

超深基坑地下水风险控制

靳伟文 白海洋

华电置业有限公司 北京 100054

摘要：超深基坑施工面临地层水文复杂、地下水作用形式多样的工程难题，地下水引发的土体软化、基底隆起、侧壁渗水等问题持续影响施工稳定性。系统剖析地下水赋存规律与工程作用机理，梳理各类水文及施工因素带来的管控难题，本文结合传统单一控水工艺的固有缺陷，构建止水帷幕、坑外降水与坑内疏干相结合的双系统组合控水体系，阐释多模块协同控水的耦合运行逻辑，并从结构施工、系统运行、动态防控等维度提出精细化管控策略，可有效提升富水地层超深基坑地下水风险防控能力。

关键词：超深基坑；地下水；渗流风险；组合控水

引言：超深基坑工程开挖深度大，穿越多层复杂含水地层，深层承压水与浅层滞水交替作用，使得基坑水文环境极具复杂性与不确定性。地下水引发的各类不稳定隐患，是威胁基坑施工安全的重要诱因。常规单一控水工艺存在管控范围有限、工况适配性不足等问题，难以满足富水地层超深基坑的控水需求。依托多系统组合控水理念构建全方位风险控制体系，能够有效处理地层渗水、水压扰动及土体积水软化等问题，提升基坑施工过程的整体稳定性。

1 超深基坑地下水作用机理与风险特性

1.1 超深基坑地层地下水赋存特征

超深基坑施工涉及土层深度范围更广，地层含水结构分布形式更为复杂，和常规浅基坑水文环境存在明显区别。不同深度土层会形成独立的含水体系，各类水体在地层内部呈现差异化的分布状态。浅层土体多分布潜水与滞留水，水体埋藏深度较浅，受地层孔隙结构影响明显，整体运移状态相对活跃。深层土层普遍赋存承压水，水体稳定性更强，具备稳定的水头压力，受地层压实作用影响呈现封闭储存状态。富水地层内部土体颗粒间隙连通性较强，为地下水渗透、运移、滞留提供基础空间条件。地下水会顺着土层孔隙完成缓慢流动与渗透，在局部低洼区域或致密土层上方形成长期滞留状态。浅层滞水流动性偏弱，容易在施工扰动后出现集聚现象。深层承压水自带稳定水压，渗透性更强^[1]。

1.2 地下水对超深基坑的作用机理

地下水对超深基坑施工稳定性的影响具备多元性，主要通过渗流作用、水压作用与水体滞留三种形式改变基坑土体状态。地层水体持续渗流的过程中，会不断冲

刷土体内部孔隙结构，逐步改变原始土层密实度与结构形态。基坑开挖作业会打破原有地层应力平衡，外侧地下水会形成侧向渗水压力，持续作用于基坑围护结构，改变围护体系的受力状态。坑内土体长期接触滞留水体，会逐步出现吸水软化现象，土体整体硬度与结构强度持续衰减。土层结构稳定性持续下降，会降低基坑整体承载能力。深层水压持续作用于基坑基底位置，会对基底土体形成向上顶推作用，诱发基底土体轻微变形与土层扰动。

1.3 超深基坑地下水衍生风险类型

超深基坑深度大、土层结构复杂，地下水扰动会衍生多种施工风险，各类风险具备独立的形成逻辑与演化特点。基坑开挖破除原有地层封闭条件后，浅层积水长期留存坑内，会造成表层土体持续软化，弱化基坑侧壁与基底土体稳定性。深层承压水的水头作用会持续顶推基底土层，逐步引发基底隆起变形问题。地下水侧向渗流会穿透围护结构缝隙，形成侧壁渗水问题，持续冲刷基坑周边土体。水文环境的动态变化会改变土层受力状态，引发局部土层扰动，破坏基坑整体结构均匀性。不同水文条件会改变各类风险的发展速度与演化程度，复杂富水工况会加速各类隐患的滋生与扩散。

2 超深基坑地下水风险影响因素与管控短板

2.1 地层水文条件影响因素

地层水文条件是决定超深基坑地下水活动状态的核心要素，直接左右现场控水工作的开展质量。地层含水量存在明显空间差异，含水量偏高的富水土层会持续产生渗流活动，加重基坑整体控水压力。不同土层的孔隙结构和密实程度存在区别，渗透性能表现出较大差

异,土质松散、孔隙发育的地层会形成通畅渗流通道,加快地下水在土层内部的运移速度。区域地下水具备稳定补给来源,周边水系和地层水体持续补充基坑周边土层,让渗流问题难以彻底根除。含水层厚度变化会改变渗水影响范围,厚层含水层会扩大水体渗透区域,对基坑围护和基底土层形成持续扰动。土层均质度较差时,渗流路径分布杂乱无章,渗流量和渗透速度处于不稳定状态^[2]。复杂水文环境下的无序水体运动,持续破坏原生土层结构,扰乱基坑施工环境的稳定性,增加地下水风险治理的整体难度。

2.2 围护止水结构影响因素

止水帷幕是超深基坑外侧阻隔地下水侧向渗透的核心刚性屏障,墙体成型质量、结构完整性及土体贴合程度,直接决定整体侧向防渗性能。连续完整、浇筑密实的帷幕墙体能够完全阻断地层侧向渗流通道,有效阻隔外围地下水向基坑内部迁移扩散。墙体浇筑过程中出现的疏松孔洞、局部夹渣、墙体错位及结构破损等施工缺陷,会形成隐蔽性渗流通道,大幅削弱隔水屏障的整体防渗能力。帷幕与原状土层的咬合衔接区域属于施工薄弱部位,封堵压实不足、贴合度较差时会产生细微缝隙,地下水长期渗透冲刷会持续扩缝掏土,逐步发育成稳定渗漏通道,引发持续性侧壁渗水问题。围护结构的成型密实度、墙体连续性及土层衔接质量,是控制基坑侧向地下水渗漏、保障防渗体系稳定的关键条件。

2.3 传统控水工艺管控短板

传统超深基坑地下水管控多采用单一降水或单一疏干治理模式,管控维度单一、功能覆盖有限,存在显著的技术短板与工况适配缺陷。单纯坑外降水技术仅针对外围地层水位与承压水头开展调控,能够有效削弱地层渗透水压,但无法处置基坑内部浅层滞留水与孔隙积水,坑内饱和土体的含水率难以有效降低。单纯坑内疏干作业仅针对坑内可视积水开展抽排处置,无法消减外围地层深层承压水头,外部水体持续向内层地层补给,造成坑内积水问题反复滋生。单一控水模式无法同步实现深层水压消减与浅层土体疏干固结的双重治理目标,对多层含水、富水交错的复杂地层适配性极差,存在大量管控盲区,难以从根源解决超深基坑土体软化、基底扰动、持续渗漏等各类工程隐患。

3 双系统组合控水工艺体系构建与运行原理

3.1 组合控水工艺整体架构设计

超深富水基坑存在多层含水、水压不均、水体类型复杂的水文特征,单一防渗、降水或疏干技术功能单

一,无法同步适配防渗阻水、水压消减、土体疏干的多重施工需求。结合超深基坑地下水管控的核心难点,整合止水帷幕隔水结构、坑外降水降压系统与坑内疏干排水设施,构建内外联动的双系统组合控水架构。整套体系划分为外围阻隔降压与坑内疏干排水两大独立功能模块,各模块分工明确、互补协同。外围模块依托止水帷幕阻隔水体入侵,搭配坑外降水消减地层水头,从源头控制外部水体渗透与水压扰动。坑内模块针对基坑作业区域,抽排浅层滞留积水、疏干饱和土体,优化基底土层含水状态与力学性能。多系统协同配合形成层层递进的控水治理模式,精准适配复杂富水地层超深基坑的施工控水需求^[3]。

3.2 外围止水与坑外降水系统工作机制

止水帷幕依靠连续封闭的钢筋混凝土墙体形成整体刚性隔水屏障,可有效切断地层横向渗流路径,阻挡基坑外侧地下水向坑内迁移扩散,隔绝外围复杂水文环境对基坑内部的水体补给。坑外降水系统通过布设专用降水井,主动抽取外围地层赋存的承压水体,持续降低基坑周边地下水位,实现深层承压水头的精准消减。地层渗透水压的动力源头被弱化后,围护结构墙体承受的侧向水压力显著降低,侧壁渗流、墙体渗水等问题得到有效缓解,同时基底土体受到的向上承压顶推作用大幅减弱,从水力根源优化基坑周边整体水文环境,为基坑开挖施工营造低渗透、低扰动的稳定地层条件。

3.3 坑内疏干井系统控水机制

基坑开挖卸荷、土方扰动会彻底打破地层原始水土平衡状态,浅层滞水、土层裂隙渗水极易在坑内低洼区域、开挖平台位置聚集留存,造成表层土体长期处于饱和和浸泡状态。坑内疏干井系统根据基坑平面尺寸、土体含水分布及积水富集区域,科学布设井位,全面覆盖主要作业区域,对坑内明水、孔隙滞留水及裂隙渗水开展集中持续性抽排。长期稳定的排水作业能够逐步降低坑内土体含水率,改善土体松散、饱和、软化的不良状态,促进土层颗粒重新固结,提升土体密实度与结构强度。通过精准高效的内部水体疏干,彻底解决积水浸泡引发的土体失稳问题,有效提升基底土层整体性与承载稳定性。

3.4 双系统协同控水耦合逻辑

双系统组合控水模式构建出内外联动、分层分区的立体化地下水管控体系,从根本上弥补单一控水工艺的功能缺陷与适配短板。外围止水与坑外降水系统承担源头防控作用,通过刚性帷幕拦截侧向水体入侵,配合降

水作业消减深层承压水头,从根源抑制基坑渗水隐患的滋生。坑内疏干系统承担末端治理作用,针对性清理坑内残留积水、疏干饱和土体,解决浅层水体滞留引发的土体软化问题。两套系统相互耦合,形成源头控渗、降压稳层、末端疏干固结的完整技术链路,可同步处置深层承压水与浅层滞水两类水体隐患,消除单一工艺的管控盲区,实现超深基坑地下水全方位、精细化、分层化治理。

4 超深基坑地下水风险精细化控制策略

4.1 止水帷幕施工质量管控优化

止水帷幕的结构连续性与整体密实度,直接决定超深基坑侧向隔水防渗体系的防控能力,需依托精细化施工管控保障屏障完整性。施工过程中严格管控成槽精度、泥浆护壁、混凝土浇筑及固结成型等关键工序,规避墙体孔洞、疏松夹渣、局部断裂、墙体错位等常见施工缺陷。重点强化帷幕与原状土层接触界面的封堵压实处理,消除施工缝隙、咬合不足等薄弱问题。墙体成型缺陷与界面缝隙是地下水侧向渗透的主要隐蔽通道,会直接破坏隔水体系的封闭性^[4]。通过全工序、全过程精细化质量管控,保障帷幕墙体整体密实稳定,筑牢外围隔水屏障,为后续坑外降水、坑内疏干作业提供稳定的地层基础。

4.2 坑外降水系统运行管控优化

基坑外围地层水压呈现明显的竖向分层、平面分区不均匀特征,固定化的降水井布局与恒定运行模式,无法适配复杂地层的动态控水需求。结合地层勘探数据与水压分布规律,针对性优化降水井空间布局,在承压水富集、水压集中区域加密布设井体,提升水压调控的精准性与针对性。根据基坑开挖进度、土层暴露范围及现场水位动态变化,阶段性调整降水系统运行参数与工作强度,规范设备启停标准,保障外围地下水位平稳、缓慢下降。温和可控的降水过程能够最大限度减小地层扰动,降低水体渗流对围护结构外侧的持续冲刷,有效缓解基底承压水顶推效应,持续优化基坑外围水文环境。

4.3 坑内疏干系统排水效能优化

超深基坑内部土层分布杂乱、土体性质差异较大,积水与滞水富集区域存在明显空间区别,统一固定的疏干模式难以适配全域排水需求。结合坑内不同区域的土体含水状态、土质特性及积水分布规律,差异化调整疏

干井布设密度与平面位置,重点覆盖低洼积水区、土体饱和软化区及裂隙发育透水区域。建立常态化、连续性的坑内疏干作业机制,及时抽排土方开挖、结构施工过程中产生的裂隙渗水、局部积水与残余滞水,持续梯度式降低土体含水率。稳定高效的疏干作业可有效改善土体软化、松散问题,修复并提升基底土层结构强度与整体性,为基坑土方开挖、垫层施工及主体结构施工提供坚实稳定的基底条件。

4.4 地下水风险动态防控管理优化

双系统组合控水体系具备多层级、全覆盖的地下水防控优势,需配套动态化、阶段化的管理模式才能充分发挥系统效能。结合基坑分层开挖、分段施工的推进节奏,匹配现场实时水文变化特征,动态调整止水防护、坑外降水、坑内疏干各系统的运行强度与管控重心。针对开挖前期、中期、后期的差异化风险特征,制定匹配度更高的阶段性控水方案,精准补齐复杂水文工况下的管控短板,规避单一管控模式适配性不足的问题。构建贯穿基坑施工全周期的动态防控机制,让控水作业完全贴合现场工况变化,持续提升超深基坑地下水风险管控的精细化与专业化水平^[5]。

结束语

双系统组合控水模式通过分层分区的协同管控,补齐了传统单一控水工艺的功能短板,实现了浅层滞水与深层承压水的全维度覆盖处置。从止水帷幕成型质量到降水疏干系统的动态适配,全流程精细化管理措施层层递进,有效消解了地下水对超深基坑土体结构的扰动作用,可为同类富水地层深基坑工程的地下水风险防控提供扎实的实操参考。

参考文献

- [1] 陈伟. 深基坑工程施工安全风险预警与防控策略[J]. 砖瓦世界,2026(9):172-174.
- [2] 吴梅. 市域铁路复杂环境车站深基坑施工安全风险管控研究[J]. 路基工程,2025(4):213-219.
- [3] 刘瑞洲. 建筑施工深基坑工程安全风险识别与防控策略研究[J]. 建筑·建材·装饰,2026(6):25-27.
- [4] 徐成鑫. 建筑工程中深基坑地下水控制技术策略探析[J]. 中国住宅设施,2026(2):164-166.
- [5] 李铁兵, 杨林, 王玥, 等. 深基坑高水位工程技术风险识别及综合解决方案[J]. 建筑技术,2025,56(7):812-816.