

# 高承压水环境下地下连续墙接缝渗漏的成因及控制技术

王亚东 陈明生 曹天航 张洁 倪龙裕

中建八局第三建设有限公司, 江苏南京, 210046;

**摘要:** 针对临江漫滩高承压水地层深大基坑工程, 分析地下连续墙接缝渗漏成因。揭示高承压水地质条件、施工缺陷与结构设计因素对接缝渗漏的叠加影响。探究渗漏从微观缺陷向宏观通道演变的动态规律, 剖析多因素耦合作用机制。提出涵盖接缝构造优化、防绕流施工、注浆材料改良、智能检测评估与快速处治的系统控制技术, 构建渗漏风险全过程防控体系。

**关键词:** 高承压水; 地下连续墙; 接缝渗漏; 成因分析; 控制技术

**DOI:** 10.69979/3029-2727.26.05.053

## 引言

临江漫滩高承压水地层广泛分布粉细砂与淤泥质软土, 地下连续墙接缝渗漏成为深基坑工程主要风险源。接缝部位承受高水头渗透压力, 施工过程引入初始缺陷, 基坑开挖诱发缺陷扩展贯通, 形成渗流通道。需深入解析渗漏成因机理与演化特征, 研发针对性控制技术保障施工安全。

## 1 接缝渗漏成因分析

### 1.1 高承压水地质条件影响

临江漫滩区域分布深厚粉细砂层与淤泥质软土, 此类地层构成高承压水赋存与运移的介质基础。承压含水层具有水头高、渗透性强、补给充沛的水文地质特征, 对地下连续墙接缝形成持续渗透压力。粉细砂层在动水条件下易产生流土与管涌破坏, 细小颗粒随渗流介质流失后在接缝后方形成空穴, 加剧渗流通道扩展。淤泥质软土具有高压缩性、低强度的力学属性, 在地下水渗流场与应力场耦合作用下产生固结沉降, 导致接缝两侧墙体产生差异变形与位移<sup>[1]</sup>。高承压水头反复波动引发接缝内外的瞬态压力调整, 冲刷接头部位尚未完全固结的水泥石结构, 破坏接缝的密闭完整性。漫滩地貌毗邻长江水体, 潮汐变化与江水水位涨落直接影响地下水头动态, 形成周期性加卸载作用, 持续劣化接缝的长期服役性能。

### 1.2 施工过程缺陷诱发渗漏

地下连续墙施工包含成槽、清底、钢筋笼吊装、水下混凝土灌注等多个工序环节, 各工序质量控制偏差均可能形成渗漏隐患。成槽施工阶段, 槽壁稳定性控制不足引发局部超挖或坍塌, 导致接头部位附着软弱夹层。液压抓斗或铣槽机垂直度偏差超出容许范围, 致使相邻

槽段衔接部位形成错台与缝隙。清底工序未能彻底清除槽底沉渣, 混凝土灌注过程将沉渣推挤至接头区域, 形成夹泥薄弱带。钢筋笼吊装就位精度不足, 接头管或接头板安装位置偏离设计轴线, 混凝土浇筑后接头部位出现厚度不均的薄弱断面。

### 1.3 结构设计因素关联分析

地下连续墙接缝构造设计直接决定墙体防渗系统的整体效能。圆形锁口管接头与工字形钢板接头在承受高水头压力时, 其绕流路径长度与渗透梯度分布存在显著差异。接头形式选择未充分考虑地层渗透特性与水头条件, 导致渗径长度不足以衰减水头压力<sup>[2]</sup>。接头部位钢筋布置密度与保护层厚度影响混凝土浇筑密实性与抗渗性能, 过密钢筋阻滞混凝土流动形成架空缺陷。刚性接头与柔性接头在适应墙体变形方面具有不同力学响应机制, 刚度突变部位易形成应力集中引发开裂。墙段长度划分未充分考虑地质条件变化与施工设备能力, 接头数量过多增加渗漏概率。

## 2 渗漏风险演化特征研究

### 2.1 渗漏发生发展动态规律

地下连续墙接缝渗漏呈现从微观缺陷向宏观通道演变的动态过程。施工阶段形成的初始缺陷表现为接头部位夹泥层、混凝土疏松区或微细裂隙, 此时渗流介质尚未形成贯通路径。基坑降水开挖扰动地下水平衡状态, 墙体内外侧形成水头梯度, 驱动地下水沿初始缺陷部位渗入。渗流初期呈现点滴状或浸润状出水, 渗流量微小且携出少量细颗粒物。随着水头差增大与渗流持续时间延长, 渗流通道内部细颗粒持续流失, 孔隙结构逐步扩展, 渗流状态由层流转入紊流。渗流携带能力增强进一步冲刷通道壁面, 引发连锁破坏效应。墙后土体在渗

流冲刷作用下形成空洞区,空洞扩展至一定程度引发地面塌陷或墙体突涌。渗漏发展速率受控于地层渗透系数、水头高度、缺陷尺寸形态及地下水补给条件等多重因素。粉细砂地层中渗漏发展速度快于黏性土地层,高承压水头条件下渗漏从发生到突涌时间窗口极为有限。

## 2.2 典型渗漏案例对比剖析

不同工程背景下接缝渗漏案例呈现差异化特征,揭示渗漏成因与地层条件、施工工艺的内在关联。浅部杂填土地层渗漏多发于墙顶接缝区域,杂填土孔隙率大、颗粒级配不良,水下混凝土灌注过程水泥浆液流失严重,接头部位难以形成密实结构。粉细砂层渗漏案例中接头部位可见明显砂粒冲刷痕迹,渗漏通道周围混凝土与接头钢材界面存在剥离现象。淤泥质软土地层渗漏常伴随墙体侧向位移增大,接缝张开度随基坑开挖深度增加而扩展,渗漏量呈现阶梯式增长特征。圆形锁口管接头渗漏多发生在接头管拔出后的预留孔洞区域,混凝土灌注未能完全填充管周空隙。工字形钢板接头渗漏集中于钢板翼缘与混凝土交界部位,泥皮清除不彻底形成弱粘界面。连续墙深度范围内存在多个含水层时,渗漏往往发生在地层交界面附近,该处混凝土灌注易受两种地层不同坍塌度损失影响形成局部缺陷。采用MJS工法桩进行接头加固处理的区段渗漏发生率显著降低,但加固深度不足时渗漏仍可绕过加固区底部发生。

## 2.3 多因素耦合作用机制

接缝渗漏是地质条件、施工质量、结构受力、水力作用等多重因素叠加响应的结果。地质因素提供渗漏发生的介质基础与环境条件,高承压水头构成持续驱动力,软弱地层降低抗渗破坏阈值。施工因素引入初始缺陷类型与分布形态,成槽偏差决定接头几何形态完整性,泥浆性能影响槽壁土体与混凝土界面粘结质量,混凝土灌注控制决定接头材料密实程度。结构受力因素诱发缺陷扩展与新生裂缝,基坑开挖卸载引发墙体向坑内位移,接缝部位产生张拉或剪切应力,应力水平超过混凝土抗拉强度时产生新裂缝贯通已有缺陷。水力因素驱动渗流过程持续发展并反作用于其他因素,渗流冲刷削弱接头部位材料强度,渗透压力加剧墙体变形与接缝张开。各因素之间形成正向反馈机制,初始微小渗流引发土体颗粒流失,颗粒流失扩大渗流通道,通道扩展增大渗流量与流速,流速提高增强冲刷能力,冲刷作用进一步破坏通道周围土体与接头结构。因素叠加效应使渗漏发展呈现非线性加速特征,单一因素控制难以阻断渗漏进程,必须在多维度采取协同措施方可实现有效防控。

# 3 高承压水环境下地下连续墙接缝渗漏的控制技术

## 3.1 接缝构造优化设计技术

优化地下连续墙接缝构造从源头上提升防渗系统可靠性。设计阶段选用抗渗性能优越的接头形式,工字形钢板接头相较于圆形锁口管接头延长渗径长度,钢板翼缘阻止地下水直接绕流。接头钢板厚度与翼缘宽度根据地层压力与水头高度计算确定,确保钢板在混凝土浇筑过程中保持形态稳定。接头部位设置多重止水防线,钢板两侧焊接止水带锚固筋,浇筑混凝土后形成咬合结构<sup>[3]</sup>。接头钢筋配置考虑混凝土流动空间,加密区适当调整钢筋间距与排布方式,保留足够间隙供混凝土填充。墙段划分结合工程地质条件与施工设备能力优化确定,穿越高承压水层区段减少接头数量,采用超长钢筋笼一次浇筑成型。墙底嵌入相对不透水层深度满足抗渗要求,截断承压水绕流墙趾的潜在路径。接缝两侧混凝土强度等级提高一个标号,增强接头部位抗渗透能力与结构整体性。接头部位预埋注浆管系统,管材选用抗腐蚀不锈钢材质,管口引出墙顶部,后期发现渗漏时可实施针对性注浆。墙体内外侧主筋配置考虑接头受力状态,增加抗裂钢筋数量抑制微裂缝发展。接头防水材料选用遇水膨胀橡胶与钢板复合止水带,膨胀橡胶遇水产生体积膨胀挤压接缝空隙,弥补混凝土收缩形成的微小缝隙。止水带安装位置精确固定,采用专用定位卡具防止混凝土浇筑过程移位。接头箱或锁口管设计形式与地层特性匹配,确保提拔过程不扰动周边混凝土。

## 3.2 防绕流精细施工技术

防绕流施工控制覆盖地下连续墙成槽至混凝土终凝全流程。成槽阶段控制槽壁垂直度偏差小于容许范围,采用超声波成槽检测仪实时监测槽壁形态,发现偏差及时纠偏调整。槽段衔接部位预留足够搭接长度,保证相邻槽段咬合密实。刷壁工序使用重型刷壁器配合钢丝刷头,刷壁次数根据泥皮厚度确定,刷壁过程持续冲洗清除刷落泥屑。刷壁完成后采用摄像探头检查接头表面清洁度,确认无泥皮残留方可进入下道工序。钢筋笼吊装前在接头钢板两侧安装防绕流铁皮,铁皮宽度覆盖钢板翼缘外伸部分,阻止混凝土绕过钢板进入相邻槽段。防绕流铁皮与钢板焊接牢固,铁皮外侧涂抹脱模剂便于后期清除。水下混凝土灌注控制导管理深介于三米至六米之间,避免埋深过浅引发混凝土离析或埋深过大阻滞混凝土流动。混凝土配合比设计考虑水下灌注特点,坍塌度控制二百毫米正负二十毫米范围,扩展度五百毫米以

上保证混凝土自流平能力。灌注速度与混凝土供应能力匹配,中断时间不得超过混凝土初凝时间防止形成冷缝。接头箱或锁口管提拔时机根据混凝土初凝时间与现场温度条件确定,提拔过程采用千斤顶同步顶升,提拔速度控制每小时小于两米。

### 3.3 注浆材料改良应用技术

开发适用于高承压水地层的特种注浆材料提升渗漏处治效果。水泥基注浆材料添加硅灰与膨胀剂组分,硅灰填充水泥颗粒间孔隙增强结石体密实度,膨胀剂补偿浆液硬化收缩形成微膨胀应力。水玻璃系双液注浆材料调节凝胶时间适应动水条件,水玻璃模数与浓度根据地层渗透系数调整,实现浆液在预定距离内凝胶固结。化学浆材料选用丙烯酸盐与聚氨酯体系,丙烯酸盐浆液黏度接近水,可渗入微细裂隙形成弹性凝胶体。聚氨酯浆液遇水发泡膨胀,体积膨胀倍数可达二十倍以上,填充大空隙形成高强度固结体。纳米级硅溶胶材料粒径十纳米至二十纳米范围,可注入渗透系数十的负五次方厘米每秒以下的微细裂隙,凝胶后形成永久性二氧化硅骨架。注浆材料复配改性根据临江漫滩地层特性优化,粉细砂地层优先选用渗透性好的化学浆液或超细水泥,淤泥质软土地层选用凝胶时间可控的改性水玻璃浆液。注浆压力控制根据地层条件与注浆深度确定,浅部地层采用低压慢注防止地面隆起,深部高水压地层采用高压渗透注浆突破水压屏障。

### 3.4 智能检测风险评估技术

构建渗漏智能检测与风险评估体系实现渗漏隐患早期识别。分布式光纤感测技术沿地下连续墙纵向布设传感光缆,光缆紧贴接头钢板与墙体内外侧主筋。光纤监测温度场与应变场变化,地下水渗流携带热量改变周边温度分布,布里渊散射频移反映应变异常区域。多偏移距微阵列板波成像技术在地表布设震源与检波器阵列,采集面波信号反演地下连续墙背后土体波速结构。渗漏区土体波速降低,波速剖面图显示低速异常带空间分布。电位映像检测技术利用地下连续墙钢筋作为电极,供电后测量墙体内外电位分布。渗流通道形成低电阻通路,电位等值线畸变区域指示渗漏位置。三项检测技术数据融合处理,建立三维渗漏风险分布模型。检测数据导入渗漏风险评估算法,算法考虑渗漏异常强度、范围、深度与水头条件等指标,计算各接头部位风险等级分值。风险等级划分四级响应机制,低风险级维持常规监测,

中风险级加密检测频次,高风险级启动预注浆加固,极高风险级调整基坑开挖方案。检测评估周期与基坑施工阶段匹配,基坑开挖前完成基线检测建立初始状态,开挖过程中随深度增加同步复测追踪风险演化。检测数据实时上传数字化管理平台,平台集成地质信息、设计参数、施工记录与检测结果,构建临江漫滩地下连续墙渗漏风险决策数据库。

### 3.5 渗漏点快速处治技术

建立渗漏点快速处治技术体系应对突发渗漏事件。处治前采用地质雷达扫描与红外热成像技术精确定位渗漏源点,雷达图像识别墙后空洞与松散区范围,热成像显示渗流水温度异常分布。围堰封堵技术针对墙外临水侧渗漏,采用袋装粘土与速凝混凝土构筑水下围堰,围堰内抽水形成干作业空间实施修补。引流管导排技术控制墙内渗漏点压力,钻孔植入引流管将渗流水有组织导出,释放墙后水压为后续注浆创造条件。双液注浆快速止水技术采用水泥-水玻璃双液注浆,浆液凝胶时间控制三十秒至六十秒范围,注入渗漏通道后快速固结阻断水流。聚氨酯发泡注浆技术适用于动水条件下快速堵漏,浆液遇水发泡膨胀填充空隙,发泡体与混凝土界面粘结强度达零点五兆帕以上。高压旋喷桩加固技术在墙后渗漏区施工旋喷桩,旋喷桩相互咬合形成止水帷幕切断渗流补给路径。冷冻法临时封堵技术采用液氮循环冷冻系统,在渗漏区周围形成冻土帷幕墙,冻土温度负十摄氏度至负二十摄氏度范围,帷幕墙渗透系数接近零值。

## 4 结束语

研究系统分析临江漫滩高承压水地层地下连续墙接缝渗漏成因,揭示渗漏风险动态演化规律。提出涵盖设计优化、精细施工、材料改良、智能检测与快速处治的全过程控制技术体系,为同类地层地下连续墙渗漏防控提供技术支撑与工程依据。

### 参考文献

- [1] 刘明玮,王小龙,朱晶晶,等.超深基坑地下连续墙渗漏缺陷温度示踪测试分析[J].防灾减灾工程学报,2025,45(06):1525-1531.
- [2] 彭守林.某超高层建筑大型地下连续墙抗渗技术分析[J].安徽建筑,2025,32(09):128-130.
- [3] 刘国光.某车站深基坑地下连续墙渗漏原因分析及处理措施[J].工程技术研究,2025,10(04):143-145.