

基于生态修复理念的城市基础设施设计分析

鲍晓磊

北京瑞麟市政工程有限公司, 北京 101300

DOI:10.61369/UAID.2025020014

摘 要： 当前，随着经济的发展，城市化进程日渐深入，人们对城市建设的重视程度日益提升。在此背景下，本文围绕基于生态修复理念的城市基础设施设计展开探讨，先阐述其基本原则。接着指出当前面临的困境，一方面设计常忽视对生态环境的影响，破坏生态平衡；另一方面智能化设施欠缺，难以实现高效管理与精准调控。接着提出相应的设计策略，具体涉及海绵城市设计、推进智能化基础设施设计等内容，通过上述内容，希望可以促进城市基础设施建设和生态环境的和谐共生。

关 键 词： 生态修复理念；城市；基础设施设计

Analysis of Urban Infrastructure Design Based on Ecological Restoration Concept

Bao Xiaolei

Beijing Ruilin Municipal Engineering Co., Ltd., Beijing 101300

Abstract： This article explores the design of urban infrastructure based on the concept of ecological restoration, first elaborating on its basic principles. The functional principle ensures that the infrastructure meets the basic operational needs of the city, while the sustainable principle emphasizes long-term development and rational use of resources. Continuing to point out the current challenges, on the one hand, designs often overlook the impact on the ecological environment and disrupt ecological balance; On the other hand, there is a lack of intelligent facilities, making it difficult to achieve efficient management and precise regulation. Then propose corresponding design strategies, specifically involving sponge city design, promoting intelligent infrastructure design, etc. Through the above content, we hope to promote the harmonious coexistence of urban infrastructure construction and ecological environment.

Keywords： concept of ecological restoration; city; infrastructure design

引言

城市基础设施的建设关乎城市的日益繁荣及人类的未来，它是提供必要资源的场所，是城市经济增长的关键因素。城市基础设施不仅提供便利的交通条件、优美的城市环境，还提供优秀的市政服务，帮助人们应对各种挑战。所以深入探讨基于生态修复理念的城市基础设施设计，具有显著的现实意义。

一、城市基础设施设计的基本原则

（一）功能性

道路规划需紧密贴合城市发展格局与人口流动规律。以主干道为例，其必须能应对高峰时段的车流量，保障城市多个个区域间的快速联通。

（二）可持续性原则

城市基础设施设计需最大程度降低对自然环境的负面影响。在水资源管理设施方面，通过建设雨水收集系统，将降雨收集起来，经过净化处理后用于城市绿化灌溉、道路冲洗等非饮用水用

途，进而提高水资源的利用效率^[1]。

二、生态修复背景下城市基础设施设计面临的困境

（一）忽视生态环境影响

部分城市在进行基础设施规划时，缺乏对生态环境的系统性评估。在道路建设前期，没有充分考量路线穿越地区的生态敏感区域，像湿地、自然保护区或者野生动物栖息地等，导致物种数量减少，生物多样性遭到严重破坏。而且，大规模的道路建设需要进行大面积的土地开发，使得原本的植被被铲除，土壤结构被改变。

（二）智能化设施欠缺

对于城市生态环境而言,缺乏全面且实时的监测系统是一大困难。在大气环境监测方面,站点分布不够广泛和均匀,难以准确获取城市各个区域的空气质量数据。在基础设施运行监测上同样如此,以城市供水管网为例,很多地方仍依赖人工定期巡检来发现管道泄漏等问题,不能实时感知管道内部压力变化、水流异常等情况。一旦出现突发泄漏事件,难以及时定位和处理,造成水资源的大量浪费,也会导致局部积水导致土壤侵蚀或植被受淹^[2]。

三、基于生态修复理念的城市基础设施设计策略

（一）海绵城市建设

1. 源头减排设施的精细化布局与设计

绿色屋顶作为海绵城市建设中重要的源头减排设施,其设计需充分考虑多方面因素。先是植物选择,要依据当地气候、土壤条件挑选适应性强的本土植物品种。对于北方地区,需选择耐寒、耐旱的景天科植物,这类植物根系浅且储水能力较好,能有效滞留雨水;在南方湿润地区,则可选用一些喜湿且观赏价值高的草本植物;绿色屋顶的构造层次也至关重要。从下往上依次为防水层、排水层、过滤层和种植层。防水层要具备可靠的防水性能,防止雨水渗漏对建筑物造成损害;排水层通常采用陶粒、砾石等材料,保证多余水分能迅速排出;过滤层一般用土工布,可阻止种植土颗粒随水流流失;种植层的厚度根据植物种类而定,小型草本植物种植层厚度约10~15cm,较大型植物则需20~30cm^[3]。

2. 雨水收集系统优化

（1）屋面雨水收集量计算

屋面雨水收集主要考虑降雨量、屋面面积以及径流系数等因素。计算公式为:

$$V_{roof} = \psi \times A \times h \times 10^{-3} \quad (1)$$

其中, V_{roof} 为屋面雨水收集量 (m^3); ψ 为径流系数,不同屋面材质径流系数不同,例如沥青屋面 $\psi=0.9$,混凝土屋面 $\psi=0.85$ 等; A 为屋面有效集水面积 (m^2); h 为设计降雨厚度 (mm)。

（2）地面雨水收集量计算

地面雨水收集量同样需要考虑径流系数、地面面积以及降雨量,公式如下^[4]:

$$V_{ground} = \sum_{i=1}^n \psi_i \times A_i \times h \times 10^{-3} \quad (2)$$

其中, V_{ground} 为地面雨水收集总量 (m^3); ψ_i 为第 i 种地面类型的径流系数; A_i 为第 i 种地面类型的面积 (m^2); n 为不同地面类型的数量。

（3）雨水调蓄池容积计算

雨水调蓄池用于调节雨水流量,削峰错峰,其容积计算较为复杂,常用的方法有极限强度法和容积系数法。

（4）极限强度法

$$V = \frac{1}{2} \times Q_{max} \times t \quad (3)$$

其中, V 为调蓄池容积 (m^3); Q_{max} 为设计暴雨流量 (L/s),可通过暴雨强度公式 $q = \frac{167A(1+clgP)}{(t+b)^n}$ 计算得出 (Q 为暴雨强度, $L/(s \cdot ha)$; A 、 C 、 b 、 n 为当地参数; P 为设计重现期; t 为降雨历时),再结合汇水面积计算 $Q_{max} = q \times \psi \times F$ (F 为汇水面积, ha) $\cdot t$ 为降雨历时 (s),一般取设计降雨历时。

（5）容积系数法

$$V = \alpha \times \sum_{i=1}^n A_i \times h \times 10^{-3} \quad (4)$$

其中, V 调蓄池容积 (m^3); α 为调蓄系数,取值范围一般在0.1~0.3之间,根据当地降雨特性、排水系统要求等确定; A_i 为各汇水区域面积 (m^2)^[5]。

3. 排水系统的生态化改造

（1）LID调蓄容积计算

LID设施,如雨水花园、绿色屋顶、植草沟等,在减少地表径流、补充地下水方面发挥重要作用。以雨水花园为例,其调蓄容积计算公式如下:

$$V_{raingarden} = \alpha \times A_{garden} \times h_{eff} \quad (5)$$

其中, $V_{raingarden}$ 为雨水花园调蓄容积 (m^3); α 为综合雨量径流系数,取值范围通常在0.5~0.8之间,取决于场地土壤类型、植被覆盖情况等因素; A_{garden} 为雨水花园的有效面积 (m^2); h_{eff} 为有效调蓄深度 (m),根据雨水花园的设计构造和预期功能确定。

（2）生物滞留设施渗透能力计算

生物滞留设施通过土壤和植被的作用,增强雨水的渗透能力。其渗透速率计算公式为^[6]:

$$K = \frac{Q}{A \times h} \quad (6)$$

其中, K 为渗透系数 (m/d),反映土壤允许水分渗透的能力,不同土壤质地的渗透系数差异较大,如砂土的渗透系数可达10~100m/d,黏土则在0.01~0.1m/d之间; Q 为渗透水量 (m^3)。

（3）生态沟渠过水能力计算

生态沟渠相较于传统沟渠,更注重生态功能的实现。过水能力可通过曼宁公式计算:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

其中, Q 为过水流量 (m^3/s); n 为曼宁糙率系数; A 为过水断面面积 (m^2); R 为水力半径 (m), $R = \frac{A}{P}$, P 为湿周,即过水断面与渠壁接触的周长; S 为渠道底坡。

（4）排水管网生态化改造后的水力计算

在对传统排水管网进行生态化改造后,需重新评估其水力性能,可采用改进的达西-威斯巴赫公式计算沿程水头损失:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

其中, h_f 为沿程水头损失; f 为摩擦系数; L 为管段长度; D 为管道内径; v 为管内水流速度 (m/s); g 为重力加速度。

局部水头损失计算公式为^[7]:

$$h_j = \sum \xi \times \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

其中, h_j 为局部水头损失; ξ 为弯头、三通、阀门等部件的局部阻力系数。

(二) 智能化基础设施设计

1. 构建智能电网

先对城市现有电网进行系统性升级改造, 淘汰老旧的输电线路、变压器等设备, 再采用更高电压等级的输电技术来提升电网的输电能力与效率; 大力建设分布式电网, 将分布式能源资源(如太阳能、风能发电设施)有序接入电网。在城市社区、工业园区等区域, 建设小型分布式变电站, 实现能源的就地生产、就地消纳, 降低长距离输电带来的损耗。并引入柔性交流输电系统(FACTS)等先进技术, 增强电网的灵活性与稳定性, 提高对分布式能源的接纳能力。

2. 智能能源管理系统

在城市基础设施中, 能源的高效利用与分配至关重要。以智能电网与分布式能源资源(太阳能板、风力发电机等)结合为例, 涉及到功率平衡和收益优化等问题, 功率平衡公式计算如下:

$$P_{grid} + P_{distributed} = P_{load} + P_{loss} \quad (10)$$

其中, P_{grid} 是从电网获取的功率(kW); $P_{distributed}$ 是分布式能源资源产生的总功率(kW); 对于太阳能板, 其功率 $P_{solar} = \eta \times A \times G$ (η 是太阳能板转换效率; A 是太阳能板总面积; G 是太阳辐射强度); 而对于风力发电机, 其功率为: $P_{wind} = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi r^2 C_p$ (ρ 是空气密度; v 是风速; r 是风力发电机叶片半径; C_p 是风能利用系数); P_{load} 是城市基础设施的总用电负荷; P_{loss} 是电力传输和分配过程中的功率损耗, 一般可表示为 $P_{loss} = I^2 R$ (I 是电流强度; R 是线路电阻)。

3. 智能交通系统

智能交通系统旨在提高交通效率、减少尾气排放, 从而促进城市生态环境改善。在交通流量预测模型中, 以卡尔曼滤波为例: 设 x_k 是 k 时刻的交通状态向量(例如包含车流量、车速等信息), 预测方程为:

$$\hat{x}_{k|k-1} = Ax_{k-1|k-1} + Bu_{k-1} \quad (11)$$

其中, $\hat{x}_{k|k-1}$ 是基于 $k-1$ 时刻信息对 k 时刻交通状态的预测值; A 是状态转移矩阵, 描述交通状态随时间的变化规律; B 是控制输入矩阵; u_{k-1} 是 $k-1$ 时刻的控制输入(如信号灯控制策

略等)。

更新方程为:

$$\hat{x}_{k|k} = x_{k|k-1} + K_k (z_k - Hx_{k|k-1}) \quad (12)$$

其中, $\hat{x}_{k|k}$ 是融合了 k 时刻观测数据后的交通状态估计值; K_k 是卡尔曼增益矩阵; z_k 是 k 时刻的实际观测值(如传感器测量的车流量、车速等); H 是观测矩阵, 将交通状态向量映射到观测空间。

在尾气排放估算中, 车辆尾气排放与车速、车流量等因素相关。以一氧化碳(CO)排放为例, 排放模型为^[9]:

$$E_{CO} = \sum_{i=1}^n e_{CO,i} \times v_i \times t_i \quad (13)$$

其中, E_{CO} 是某区域一段时间内的CO总排放量; $e_{CO,i}$ 是第 i 类车辆单位车速单位时间的CO排放因子; v_i 是第 i 类车辆的平均车速; t_i 是第 i 类车辆在该区域行驶的总时间。

4. 智能水资源管理系统

(1) 供水管网压力监测与调控

根据流体力学原理, 伯努利方程可用于分析管网中不同位置的的压力关系^[9]:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (14)$$

其中, P_1 、 P_2 分别是管网中两个位置的压强; ρ 是水的密度(kg/m^3); v_1 、 v_2 是对应位置的水流速度(m/s); h_1 、 h_2 是相对于某一基准面的高度。进一步智能控制系统根据压力监测数据, 通过调节水泵的运行频率来维持管网压力稳定,^[10]水泵的扬程 H 与频率 f 的比例关系如下:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \quad (15)$$

其中, H_1 、 H_2 是不同频率 f_1 、 f_2 下的水泵扬程。

结语: 总的来说, 我国的经济日益迅速, 但是在发展的过程中尤其是城市化进程中也带来了诸多环境问题, 所以加强城市的生态文明建设已经成为城市发展的一个重要方向。展望未来, 城市建设者需秉持生态修复理念, 不断优化设计, 在满足城市发展需求的基础上, 守护好生态环境。

参考文献

- [1] 谢小泽, 张玉滢, 马骏, 等. 生态修复理念在城市风景园林设计中的应用——以淄博市为例[J]. 现代园艺, 2025, 48(12): 99-101.
- [2] 胡晓娟. 海绵城市理念下的绿色雨水基础设施规划设计研究[J]. 城市开发, 2025, (11): 108-110.
- [3] 王慧生. 绿色基础设施理念在城市泵闸站排涝设计中的应用研究[J]. 水上安全, 2025, (09): 86-88.
- [4] 毕丽爽. 韧性城市建设中给排水基础设施创新设计[J]. 中国高新科技, 2025, (09): 77-79.
- [5] 李贵光. 智慧城市建设进程中通信基础设施的规划与设计研究[J]. 通讯世界, 2025, 32(04): 22-24.
- [6] 蔡伟娜. 城市更新背景下市政基础设施景观品质提升设计策略解析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (10): 196-198.
- [7] 陈继迪. 城市基础设施的更新设计——以SOX公交站亭为例[J]. 城市建筑, 2025, 22(05): 58-60.
- [8] Zhu Y. Urban Infrastructure Design for Advocating Pedal Power[J]. Hill Publishing, 2025, 5(1): 25-29.
- [9] AlKhedher S, Abdullah W, Sayegh AH, et al. An urban infrastructure design for a light rail system in Jordan[J]. Public Transport, 2025, (prepublish): 1-23.
- [10] 孙雯, 欧阳原野, 谭杰. 基于生态修复理念的城市湿地公园景观设计探究——以中山湿地公园为例[J]. 工业设计, 2024, (12): 63-66.