

基于降排水需求的护坡和围堰设计优化策略

金 康

江苏江淮水利集团有限公司 江苏 宿迁 223600

摘 要：护坡与围堰围护结构的稳定性，直接受场地降排水工况管控效果影响，传统设计普遍存在防渗排水体系割裂、工况适配性不足等实际问题。本文以工程降排水实际需求为核心，系统剖析降排水管控目标与关键影响因素，梳理传统护坡、围堰结构在渗流疏导、止水布局中的技术短板。结合现场施工与运维工况，针对性提出护坡选型适配、排水精细化布设、防渗排水协同构造及围堰一体化防渗、动态排水、全域联动等优化策略。研究成果可有效解决基坑积水、土体渗流失稳等病害，为同类围护结构降排水优化设计提供实操参考。

关键词：降排水；护坡；围堰；结构优化；渗流控制

引言：基坑边坡及围堰工程施工中，地下水渗流、降雨汇水、水位波动是引发结构变形、渗漏失稳的主要诱因。现阶段多数护坡与围堰设计优先考虑结构承载力与抗倾覆性能，对动态降排水需求考量不足，排水布局粗放、防渗排水脱节问题突出，难以适配复杂水文地质工况。为解决传统设计与现场排水需求不匹配的问题，本文立足工程实际降排水标准，从需求剖析、短板梳理、结构优化多维度开展研究，探索贴合全施工周期的围护结构设计方案，以此提升护坡与围堰工程的整体安全性与适配性。

1 护坡与围堰工程降排水需求基础剖析

1.1 降排水核心目标界定

护坡与围堰工程施工及运维阶段的降排水工作，是保障围护结构安全稳定的核心工序。结合基坑、边坡工程常见失效机理，降排水工作主要包含三大核心目标。一是保障边坡整体稳定，通过降低土体孔隙水压力，减少土体软化、滑移、坍塌等病害风险。二是防控基坑涌水、管涌、流砂等险情，阻断地下水渗透通道，为主体施工营造干燥、安全的作业环境。三是精准控制施工区域土体含水率，规避水土压力失衡导致的护坡变形、围堰渗漏等问题。各项核心目标相互关联，共同支撑护坡、围堰结构的承载与防渗功能，是围护结构设计与施工的基础前提。

1.2 影响降排水需求的关键因素

工程降排水量、排水速率与施工标准受多重现场因素制约，核心可分为三类。地质条件为基础性因素，土层渗透系数、地下水位埋深、土体密实度直接决定地下水渗流规律，是确定排水方案的核心依据。水文气象因素属于动态变量，区域降雨强度、持续时长、潮汐涨落规律会直接提升地表及地下水补给量，加大排水作业压

力。工程工况为人为可控因素，施工工序进度、基坑开挖深度、周边堆载及施工设备荷载，会改变原有水土应力平衡，间接提升降排水作业需求，对排水系统的稳定性和时效性提出更高要求^[1]。

2 传统护坡与围堰设计模式及降排水短板

传统护坡与围堰多以结构承载、抗倾覆为核心设计依据，未充分匹配现场降排水工况，整体排水防渗体系适配性较差，存在明显技术短板。（1）传统护坡设计形式与局限：工程常用重力式、悬臂式、扶壁式护坡结构，结构设计重点集中在土体侧压力抵抗与整体稳定性控制，普遍存在排水通道布设偏少、孔径不足、排水层堵塞防护措施缺失等问题，坡面防护构造与现场降排水工况衔接性不足。此类护坡未针对地下水渗流路径做专项疏导设计，土体孔隙水压力无法有效消散，长期渗流作用下易出现土体软化、坡面冲刷、基底脱空等病害，是边坡滑移、局部坍塌等工程问题的主要诱因。（2）传统围堰结构类型及排水缺陷：土石围堰、钢板桩围堰、混凝土围堰为施工现场主流围堰形式，土石围堰渗透性偏大，内部无系统化排水构造，地下水易持续渗入基坑；钢板桩围堰桩体接缝止水构造简单，密封性能不足，高频出现接缝渗漏水问题；混凝土围堰整体性强但排水预留孔洞偏少，排水调度能力不足。各类传统围堰普遍存在排水系统布局零散、防渗止水节点薄弱、水土压力疏导不及时等问题，极易引发基坑积水、基底管涌、堰体沉降及失稳等安全隐患，无法适配精细化降排水施工需求^[2]。

3 契合降排水需求的护坡设计优化路径

3.1 护坡结构选型适配性优化

护坡结构选型是适配场地降排水条件、控制边坡渗流变形的基础环节，需结合场地地质参数、地下水位埋

深、日排水量、降雨工况等核心指标,建立适配降排水需求的护坡结构选型决策体系,摒弃单一化选型模式。

(1)构建工况适配选型矩阵。以土层渗透系数、地下水位变幅、边坡开挖坡度、施工排水速率为核心参数,对比重力式护坡、悬臂式护坡、锚杆框架护坡、格宾护坡的结构特性,明确各类结构的适用排水场景。重力式护坡整体刚度大但排水通道匮乏,仅适用于地下水位低、渗流量小的稳定地层;悬臂式护坡适配性较强,但高渗流工况下易出现墙后积水压力过大问题;锚杆框架与格宾护坡具备天然透水优势,可适配高地下水、多雨的复杂工况。(2)量化选型控制指标。根据现场降排水需求,划定结构选型阈值,针对持续渗流场地优先选用透水型护坡结构,针对短时强降雨、地表径流较大的边坡选用框架式护坡,针对软弱土层、水位波动频繁区域采用复合支护结构,从结构根源匹配排水防渗需求,避免结构选型与排水工况错配。(3)兼顾施工与运维适配性。选型过程中结合施工期临时排水与运营期永久排水需求,优先选用可预留排水构造、后期可改造维护的护坡形式,减少后期排水改造对护坡主体结构的破坏。

3.2 坡面排水系统精细化设计

基于降排水核心需求,需构建地表、地下一体化的复合排水网络,对排水构件进行精细化参数优化,实现分区、分层精准排水。(1)地表径流导排系统优化。根据边坡坡率、汇水面积、区域降雨标准,重新核算坡面排水沟断面尺寸、布设间距与纵向坡度,取消传统均匀布设模式,在边坡坡顶、坡肩、坡脚等汇水集中区域加大排水沟断面,增设横向导水沟,快速疏导坡面雨水与地表积水,避免地表水流冲刷坡面、渗入土体内部。同时优化排水沟材质与构造,采用预制混凝土沟槽替代简易沟渠,设置沉砂槽结构,减少泥沙淤积造成的排水堵塞问题。(2)深层土体渗流疏引设计。针对边坡深层地下水滞留问题,优化泄水孔与盲沟布设方案,摒弃传统等距布设形式。在含水层集中层、土层交界面加密泄水孔布设,增大泄水孔孔径并设置向外倾斜坡度,保障深层地下水顺利导出;同步在护坡背部设置纵向、横向复合盲沟,填充级配碎石透水材料,形成立体渗流疏导通道,有效消散土体孔隙水压力。(3)分区差异化排水布局。根据边坡不同区域的渗流特征实行分区设计,边坡上部以地表排水为主、浅层渗水疏导为辅,边坡中下部以深层渗流排水为核心,坡脚位置强化集水排水能力,形成从上至下、由表及里的完整排水体系,彻底解决局部积水、排水不畅的工程问题^[3]。

3.3 护坡防渗与排水协同构造

基于降排水需求优化护坡构造,需构建防渗、排水一体化协同结构,在阻断外部水体渗入的同时,保障内部地下水有序排出,提升边坡整体稳定性。(1)复合防渗排水结构改造。在常规护坡结构基础上增设组合功能层,护坡背部铺设防渗土工膜,阻断外部地表水、地下水持续渗入边坡土体,减少土体含水率提升;同时在防渗层外侧配套铺设排水板与透水垫层,形成独立排水通道,使内部滞留地下水可快速汇入盲沟与泄水孔,规避防渗层积水鼓包、结构变形问题。(2)节点密封与排水优化。重点优化护坡拼接缝、结构交接处等薄弱节点,采用密封止水材料封堵缝隙,杜绝水体沿结构缝隙渗透;同时在节点最低处预留微型排水通道,防止节点位置积水淤积,解决传统结构节点渗漏水、积水难排的通病。(3)工况适配性模拟验证。依托数值模拟软件,还原不同地下水位、降雨工况下护坡的渗流场、应力场分布状态,对比传统结构与优化后协同结构的孔隙水压力、渗流速率、结构变形数据,验证防渗排水协同构造的工程效果。根据模拟结果微调结构层厚度、排水构件参数,确保优化构造可适配极端降水、高水位等复杂工况,兼顾防渗可靠性与排水高效性^[4]。

4 围绕降排水的围堰设计革新策略

4.1 围堰结构防渗排水一体化设计

传统围堰设计普遍存在防渗结构与排水系统相互独立、工况适配性差的问题,防渗帷幕仅被动阻隔水体,排水设施独立布设、不成体系,高渗流工况下易出现堰体背水侧积水积压、基底渗流掏空、接缝渗漏等病害。针对该工程短板,依托围堰渗流控制原理,构建防渗帷幕与排水廊道耦合的一体化结构体系,实现止水、排水协同工作,从结构层面解决围堰渗流失稳问题。(1)防渗帷幕参数精细化优化。结合场地地层渗透特性与最大水头差值,重新核定帷幕入土深度与墙体厚度,摒弃统一标准化设计方式。针对透水砂层、软弱夹层等渗流通道集中区域,适当加深帷幕嵌固深度,切断深部地下水绕渗路径;针对浅层透水地层,优化帷幕厚度与注浆密度,降低墙体渗透系数,从源头控制地下水渗入量。(2)排水廊道配套布设优化。在防渗帷幕内侧合理布设环形排水廊道,根据围堰尺寸、渗流分布调整廊道标高与断面尺寸,沿廊道侧壁及底板预留透水孔与集水沟槽,可将帷幕阻隔后的残余渗水快速归集疏导,消除帷幕后侧静水压力堆积。(3)一体化结构协同适配调整。同步优化帷幕与廊道的相对位置关系,规避防渗结构遮挡排水通道、积水滞留的问题,形成“外侧止水、内侧导排”的闭环结构,有效改善传统围堰只堵不排、水压

累积的缺陷,提升围堰整体抗渗与抗失稳能力。

4.2 围堰内部排水体系动态优化

围堰工程施工期与运行期水文工况差异显著,地下水位、渗流量随开挖深度、降雨季节动态变化。结合工程全周期降排水需求,搭建可动态调节的围堰内部排水体系,实现分阶段、分工况精准排水。(1)分级排水管路系统布设。摒弃传统单一管径、等距布设的管道模式,根据围堰内部渗流规律,布设多级差异化排水管网。在基底渗流集中区采用大口径主排水管,负责集中导排基底渗水;在堰体侧壁、转角等零散渗水区域布设小口径分支管道,形成主次搭配的管道布局,适配不同区域渗水量差异。(2)可调式抽排设备配置。在集水井、排水廊道端口配套可变频智能抽排装置,摒弃固定功率抽水设备。装置可依托实时监测的水位高度、渗流量数据,自动调节抽水速率与启停状态,低渗流时段降低功率减少能耗,汛期、高水位时段满负荷运转,快速消除基坑积水。(3)全周期排水策略分区优化。区分基坑开挖施工期与主体结构施工期的排水需求,施工前期侧重快速降水、降低基底水位,保障开挖作业;施工中后期以稳压排水、维持干场环境为主,控制排水速率,避免快速降水引发的基底土体沉降、围堰偏移问题,实现全周期动态排水管控。

4.3 围堰与周边降排水联动设计

为提升工程整体排水稳定性,需打破局部设计局限,统筹围堰、基坑、边坡整体水文环境,构建全域联动的降排水网络。(1)全域排水系统统筹布局。梳理围堰外侧地下水补给路径、基坑内部渗流分布、护坡排水导排范围,打通各独立排水单元,通过连通沟槽、转接管道将围堰排水廊道、基坑集水井、坡面盲沟相互串联,形成一体化排水网络,实现区域水量统一归集、统一疏导。(2)集水设施集群优化配置。在工程低洼区

域、渗流交汇区域增设集中集水井组,替代零散小型集水设施,承接围堰渗水、基坑积水与坡面汇水,避免单点排水过载、积水淤积。同时统一调配各集水井抽排设备,根据各区域积水情况动态分配排水负荷,平衡全域排水压力。(3)区域渗流平衡控制。通过联动排水体系调节各区域水位差,弱化围堰内外、基坑边坡之间的水力梯度,减少渗流冲刷、管涌等病害发生。规避局部过量排水引发的土体应力失衡、边坡滑移、围堰变形等问题,实现整体工程水土应力稳定,全方位保障施工场地干场作业条件与围护结构安全^[5]。

结束语:本文围绕降排水需求完成护坡与围堰的设计优化研究,针对性解决了传统结构排水低效、防渗薄弱、系统割裂等工程问题,形成一套结构适配、动态可调、全域联动的优化设计体系。通过贴合现场工况的设计改进,可有效控制土体孔隙水压力与区域水力梯度,降低渗流破坏风险。后续可结合极端水文条件、复杂地层环境开展深化研究,进一步完善围护结构降排水设计体系。

参考文献

- [1]莫建文.水利工程施工导流围堰设计优化研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2026,(7):092-095.
- [2]龚定松,王彪.水利水电工程防渗排水结构优化设计与实施技术[J].工程机械与维修,2025,(2):100-102.
- [3]李桐.水利水电工程防渗排水结构优化设计与施工技术应用分析[J].中国科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025,(11):102-105.
- [4]余磊,连云龙.水利水电施工导流围堰设计施工优化研究[J].中国科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026,(7):121-124
- [5]张阳.水利水电施工导流围堰布设优化对策[J].中国科技期刊数据库工业C,2026,(6):029-032.