

水利工程中的河道生态护坡施工技术应用要点分析

董文臣

巴彦淖尔市临河区水利局 内蒙 巴彦淖尔 015000

摘要: 随着全球城市化进程的迅猛推进和人口膨胀,水利工程在支撑国家经济和社会进步的格局中占据核心地位。然而,传统河道防护工程过分侧重结构的坚固性,往往未能充分顾及生态环境的保护与修复。水利工程是社会发展中的基础性工程,为完善水利工程的整体性能,建设生态型水利工程,相关人员将生态护坡施工技术应用在水利工程中。为保障水利工程河道区域生态护坡建设的可靠性,发挥其防洪、减少生态污染的功能优势,应明确各类河道生态护坡施工技术的应用要点,制订科学的水利河道生态护坡施工方案。城市化发展中,人们的环保意识逐渐增强,生态护坡已经成为水利工程建设中的重要组成部分,是现阶段水利工程项目建设河道护坡的首选方式。因此,本文着重分析了在水利工程中运用河道生态护坡施工技术的必要性,并对生态护坡施工技术应用要点进行了阐述,以期促进水利工程行业的进步。

关键词: 水利工程;生态护坡施工技术;应用要点

水利工程是社会经济发展中的基础性工程,为完善水利工程的整体性能,建设生态型水利工程,相关人员将生态护坡施工技术应用在水利工程中。为保障水利工程河道区域生态护坡建设的可靠性,发挥其防洪、减少生态污染的功能优势,应明确各类河道生态护坡施工技术的应用要点,制订科学的水利河道生态护坡施工方案。

1 河道生态护坡施工技术的重要性

河道生态护坡施工技术在现代水利工程和生态环境治理中具有关键作用,其重要性主要体现在以下几个方面:

1.1 强化防洪减灾能力。减缓水流侵蚀:植物根系增加地表粗糙度,降低径流速度,减轻洪水对岸坡的冲刷力和侵蚀作用。提升边坡稳定性:植被根系深入土层锚固土壤颗粒,结合格宾石笼、生态袋等材料,有效防止水土流失和滑坡风险。增强渗透调蓄:植物形成的孔隙结构提高土壤吸水能力,减少地表径流量,缓解洪涝灾害。

1.2 重建河湖生态系统。恢复生物多样性:植物为微生物、水生动物提供栖息地,重建食物链,提高生态系统完整性和稳定性。净化水体环境:植被吸收氮、磷等污染物,增加溶解氧,抑制藻类暴发,显著改善水质。改善区域微气候:植被蒸腾作用调节空气湿度,缓解干旱影响,形成良性小气候环境。

1.3 优化工程经济性与可持续性。降低综合成本:相比传统硬质护坡(如混凝土),草籽技术、土工材料复合种植等方法施工简便,维护成本更低。延长工程寿命:生态护坡结构(如格宾网、生态混凝土)抗冲刷、

抗冻融性能强,耐久性显著提升。资源循环利用:采用可降解材料(如土工网垫)或本地植物,减少资源消耗,实现环境友好型施工。

1.4 支撑国家生态战略需求。响应政策导向:契合《美丽河湖保护与建设行动方案》要求,通过“三水统筹”推进流域综合治理与生态修复。修复受损生境:扭转传统护坡导致的“河道硬化、生态退化”局面,恢复河流自然属性和景观功能。

2 河道生态护坡施工技术概况

河道生态护坡施工技术是一种融合工程防护与生态修复的综合性技术,旨在通过植物、工程材料和生物措施协同作用,实现河道边坡稳定、水土保持与生态系统恢复。其核心要点如下:

2.1 基本定义与原理。技术本质,综合工程力学、土壤学、生态学和植物学等学科知识,利用植物根系锚固效应(增强土体抗剪强度)与茎叶水文效应(削弱雨滴溅蚀、控制径流)稳定岸坡,同时通过透水结构促进水土交换和生物栖息。核心目标,兼顾防洪安全(抗冲刷、抗滑移)与生态功能(植被恢复、水质净化、生物多样性提升),构建开放型生态系统,避免传统硬化护坡的生态割裂问题。

2.2 主流技术类型及特点。植被护坡。缓坡、低流速河段成本低、景观自然。选择耐旱、根系发达的本地草种(如狗牙根)、格宾石笼护坡。强冲刷区、护脚工程。透水性好、耐腐蚀、允许植被生长。镀锌钢丝网箱填充石块,孔隙率>30%、生态混凝土护坡。陡坡、高抗冲要求河段。刚性防护+生态孔隙。采用无砂配方,孔

隙内填种植土播草、土工格室植草护坡。土质边坡、中低坡度。固土效果好、抗暴雨冲刷。格室内填充客土，挂三维网喷播、植生基质喷播。岩质边坡、难以覆土区域。快速封闭坡面、适应复杂地形。基质含黏合剂、种子、肥料，喷射厚度 $\geq 10\text{cm}$ 。

2.3 关键技术环节。基础处理，坡面整形至设计坡度（通常 $\leq 1:1.5$ ），清除浮土杂质，陡坎区域采用阶梯式开挖。污染河段铺设“两布一膜”隔离层（如重金属污染）。结构层施工，水下部分：抛石、石笼或沉排护脚，材料需耐水流冲刷。水位变动区：格宾网、生态袋等柔性结构，适应水位变化。坡面主体：按设计选择生态混凝土现浇、格宾网铺设或土工格室安装。植被构建，优先选用本土植物（如香根草、芦苇），混播比例按季候调整（如暖季型草:冷季型草 = 7:3）。采用无人机精准播种（误差 $\pm 2\text{cm}$ ）或液压喷播，覆盖无纺布保墒。

2.4 生态效能与优势。稳定性提升：植物根系锚固力使岸坡稳定性指数提高20%~40%。环境修复：挺水植物覆盖率 $> 60\%$ 时可削减水体氮磷含量30%以上。长效低成本：智能养护（如北斗定位补水）降低人工成本50%，寿命较传统护坡延长5~8年。

3 水利工程河道生态护坡施工技术

3.1 水利工程河道高适应性仿生草施工技术。以下是水利工程河道高适应性仿生草施工技术的核心要点分析，综合材料特性、施工流程及适应性设计：（1）仿生草核心技术原理，材料与结构创新，超高比表面积载体：采用碳纤维、聚酯纤维等高分子材料编织（比表面积 $\geq 0.8\text{m}^2/\text{g}$ ），为微生物提供密集附着空间，加速生物膜形成；柔性动态系统：仿生草单元通过浮球与生态鱼礁柔性连接，可360°随水流摆动，适应通航河道及深水环境；立体分层设计：垂直分布的“悬浮帘式”结构分层承载藻类、微生物及底栖生物，重构“藻类-浮游动物-鱼类”生态链。协同净化机制，污染物靶向降解：生物膜同步吸附分解氨氮（降解率78%）、总磷及COD，物理增氧与透光：柔性摆动打破水体分层，溶解氧提升30%~50%；同步拦截80%悬浮物，透明度增至1.5米以上。（2）施工流程与关键技术，预处理，污染区铺设“两布一膜”隔离层（重金属污染河道）；无人机扫描定位死水区、排污口，阻断污染迁移，精准部署单元。单元部署，模块化锚固：深水区采用沉水配重+浮球悬吊，浅滩区直接打桩固定，适应0.5~10米水深，兼容狭窄河道/箱涵。生态协同，搭配沉水植物（苦草、狐尾藻）形成“人工-自然”复合群落，提升系统稳定性，增强长效净化能力，抑制藻华爆发。智能运维，植入物联网传感器监测溶解氧梯度，北斗定位划

定养护节点，降低人工成本57%，动态调控微生物活性，应对季节性水质波动。

3.2 水利工程河道无人机集群基土调平技术。以下是水利工程河道无人机集群基土调平技术的核心要点，综合施工流程、技术难点及实证数据：（1）技术架构与创新点，智能集群系统，硬件组成：搭载毫米波雷达的无人机集群（单次作业 ≥ 5 架），结合无人船搭载多波束测深仪，实现水上水下一体化地形扫描；协同控制：基于“领导-跟随”分布式算法，通过低延迟通讯网络（延迟 $< 200\text{ms}$ ）实现集群自主避障与任务分配；动态建模：激光雷达实时生成厘米级精度三维点云模型（精度 $\pm 2\text{cm}$ ），同步标记软土区、陡坎等危险地形。核心调平工艺，智能摊铺：集群无人机挂载微型振动夯，依据点云模型自动生成分层摊铺路径（每层厚度 $\leq 20\text{cm}$ ）；压实监测：红外传感器实时反馈压实密度，动态调整振动参数（频率15~30Hz），确保基土压实度 $\geq 95\%$ ；土方平衡：CC技术分析填挖方量，优化土方调配路径，减少运输损耗超30%。（2）水文适应性与难点突破，水下地形复杂，无人船多波束扫描+无人机激光雷达联合建模。流速 $> 1.5\text{m/s}$ 。配重锚固无人机+抗风扰算法（风速耐受12m/s）。雨季基土含水率高。微波湿度传感+AI动态调整夯实参数。（3）施工全流程管理，前期勘测，无人机集群航测生成数字高程模型（DEM），识别填挖区域并计算土方平衡方案；污染区预隔离：重金属河段铺设“两布一膜”阻隔层。调平作业分层施工：分3层摊铺压实，每层无人机毫米波雷达联测平整度（每20m²布设5个监测点）；闭环调控：压实数据实时回传管控平台，自动生成欠挖补填指令。验收评估，点云模型对比设计高程，坡比偏差控制 $\leq 5\text{cm}$ ，自动输出竣工图311。

3.3 水利工程河道三维排水网架结构铺设技术要点。（1）材料特性与选型，结构组成，由高密度聚乙烯（HDPE）三维网芯双面复合反滤土工布或防渗土工膜构成，网芯含垂直肋条及斜置肋条形成立体排水通道，孔隙率 $\geq 60\%$ 。核心参数：抗拉强度 $\geq 36.5\text{kN/m}$ ，压缩载荷3000kPa下厚度保留率 $> 60\%$ 。性能优势，高效导水：渗透率2500m/d（梯度2%），等效1米厚砾石层排水能力，降低含沙量73%；抗压耐腐：耐酸碱环境，HDPE材质寿命 > 20 年，适用-30℃~70℃极端环境；生态兼容：结合植被根系形成复合锚固体系，提升坡面抗剪强度40%~60%。（2）施工全流程技术，基面处理，彻底清理浮土、石块，碾压平整（平整度 $\leq 15\text{mm}$ ），铺设前检测地基压实度，压实度 $\geq 95\%$ ，无尖锐突起物。铺设方向，网卷长度方向垂直河道主轴线，网芯排水通道与

水流方向一致,角度偏差 $\leq 5^\circ$ 。连接与固定,纵向搭接 $\geq 15\text{cm}$,横向搭接 $30\sim 90\text{cm}$;连接点间距 $\leq 1\text{m}$,采用塑料扣/聚合物带锚固25连接强度 $\geq$ 网体本身强度。污染隔离,重金属河道铺设“两布一膜”隔离层(土工布+防渗膜+土工布),阻断污染物上渗,接缝焊接强度 $\geq$ 母材80%。回填压实,分层回填(每层 $\leq 60\text{cm}$),填料最大粒径 $\leq 6\text{cm}$;轻型机械沿轴线压实,避免网体损伤,压实后厚度保留率 $> 85\%$ 。

3.4 水利工程河道植物载体垫层施工技术。以下是水利工程河道植物载体垫层施工技术的核心要点,综合材料选型、施工流程及生态适应性设计:(1)材料特性与结构设计,核心材料组合,天然纤维基底:采用椰子纤维、稻草等天然材料编织成网状载体(厚度 $\geq 12\text{mm}$),孔隙率 $\geq 60\%$,为植物根系提供生长空间并增强土壤抗剪强度40%~60%;复合强化层:添加纳米陶瓷烧制骨料或高密度聚乙烯(HDPE)网格,提升抗冲刷能力(耐受流速 $\geq 6\text{m/s}$),含沙量降低73%。生态协同设计,载体表层预混草籽(25g/m^2)及缓释肥料(氮磷钾配比10:8:7),促进植被快速覆盖;三维网孔结构(5~10cm深度)引导根系穿透形成“植被-网垫”复合锚固体系。(2)施工全流程关键技术,基面处理,清除杂物、平整坡面(平整度 $\leq 3\text{cm/m}$),碾压密实;重金属污染区增设“两布一膜”隔离层,压实度 $\geq 95\%$,无尖锐突起。垫层铺设,沿河道轴线自上而下滚铺,相邻网片搭接 $\geq 10\text{cm}$;U型钉锚固(间距 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$,陡坡加密至 0.3m),网垫无褶皱、悬空。覆土与播种,覆盖混合营养土层(厚度 $\geq 12\text{mm}$),喷播草种配合保水剂(干旱区土壤含水率维持18%~22%),种子分布均匀度 $> 90\%$ 。锚固强化,坡顶预埋40~80cm并压实,坡面采用 $\phi 6\text{mm}$ U型钢筋+8#竹钉辅助固定,锚固点抗拔力 $\geq$ 设计值115%。

4 河道生态护坡技术养护管理策略

河道生态护坡的养护管理策略需兼顾植被生长、结构稳定性与生态功能维持,核心要点如下:

4.1 植被养护关键措施。水分精细化管理,播种后覆盖无纺布保湿,采用雾化喷灌湿润土层(深度5~10cm),每日2~3次直至种子发芽,避免直接冲刷导致水土流失。集成北斗定位系统识别干旱区域,按需定点补水;旱季启用根瘤菌活性浇灌模组,提升水分利用效率。物种适应性调整,定期监测植被成活率(目标 $\geq 90\%$),对稀疏区域补播本土草种(如黑麦草、高羊茅),混播比例按季候动态优化(暖季型:冷季型=7:3)。清除入侵物种,维护植物群落多样性。

4.2 结构维护技术要点。柔性材料维护,格宾石笼网

箱定期检查绑扎点(间距 $\leq 15\text{cm}$),修复变形网箱;镀高尔凡钢丝涂层破损处需防腐处理,确保透水性(孔隙率 $> 30\%$)。生态袋破损及时更换,防止填土流失。排水系统清淤,三维排水网架每季度清理泥沙淤积,保证孔隙匹配系数 > 1.5 ;陡坡区域增设阶梯式导流槽,减少暴雨冲刷损伤。

4.3 智能监测与调控系统。多参数实时监测,物联网传感器采集挺水植物覆盖率、底栖生物活性及溶解氧梯度数据,动态评估生态修复效果。毫米波雷达联测坡面位移(精度 $\pm 1\text{mm}$),预警滑坡风险。AI决策管理,基于历史数据训练养护模型,自动生成补种、灌溉、清淤计划,降低人工成本超50%。

4.4 长效评估与灾害应对。生态效能量化,每年评估水体氮磷削减率(目标 $> 30\%$)、地下水交换系数及生物多样性指数,优化技术组合。抗洪韧性强化,汛前加固锚固装置(抗拔力 $\geq$ 设计值115%),检查抛石护脚完整性;洪水后快速修复冲刷沟槽,补喷植生基质(厚度 $\geq 10\text{cm}$)。分级养护周期表,植被灌溉,每日2~3次雾化喷灌,按墒情智能调节。结构巡检,每月1次全面检查,每季度1次重点抽查。生态评估,每半年1次多指标监测,每年1次系统评估。

综上所述,河道生态护坡施工技术不仅是防洪固坡的工程手段,更是统筹水资源、水环境、水生态治理的核心纽带。其通过植被与工程措施的融合,实现了安全防护、生态修复、景观美化与经济性的多重目标,成为现代水利工程高质量发展的必然选择。

参考文献

- [1]高萍.水利工程中的河道生态护坡施工技术应用要点分析[J].工程建设与设计,2023(3):192-194.
- [2]于红.水利工程河道生态护坡施工技术应用[J].地产,2023(23):0242-0244.
- [3]辛群.水利工程中的河道生态护坡施工技术研究[J].运输经理世界,2023(4):140-142.
- [4]张霞,高.水利工程中河道生态护坡施工技术应用研究[J].现代工程科技,2023,2(8):73-76.
- [5]覃选.水利工程河道生态护坡施工技术的实践研究[J].地产,2023(13):233-235.
- [6]李华.基于河道生态护坡的施工技术研究[J].黑龙江水利科技,2021(5):23-25.
- [7]王涛.基于主成分法的城市河道生态护坡综合评价[J].水利科学与寒区工程,2021(6):22-27.
- [8]宋瑞.基于生态护坡的河道治理模式研究[J].黑龙江水利科技,2021(7):2-9.