

水利导流工程的临时围堰结构优化设计

宫庆丰 刘 旋

南水北调中线实业发展有限公司 北京 100071

摘 要：本文聚焦水利导流工程临时围堰结构优化设计。阐述了临时围堰分类、设计要求及荷载工况，从断面形式、填筑材料、防渗体系、护坡结构等方面提出优化方向，再对围堰结构稳定性进行分析与优化，最后对施工与拆除环节提出优化策略。旨在通过多方面优化，提升围堰结构安全性、经济性与施工便捷性，为水利导流工程提供参考。

关键词：水利导流；临时围堰；结构优化；防渗设计；稳定性分析

引言：在水利导流工程中，临时围堰作为关键临时挡水建筑物，其设计与施工质量关乎整个工程安全与进度。合理设计临时围堰，不仅能有效阻挡水流，保障堰内施工区域干燥安全，还能控制工程成本与工期。随着水利工程建设规模扩大和技术发展，对临时围堰结构进行优化设计成为必然趋势。本文将深入探讨临时围堰结构优化设计相关内容。

1 临时围堰结构设计的基本理论与要求

1.1 临时围堰的分类与适用条件

临时围堰是水利导流工程中不可或缺的临时挡水建筑物，其分类需结合工程地形、水文条件、施工周期及造价等因素划分，核心分为土石围堰、混凝土围堰、钢板桩围堰及草土围堰四大类。土石围堰因取材便捷、施工简单，适用于水深较浅（通常小于 10m）、地质条件较好的平原或丘陵河段，如汉江雅口航运枢纽一期围堰便采用土石围堰类型，适配当地丰富的土石料资源；混凝土围堰强度高、抗冲刷能力强，适用于水深较大、流速较快且工期较长的大型水利工程；钢板桩围堰施工进度快、拆除便捷，适用于软土地基或城市河道等对施工空间要求较高的场景；草土围堰成本低廉、施工简便，仅适用于水深较浅、流速平缓的小型导流工程或应急挡水场景。

1.2 临时围堰设计的基本要求

临时围堰设计需遵循安全可靠、经济合理、施工便捷、环保可控的核心要求，同时满足导流工程的整体施工部署。安全可靠是首要前提，需确保围堰在设计荷载作用下，具备足够的稳定性、防渗性和抗冲刷能力，能够有效阻挡水流，保障堰内施工区域干燥安全^[1]。经济合理要求在保证安全的前提下，优化结构形式和材料选用，减少工程量和造价，优先选用当地易得材料，降低

运输成本。施工便捷要求设计方案适配现场施工设备和技术水平，便于快速施工和后期拆除，避免复杂工艺导致工期延误。环保可控则要求施工过程中减少对周边水体、植被的破坏，拆除后及时清理建筑垃圾，恢复原有生态环境。

1.3 临时围堰设计的荷载与工况

临时围堰设计需考虑各类荷载作用，确保结构在复杂工况下的稳定性，主要荷载包括水压力、土压力、波浪压力、自重及施工荷载等。水压力是核心荷载，分为静水压和动水压，静水压由围堰两侧水位差产生，动水压则受水流流速影响，流速越大动水压作用越显著；土压力分为主动土压力和被动土压力，与围堰填料性质、边坡坡度及地质条件密切相关；波浪压力主要作用于迎水面，取决于风速、风向、水深及波浪周期，需结合工程所在区域的水文气象资料精准计算。设计工况需涵盖正常施工工况、汛期洪水工况、检修工况及拆除工况，其中汛期洪水工况需按设计洪水标准取值，如汉江雅口航运枢纽一期围堰按 10 年一遇洪水标准设计，确保汛期围堰安全。

2 临时围堰结构优化的主要方向

2.1 断面形式优化

断面形式优化是临时围堰结构优化的核心内容，核心目标是在保证结构稳定性的前提下，减小断面尺寸、减少工程量，同时提升施工便捷性。传统围堰断面多采用对称梯形，优化后可根据水流方向、地质条件采用不对称梯形、折线形或复合断面形式。对于流速较大的河段，可优化迎水面边坡坡度，适当放缓以增强抗冲刷能力，背水面采用较陡坡度以减少占地面积；对于软土地基，可优化断面底部宽度，增设趾板或护脚结构，提升抗滑和抗沉降能力。如汉江雅口航运枢纽一期围堰通过

优化断面形式,减小围堰结构断面,降低对块石及传统堰壳填料的依赖性,减少了整体工程量^[2]。同时,可结合数值模拟技术,对不同断面形式进行受力分析,选择最优方案,实现安全性与经济性的平衡。

2.2 填筑材料优化

填筑材料优化的核心是选用性价比高、环保且适配工程工况的材料,替代传统高成本、高损耗材料,同时提升围堰结构性能。传统土石围堰多采用块石、黏土等材料,优化后可选用当地易得的粉细沙、开挖料等替代,降低材料运输成本,如汉江雅口航运枢纽一期围堰用粉细沙代替土石料进行堰体填筑,取得了良好效果。对于防渗要求较高的围堰,可选用改良土、土工合成材料等,提升防渗性能;对于抗冲刷要求高的部位,可选用高强度、抗磨损的新型材料,替代传统块石护坡。同时,需对填筑材料进行性能检测,优化材料配合比,确保材料强度、渗透性、抗剪强度等指标满足设计要求,在降低造价的同时,提升围堰的稳定性和耐久性,避免因材料性能不足导致结构隐患。

2.3 防渗体系优化

防渗体系优化是防止围堰渗漏、保障堰内施工安全的关键,核心是提升防渗效果、简化施工工艺、降低施工成本。传统防渗体系多采用单一的黏土心墙或高压喷灌浆,优化后可采用组合式防渗结构,实现优势互补,如采用膨润土塑性混凝土墙、压实粘土层和扶壁式钢筋混凝土挡墙组成的防渗体系,下端嵌入不透水基岩,提升防渗可靠性。可结合工程地质条件,选用土工膜、土工布等土工合成材料,替代传统黏土防渗层,减少工程量,加快施工进度;对于软土地基,可优化防渗墙施工工艺,采用三轴搅拌桩、拔管成孔等新技术,提升防渗墙施工质量和效率。

2.4 护坡结构优化

护坡结构优化的主要目的是增强围堰边坡的抗冲刷能力,防止边坡坍塌,延长围堰使用寿命,同时优化施工工艺、降低维护成本。传统护坡结构多采用抛石、钢筋石笼护坡,优化后可选用模袋混凝土、雷诺护垫等新型材料,替代传统材料,提升护坡效果和施工便捷性,如汉江雅口航运枢纽一期围堰用模袋混凝土代替钢筋石笼护坡、雷诺护垫,提升了护坡稳定性。对于迎水面护坡,可根据水流流速和波浪强度,优化护坡材料的粒径和铺设厚度,增设护底结构,防止底部冲刷;对于背水面护坡,可选用植被护坡或沙袋护坡,兼顾环保和经济性。同时,可优化护坡施工工艺,采用预制构件拼装,

加快施工进度,减少现场作业量,确保护坡结构与堰体协同工作,提升整体稳定性。

3 围堰结构稳定性分析与优化

3.1 渗流稳定性分析

渗流稳定性是围堰结构安全的重要保障,渗流稳定性分析主要针对围堰及地基的渗透特性,判断是否存在管涌、流土、渗透破坏等隐患,进而提出优化措施。分析过程中需结合工程地质资料,通过现场试验和数值模拟,计算渗透系数、渗透坡降等参数,对比规范限值,判断渗流稳定性^[3]。针对渗流隐患,优化措施主要包括完善防渗体系,增设防渗墙、防渗帷幕或排水结构,降低渗透坡降;优化堰体填料,选用渗透性小的材料,减少渗漏量;在地基中设置排水垫层,加速渗透水流排出,降低孔隙水压力。

3.2 边坡稳定性分析

边坡稳定性分析主要针对围堰迎水面、背水面边坡,判断在水压力、土压力、波浪压力等荷载作用下,是否存在滑坡、坍塌风险,核心是计算边坡稳定安全系数,确保其满足设计要求。分析方法主要包括极限平衡法、数值模拟法等,结合围堰填料的抗剪强度、边坡坡度、荷载分布等参数,精准计算稳定安全系数,如当填土内摩擦角 $\varphi = 20^\circ$ 、粘聚力 $c = 23\text{kPa}$ 时,计算得安全系数 $K = 4.85 > 1.25$,可判定边坡安全。针对边坡稳定性不足的问题,优化措施包括放缓边坡坡度、增设护坡结构、加固边坡底部,如增设护脚、抗滑桩等;优化堰体填料,提升填料抗剪强度;在边坡内部设置排水结构,降低孔隙水压力,减少滑坡风险,确保边坡在各类工况下均能保持稳定。

3.3 抗滑稳定性分析

抗滑稳定性分析主要针对围堰整体及堰体与地基接触面,判断在水平荷载(如水压力、波浪压力)作用下,是否存在滑动隐患,核心是保证围堰的抗滑力大于滑动力,确保抗滑安全系数满足设计要求。分析过程中需计算围堰自重产生的抗滑力、地基与堰体接触面的摩擦力,以及水平荷载产生的滑动力,通过对比计算抗滑安全系数,判断抗滑稳定性。优化措施主要包括增大围堰底部宽度,提升自重抗滑能力;优化地基处理,采用换填、夯实等方法,提升地基承载力和接触面摩擦力;在围堰底部增设抗滑齿墙或趾板,增加抗滑阻力;优化荷载分布,减少水平荷载对围堰的作用,如优化断面形式,降低迎水面水压力。通过上述优化,可有效提升围堰的抗滑稳定性,避免整体滑动事故发生。

3.4 变形与沉降分析

变形与沉降分析主要针对围堰在施工和运行过程中的竖向沉降和水平位移,判断其变形量是否在允许范围内,避免因变形过大导致围堰开裂、渗漏甚至坍塌。分析过程中需结合地基条件、堰体填料性质、施工工艺等因素,通过现场监测和数值模拟,预测围堰的变形和沉降量,对比规范允许值,判断结构安全性。如三峡二期围堰通过监测发现,防渗墙最大变形为612.32mm,小于设计值674mm,满足变形要求。优化措施包括优化地基处理,采用排水固结、换填等方法,减少地基沉降;优化堰体填筑工艺,分层填筑、分层压实,控制填料压实度,减少堰体自身沉降;优化结构形式,增强围堰的整体刚度,减少水平位移;设置沉降缝和伸缩缝,释放变形应力,避免结构开裂,确保围堰变形和沉降处于可控范围。

4 围堰施工与拆除优化

4.1 施工工艺优化

施工工艺优化的核心是提升施工效率、降低施工成本、保证施工质量,适配工程工期和现场施工条件。针对不同类型的围堰,优化相应的施工工艺,土石围堰可优化填筑工艺,采用分层填筑、机械压实,结合自动化压实监测,确保填料压实度;钢板桩围堰可优化沉桩工艺,采用振动沉桩、液压沉桩等新技术,减少对周边环境的影响,加快沉桩速度。如汉江雅口航运枢纽一期围堰通过优化堰壳填筑及防护结构施工工艺,加快施工进度,缩短工期;临时围堰组合防渗结构施工中,采用行走式模袋加工工艺制作充砂长管袋,提升施工效率。同时优化施工流程,合理安排各工序衔接,减少交叉作业干扰,加强施工过程质量控制,避免返工,确保施工进度和质量满足设计要求。

4.2 施工监测优化

施工监测优化是保障围堰施工安全、及时发现隐患的关键,核心是优化监测方案、完善监测指标、提升监测精度和效率。监测指标需涵盖渗流量、渗透坡降、边坡位移、围堰沉降、孔隙水压力等,针对不同工况调整监测频率,汛期或施工关键阶段加密监测频次。优化监测技术,采用自动化监测设备,替代传统人工监测,提升监测效率和数据准确性,如三峡二期围堰采用液压平衡式应变计,实现了防渗墙应变的精准监测,且首次

应用便取得良好效果。建立监测数据预警机制,设定预警值,当监测数据超出预警范围时,及时发出预警并采取应急措施;优化监测点位布置,结合围堰结构特点和风险点,合理布置监测点位,确保监测数据全面、真实反映围堰工作状态,为施工安全提供保障。

4.3 围堰拆除优化

围堰拆除优化需遵循安全、高效、环保、经济的原则,结合围堰类型、施工环境及主体工程进度,优化拆除方案,避免对主体工程和周边环境造成影响。拆除时机需严格把控,确保主体工程施工完成、导流任务结束后,在枯水期或水位较低时进行拆除,降低拆除难度和安全风险^[4]。拆除工艺需根据围堰材料优化,土石围堰可采用分层拆除、机械开挖,优先利用拆除材料作为主体工程回填料,实现资源回收利用;钢板桩围堰可采用振动拔桩、液压拔桩,减少对地基和周边建筑物的破坏;混凝土围堰可采用静态破碎、机械破碎等工艺,避免爆破产生的振动和噪音污染。如三峡二期围堰拆除时,经检查施工质量良好,采用合理拆除工艺,确保了拆除安全和环保。同时优化拆除流程,合理安排施工机械和人员,加快拆除进度,拆除后及时清理建筑垃圾,恢复周边生态环境,确保拆除工作安全、高效完成。

结束语

水利导流工程临时围堰结构优化设计意义重大,涉及结构、施工、拆除等多方面。通过断面形式、材料、防渗体系及护坡结构优化,可提升围堰性能与经济性;稳定性分析确保其安全可靠;施工与拆除优化保障工程顺利推进与环保要求。未来,应持续探索创新,结合新技术、新材料,推动临时围堰设计水平不断提高,助力水利事业发展。

参考文献

- [1] 刘芳明,张兴旺,张俊.湖区临时导流围堰边坡防护方案比选[J].云南水力发电,2026,42(2):45-48.
- [2] 李晓旭,袁树超.水利水电工程围堰施工技术 with 防渗措施研究[J].中州建设,2026(1):145-146.
- [3] 徐训华,袁玉伟.导流施工法在水利工程施工中的应用分析[J].中州建设,2025(9):121-122.
- [4] 周坤峰,李翔晖.水利工程导流洞封堵施工技术研究[J].中国高新科技,2025(10):136-138.