

探析水利工程中堤防护岸工程施工技术研究

权武彬

甘肃省白银市靖远县北湾镇古城村权湾社, 甘肃 白银 730600

[摘要]堤防护岸工程施工技术是水利工程抵御洪涝灾害、维系生态平衡的核心支撑,其技术革新正从单一防洪功能向多目标协同防护体系演进。面对极端气候与复杂地质耦合挑战,传统刚性防护模式难以适配动态水沙条件与生态修复的双重需求,亟待构建多目标协同的新型技术体系。文章系统整合土料选配、结构设计与智能施工工艺的创新路径,创新融合动态监测与生态协同机制,提出涵盖材料改性、智能压实与仿生防护的全链技术框架。通过构建“性能感知—损伤预警—功能再生”的韧性防护范式,突破传统工程寿命周期内的性能衰减瓶颈,为水利基础设施的生态化转型与全寿命周期成本优化提供方法论指导,推动防洪工程从被动抵御向主动适应的战略升级。

[关键词]水利工程;堤防护岸工程;施工技术;生态防护;质量控制

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16505

中图分类号: TV871

文献标识码: A

Research on Construction Technology of Embankment and Bank Protection Engineering in Water Conservancy Engineering

QUAN Wubin

Quanwan Community, Gucheng Village, Beiwan Town, Jingyuan County, Baiyin City, Gansu Province, Baiyin, Gansu, 730600, China

Abstract: The construction technology of embankment protection engineering is the core support for water conservancy projects to resist flood disasters and maintain ecological balance. Its technological innovation is evolving from a single flood control function to a multi-objective collaborative protection system. Faced with the challenges of extreme climate and complex geological coupling, traditional rigid protection models are difficult to adapt to the dual needs of dynamic water and sediment conditions and ecological restoration, and there is an urgent need to build a new multi-objective collaborative technology system. The article systematically integrates the innovative path of soil material selection, structural design, and intelligent construction technology, innovatively integrates dynamic monitoring and ecological coordination mechanism, and proposes a full chain technology framework covering material modification, intelligent compaction, and biomimetic protection. By constructing a resilience protection paradigm of "performance perception damage warning function regeneration", we break through the bottleneck of performance degradation within the traditional engineering life cycle, provide methodological guidance for the ecological transformation and full life cycle cost optimization of water conservancy infrastructure, and promote the strategic upgrade of flood control engineering from passive resistance to active adaptation.

Keywords: water conservancy engineering; embankment and bank protection engineering; construction technology; ecological protection; quality control

引言

堤防护岸工程作为水利基础设施的核心载体,其技术迭代始终围绕防洪安全、生态协调与工程寿命的多维平衡展开。全球气候变暖引发的极端水文事件频发,使得河岸侵蚀速率倍增、洪水冲击能量升级,传统刚性护岸结构已难以适应动态水沙条件与生态修复的双重需求。现有工程实践表明,过度依赖混凝土砌筑与硬质驳岸虽能短期提升抗冲刷能力,却易割裂水域生态链、加剧生物栖息地破碎化,同时刚性结构的应力集中效应在软基区易诱发不均匀沉降隐患。当前技术瓶颈集中体现为材料性能单一性、施工扰动不可逆性及运维反馈滞后性——传统土工合成材料难以兼顾渗透稳定与根系固土需求,分层碾压工艺在复杂地形易产生结合面薄弱区,而人工巡检模式难以及时捕捉隐蔽性结构损伤。破解这些难题需构建“材料—结构—

感知”三位一体的技术革新路径:研发具有自修复特性的生态兼容性材料,开发适应地形起伏的模块化装配式护岸构件,植入分布式光纤传感网络实现变形与渗流的实时反演。本文通过剖析土工材料功能改性机理、智能压实工艺优化策略及生态-工程协同设计方法,探索护岸工程从被动防御到主动适应的转型模式,为构建全域感知、动态调控的水利防护体系提供理论框架与实践范式。

1 水利工程中堤防护岸工程的重要性

1.1 保护河道和周边土地免受洪水侵害

堤防护岸工程通过构筑复合型屏障体系实现河道行洪能力的精准调控,其核心在于融合水文动力学与岩土力学原理构建分级消能结构。工程设计需统筹水位波动特性与土体渗透响应规律,采用反滤层与排水盲沟协同作用降低浸润线高程,结合生态袋装土技术形成抗冲刷柔性界面,

既阻断洪水漫溢路径又缓解水流对堤基的掏蚀效应。针对软土区段地基承载力不足问题,引入预应力管桩与土工格栅复合加固体系,通过应力扩散机制提升堤防在动态水力荷载下的结构稳定性。此类技术体系不仅有效防止农田与城市低洼区域的内涝灾害,更通过引导水流形态优化降低河床局部冲刷风险,为沿岸基础设施与生态廊道提供全域防护屏障。

1.2 防止河岸侵蚀和土壤流失

堤防护岸工程通过多尺度协同防护体系阻断侵蚀链式反应:微观层面采用生物酶固化技术增强土体胶结性能,形成抗冲刷表层保护壳;中观层面构建三维植被根系锚固系统,利用植物蒸腾作用调节土体含水率,实现生态护坡的自修复功能;宏观层面通过丁坝-潜堤组合结构调节近岸流场,分散水流剪切应力。针对潮汐作用区,双层反弧护面设计通过波浪能量相位干涉效应削弱爬坡动能,透水砌石结构则利用孔隙率梯度分布平衡水力冲击与地下水交换需求^[1]。工程措施与生态机制的耦合作用显著抑制岸线侵蚀速率,维护河道形态稳定与生态连通性。

1.3 提供水资源的可持续利用

堤防护岸工程通过生态-水文协同调控机制重构水资源利用范式:生态护岸依托根际微域效应与人工湿地串联系统构建多级过滤屏障,实现面源污染截留与水体自净功能耦合;亲水阶梯护坡采用多孔介质与导流堰协同布局,通过水位弹性调节保障农业灌溉取水稳定性。库区防护体系创新透水混凝土与仿生浮床联用技术,利用孔隙渗流效应促进水体复氧循环,同步实现岸线防护与水质优化。此类技术突破防洪单一功能范式,形成水量调蓄—水质净化—生态涵养三位一体的水资源调控网络,为流域尺度水—土—生系统协同管理提供工程载体。

2 水利工程中堤防护岸工程施工技术应用存在的问题

2.1 施工安全难以保障

水利工程施工通常处于特殊位置,受多种不确定因素的影响,这为施工过程带来了潜在的安全隐患,同时也对堤防护岸工程技术的应用构成了显著的挑战。在水利工程的施工过程中,必须实时监测水位变化,并根据水位的不同情况灵活调整施工进度。如果无法准确选择合适的施工时机,不仅可能导致施工原材料的浪费或损坏,还会影响后续施工环节的顺利衔接。若施工方式与施工时机未能有效契合,不仅会增加项目的施工成本,还会提升施工的难度,从而影响工程的安全性与质量保障。

2.2 缺乏科学的施工管理制度

堤防护岸工程施工管理滞后性集中表现为过程控制与技术演进的脱节:粗放式管理模式难以适配工艺参数精密化需求,例如填筑含水量动态调控机制缺失导致压实质量波动;新型材料应用缺乏全生命周期管控标准,生态混凝土养护条件与性能演化关联性研究不足,削弱技术创新

的落地效能。BIM 技术应用仍停留在静态模型模拟阶段,物联网感知层覆盖不足致使压实度、边坡位移等关键参数反馈延迟,形成“数据孤岛”^[2]。管理体系的碎片化割裂了设计、施工与运维的连续性,亟需构建基于数字孪生的智能管控平台,通过多源数据融合与算法驱动实现工艺优化、风险预警与资源调度的动态响应机制,推动施工管理从经验依赖向模型驱动的范式跃迁。

3 水利工程中堤防护岸工程施工技术的应用措施

3.1 加强土料的开采和选配

堤防护岸工程中土料质量的全流程管控需构建智能化勘探、动态分级与功能适配三位一体的技术体系。勘探阶段采用地质雷达扫描与孔压静力触探技术联合作业,通过电磁波反射特征与锥尖阻力曲线的耦合解析,精准识别料场土体的空间分布异质性及力学参数梯度变化规律,为开采方案制定提供多维数据支撑。开采过程实施数字化分仓管理策略,依托北斗定位系统与近红外光谱检测装置实现土料运输轨迹追踪与物性实时分析,通过含水率、有机质含量及颗粒级配的在线监测建立动态分级堆存机制,规避土料混杂导致的性能波动。针对高塑性黏土易产生收缩裂缝的缺陷,研发纳米硅基复合改良剂优化土体颗粒界面结合能,通过硅氧烷键的定向交联增强黏土团粒结构稳定性,同步提升压实后抗渗性与抗剪强度;砂性土则通过玄武岩纤维定向加筋技术改善离散性,利用纤维表面微孔结构吸附游离水分子形成化学键合效应,构建三维网状增强体系以抑制动力荷载下的颗粒迁移。建立多维度土料性能数据库,集成机器学习算法解析级配参数与工程响应关联规律,通过对抗生成网络(GAN)模拟不同工况下的填料性能演化路径,实现堤身防渗区、反滤层及护坡结构的材料特性精准适配与功能定向设计,为堤体全生命周期稳定性奠定基础。

3.2 完善土体开挖施工

堤防护岸工程土体开挖需以最小扰动与动态稳定为核心目标,构建智能化协同作业体系。采用无人化挖掘设备搭载多模态感知模块,通过三维激光扫描实时生成开挖面点云模型,并与BIM设计基准进行毫米级偏差分析,实现开挖精度的闭环控制。针对高陡边坡稳定性难题,布设分布式光纤传感网络实时捕捉岩体微应变场与温度场演化特征,结合深度学习算法预测潜在滑移面位置,触发预警并联动支护系统干预。在承压水地层施工中,创新应用液氮冻结帷幕技术形成低温截水屏障,通过温度场-渗流场耦合调控抑制周边地层沉降;同时研发自膨胀注浆材料对开挖暴露面进行即时封闭,阻断水-力耦合作用导致的岩体劣化。开挖弃渣通过智能分选与级配重构工艺转化为生态护坡骨料,结合微生物诱导碳酸钙沉淀技术(MICP)增强再生骨料胶结强度,形成兼具透水性、抗冲刷性能的生态护坡基材。施工过程中同步构建数字孪生系统,通过多源异构数据融合反演开挖扰动传播路径,动态优化施工时序与机械协

同策略,实现地质风险超前预判与工程扰动的精准补偿。

3.3 增加堤身的施工管理

堤身施工管理的智能化升级需依托“感知-决策-执行”全链闭环体系的构建。基于北斗高精度定位与惯性导航融合技术,无人压路机可实时获取土体刚度场分布特征,通过强化学习算法动态优化碾压路径与激振力参数,实现压实能量输入与土体响应特性的自适应匹配。微波湿度传感器网络以空间波导原理重构填筑层含水率三维云图,结合介电常数反演模型动态修正最佳压实阈值,消除传统点式检测的盲区效应。BIM-MES 集成平台通过多源异构数据融合技术,将压实轨迹、层厚偏差、温度梯度等参数实时映射至数字孪生体,利用卷积神经网络挖掘施工参数与力学性能的隐性关联,构建基于机器视觉的薄弱区识别模型,实现微裂隙、松散夹层等隐患的毫米级定位^[3]。施工参数区块链存证系统采用非对称加密与智能合约技术,将压实遍数、激振频率等关键数据分布式存储于联盟链节点,形成不可逆的质量溯源链条,任何参数篡改行为均会触发哈希值异常警报。同时引入边缘计算终端对施工机械进行群协同控制,通过联邦学习优化多设备作业时序,解决传统施工中碾压重叠区能量冗余与接缝区欠压实的矛盾。堤身养护阶段植入自感知光纤阵列,实时监测干缩应变与温度应力演化,结合数字孪生系统的损伤预测结果触发自修复微胶囊破裂,实现裂缝的主动弥合与性能恢复。

3.4 严格按照流程进行压实施工

堤防护岸工程压实施工的精准化需构建“智能感知—动态调控—闭环验证”的全链技术体系。研发振动-静压复合式压实设备,通过多频激振与恒压辊筒的协同作用适配不同土类密实需求:砂性土采用高频低幅振动模式激发颗粒重排效应,黏性土则切换低频高幅冲击破除团粒结构;设备搭载介电常数传感器阵列,基于电磁波相位偏移特征反演土体孔隙率与含水率的空间分布,实时生成压实度热力图指导碾压路径优化。针对层间接缝薄弱区,开发自愈乳化沥青界面处理技术,利用微胶囊包裹的活性剂在机械应力触发下释放,与沥青组分发生原位交联反应修复剪切滑移裂缝,形成连续抗剪界面。建立压实质量云评估系统,集成无人机载探地雷达与高光谱成像技术,通过多波段电磁波穿透反演与表面纹理特征提取,构建三维密实度云图并识别隐蔽性松散区;结合边缘计算终端对异常区域进行压实能量补偿算法推演,生成补强作业的路径规划与参数配置。施工全过程数据通过区块链分布式账本存证,利用时间戳与哈希加密技术确保碾压轨迹、激振参数等核心信息的不可篡改性,为质量追溯提供可信数据链。同时引入数字孪生平台,将物理压实过程与虚拟模型动态耦合,通过多物理场仿真预测长期服役工况下的密实度衰减规律,反向优化施工参数阈值,形成“施工—监测—反馈”的智能迭代闭环,全面提升堤防结构的抗渗稳定性与长期

耐久性。

3.5 护岸工程技术选择

堤防护岸工程的技术决策需构建“生态效能—结构韧性—环境响应”多维协同体系。针对强冲刷区段,研发模块化鱼巢式生态砌块,通过空腔拓扑优化设计形成多级消能单元,其内部仿生曲面结构可诱导水流产生局部涡旋,降低近岸流速 30%~50%;空腔填充生物亲和性陶粒基质,为底栖生物提供产卵附着面,同步实现水力消能与生态修复。潮间带防护创新盐沼植物-仿生珊瑚礁复合护坡技术,利用 3D 打印珊瑚骨架模拟天然礁体孔隙结构,接种钙化菌诱导碳酸钙沉积强化骨架强度,盐生植物根系通过生物胶结作用固结滩涂泥沙,形成抗浪能力达 8 级风浪的生态韧性界面。船舶行波影响区推广带消能孔的装配式混凝土护面单元,基于计算流体力学优化孔洞排布与倾角,通过涡流干涉效应将反射波高削减 60%以上,其预制拼装结构可适应±15 厘米的基床沉降变形。引入形状记忆合金锚杆技术,通过马氏体相变特性实现锚固力随温度变化的动态调节,冬季低温条件下锚杆收缩增强预紧力以抵抗冻胀,夏季高温相变释放应力避免结构热损伤^[4]。针对感潮河段水位剧变特性,开发浮式弹性护岸系统,采用超高分子量聚乙烯编织网与闭孔泡沫芯材复合结构,通过浮力自适应机制维持护岸高程与水位同步变化,消除传统刚性护岸因水位骤降导致的背水面负压破坏风险。技术体系深度融合仿生学原理与智能材料科技,推动护岸工程从静态防护向动态适应的范式跃升。

4 结语

堤防护岸工程技术体系正经历从材料性能优化向系统韧性重构的范式跃迁,其进化逻辑需融合力学-生态-信息交叉学科理论,形成环境响应与工程性能的动态平衡机制。未来技术突破将聚焦自感知材料的多场耦合响应机制、仿生结构的多稳态拓扑设计及数字孪生驱动的全寿命自愈策略,构建“环境感知—智能决策—性能再生”的闭环防护链。通过跨尺度协同设计与智能材料集群技术,实现护岸工程在极端水文事件下的损伤阈值自适应调节与功能梯度恢复,同步达成水力安全、生态廊道修复与碳汇能力提升的复合目标,重塑人水关系的新平衡态。

[参考文献]

- [1]夏孝渊. 水利工程中堤防护岸工程施工技术研究[J]. 散装水泥, 2024(4): 53-55.
 - [2]李云刚. 水利工程中堤防护岸工程施工技术初探[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(20): 208-210.
 - [3]魏刚. 水利工程施工中堤防及护岸工程技术的研究[J]. 水上安全, 2025(4): 49-51.
 - [4]周军启. 水利工程中堤防护岸工程施工技术浅析[J]. 水上安全, 2024(8): 176-178.
- 作者简介: 权武彬(1983.6—), 毕业院校: 武汉大学, 所学专业: 工程管理, 职称级别: 工程师。