computer vision applications for urban planning: A systematic review of opportunities and constraints[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2024, 100: 105047.
- [23] Koo B W, Guhathakurta S, Botchwey N, et al. Can good microscale pedestrian streetscapes enhance the benefits of macroscale accessible urban form? An automated audit approach using Google street view images[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 237: 104816.
- [24] Drici H, Carpio-Pinedo J. Urban land use mix and AI: A systematic review[J]. *Cities*, 2025, 165: 106102.
- [25] Liu B, Song W, Meng Z, et al. Review of land use change detection: A method combining machine learning and bibliometric analysis[J]. *Land*, 2023, 12(5): 1050.
- [26] Chaturvedi V, de Vries W T. Machine learning algorithms for urban land use planning: A review[J]. *Urban Science*, 2021, 5(3): 68.
- [27] Alshehhi R, Marpu P R, Woon W L, et al. Simultaneous extraction of roads and buildings in remote sensing imagery with convolutional neural networks[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 130: 139–149.
- [28] Yu J H, Hu Q, Li J T. Combining visual intelligence and social-physical urban features facilitates fine-scale seasonality characterization of urban thermal environments[J]. *Building and Environment*, 2024, 266: 112088.
- [29] Zhu H X, Chang J, An X Y, et al. Global and local feature extraction of urban historical spatial perception using large language models: A case study of Harbin Central Street District[J]. *Cities*, 2025, 165: 106183.
- [30] Guan Q F, Cheng S J, Pan Y T, et al. Sensing mixed urban land-use patterns using municipal water consumption time series[J]. *Annals of the American Association of Geographers*, 2021, 111(1): 68–86.
- [31] Zhou L L, Shi Y S, Xie M Q. Urban complexity and the dynamic evolution of urban land functions in Yiwu City: A micro-analysis with multi-source big data[J]. *Land*, 2024, 13(3): 312.
- [32] Yao Y, Li X, Liu X P, et al. Sensing spatial distribution of urban land use by integrating points-of-interest and Google Word2Vec model[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017, 31(4): 825–848.
- [33] Guo Y W, Tang J B, Liu H M, et al. Identifying up-to-date urban land-use patterns with visual and semantic features based on multisource geospatial data[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2024, 101: 105184.
- [34] Niu H F, Silva E A. Understanding temporal and spatial patterns of urban activities across demographic groups through geotagged social media data[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2023, 100: 101934.
- [35] Li J, Gan T, Li W F, et al. A spatiotemporal knowledge graph-based method for identifying individual activity locations from mobile phone data[J]. *Journal of Transport Geography*, 2025, 124: 104157.
- [36] Li W X, Ding L Y, Zhang Y L, et al. Understanding multi-modal travel patterns based on semantic embeddings of human mobility trajectories[J]. *Journal of Transport Geography*, 2025, 124: 104169.
- [37] Jiang F F, Ma J, Webster C J, et al. Generative urban design: A systematic review on problem formulation, design generation, and decision-making[J]. *Progress in Planning*, 2024, 180: 100795.
- [38] Wang X, Song Y C, Tang P. Generative urban design using

- shape grammar and block morphological analysis[J]. *Frontiers of Architectural Research*, 2020, 9(4): 914–924.
- [39] Koenig R, Miao Y F, Aichinger A, et al. Integrating urban analysis, generative design, and evolutionary optimization for solving urban design problems[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2020, 47(6): 997–1013.
- [40] Quan S J. Urban-GAN: An artificial intelligence-aided computation system for plural urban design[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2022, 49(9): 2500–2515.
- [41] Jiang F F, Ma J, Webster C J, et al. Building layout generation using site-embedded GAN model[J]. *Automation in Construction*, 2023, 151: 104888.
- [42] Ye X Y, Huang T C, Song Y, et al. Generating conceptual landscape design *via* text-to-image generative AI model[J]. *Environment and Planning B, Urban Analytics and City Science*, 2025, 52(8): 1903–1919.
- [43] Mikkavaara J, Sandberg M. Architectural design exploration using generative design: Framework development and case study of a residential block[J]. *Buildings*, 2020, 10(11): 201.
- [44] Ma H R, Li J, Ye X Y. Deep learning meets urban design: Assessing streetscape aesthetic and design quality through AI and cluster analysis[J]. *Cities*, 2025, 162: 105939.
- [45] Awashra I, Thompson A W, Floress K, et al. Generative AI text-to-image for community participation in landscape planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2025, 264: 105464.
- [46] Yu S H, Yang Y, Li J M, et al. Exploring low-carbon and sustainable urban transformation design using ChatGPT and artificial bee colony algorithm[J]. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2024, 11: 252.
- [47] Wang D J, Lu C T, Fu Y J, et al. Towards automated urban planning: When generative and ChatGPT-like AI meets urban planning[J]. *arXiv*, 2023. doi:10.48550/arXiv.2304.03892.
- [48] Wu R, Wang J Y, Zhang D C, et al. Identifying different types of urban land use dynamics using Point-of-interest (POI) and Random Forest algorithm: The case of Huizhou, China[J]. *Cities*, 2021, 114: 103202.
- [49] Jafari P, Shojaei D, Rajabifard A, et al. Automated land valuation models: A comparative study of four machine learning and deep learning methods based on a comprehensive range of influential factors[J]. *Cities*, 2024, 151: 105115.
- [50] Qiao W F, Gao J B, Liu Y S, et al. Evaluation of intensive urban land use based on an artificial neural network model: A case study of Nanjing City, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2017, 27(5): 735–746.
- [51] Jiang F F, Ma J, Webster C J, et al. Estimating and explaining regional land value distribution using attention-enhanced deep generative models[J]. *Computers in Industry*, 2024, 159: 104103.
- [52] Wang D J, Fu Y J, Wang P Y, et al. Reimagining city configuration: Automated urban planning *via* adversarial learning[C]//Proceedings of the 28th International Conference on Advances in Geographic Information Systems. New York: ACM, 2020: 497–506.
- [53] Liu Y L, Tang W, He J H, et al. A land-use spatial optimization model based on genetic optimization and game theory[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015, 49: 1–14.
- [54] Zeng S Q, Chen X S, Su D, et al. Multi-source data-driven intelligent analysis and decision optimization for high-density pedestrian flows in urban public spaces[J]. *Automation in Construction*, 2025, 177: 106367.
- [55] Sampaio R J, Rodriguez D A, Espindola R P, et al. Spatiotemporal assessment and monitoring of urban heat islands in metropolitan areas using machine learning and downscaling[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2025, 126: 106365.
- [56] Han Y, He J H, Du X P, et al. Reconstructing urban vegetation evolution in China using multimodal deep learning and 30-years Landsat archive[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2025, 103: 128582.
- [57] Illescas-Martinez F, Garcia L, Garcia-Sanchez A J, et al. Air quality forecasting in non-monitored urban areas through machine and deep-learning model[J]. *Expert Systems with Applications*, 2025, 284: 127749.
- [58] Dwivedi Y K, Kshetri N, Hughes L, et al. Opinion paper: "So what if ChatGPT wrote it?" Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy[J]. *International Journal of Information Management*, 2023, 71: 102642.
- [59] Jiang H X, Li M J, Witte P, et al. Urban chatter: Exploring the potential of ChatGPT-like and generative AI in enhancing planning support[J]. *Cities*, 2025, 158: 105701.
- [60] Salazar-Miranda A, Zhang F, Sun M R, et al. Smart curbs: Measuring street activities in real-time using computer vision[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 234: 104715.
- [61] He J Y, Zheng H. Prediction of crime rate in urban neighborhoods based on machine learning[J]. *Engineering Applica-*

- tions of Artificial Intelligence, 2021, 106: 104460.
- [62] Conley G, Zinn S C, Hanson T, et al. Using a deep learning model to quantify trash accumulation for cleaner urban stormwater[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2022, 93: 101752.
- [63] Lartey D, Law K M Y. Artificial intelligence adoption in urban planning governance: A systematic review of advancements in decision-making, and policy making[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2025, 258: 105337.
- [64] Yigitcanlar T, Desouza K C, Butler L, et al. Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: Insights from a systematic review of the literature[J]. *Energies*, 2020, 13(6): 1473.
- [65] Liu Z Y, Wang D Z W, Jiang Y, et al. Special issue on methods and applications for large-scale intelligent transportation systems[J]. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2024, 16(3): 6–8.
- [66] Kuo Y H, Leung J M Y, Yan Y M. Public transport for smart cities: Recent innovations and future challenges[J]. *European Journal of Operational Research*, 2023, 306(3): 1001–1026.
- [67] Xia H S, Liu R W, Li L, et al. The fundamental issues and development trends of AI-driven transformations in urban transit and urban space[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2025, 126: 106422.
- [68] Korecki M, Dailisan D, Yang J, et al. Democratizing traffic control in smart cities[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2024, 160: 104511.
- [69] Li J Y, Zhang Y, Yu S, et al. AI-Driven urban planning optimization: A graph neural network and genetic algorithm framework for tackling peak-hour challenges[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2025, 126: 106407.
- [70] Hong J, Goodchild A. Land use policies and transport emissions: Modeling the impact of trip speed, vehicle characteristics and residential location[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2014, 26: 47–51.
- [71] Wu J S, Jia P, Feng T, et al. Spatiotemporal analysis of built environment restrained traffic carbon emissions and policy implications[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2023, 121: 103839.
- [72] Narayanan D, Bhat M, Samuel P N R, et al. Artificial intelligence driven advances in wastewater treatment: Evaluating techniques for sustainability and efficacy in global facilities[J]. *Desalination and Water Treatment*, 2024, 320: 100618.
- [73] Teixeira B, Carvalhais L, Pinto T, et al. Explainable AI framework for reliable and transparent automated energy management in buildings[J]. *Energy and Buildings*, 2025, 347: 116246.
- [74] Abid S K, Sulaiman N, Chan S W, et al. Toward an integrated disaster management approach: How artificial intelligence can boost disaster management[J]. *Sustainability*, 2021, 13(22): 12560.
- [75] Zhu Y. Estimating the activity types of transit travelers using smart card transaction data: A case study of Singapore[J]. *Transportation*, 2020, 47(6): 2703–2730.
- [76] Gao Q L, Zhong C, Yue Y, et al. Income estimation based on human mobility patterns and machine learning models[J]. *Applied Geography*, 2024, 163: 103179.
- [77] Moghayedi A. Inclusive digitalized urban public facilities for sustainable cities: A comparative user-centered evaluation of benefits and challenges[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2025, 131: 106766.
- [78] Yigitcanlar T, Kankanamge N, Regona M, et al. Artificial intelligence technologies and related urban planning and development concepts: How are they perceived and utilized in Australia?[J]. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2020, 6(4): 187.
- [79] Peng Z R, Lu K F, Liu Y H, et al. The pathway of urban planning AI: From planning support to plan-making[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2024, 44(4): 2263–2279.
- [80] 吴志强, 张修宁, 鲁斐栋, 等. 技术赋能空间规划: 走向规律导向的范式[J]. *规划师*, 2021, 37(19): 5–10.
- [81] 甄峰, 孔宇, 吴志峰, 等. AI赋能的城市研究与规划设计[J]. *城市规划*, 2025, 49(10): 54–62.
- [82] Yigitcanlar T, Corchado J M, Mehmood R, et al. Responsible urban innovation with local government artificial intelligence (AI): A conceptual framework and research agenda[J]. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2021, 7(1): 71.
- [83] Schintler L A, McNeely C L. Artificial intelligence, institutions, and resilience: Prospects and provocations for cities[J]. *Journal of Urban Management*, 2022, 11(2): 256–268.
- [84] Leal Filho W, Mbah M F, Dinis M A P, et al. The role of artificial intelligence in the implementation of the UN Sustainable Development Goal 11: Fostering sustainable cities and communities[J]. *Cities*, 2024, 150: 105021.
- [85] Cugurullo F. Urban artificial intelligence: From automation to autonomy in the smart city[J]. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2020, 2: 38.
- [86] Shin B, Floch J, Rask M, et al. A systematic analysis of digital tools for citizen participation[J]. *Government Information Quarterly*, 2024, 41(3): 101954.

- [87] Malekzadeh M. Urban planners should not be afraid of AI[J]. *Cities*, 2026, 168: 106497.
- [88] Caragliu A, Del Bo C F. Smart cities and the urban digital divide[J]. *npj Urban Sustainability*, 2023, 3: 43.
- [89] Kashef M, Visvizi A, Troisi O. Smart city as a smart service system: Human-computer interaction and smart city surveillance systems[J]. *Computers in Human Behavior*, 2021, 124: 106923.
- [90] Xia L, Semirumi D T, Rezaei R. A thorough examination of smart city applications: Exploring challenges and solutions throughout the life cycle with emphasis on safeguarding citizen privacy[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 98: 104771.
- [91] Sanchez T W, Brenman M, Ye X Y. The ethical concerns of artificial intelligence in urban planning[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2025, 91(2): 294–307.
- [92] Veale M, Binns R. Fairer machine learning in the real world: Mitigating discrimination without collecting sensitive data [J]. *Big Data and Society*, 2017, 4(2): 205395171774353.
- [93] Shahbazi N, Lin Y, Asudeh A, et al. Representation bias in data: A survey on identification and resolution techniques[J]. *ACM Computing Surveys*, 2023, 55(13s): 1–39.
- [94] Casali Y, Aydin N Y, Comes T. Machine learning for spatial analyses in urban areas: A scoping review[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2022, 85: 104050.
- [95] Mark R, Anya G. Ethics of using smart city AI and big data: The case of four large European Cities[J]. *The ORBIT Journal*, 2019, 2(2): 1–36.
- [96] Johnson G M. Algorithmic bias: On the implicit biases of social technology[J]. *Synthese*, 2021, 198(10): 9941–9961.
- [97] 陈云. AI时代的数智治理：如何平衡“价值理性”和“工具理性”？[J]. *科技导报*, 2026, 44(7): 18–30.

AI-driven urban space generation and design: Progress and prospects

KONG Yu^{1,4}, ZHEN Feng^{2,5*}, HUANG Yunjing^{3,5}, CHEN Hanxin^{3,5}

1. School of Architecture and Design, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

2. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China

3. Chongqing Planning & Design Institute, Chongqing 401120, China

4. Key Laboratory of Urban AI and Green Built Environment of Provincial Higher Education Institutes, Nanjing 210093, China

5. Key Laboratory of Monitoring, Evaluation and Early Warning of Territorial Spatial Planning Implementation, Ministry of Natural Resources, Chongqing 401147, China

Abstract Artificial intelligence (AI) is increasingly becoming a key technological force driving the intelligent transformation of urban space generation and design. This paper systematically reviews research progress on the application of AI technologies from three dimensions: the identification and measurement of urban spatial elements, urban spatial planning and design, and urban spatial operation and management. Specifically, research on the identification and measurement of urban spatial elements mainly involves element perception and quantification, spatial function identification, and pattern mining; research on urban spatial planning and design focuses on support for urban design as well as the identification, evaluation, allocation, and optimization of land use; and research on urban spatial operation and management primarily covers real-time monitoring and the optimization of operations and management in areas such as transportation, energy, safety, and public services. On this basis, the paper further outlines future research directions from three perspectives: adhering to the goal of improving the human settlement environment and promoting sustainable urban development, developing new modes of AI-driven technological integration and human–AI collaboration, and improving regulatory frameworks for AI-enabled urban space generation. The study aims to provide a reference for the application of AI in urban space generation and planning practice.

Keywords artificial intelligence; urban space; space generation; urban design; urban planning ●



(责任编辑 赵庆圆)