

南水北调中线双洎河渡槽边坡防护施工方案的探讨

刘二威

中国南水北调集团中线有限公司河南分公司 河南 郑州 450018

摘要: 南水北调中线双洎河渡槽边坡防护至关重要。本文分析渡槽与边坡相互作用风险,包括充放水工况、河道行洪等影响。探讨防护方案设计原则,对比选择刚性-柔性复合防护体系等方案。阐述与渡槽施工衔接的关键技术,明确施工质量控制与长期监测重点。旨在为该渡槽边坡防护提供科学方案,保障工程安全稳定运行。

关键词: 南水北调中线; 双洎河渡槽; 边坡防护; 施工方案; 监测维护

引言: 南水北调中线工程意义重大,双洎河渡槽作为关键部分,其边坡防护关乎工程整体安全。渡槽在运行中,受充放水、河道行洪等因素影响,边坡面临多种风险,如应力变化、冲刷破坏等,可能威胁渡槽结构安全。因此,制定科学合理的边坡防护施工方案,对保障渡槽长期稳定运行、确保工程效益发挥具有紧迫性和必要性。

1 渡槽与边坡相互作用的关键风险分析

1.1 渡槽充放水工况下荷载对边坡应力的动态作用

渡槽在充水运行阶段,水流重量直接作用于结构本体,并通过支承体系传递至边坡。水体静压力随水位升降呈现梯度分布特征,当水位达到设计高程50米时,边坡承受的竖向荷载达到峰值,以每平方米200千牛的力作用于边坡^[1]。这种持续荷载作用可能引发坡体内部应力重分布,导致原本稳定的岩土体产生微小位移,位移量通常在1-5毫米之间。检修期间实施放空操作时,荷载的骤然卸载会打破原有平衡状态,坡体因应力释放产生回弹变形,回弹量一般在2-8毫米。两种工况交替作用形成的循环荷载,可能加速边坡岩土体的疲劳损伤进程。特别是在地质条件复杂的区域,软弱夹层或断层带在荷载反复作用下易发生蠕变,蠕变速率约为每年0.1-0.5毫米,进而引发局部应力集中现象。这种动态应力变化过程若未得到合理控制,随着时间推移,边坡的稳定性会持续降低,原本细微的变形可能逐渐累积,最终引发更大规模的失稳,可能逐步演变为边坡整体稳定性下降,威胁渡槽结构安全。

1.2 河道行洪与渡槽坡脚冲刷的协同作用风险

汛期河道流量激增时,水流挟沙能力显著增强,对渡槽坡脚形成持续性冲刷。当流量达到5000立方米每秒时,这种水动力作用不仅直接侵蚀坡脚岩土体,更会改变原有水流形态,在渡槽下部形成复杂涡流区。涡流产生的局部负压会加剧坡脚掏蚀效应,导致边坡前缘支

撑体系失效。随着冲刷深度增加,边坡抗滑力矩持续减小,当冲刷深度达到3-5米,达到临界状态时可能引发整体失稳。特别在流速超过设计标准8米每秒的极端洪水事件中,冲刷作用与水流拖曳力形成叠加效应,这种叠加效应对边坡稳定性的破坏力极大,会使边坡在短时间内出现明显的变形和破坏迹象,对边坡稳定性构成双重威胁。

1.3 边坡变形对渡槽槽身及止水系统的潜在危害

边坡发生蠕变或滑动时,其位移分量会通过支承结构传递至渡槽槽身。当边坡位移量达到10-20毫米时,这种变形作用可能引发槽体结构应力超限,导致混凝土开裂或钢结构变形,混凝土裂缝宽度可能达到0.1-0.5毫米。更为关键的是,边坡位移会破坏渡槽止水系统完整性,造成接缝处渗漏通道形成。水体渗入结构内部后,会加速钢筋锈蚀进程,在5-10年内使钢筋直径减小1-2毫米,降低混凝土耐久性。长期渗漏还可能引发基础不均匀沉降,沉降量达到5-15毫米时,会进一步加剧边坡与渡槽的相互作用风险,形成恶性循环^[2]。这种恶性循环一旦形成,若不采取及时有效的措施进行干预,结构的损伤会不断加剧,最终可能导致整个渡槽工程无法正常运行,甚至造成严重的安全事故。

2 防护方案设计原则与比选

2.1 设计核心原则的构建

防护体系设计需以永久性防护为根本目标,确保防护结构在渡槽全生命周期内持续发挥效用。结构耐久性与渡槽主体设计寿命保持一致,避免因防护层过早失效导致边坡暴露于风险环境。维护成本优化是重要考量维度,通过选用自修复能力强、抗老化性能优异的材料,降低全周期维护频次与投入。方案制定需兼顾工程安全性与经济合理性,在满足防护功能的前提下,避免过度设计造成的资源浪费。结构适应性原则要求防护体系能动态响应边坡变形,通过柔性连接或预留变形空间,防止因不均匀沉降引发结构破坏。环境协调性同样

关键,防护措施应与周边景观融合,减少对生态系统的干扰。在设计过程中还要充分考虑未来的可扩展性和可升级性,以适应可能出现的新情况和新需求,为防护体系的长期稳定运行提供保障。

2.2 刚性-柔性复合防护体系

裹头护坡采用柔性防护策略,以此适应特殊工况。使用桩径 20cm、入土深度 1m 的钢筋混凝土抗滑桩进行加固,坡顶和坡面及一级平台采用20cm厚C20钢筋混凝土硬化,为避免端头部位淘刷破坏,在新护坡体端部设置嵌入式抗冲刷钢筋混凝土挡墙。临近渡槽区域,渡槽进出口为高填方段四级边坡,1-3级边坡已采用30cm厚的浆砌石护坡,4级边坡为拱形护坡+植草护坡,现状稳定无需额外设置抗滑桩。针对此区域,重点加强施工管控,确保浆砌石和拱形护坡施工质量,对植草护坡加强养护,保证植被成活率。渡槽与边坡结合部位,通过合理规划施工顺序、加强边坡监测等措施,保障施工安全与质量。两种防护形式在结合部位通过过渡区自然衔接,形成合理的刚度渐变。此复合防护体系充分发挥刚性和柔性防护优势,既保障裹头护坡及边坡稳定,又兼顾生态与景观效果,为整体工程提供可靠支撑。

2.3 坡脚抗冲刷专项设计

坡脚区域设置多级防护措施构建抗冲刷防线,抛石护脚通过块石间相互嵌锁形成柔性缓冲层,块石粒径选择300-500毫米,有效消减水流直接冲击能量。防冲槽采用钢筋笼填充级配碎石工艺,钢筋笼直径为1-1.5米,既保持结构整体性,又允许水流渗透减少水压力。导流墙通过改变水流方向降低坡脚流速,墙高设置为2-3米,墙身设置透水孔避免水位抬升引发的反向渗透破坏,透水孔直径为50-100毫米。抗冲刷体系设计需考虑水流流态变化,通过数值模拟优化防护结构布置,确保在极端洪水工况下仍能维持防护效能。各防护单元间设置变形缝,变形缝宽度为10-20毫米,适应边坡可能出现的微小位移,防止结构开裂导致防护失效。通过这些细致的设计和措施,坡脚抗冲刷能力得到了显著提升,能够有效抵御各种恶劣的水流条件,保护边坡和渡槽的安全。

3 与渡槽施工衔接的关键施工技术

3.1 边坡开挖与渡槽基础施工的协同实施

边坡开挖需根据地质条件分阶段推进,优先完成渡槽基础影响范围内的土方作业。开挖面应保持设计坡度,避免超挖或欠挖对基础施工造成干扰^[3]。基础开挖至设计标高后,需立即进行垫层浇筑,缩短基底暴露时间,防止雨水浸渗导致承载力下降。边坡支护结构施工应与基础作业保持安全距离,采用跳槽开挖方式减少

对邻近土体的扰动。当开挖至强风化岩层时,需调整爆破参数,采用松动爆破配合机械修整,确保边坡成型质量。基础混凝土浇筑前,应对开挖面进行清理验收,清除松散岩土及积水,为结构施工创造条件。在施工过程中,各工序之间要紧密配合,严格按照施工规范和设计要求进行操作,确保施工质量和安全。

3.2 防护结构对渡槽桩基的避让保护技术

防护结构施工前需通过地质雷达探测明确桩基位置,在施工平面布置中预留安全缓冲区3-5米。刚性防护结构施工时,靠近桩基区域改用人工开挖,避免机械作业对桩身造成碰撞损伤。抗滑桩施工应控制钻孔偏斜率不超过1%,采用导向装置确保桩身垂直度,防止倾斜侵入桩基保护范围。混凝土挡墙浇筑时,在邻近桩基部位设置隔离模板,隔离模板厚度为10-20毫米,防止混凝土浆液渗入桩周土体影响摩擦力。柔性防护结构施工需注意植被根系与桩基的间距控制不小于500毫米,选用浅根系草种避免根系穿透桩基防腐层。施工机械作业半径应严格限定在安全距离5米外,必要时设置物理隔离设施。施工人员要具备高度的责任心和专业技能,严格遵守操作规程,确保桩基不受任何损伤,保障渡槽结构的稳定性。

3.3 施工期渡槽区域排水防洪体系构建

临时排水系统需结合永久排水设施提前规划,在开挖边坡顶部设置截水沟,截水沟宽度为0.5-1米,深度为0.5-0.8米,拦截地表径流防止冲刷坡面。基础施工区周边布置排水盲沟,排水盲沟间距为5-10米,引导地下水有序排放,降低孔隙水压力。排水沟应采用混凝土预制块拼装或现浇工艺,确保结构稳定不渗漏。汛期来临前需完成防洪堤修筑,堤顶标高应高于设计洪水位1-2米,堤身采用黏土夯筑并设置反滤层,反滤层厚度为0.3-0.5米。施工场地内设置集水井,集水井直径为1-2米,深度为2-3米,配备大功率抽水泵形成应急排水能力。排水系统运行期间需定期清理杂物,每3-5天清理一次,保持沟渠畅通,对损坏部位及时修复。防洪预案应明确预警阈值与响应流程,储备足够的砂袋500-1000个、防水布200-300平方米等应急物资,组织抢险队伍进行演练^[4]。完善的排水防洪体系是施工期渡槽安全的重要保障,必须高度重视并认真落实各项措施。

4 施工质量控制与长期监测重点

4.1 防护结构与渡槽主体接合部施工管控

接合部施工需重点关注界面处理工艺,防护结构与渡槽基础接触面应凿毛至露出新鲜骨料,凿毛深度为5-10毫米,清除浮浆及松散颗粒后涂刷界面剂,界面剂涂刷厚度为0.5-1毫米,增强新旧混凝土粘结性能。刚性防护

与柔性防护过渡段采用土工格栅加筋处理,格栅铺设方向与边坡潜在滑动方向垂直,搭接长度满足设计要求不小于300毫米并通过U型钉固定,U型钉间距为500-800毫米。接缝部位采用双组分聚硫密封胶嵌缝,嵌缝前需保持界面干燥清洁,密封胶填充应饱满无气泡,形成连续防水屏障,密封胶厚度为5-10毫米。钢筋连接部位采用机械连接或焊接工艺,接头位置错开布置且满足锚固长度要求不小于35倍钢筋直径,避免应力集中引发开裂。施工过程中需对界面处理质量进行实时检测,采用拉拔试验验证粘结强度,拉拔力达到1-2兆牛,不合格部位立即返工处理。严格的质量管控是确保接合部施工质量的关键,只有每一个环节都做到精益求精,才能保证整个防护体系的可靠性。

4.2 渡槽安全专项监测体系构建

坡顶位移监测采用全站仪与GNSS联合观测,在边坡关键断面布置监测点,监测点数量为5-10个,监测频率根据施工阶段动态调整,开挖期间每日观测一次,基础施工完成后每周观测一次。渗压监测通过埋设振弦式渗压计实现,传感器安装前需进行率定试验,确保量测精度满足要求,数据采集系统具备自动存储与远程传输功能。结构应力监测选用光纤光栅传感器,在渡槽关键受力部位及防护结构应力集中区布置测点,测点数量为10-20个,实时监测应力变化趋势。监测数据经专业软件分析处理后,生成应力-时间曲线及位移矢量图,当监测值超过预警阈值时自动触发报警机制。监测系统应具备抗干扰能力,传感器防护等级达到IP68标准,确保在恶劣环境下稳定运行。先进的监测技术和完善的监测体系能够及时发现渡槽和边坡的异常情况,为采取有效的应对措施提供依据。

4.3 运营期防护设施巡检维护制度

建立分级巡检制度,日常巡检每周开展一次,重点

检查防护结构表面裂缝、剥落及植被生长情况,记录异常现象并标注位置。季度巡检采用无损检测设备对结构内部缺陷进行探测,评估结构耐久性状况^[5]。年度巡检委托专业机构进行全面检测,出具检测报告并提出维护建议。维护工作根据巡检结果分类实施,轻微损伤采用环氧砂浆修补,环氧砂浆厚度为5-10毫米,严重裂缝进行压力灌浆处理,压力控制在0.5-1兆帕,植被过度生长区域及时修剪防止遮挡监测设施,修剪高度保留200-300毫米。排水系统每季度清理一次,清除堵塞物并检查反滤层完整性,损坏部位及时修复。建立维护档案,详细记录每次巡检及维护情况,为后续养护提供数据支撑。定期的巡检和维护是保证防护设施长期有效运行的重要措施,能够延长设施的使用寿命,降低安全风险。

结束语

南水北调中线双泊河渡槽边坡防护施工方案,经风险分析、方案比选、技术探讨及质量监测研究,形成完整体系。从设计原则到具体施工,再到长期维护,各环节紧密相连。严格执行该方案,可有效应对边坡风险,保障渡槽安全,为南水北调工程稳定运行提供坚实支撑,确保水资源调配任务顺利完成。

参考文献

- [1]董栋,张尧,陈建辉.西藏某水利枢纽深切河槽边坡卸荷深度勘察[J].云南水力发电,2023,39(1):105-107.
- [2]吕立东.河道治理工程中疏浚与护坡工程施工关键技术研究[J].水上安全,2025(3):86-88.
- [3]段仁辉.水利工程河道生态护坡施工技术探究[J].工程建设与设计,2025(5):221-223.
- [4]黄文超,白金玲,林煌.水利工程中河道生态护坡施工技术探讨[J].现代盐化工,2025,52(4):94-96.
- [5]马克春.河道治理工程中疏浚与护坡工程施工关键技术研究[J].水上安全,2025(5):91-93.