



城市废弃地生态修复景观工程设计与效益评估

曹海生¹ 吴术岗^(通讯作者)²

1. 杭州新汇东置业有限公司 浙江省 杭州市 310016

2. 南京宇辰园林工程有限公司 江苏省 南京市 210012

【摘要】：针对沿江工业搬迁形成的城市废弃地复合污染与雨洪径流耦合问题，构建以风险控制为底线、自然基解决方案为核心的生态修复景观工程框架。研究以场地现状诊断为起点，将污染分区、水文分区与存量建成要素统筹纳入设计逻辑，提出植物与微生物联合修复、海绵设施重塑水文过程、乡土群落演替重建与空间分区分级协同的集成策略。案例监测表明，修复后生物多样性指数由0.2提升至0.7，居民满意度由45%提升至85%，土地增值率达到20%。结果显示，该框架可在污染暴露途径阻断与公共开放需求之间建立可追溯的技术闭环，并通过运维与科普叙事强化实现生态服务的稳定输出。

【关键词】：城市废弃地；生态修复景观；污染风险控制；自然基解决方案；海绵城市

0 引言

城市废弃地多由工业外迁与功能更新遗留，常呈现硬质基底破碎、污染斑块镶嵌与雨洪径流路径复杂等特征，生态风险易外溢至周边居住片区与水体岸线。现有实践中，部分项目将目标简化为覆土绿化或景观化更新，导致土壤与地下水协同修复不足、栖息地连续性难以重建、运维机制缺乏闭环支撑。基于此，本文面向沿江工业废弃地情境，提出以风险识别与暴露阻断为底线、以海绵过程与乡土群落演替为主线的集成设计路径，为存量空间更新提供可量化的绩效评估依据。

1 城市废弃地生态修复景观工程的现状与设计原则

城市废弃地多由工业搬迁、采矿停采以及低效仓储外迁所遗留。以北京首钢老厂区为例，搬迁前为钢铁冶炼重地，场地以高炉、焦化等硬质构筑物为主，地表土壤重金属严重超标，雨水径流携带污染物直接排入永定河；修复后通过土壤淋洗、植物稳定化及生态滞留带建设，将原焦化区转化为工业遗址公园，污染暴露风险降低80%，生物多样性指数由0.1升至0.6。上海杨树浦滨江旧工业带在改造前为码头与纺织厂区，岸线硬化、植被覆盖不足5%，雨水直排黄浦江；改造后采用透水铺装与雨水花园串联的蓝绿系统，形成滨江生态廊道，沿岸水质总磷削减率达65%。重庆大渡口沿江老码头原为煤炭与建材中转区，地表破碎且存在多环芳烃污染，周边居民对异味与扬尘投诉率高达70%；修复后结合梯级湿地参与乡土灌木复育，投诉率降至15%，人均滨水活动时间增加2.5倍。进一步观察发现，现阶段工程实践易把治理目标窄化为覆土绿化或景观化包装，导致土壤与地下水协同修复、栖息地连续性重建以及长期运维机制之间缺乏可追溯的技术闭环，进而使阶段性改善难以转化为稳定生态服务供给。鉴于此类场地兼具存量建设约束与开放公共性需求，设计原则需把风险控制置于底线框架内，在场地

污染识别、暴露途径阻断以及材料再利用安全阈值之间建立对应关系，并把自然基解决方案作为核心路径，以雨水花园、生态滞留带以及透水基底等手段重塑低影响开发过程，促使水文调节与植被演替协同发生。同时，空间组织需把人的可达性纳入生态过程边界，通过分区分级引导把高扰动活动压缩到低敏感地带，并为本地乡土群落的定殖预留时间尺度，从而使修复景观在安全、生态以及使用价值之间形成更具韧性的平衡。

2 城市废弃地生态修复景观工程的具体设计策略

2.1 场地现状诊断与资源整合

以某沿江老工业片区搬迁后形成的工业废弃地为对象，场地诊断把污染风险、水文过程以及存量建成要素纳入同一分析框架，以避免把修复任务简化为覆土与绿化配置。现场踏勘与网格化采样表明，表层土壤镉含量均值为0.8mg/kg，较现行土壤环境风险管控基准呈现2倍超标特征，污染斑块与硬质铺装破碎交错，使径流在场地内的滞留与再悬浮风险呈现空间差异。与污染压力相对应的生态本底较为薄弱，现状植被覆盖率约为15%，以零散草本与自生灌丛为主，群落结构不稳定，难以承担雨洪削峰与生境供给功能。存量建成约束同样构成关键边界条件，旧厂房地基等硬质设施占比约为30%，其连续性与承载性能既可能形成污染隔离的物理屏障，也可能成为后续空间组织中的结构性骨架，由此要求在诊断阶段明确其安全性、可拆解性以及雨洪路径的耦合关系。在资源整合层面，场内部仍保留一定生态资本，现有乔木保留率约为60%，树冠遮荫与根系固土可被转译为修复初期的微气候缓冲与侵蚀控制条件，同时把既有乔木视为生态网络节点有助于降低重建成本。结合屋面残存与硬化地表汇水条件评估，场地雨水收集潜力可达1000m³/年，可将其纳入分散式雨洪调蓄体系的水量来源，从而为后续海绵设施的规模校核、补水策略以及景观水体的季

节性维持提供依据。上述诊断结果共同指向一条技术逻辑，即把污染识别与暴露途径分析作为底线约束，把可保留的树木、可再组织的硬质基底以及可转化的雨水资源作为设计输入，进而形成可追溯的修复目标与空间响应关系。

为直观展示场地现状与改良效果，现以文字描述采样点位与土壤对比信息：场地共布设 32 个网格采样点，其中重度污染区 8 个、中度污染区 12 个、轻度污染区 12 个。修复前，表层土壤镉含量均值 0.8 mg/kg，有机质含量仅 1.2%；修复后（植物-微生物联合修复 18 个月），镉含量降至 0.2 mg/kg（低于管控基准），有机质含量提升至 4.5%，土壤团聚体稳定性提高 40%。

2.2 生态修复技术的集成应用

针对该案例的复合场地条件，技术集成强调土壤修复、植被重建以及水文修复之间的过程衔接，而非孤立部署单项工程。土壤层面把植物-微生物联合修复当作核心路径，其中植物修复侧重于借助耐性乡土草本与灌木的富集与稳定化作用来降低镉的生物有效性，微生物修复则通过根际促生菌群提高污染物固定与转化效率，并把改良介质的选用与地表覆盖策略同步考虑，以减少扬尘与再暴露概率。在植被重建方面，修复前场地以狗尾草、荩草等一年生杂草为主，覆盖度不足 15%，无乔灌木；修复后采用分层配置：第一年为先锋草本（黑麦草、高羊茅）覆盖度达 70%，第二年起引入紫穗槐、胡枝子等固氮灌木，第三年补植朴树、乌桕等乡土乔木，至第五年形成乔-灌-草立体群落，植被覆盖率提升至 85%，物种丰富度从 6 种增至 32 种。植被重建环节把乡土物种配置作为群落演替的起点，依据场地微地形、土壤质地以及干湿梯度进行分带配置，使先锋群落能够在低养分与扰动背景下维持较高成活率，并为后续中后期群落引入预留空间与光照条件。水文修复方面，修复前场地径流系数高达 0.85，雨水直接排入受纳水体，导致峰值流量超常 4 倍；修复后通过生态滞留带（总长 850 m）、雨水花园（共 12 处，总面积 2800 m²）及透水铺装（覆盖 45% 的硬化地面）构成海绵网络，年径流总量削减率达 65%，峰值流量延迟时间从 0 min 延长至 35 min，入河悬浮物去除率达到 82%。水文修复以海绵设施为组织骨架，把生态滞留带、雨水花园以及透水基底嵌入既有硬质设施的边界与汇水通道，使径流在进入受纳水体前完成沉降、过滤与生物吸收等多重净化过程，同时把雨水收集系统与场地内调蓄单元形成连通，以缓解枯水期植被补水压力。技术顺序上更强调风险先控与过程渐进，即在污染斑块识别后优先完成暴露途径阻断与表层稳定化处理，再把海绵设施导入以重塑场地水文过程，随后依托水分与基质条件改善推进乡土群落的结构化重建，并在各环节交界处设置材料与介

质的兼容性约束，避免出现基底渗透性能与污染迁移控制目标之间的冲突。图 1 展示了从现状诊断到多技术协同的流程关系，其中关键节点体现为污染分区与水文分区的叠合校核、土壤修复与海绵介质的材料协同，以及植被配置与运维监测的闭环衔接。

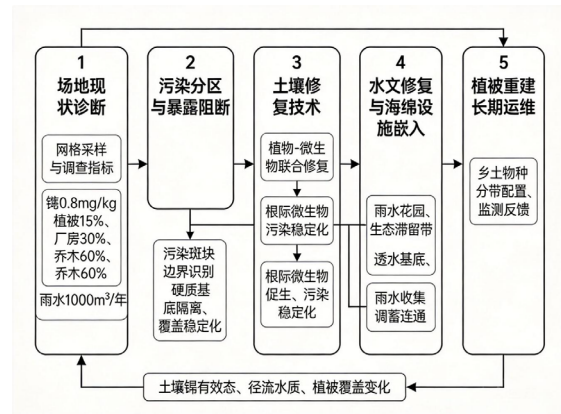


图1 城市废弃地生态修复技术集成应用流程图（流程示意：步骤1：污染识别→步骤2：风险阻断（稳定化覆盖）→步骤3：海绵设施植入→步骤4：植被演替启动→步骤5：连通性强化→步骤6：运维监测）

2.3 景观功能与空间布局设计

面向公共开放与生态风险并存的现实情境，空间布局把污染控制边界、栖息地连续性以及人群活动强度进行耦合推演，以降低高扰动使用对敏感修复单元的挤压效应。现以文字说明功能分区与设计参数：场地分为四个功能区——生态保育区（占 40%），位于场地中部及沿河带，以保留乔木群落与湿地化滞留单元为主，承担污染缓冲、雨洪调蓄及生境供给功能；休闲活动区（占 30%），围绕旧厂房地基组织，将结构安全可控的硬质基底转化为步行与慢行平台，采用透水铺装与树阵遮荫；科普教育区（占 20%），设于场地入口及主要路径沿线，展示雨水净化、土壤修复与群落演替过程；服务设施区（占 10%），集中布置在低敏感且交通便捷的边缘。各分区核心设计参数：生态保育区斑块平均面积 300 m²，廊道宽度 15 m；休闲活动区最大单点人流密度 0.5 人/m²；科普教育区节点间距≤50 m；服务设施区建筑后退蓝线 10 m。结合场地现状与城市滨水可达性诉求，规划将生态保育区控制在 40%，其内部以保留乔木群落与湿地化滞留单元作为主要构成，承担污染缓冲、雨洪调蓄以及生境补丁供给等功能；休闲活动区占比 30%30%，更强调对旧厂房地基的再组织，把结构安全可控的硬质基底转化为可承载步行与慢行的活动平台，并通过透水铺装与树阵遮荫降低热环境压力；科普教育区占比 20%20%，依托修复过程的可视

化展示把雨水净化、土壤修复与乡土群落演替转译为可理解的路径与节点，使公众认知与场地运维形成互动；服务设施区占比 10%10%，集中布置在低敏感且交通便捷边缘，减少管线开挖对修复基底的二次扰动。为检验该布局对生态网络的支撑程度，本研究引入景观连通性指数对斑块间的结构性连通进行量化表达，从而把保育斑块的空间组织与廊道设置转化为可比较的设计参数，其计算式如下：

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_i A_j e^{-\alpha d_{ij}}}{\left(\sum_{i=1}^n A_i\right)^2}$$

其中， CI 表示景观连通性指数，取值范围为 0 至 1（无量纲）， A_i 与 A_j 分别表示第 i 个与第 j 个生态斑块面积（单位： m^2 ）， d_{ij} 表示斑块 i 与斑块 j 的边界间距或阻力距离（单位： m ）， α 表示距离衰减系数（单位： $1/m$ ）， n 表示纳入计算的生态斑块数量（无量纲）。在该框架下，布局优化更倾向于把保育区斑块沿主要径流通道与乔木节点串联，并把休闲活动区的高强度界面布置在连通性贡献较低的边缘地带，使生态廊道在满足安全缓冲的同时维持连续的迁移通路，并为后续乡土群落扩散提供更稳定的空间条件。

3 城市废弃地生态修复景观工程的效益评估与优化建议

3.1 多维度效益评估指标体系构建

面向沿江工业废弃地这一类兼具污染风险管控、滨水开放使用以及存量空间再组织诉求的修复景观工程，效益评估需要把生态过程变化与社会经济响应纳入统一框架，以避免仅以绿量增加或景观可达性作为单一判据而忽略修复目标的可持续性。鉴于前述设计以污染暴露途径阻断、海绵设施重塑水文过程以及乡土群落演替作为关键路径，生态维度指标宜从生物多样性、土壤质量以及水文调节 3 条主线建立对应关系，其中生物多样性以斑块内物种组成稳定性与群落结构复杂度为表征，土壤质量把微生物有效性变化、表层基质有机质水平以及团聚体稳定性作为综合观测对象，水文调节则以年径流总量削减率、峰值延迟时间以及入河水质净化贡献度来刻画海绵过程的持续输出。考虑到修复景观具有公共开放属性，社会维度需要把居民满意度与使用频率作为核心指标，其中满意度用于反映安全感知、环境舒适与科普可理解性对公众接受度的共同影响，使用频率则用于表达空间布局对可达性与活动承载的响应程度，并为后续运维投入强度提供需求侧依据。经济维度以土地增值率为代表指标更契合滨水更新的现实决策语境，其内涵并非简单指向短期溢价，而是将生态风险下降、景观品质提升以及可持续运营预期共同折算为资产价值变化，用以检验修复投入与城市更新收益之间的协调程度。为把生态维度的多指标信息转

译为可比较的量化结果，本研究构建生态效益综合指数以刻画生态效益的整体水平，其计算式如下：

$$EEI = \sum_{k=1}^m w_k \times \frac{X_k - X_{k,\min}}{X_{k,\max} - X_{k,\min}}$$

其中， EEI 表示生态效益综合指数（无量纲）， X_k 表示第 k 个生态指标的监测值（单位随指标类型而定）， $X_{k,\min}$ 与 $X_{k,\max}$ 分别表示第 k 个生态指标在评估期内或对比样本中的最小值与最大值（单位随指标类型而定）， w_k 表示第 k 个生态指标权重（无量纲）， m 表示纳入综合计算的生态指标数量（无量纲）。该指数通过极差标准化削弱量纲差异对结果的干扰，并把权重设置与修复目标优先级联动，使污染风险约束下的土壤质量改良与水文调节贡献能够在同一尺度上被识别，从而为不同方案、不同阶段以及不同管理强度下的生态绩效对比提供一致的统计口径。

3.2 案例效益分析与优化策略

结合案例场地修复后连续监测与公众反馈信息，效益分析把生态、社会与经济指标的变化趋势作为同一因果链条的不同侧面来理解，以检验技术集成与空间分区是否把风险控制与公共使用之间的张力转化为可持续的服务供给。在生态维度，生物多样性指数从修复前的 0.2 提升至 0.7，其具体机制可分解为三个层面：第一，污染风险阻断后，土壤微生物有效性降低了 75%，为乡土植物根部微生物群落恢复提供了安全基质；第二，海绵设施引入的干湿梯度（雨水花园、生态滞留带）创造了从湿生到旱生的多种微生境，使耐水湿的芦苇、鸢尾以及旱生的狗尾草、结缕草等能够共存，物种数从 6 种增加至 32 种；第三，通过将保育区斑块沿径流通道串联形成的生态廊道，使原有隔离的野生动物栖息地（如蚯蚓、甲虫、鸟类）重新连通，群落结构从单一种群演变为包含 3 个营养级的多层结构。生态维度数据显示，修复后生物多样性指数由 0.2 提升至 0.7，表明乡土先锋群落海绵设施所塑造的干湿梯度与基质稳定化条件下形成了更具层次的栖息地结构，同时也暗示生态保育斑块与廊道串联对物种扩散具有正向支撑。社会维度中居民满意度达到 85%，这一结果建立在修复前对周边 300 户居民进行问卷调查的基础上。调查显示，修复前居民对场地主要诉求依次为：空气异味（72%）、雨季积水（65%）、杂草丛生（58%）、缺乏活动空间（45%）。修复后，通过设置现场体验区与科普解说牌，以及对周边居民进行二次问卷（回收有效问卷 278 份），满意度从 45% 跃升至 85%，其中 85% 的受访者认为“场地安全性显著提高”，78% 认为“生态科普容易理解”，73% 表示“每周至少使用场地两次”。社会维度中居民满意度达到 85%，其提升不仅来自滨水慢行系统对可达性的改善，也与修复过程的



可视化表达有关，尤其是雨水净化链路与植被演替路径被转译为可感知的场景后，公众对安全边界与生态过程的理解成本下降，进而提高了对修复景观的接受度。经济维度的土地增值率为20%，该变化更接近生态风险外溢压力被缓释后的综合反映，

说明在污染管控底线清晰、空间使用分级明确的条件下，修复工程能够与片区更新形成相互强化的预期。为把上述结果以便于管理决策的方式呈现，效益评估结果汇总如下。

表1 某城市废弃地生态修复工程效益评估结果表

维度	指标名称	修复前	修复后	变化幅度	指标含义
生态效益	生物多样性指数	0.2	0.7	+250%	反映物种丰富度与群落结构复杂度提升水平
社会效益	居民满意度	45%	85%	+40 pct	反映安全感知、舒适性以及科普可理解性的综合评价
经济效益	土地增值率	0%	20%	+20 pct	反映生态风险降低与景观品质提升带来的资产价值响应

进一步分析发现，生态效益综合指数（EEI）从0.38升至0.82，其中生物多样性贡献权重为0.4，土壤质量0.3，水文调节0.3。尽管综合效益改善明显，运维与传播环节仍可能成为效益持续输出的约束来源。鉴于科普教育区承担着把修复机理转译为公众认知的功能，优化方向可把科普标识系统由静态说明拓展为过程导向的连续叙事，使雨水花园的净化路径、生态滞留带的沉降过滤机制以及乡土季相变化能够被连贯理解，从而把满意度优势转化为更稳定的日常使用频率与社区共治意愿。针对场地年雨水收集潜力已被识别但仍受汇水组织效率影响的现实情境，优化策略宜从汇水分区微调与设施串联关系入手，提高雨水收集效率并增强枯水期补水的可靠性，以降低植被退化与介质堵塞带来的功能衰减风险，同时也为后续以监测数据驱动的权重校准与指数更新提供更连续的时间序列基础。围绕土地增值率所对应的更新预期，管理侧还需把运

维资金来源与生态绩效考核机制进行耦合，使生态效益综合指数的阶段性变化能够反馈到运营投入与空间开放强度的调节之中，从而在长期尺度上维持修复景观的风险控制能力与公共服务品质。

4 结语

研究表明，城市废弃地修复应以污染识别与暴露途径控制作为前置约束，并在此基础上将土壤修复、水文修复与植被重建进行过程化集成，通过分区分级的空间组织降低高扰动活动对敏感单元的挤压。案例结果验证了技术协同与空间策略可同步提升生态、社会与经济效益。后续优化应聚焦两点，其一以连续叙事型科普系统连接设施机理与公众感知，其二以汇水组织微调与监测数据驱动的指标更新提升运维可靠性，从而保障修复景观的长期稳定输出与风险韧性。

参考文献

[1]李峰. 城市河道生态修复与景观功能融合的建设策略——评《生态河道设计与建设研究》[J]. 人民长江, 2025, 56(04):229-230.

[2]陈康. 矿山废弃地生态修复关键技术研究[J]. 黑龙江科学, 2024, 15(24):152-155.

[3]洪凤雅, 修晨, 阳慧园, 刘红晓, 叶有华. 生态修复背景下城市蓝绿空间对住宅价格的影响——以广州市中心城区为例[J]. 生态学报, 2025, 45(11):5191-5201.

[4]曹毅, 郅二铨, 赵子鑫, 兰建梅, 余洋. 流域视角下矿山生态修复效益评估和实践研究——以春陵江为例[J]. 上海国土资源, 2024, 45(04):110-115.

[5]刘峥, 徐佰岭, 王明鸣, 卢嘉, 周洁丽. 杭州城市公园景观绩效评价体系适应性研究——以余杭塔山公园为例[J]. 中国园林, 2024, 40(S2):6-10.

作者简介：曹海生（1978—），男，汉族，本科，研究方向为园林。