

环保工程项目全生命周期的环境风险管理研究

郝悦

秦皇岛市生态环境局海港分局

DOI:10.32629/eep.v9i1.3031

[摘要] 针对环保工程项目在规划、设计、施工及运行全过程中面临的多类型环境风险问题,开展了全生命周期环境风险管理技术研究。基于海岸带生态修复工程实践,构建了涵盖风险识别、风险控制、动态监测与运行评估的环境风险管理体系。研究综合运用检查表分析法、专家咨询法与层次分析法识别主要环境风险,并通过工程设计优化、施工阶段多维监测及运行期风险评估方法实现全过程风险控制。结果表明,该体系能够有效识别关键风险并提升风险控制能力,降低工程实施过程中的环境影响。研究为生态修复类环保工程项目的环境风险系统化管理提供了技术参考。

[关键词] 环保工程项目; 环境风险管理; 全生命周期管理; 生态修复工程; 风险评估

中图分类号: X324 文献标识码: A

Research on Environmental Risk Management throughout the Whole Life Cycle of Environmental Protection Engineering Projects

Yue Hao

Qinhuangdao Ecological Environment Bureau Haigang Branch

[Abstract] In response to the various environmental risk issues faced by environmental engineering projects throughout the planning, design, construction, and operation processes, a research on full lifecycle environmental risk management technology has been conducted. Based on the practice of coastal ecological restoration engineering, an environmental risk management system covering risk identification, risk control, dynamic monitoring, and operational evaluation has been constructed. Research the comprehensive use of checklist analysis, expert consultation, and analytic hierarchy process to identify major environmental risks, and achieve full process risk control through engineering design optimization, multi-dimensional monitoring during construction, and risk assessment during operation. The results indicate that the system can effectively identify key risks and enhance risk control capabilities, reducing environmental impacts during project implementation. The research provides technical reference for the systematic management of environmental risks in ecological restoration and environmental protection projects.

[Key words] environmental engineering projects; Environmental risk management; Full lifecycle management; Ecological restoration project; risk assessment

引言

随着生态环境治理工程规模不断扩大,环保工程项目在实施过程中面临的环境风险问题逐渐凸显,尤其在生态修复、水环境治理及湿地保护类工程中,工程活动与生态系统之间存在复杂耦合关系^[1]。传统环境管理模式多侧重施工阶段的污染控制,缺乏对项目规划、设计及运行阶段风险的系统识别与持续管理,难以适应生态治理工程长期稳定运行的需求。在此背景下,从项目全生命周期视角开展环境风险管理研究具有重要意义。基于某海岸带生态修复工程实践,对规划阶段风险识别方法、设计阶段风险控制技术、施工阶段监测体系以及运行阶段风险评估技

术进行系统研究,并通过量化评价与监测数据对比分析,对风险管理实施效果进行验证,以期环保工程项目全过程环境风险控制提供技术支撑。

1 工程项目概况

本研究依托秦皇岛市某海岸带生态修复与水质改善工程。该项目位于城市近郊一处退化湿地区域,紧邻重要养殖区与鸟类栖息地。项目区总面积约2.5km²,区域主要水体水质常年处于地表水V类水平,底泥中重金属与有机污染物含量较高。工程核心目标是通过综合治理,将区域水质提升至IV类标准,并恢复湿地生态系统的结构与功能。主要工程内容包括:污染底泥清淤与

安全处置、分级库区建设、人工湿地系统构建、本地耐盐碱植被恢复以及一座小型生态污水处理站的建设。在项目全生命周期过程中,各阶段面临的环境风险类型复杂且具有明显差异性。前期规划涉及选址对周边敏感目标的影响;设计阶段需考虑极端天气对设施稳定性的挑战;施工阶段的清淤作业可能导致污染物悬浮扩散,噪声与扬尘影响周边社区;运行阶段则面临处理设施失效、外来物种入侵以及维护不当导致系统退化等风险。这些风险相互关联,贯穿于项目始终,要求建立一个动态、连续的管理体系以实现风险的全面控制。

2 全生命周期环境风险管理技术体系

2.1 前期规划阶段环境风险识别方法

在项目前期规划阶段,环境风险识别的准确性与全面性是后续风险管理的基础。此阶段综合运用了检查表分析法、专家咨询法以及层次分析法AHP^[2]。首先,基于同类海岸带修复工程的经验,编制了包含8大类52个子项的环境风险检查表。该表涵盖了政策法规、水文地质、生态环境、社会影响等多个维度,对项目选址、工艺路线选择等宏观决策的潜在风险进行初步筛查。随后,组织了由环境工程、水文学、生态学领域专家组成的团队,采用德尔菲法进行两轮匿名咨询。第一轮开放式问询收集了专家对项目主要风险的判断,第二轮则针对筛选出的高频风险,如“清淤过程污染物扩散”、“施工破坏鸟类栖息地”、“地下水入侵”等,进行风险发生可能性与影响严重性的打分。

最后,引入AHP构建风险识别的层次结构模型。模型目标层为“项目主要环境风险识别”,准则层设定为风险发生概率、风险影响范围、风险可控性、社会关注度四个维度,方案层则为具体的风险事件。通过专家对各层次元素的成对比较判断,构建判断矩阵,计算各风险因素的权重,最终识别出权重最高的三个核心风险为:清淤导致的重金属二次释放、湿地水力系统失衡、永久占地对生物多样性的影响^[3]。该组合方法实现了从定性筛查向半定量排序的过渡,确保了风险识别的系统性和重点突出。

2.2 工程设计阶段风险控制技术

工程设计是风险控制的源头,通过优化设计方案可在源头上降低或消除潜在环境风险^[4]。针对前期识别出的核心风险,设计阶段采取了多项针对性控制技术。为控制清淤过程的污染物扩散风险,设计方案摒弃了传统的抓斗式清淤,选用了带有密封罩的环保绞吸式挖泥船,并要求在作业区外围布设双层防污帘。防污帘的设计参数明确为外帘孔径不大于2.0mm,内帘孔径不大于0.5mm,以有效阻隔悬浮物。

对于清淤淤泥的安全处置,设计了专用的高密度聚乙烯HDPE膜防渗堆场,膜材厚度不低于2.0mm,并配套设计了完善的渗滤液收集与处理系统,防止对地下水造成污染。为应对湿地水力系统失衡的风险,设计中采用了基于水文模型的入流与水位调控方案。通过设置多个可调节的生态闸门,并结合实时水位数据,实现对湿地水量的精细化管理,避免因水量过大或过小导致的生态系统功能退化。在生物多样性保护方面,设计图纸明确划

定了施工缓冲区和永久性生态保育区,尤其对识别出的珍稀鸟类繁殖地进行了严格的隔离设计。同时,植被恢复方案中全部选用本地土著物种,避免了外来物种入侵的生态风险,并根据不同高程设计了沉水、浮水、挺水植物的优化配置,以构建稳定的植物群落。

2.3 施工阶段环境风险监测技术

施工阶段是环境风险集中爆发的时期,建立一套实时、动态的监测技术体系^[5]。为实现对施工过程环境影响的有效监控与预警,项目构建了“空-地-水”一体化的环境风险监测网络。水环境方面,在清淤区上下游及周边养殖区布设了5个在线水质监测浮标。浮标集成了浊度、pH、溶解氧DO、化学需氧量COD和氨氮传感器,数据通过4G网络每15min传输至项目部监控中心。当浊度超过预设阈值80NTU时,系统自动触发声光报警,并向现场负责人发送预警短信,提示暂停清淤作业。

大气与噪声监测方面,在施工场地边界及邻近的居民区设置了4个监测点,采用多功能环境监测仪实时监测总悬浮颗粒物TSP、PM_{2.5}以及等效连续A声级。数据同样接入中央平台,实现了对施工扬尘和噪声扰民风险的连续监控。土壤环境监测则以定期取样分析为主,在底泥堆场周边设置了多个监测井,每月采集土壤样本,送至实验室采用原子吸收光谱法分析铅、镉、汞等特征重金属的含量变化,以评估防渗措施的有效性。生态监测则创新性地引入了无人机UAV遥感技术。每周使用搭载多光谱相机的无人机对整个施工区域及周边生态保育区进行航拍,通过计算归一化植被指数NDVI来评估植被恢复状况,同时利用高清可见光影像监测鸟类活动区域,确保施工活动未对其造成侵扰。

2.4 运行阶段环境风险评估技术

项目进入运行阶段后,环境风险从施工期的急性、突发性风险转变为长期的、慢性的系统性风险。为此,采用LEC法对运行期潜在风险进行动态评估。该方法通过评估风险事件发生的可能性L、人员或环境暴露频率E以及事件后果严重程度C三个指标,并通过乘积计算风险等级D(D=L×E×C)。评估团队每半年进行一次全面评估。评估对象主要包括:污水处理站设备故障风险、人工湿地堵塞风险、极端气候事件(如暴雨、台风)冲击风险、外来物种入侵风险以及维护管理不到位引发的二次污染风险。评估首先为L、E、C三个指标设定了详细的评分标准。

例如,可能性L从“几乎不可能”(1分)到“完全可以预料”(10分)分为6个等级;后果C则根据影响范围和严重程度,从“造成轻微环境影响,可快速恢复”(1分)到“导致区域生态系统崩溃,造成严重人员伤亡”(10分)分为7个等级。评估团队通过查阅设备运行日志、分析水质监测数据、现场勘察和人员访谈等方式,对各项风险进行打分。例如,对于“污水处理站曝气机故障”风险,根据设备平均无故障时间记录,其发生可能性L评为3分;由于操作人员每日巡检,暴露频繁程度E评为6分;故障可能导致出水水质超标,对下游湿地造成冲击,后果C评为5分。最终风险值D为90,属于“需要关注”的风险等级,需要制定相应的维

护计划和应急预案。这种定期评估机制使风险管理从被动应对转向主动预防。

3 环境风险管理实施效果评估

3.1 环境风险量化评价模型

为客观评估全生命周期环境风险管理体系的实施效果，构建了一套环境风险量化评价模型。该模型基于指标体系和加权法和法，将复杂的环境风险转化为可度量的综合指数。评价模型分为三层结构。目标层A为“项目环境风险综合指数”。准则层B包括风险源危险性B1、风险控制能力B2和环境敏感性B3三个方面。指标层C则在准则层下进一步细分。风险源危险性B1下设污染物排放强度、潜在生态破坏程度等5个指标。风险控制能力B2下设应急预案完备度、监测系统覆盖率、管理人员培训合格率、风险管理资金投入比等6个指标。环境敏感性B3下设与自然保护区距离、周边人口密度、区域水文地质条件等4个指标。模型的核心在于权重的确定。采用AHP方法，邀请15位专家对各层指标进行两两比较，构建判断矩阵并进行一致性检验。最终确定的部分指标权重如表1所示。

表1 项目环境风险评价指标体系权重分配表

| 准则层 | 权重 | 指标层 | 权重 |
|-------------|-------|---------------|-------|
| 风险源危险性 (B1) | 0.435 | 污染物排放强度 (C1) | 0.381 |
| | | 潜在生态破坏程度 (C2) | 0.312 |
| | | 能量逸散风险 (C3) | 0.187 |
| | | 应急预案完备度 (C6) | 0.355 |
| | | 监测系统覆盖率 (C7) | 0.298 |
| 风险控制能力 (B2) | 0.315 | 管理人员培训率 (C8) | 0.203 |
| | | 与保护区距离 (C11) | 0.407 |
| | | 周边人口密度 (C12) | 0.323 |
| 环境敏感性 (B3) | 0.25 | | |

评价时，对每个最底层的指标进行标准化打分（0-100分），然后根据权重逐层加权计算，最终得到一个综合风险指数。通过项目不同阶段（如设计完成时、施工中期、运行一年后）进行多次评价，比较综合指数的变化，即可量化反映风险管理措施的实施成效。

3.2 风险控制效果评估方法

风险控制效果的评估主要采用基线对比分析法，通过将采取控制措施后的环境监测数据与项目实施前的环境基线数据或相关标准进行比较，直观判断控制技术的有效性。此方法侧重于对关键环境风险点的“点对点”效果验证。评估选取了施工期水体浊度、空气TSP、场界噪声和运行期出水COD等几个核心控制指标。在项目实施前，通过为期一个月的连续监测，获取了详细的环境背景值。项目实施过程中，利用前述的动态监测系统收集实时数据。

通过对比分析，可以清晰地看到风险控制措施带来的环境质量变化。例如，在进行大规模水下清淤作业时，尽管作业本身会搅动底泥，但得益于环保挖泥船和双层防污帘的应用，下游300m处监测点的水体浊度平均值维持在21.5NTU，远低于控制目标值50NTU，相较于未作业时的背景值12.8NTU，增幅也处于可控范围。同样，通过对施工车辆路径优化、设置隔音屏障等措施，场界昼间噪声值稳定在63.5dB(A)左右，符合建筑施工场界环境噪声排放标准。环境监测数据对比分析表如表2所示。

表2 环境监测数据对比分析表

| 监测项目 | 单位 | 基线数据 | 施工期监测均值 | 控制标准 |
|-------|-------------------|------|-------------|----------|
| 水体浊度 | NTU | 12.8 | 21.5 | <50 |
| 水体COD | mg/L | 43.7 | 28.6 (出水口) | <30 |
| 空气TSP | mg/m ³ | 0.22 | 0.28 | <0.50 |
| 场界噪声 | dB(A) | 54.1 | 63.5 (昼间) | ≤70 (昼间) |
| 土壤铅含量 | mg/kg | 35.4 | 38.1 (堆场周边) | <120 |

4 结语

研究以海岸带生态修复工程为对象，从项目全生命周期角度构建了环境风险管理技术体系，并在规划识别、工程设计、施工监测及运行评估等阶段形成了系统化的风险控制方法。通过风险量化评价模型和监测数据对比分析，验证了多阶段风险管理措施在控制污染扩散、降低施工环境影响及保障工程稳定运行方面的有效性。研究表明，将风险识别、监测预警与动态评估相结合，有助于提升环保工程项目环境风险管理的系统性与前瞻性。未来可进一步加强长期监测与生态系统响应研究，以持续优化环保工程运行阶段的环境风险管理策略。

【参考文献】

- [1]林彬.绿色建筑全生命周期建设工程管理研究[J].城建科技,2025,34(11):193-195.
- [2]蔡少辉,姜小峰.基于全生命周期的地面工程及设备设施管理模式创新[J].中国管理信息化,2025,28(24):164-166.
- [3]岳跃.水生态环境保护工程及治理修复对策[J].清洗世界,2026,42(02):168-170.
- [4]陈泽彬.绿色建筑管理中环保材料质量把控策略[J].城市建设,2025,(30):51-53.
- [5]李俊夫.黄河流域资源型城市生态转型的挑战与对策研究[J].商业观察,2026,12(01):39-43.

作者简介:

郝悦(1988--),女,汉族,山西太原人,本科,工程师,研究方向:环境保护工程。