

水利工程围堰施工关键技术及施工期安全稳定性研究

孟德威 陆永勇

灌南县水利建筑工程有限公司 江苏 连云港 222500

摘要: 水利工程围堰施工需从勘测设计入手,依据水文地质条件优化结构参数,确保基底承载与整体抗滑性能。主体施工中强调工序衔接与压实质量,防渗排水系统协同运作以控制水头差和渗透压力。施工期稳定性受水文波动、地质条件、工艺执行及结构自身特性多重因素共同作用,需通过抗滑抗倾及抗渗验算体系量化安全裕度。综合动态监测、主动加固、渗流调控及极端工况应急技术,形成覆盖施工全过程的稳定性管控机制,保障结构安全。

关键词: 围堰施工; 安全稳定性; 防渗排水; 动态监测; 加固防护

引言: 水利工程围堰作为临时挡水结构,其施工过程中面临水文动态变化、地质条件复杂及施工扰动等多重挑战,安全稳定性控制贯穿建设始终。围堰建设需从前期勘测与结构优化入手,依托水文土体数据确定合理断面与构造型式,确保主体填筑、防渗排水及加固防护各环节工艺可靠。施工期稳定性受水文环境、地质土体、施工工艺及结构自身因素综合影响,须通过抗滑抗倾及抗渗验算体系量化安全裕度。在此基础上,结合动态监测、主动加固、渗流调控及极端工况应急技术,形成全过程管控机制,切实保障施工安全与结构稳定。

1 水利工程围堰核心施工关键技术

1.1 围堰施工前期勘测与结构优化技术

围堰建设前需系统开展基底条件勘测,全面获取水域水文动态特征及土体力学参数,这些基础数据是结构设计的基本依据。依托详实勘测成果,对围堰断面尺寸、平面布局及结构形式进行多方案比选与优化调整,使结构受力特征与现场环境高度契合。勘测数据同时服务于基底处理方式选择,确保围堰底部与地基紧密结合,提升整体抗滑稳定性。结构优化还需兼顾施工可行性与经济性指标,合理确定堰顶高程与边坡坡度,使围堰既满足挡水要求,又适应施工期间水位变化带来的荷载波动,为后续工序推进创造有利条件。

1.2 围堰主体结构施工关键技术

不同类型围堰的主体施工需依据结构型式制定针对性方案,土石围堰侧重分层填筑与碾压密实,混凝土围堰则关注模板安装与浇筑振捣工艺。工序组织遵循先基础后堰身、先下游后上游的作业顺序,严格控制每层填筑厚度、碾压遍数及压实度指标,保证堰体均匀承载。构件拼接施工需精确定位,对接缝隙与高

差需满足设计允许偏差,确保连接部位牢固可靠。质量管控贯穿全过程,重点监控材料级配、含水率及拌合物性能,对已成型部位及时检测强度与密实度,发现偏差立即调整工艺参数,确保主体结构完整性和长期承载能力达到预期标准。

1.3 围堰防渗与排水施工关键技术

围堰防渗体系涵盖墙体自身防渗、接缝止水及基底封闭三个层面,墙体防渗多采用注浆或铺设防渗膜工艺,接缝处设置止水带并确保搭接长度满足要求,基底则通过灌浆帷幕或铺盖形成连续封闭层。排水系统布设需结合基坑形状与汇水面积,合理布置集水坑与排水沟网,选定适宜扬程与流量的排水设备,确保施工期内地下水和地表径流及时抽排^[1]。排水作业需根据水位涨落动态调整开机台数与抽排强度,保持基坑干地作业环境。防渗与排水协同运作,降低堰体内外水头差,有效控制渗透压力,防止管涌和流土现象发生。

1.4 围堰加固与防护施工关键技术

水流冲刷与水位频繁变动对围堰坡面及顶部构成持续作用,加固防护需针对不同部位采取差异化措施。坡面常采用块石干砌或浆砌护面,增加抗冲刷耐磨层厚度,顶部设置压顶结构以抵抗波浪爬高引起的掏刷作用。迎水面受水流直接冲击,需选用大粒径块石或预制混凝土异形块体进行铺放,增强表面糙率以消减水流能量。加固材料需满足抗冻融与抗风化性能要求,防护结构施工时严格把控砌筑砂浆强度等级与块体嵌固深度,确保防护层与堰体紧密结合,从而在长期运营中维持坡面完整,减少维护频次并延长围堰服务年限。

2 水利工程围堰施工期安全稳定性影响因素分析

2.1 水文环境因素影响分析

水位涨落直接改变围堰内外水头差,进而影响渗透压力大小及其分布规律,水头差增大时渗流梯度上升,易引发管涌或流土险情。水流流速与冲击力对围堰迎水面产生持续推顶作用,流速越高动水压力越强,可能造成堰体水平位移或倾斜。波浪反复拍打堰顶及坡面,加剧护面材料松动和细小颗粒流失,长期作用会削弱结构整体刚度。水文要素变化常相互叠加,例如高水位遭遇大流速时,围堰承受的荷载组合趋于不利,需密切关注水文预报,及时调整施工安排,确保结构始终处于可控受力状态。

2.2 地质土体因素影响分析

基底土体承载力不足时,围堰在填筑荷载作用下易发生过量沉降,沉降差异过大还会导致堰身产生附加弯矩,诱发裂缝或局部破损。土体渗透性高低决定围堰底部渗流路径长度及逸出点位置,渗透系数偏大的地基需特别注意渗流出口处的侵蚀风险。土体固结特性影响施工过程中地基强度增长速率,固结缓慢时沉降持续时间延长,给施工进度和结构稳定带来不确定因素。地基不均匀形变会使围堰不同区段产生相对位移,严重时可能造成防渗体系撕裂,必须充分掌握地质分层信息,针对性采取地基处理措施。

2.3 施工工艺因素影响分析

施工工序衔接是否顺畅直接影响围堰成型质量,填筑与防渗工序若间隔过长,已填筑层面可能受降雨或水流浸泡而软化,减弱层间结合强度。技术参数管控主要涉及填筑厚度、碾压速度和含水率调控,这些指标偏离设计区间会降低压实均匀性,形成局部薄弱区域。施工设备选型与作业轨迹需与填筑面积和层厚匹配,设备行进速度不均或激振力不足,容易导致压实度分布离散^[2]。质量检测若不能及时跟进,缺陷位置难以及时发现和补救,将逐步积累并放大对结构整体性的负面影响。

2.4 结构自身因素影响分析

围堰结构形制决定了其承受水压力和土压力的传力路径,不同断面型式对应差异化的应力集中位置,设计不当会显著降低抗滑和抗倾覆安全裕度。尺寸参数包括堰高、顶宽和坡比等,这些指标直接影响结构自重和抗浮能力,尺寸偏小可能导致浮托力超过自重而引发上浮失稳。构件连接性能关系到防渗墙段之间、墙与堰体之间的协同工作能力,连接刚度不足时会形成传力断点,削弱整体性。防渗加固体系的完整性一旦受损,渗流场随即改变,局部渗透坡降增大,最终加速结构安全状态的劣化进程。

3 水利工程围堰施工期安全稳定性验算与评估

3.1 稳定性验算核心指标体系

围堰施工期稳定性验算需建立涵盖抗滑移、抗倾覆、地基承载及防渗稳定四类核心指标。抗滑移验算重点关注围堰沿基底接触面的水平抵抗能力,判定标准为抗滑力与滑移力之比须满足最低安全界限;抗倾覆验算针对围堰绕趾点转动趋势,要求抗倾力矩明显大于倾覆力矩并留有一定裕度;地基承载力验算确保基底最大压应力不超过地基容许承载范围,避免局部压溃或过量塑性变形;防渗稳定性验算则控制渗透坡降不超出土体临界值。各指标判定标准依据围堰等级和运行工况差异化设定,以此形成完整的验算基准框架,为后续详细计算提供明确依据。

3.2 施工期围堰结构力学特性验算

围堰从填筑初期到挡水运行,结构受力状态不断变化,验算需分阶段开展以便把握荷载施加顺序对变形累积的影响。整体验算关注堰体在自重与水压联合作用下是否产生整体滑移或转动趋势,局部验算则侧重坡面、堰顶及转角等应力集中部位的拉压应力水平,确保材料强度满足要求。填筑阶段的应力应变验算要特别考虑分层加载引起地基固结沉降,挡水阶段则重点分析水位骤降时孔隙水压力消散速率对有效应力变化的影响^[3]。通过系统验算可判断结构受力是否均匀分布,发现受力失衡区域后及时调整填筑速率或采取卸荷措施,保证施工全过程结构处于安全受力区间。

3.3 施工期围堰抗渗稳定性验算

抗渗稳定性验算需结合水域实际渗透压力与围堰填筑土体及地基土层的渗透特性,针对基底、墙体和接缝三个关键部位分别进行渗流分析。基底抗渗验算重点是确定渗流出口处的渗透坡降是否控制在临界值以内,同时评估覆盖层与基岩接触面的渗流状态;墙体抗渗验算主要关注防渗体内部的水力梯度分布,查验是否存在集中渗漏通道形成的条件;接缝抗渗验算则围绕止水系统两侧的水头差,判定止水构造能否有效阻断渗径。验算过程中还需分析不同水位组合工况下的渗流场变化规律,将计算结果与土体临界水力坡降对比,从而预判管涌、流土等渗透破坏型式的潜在发生区域与时机,为防渗加固提供定量依据。

3.4 施工期围堰安全稳定性综合评估方法

综合评估需将抗滑、抗倾、承载、抗渗等多类验算结果纳入统一分析框架,构建涵盖结构受力、变形与渗流状况的多维度评估模型。模型采用分级赋分或加权综

合的方式,对不同验算指标依据其安全裕度大小赋予相应稳定贡献值,最终汇总得到围堰整体稳定综合得分。评估过程应动态追踪施工进度,随着堰体增高和水位变化实时更新输入参数,使评估结论与现场实际工况保持同步。依据综合得分划定稳定风险等级,对处于中高风险级别的区段及时发出预警并建议采取针对性加固或调整施工节奏等措施,从而实现施工全过程安全状态的量化掌控。

4 水利工程围堰施工期安全稳定性控制技术措施

4.1 施工全过程动态监测技术管控

围堰施工期的动态监测需围绕沉降、位移、渗流与应力四项核心指标建立完整监测体系。监测布设应兼顾空间代表性,在堰顶纵向及坡面横向合理布点,基底和防渗墙部位增设深层监测装置以捕捉隐蔽变形。监测频次依据施工阶段和水文变化灵活调整,填筑加载期及水位涨落阶段加密观测,相对平稳期可适当放宽,但须保证数据序列的连续性。数据采集宜采用自动化与人工复核相结合的方式,确保原始数据可靠^[4]。分析阶段重点进行测值趋势判断与速率分析,将实测数据与临界阈值对比,及时辨识异常信号,实现对潜在隐患的动态预判,为现场调控提供及时依据。

4.2 结构稳定性主动控制技术

针对施工过程中容易出现的变形、滑移及不均匀沉降问题,主动控制技术强调预防为主,在异常发展之前实施干预。施工工艺优化涵盖填筑分层厚度控制、碾压参数调整以及加载速率管理,防止局部过快加载引起应力集中和变形超限。结构受力体系调整可通过改变施工分区顺序或在关键部位增设临时支撑来平衡荷载分布,降低高应力区域受力水平。主动加固措施包括在预定薄弱区段提前设置抗滑构造或增加压重,荷载调控则依据实时监测反馈,适时调整基坑开挖范围和堰顶临时堆载,保持围堰受力状态始终处于可控区间,显著增强结构整体抗扰动能力。

4.3 渗流破坏防控技术措施

渗流防控须以渗流验算成果为直接依据,精准定位渗透坡降超标及渗流出口集中等薄弱部位,在施工阶段即加强防渗处理。防渗施工工艺优化应从灌浆压力调控、浆液材料选择和墙体连续性保障等方面展开,确保防渗体与基底及岸坡连接严密,杜绝开叉和夹泥缺陷。针对接缝、墙角等易渗区域,采用补充注浆或局部铺设

防渗层的方式强化止水效果。动态排水调控技术根据渗压计和测压管读数实时调整排水强度,使基坑内外水头差平稳可控,避免排水强度过大诱发渗透变形或排水不足导致浸润线抬升,从而全方位封堵渗流通道,确保围堰防渗体系始终发挥有效作用。

4.4 复杂工况下稳定性应急调控技术

水位骤变和强水流冲击等极端工况下,围堰受力环境急剧改变,常规控制手段难以有效应对,必须预先建立系统的应急调控方案。应急加固技术侧重快速实施能力,包括迎水面紧急加抛块石防护、堰顶增设压重平台或局部堆载等措施,在最短时间内增补抗滑和抗浮能力。荷载调整方面可根据水位变化速率迅速调配备用排水设备,加大抽排力度以降低渗透压力,同时调整基坑施工作业面,减少附加荷载对围堰的不利影响^[5]。排水防渗强化则通过快速注浆或铺设应急防渗材料,迅速封堵突发渗漏通道,确保围堰在极端条件下仍具备基本安全保障。

结束语:围堰施工安全稳定管控贯穿建设全过程,从前端勘测设计到主体施工、防渗排水及加固防护,各环节技术措施相辅相成。水文地质条件、施工工艺与结构自身属性共同构成稳定性影响要素,需通过系统验算准确判定安全裕度。动态监测、主动加固、渗流调控及极端工况应急技术协同运作,可有效应对各类荷载变化与环境扰动。唯有将技术措施嵌入施工各阶段,形成闭环管控机制,才能确保围堰结构始终处于安全可控状态,保障工程顺利推进。

参考文献

- [1] 包智超. 水利工程深基坑与高边坡施工安全管控关键技术 [J/OL]. 中国科技期刊数据库工业 B, 2026, (5): 090-093.
- [2] 郑国荣. 水利工程围堰施工技术探讨 [J]. 门窗, 2026, (11): 106-108.
- [3] 王小花. 水利工程围堰施工技术优化及汛期安全保障分析 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2026, (7): 175-178.
- [4] 蔡先勇. 水利工程围堰施工技术与风险控制措施研究 [J]. 中国地名, 2026, (1): 0238-0240.
- [5] 李华. 水利工程围堰施工技术应用与要点解析 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2025, (12): 118-121.