

# 关于堤防工程施工技术在水利工程建设中的应用研究

卢沼君 郝金龙

中国南水北调集团中线有限公司河南分公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 堤防工程是水利工程防洪体系核心, 施工质量关乎防洪安全与综合效益。极端水文事件频发、生态环保要求提高, 传统施工技术难满足复杂需求。本文以堤防施工技术为研究核心, 梳理其应用逻辑, 分析地基处理等关键技术要点, 构建全流程管理体系。结合绿色与智能化趋势, 探讨创新路径与标准化方向。研究表明, 科学选技术、强管控可提升堤防抗滑防渗能力、延长寿命。本文成果为施工提供参考, 助力实现防洪与生态保护双重目标。

**关键词:** 堤防工程; 施工技术; 防洪安全; 质量控制

引言: 水利工程是保障水资源安全与防洪减灾的关键设施, 堤防工程作为抵御洪水首道防线, 建设水平关乎流域人民生命财产安全。近年来我国水利建设规模扩大, 堤防面临的地质水文更复杂, 对施工技术要求更高。生态环保理念促使堤防向“安全与生态协同”转型。当前部分堤防存在施工质量不均、防渗不足等问题, 汛期有管涌、溃堤风险。研究施工技术、优化质控体系、探索创新路径, 对提升防洪能力等意义重大, 可为高质量建设提供支撑。

## 1 水利工程建设中堤防工程的核心概念

水利工程建设中, 堤防工程是指通过人工修建的挡水建筑物, 沿江河湖海及渠道岸边布置, 主要功能为抵御洪水、挡潮防浪, 保障周边区域免受洪涝灾害。其核心属性体现在防洪安全性、结构稳定性与功能综合性三个方面, 防洪安全性是首要属性, 要求堤防在设计洪水标准内不发生溃决、漫溢; 结构稳定性表现为堤身与地基协同承载, 抵抗滑坡、沉降等变形; 功能综合性则体现在现代堤防兼顾生态修复、景观营造等附加价值。从工程分类来看, 按防御对象可分为江河堤防、湖泊堤防、滨海堤防, 江河堤防侧重抵御河道洪水, 滨海堤防需同时应对潮汐与风暴潮; 按结构形式可分为土堤、石堤、混凝土堤防, 土堤取材便捷但防渗性较差, 混凝土堤防强度高但生态性不足<sup>[1]</sup>。堤防工程的设计与施工需严格遵循流域防洪规划, 结合地形地质条件确定堤身高度、边坡坡度等核心参数, 确保与整体水利工程体系协同运作。

## 2 水利工程堤防关键施工技术分析

### 2.1 地基处理技术

地基处理是堤防工程施工的基础环节, 其质量直接决定堤身整体稳定性, 需根据地基类型针对性选择处理技术。软土地基是最常见的复杂工况, 此类地基承载力低、压缩性大, 易导致堤身沉降开裂, 常用换填法与排

水固结法处理, 换填法采用碎石、砂垫层替换表层软土, 厚度控制在1-2米, 碾压密实度不低于95%; 排水固结法通过设置塑料排水板加速孔隙水排出, 配合堆载预压消除地基工后沉降。砂土地基易发生管涌, 采用振冲加密法处理, 利用振冲器产生的高频振动使砂土颗粒重新排列, 形成密实砂桩, 桩间距根据砂土密实度确定为1.5-2.5米。岩溶地基存在溶洞与裂隙, 采用注浆填充法处理, 选用水泥-水玻璃双液浆, 注浆压力控制在0.3-0.5MPa, 确保浆液填充饱满。地基处理完成后需进行承载力检测, 采用平板载荷试验, 要求地基承载力特征值不低于设计值的1.2倍, 检测合格后方可进入下道工序。

### 2.2 堤身填筑与压实技术

堤身填筑与压实技术直接影响堤防抗渗性与整体强度, 核心在于材料选择与施工参数控制。筑堤材料优先选用黏性土或壤土, 此类土料颗粒级配合理, 压实后形成稳定结构, 含泥量需控制在10%以内, 含水率保持在最优含水率 $\pm 2\%$ 范围, 过干土料需洒水湿润, 过湿土料则进行翻晒处理。填筑施工严格遵循“分层填筑、分层压实”原则, 每层填筑厚度根据压实机械类型确定, 推土机配合羊足碾施工时厚度控制在30厘米, 挖掘机配合振动碾施工时厚度可放宽至50厘米, 层间结合面需刨毛处理, 刨毛深度不小于5厘米, 确保层间结合紧密。压实机械选择需匹配土料特性, 黏性土优先采用羊足碾, 利用挤压作用增强密实度; 砂性土采用振动碾, 通过高频振动减少孔隙。压实质量检测采用环刀法或灌砂法, 每1000平方米检测不少于3点, 压实度需达到96%以上, 不合格区域需重新碾压直至达标<sup>[2]</sup>。

### 2.3 防渗与排水技术

防渗与排水技术是保障堤防防洪安全的关键, 需构建“防渗为主、排水为辅”的协同体系。防渗技术根据工程需求选择应用, 堤身防渗常用土工膜铺设与黏土心

墙两种方式,土工膜选用高密度聚乙烯材质,厚度不小于0.5毫米,铺设前需平整堤身表面,清除尖锐杂物,接缝采用热熔焊接,焊接强度不低于母材强度的85%;黏土心墙设置在堤身中部,采用塑性指数15-20的优质黏土,分层压实,压实度不低于97%。堤基防渗多采用高压喷射注浆技术,在堤脚外侧布置注浆孔,孔距1.2米,注浆深度穿透透水层进入隔水层,形成连续防渗帷幕。排水技术重点解决堤身与地基的渗透水问题,堤身设置纵向排水盲沟,采用碎石填充,外包土工布防止土颗粒流失;堤脚设置排水棱体,选用块石或卵石堆砌,坡比1:2,确保渗透水顺利排出。排水系统需与防渗结构衔接顺畅,避免渗透水在堤身内积聚导致边坡失稳。

#### 2.4 护坡与生态修复技术

护坡与生态修复技术兼顾堤防抗冲刷能力与生态功能,实现工程安全与环境友好的统一。传统护坡技术适用于冲刷严重区域,干砌石护坡采用块径不小于30厘米的块石,砌筑时错缝排列,缝隙用小石填充,坡比1:1.5;混凝土预制块护坡采用C25混凝土预制,块体尺寸50cm×50cm×10cm,铺设时预留2cm伸缩缝,填充沥青砂浆。生态修复技术已成为现代堤防施工的主流方向,植被混凝土护坡将混凝土、腐殖土、草种按比例混合喷射,厚度10-15厘米,草种选择狗牙根、高羊茅等耐水品种;格宾石笼护坡采用镀锌钢丝编织笼体,内填块石,笼体叠砌形成柔性结构,可适应堤身微小变形,石笼间隙自然生长植被,提升生态效果。生态修复施工需注重植物养护,喷射后及时洒水保湿,确保植被成活率不低于85%,同时设置植被灌溉系统,保障干旱季节植物生长需求。

### 3 堤防工程施工质量控制与监测技术

#### 3.1 施工质量控制体系

堤防工程施工质量控制体系采用“事前预防、事中控制、事后验收”的全流程管理模式,明确各环节责任主体与控制标准。事前预防阶段重点开展技术准备与材料管控,组织施工人员进行技术交底,详细说明施工工艺与质量要求;建立材料进场检验制度,土料、石料、混凝土等主要材料需提供出厂合格证,进场后按规范抽样检测,土工膜等新型材料需进行抗老化、抗穿刺性能测试,不合格材料严禁使用。事中控制阶段实施工序管控与旁站监督,划分地基处理、堤身填筑等关键工序,设置质量控制点,每个控制点配备专职质检员,对压实度、防渗系数等核心参数实时检测;重要工序如高压喷射注浆、土工膜焊接,实行全过程旁站监督,做好施工记录。事后验收阶段执行分层验收与竣工检测,每完成一层堤身填筑即进行验收,验收合格方可进入下一层施

工;工程竣工后开展全面检测,包括堤防断面尺寸、边坡坡度、渗流性能等指标,出具质量检测报告,确保工程符合设计标准。

#### 3.2 实时监测与预警技术

实时监测与预警技术通过动态捕捉堤防运行状态,为质量管控与安全防控提供数据支撑,构建“传感器监测+人工巡查”的立体监测网络。监测内容涵盖堤身变形、渗流状态与结构应力,堤身变形监测采用全站仪与沉降仪,在堤顶每隔50米设置监测点,测量水平位移与竖向沉降,水平位移预警值控制在30毫米以内,竖向沉降预警值不超过50毫米;渗流监测在堤身与堤基设置渗压计,监测渗透压力变化,当渗透压力超过设计值1.1倍时发出预警;结构应力监测通过在护坡与防渗墙布置应力计,实时掌握结构受力情况。监测数据采用无线传输技术接入信息化平台,平台具备数据自动分析功能,当监测值接近预警阈值时,自动发送预警信息至管理人员手机终端<sup>[3]</sup>。同时建立每日人工巡查制度,重点检查堤身裂缝、护坡损坏等表观缺陷,发现问题及时记录并上报处理。

#### 3.3 风险评估与应急预案

风险评估与应急预案是应对堤防施工突发事件的核心保障,需结合工程特点开展针对性制定工作。风险评估采用定性与定量结合方法,识别施工过程中可能出现的风险类型,包括边坡坍塌、管涌、机械故障等,通过建立风险矩阵,评估风险发生概率与危害程度,将软土地基边坡坍塌、汛期施工洪水等列为重大风险。针对重大风险制定专项应急预案,明确应急组织机构、应急响应流程与处置措施,边坡坍塌应急预案规定立即停止施工、撤离人员,采用沙袋堆筑临时支护;管涌应急预案明确采用反滤围井封堵,配合排水降压措施。配备充足应急物资,包括沙袋、水泵、救生衣等,建立物资台账,定期检查物资完好性与储备量。每季度组织一次应急演练,模拟边坡坍塌、管涌等场景,提升施工人员应急处置能力,演练后进行总结评估,优化应急预案。

### 4 堤防施工技术创新与发展趋势

#### 4.1 绿色施工理念的应用

绿色施工理念在堤防工程中注重资源节约与生态保护,力求施工与环境和谐共生。资源节约上,推行材料循环利用,用基坑合格土方填筑堤身,减少外购土料;处理施工废水并回用,经沉淀池与过滤系统处理后,用于洒水降尘和植被灌溉,回用率不低于70%;优化机械配置,选用节能型设备,降低燃油消耗与废气排放。生态保护方面,避开鱼类产卵和候鸟迁徙期水下施工;采用低影响技术,及时恢复地表植被;周边种植乡土植物构

建滨水植被带。建立评价体系,从多维度量化评估,确保绿色理念贯穿施工全程。

#### 4.2 智能化施工技术探索

智能化施工技术融合信息技术与施工机械,提升堤防工程施工精度与效率,已在重点工程实践。智能压实技术是核心,在振动碾安装实时监测系统,采集数据计算压实度并同步显示,确保压实均匀,效率提升超20%。BIM技术用于全过程管理,构建三维模型模拟施工流程,提前发现冲突;关联进度实现可视化管控,调整资源配置。无人施工设备逐步推广,无人挖掘机等远程操控,危险区域避免人员伤亡;无人机搭载设备巡查堤防,快速识别缺陷,效率是人工的5倍。

#### 4.3 标准化与模块化建设

标准化与模块化建设是提升堤防工程施工质量、降低成本的有效路径,已形成涵盖设计、施工、验收的全链条标准体系。施工标准化重点规范技术要求与操作流程,制定《堤防工程施工技术标准》,明确各类施工技术的参数指标,如土工膜焊接温度控制在230-250℃,焊接速度0.8-1.2米/分钟;统一施工记录格式与质量检测方法,确保施工过程可追溯。模块化建设采用预制装配技术,将堤防护坡、排水构件等在工厂预制生产,现场进行组装,混凝土预制护坡模块通过预留钢筋连接,安装效率比现场浇筑提升40%;研发堤身填筑模块化设备,实现开挖、运输、填筑一体化作业,减少工序衔接时间。标准化与模块化建设还推动施工装备专用化,企业研发定制化堤防压实机、注浆设备,设备性能更适配施工需求,进一步提升施工质量稳定性<sup>[4]</sup>。

#### 4.4 未来发展方向

堤防工程施工技术未来发展将围绕安全提升、生态优化与效率升级展开,形成多技术融合的发展格局。材料技术创新聚焦高性能与生态化,研发新型复合土工材

料,提升抗老化与防渗性能,同时具备可降解特性;开发生态混凝土材料,通过添加微生物菌剂,促进植被生长与土壤改良。监测技术向精准化与智能化深化,应用光纤传感技术实现堤防内部渗流的分布式监测,监测精度达到0.01MPa;结合人工智能算法,通过分析历史监测数据,实现风险的提前预判。施工模式向一体化发展,构建“设计-施工-运维”全生命周期管理模式,利用数字孪生技术构建堤防虚拟模型,实现施工过程与运行状态的实时联动。同时,跨学科融合成为趋势,水利工程与生态学、信息技术深度结合,推动堤防工程向“安全、生态、智慧”的方向转型。

#### 结束语

堤防工程施工技术的科学性与适用性,关乎水利工程防洪安全及综合效益。研究表明,优化地基处理、堤身填筑等关键技术,构建全流程质量控制体系并应用监测预警手段,能提升工程质量与安全性。绿色施工与智能化技术融入,推动工程建设与生态保护协同共进。当前,堤防施工面临复杂地质应对、技术标准欠缺等问题,需加强研发创新。未来,标准化、模块化建设将使施工更高效安全环保,持续革新将助力其更好保障防洪安全与水资源可持续利用。

#### 参考文献

- [1]曹星宇.关于长江水利工程建设中堤防施工技术的分析与探讨[J].建筑·建材·装饰,2022(13):73-75.
- [2]庞书起.关于水利工程堤防防渗施工技术的研究[J].现代装饰,2023(15):168-170.
- [3]高明磊.关于水利工程堤防护岸工程施工技术的研究[J].警戒线,2020(9):152-153.
- [4]徐昂.堤防工程施工技术在水利工程建设中的应用研究[J].未来城市设计与运营,2023(1):71-73.