

闸坝除险工程导流及围堰施工技术研究

袁伟伟

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：闸坝作为水利工程的核心构筑物，其安全稳定直接关系流域防洪、供水等功能发挥。大量服役多年的闸坝因老化、侵蚀等出现安全隐患，除险加固过程中，导流与围堰施工是保障工程顺利推进的关键前置环节。本文系统阐述闸坝除险工程导流及围堰施工的核心技术原理，深入分析导流方案的设计依据、典型类型与优化方法，构建围堰施工的选型设计、关键工艺及质量安全控制体系，结合不同工况技术对比明确适配策略，通过平原闸坝除险工程案例验证技术实践效果。研究旨在完善闸坝除险工程导流与围堰施工技术体系，为同类工程提供理论与实践参考。

【关键词】：闸坝除险；导流施工；围堰技术；方案优化；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.02.067

我国闸坝工程多建于20世纪中后期，历经数十年运行，受自然环境侵蚀、运行负荷增加及设计标准提升等影响，大量闸坝出现坝体渗漏、结构老化、闸墩裂缝等安全隐患，严重威胁流域生态安全与居民生命财产安全。闸坝除险加固工程施工周期长、工况复杂，需在保障河道正常功能的前提下开展作业，导流与围堰施工作为核心前置工序，直接决定施工区域的干燥作业条件、河道防洪安全及工程整体进度。传统导流围堰技术在复杂水文地质条件下易出现泄流能力不足、围堰失稳等问题，亟需从技术原理、方案设计、工艺优化等维度进行系统研究。

1 闸坝除险工程导流及围堰施工核心技术原理

导流施工作为闸坝除险工程中的核心环节，其技术原理在于通过科学布置导流建筑物，疏导水流，保障施工区域免受水流干扰。选择哪种导流方式，通常要结合施工区域的地形地质以及河道流量等相关信息：分段导流适用于宽河道，划分上下游施工段交替作业；梳齿导流部分开启闸孔疏导水流，多用于原位除险加固。全段围堰导流通过横向围堰拦截水流，用导流洞等将水导向下游，适用于中小流量河道。

需要注意的是，导流设计应以水力计算结果为依据进行。对此，要明确流域水文资料预测流量、演算水位，确定导流建筑物尺寸与泄流能力。导流时段划分结合水文节律，枯水期流量小，是施工黄金时段，可用全段围堰导流；汛期流量大，需启用导流洞保障泄流安全^[1]。

围堰是临时挡水构筑物，核心功能是挡水、防渗，为施工创造干燥环境，需满足强度、稳定与防渗要求。围堰类型依工况选择，土石围堰取材便捷、成本低；钢板桩围堰整体性强、防渗好；混凝土围堰强度高、抗冲强。防渗与稳定是设计核心，需针对性设计保障施工安全。

2 闸坝除险工程导流方案设计与优化

2.1 导流方案设计依据

导流方案设计需基于全面的基础资料分析，包括河道水文数据、地形地质资料与闸坝原有结构条件。河道水文数据要收集多年平均流量、洪峰流量、水位变幅等指标，明确不同时段的水流特性；地形地质资料需查明地层分布、地基承载力、渗透系数等参数，为导流建筑物选址与结构设计提供依据；闸坝原有结构条件则需评估闸孔尺寸、闸墩强度，判断是否可利用原有结构导流。同时要明确施工工期、防洪标准、通航要求与生态保护等约束条件：施工工期需结合水文节律合理安排，避开汛期高强度施工；防洪标准要符合流域防洪规划，确保导流建筑物与围堰能抵御设计洪水；通航要求需保障施工期间重要航道通行能力；生态保护则要预留鱼类洄游通道，减少对流域生态环境的影响。

2.2 典型导流方式设计与应用

分段导流方案适用于宽河道闸坝除险工程，通过修建纵向围堰将河道划分为多个施工段，上下游段交替进行闸坝加固与导流作业。设计过程中需合理确定导流明渠的断面尺寸、坡度与糙率，以及纵向围堰的高度与边坡防护措施，确保导流期间水流顺畅，不发生冲刷淤积；导流洞导流方案针对深峡谷闸坝工程，导流洞通常布置在闸坝旁侧山体或坝体预留孔洞，进口高程需低于设计洪水位。断面形状可采用城门洞型或圆形，城门洞型适用于地质条件较好的区域，圆形断面抗水压能力更强^[2]。导流洞衬砌结构需根据地质条件设计，软弱围岩区域需采用钢筋混凝土衬砌，增强结构稳定性与防渗性，保障泄流能力满足设计要求；梳齿导流（图1）方案适用于闸坝原位除险工程，利用部分闸孔开启形成梳齿状泄流通道。设计过程中需合理确定梳齿孔口尺寸与开启时序，确保水流均匀宣泄，避免局部流速过大引发闸孔冲刷破坏，同时保障施工区域的安全作业

空间。

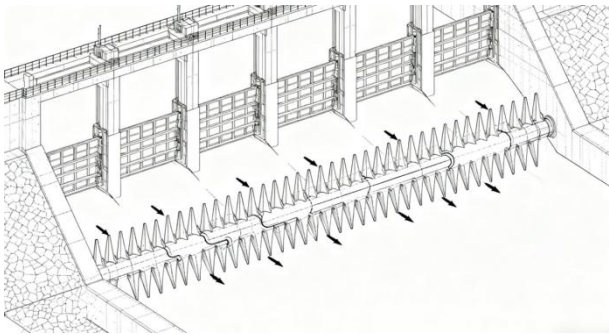


图 1 梳齿导流方式布置示意图

2.3 导流方案优化方法

导流方案的优化应在数值模拟技术的支撑下实现，常用 MIKE、Flow-3D 等软件构建水流数学模型，用来分析不同导流方案下的水位变化、水流大小以及流场分布等信息。基于模拟结果，可确定导流建筑物的布置方案，通过优化导流洞进口高程、明渠断面尺寸等参数，减少水流对施工区域的干扰。方案优化不仅要注重方案的安全性，同时还要考虑到成本的耗费，通过技术比选，确定安全性高、施工成本低的最优方案。同时，还需考虑到施工中可能遇到的风险，通过设置预留应急泄流通道，制定洪水应急预案，强化导流的抗风险能力^[3]。

3 闸坝除险工程围堰施工技术体系

3.1 围堰方案选型与设计

围堰的选择必须严格遵循施工区域的实际情况，通过分析施工条件、地质水文条件，结合工期要求确定最佳方案。就施工条件而言，要考虑到材料设备进场难度及运输成本，偏远地区选择取材便捷、工艺简单的围堰类型。地质水文方面，水位变幅大、地基承载力低的工况适合选择钢板桩围堰。地形平缓、材料供应便捷的工况可优先采用土石围堰。工期长、防洪标准高的工程宜选择混凝土围堰。围堰结构参数设计需保障安全可靠，顶高程需考虑壅水高度与浪高，预留足够安全超高。边坡坡度需结合土体抗剪强度确定，避免边坡滑移。防渗体厚度需基于地基渗透系数计算，确保渗漏量控制在设计限值内。土石围堰需合理布置黏土心墙或土工膜防渗体，边坡采用块石护坡防止水流冲刷。钢板桩围堰需选择合适的拉森钢板桩型号与桩长，做好锁口防渗处理，设计可靠的内支撑结构抵御水压。混凝土围堰可采用现浇分仓施工或预制块拼装，确保结构整体性与防渗性。

3.2 围堰施工关键工艺

基础处理是围堰施工的首要环节，直接影响围堰的稳定性与防渗性。软土地基地质承载力不足，需采用换填级配碎石或

水泥搅拌桩加固处理，提高基底承载能力；岩溶地基存在溶洞与裂隙，需通过注浆封堵形成防渗帷幕，阻断渗水通道。防渗施工工艺需根据围堰类型针对性设计，土工膜铺设需控制搭接宽度与焊接质量，焊接处需进行充气检测确保无渗漏；黏土夯实需达到设计压实度，避免因压实不足导致防渗失效；钢板桩锁口需采用黄油沥青封堵，确保锁口严密性。围堰合拢是施工关键节点，需选择枯水期低水位时段进行，采用“进占法”逐步缩小龙口宽度，控制龙口流速在安全范围^[4]。合拢过程中需及时投放块石、沙袋等材料封堵龙口，确保合拢质量，避免水流冲破合拢段引发安全事故。

3.3 施工质量与安全控制

为确保围堰施工质量达标，需严格把控各项关键参数。具体而言，应控制渗流量在设计范围内，避免渗漏过大导致基坑涌水。同时，边坡稳定系数需不小于 1.3，保障围堰在水流冲刷与自重作用下不发生失稳。此外，控制沉降量为每月 5cm 以内，防止沉降过快引发围堰开裂。

对于施工安全的管控，要从汛期防洪、基坑涌水与边坡滑坡风险等方面入手，制定完善的应急预案，储备沙袋、抢险设备等防汛物资。设置位移监测点与渗压计进行实时监测，定期采集数据分析围堰变形与防渗状态，当监测数据超出预警值时，立即启动应急措施，及时加固处理，确保施工安全^[5]。

4 不同工况下导流及围堰施工技术对比与适配性分析

不同水文地质工况对导流及围堰技术的适配性不同，如表 1 所示，系统梳理了不同工况下推荐的导流方式、适配围堰类型及核心技术要点，通过针对性选择技术方案，可提升施工效率与安全性。

表 1 不同工况导流及围堰施工技术适配表

工况类型	推荐导流方式	适配围堰类型	核心技术要点
低水位小流量（平原河道）	全段围堰导流	土石围堰	简化围堰结构，重点强化黏土心墙与土工膜复合防渗体系，边坡采用块石简易防护
高水位大变幅（峡谷河道）	分段导流+导流洞	钢板桩围堰	优化导流洞断面尺寸与衬砌结构，围堰采用拉森 IV 型钢板桩，设置多道内支撑增强稳定性
汛期施工	梳齿导	混凝土围	合理设计梳齿孔口开启时

(通航河道)	流+临时泄洪通道	堰	序, 围堰采用现浇混凝土分仓施工, 保障高强度与抗冲蚀能力
软土地基(平原河道)	全段围堰导流	土石围堰+水泥搅拌桩加固	先采用水泥搅拌桩加固基底, 围堰增设土工膜防渗体, 优化边坡坡度至 1:3.0
岩质地基(峡谷河道)	导流洞导流	混凝土围堰	利用岩体锚固提升围堰抗滑能力, 导流洞采用锚喷支护, 增强围岩稳定性

(注: 续表 1)

工程实践表明, 根据工况选择适配的导流与围堰技术, 可显著降低施工风险与成本。例如软土地基工况中, 通过水泥搅拌桩加固基底与土工膜防渗结合, 有效解决了围堰沉降与渗漏问题; 高水位大变幅工况中, 钢板桩围堰与分段导流结合, 保障了施工期间的挡水与泄流安全。

5 典型案例分

5.1 工程概况

某平原闸坝为混凝土重力坝结构, 主要承担流域防洪与农田灌溉任务, 该坝建于 1980 年, 坝长 80m, 坝高 12m。经检测, 闸坝存在坝体渗漏、闸墩裂缝、溢洪道磨损等安全隐患, 需进行除险加固。工程所在河道多年平均流量 50m³/s, 枯水期(11 月-次年 3 月)流量 10m³/s, 汛期(6 月-9 月)最大流量 300m³/s; 地基为粉质黏土层, 渗透系数 1×10^{-4} cm/s, 承载力 120kPa, 地形平缓, 河道宽度约 50m。工程施工工期 12 个月, 需在一个枯水期完成主体结构加固, 汛期保障河道防洪安全。

5.2 导流方案实施

结合工程水文地质条件与施工要求, 采用“枯水期全段围堰导流+汛期导流洞泄流”的组合方案, 该方案适配平原河道低水位小流量工况特点。导流洞布置在闸坝右侧山体, 为圆形断面, 直径 3m, 进口高程 5.0m, 出口高程 4.5m, 衬砌采用 C30

钢筋混凝土, 厚度 30cm, 经水力计算, 泄流能力达 80m³/s, 满足汛期防洪要求。施工流程严格遵循“导流洞先行”原则, 先进行导流洞开挖与衬砌施工, 完成后进行洞口临时封堵, 待枯水期来临后, 修建上下游横向围堰拦截河道水流, 将水流导入导流洞宣泄, 施工区域形成干燥作业环境。实施效果表明, 导流期间河道水位稳定控制在 6.0m 以下, 未影响周边农田灌溉与居民用水, 为闸坝除险加固创造了良好条件。

5.3 围堰施工技术应用

根据工程情况, 根据工程工况, 围堰用到的是土石围堰结合土工膜的防渗方案, 上下游围堰均为横向布置, 顶高程 7.5m, 顶宽 4m, 上下游边坡坡度 1:2.5。围堰基底采用换填 30cm 厚级配碎石处理, 提高基底承载力与抗渗性; 防渗体采用 2mm 厚 HDPE 土工膜, 膜下铺设 5cm 厚无纺布作为保护层, 土工膜搭接宽度 10cm, 采用热熔焊接工艺, 焊接后进行充气检测, 确保焊接质量; 膜上覆盖 30cm 厚黏土并压实, 形成复合防渗体系; 上下游边坡采用块石护坡, 防止水流冲刷。围堰合拢选择 12 月中旬低水位时段进行, 龙口宽度控制在 5m, 采用进占法逐步推进, 投放块石与沙袋封堵龙口, 顺利完成合拢。施工期间通过监测发现, 围堰渗流量稳定在 0.5m³/d 以内, 沉降量累计 3cm, 边坡无明显变形, 满足施工安全要求。

6 结语

综上, 为确保闸坝除险工程施工效果, 需结合施工情况, 科学合理选用导流与围堰施工技术, 并从技术原理、方案设计、工艺优化等维度严格控制各个环节的施工质量。本文研究表明, 导流方案需通过基础资料分析与数值模拟优化, 选择适配的导流方式与建筑物类型; 围堰施工需严格遵循选型设计、关键工艺与质量安全控制的全流程管控, 结合工况特点选择土石、钢板桩或混凝土围堰类型。不同工况技术适配表为同类工程提供了直观参考, 平原闸坝除险工程案例进一步验证了“枯水期全段围堰导流+汛期导流洞泄流”方案与土石围堰技术的有效性。在未来的探究中, 随着技术发展进程的逐步推进, 应致力于导流与围堰方案可视化设计与智能化监测的探究, 为水利工程安全高效运转提供可靠的技术保障。

参考文献:

- [1] 易希利.红旗闸坝除险工程导流及围堰施工技术研究[J].水利科学与寒区工程,2024,7(04):133-136.
- [2] 李元龙.浅析水闸工程的施工导流及围堰施工要点[J].黑龙江水利科技,2023,51(06):74-76.
- [3] 范煌.某城区河道拦河闸坝工程施工导流设计要点分析[J].水电与新能源,2021,35(07):56-60.
- [4] 王宗力.导流施工在湖北某水利工程中的应用研究[J].科技资讯,2021,19(15):63-65.
- [5] 龚永林.导流施工技术在水利工程施工中的应用浅析[J].居舍,2020,(12):34.