

富水粉砂粉土地层地连墙缺陷梳理及预控对策

宗志恒¹, 郑坚杰²

(1. 上海隧道工程有限公司, 上海 200032; 2. 上海市建设工程安全质量监督总站, 上海 200032)

摘要: 为了控制地铁车站深基坑工程的开挖风险, 对地下连续墙施工质量缺陷的梳理和处置至关重要。文章对南京市中心城区某富水粉砂粉土地层地铁车站地下连续墙施工缺陷梳理过程和深基坑开挖期间风险处置措施进行了阐述, 结果表明: 在基坑开挖之前, 可对地下连续墙成槽时间长、型钢接头失效和混凝土未能连续浇筑等易产生质量问题施工步骤进行梳理和分析, 并采用取芯和声纳渗流检测措施进一步验证存在受力和止水缺陷的地连墙; 基坑开挖期间采用随封钢板、对地下连续墙露筋进行修复, 最终顺利完成了该地铁车站深基坑的施工。本文结果可为类似地层深基坑施工缺陷梳理及预控提供借鉴。

关键词: 深基坑; 地连墙; 粉砂粉土; 缺陷梳理; 预控

中图分类号: TU753.3; TU94⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2026)03-0048-08

doi: 10.13402/j.gcjs.2026.03.030

Carding and pre-control countermeasures of ground wall defects in silt rich soil layer

ZONG Zhiheng¹, ZHENG Jianjie²

(1. Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China; 2. Shanghai Municipal Safety and Quality Supervision Administration for Construction Engineering, Shanghai 200032, China)

Abstract: In order to control the excation risks of deep foundation pits in subway stations, it is crucial to identify and address quality defects in the construction of diaphragm walls. This paper takes the deep foundation pit project of a subway station in the central city of Nanjing as the background, aiming at the situation that quality defects are easy to occur in the construction of underground continuous wall, which leads to the risk of deep foundation pit project. Before the excavation of foundation pit, the construction steps that are easy to cause quality problems such as long trouging time of underground diaphragm wall, failure of section steel joint and failure of continuous concrete pouring are sorted out and analyzed, and the core-taking and sona-permeation detection measures are adopted to further verify the ground connecting wall with stress and water sealing defects. Combined with the defects of underground continuous wall sorted out above, pre-control countermeasures such as pile filling, reinforcement reinforcement and joint water sealing are adopted. In addition, in the process of foundation pit excavation, the defective joint is timely closed with steel plate along with excavation, and the leakage reinforcement of underground continuous wall is repaired. Finally, the construction of deep foundation pit of the subway station is successfully completed, which can provide reference for the combing and pre-control of construction defects of similar deep foundation pit.

Key words: deep foundation pit; ground wall; silty sand and silt; defect combing; pre-control

对于地质条件差、环境复杂的深基坑工程, 常采用地下连续墙作为围护结构^[1], 地连墙的施工质

收稿日期: 2024-11-26

作者简介: 宗志恒(1985—), 男, 工程师, 从事地下工程施工技术工作。

通信作者: 郑坚杰(1992—), 男, 工程师, 从事建设工程质量安全监督管理工作。

量直接关系基坑工程及周边环境的安全^[2]。刘俊城^[3]、樊冬冬^[4]、李焕君等^[5]结合工程案例对地连墙缺陷原因进行分析: 认为地连墙渗漏原因包括地质条件、施工质量和人为因素, 地连墙钢筋也会降低其水密性; 并从提前预防、应急堵漏和后续加固 3 个角度提出对策。此外, 李忠诚等^[6]、晁慧等^[7]研究分析了富水砂性土地连墙渗漏导致环境灾害的机理和预防; 孟淑君等^[8]对比传统地连墙缺陷检测优缺点并展望新型地球物理探测技术; 胡书凡等^[9]通过理论分析和试验验证了跨孔电磁波层析成像法的有效和便捷性; 韦相廷^[10]、李连营等^[11]对地连墙接缝采用注浆加固方式预防渗漏; 王升等^[12]对分析了地连墙补强桩加固对基坑稳定性的影响规律。

本文以南京中心城区某富水粉砂粉土地层地铁车站深基坑为例, 梳理排摸地连墙施工质量, 并对可能存在缺陷的地连墙采取针对性措施, 确保其受力和止水的有效性, 顺利完成基坑开挖, 以期可为类似工程提供参考。

1 工程背景

1.1 工程概况

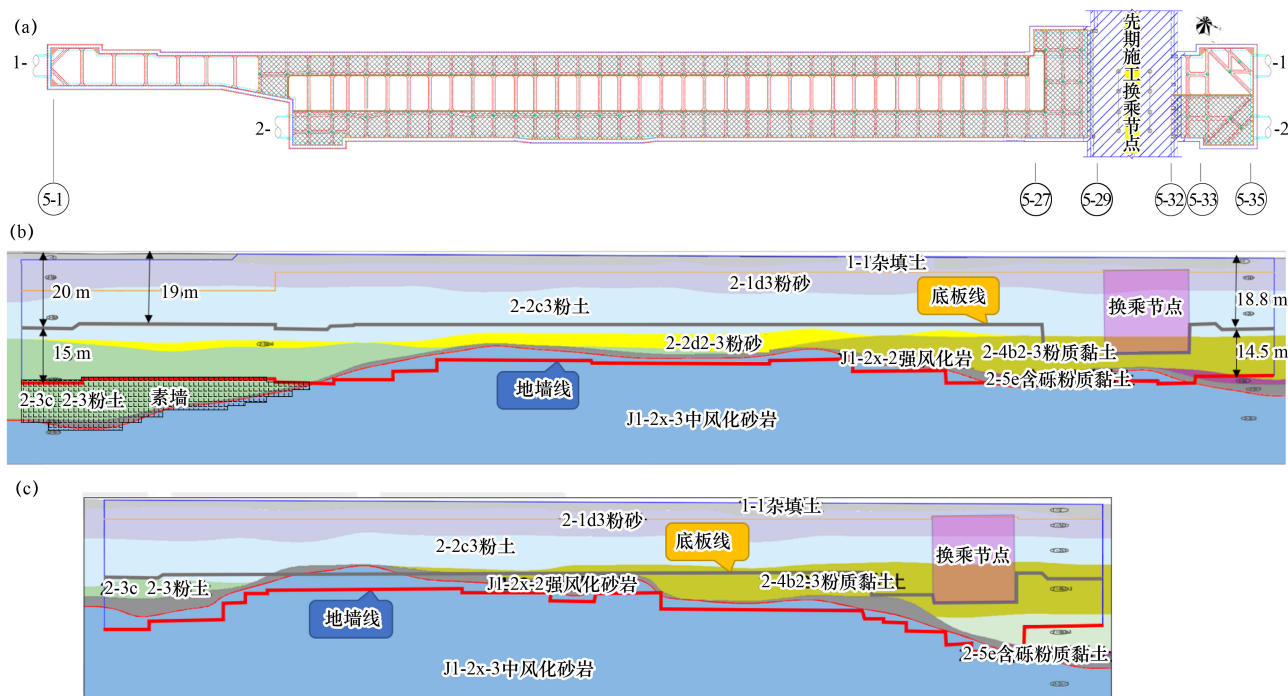
本工程地铁车站位于南京市中心城区主干道

交叉口, 南北向布置, 与先期施工的地铁车站“L”型换乘。车站为地下两层车站(换乘节点为地下三层), 站台宽度为 14 m, 标准段宽度为 23.1 m, 外包总长度为 338 m, 标准段底板埋深为 17.7 m, 换乘节点底板埋深为 23.3 m, 车站基坑平面如图 1 所示, 为满足社会交通及施工便道需求, 首道钢筋混凝土支撑设置盖板。

1.2 工程地质与水文地质

车站基坑地处于秦淮河漫滩区, 砂土、粉土及软土较发育, 地下水位高, 工程地质条件一般。

基坑开挖范围从上往下主要为填土(碎砖、碎石混粉质黏土堆填)、②-1d3 稍密粉砂(夹粉土薄层, 中低压缩性, 低干强度, 低韧性, 透水性中等)、②-2c3 稍密粉土(局部夹粉砂薄层, 中压缩性, 低干强度, 低韧性, 渗透性弱)、②-3c2-3 稍密~中密粉土(局部夹粉砂薄层, 中压缩性, 低干强度, 低韧性, 透水性弱)、②-4b2-3 可塑~软塑粉质黏土(下部夹薄层粉砂、粉土, 中压缩性, 干强度中高等, 韧性中高等, 微透水性)、②-2d2-3 稍密~中密粉砂(局部夹粉土及黏性土薄层, 中低压缩性, 低干强度, 低韧性, 中等透水性)、②-5e 软塑~可塑含砾粉质黏土(底部夹砂岩碎块, 透水性较



(a) 车站平面; (b) 1-1 剖面; (c) 2-2 剖面

图 1 车站平面图及地质纵剖面

强)、J1-2x-2 强风化岩(泥质砂岩和砂质泥岩,裂隙发育,岩芯破碎,遇水较易软化崩解)及 J1-2x-3 中风化岩(泥质砂岩,软岩~较软岩,岩体较为完整)。

场地地下水稳定水位埋深为 1.2~3.1 m,历史最高水位接近地表,基岩裂隙水水头标高与潜水水位一致,无承压水。

1.3 车站基坑支护方案

车站采用地下连续墙+内支撑围护体系,地下连续墙厚度为 800 mm,换乘节点三层基坑范围及北端头井处地连墙厚度采用 1 000 mm,底部进入中分化岩或粉质黏土隔水层,接头为工字钢。基坑标准段(5-1 轴~5-27 轴、5-32 轴~5-33 轴)竖向设置五道支撑加一道换撑,其中第一道支撑采用钢筋混凝土支撑,其余采用钢支撑;车站基坑北端头井(5-33 轴~5-35 轴)竖向设置五道支撑加一道换撑,其中第一、三道支撑采用钢筋混凝土支撑,其余采用钢支撑;换乘节点三层基坑(5-27 轴~5-29 轴)处竖向设置六道撑加一道换撑,其中第一道支撑采用钢筋混凝土支撑(三层基坑处第四道撑为钢筋混凝土支撑),其余采用钢支撑。

2 工况分析与缺陷梳理

地下连续墙施工过程中,影响围护结构受力和止水效果的主要步骤:成槽与清孔、先行幅地连墙接头处理以及地连墙混凝土浇筑,地下连续墙施工完成后可通过取芯、完整性和声纳渗流检测等措施进一步梳理地连墙缺陷。结合地铁车站项目,就各工况分析与缺陷梳理如下。

2.1 成槽时间长沉渣厚

富水粉砂粉土地层地下连续墙成槽后会持续产生沉渣,若槽段停置时间长,沉渣厚度大,将引起地下连续墙墙趾混凝土浇筑不到位,后续需加强墙趾注浆减少地连墙沉降;对于墙趾入岩地连墙,还会因入岩深度(根据南京地铁建设经验,地下连续墙嵌入中风化岩深度一般为 2.5 m)不足导致墙体结构受力无法保障,可能存在地连墙“踢脚”风险,工程中 E35 地连墙因入岩深度不满足要求,开挖前需进一步处理。此外,底部沉渣还会随混凝土浇筑上翻,由于地下连续墙上部混

凝土浇筑高差不足以冲开沉渣,该位置易发生墙体露筋现象。

2.2 型钢接头失效

车站地连墙接头形式采用整体性和止水性能良好的工字形型钢接头,路口处共有 W50、W58、E48 和 E55 这 4 幅地连墙(图 2)与先期施工的换乘节点地连墙连接。

由于先期地连墙混凝土浇筑前,后嵌幅位置沙包填充不到位,导致混凝土绕流严重。W50、E48 和 E55 三幅地连墙,在采用镐头机、TR360 旋挖钻机和 SX40 铣槽机处理后,通过超声波测量仍有 300~600 mm 绕流混凝土,W58 通过钻孔取芯确定混凝土绕流范围为 1 250 mm 后,将地连墙方案由“Z”型幅拉直调整为“一”字幅,与先期施工换乘节点地连墙平接,各幅地连墙处理方式和剩余绕流混凝土统计如表 1 所示。

表 1 换乘节点混凝土绕流处理方式

编号	处理方式	剩余绕流/m
W50	镐头机+TR360 旋挖钻机+ SX40 铣槽机清理	0.3
W58	将“Z”型幅地连墙调整为“一”字幅	—
E48	镐头机+TR360 旋挖钻机+ SX40 铣槽机清理	0.3
E55	镐头机+TR360 旋挖钻机+ SX40 铣槽机清理	0.6

现场通过对绕流混凝土清理和调整地连墙槽段型式,完成车站换乘节点处地连墙的施工,但该些部位地连墙型钢接头完全失效,地连墙止水和整体性得不到保证(图 3)。

2.3 混凝土浇筑缺陷

地连墙混凝土浇筑直接关系围护结构施工质量,由于混凝土供应问题,未能及时与连续浇筑混凝土,导致地连墙产生质量问题时有发生。

工程 E38 地连墙,深度为 26.9 m,厚度为 0.8 m,幅宽为 6.5 m,为后继幅。二次清孔后吊放钢筋笼,并对工字钢接头回填沙袋到位后,由于混凝土供应不及时,槽段上口出现较大塌方,塌方位置见图 4。采用测绳测得槽段深度为 16 m,若将钢筋笼吊出重新成槽,可能会再次发生塌方,为减小对周边建筑及道路造成影响,决定对此槽段进行混凝土浇筑,浇筑曲线如图 5 所示。

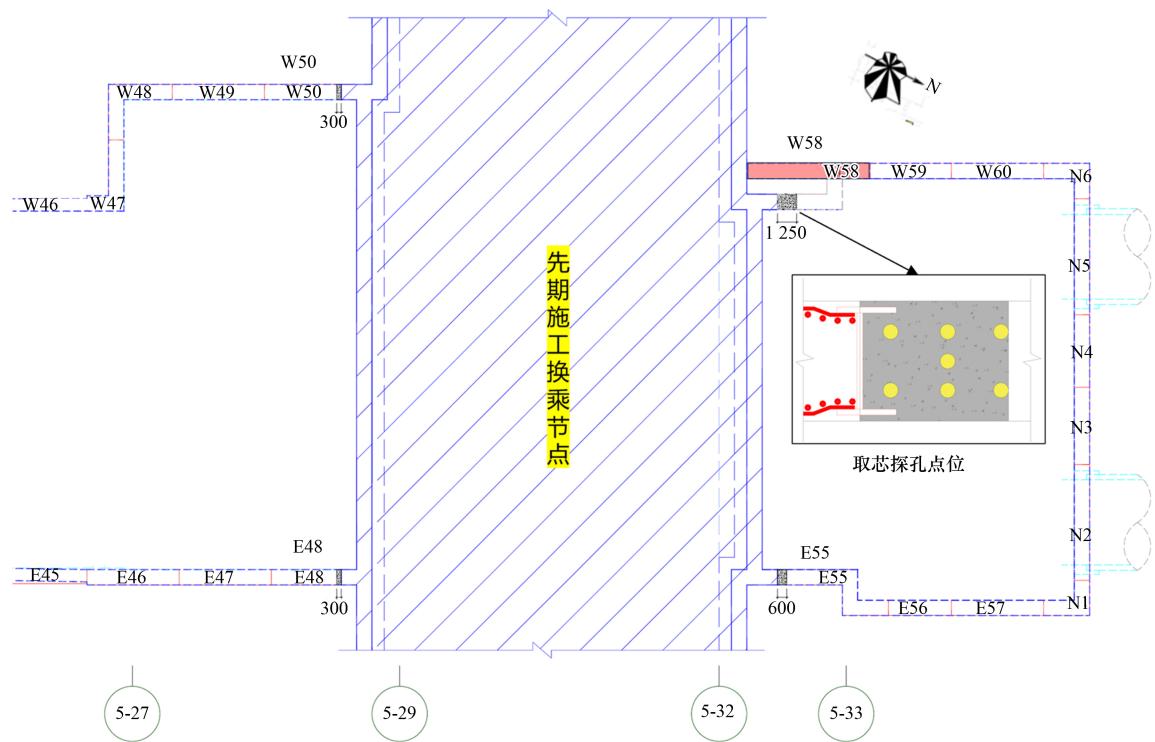


图 2 换乘节点处地连墙连接平面

mm

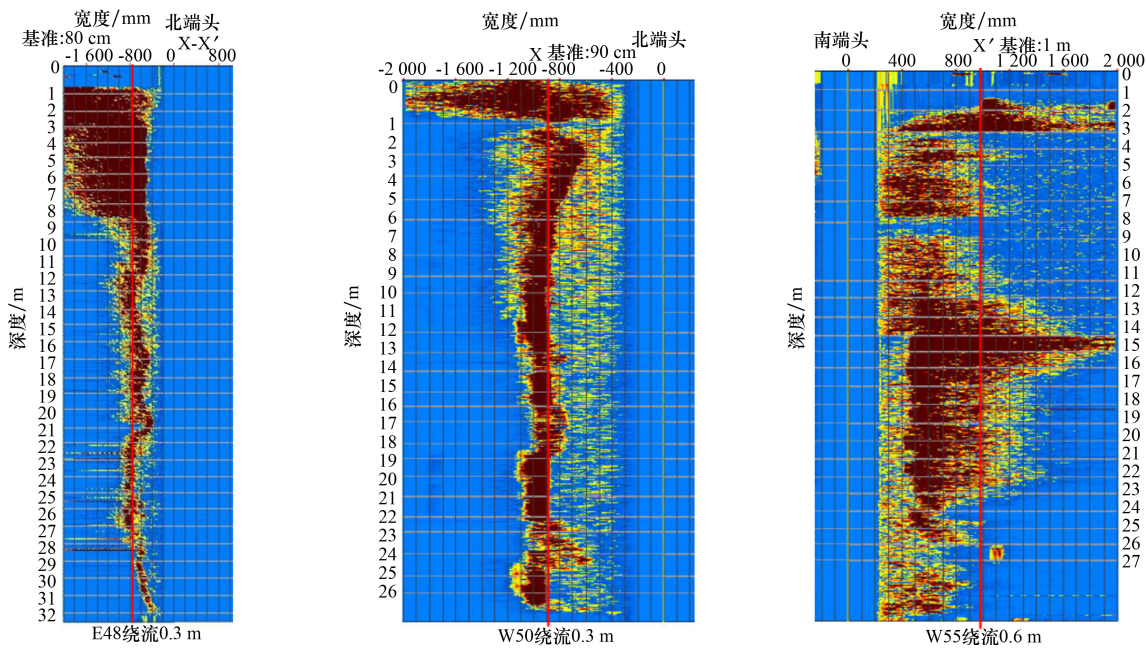


图 3 地连墙接头绕流混凝土超声波测量

另有 W41、E55、N2 这 3 幅地下连续墙，在混凝土浇筑补方阶段，由于外部原因，致使现场浇筑待料时间过长，后续混凝土到场后先浇筑混凝土流动性差，已无法满足无法继续浇筑要求，故将导管拔出已浇筑混凝土后重新下放导管，二次浇筑混凝土，造成地连墙断层夹泥现象。其中 W41 夹泥深度为 3 m；E55 夹泥深度为 2.5 m；N2

夹泥深度为 4 m。

2.4 地连墙接缝声纳渗流检测

车站基坑计划由南往北开挖，在开挖前预降水到位后（图 6），在基坑南侧选取 6 处地连墙接缝（测孔编号 CK01 ~ CK06），采用地下水声纳渗流测量技术，对接缝在 +10.00 ~ -22.00 m 高程范围的渗漏情况进行检测。

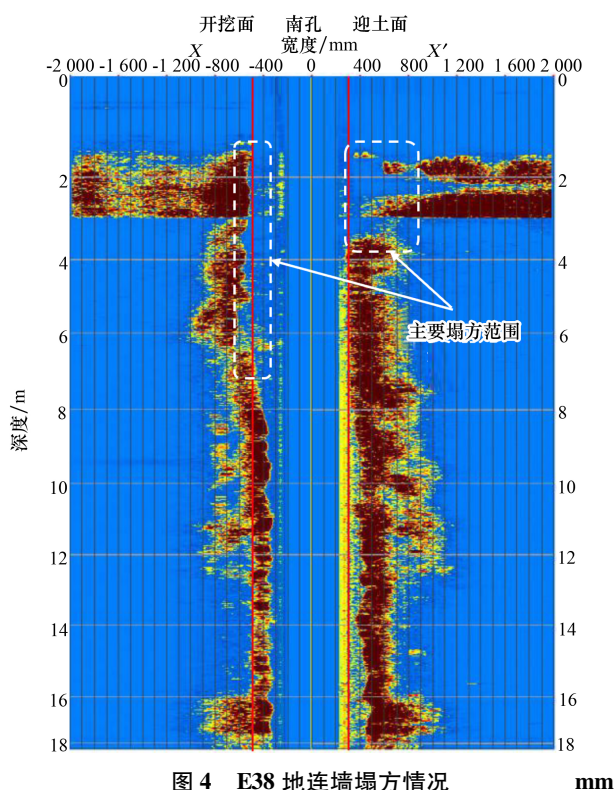
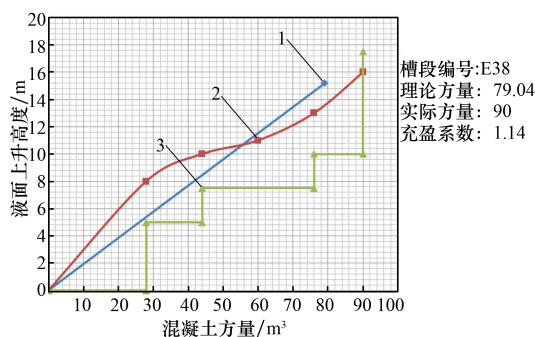


图 4 E38 地连墙塌方情况



1—理论浇筑曲线; 2—实际浇筑曲线; 3—拆管曲线。

图 5 E38 地连墙混凝土浇筑曲线

6 个孔的流量检测(图 7):测孔 CK04 流量最大, 流量值为 $4.21 \times 10 \text{ cm}^3/\text{s}$;测孔 CK03 和 CK05 流量接近,分别为 $2.38 \times 10 \text{ cm}^3/\text{s}$ 和 $2.48 \times 10 \text{ cm}^3/\text{s}$;流

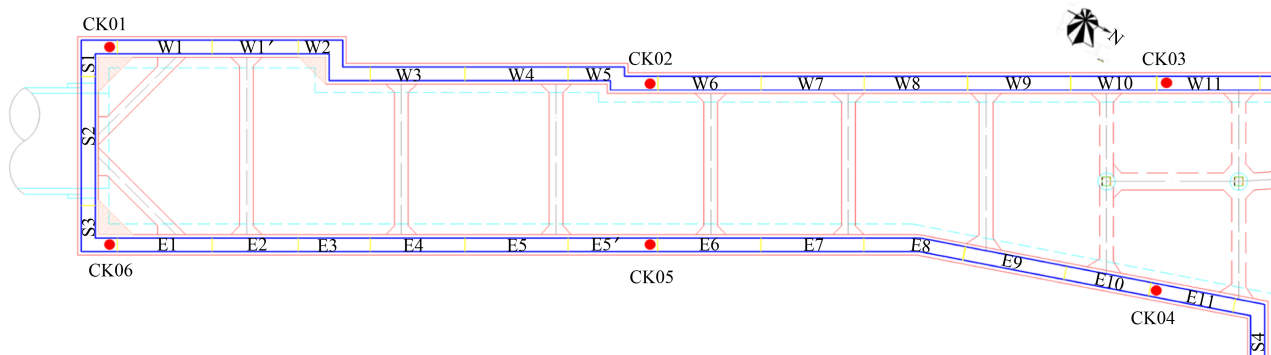


图 6 声纳渗流检测测孔平面位置

量最小的测孔为 CK06,流量值为 $7.90 \text{ cm}^3/\text{s}$ 。6 个检测孔的流量值均较小,未见明显流量异常位置。

6 个检测孔的流速数据显示(图 8),测孔 CK04 平均流速最大,为 $1.43 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$;测孔 CK03、CK05 平均流速次之,分别为 $1.28 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 、 $1.34 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$;测孔 CK06 平均流速最小,为 $4.25 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。6 个测孔中,流速值最大的测点位于测孔 CK04,高程 2 m 处,流速值为 $9.38 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$,各测点位置流速值均小于 $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,均为微小流速。

依据《水下工程声纳渗流检测技术规程》(T/CDSA-305.23-2017)中的参考指标,对于流速大于 $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 小于 $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 的位置,施工单位在土方开挖时结合具体位置高程和实际开挖情况,做好相应土方开挖预案。此次检测未发现有流速大于 $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 的点位。

3 预控及处理对策

地下连续墙施工期间,存在的沉渣厚、接头失效、混凝土浇筑不连续的情况,将引起地下连续墙受力不足和接缝渗漏,导致开挖期间安全风险,此外,地下连续墙露筋会影响后续防水质量。针对以上梳理缺陷,分类别采取预控及处理对策如下。

3.1 地连墙混凝土缺陷补强

3.1.1 墙外补桩(墙)

E38 地连墙混凝土浇筑前槽段塌方,导致地连墙地下 16~27 m 未浇筑混凝土的情况,结合现场场地施工条件,考虑在地连墙外侧采用咬合桩+高压旋喷桩对 E38 地下墙进行处理。咬合桩为 $\varnothing 1200 \text{ mm} @ 800 \text{ mm}$,共 11 根,桩长为 27 m,其

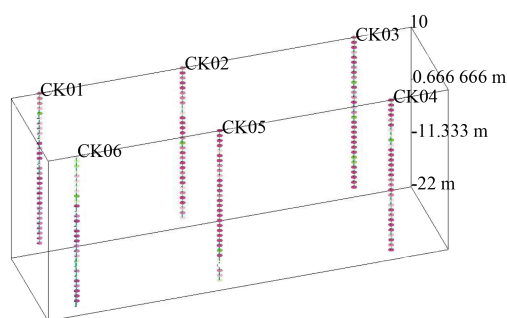


图 7 测孔流量三维对比

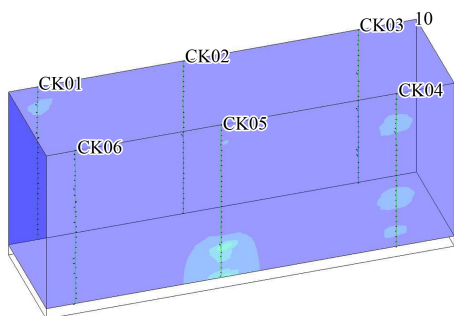


图 8 测孔流速等值线三维

中, A1 ~ A6 为素桩, B1 ~ B5 为钢筋混凝土桩, 施工顺序为 A1 → A2 → B1 → A3 → B2 → A4 → B3 → A5 → B4 → A6 → B5, 用于补强地连墙。

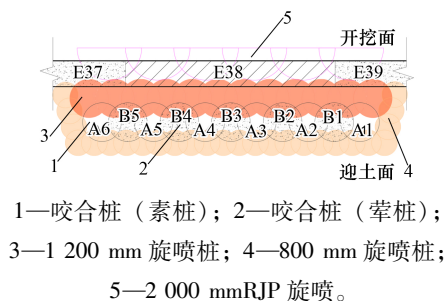


图 9 E38 地连墙缺陷处理措施

咬合桩施工完成后,沿咬合桩外侧施工 $\varnothing 800$ mm @ 500 mm 高压旋喷桩,确保桩缝止水;在咬合桩与地连墙间隙施工 $\varnothing 1200$ mm @ 800 mm 高压旋喷桩,对原状土进行加固处理,旋喷桩深度均为 27 m。并基坑开挖表层土后,在坑内进行 6 根半圆 $\varnothing 2000$ mm @ 1500 mm RJP 旋喷加固,深度为地下 14 m 至岩面,对原槽段中塌方泥土进行加固处理。

3.1.2 墙外加固止水

针对 W41、E55、N2 这 3 幅地下连续墙浅部断层夹泥状况,考虑断层部位浅、夹泥范围较有限,决定沿该三幅地连墙外侧做一排 $\varnothing 800$ mm @ 600 mm 高压旋喷桩。并在车站施工冠梁支撑期间,对 W41、E55、N2 地连墙坑内处放坡开挖至

断层位置,及时清理夹泥后,立模浇筑 C40 混凝土,随后回填土方继续施工冠梁及首道混凝土支撑。

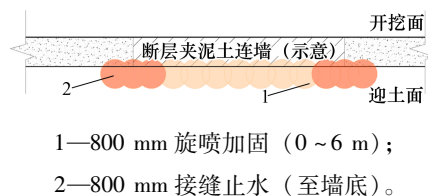


图 10 断层夹泥地连墙加固止水水平面

3.1.3 坑底加固

E35 地下连续墙施工过程中,由于岩面起伏大,且混凝土浇筑前槽段内存在沉渣,导致入岩深度不满足设计要求。考虑在基坑表层土开挖后,采用两排 $\varnothing 2000$ mm @ 1500 mm RJP 旋喷加固,加固深度为基坑底至岩层下 2 m (对应 18 ~ 23 m 深度),RJP 施工参数:水灰比为 1.0、水泥浆压力为 ≥ 40 MPa、水压力为 35 MPa、主空气流量为 5 ~ 10 Nm^3/min 、副空气流量为 3 ~ 7 Nm^3/min 、提升速度为 5 cm/min、水泥浆液流量为 170 ~ 190 L/min。

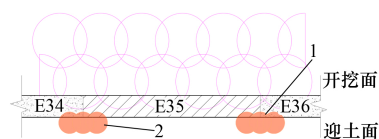


图 11 E35 地连墙 RJP 加固平面

3.2 地连墙接缝旋喷桩止水与深层土体沉降监测

车站东侧盖板在基坑开挖期间作为社会交通道路使用,若地连墙接缝处发生渗漏,堵漏工作将中断城区主干道交通,社会影响极大,故提前对东侧地连墙接缝止水处理尤为必要。

每条接缝设置 3 根高压旋喷止水桩,深度控制在进入强风化岩层或粉质黏土隔水层不少于 2 m,桩径为 800 mm (搭接 300 mm,采用“一字型”布设加大覆盖范围),高压旋喷桩采用三重管施工工艺,水泥采用 42.5 级普通硅酸盐水泥,掺量为 30%。

在高压旋喷止水桩施工完成后,临时社会道路恢复期间,在接缝边预埋 $\varnothing 150$ mm 引孔套管 (图 12),穿透道路结构层,若开挖期间发生接缝渗漏,可第一时间确定引孔注浆位置,并节省道路结构层引孔时间,从而加快堵漏速度降低对社会交通的影响。此外,在地连墙外侧约 3 m 处,

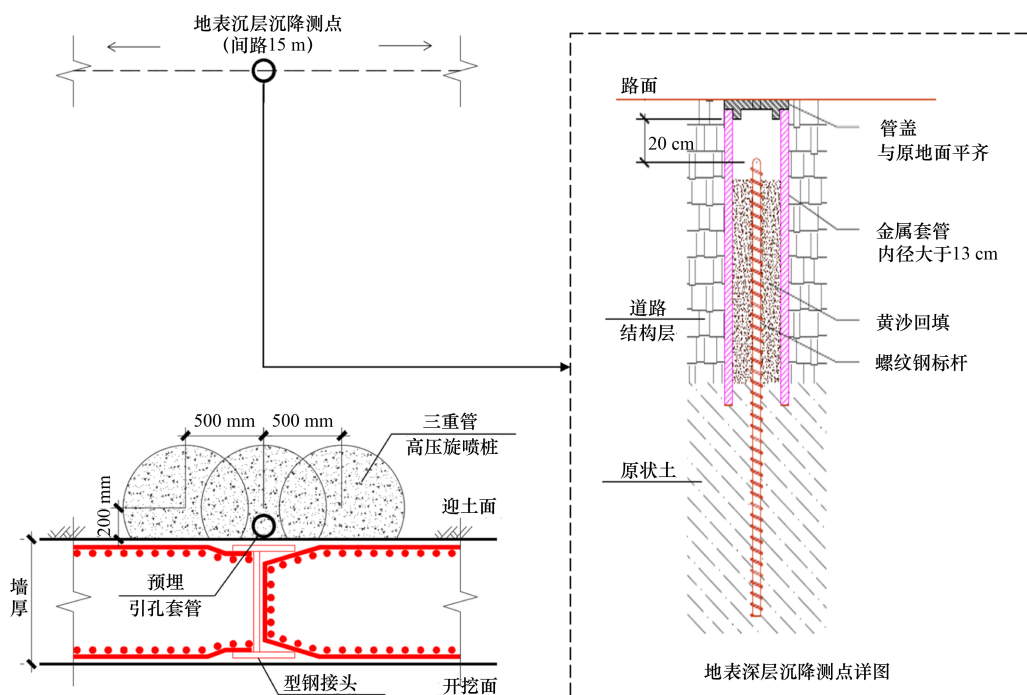


图 12 地连接缝止水与深层土体沉降布置

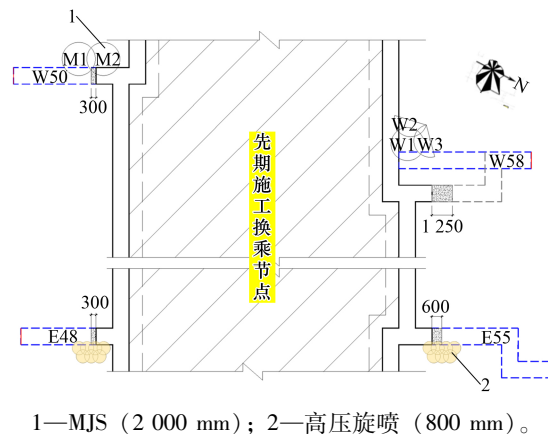
沿地连墙走向每隔 15 m 设置一个地表深层沉降测点,先用水钻钻透路面结构硬壳层,再用锥形钻钻至地面以下 2 m,植入 $\varnothing 18$ mm 螺纹钢沉降标杆,孔内填实黄沙,标杆顶部放置 ABS 保护盖,开挖期间及时反映道路结构层下方土体沉降情况。

3.3 新老地连墙接头止水处理

工程换乘节点处与先期施工地连墙连接处型钢接头失效,在地连墙施工完成后,还需考虑 4 处接头的止水处理。

W58 与先期施工地下连续墙平接,于平接头处迎土侧施工 3 根 $\varnothing 2\,000$ mm@1 500 mm MJS 工法桩,采用“品”字形布桩其进行止水加固,深度至地连墙底,施工期间先施工 W2、W3,48 h 后再施工 W1;W50 地下连续墙于该接缝处迎土侧施工两根全圆 MJS 工法桩进行加固。MJS 施工参数:水灰比为 1.0,水泥浆压力 ≥ 40 MPa,水压力为 10~20 MPa,空气压力为 0.5~0.7 MPa,空气流量为 1.2~2.0 Nm^3/min ,提升速度粉砂,粉土层内 3 cm/min;黏土层和强风化岩内为 2.5 cm/min,水泥浆液流量为 130~140 L/min。

对于 E48 和 E50 两处接头,由于东侧围护结构施工期间未安排 MJS 设备进场,此两处接头采用双排 $\varnothing 800$ mm@500 mm 高压旋喷进行止水加固,深度同地连墙。



1—MJS (2 000 mm); 2—高压旋喷 (800 mm)。

图 13 新老地连墙接头外侧止水加固平面

除以上加固止水处理,在基坑开挖期间,该 4 处接头随开挖随封钢板,钢板焊接在接头型钢与钢筋笼分布筋,空隙处用双快水泥填充,避免地连墙与加固桩变形不同步,导致止水失效。

3.4 露筋修补

对于地下连续墙开挖面主筋未完全暴露的情况,清理干净墙体表面沉渣,挂设钢筋网片后采用细石混凝土抹面或喷射速凝混凝土进行修补;对于主筋完全暴露的情况,在处理沉渣后,通过立模浇筑混凝土进行修补;若地下连续墙露筋的高度位于支撑处,还应增设围檩确保地下连续墙整体受力。

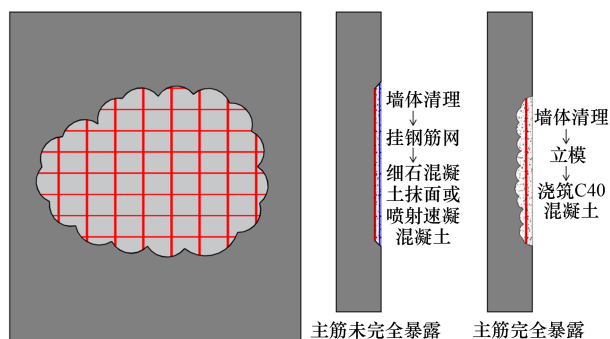


图 14 地连墙露筋处理方案示意

3.5 实施效果

在南京某富水粉砂粉土地层地铁车站深基坑工程施工阶段,通过对现场检测数据、施工记录和工序资料进行分类梳理和定量分析,着重分析地连墙的成槽时间长、型钢接头质量差、混凝土不连续浇筑可能造成的地连墙混凝土受力缺陷、接缝渗漏及露筋等质量问题;按照梳理的缺陷情况采取地连墙补强、接缝止水等预控对策,并在开挖过程中对露筋修复和接缝焊钢板,期间未发生险情,确保了基坑开挖和结构回筑的安全。

4 结 论

(1) 富水粉砂粉土地层深基坑工程,有必要在基坑开挖前,通过对地下连续墙施工过程的成槽时间、超声波和混凝土浇筑记录进行全面梳理分析,着重排查地下连续墙受力缺陷和接缝渗漏。

(2) 对于墙趾入岩的地下连续墙,应提前做好施工准备,确保地下连续墙成槽、钢筋笼吊装和混凝土浇筑的连续性,避免槽段停置时间过长导致沉渣厚度大,进而影响墙趾受力性能可能导致存在“踢脚”风险。

(3) 地下连续墙新老接头位置,先期施工质量不可控,应做好接头质量排查,对绕流混凝土进行清理,并采取可靠止水措施确保接头止水效果。

(4) 混凝土不连续供应和浇筑,可能导致地下连续墙夹砂甚至断桩情况,可通过取芯验证缺陷情况进而采取针对性补强对策。

(5) 基坑开挖暴露周期长,且开挖产生的围

护变形可能导致旋喷止水与地下连续墙间重新出现渗漏通道,为避免旋喷止水在基坑变形后失效,应对存在缺陷的型钢接头随挖随封钢板。

参考文献:

- [1] 景勇,秦莉斐,闪虎,等. 地铁车站深基坑围护结构施工工法比选[J]. 云南水力发电,2021,37(12):188-193.
- [2] 傅蕾. 砂土地层地铁深基坑渗漏水风险分析与控制技术研究[D]. 长沙:中南大学,2022.
- [3] 刘俊城,谭勇. 富水砂层深基坑墙体渗漏灾害与对策分析[J]. 施工技术(中英文),2023,52(21):63-69.
- [4] 樊冬冬,刘祥勇,景旭成,等. 南通富水砂性土层地铁深基坑墙体渗漏原因分析[J]. 隧道建设(中英文),2020,40(增刊1):225-231.
- [5] 李焕君,张寒,李冰. 孟加拉某基坑工程地连墙安全评估及加固处理[J]. 建筑结构,2022,52(12):139-147.
- [6] 李忠诚,王烨晟,韩少泽. 富水砂土地层中基坑围护结构缺陷对周边环境的危害分析及预防应对措施[J]. 中国标准化,2021(22):149-154.
- [7] 晁慧,谭勇,刘天任. 富水砂性土层中地墙渗漏诱发地层塌陷灾害的细观机制探讨[J]. 隧道建设(中英文),2023,43(7):1180-1189.
- [8] 孟淑君,杨俊,李静和,等. 基桩及地连墙质量缺陷地球物理探测现状及展望[J]. 工程地球物理学报,2018,15(3):321-329.
- [9] 胡书凡,赵永辉,葛双成,等. 地下连续墙缺陷的跨孔电磁波层析成像研究[J]. 地下空间与工程学报,2018,14(1):222-228.
- [10] 韦相廷. 复杂地层超深地连墙接缝止水加固技术与控制[J]. 城市道桥与防洪,2023(6):205-208;25.
- [11] 李连营,张学飞,王永强. 基坑地连墙墙缝防渗漏预埋管注浆技术[C]//2014. 全国工程勘察学术大会论文集. 呼和浩特:全国建筑工程勘察科技情报网,2014:580-587.
- [12] 王升,王小丁,周王鹏,等. 地连墙补强桩对填海区深基坑的稳定性影响分析[J]. 工程建设,2022,54(11):42-48;78.