

# 智能技术对城市生态空间的影响与研究展望

## Impacts and Prospects of Smart Technology on Urban Ecological Space

牛月 甄峰 孔宇 杨开先 陈哲  
NIU Yue, ZHEN Feng, KONG Yu, YANG Kaixian, CHEN Zhe

**摘要：**新一轮科技革命和绿色发展需求背景下，智能技术的影响已渗透到城市生态空间的不同方面，为新时期城市生态空间的研究与治理带来了机遇和挑战。本文从空间组织结构、生态系统服务、空间治理模式三个方面梳理了当前智能技术对城市生态空间的影响，并基于影响的作用路径，分别从智能技术影响下的城市生态空间特征与作用机制、智能技术赋能的城市生态空间治理模式两方面构建了未来的城市生态空间研究框架，以期丰富城市生态空间理论研究、创新城市生态空间治理思路提供参考。

**Abstract:** Under the background of a new round of scientific and technological revolution and the demand for green development, the impacts of smart technology have penetrated into different aspects of urban ecological space, bringing opportunities and challenges to the research and governance of urban ecological space in the new era. This paper sorts out the impact of current smart technology on urban ecological space from three aspects: spatial organization structure, ecosystem services, and spatial governance mode. Then, we interpret the impact pathways of smart technology on urban ecological space. Finally, the characteristics and mechanisms of urban ecological space under the influence of smart technology, as well as the governance modes of urban ecological space empowered by smart technology, are proposed as the research framework in the future. This paper enriches the theoretical research of urban ecological space, and provides new ideas and methods for urban ecological space governance.

**关键词：**智能技术；城市生态空间；虚实空间；服务供需关系；技术赋能；空间治理

**Keywords:** smart technology; urban ecological space; virtual-physical space; supply and demand relationship for services; technology empowerment; spatial governance

国家自然科学基金重点项目“智能技术驱动下城市居民活动和建成环境交互作用机理研究”(42330510)，国家自然科学基金面上项目“移动互联网应用对城市日常生活服务供需匹配影响机理研究”(42071202)

**作者：**牛月，南京大学建筑与城市规划学院，博士研究生；青海师范大学地理科学学院，讲师。niuyue510@126.com

甄峰（通信作者），博士，南京大学建筑与城市规划学院、江苏省智慧城市规划与数字治理工程研究中心，教授。zhenfeng@nju.edu.cn

孔宇，南京大学建筑与城市规划学院，博士研究生

杨开先，南京大学建筑与城市规划学院，博士研究生

陈哲，博士，青海师范大学生命科学院，教授

城市生态空间指城市生态系统结构所占据的物理空间、其代谢所依赖的区域腹地空间以及其功能所涉及的多维关系空间<sup>[1]</sup>。具体表现为由市域范围内的植被、水体、矿产等自然物质资源及其所占据的地理空间载体构成的自然或半自然的空间体系<sup>[2,3]</sup>。改革开放40多年以来，中国经历了全球规模最大的城镇化进程<sup>[4]</sup>，城市生态空间开发利用模式粗放、资源能源消耗高等问题较为突出。因此，当前对于城市生态空间的研究更加强调以安全为导向的生态空间保护和规划<sup>[3]</sup>。实践中，以“三区三线”为基础的国土空间管控体系<sup>[5]</sup>夯实了生态空间治理的刚性约束。近年来，“美丽中国”以及“双碳”目标等一系列战略思想的提出均对城市生态空间质量提出了更高要求。

从工业革命时期人类对机械技术的不合理使用导致的人与城市生态空间关系的失衡，到以柯布西耶的“明日之城市”、索拉里的“仿生城市”等为代表，试图通过工程技术手段对生态空间进行干预的“乌托邦”式理想探索阶段<sup>[6]</sup>，再到科技革命时期人类应用生物工程、遥感等新兴技术对生态空间进行治理的阶段，技术的更迭不断影响着人与生态空间关系的变革。虽然始终存在关于技术应用对生态空间产生负面效应的讨论<sup>[7]</sup>，但积极顺应时代变化趋势、合理应用新技术仍是未来城市生态空间优化实践的重要方向。

智能技术体现为在5G信息通信技术基础上，融合精密传感技术、人工智能等多种形式的物理和逻辑的综合应用<sup>[8]</sup>。随着各项技术在生态空间治理中的广泛应用，智能技术已成为引领全球绿色发展并贡献中国实践方案的重要驱动力。我国相继出台了《生态环境大数据建设总体方案》(2016年)、《智慧城市白皮书》(2022年)等政策文件，利用智能技术赋能

我国城市生态空间高质量发展极具战略性。从已有研究来看，国内外学者较多关注智能技术在宏观尺度对总体城市空间产生的影响<sup>[9,12]</sup>，对城市生态空间领域的相关研究多集中于技术应用层面的探索，涉及如何利用智能技术进行城市生态空间的监测<sup>[13-14]</sup>、建设<sup>[15-16]</sup>和管理<sup>[17-18]</sup>等；也有学者关注在智能技术影响下，城市居民对于生态空间产生的感知<sup>[19]</sup>、依恋<sup>[20]</sup>和体验<sup>[21]</sup>等方面的变化。然而，既有研究鲜有对智能技术影响城市生态空间的系统性分析，对于智能技术作用下的城市生态空间理论研究，以及空间优化实践的整体性思路探索，远滞后于空间的实际发展需求。

生态空间是实现城市可持续与智慧化发展的关键载体<sup>[22]</sup>，如何在生态文明和智慧社会框架下提升城市生态空间供给质量、推进人与生态空间协调发展，是新型城镇化发展与国土空间治理中的重要问题。本文拟梳理智能技术对城市生态空间组织结构、生态系统服务、空间治理模式的影响，并结合影响的作用路径，提出未来的城市生态空间研究框架，以期开展具体实证研究和创新城市生态空间治理思路提供理论和方法支撑。

## 1 智能技术影响下的城市生态空间变化

智能技术的发展应用正在重塑城市运行的逻辑和空间场景<sup>[23]</sup>，使城市生态空间的构成与维度变得更加复杂，空间各类生态系统服务功能与人类社会系统实现了多元交织耦合，城市生态空间治理模式创新也得到了重要支撑。

### 1.1 空间组织结构

#### 1.1.1 空间构成

城市生态空间的构成在智能技术的创新实践下变得更加复合化（图1）。从居民的空间认知和体验视角来看，新的城市生态空间由自然生态空间、人化生态空间和人工生态空间共同构成。其中，人化生态空间指被各类监控和采集传感技术附着的城市生态空间。该类生态空间的各种微妙变化均能够被有效地感知和记录，其生长环境状态和变化周期也可以由人类借助智能技术干预，其一切要素都具备了与人类建立联系的渠道<sup>[24]</sup>。人工生态空间强调由智能技术辅助创造的、同样发挥生态系统服务功能的生态空间要素。例如：结合物联网技术设计研发的塑料“合成树”可以吸收比普通树木多出千倍的CO<sub>2</sub><sup>[25]</sup>；当前以电子设备进行信息传递的数据交换技术（EDI: Electronic Data Interchange）减少了人们对纸张作业的需求，从而节约了森林资源<sup>[26]</sup>。这些新型空间或丰富了城市生态空间的自然景观构成，或对城市自然生态空间功能

进行了补充，城市生态空间也因此与人类社会系统形成了更为紧密的互动关系。

#### 1.1.2 空间维度

随着数字孪生技术、元宇宙技术等应用生态的不断丰富，虚拟空间、虚实空间也成为城市生态空间形态的重要认知维度，满足了现代城市居民的多元空间体验需求（图2）。其中，虚拟空间作为传统地理空间的延伸<sup>[27]</sup>，打破了既往基于实体接触的空间体验模式<sup>[28]</sup>。例如：居民可随时随地通过短视频、在线直播等方式进行“云”赏花、“云”逛动物园；公众和专家利用各类参数化虚拟技术，能更直观地参与生态空间规划方案设计和建造实践<sup>[29]</sup>。虚实空间是由位置感知、扩展现实<sup>①</sup>以及可穿戴等技术的介入创造的生态空间形态——通过智能技术，将空间虚拟信息或叠加真实空间或以全虚拟的形式呈现给居民，使其获得在虚拟生态空间更强的沉浸体验感以及交互能力<sup>[30]</sup>。目前该类空间形态已在生态旅游<sup>[31]</sup>、景观教育<sup>[32]</sup>、数字化农业生产<sup>[33]</sup>等领域得到广泛的应用呈现。

### 1.2 生态系统服务

生态系统服务指城市生态空间为人类提供的各种惠益，包括供给服务、支持与调节服务、文化服务<sup>[34,35]</sup>。

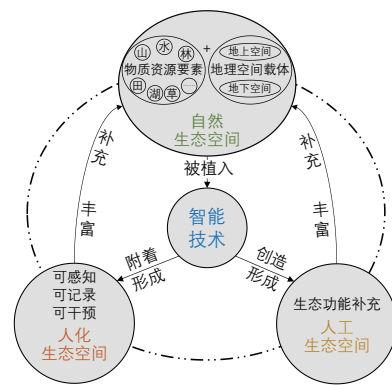


图1 复合化的城市生态空间构成

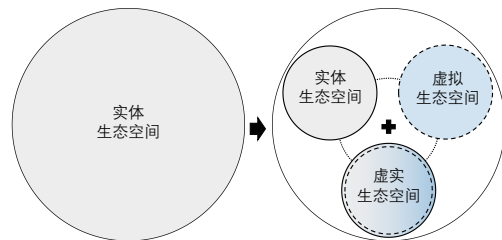


图2 城市生态空间形态转变示意图

① 扩展现实（XR: Extended Reality），在文中指代一种综合性技术，包括虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）等技术。

### 1.2.1 供给服务

供给服务指城市生态空间所具有的向人类提供食物、淡水、工业原材料等物质资源的功能<sup>[32]</sup>。一方面,智能技术的应用保证了水、煤炭等有限稀缺类城市生态空间资源的供给精准性和利用效率,如中国南水北调工程通过物联网与大数据等技术的结合,构建了闸站监控、水量调度、工程防洪、信息管理等功能模块,从而实现了水资源从生态空间源地到需求地的远程自动化输送和调节<sup>[36]</sup>。另一方面,对于蔬菜、粮食等可被种植和加工生产类的城市生态空间资源,智能技术的介入不仅能使其在更大空间范围进行远程配置,供给服务的空间格局也由传统点对点的单一线性模式转变为均质的网络化空间供给模式<sup>[37]</sup>(图3)。以电子商务供给服务为例,城市生态空间物质资源的实体流动在网络信息传播的推动下得到加强,其供给范围也逐渐实现了地域空间上的无界化,而不局限于服务某个或少数几个地区<sup>[38]</sup>。在此过程中,居民不仅可以借助智能技术对物质资源的生产过程、产地等信息进行溯源和跟踪<sup>[39]</sup>,而且大大节省了在获取生态空间资源过程中的时间和精力等信息搜集成本。

### 1.2.2 调节与支持服务

调节与支持服务共同起到了保障生态安全、维持人类适宜生存环境的作用,具体包括水质净化、土壤调节、养分传输等功能<sup>[34,40]</sup>。智能技术的应用对调节与支持服务同时产生正面和负面效应。一方面,智能技术辅助提高了城市生态空间的韧性和安全性。它结合物联网、生物、化学、物理与机械自动化等的集成型智能技术,因能够精准监测、分析和调控植被生长的土壤水分、污染物浓度与营养组分,被越来越广泛地应用于水体净化<sup>[41]</sup>、草地修复<sup>[42]</sup>和精准农业<sup>[38]</sup>等领域。当生态空间突发功能失衡和环境损坏事件时,事故信息

可通过卫星通信、无线网络等技术手段实时传输到指挥中心,使相关部门及时作出应对<sup>[43]</sup>。但另一方面,智能技术的应用本身需要生态空间物质资源的支持,特别是计算机、卫星、数据中心等的运行和维护,能源消耗巨大,增加了生态系统调节与支持服务功能的负担<sup>[44,45]</sup>。此外,如果未对智能技术在生产和运行中产生的电子垃圾做妥善处理,其生态毒理学效应将造成生态空间调节与支持服务功能的退化,进而对生态系统和人类健康造成严重威胁<sup>[46]</sup>。

### 1.2.3 文化服务

文化服务指生态空间所承载的能够满足人类精神享受、审美体验、科研教育、认知发展等的非物质性功能<sup>[34]</sup>。面对城市的快节奏生活、繁重的工作压力,居民愈发需要通过与自然的接触来获得精神放松与健康生活<sup>[47,48]</sup>。智能技术的广泛应用强化了居民与城市生态空间的纽带关系。一方面,智能技术增加了居民获取自然的机会,在微信、微博、小红书等自媒体平台的宣传推广下,生态空间的吸引力被有效提升,促使居民对生态空间产生了更强烈的亲近和互动意愿<sup>[49]</sup>。另一方面,生态空间文化服务的内涵在智能技术的介入下不断丰富,满足了居民对城市生态空间的多元化体验需求<sup>[50]</sup>。包含生态环境科普、人工智能指导种植、地图导航、气象预测等功能在内的智能应用,不仅能够实时获取城市生态空间的多源信息,还能使其在体验生态空间的过程中,加强对自然要素的感知,并进而与自然要素产生互动。例如:由德国联邦环境部赞助的Naturblick智能应用将城市生态空间野生动植物数据库与地理位置跟踪功能相结合,居民通过摄像头、扬声器等智能设备,能够识别、追踪并在线分享城市生态空间要素,进一步强化对空间的观感、记忆和认知体验<sup>[21]</sup>。智能技术不仅充当着居民所需城市生态空间信息的“收集器”,也让个体自身扮演着移动“传感器”的角色贡献城市生态空间信息,主动参与到文化服务的传播实践中。

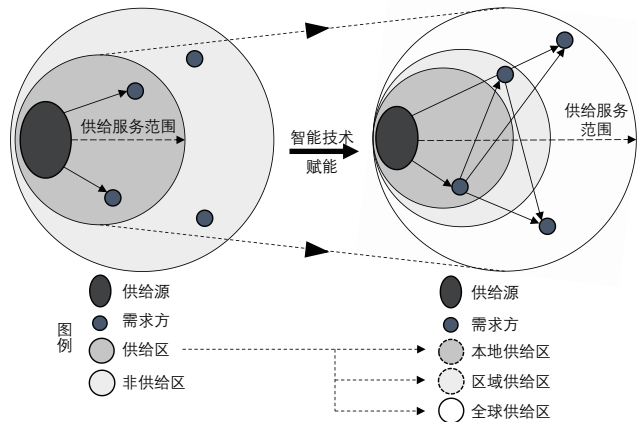


图3 种植和加工生产类城市生态空间资源供给服务的空间格局转变示意图

## 1.3 空间治理模式

### 1.3.1 空间分析

相较于传统以横截面静态分析为主的空间分析方法,智能技术能够有效捕捉和记录生态空间多类型、多尺度、长时序的动态数据<sup>[51]</sup>,使空间分析过程和结果更加全面和系统。高分辨率的遥感监测数据能够提供城市内部更详细的土地利用和绿地空间特征信息<sup>[51-53]</sup>;街景图片可被用来量化城市街道绿视率<sup>[54]</sup>、探索蓝绿空间与居民健康之间的关系<sup>[55]</sup>;Twitter、微博等社交媒体数据因能够提供影像的地理位置、时间、评价等关联信息,而被越来越多地应用于城市动植物属性特征分析<sup>[56]</sup>、生态系统服务水平评估<sup>[57-58]</sup>等。此外,各

类数理统计模型、机器学习算法、复杂网络分析等智能技术支持的研究方法，也逐渐在城市生态空间分析、模拟、预测以及可视化表达方面体现了突出的应用价值<sup>[59]</sup>，为城市生态空间特征分析提供了科学支撑。

### 1.3.2 空间行为干预

智能技术能够干预居民参与城市生态空间实践的行为决策。首先，借助各类物联网和可穿戴技术，居民能够更加直观地掌握空间环境信息以及自身在空间中实时变化的活动数据，进而调整在生态空间中的活动行为和计划<sup>[60]</sup>。其次，由互联网、公共视频监控等共同构筑的技术侦查管理系统，不仅极大增强了居民在生态空间中活动的安全感<sup>[61]</sup>，且对居民在生态空间中的不文明行为起到显著的监督和规训作用<sup>[62]</sup>。此外，智能技术增强了居民参与生态空间营建的主观能动性，使其绿色行为的实施在虚拟空间的情境下突破了时空限制<sup>[63]</sup>。例如：居民可以通过“绿侠”环保随手拍<sup>①</sup>应用，与环保监督管理部门取得联系，在城市生态空间共建共治的基础上增强环境保护的责任意识；支付宝“蚂蚁森林”应用<sup>②</sup>通过游戏化的手法，潜移默化地引导居民逐渐向亲环境消费者转变<sup>[64]</sup>。

### 1.3.3 空间管理

智能技术逐渐成为城市生态空间管理的重要手段。传统城市生态空间管理模式受业务机制和技术手段等因素的限制，不同程度地存在空间资源资产底数不清、系统化管理难度大等问题<sup>[65-66]</sup>。在智能技术的支撑下，城市生态空间管理部门具备了将更高精度和更细粒度的全自然资源要素纳入统一管理系统的整合能力<sup>[67]</sup>，并逐渐打通了自然资源调查监测、生态修复、空间规划等多领域、多层级部门的业务管理流程，建立了更高效的生态空间管理体系。此外，智能技术能够辅助实现对城市生态空间的精细化管理。例如：我国四川九寨沟、河南云台山等生态空间，利用智能监控预警系统对空间人流进行控制和疏导。各类打车、租车等共享服务，借助平台的智能分单、运力调度等功能减少了车辆空驶率和无效能源消耗，使生态资源的利用效率得到大幅提高<sup>[68]</sup>。但是，这也可能导致更多的汽车出行，加剧城市道路拥堵问题<sup>[69-70]</sup>，增加能源消耗<sup>[71]</sup>。对此，未来需要采取更科学、灵活的评估和管理手段。

## 2 智能技术影响下的城市生态空间研究展望

### 2.1 智能技术影响城市生态空间的作用路径

分析智能技术影响城市生态空间的作用路径是开展未来城市生态空间研究的基础。由于不同类型的智能技术作用于城市生态空间不同方面，涉及复杂的生态要素关系和机理，具体影响路径存在差异性，本文侧重探讨智能技术对城市生态空间的总体影响路径。

城市生态空间作为提供给居民各项惠益的一方，不仅是城市居民的主要活动空间载体，而且向居民提供生活所需的物质基础<sup>[72]</sup>。智能技术影响城市生态空间的作用路径是一个动态反馈的过程（图4）。其中，居民是整个路径的核心环节。作为城市生态空间服务的接受者，以及创造和应用智能技术的主导者，居民在与城市生态空间的互动中，对于空间的认知、感知体验以及在空间中的实践方式等均发生了变化<sup>[12]</sup>。一方面，居民重塑了城市生态空间的内涵，对于城市生态空间构成要素的认知更加复合化，对城市生态空间属性的理解也从仅依托实体空间，转向了虚拟和实体相结合的空间。另一方面，虚拟空间中居民可参与的活动类型、体验的空间环境要素不断丰富，基于个体差异的自发行为与价值诉求呈现出更加复杂多样的发展趋势<sup>[24]</sup>，因此居民在进一步强调实体空间服务效能的需求基础上，对于虚拟生态空间的服务质量也越来越重视，而智能技术作为“功能触媒”，不断更新和改变着城市生态空间服务于居民的供应方式，激发了城市生

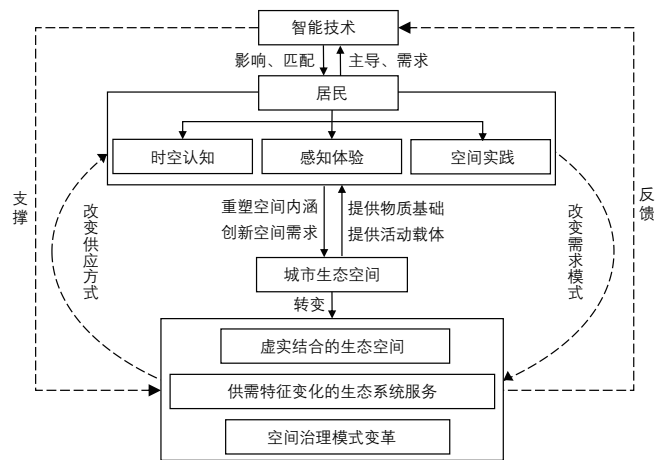


图4 智能技术影响城市生态空间的作用路径示意图

① 2014年，中国环境新闻工作者协会、中国环保新闻文化艺术委员会合力推出“绿侠”环保随手拍应用，创建了移动互联网线上环境监督体系。详见：[http://www.mee.gov.cn/ywdt/hjnews/201406/t20140623\\_277270.shtml](http://www.mee.gov.cn/ywdt/hjnews/201406/t20140623_277270.shtml)。  
 ② 在“蚂蚁森林”应用中，用户可通过公交出行、无纸支付等绿色实体行为积累虚拟树木成长所需能量值，蚂蚁金服和公益组织则根据能量值级在现实中需要进行生态修复的地区种植苗木。

态空间多元化价值的形成。此外，随着智能技术的不断发展，为深化对城市生态空间复杂性特征的了解，进而提出更加科学的空间干预方案，居民对于利用智能技术推动城市生态空间治理模式的变革也提出了更多需求。

## 2.2 智能技术影响下的城市生态空间研究框架

分析智能技术影响下的城市生态空间特征与作用机制是数字时代城市理论研究的具体化推进，也是城市生态空间规划和治理的重要基础。同时，作为空间治理的新手段，探究智能技术赋能的城市生态空间治理模式将有助于推进生态空间治理的现代化，实现更有效的生态资源统筹调和环境提升。

### 2.2.1 智能技术影响下的城市生态空间特征与作用机制

未来的城市生态空间特征与作用机制研究应在生态系统科学、信息时代人地关系理论的基础上，充分吸纳流空间、环境行为等理论中对于技术的认知和有关人与生态空间相互作用的知识，为研究提供多元的理解。具体研究可从三个方面推进（图5）。

(1) 丰富分析构成要素。对于城市生态空间的研究应同时关注智能技术、城市居民与生态空间要素在多研究情境下的特定交互关系。要结合智能技术的发展趋势，关注不同类型在不同嵌入水平下对城市生态空间产生的不同影响。同时重视居民的具体需求，关注受技术影响具有不同属性特征的居民在生态空间认知和感知体验方面产生的变化。对于城市生态空间本身，应进行基于不同空间尺度、类型和维度的系统化分析。

(2) 拓展研究内容。未来的研究重点一方面要重视城市生态空间组织结构特征，关注智能技术作用下空间资源要素流动的强度以及传递网络的空间特征，分析居民分别在虚实

维度空间的活动规律和资源利用模式，并挖掘虚实生态空间的交互特征和作用机制。另一方面，需要对生态系统服务供需关系进行分析，具体关注生态资源在智能技术影响下在供给和需求端的时空分布变化特征，探索智能技术对城市生态系统服务供需匹配性的影响与作用机制，并提出相应的生态空间优化策略。同时要加强对智能技术应用的绿色创新路径的探索，以规避智能技术的不合理使用给生态系统功能造成的负面影响。

(3) 融合多元研究方法。地理信息、城市感知和社会调查统计数据是未来城市生态空间研究的数据基础。其中，地理信息数据能够反映高时空分辨率的生态空间状态；城市感知数据不仅能够用于测度绿视率、空气质量等空间属性信息，还能记录个体的活动时空信息，以及居民在虚拟空间对生态资源的获取情况；社会调查统计数据能更好地捕捉居民对生态空间的感知和体验等隐形要素。问卷调查、空间分析、机器学习等研究方法的结合，将推动对未来城市生态空间特征与作用机制更科学、精细的解读。

### 2.2.2 智能技术赋能的城市生态空间治理模式

智能技术作为赋能城市生态空间治理的重要手段，在对其持开放态度的同时，要始终遵循绿色、人本、公平、高效、创新和低成本的治理理念。本文具体从三个方面构建了智能技术赋能的城市生态空间治理模式研究框架（图6）。

(1) 治理的主要场景在于识别智能技术应用于城市生态空间的关键领域，构建以技术为驱动、以生态空间特定发展需求为引导的空间赋能模式。智能技术不仅将在以韧性为目标导向的生态保护中，用于更精准高效的生态空间受损识别、评价和预警<sup>[73-74]</sup>，而且能动态模拟未来城市生态空间在不同治理方案下的多种运行结果。同时，还可辅助生态资源的空间优化配置，提高居民对生态空间的需求与空间供给

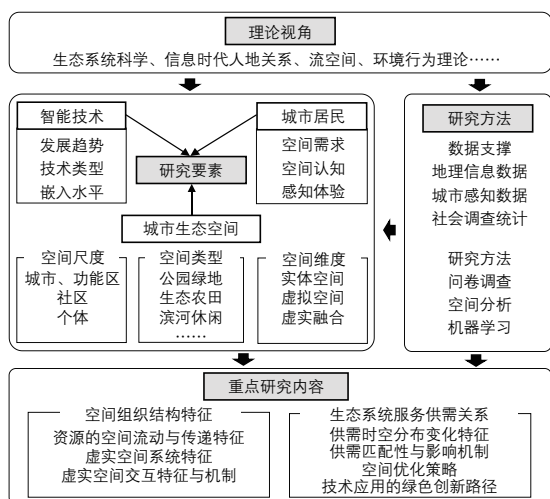


图5 智能技术影响下的城市生态空间特征与作用机制研究框架

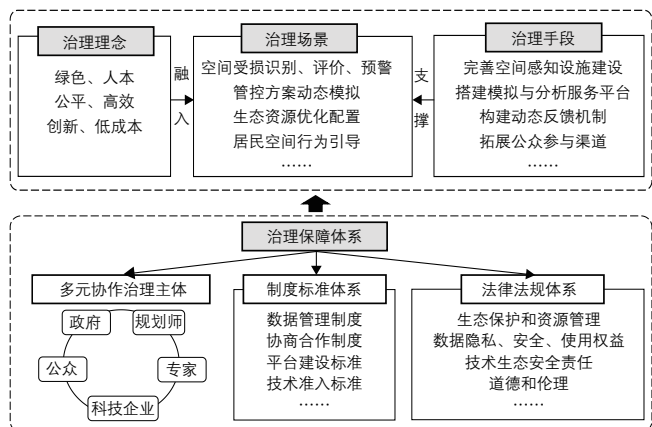


图6 智能技术赋能的城市生态空间治理模式研究框架

之间的平衡性。此外,如何引导居民个体形成环保责任意识、干预其绿色行为的发生也是智能技术赋能的重要方面。

(2) 治理的手段在于如何构建城市生态空间的“数据感知—分析模拟—决策反馈”全程智治体系。首先,要完善空间感知神经网络的建设,为全面、实时获取城市生态空间运行信息、精准把握居民的空间需求提供基本保障。其次,要搭建城市生态空间的模拟与分析服务平台,以提高治理决策的科学性。再次,要构建城市生态空间的动态反馈机制,针对不同类型的生态空间建立分类预警体系<sup>[75]</sup>,使对应的空间治理主体能及时启动评估和预警模式,实现对生态空间的动态实时治理。最后,要拓展可供社会公众参与的生态空间治理渠道。值得强调的是,虽然智能技术在城市生态空间治理中发挥着重要作用,但无法取代人的决策主导地位,治理手段的合理性还依赖于治理主体的价值导向和观察判断能力。

(3) 治理保障体系的构建是为了确保智能技术应用的高效和可持续性。首先,要优化治理组织体系的建设,未来的城市生态空间治理需要政府、规划师、公众、专家以及科技企业的协同合作<sup>[76]</sup>。其次,对于治理过程中涉及的数据管理、协商合作、平台搭建和技术准入等方面,均应建立相应的制度标准,以确保智能技术应用的规范性。再次,要进一步健全法律法规体系,从生态环境保护和资源管理,数据的隐私、安全性和使用权限,技术应用的生态安全责任,以及道德和伦理等方面,对智能技术在城市生态空间治理中的使用权限和责任进行严格界定。

### 3 总结

智能技术的普及和应用对城市生态空间产生的作用不断深入。本文阐述了智能技术对城市生态空间在组织结构、生态系统服务与空间治理模式三方面的影响,浅析了智能技术对城市生态空间的作用路径,并从智能技术影响下的城市生态空间特征与作用机制、智能技术赋能的城市生态空间治理模式两方面构建了未来的城市生态空间研究框架,以期改善城市生态空间环境、增强空间服务效能、提升居民福祉提供参考。

应当认识到,城市生态空间本身常体现出非线性和非均衡性的运行特征<sup>[24]</sup>,其许多生态作用过程和机理尚未被揭示,而智能技术的介入使得空间各要素之间的关系愈发复杂。因此,本文所梳理的智能技术对城市生态空间的三方面影响,仍无法清晰阐明智能技术在城市生态空间中的渗透作用。面对城市生态空间中不断出现的新现象和新问题,我们不仅要国土空间规划的整体框架下统筹调配生态空间与生产、生活空间的格局与资源,还需要跳出“就空间论空间”的传统研究范式,将城市生态空间置于由技术驱动的复杂人地系统

中进行理解,持续跟进相关理论知识和研究方法的探索<sup>[77]</sup>。同时,要不断强化对智能技术的创新开发和综合应用能力。在此过程中需特别注意,我们不能过度依赖技术而忽视践行生态友好理念,对于智能技术的不合理使用反而会对城市生态空间产生不利影响,也并非所有地区及其居民都能平等享有智能技术带来的生态空间红利。对智能技术的应用,只有尊重生态运行的自发秩序、顺应生态伦理的价值趋向,才能在不断创新中体现其应用优势,更好地推动我国现代化发展进程、促进人与自然和谐共生。UPI

注:文中图片均为作者绘制。

感谢匿名专家在审稿过程中对本文提出宝贵意见!

### 参考文献

- [1] 王如松,李锋,韩宝龙,等.城市复合生态及生态空间管理[J].生态学报,2014,34(1):1-11.
- [2] 王静.走向可持续生态系统管理的国土空间规划——理论方法与实践[M].北京:科学出版社,2021:83-88.
- [3] 王甫园,王开泳,陈田,等.城市生态空间研究进展与展望[J].地理科学进展,2017,36(2):207-218.
- [4] 王凯.中国城镇化的绿色转型与发展[J].城市规划,2021,45(12):9-16,66.
- [5] 国土资源部.国土资源部关于印发《自然生态空间用途管制办法(试行)》的通知[EB/OL].(2017-03-24)[2023-03-28].[https://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201704/t20170424\\_1992172.html](https://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201704/t20170424_1992172.html).
- [6] 叶玉瑶,张虹鸥,周春山,等.“生态导向”的城市空间结构研究综述[J].城市规划,2008(5):69-74,82.
- [7] 刘国买,俞立平.技术创新的环境倾向研究[J].现代经济探讨,2020(4):101-108.
- [8] TALARI S, SHAFIE-KHAH M, SIANO P, et al. A review of smart cities based on the internet of things concept[J]. Energies, 2017, 10(4): 421.
- [9] 甄峰.信息时代的区域空间结构[M].北京:商务印书馆,2004:1-272.
- [10] DADASHPOOR H, YOUSEFI Z. Centralization or decentralization? a review on the effects of information and communication technology on urban spatial structure[J]. Cities, 2018, 78: 194-205.
- [11] YOUSEFI Z, DADASHPOOR H. How do ICTs affect urban spatial structure? a systematic literature review[J]. Journal of urban technology, 2020, 27: 47-65.
- [12] 孔宇,甄峰,张姗姗.智能技术影响下的城市空间研究进展与思考[J].地理科学进展,2022,41(6):1068-1081.
- [13] ARAM S, TROIANO A, PASERO E. Environment sensing using smart phone[C]//2012 IEEE Sensors Applications Symposium proceedings, Italy, 2012: 14.
- [14] FOLEA S C, MOIS G. A low-power wireless sensor for online ambient monitoring[J]. IEEE sensors journal, 2014, 15: 742-749.
- [15] 张佳丽,王蔚凡,关兴良.智慧生态城市的实践基础与理论建构[J].城市发展研究,2019,26(5):4-9.
- [16] 丁烈云.智能技术促进绿色城市建设[J].城乡建设,2022(1):5.
- [17] BIFULCO F, TREGUA M, AMITRANO C C, et al. ICT and sustainability in smart cities management[J]. International journal of public sector management, 2016, 29: 132-147.
- [18] TURGEL I, BOZHKO L, ULYANOVA E, et al. Implementation of the smart city technology for environmental protection management of cities: the experience of Russia and Kazakhstan[J]. Environmental and climate

- technologies, 2019, 23: 148-165.
- [19] RICCI D, COLOMBO G, MEUNIER A, et al. Designing digital methods to monitor and inform urban policy[C] // International Conference on Public Policy (ICPP3)-Panel T10P6 Session 1 Digital Methods for Public Policy. SGP, 2017: 1-37.
- [20] SHARMA N, GREAVES S, COLUCCI-GRAY L, et al. From citizen science to citizen action: analysing the potential for a digital platform to cultivate attachments to nature[J]. Journal of science communication, 2019, 18: 1-35.
- [21] MOSS T, VOIGT F, BECKER S. Digital urban nature: probing a void in the smart city discourse[J]. City. 2021, 25: 255-276.
- [22] BIBRI S E, KROGSTIE J. Smart sustainable cities of the future: an extensive interdisciplinary literature review[J]. Sustainable cities and society, 2017, 31: 183-212.
- [23] 龙瀛. 颠覆性技术驱动下的未来人居: 来自新城市科学和未来城市等视角[J]. 建筑学报, 2020(增刊 1): 34-40.
- [24] 田莉, 于江浩, 杨滔. 智慧人居环境理论模型与应用探索: 复杂系统视角[J]. 城市规划, 2023, 47(12): 78-88.
- [25] BAIMUKHANBETOVA E, ONALTAYEV D, DAUMOVA G, et al. Improvement of informational technologies in ecology[C] // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020, 159: 01008.
- [26] 曼纽尔·卡斯特. 网络社会的崛起[M]. 夏铸九, 王志弘, 等译. 北京: 社会科学文献出版社. 2001: 213.
- [27] 张捷, 顾朝林, 都金康, 等. 计算机网络信息空间(Cyberspace)的人文地理学研究进展与展望[J]. 地理科学, 2000(4): 368-374.
- [28] WALLACE A, WRIGHT K. The post-industrial english canalscape: from enclosure to enlacement[J]. Cultural geographies, 2022, 29: 185-202.
- [29] 刘硕, 张桐恺, 李春晖. 数字景观技术研究应用进展[J]. 西部人居环境学刊, 2016, 31(4): 1-7.
- [30] 戴智妹, 华展, 童磊, 等. 未来城市空间的虚实关系: 基于技术的演进[J]. 城市规划, 2023, 47(2): 20-27.
- [31] 贾慧敏, 张运来. 虚拟旅游产品体验中游客幸福感的生成机制研究: 基于具身体验视角[J]. 旅游科学, 2022, 36(3): 17-35.
- [32] 翟宇佳. 基于浸入式虚拟环境技术的景观空间尺度感教学模块构建与应用[J]. 中国园林, 2018, 34(4): 68-73.
- [33] YU F, ZHANG J F, ZHAO Y, et al. The research and application of virtual reality (VR) technology in agriculture science[C] // International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009: 546-550.
- [34] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being[M]. Washington, D.C.: Island Press, 2005: 49-70.
- [35] HAINES-YOUNG R, POTSCHEIN M. Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 4.1)[J]. European environment agency, 2012, 33: 107.
- [36] 徐永兵, 孙水英. MOSAIC SCADA 在南水北调闸(泵)站监控系统中的应用[J]. 水利信息化, 2015(5): 39-43, 52.
- [37] 席广亮, 甄峰. 基于可持续发展目标的智慧城市空间组织和规划思考[J]. 城市发展研究, 2014, 21(5): 102-109.
- [38] 任长秋, 王钊. 新技术革命背景下农业产业模式研究[J]. 科学管理研究, 2017, 35(2): 73-76.
- [39] REICHE R. Information logistics in agri-food supply networks: integrated framework for business information services[M]. Göttingen: Cuvillier Verlag, 2011: 1-6.
- [40] 张彪, 谢高地, 肖玉, 等. 基于人类需求的生态系统服务分类[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(6): 64-67.
- [41] MA Y, HE Z, LI J, et al. Design of intelligent water purification control system for small waterworks based on LSTM[C] // International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. Singapore: Springer, 2020: 366-379.
- [42] 古琛, 贾志清, 杜波波, 等. 中国退化草地生态修复措施综述与展望[J]. 生态环境学报, 2022, 31(7): 1465-1475.
- [43] 魏斌, 黄明祥. 信息技术在生态环境保护中应用及发展趋势[J]. 环境保护, 2014, 42(14): 36-39.
- [44] 魏丽莉, 侯宇琦. 数字经济对中国城市绿色发展的影响作用研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(8): 60-79.
- [45] 韩冬日, 吕晓丽, 董会忠, 等. 数字技术对降碳减污协同增效的门槛效应[J]. 资源科学, 2023, 45(11): 2130-2143.
- [46] HAN Y, TANG Z, SUN J, et al. Heavy metals in soil contaminated through e-waste processing activities in a recycling area: implications for risk management[J]. Process safety and environmental protection, 2019, 125: 189-196.
- [47] 颜文涛, 赵筠蔚, 任婕, 等. 居民健康导向下的城市生态空间规划研究: 以上海市为例[J]. 风景园林, 2023, 30(12): 49-55.
- [48] VAN DEN BERG A E, MAAS J, VERHEIJ R A, et al. Green space as a buffer between stressful life events and health[J]. Social science & medicine, 2010, 70(8): 1203-1210.
- [49] 唐书转. 基于自媒体的旅游景区营销策略研究[J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2013, 34(6): 49-54.
- [50] 姜玉培, 甄峰. 信息技术对城市居民生活空间的影响及规划策略研究[J]. 国际城市规划, 2018, 33(6): 88-93.
- [51] 熊丽君, 袁明珠, 吴建强. 大数据技术在生态环境领域的应用综述[J]. 生态环境学报, 2019, 28(12): 2454-2463.
- [52] GONG J, LIU C, HUANG X. Advances in urban information extraction from high-resolution remote sensing imagery[J]. Science China earth sciences, 2020, 63: 463-475.
- [53] 匡文慧. 全球城市人居环境不透水面与绿地空间特征制图[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(7): 1151-1168.
- [54] LI X, ZHANG C, LI W, et al. Assessing street-level urban greenery using google street view and a modified green view index[J]. Urban forestry & urban greening, 2015, 14: 675-685.
- [55] HELBICH M, YAO Y, LIU Y, et al. Using deep learning to examine street view green and blue spaces and their associations with geriatric depression in Beijing, China[J]. Environment international, 2019, 126: 107-117.
- [56] 杨军. 大数据与城市生态学的未来: 从概念到结果[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(10): 1339-1353.
- [57] HAMSTEAD Z A, FISHER D, ILIEVA R T, et al. Geolocated social media as a rapid indicator of park visitation and equitable park access[J]. Computers, environment and urban systems, 2018, 72: 38-50.
- [58] HUANG X, HAN X, MA S, et al. Monitoring ecosystem service change in the city of Shenzhen by the use of high-resolution remotely sensed imagery and deep learning[J]. Land degradation & development, 2019, 30: 1490-1501.
- [59] 赵海凤, 李仁强, 赵芬, 等. 生态环境大数据发展现状与趋势[J]. 生态科学, 2018, 37(1): 211-218.
- [60] 涂炯. 从自我监督到他人监督: 跑步 APP 使用者的数据追踪与身体实践[J]. 青年研究, 2019(2): 73-81, 96.
- [61] 郑磊. 数字治理的效度、温度和尺度[J]. 治理研究, 2021, 37(2): 5-16, 2.
- [62] 王华, 徐仕彦. 游客间的“道德式”凝视及其规训意义: 基于网络博文的内容分析[J]. 旅游学刊, 2016, 31(5): 45-54.
- [63] 朱永明, 黄嘉鑫. 说服系统在环保领域中促进用户亲环境行为意愿的研究[J]. 软科学, 2021, 35(11): 123-129.
- [64] 杜松华, 徐嘉泓, 张德鹏, 等. 游戏化如何驱动电商用户绿色消费行为: 基于蚂蚁森林的网络民族志研究[J]. 南开管理评论, 2022, 25(2): 191-204.
- [65] 魏学文. 黄河三角洲生态治理的数字化路径研究[J]. 滨州学院学报, 2022, 38(4): 70-76.
- [66] 吴洪涛, 张子平, 贾萍, 等. 自然资源信息化面临的挑战与实施策略: 从《自然资源部信息化建设总体方案》说起[J]. 北京规划建设, 2020(增刊 1): 10-15.
- [67] 罗亚, 宋亚男, 余铁桥. 数字化转型下的国土空间数字化治理逻辑研究[J]. 规划师, 2022, 38(8): 111-114, 120.
- [68] 滴滴出行. 滴滴出行企业公民报告[EB/OL]. (2017-04-18)[2023-02-15]. <https://www.didiyun.com/>.

(下转第 77 页)

- (Capra ibex)[EB/OL]. (2020)[2023-05-05]. <https://www.pngp.it/en/nature-and-research/conservation-and-research/wildlife-research/ecology-and-conservation-alpine-ibex>.
- [39] Parco Nazionale Gran Paradiso, Parco Nazionale della Vanoise. Carta di Buon Vicinato tra i Parchi Nazionaligran Paradiso e Vanois[R]. Aigueblanche, France: Piemonte Parchi, 1999.
- [40] Le Directeur du Parco nazionale Gran Paradiso, Le Directeur du Parc national de la Vanoise. Convention de partenariat entre les parcs nationaux de la Vanoise et du Gran Paradiso[R]. Parco Nazionale Gran Paradiso & Parc National de la Vanoise, 2013: 1-4.
- [41] EU. Interreg ALCOTRA (France-Italy) · Interreg.eu[EB/OL]. (2017)[2023-05-06]. <https://interreg.eu/programme/interreg-alcotra/>.
- [42] Ente Parco Nazionale Gran Paradiso. Statuto Dell'ente Parco Nazionale Gran Paradiso: Legge 394/91 Art. 9 Comma 8-bis[Z]. 2017: 1-30.
- [43] Parc national de la Vanoise. L'établissement public | Parc national de la Vanoise[EB/OL]. (2017-06-27)[2023-05-02]. <https://www.vanoise-parcnational.fr/fr/parc-national-de-la-vanoise/letablissement-public>.
- [44] Transfrontier Operational Mission. Espaces-transfrontaliers.org: Border: France-Italy-Monaco[EB/OL]. (2016)[2023-11-10]. <http://www.espaces-transfrontaliers.org/en/resources/territories/borders/borders-in-europe/frontiere-france-italie-monaco/border-france-italy-monaco-3/>.
- [45] Transfrontier Operational Mission. Espaces-transfrontaliers.org: Conférence des Alpes Franco-Italiennes[EB/OL]. (2006)[2023-11-10]. <http://www.espaces-transfrontaliers.org/ressources/territoires/territoires-niveau-regional/conference-des-alpes-franco-italiennes/conference-des-alpes-franco-italiennes-3/>.
- [46] Alpes-Méditerranée Euroregion. Position of the Alps-Mediterranean Euroregion the future of Cohesion Policy[Z]. 2018.
- [47] Cross-Border Operational Mission. Lemed-Ibex - programme européen pour le bouquetin des Alpes[EB/OL]. (2017)[2023-04-23]. <http://www.espaces-transfrontaliers.org/ressources/projets/projects/project/show/lemed-ibex-programme-europeen-pour-le-bouquetin-des-alpes/>.
- [48] Fondation Grand Paradis. PACTAM-Promouvoir l'Action Culturelle en Territoire Alpin[EB/OL]. (2016)[2023-05-03]. <https://www.grand-paradis.it/it/content/progetti/progetti-europei/pacta>.
- [49] Interreg France-Italia ALCOTRA. Trek Nature, Grand Paradis Vanoise[EB/OL]. (2017)[2023-05-03]. <https://www.interreg-alcotra.eu/fr/trek-nature-grand-paradis-vanoise>.
- [50] Interreg France-Italia ALCOTRA. Lemed-Ibex[EB/OL]. (2017)[2023-05-03]. <https://www.interreg-alcotra.eu/fr/lemed-ibex>.
- [51] Fondation Grand Paradis. Digitourism[EB/OL]. (2020)[2023-05-03]. <https://www.grand-paradis.it/it/content/digitourism>.
- [52] Portail des parcs nationaux de France. La charte d'un parc national | Portail des parcs nationaux de France[EB/OL]. (2006)[2023-05-06]. <http://www.parcsnationaux.fr/fr/des-decouvertes/les-parcs-nationaux-de-france/la-charte-dun-parc-national>.
- [53] European Commission. The habitats directive[EB/OL]. (2023)[2023-05-06]. [https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/habitats-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/habitats-directive_en).
- [54] 丁琳, 贾卫国. 我国国家公园跨省管理模式完善的思考——以祁连山国家公园为例[J]. 中国林业经济, 2022(3): 17-20.
- (上接第 59 页)
- [69] 孔宇, 甄峰, 张姍琪, 等. 西方平台城市主义的兴起及对我国未来城市发展的思考[J/OL]. 国际城市规划, 2023: 1-13[2024-05-28]. <https://doi.org/10.19830/j.upi.2023.261>.
- [70] ERHARDT G D, ROY S, COOPER D, et al. Do transportation network companies decrease or increase congestion?[J]. Science advances, 2019, 5(5): eaau2670.
- [71] TIRACHINI A. Ride-hailing, travel behaviour and sustainable mobility: an international review[J]. Transportation, 2020, 47(4): 2011-2047.
- [72] 郭宇, 张敏. 文化生态系统服务评估在国土空间规划中的应用展望[J]. 自然资源学报, 2024, 39(2): 319-335.
- [73] 牛萌, 刘华, 穆晓红. 城市生态空间受损识别与评价研究: 以北京海淀北部新区、亦庄新城为例[J]. 园林, 2024, 41(1): 48-57.
- [74] 曾坚, 贺蔚杰, 曾穗平. 中国式现代化: 多源数据与人工智能技术支持下的国土空间规划理论框架[J]. 城市学报, 2023(5): 10-18.
- [75] 张耘逸, 罗亚. 规划引领数字国土空间全程智治总体框架探讨[J]. 规划师, 2021(20): 60-65.
- [76] 孔宇, 甄峰, 张姍琪, 等. 智能技术支持的社区规划: 概念模型与技术框架[J]. 城市规划, 2023, 47(1): 15-24, 114.
- [77] 甄峰, 席广亮, 张姍琪, 等. 智慧城市人地系统理论框架与科学问题[J]. 自然资源学报, 2023, 38(9): 2187-2200.

(本文编辑: 高淑敏)

(本文编辑: 高淑敏)



本文更多增强内容扫码进入