

城市化进程中的生态空间优化与生态修复技术体系构建

王多龙

内蒙古自治区巴彦淖尔市生态环境事业发展中心，内蒙古 巴彦淖尔 015000

DOI: 10.61369/EAE.2025010016

摘 要： 随着全球城市化进程的加速，城市发展与生态环境保护之间的矛盾日益凸显。城市生态空间作为维系城市生态系统健康、提供生态系统服务、保障人居环境质量的关键载体，在快速扩张的城市建设中面临着面积萎缩、格局破碎、功能退化等多重压力。本文深入探讨了城市化背景下生态空间所面临的严峻挑战，阐述了进行生态空间优化与生态修复的紧迫性和必要性。在此基础上，系统分析了城市生态空间优化的关键路径与方法，包括基于生态系统服务功能的空间识别与规划、生态网络构建与连通性提升策略以及多功能生态空间的整合与设计。同时，重点构建了城市生态修复的技术体系，涵盖了体系的核心构成、关键生态修复技术的原理与实践，以及技术集成、监测评估与适应性管理等重要环节。

关 键 词： 城市化；生态空间；空间优化；生态修复

Ecological Space Optimization and Construction of Ecological Restoration Technology System in the Process of Urbanization

Wang Duolong

Bayannur Ecological Environment Development Center, Inner Mongolia Autonomous Region, Bayannur,
Inner Mongolia 015000

Abstract： With the acceleration of the global urbanization process, the contradiction between urban development and ecological environment protection has become increasingly prominent. Urban ecological space, as a key carrier for maintaining the health of the urban ecosystem, providing ecosystem services, and ensuring the quality of the living environment, is facing multiple pressures such as shrinking area, fragmented layout, and functional degradation in the rapidly expanding urban construction. This article deeply explores the severe challenges faced by ecological space under the background of urbanization, and expounds the urgency and necessity of optimizing ecological space and ecological restoration. On this basis, the key paths and methods for optimizing urban ecological space were systematically analyzed, including spatial identification and planning based on ecosystem service functions, ecological network construction and connectivity improvement strategies, as well as the integration and design of multi-functional ecological Spaces. Meanwhile, a technical system for urban ecological restoration has been focused on, covering the core components of the system, the principles and practices of key ecological restoration technologies, as well as important links such as technology integration, monitoring and evaluation, and adaptive management.

Keywords： urbanization; ecological space; spatial optimization; ecological restoration

引言

城市化是人类文明进步和社会经济发展的必然趋势，但其快速推进也给生态环境带来了前所未有的压力。在城市扩张过程中，自然和半自然生态系统被大量侵占和改造，导致生态空间规模缩减、结构失衡、功能衰退，引发了生物多样性丧失、环境污染加剧、城市热岛效应增强、生态系统服务能力下降等一系列生态环境问题。生态空间作为城市及其周边区域内具有自然属性、以提供生态系统服务和生态产品为主要功能的地域空间，是保障城市生态安全、提升人居环境品质、实现区域可持续发展的基石。因此，如何在城市化进程中有效保护、优化和修复生态空间，构建健康的城市生态系统，已成为当前城乡规划、环境科学及生态学领域共同关注的核心议题。优化生态空间布局、提升其生态功能，并运用科学的生态修复技术对受损区域进行干预，是缓解城市发展与生态保护冲突、走向生态文明的必由之路。

作者简介：王多龙（1979.08—），男，汉，内蒙古巴彦淖尔人，工作单位：内蒙古自治区巴彦淖尔市生态环境事业发展中心，职称：高级工程师（副高），学历：大学本科，研究方向：生态修复。

一、城市化对生态空间的挑战与优化必要性

（一）城市化进程对生态空间的胁迫效应

城市化的核心特征之一是土地利用/覆被的剧烈变化。大规模的建设活动将农田、林地、草地、湿地等自然或半自然生态空间转变为建筑、道路等不透水地面，直接导致生态空间的绝对数量减少^[1]。更为严重的是，剩余的生态空间往往被城市建成区分割、包围，形成孤立、破碎的“生态孤岛”，阻碍了物种迁徙、基因交流和能量流动，降低了区域生态系统的整体性和稳定性^[2]。同时，城市高强度的人类活动带来了严重的环境污染，工业排放、交通尾气、生活污水和固体废弃物等污染源，持续对城市内部及周边的土壤、水体和大气环境造成污染，损害生态空间的质量和生态功能。此外，城市硬质下垫面取代自然植被，加上人为热量排放，显著改变了局地气候，形成“城市热岛效应”，进一步干扰了生态过程，对生物生存构成威胁。这些胁迫效应相互交织、累积放大，共同导致了城市生态系统服务（如水源涵养、空气净化、气候调节、生物多样性维持等）能力的显著下降。

（二）生态空间优化的内涵与目标

城市生态空间优化并非简单地追求绿地面积的最大化，而是指在深刻理解城市生态系统结构与功能的基础上，通过科学规划和合理布局，调整生态空间的数量、质量、空间格局和连通性，使其能够更有效地发挥生态功能、提供生态系统服务，并与城市社会经济系统协调发展的过程^[3]。其核心内涵在于提升生态空间的“生态效率”和“系统韧性”。优化的目标是多维度的：首先，要保障关键生态过程的顺畅进行，维持区域生态安全格局，例如保护重要的水源涵养区、生物多样性热点区域和生态廊道；其次，要最大化生态系统服务的供给能力，满足城市居民对清洁空气、水、宜人气候和游憩空间的需求；再次，要提升城市生态系统应对自然灾害（如暴雨内涝、高温热浪）和人为干扰的韧性与恢复力；最后，要促进生物多样性的保护与恢复，为各类生物提供适宜的栖息地和迁移通道，构建人与自然和谐共生的城市环境。

（三）优化生态空间的紧迫性与战略意义

面对城市化带来的生态压力，进行生态空间优化已刻不容缓。首先，这是落实国家生态文明建设战略部署、推动绿色发展的内在要求^[4]。优化生态空间是划定并严守生态保护红线、构建国土空间开发保护新格局的重要组成部分。其次，这是提升城市可持续发展能力和综合竞争力的关键举措。一个拥有健康、高效生态空间的城市，能够吸引人才、资本，提升居民幸福感，降低环境治理成本，展现更强的长期发展潜力。再次，优化生态空间对于提升城市应对气候变化、防灾减灾能力具有重要意义。例如，合理的城市湿地、绿地布局能有效缓解城市内涝，降低热岛强度。最后，随着公众生态意识的提升，对高质量生态环境的需求日益增长，优化生态空间是满足人民日益增长的优美生态环境需要的民生工程。因此，将生态空间优化纳入城市发展顶层设计，具有极其重要的现实紧迫性和深远的战略意义。

二、城市生态空间优化的关键路径与方法

（一）基于生态系统服务功能的空间识别与规划

生态空间优化的首要步骤是科学识别哪些区域对于维持城市及区域生态系统的健康与服务功能至关重要。这需要借助生态系统服务评估方法和工具^[5]。例如，利用 InVEST（Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs）、ARIES（Artificial Intelligence for Ecosystem Services）等模型，结合遥感影像、地理信息系统（GIS）、地面调查等多源数据，定量评估不同区域的水源涵养、土壤保持、碳储存、空气净化、生境提供等关键生态系统服务的供给能力。通过对各项服务功能进行空间制图与叠加分析，可以识别出生态功能极重要区（生态源地）、生态敏感区以及生态功能提升潜力区。基于这些识别结果，在国土空间规划、城市总体规划等各层次规划中，应明确这些关键生态空间的边界，将其纳入强制性保护或优先恢复范围，并制定差异化的管控措施和优化策略，确保城市发展不突破生态承载力的底线。

（二）生态网络构建与连通性提升策略

破碎化是城市生态空间面临的主要问题之一，构建生态网络是提升生态空间连通性、维护生态系统整体性的有效途径^[6]。生态网络通常由“源地—廊道—节点”构成。“源地”是大型、高质量的生态斑块，是物种栖息和生态功能的核心区；“廊道”是连接源地的线性或带状生态空间，如河流廊道、道路绿带、山脉走向等，为物种迁移和能量流动提供通道；“节点”是廊道交汇处或小型关键生态斑块，起到“踏脚石”或中转站的作用。构建生态网络需要综合运用最小累积阻力模型（MCR）、电路理论等方法，识别关键的生态源地，模拟物种扩散路径，规划设计生态廊道的走向、宽度和结构。提升连通性的策略包括：保护和修复现有的自然廊道（如河流及其滨水带）；建设人工或半人工廊道（如城市绿道、大型公园之间的连接绿带）；在关键位置设置“踏脚石”斑块；通过生态化的基础设施设计（如动物通道、生态桥梁）克服交通线路等硬性障碍。构建多尺度、功能复合的生态网络，能够有效缓解生境破碎化影响，提升区域生物多样性和生态系统韧性^[7]。

（三）多功能生态空间的整合与设计

传统的城市绿地往往侧重于单一的景观美化或游憩功能。现代生态空间优化理念强调多功能整合，即在有限的城市空间内，通过精心的设计，使生态空间同时承载生态、社会、经济等多重效益^[8]。例如，“海绵城市”建设理念就是多功能生态空间整合的典型实践，通过构建雨水花园、下沉式绿地、植草沟、透水铺装、人工湿地等“绿色”和“灰色”基础设施，实现雨水的自然积存、渗透、净化和利用，兼具防洪排涝、水质改善、雨水资源化、微气候调节和生物栖息地等多重功能。城市中的废弃地、棕地可以通过生态修复技术改造为具有科普教育、休闲游憩和生态保育功能的生态公园。城市边缘的农业用地可以发展都市农业，融合生产、生态、观光、教育等功能。在设计层面，需要注重引入乡土物种，营造近自然的群落结构，增加生境多样性，提升生

态功能；同时，要充分考虑人的需求，设置适宜的活动场地、科普标识、无障碍设施等，促进人与自然的互动，实现生态效益与社会效益的统一。

三、城市生态修复技术体系的构建与应用

（一）生态修复技术体系的核心构成

城市生态修复技术体系是一个涵盖多种技术手段、针对不同受损生态系统类型和修复目标的综合性框架^[9]。其核心构成可以大致分为以下几个层面：首先是污染控制与治理技术，主要针对城市化过程中产生的水体、土壤、大气等环境污染问题，包括物理修复（如客土法、固化/稳定化）、化学修复（如化学淋洗、氧化还原）和生物修复（如植物修复、微生物修复）等技术，旨在削减污染负荷，改善环境介质质量。其次是生境恢复与重建技术，侧重于恢复受损或退化的栖息地，如湿地重建、河流生态修复（河岸带植被恢复、河道形态改造）、矿山/废弃地植被恢复（基质改良、先锋植物种植、群落演替诱导）、城市土壤改良与重建等，旨在恢复生态系统的结构和基本功能。再次是生物多样性保育与提升技术，包括乡土物种筛选与繁育、植被群落构建、动物栖息地营造（人工鸟巢、昆虫旅馆）、物种引种与辅助迁移、生态廊道功能强化等，旨在提升区域的物种丰富度和遗传多样性。最后是生态系统管理与调控技术，如水资源优化调度、外来入侵物种防控、生态监测与预警、适应性管理策略等，旨在维持修复后生态系统的长期稳定和健康运行。

（二）关键生态修复技术的原理与实践

在众多生态修复技术中，有几类在城市环境中应用尤为广泛且关键。例如，针对城市水体污染和内涝问题，人工湿地技术通过模拟天然湿地的结构和功能，利用“基质-微生物-植物”复合系统的物理、化学、生物协同作用，高效去除水中的污染物，同时具有调蓄雨洪、美化景观、提供生境等多种效益。生态浮岛/浮床技术则利用漂浮载体种植水生植物，其根系深入水中吸收污染物，为微生物提供附着场所，适用于湖泊、河道等开放水体的净化^[10]。对于受污染的城市土壤，植物修复技术利用特定植物（超富集植物或耐性植物）吸收、固定、转化或挥发土壤中的重金

属、有机污染物等，具有成本低、环境友好、易于管理等优点，但周期相对较长。微生物修复技术则利用土著或外源微生物的代谢活动降解有机污染物或改变重金属形态，效率较高。在植被恢复方面，强调“近自然”原则，优先选用适应性强、生态位互补的乡土植物，构建结构复杂、功能稳定的植物群落，不仅能快速覆盖裸露地表、防治水土流失，还能为动物提供食物和栖息地，促进生态系统的正向演替。

（三）技术集成、监测评估与适应性管理

城市生态修复往往面临复杂的问题和多重目标，单一技术难以奏效，需要根据修复区域的具体条件（如污染类型与程度、场地空间、水文地质条件、修复目标等）和成本效益，将多种技术进行优化组合与集成应用。例如，在污染河流修复中，可能需要结合底泥清淤（物理）、曝气增氧（物理/化学）、人工湿地（生物/生态）、岸带植被恢复（生态）等多种技术。技术集成应用后，必须建立完善的长期监测与评估体系。监测内容应涵盖水质、土壤质量、植被生长状况、生物多样性（指示物种）、生态系统服务功能变化等多个方面，运用地面采样分析、遥感监测、模型模拟等多种手段，全面、动态地掌握修复效果。基于监测评估结果，需要实施适应性管理。适应性管理是一种“实践-监测-评估-调整”的循环过程，它承认生态系统和修复过程的不确定性，强调在实践中学习，根据反馈信息及时调整修复策略和管理措施，以确保持续达到或逼近修复目标，提高修复工程的成功率和长期效益。

四、结论

城市化是不可逆转的时代潮流，但其发展路径并非注定以牺牲生态环境为代价。通过科学的生态空间优化与有效的生态修复，完全有可能实现城市发展与生态保护的协同共进。生态空间优化是顶层设计，重在预防和格局塑造，通过合理的规划布局，保障城市生态安全底线，提升生态系统服务供给能力和韧性；生态修复则是问题导向的干预措施，重在治理和功能恢复，运用系统化的技术手段，修复受损的生态系统，改善人居环境质量。二者相辅相成，共同构成了城市可持续发展的重要生态支撑。

参考文献

- [1] 罗岭. 空间价值博弈视角下城乡过渡区生态空间优化策略研究 [D]. 重庆交通大学, 2024.
- [2] 侯凯琦. 基于生态系统服务评估的流域生态空间优化研究 [D]. 华中科技大学, 2024.
- [3] 王浩阳, 牛文浩, 宋曼, 等. 基于 LUCC 及其 ESV 响应的陕西省生态网络构建与空间优化 [J]. 资源科学, 2023, 45(07): 1380-1395.
- [4] 柳清. 基于景观生态服务过程的济南市生态空间结构研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [5] 李荷. 韧性营建: 高密度建成环境内生态空间优化研究 [D]. 重庆大学, 2020.
- [6] 李茜. 国土空间规划背景下的高密度城市化地区生态空间治理机制及实现路径 [J]. 未来城市设计与运营, 2024, (01): 33-39.
- [7] 杨学亮, 谢旻珂, 张云路, 等. 城市化对城乡生态空间碳储量的影响机制——以北京市为例 [J]. 中国城市林业, 2023, 21(06): 98-105+142.
- [8] 周添惠. 快速城市化地区“三生”空间演变与食物供需研究 [D]. 云南大学, 2022.
- [9] 钟国庆. 城市化对岭南水乡生态空间的影响及修复策略探讨——以广州小洲村为例 [J]. 安徽建筑, 2022, 29(03): 3-6.
- [10] 何龙斌, 凌自苇, 安琪, 等. 高度城市化地区生态空间规划管控研究——以深圳市为例 [J]. 建设科技, 2021, (08): 54-59.