

复杂地层超深地连墙接缝止水加固技术与控制

韦相廷

(上海申铁投资有限公司, 上海市 200433)

摘 要: 针对承压水复杂地层地下连续墙易发生接缝渗漏问题, 采用 RJP、MJS 及 N-Jet 工法桩等方式对地下连续墙接缝进行止水加固以控制基坑渗漏。以上海某轨道交通工程为依托, 通过 75 m 超深 RJP、MJS 及 N-Jet 工法桩试验, 分析超深地下连续墙接缝止水加固技术与成桩效果, 并提出相应控制措施。现场试桩试验结果表明: 引孔质量直接影响成桩效果, 可以通过钢套筒护孔、测斜纠偏等措施提高引孔质量; 成桩深度在 45 m 以内土层以粘性土为主地层, 成桩效果较好, 取芯试件的强度和抗渗能满足要求; 成桩深度大于 45 m、以⑦₂ 密实性粉砂为主地层, RJP、MJS、N-Jet 工法成桩取芯效果不能满足要求; 采用 RJP、MJS 及 N-Jet 工法桩对超深地连墙墙缝位置进行止水效果强化时, 应关注土层性质随深度变化情况, 适时调整施工控制参数。

关键词: 超深地下连续墙; 接缝加固; 承压水; 超高压旋喷桩; 取芯试验

中图分类号: TU94

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0205-04

0 引言

随着城市空间尺度不断扩张, 城市地面资源日益紧张, 城市的规划和发展更加注重地下空间的有序开发利用。目前国内一线城市如上海、北京, 各种大型商业综合体、地铁线路、综合管廊、地下交通干道、市域铁路(地下线)等工程不断推进, 地下空间的开发深度日益增加, 超深地下连续墙^[1]已然成为超深基坑施工过程中有效的支护手段。

超深地下连续墙往往需要隔断多层地下水, 而地下墙工艺存在槽幅先后施工接缝特点, 该接缝位置的止水问题凸显。目前, RJP、MJS 及 N-Jet 工法桩均可于地下连续墙接缝止水处理, 但不同处理深度、不同地层条件成桩效果存在差异。陈标^[2]通过实地铣接头地下连续墙墙缝止水试验, 认为半圆形 RJP 工法桩既能有效提高 33 m 级基坑地连墙接缝止水效果, 又具有一定的经济优势。朱敏峰^[3]以上海轨道交通 14 号线豫园站为例, 通过对现场超深套铣接头地下连续墙接头止水进行研究, 得出 RJP 工法桩能有效提高 65 m 深地下连续墙的接缝止水效果的结论。贾文强^[4]以豫园站西端头井内设超深 RJP 工法止水帷幕为依托, 验证了进入粉砂层的超深 RJP 止水帷幕加固体强度可以满足要求, 且止水效果良好, 与

65 m 深地墙基本等效。

梁宇^[5]基于松花江河漫滩区富水砂层超 20 m 旋喷桩成桩效果不理想、桩体连续性差等特点, 在哈尔滨地铁 3 号线 2 个高风险等级车站引入 MJS 工法桩进行地下连续墙墙缝止水处理, 成桩 37 m、效果好、对周边环境影响小。周贤培等^[6]通过三轴搅拌桩、高压旋喷桩和 MJS 工法桩的比选和试验, 总结了 MJS 工法桩在高富水地层结构接口处加固的适用性。王世君等^[7]通过对宁波地铁南高教园区换乘站的工程实例分析, N-Jet 工法桩可有效隔断 49 ~ 63 m 深度富水砂性土, 预防基坑开挖突涌风险。马仕^[8]以某 52 m 深十字钢板接头地下连续墙基坑工程外设 N-Jet 工法桩隔水帷幕为例, 研究了其加固效果与加固深度、喷射半径的关系, 得出 60 m 加固深度内, 加固强度可以达到 1.2 MPa 以及⑦、⑨层土中加固效果不及黏土土层的结论。

综上, 对 RJP、MJS 及 N-Jet 工法桩用于地下连续墙墙缝止水或地墙体系隔水的研究日益深入, 但随着地下工程建设深度不断增加, 工程建设面临的地质环境区域复杂, 特别是在埋深较大的富水砂层中上述三种工法桩的成桩效果和施工控制研究还较少。本文以上海某轨道交通工程工作井为依托, 通过现场成桩试验, 在预设试桩主控参数的前提下, 对比了 RJP、MJS 及 N-Jet 工法桩在 35 ~ 75 m 深度范围内的成桩效果, 旨在为后续类似工程的设计和实施提供参考。

收稿日期: 2023-02-06

作者简介: 韦相廷(1996—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事轨道交通工程建设管理工作。

1 工程概况

上海某轨道交通工程,基坑开挖深度约 34.5 m,采用 1.2 m 厚地下连续墙和 7 道钢筋混凝土支撑的支护型式,地下连续墙深度为 75 m,接头形式为铰接头。

基坑最大开挖深度位于⑤₃₋₁ 粉质黏土层中。开挖面以下土层为⑤₃₋₁ 粉质黏土、⑤₃₋₃ 粉质黏土夹粉土、⑦₁ 粘质粉土、⑦₂ 粉砂、⑦₂₋₂ 粉质黏土、⑦₂ 粉砂,见图 1。

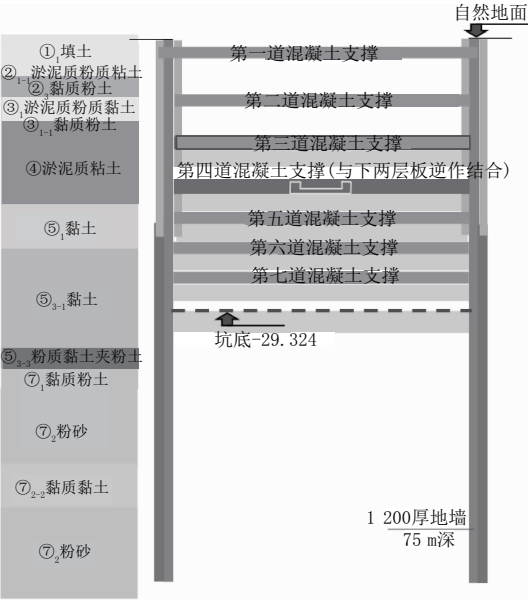


图 1 基坑围护结构地质剖面图

本工程基坑位于古河道沉积区,拟建场地揭露的地下水分为赋存于浅部土层的潜水以及中下部⑦₁、⑦₂、⑨₁、⑨₂层中的承压水,且存在承压水⑦⑨连通。由于传统高压旋喷桩最大加固深度为 55 m^[9],地下连续墙接缝止水设计方案采用超高压旋喷止水桩,止水桩顶设计标高 -32.500 m,桩底设计标高与地墙墙趾平。

2 施工控制参数

2.1 试桩设计

为比较不同施工工艺的超高压旋喷桩成桩止水效果,现场进行了 RJP、MJS 及 N-Jet 工法桩异位试桩,并通过取芯试验验证试桩成效。

根据水文地质情况,本次试验共设 3 根试桩,相邻点间隔距离均超过 10 m,其中:RJP、MJS、N-Jet 试验桩各 1 根,见图 2。桩径均拟定 2 000 mm,成桩深度均为地面以下 35 ~ 75 m。各试桩水泥掺量不小于 40%,水灰比采用 1.0,桩身垂直度按不大于 1/300 控制。

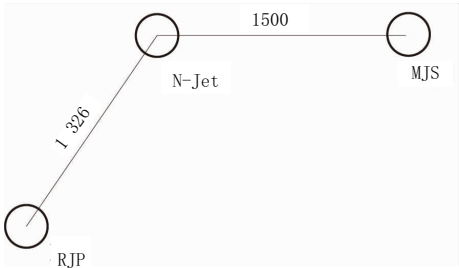


图 2 试桩布置图(单位:mm)

2.2 主控参数

RJP 工法工艺相对简单,成桩直径大,工效高,对周边环境影响小^[10];MJS 工法优化前段多孔管设计,实现孔内强制排浆和地内压力监测^[11];N-Jet 工法采用特殊喷浆钻头^[12],全方位、多角度切削喷浆,成桩快,效果好。针对 RJP、MJS 及 N-Jet 工法桩特点,结合超高压旋喷桩施工经验,施工参数见表 1。

表 1 超高压旋喷桩施工参数

施工参数	RJP 工法桩	MJS 工法桩	N-Jet 工法桩
水泥浆压力 /MPa		40	
水泥浆流量 /(L·min ⁻¹)	160	85 ~ 108	150 ~ 170
主空气压力 /MPa	不小于 1.05	不小于 1.05	1.05 ~ 1.8
主空气流量 /(Nm ³ ·min ⁻¹)	不小于 3	1.0 ~ 2.0	3.0 ~ 10.0
提升速度 /(cm·min ⁻¹)	3.0	3.0	3.3 ~ 4
步距行程 /mm		25	25 ~ 50
步距提升 /s	50	50	60 ~ 90
转速 /rpm	3 ~ 4	3 ~ 4	2 ~ 4
地内压力系数	/	1.3 ~ 1.6	/

3 关键控制措施

为确保试桩成桩效果,提高取芯成功率,施工过程中采取措施加强引孔质量控制,实施全过程喷浆质量控制,制定专项取芯方案落实取芯质量控制。

3.1 引孔质量控制

成孔垂直度及孔壁稳定性直接关系到超高压旋喷桩能否顺利实施及成桩效果。由于本工程试桩最大深度达 75 m,对拟采用引孔钻机扭矩性能提出更高要求,而且随着钻杆长度增加,钻杆柔度增大,成孔垂直度控制难度较大。同时,在⑦₂ 粉砂层中引孔,砂性土自立性差,易孔壁坍塌引起抱钻。本次试验中,RJP 引孔施工采用 MDL-150H 履带式锚杆钻机(见图 3),MJS 和 N-Jet 引孔施工均采用 XY-44A 型岩芯钻机,配防偏钻杆(见图 4)。为控制成孔质量,成孔过程中落实每 10 m 测斜一次,发现垂直度超限立即采取措施纠偏。

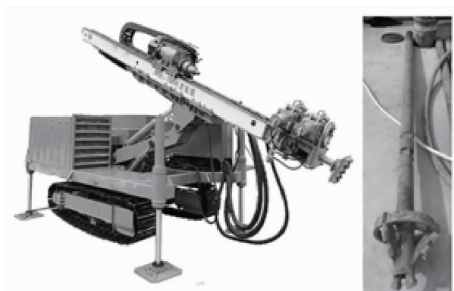


图 3 履带式锚杆钻机及钻杆



图 4 型岩芯钻机及钻杆

MDL-150H 钻机引孔总用时短、速度快,但钻机速率受地层影响大。尤其是在⑦₂粉砂层夹杂⑦₂₋₁、⑦₂₋₂硬层的情况下,钻进速率大幅下降,低于 XY-44A 的钻进速率。由于 XY-44A 钻机配防偏钻杆,引孔垂直度优于 MDL-150H 钻机,但均达到了 1/300 控制要求。

3.2 引孔质量控制

超高压旋喷桩成桩效果与喷浆工艺、喷浆施工参数、浆液性质密切相关。本次试桩过程中,重点控制喷浆施工参数稳定,主控参数随不同地层及深度适时调整,同时保障浆液性质稳定。RJP 工艺以清水和水泥浆液为高压射流切削土体,清水喷射口在水泥浆液喷射口上方,清水射流预切削后,水泥浆液再切削,试桩过程中主要主控参数,如水泥浆液流量、提升速度、切削水压力及流量,随地层、深度调整。MJS 工艺以水泥浆为高压射流切削土体,试桩过程中主控参数固定不变。N-Jet 工艺以膨润土浆液和水泥浆液为高压射流切削土地,全过程主控参数,如水泥浆压力及流量、空气压力及流量、提升速度、转速,随地层、深度调整。

3.3 取芯质量控制

考虑到现场试桩埋深大、桩体长、垂直度控制要求高等特点,为增加取芯数量、提高取芯质量,确保取芯深度及垂直度满足施工控制参数,本次试桩制定专项取芯方案,每个试桩点布取芯孔 2 孔,与试桩中心呈正北方向布置。取芯孔距离试桩中心 0.2D(D 为桩径 2 m),即 400 mm,对称分布,见图 5。

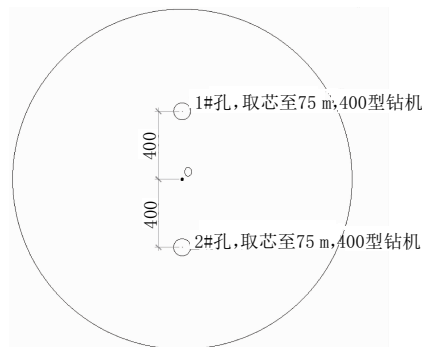


图 5 取芯孔布置图(单位:mm)

在试桩引孔取芯过程中,通过合理的施工设备选型、特种钻杆运用以及成孔过程控制,3 根试桩引孔、成桩垂直度均不大于 1/300。

为进一步提高取芯成功率和芯样的代表性,取芯引孔设备采用搭配防偏钻杆的 XY-44A 型岩芯钻机,同时采用分段引孔措施,即地表面至地表面以下 35 m 原土范围内,增加钢护筒和测斜纠偏手段;35 m 至 75 m 桩体范围内,除增加钢护筒措施外,还加大测斜纠偏频率。

4 取芯试验结果

除 MJS 试桩 1# 孔因套管掉落补孔取芯,其他桩点取芯均按方案进行,垂直度均满足不大于 1/300。各桩点典型芯样外观见图 6~图 8。



图 6 MJS3# 芯样



图 7 RJP1# 芯样



图8 N-Jet1# 芯样

通过室内单轴抗压试验及抗渗试验,在试验工况条件下:

(1)从芯样外观看,RJP试桩所取试样深度小于45 m,芯样连续,完整性较好,呈长柱状,水泥掺量较高;MJS和N-Jet在试样深度小于50 m时,芯样连续,完整性较好,呈长柱状,水泥掺量较高;

(2)从取芯试验结果看,三种超高压旋喷桩芯样28 d抗压强度代表值最大值均在0.8 MPa左右。随着加固深度增加,加固效果降低。加固深度超过50 m,三种超高压旋喷桩加固效果均有所降低,相较而言,N-Jet工法桩加固效果更好;

(3)成桩深度在45 m以内土层以粘性土为主地层,超高压旋喷桩成桩效果较好,取芯试件的强度和抗渗能满足要求;

(4)-45 m ~ -50 m ⑦₁层黏质粉土范围地下连续墙接缝止水加固宜选用N-Jet超高压旋喷桩;

(5)50 ~ 75 m ⑦₁粘质粉土、⑦₂粉砂、⑦₂₋₂粉质黏土地层条件下,RJP、MJS和N-Jet超高压旋喷桩28 d取芯试验结果均不能满足要求,有待更长龄期的取芯情况进一步验证。

5 结 语

通过本次试桩试验,可以得出以下结论:加固深度小于45 m的粘性土地层可选用RJP、MJS及N-Jet工法;加固深度大于45 m的密实性粉砂地层,RJP、MJS、N-Jet工法成桩28 d龄期检测效果均不佳。为提高RJP、MJS及N-Jet工法桩对超深地下连续墙接缝止水加固质量,从原材料准备、引孔、喷浆等工序,提出以下控制要点:

(1)因成桩地层跨越大,相同泥浆配比在不同地层条件下胶结效果不均。为改善加固体形成效果,泥

浆配比应根据地层进行差异性设计,如为避免浆液在富水层或砂层中串跑、流失,应考虑添加剂实现快凝。

(2)引孔过程中曾出现砂层孔壁坍塌,砂土抱钻,施工过程中应注意控制成孔时间,避免孔壁长时间暴露。同时,可采用钢套管护孔或在泥浆中加入膨润土增强泥浆护壁效果。

(3)控制引孔垂直度是提高成桩垂直度的关键,为提高引孔垂直度,施工过程中可选用特种钻杆及有利于垂直度控制的钻机设备,如选用配防偏钻杆的XY-44A钻机。

(4)由于地下空间复杂,不同地层、深度的土体性质、力学特征、地下水分布各不相同,水、气、浆对土体切削效果存在差异。施工过程中应针对砂性土明确土体切削施工控制参数,即确保成桩直径,又限制砂性土扰动范围,避免流沙抱杆或地层损失。

(5)超高压旋喷桩用作地下连续墙接缝止水加固时,需能有效截断渗水通道,必然涉及到承压水中泥浆的有效胶结问题。施工过程中,应注重跨承压水带的喷浆施工质量,重点关注施工参数变化,优选泥浆压力及流量、喷浆提升速度、提升步距等参数,确保浆液在承压水带中的胶结质量。

参考文献:

- [1] 翁其平,王卫东.软土超深基坑工程关键技术问题研究[Z].
- [2] 陈标.超深地下连续墙开挖前接缝预加固 RJP 工法桩应用与建议[J].工程质量,2019,37(8):42-46.
- [3] 朱敏峰.超深套铣接头地下连续墙防渗技术[J].上海建设科技,2020(2):73-75.
- [4] 贾文强.RJP工法在粉砂层超深水帷幕工程中的应用[J].绿色建筑,2020,12(4):106-108.
- [5] 梁宇,吕计瑞.浅谈地铁深基坑工程地连墙接缝止水 MJS 工艺[J].中国新技术新产品,2019(8):105-106.
- [6] 周贤培,周冬辉,李秀奎,等.高富水地层新老混凝土接口处 MJS 工法桩加固应用研究[J].西部探矿工程,2022,34(3):43-46.
- [7] 王世君,姚燕明,汪健.软土地区基坑深层承压水处理方案对比研究[J].地下空间与工程学报,2021,17(2):503-510.
- [8] 马仕.超深大直径 N-Jet 工法桩加固质量研究[J].绿色建筑,2022,14(4):78-80.
- [9] 刘澄赤,卞睿凡,睢博栋.MJS工法超长高压旋喷桩在深基坑止水工程中的应用[J].施工技术,2021,50(3):85-87.
- [10] 张帆.二种先进的高压喷射注浆工艺[J].岩土工程学报,2010,32(S2):406-409.
- [11] 刘伟鹏.超高压喷浆 MJS 和 RJP 工法的质量控制要点[J].建设监理,2021(3):70-72,76.
- [12] 杜云龙,姚燕明,欧祝明,等.N-JET 超级旋喷桩在深基坑承压水控制中的应用[J].施工技术,2020,49(1):11-15.