

生态修复技术在水利工程水土保持中的应用探析

韩守文

内蒙古自治区通辽市科尔沁区水利事业发展中心 内蒙古 通辽 028000

摘要：生态环保是当今时代的发展主题，也是维护全人类共同利益的根本需要。水利工程是人类改造自然、创造美好生活的重要举措，但在施工建设的过程中不能顾此失彼，应该同步协调处理好水利工程建设与生态环保之间的关系。这就要求我们必须深入认识生态环保技术，充分了解引发水利工程水土流失问题的主要原因，立足实际情况积极探索加强水土保持的技术方法。

关键词：水利工程；水土保持；生态修复技术；应用

水利工程兼具防洪、蓄水、灌溉、发电等多种功能，是保证生产生活和社会稳定的有效途径。水利工程项目的施工建设要综合考虑多种影响因素，其中需要重点关注水土流失问题，生态修复技术是一种绿色环保的技术，对于防控治理因水利工程建设而导致的水土流失有着重要作用。

1 生态修复技术定义

1.1 核心定义。跨学科综合方法，以生物修复为基础，整合物理修复、化学修复及工程技术措施，通过优化组合实现生态系统功能恢复。强调多学科交叉（生态学、微生物学、环境工程等）的系统性应用。目标导向性，针对退化、损伤或破坏的生态系统，通过人为干预协助其恢复自组织能力与稳定性。核心是重建生态完整性，包括生物多样性、生态过程与结构修复。

1.2 技术构成。生物主导技术，植被修复技术：通过乔灌草藤配置恢复地表覆盖，控制水土流失（如生态护坡）。微生物修复：利用微生物代谢降解污染物，修复土壤及水体环境。工程协同措施，结合地形重塑、水利设施（如蓄水池）及生态河道设计，增强水土保持能力。

2 生态修复技术重要性

2.1 保障生态系统功能完整性。恢复关键生态服务。修复受损生态系统的水源涵养、水土保持、气候调节等核心功能，例如湿地生态系统修复可增强蓄洪抗旱能力并净化水质。维持生物多样性，通过栖息地重建和物种保护措施（如鱼道建设、植被恢复），为动植物提供生存空间，阻止物种灭绝链条。

2.2 缓解环境退化危机。防治土地退化，针对石漠化、荒漠化区域，采用植被重建与工程固土技术遏制水土流失，提高土地生产力。治理环境污染，利用微生物修复和人工湿地技术降解土壤与水体的污染物，显著改善环境质量（如太湖富营养化治理）。

2.3 支撑经济社会可持续发展。保障资源可持续利用，修复后的生态系统增强水资源供给能力（如南水北调工程补水恢复北方湿地），支撑农业灌溉与城乡供水。创造绿色经济价值，退化林地修复后纳入碳汇交易市场，形成“修复-受益”良性循环；生态农业修复技术提升农产品安全性与附加值。

3 水利工程水土保持生态修复技术应用

3.1 水土流失防治技术。植被恢复技术，通过植树造林、退耕还林还草等措施提升植被覆盖率，减少雨水对土壤的直接冲刷，有效降低泥沙入河量（如黄河流域以小流域为单元的综合治理）。在石漠化区域采用“带状补植+林下种草”模式，结合经济林种植和小型蓄水池建设，同步解决水土流失与农业用水问题。工程固土技术，采用生态袋、生态混凝土等柔性材料替代传统硬质护坡，增强边坡固土能力并促进植被自然生长（长江流域应用案例）。对开发建设扰动区域实施地形重塑与土壤改良，修复因取土取石导致的生态退化。

3.2 河道与水域生态修复。河道形态多样化设计，构建弯曲河道、浅滩、深潭等多样化地貌，增加水流多样性并为水生生物提供栖息地，同时利用水生植物群落净化水质（太湖治理案例）。拆除不合理拦河坝，恢复河流连通性，配套鱼道建设促进水生生物洄游。水资源调控技术，水利工程调度中优先保障生态基流，通过跨流域调水修复断流河段。利用人工湿地进行富营养化治理，提升水体自净能力（南水北调工程为北方退化湿地补水案例）。

3.3 特殊区域综合治理。矿山修复技术，推行“边开采、边治理”模式，对关闭矿山实施地形重塑与植被重建，修复受损地貌。流域系统性修复，采用山水林田湖草沙一体化策略，例如黄河治理中协同小浪底调水调沙与水土保持工程，控制泥沙并稳定河势。

3.4 创新机制与长效维护。市场化修复机制，建立“谁修复、谁受益”模式，吸引社会资本参与，并将修复后的林地纳入碳汇交易项目。动态监测与适应性管理，加强水文和生态监测，根据水沙变化调整控导工程（如黄河下游标准化堤防建设）。

4 生态修复技术具体应用

4.1 湿地生态修复。津七里海湿地修复，问题：400余家工厂与2300个鱼塘导致湿地破碎化，水质劣V类，鸟类绝迹。技术应用：拆除污染源、水系连通、建设58个生态岛，实施生态移民与植被重建。成效：水质提升至IV类，鸟类从182种增至258种（含200余只东方白鹳），空气负氧离子浓度达市区10倍。西溪湿地鸟类栖息地修复，创新点：AI识别系统+无人机巡护优化生境，构建多样化植被群落。成效：新增青脚鹬、水雉等珍稀鸟类繁殖记录，形成水鸟集群景观。

4.2 矿山生态修复。霍林河露天煤矿（高寒地区修复），挑战：年均仅3个月无霜期，极端低温-37℃。技术应用：采用“覆土整形+土壤改良+植被重建”模式，建立“自维持、免维护”生态系统。成效：建成4667公顷高效生态区，获“绿色矿山”称号。营子矿区，措施：注浆治理采空区，修复矿山地质环境75处。成效：治理面积逾2.2万亩，建成地下水水源地2处，改善城市人居环境。

4.3 流域综合治理。黄河口湿地修复，技术路径：水系连通结合盐地碱蓬、海草床恢复，重建生物链。成效：湿地面积扩大，珍稀物种栖息地功能增强。大陆河流域治理（长江支流），创新模式：岸上截污：改造污水管网10.9公里，整治养殖场46家。岸下修复：原位碳基净化设备+超氧纳米曝气，建设4处人工湿地（16万m²）。成效：国控断面水质从IV类稳定提升至III类。

4.4 石漠化与荒漠化治理。六盘水石漠化治理，技术组合：封山育林3万亩，退化林修复搭配山桐子种植。社会协同：以工代赈带动1.23万低收入人口参与，人均增收3500元。区域荒漠化治理，突破点：利用非常规水灌溉防护林，置换河水补充湖泊。成效：植被覆盖新增2200公顷，湖区水位上升30厘米。

4.5 海岸带修复。珊瑚礁修复，措施：立法保障+科技赋能，建立珊瑚苗圃培育体系。成效：我国最高纬度珊瑚礁群稳定性显著提升。花鸟岛修复，策略：陆海统筹推进岸线整治与海岛植被恢复。成果：再现“海上仙子国”生态景观，入选国家级样板。技术共性：成功案例均体现“自然恢复为主、人工干预为辅”原则，通过跨学科技术集成与社区参与机制，实现生态效益与民生改善双赢。

5 生态修复技术与防洪工程关系

生态修复技术与防洪工程的关系表现为从对立走向协同，通过技术创新实现防洪安全与生态健康的统一。

5.1 传统防洪工程的生态弊端与修复必要性。河道形态破坏加剧洪灾风险，硬质化、直线化的河道设计削弱了自然调蓄功能，导致水流速加快、渗透能力下降，反而加剧洪峰威胁（如混凝土护岸阻断水土交换）。过度裁弯取直使河道丧失蜿蜒特性，降低泥沙沉积能力，增加下游淤积风险。生态系统服务功能丧失，单一化工程结构导致水生生物栖息地萎缩，如拦河坝阻断鱼类洄游通道，破坏河流生态连续性。

5.2 生态修复技术对防洪工程的优化作用。提升防洪韧性，自然蓄滞洪空间修复，恢复河岸带湿地与洪泛区，通过植被根系固土增强岸坡稳定性，同时提供暴雨临时滞洪空间（如荷兰“还地于河”计划）。案例：寇河治理中重建126万平方米岸线生态带，2024年成功抵御5轮强降雨。柔性防洪结构替代硬质工程，采用生态堤坝、石笼网箱等渗透性材料，替代混凝土护岸，既消减水流冲刷力又促进植被生长。降低灾害发生概率，植被覆盖控制水土流失，植树造林与退耕还林减少地表径流，从源头削减入河泥沙量（黄河流域治理使泥沙入河量显著下降）。河道形态多样化设计，构建深潭-浅滩序列、砾石群等微地形，分散水流能量，降低洪水流速（设置砾石群可使湍流区鱼类栖息效率提升）。

5.3 防洪工程为生态修复创造基础条件。水资源科学调度保障生态基流，水库调度优先保障生态流量，维持河道最小水深（如三峡工程为下游湿地补水）。案例：南水北调工程为北方退化湿地补水，恢复生物栖息地功能。工程设施集成生态通道，新建防洪闸坝同步设计鱼道、过鱼设施，缓解工程对水生生物阻隔影响（葛洲坝工程配套中华鲟增殖站）。

5.4 未来方向：智慧化协同管理。数字孪生流域：通过洪水预报模型（误差 < 3%）与生态监测数据融合，动态优化调度方案（如小浪底水库“四预”系统）。海绵城市集成：将河道修复纳入城市雨洪管理体系，实现年径流总量控制率 > 75%（雄安新区实践）。关系内核：现代防洪工程需摒弃“纯工程思维”，通过生态化改造（如柔性护岸）与生态优先调度（如保障基流），将防洪安全转化为生态恢复的契机，形成“以水定安、以生态护水”的可持续范式。

6 生态修复技术效果评估方法

6.1 评估指标体系构建。生态系统结构与功能指标，生物多样性：物种丰富度、濒危物种回归数量（如广东

海洋修复项目记录红树林植株密度达15423.24 ind/ha)。植被覆盖度:通过NDVI指数或无人机遥感解译植被垂直投影面积占比;退耕还林后植被覆盖率提升显著降低土壤流失。水土保持能力:径流泥沙量监测(如TH-LS1系统实时分析水土流失量)。环境质量改善指标,水质等级提升(如七里海湿地从劣V类升至IV类);土壤肥力恢复(有机质含量、重金属消减率);碳储量变化(森林、湿地固碳能力量化)。生态系统服务恢复指标,防洪调蓄功能(如河岸带修复后削峰率100%);生物栖息地连通性(鸟类繁殖成功率、鱼类洄游通道恢复)。

6.2 量化分析模型。综合评价模型,层次分析法(AHP)确定指标权重,通过一致性检验($CR \leq 0.1$);分值区间划分成效等级(≥ 85 分为“显著”, ≤ 60 分为“不明显”)。生态过程模型,微生物修复效果评估:结合生物量测定(ATP含量)、代谢活性检测(脱氢酶活性);碳循环模拟:量化修复区碳汇增量。

6.3 标准化评估流程。基线调查:修复前生态系统本底数据采集(含历史遥感影像、环境参数);动态监测:工程实施期:每季度无人机航拍+地面样方抽查;后期管护期:年度综合评估(如矿山修复后3年跟踪监测)。成效验证:多源数据交叉验证(如遥感解译结果与实地生物调查比对);社会经济影响评估(如以工代赈带动增收3500元/人)。

6.4 技术瓶颈与优化方向。长期监测缺失: $> 50\%$ 项目缺乏5年以上跟踪数据;微生物修复评估难点:菌群代谢活性原位监测技术待突破;智慧化升级:构建“评估-预警-优化”数字平台(如海洋修复AI模型)。评估趋势:从单一环境指标转向“自然-经济-社会”协同效益评价(HJ 1272—2022标准),强化评估结果在工程优化与政策考核中的应用。

7 生态修复效果评估对后续决策的影响分析

7.1 优化资源配置与技术调整。修复技术迭代,依据

中期评估结果动态调整技术方案,如监测到微生物活性不足时增加菌剂投加量(石油污染降解效率提升35%),或根据植被覆盖率数据优化种植密度。资金精准投放,效益评估结果(如碳汇增量、水土保持率)作为优先级依据,引导资金向高效益项目倾斜。例如经济效益显著的项目可吸引社会资本参与市场化修复。

7.2 政策法规与标准完善。填补监管漏洞,评估发现“重局部轻区域”“重植被轻功能”等问题后,推动建立全域生态系统服务价值评估体系,强化修复目标与区域可持续发展的关联性。行业标准修订,矿山修复评估中重金属钝化率、生物多样性等指标的实证数据,为《有色金属矿山废弃地生态修复效果评估技术规范》等标准更新提供依据。

7.3 长效机制构建。适应性管理策略,长期监测(如南海珊瑚礁修复项目)揭示气候变化对修复效果的影响,推动建立动态风险预警机制和弹性修复方案。公众参与制度化,社会效益评估数据(如居民满意度、就业带动效应)支持将“公众参与”纳入生态修复项目强制流程,提升治理可持续性。

总之,水利工程利国利民,必须充分发挥其功能价值。在兴建水利工程项目的过程中也需要兼顾考虑生态环保问题,其中需要特别注意水土保持工作。具体实施时,水利工程建设方应对项目区域的生态环境、地质结构、动植物类型及人类活动等多种要素进行调查了解,然后有针对性地制定生态修复方案,同时进行土壤改良、植被合理配置等。

参考文献

[1]刘海英.生态修复技术在水利工程水土保持中的应用分析.2022.

[2]张艳萍.水利工程水土保持中生态修复技术的运用分析.2023.