

粗砂砾石地层中高压旋喷桩隔水帷幕施工技术

张红涛

(北京市市政工程设计研究总院有限公司,北京 100082)

摘要:太原万达广场A2区商住楼基坑工程部分区域为粗砂砾石地层,基坑隔水帷幕中深层搅拌桩无法有效使用。提出了在粗砂砾石地层采用高压旋喷桩隔水帷幕的施工技术方案,采用双套管锚杆钻机引孔、单管高压喷射工艺进行施工,成功实施了这一工程。经检查,喷射注浆体相互咬合良好,有效桩径内水泥含量均匀无夹块现象,隔水帷幕止水效果良好。

关键词:基坑工程;隔水帷幕;高压旋喷桩;粗砂砾石层

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)06-0113-05

Construction of the jet grout water cut-off curtain in coarse gravel formation

ZHANG Hongtao

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: Part of the foundation pit of the Zone A2 commercial and residential buildings of Taiyuan Wanda Plaza is composed of coarse sand and gravel stratum, where the deep mixing piles cannot be used effectively for the water cut-off curtain of the foundation pit; therefor, high pressure jet grouting piles were put forward for the water cut-off curtain in coarse sand and gravel stratum. With the jet grout technology, the double casing anchor drill pre-bored the grout hole with the single pipe high pressure jet grout process for grouting to complete the project successfully. Inspection indicated that the jet grouting elements interlocked well with each other with even cement content across the effective pile diameter and free of blocky inclusions; thus, providing good sealing effect.

Key words: foundation pit engineering; water cut-off curtain; high pressure jet grouting pile; coarse sand and gravel stratum

0 引言

随着城市现代化的进程,推进了城市地下空间的开发,基坑工程需穿越更深、更复杂的地层,这对深基坑工程的隔水帷幕施工技术提出了更高的要求^[1-3]。隔水和降水是深基坑工程的重点和难点问题,隔水帷幕能够最大限度地阻断基坑内外水层的交流,防止地下水渗漏^[4-6],因此建立隔水帷幕是解决基坑降水困难时的重要途径。

目前,常见的隔水帷幕有水泥土深层搅拌桩、高压旋喷桩、咬合桩、钢板桩、地下连续墙等^[7-10]。其中,深层搅拌桩多适用于较浅的软弱地基层,当

隔水帷幕穿越质地坚硬、颗粒粗大的渗透性良好的粗砂砾石地层时,由于地下水径流强烈,成孔后不稳定,极易塌孔,采用水泥土深层搅拌桩隔水帷幕施工技术难以满足设计要求,止水效果得不到保证。高压喷射注浆技术因其在成桩时对周围土体的加固作用,可适用于渗透系数良好、径流补给明显的砂砾石地层。

本文针对太原万达广场A2区商住楼工程项目基坑隔水帷幕工程中深层搅拌桩无法有效使用的技术难题,通过对地层相关资料的分析研究,提出了在粗砂砾石地层采用高压旋喷桩隔水帷幕

收稿日期:2021-01-16; 修回日期:2021-03-20 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.06.018

作者简介:张红涛,男,汉族,1977年生,高级工程师,工程硕士,地质工程专业,长期从事岩土工程施工及项目管理工作,北京市海淀区西直门北大街32号3号楼,13911270327@139.com。

引用格式:张红涛.粗砂砾石地层中高压旋喷桩隔水帷幕施工技术[J].钻探工程,2021,48(6):113-117.

ZHANG Hongtao. Construction of the jet grout water cut-off curtain in coarse gravel formation[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(6): 113-117.

施工技术的方案,并成功实施了这一工程,总结了该技术的施工工艺、技术要求和质量保证措施,证明了其应用价值。

1 工程概况及地质条件

1.1 工程概况

太原万达广场项目位于山西省太原市老城区的核心区域,紧邻内城水系的“龙眼”龙潭公园东侧,雄踞太原古城西北角。该项目北为北大街,西邻新建路,东紧邻解放北路,南至早西门街。规划总用地面积44.22万m²,总建筑面积148.30万m²,其中A2区拟建建筑物为6栋地上32层、地下2层住宅楼群。

太原万达广场A2区A-5、7、8、9号商住楼项目基坑开挖深度为5.90~7.50 m,计划施工内容有降水井施工、土钉墙施工、高压旋喷桩及深层搅拌桩隔水帷幕施工。其中降水设计为开挖344口Φ600 mm、井深12 m的大口井作为降水井;基坑支护分10个剖面进行土钉墙施工,施工面积达6499 m²;3排深层搅拌桩设计桩径500 mm,桩顶埋深-2.50 m,桩孔深12 m,桩中心距350 mm,水泥型号P.S.A 32.5,单排旋喷桩设计桩径600 mm,其余设计参数与深层搅拌桩一致。

1.2 地质条件

1.2.1 工程地质条件

本工程场地范围内地层发育情况自上而下为:①层填土;②层工程地质条件复杂,各区域地层岩性不同,呈粉质粘土、粉细砂、细砂及粗砾砂交互分布,顶界面标高777.17~784.80 m,底界面标高772.13~779.60 m,层厚0.6~10.2 m;③层粉土,该层厚度稳定,可视为地层标志层,隔水帷幕可止于此层。

1.2.2 水文地质条件

本工程所在场地共有3层地下水。场地内首层地下水为孔隙潜水,主要靠大气降水及侧向径流补给;二层以下地下水为承压水,主要靠侧向径流补给。稳定水位在自然地面下2.10~3.70 m。

2 隔水帷幕设计

本工程原设计采用3排水泥土深层搅拌桩隔水帷幕隔水,帷幕内部布设降水疏干井。施工过程中发现在9号楼西北侧、8号楼东南侧及7号楼东南侧部位,深层搅拌桩帷幕施工不能满足设计要求。经过对A2区地勘资料进行归纳、整理和研究后发现,③

层粉土可视为地层标志层(该层厚度稳定,隔水帷幕设计也止于此层),在此层之上(剥去填土①层)地层岩性平面分布具以下明显特征(见图1):在8、9号楼连线方向(北东—南西)发育一条斜穿A2区中间部位、宽100~110 m、一般厚度5~7 m最大厚度10 m的②层粗砾砂古河道沉积带。由该地区水文地质条件可知,地下水流向粗砾砂层古河道沉积带处(流动方向如图中箭头所示),地层渗透系数为6×10⁻³ cm/s,地下水有较大的流速和流量,造成地下水径流强烈;同时该地层主要为粗砂砾层,由于深层搅拌法适用于土层,对于密实度稍高的砂砾层不适用,导致深层搅拌桩无法施工。基于此情况,在该部位改用高压旋喷桩隔水帷幕施工方案。

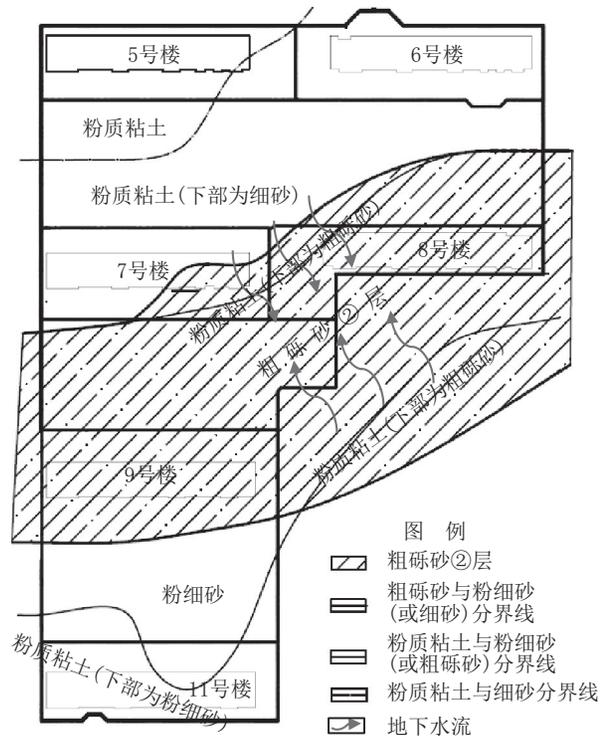


图1 填土①层与粉土③层之间地层岩性分布
Fig.1 Lithologic distribution between backfill ① layer and silt ③ layer

高压旋喷桩总体设计桩数为2055根,总工程量为26493 m,桩位布置如图2所示(虚线框为旋喷桩部位),各部位具体设计工程量如表1所示。本工程施工采用双套管锚杆钻机引孔,单管高压喷射工艺。特点是:钻机引孔与高压旋喷分2步进行,能确保满足设计要求。

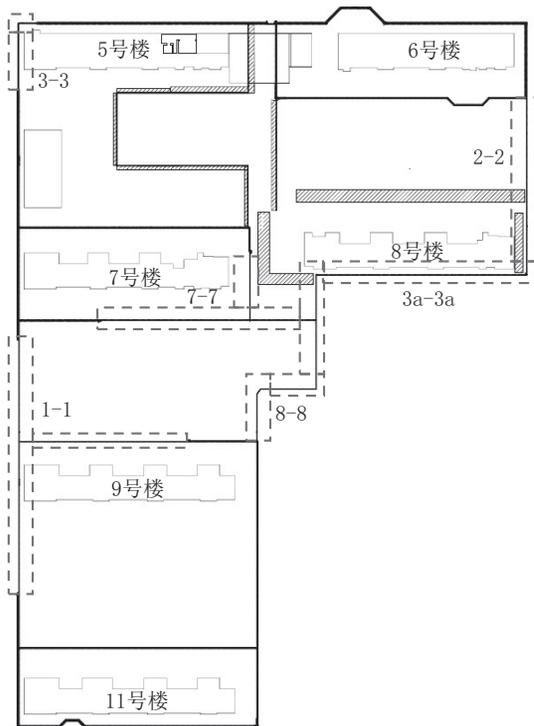


图2 高压旋喷桩隔水帷幕桩位总体布置

Fig.2 General layout of high pressure jet grouting piles for the water cut-off curtain

表1 高压旋喷桩设计工程量

Table 1 Designed quantity of high pressure jet grouting piles

| 部位 | 长度/ m | 桩间距/ m | 数量/ 根 | 桩长/ m | 工程量/ m |
|-------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| 1-1 | 22.80 | 0.30 | 76 | 12.00 | 912.00 |
| 2-2 | 93.25 | 0.30 | 311 | 12.00 | 3732.00 |
| | 56.21 | 0.30 | 188 | 13.00 | 2444.00 |
| 3-3 | 36.90 | 0.30 | 123 | 12.00 | 1476.00 |
| | 29.70 | 0.30 | 99 | 12.00 | 1188.00 |
| 3a-3a | 122.08 | 0.30 | 407 | 13.00 | 5291.00 |
| | 9.90 | 0.30 | 33 | 15.00 | 495.00 |
| 7-7 | 97.70 | 0.30 | 326 | 12.00 | 3912.00 |
| | 17.40 | 0.30 | 58 | 14.00 | 812.00 |
| 8-8 | 83.10 | 0.30 | 277 | 15.00 | 4155.00 |
| | 46.98 | 0.30 | 157 | 12.00 | 1884.00 |
| 接头 | | | 16个 | | 192.00 |
| 合计 | | | | | 26493.00 |

注浆材料和质量检查与控制3个方面对高压旋喷桩的施工技术提出了新的要求。

(1)施工设备:主要包括钻机和高压发生设备2部分^[11-13]。依据需要采用单管、二重管或三重管不同的喷射方式进行旋喷作业时所使用的机具类型和数量不同。高压喷射注浆工艺要求所用钻机除具备一般钻机的功能外,还要有带动注浆管以10~20 r/min慢速提升功能。不具备以上2种功能的钻机,必须改制或另配备旋喷机和钻机结合使用。高压发生设备主要有高压泵、泥浆泵、空压机、注浆管、高压胶管、液体流量计、风量计等。本工程中高压旋喷桩引孔所用的是双套管锚杆钻机,满足施工对钻机的要求,并搭配单管喷射法进行施工作业,如图3所示。



图3 钻机现场施工

Fig.3 Drilling rig at work

3 高压旋喷桩隔水帷幕施工技术

3.1 施工技术要求

根据高压喷射注浆法的主要特点,从施工设备、

(2)注浆材料:高压喷射注浆材料分主材与外加剂。主材为水泥,常用水泥有普通硅酸盐水泥、高早强水泥、低热水泥和抗硫酸盐水泥等,对于无特殊

要求的工程,一般选用32.5级及以上的普通硅酸盐水泥。主材、外加剂使用前都需要进行专门的检测。

(3)质量检查与控制:质量检查的内容包括固结体的整体性和均匀性、有效直径、垂直度、强度等。检验点的数量为施工注浆孔数的2%~5%,对于不足20孔的工程,至少应检验2个点,不合格者应进行补喷。主要通过开挖检查、钻孔取心、静载荷试验、小应变动力测试等方法进行检查与控制^[14-16]。

3.2 旋喷桩施工设计参数

根据勘察报告地层特点,设计要求用单管高压旋喷桩进行隔水帷幕施工,设计具体参数如下:

(1)旋喷注浆选用颗粒细、稳定性好的32.5级矿渣硅酸盐水泥。

(2)水泥浆液的水灰比越小,高压喷射注浆体相互结合越好。在施工中因注浆设备的原因,水灰比太小时,喷射不畅,易堵塞喷嘴及加快高压泵柱塞的老化,故水灰比一般选0.6~1.5之间,因本场区潜水较为丰富,取水灰比0.6为宜。

(3)设计旋喷桩尺寸及布置参数:桩径600 mm,桩深12~15 m,桩底进入相对隔水层1 m,桩间距300 mm,相互咬合300 mm。

(4)结合国家规范和地区施工经验,以及现场施工试验,确定高压喷射注浆压力为20 MPa,旋喷速度为10~20 r/min,提升速度为80~250 mm/min。

3.3 施工工艺流程

(1)形成施工平台,施工平台误差控制在150 mm范围内。

(2)测量人员按图纸放样定位,孔位偏差±50 mm内。

(3)采用套管跟进钻机引孔。

(4)钻至设计深度后,边提升边喷浆至地面一次成桩完毕。

(5)旋喷桩前后两组桩相互切割,一次成墙完成一个施工单元。

3.4 质量保证措施

为保证高压喷射注浆法的成桩质量,施工时要做好如下质量保证措施:

(1)旋喷施工时要求采用间隔跳打的方式进行。

(2)钻机或旋喷机就位时机座放平稳,立轴或转盘要与孔位对正,倾角与设计误差 $\geq 0.5^\circ$ 。

(3)采用清水钻进引孔,引孔钻进至设计桩底标高后,下高压旋喷管至孔底,先喷射1 min浆液后,

再按设计转速和提升速度自下而上喷射注浆。

(4)喷射注浆前要检查高压设备和管路系统。设备的压力和排量必须满足设计要求,管路系统的密封圈必须良好,各通道和喷嘴内不得有杂物。

(5)喷射注浆过程中,严格控制旋喷压力、提升速度、旋转速度和喷浆量等技术指标。应重点观察冒浆情况,以及时了解土层变化情况、喷射注浆的大致效果和喷射参数是否合理。采用单管喷射注浆时,根据地勘报告可知,该粗砂砾石层渗透系数为 6×10^{-3} cm/s,故冒浆量小于注浆量20%为正常现象,超过20%或完全不冒浆时,应查明原因并采取相应措施。若因地层中有较大空隙引起的不冒浆,可在浆液中掺加适量速凝剂或增大注浆量;如冒浆过大,可减少注浆量或加快提升和回转速度,也可缩小喷嘴直径,提高喷射压力。并做好现场记录。

(6)送浆要均匀。如在喷射注浆过程中钻头被堵塞、钻机和高压泵等出现故障而被迫停机或发现停喷应立即处理;修钻机时,应将送浆管等机具中的余浆用清水冲洗干净,以免造成下次旋喷时管路堵塞;再次喷浆时,重复搭接长度 < 1 m,以防断桩。

(7)注浆完毕,若发现桩顶部位脱空较大,可在原孔位采用冒浆回灌或二次注浆等措施处理。

4 高压旋喷桩隔水施工效果

为保证高压旋喷桩质量,在施工期间和施工结束后,对8号楼南侧旋喷桩进行开挖检查,开挖后成桩直径在600~700 mm,与设计尺寸吻合,喷射注浆体相互咬合良好,有效桩径内水泥含量均匀无夹块现象,证明隔水帷幕止水效果良好。

5 结论

通过对太原万达广场A2区商住楼工程项目基坑隔水帷幕施工可得出如下结论:

(1)隔水帷幕施工穿越渗透系数良好、径流补给明显的粗砂砾石地层时,深层搅拌桩无法施工,可采用高压旋喷桩进行施工。

(2)粗砂砾石地层对高压旋喷桩隔水帷幕施工技术要求较高,为保证桩体质量,需要有明确的技术要求和质量保证措施,同时施工结束后要对高压旋喷桩进行隔水效果检查。

(3)工程实践证明,高压旋喷技术对粒径大、质地坚硬、径流补给明显的粗砂砾石层中的隔水帷幕

施工有较高的应用价值,能够较好地解决穿越石渣料等大颗粒地层的难题,是一种施工方便、工期短、效果明显的隔水手段,在水量丰富的大颗粒地层可充分应用。

参考文献(References):

- [1] 王飞,张亮,龚晓南,等. 潜孔冲击高压旋喷桩在基坑止水帷幕中的应用[J]. 施工技术, 2020, 49(19): 12-14, 26.
WANG Fei, ZHANG Liang, GONG Xiaonan, et al. Application of down the hole jet grouting with high pressure in foundation excavation waterproof curtain [J]. Construction Technology, 2020, 49(19): 12-14, 26
- [2] 谢秋明,张青平. 南昌商业中心深基坑工程组合支护技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(9): 75-80, 96.
XIE Qiuming, ZHANG Qingping. Composite support for the deep foundation pit of a commercial center in Nanchang [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(9): 75-80, 96.
- [3] 胡刚,胡福洪,黄佛光. 非等长双排桩在武汉地区基坑工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(2): 78-82.
HU Gang, HU Fuhong, HUANG Foguang. Application of unequal length double-row piles in a foundation pit project in Wuhan [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2): 78-82.
- [4] 高仁斌. 高压喷射注浆技术在土石坝防渗加固应用中存在的问题与建议[J]. 水利科技, 2020(1): 60-61, 32.
GAO Renbin. Problems and suggestions in the application of high pressure jetting grouting technology in the seepage prevention and reinforcement of earth-rock dams [J]. Hydraulic Science and Technology, 2020(1): 60-61, 32.
- [5] 张荣海,王金科,薛恒星. 高压旋喷桩止水帷幕在工程中的具体应用[J]. 建材与装饰, 2019(16): 3-4.
ZHANG Ronghai, WANG Jinke, XUE Hengxing. Concrete application of high-pressure jet grouting pile sealing curtain in engineering [J]. Construction Materials & Decoration, 2019(16): 3-4.
- [6] 张青平. 高压旋喷施工技术在砂卵石地层的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1): 319-323.
ZHANG Qingping. Application of high-pressure rotary jet construction technology in sand and pebble strata [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(S1): 319-323.
- [7] 卫中宁. 复杂地质条件下62m超深TRD止水帷幕关键施工技术[J]. 城市道桥与防洪, 2020(11): 127-129, 156.
WEI Zhongning. Key construction technology of 62m ultra-deep TRD water-stop curtain under complex geological condition [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2020(11): 127-129, 156.
- [8] 金鹤侯,吴杰,张玉成,等. 饱和粉细砂地层高压旋喷桩止水帷幕施工技术[J]. 市政技术, 2020, 38(5): 176-179.
JIN Heyu, WU Jie, ZHANG Yucheng, et al. Construction technology of water-stop curtain with high-pressure rotary jet grouting pile in saturated silty fine sand formation [J]. Municipal Engineering Technology, 2020, 38(5): 176-179.
- [9] 杨勇,詹元林. 流塑淤泥地层深基坑钢板桩围堰位移突变原因分析及处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(3): 69-74.
YANG Yong, ZHAN Yuanlin. Causes and treatment of displacement of the deep foundation pit sheet pile cofferdam in flow-plastic silt stratum [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(3): 69-74.
- [10] 杨新武. 深厚砂卵石地层旋喷桩止水帷幕施工技术[J]. 中外建筑, 2020(9): 176-178.
YANG Xinwu. Construction technique of jet grouting piled water-proof curtain in deep sandy pebble stratum [J]. Chinese & Overseas Architecture, 2020(9): 176-178.
- [11] 白祖卫,刘海如,李春平,等. XLT-230型全液压旋喷履带钻机的设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(10): 43-47.
BAI Zuwei, LIU Hairu, LI Chunping, et al. Design of XLT-230 full hydraulic crawler jet grouting drill rig [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(10): 43-47.
- [12] 罗帅训,赵建勃,贺雪峰,等. 高压旋喷多管喷头的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(7): 78-81, 87.
LUO Shuaixun, ZHAO Jianbo, HE Xuefeng, et al. Development of the 11-tube high-pressure rotary jet nozzle [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(7): 78-81, 87.
- [13] 朱明诚,韩强,赵贵斌,等. 卵砾石含水层高压旋喷注浆止水帷幕技术[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(4): 74-79.
ZHU Mingcheng, HAN Qiang, ZHAO Guibin, et al. Technology of high pressure jet grouting water cutoff curtain in gravel aquifer [J]. Coal Geology & Exploration, 2020, 48(4): 74-79.
- [14] 梁学元. 某深基坑支护高压旋喷桩的工艺性试桩分析[J]. 广东土木与建筑, 2020, 27(9): 31-33.
LIANG Xueyuan. Analysis of technical test piles of high-pressure rotary jetting piles supported in a deep foundation pit [J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2020, 27(9): 31-33.
- [15] 谭祖军. 公路施工中高压旋喷桩施工技术及质量控制措施[J]. 交通世界(中旬刊), 2019(5): 41-42.
TAN Zujun. Construction technology and quality control measures of high-pressure jet pile in highway construction [J]. Transpo World, 2019(5): 41-42.
- [16] 张连会. 公路工程高压旋喷桩施工工艺及施工质量控制分析[J]. 交通世界(中旬刊), 2020(4): 64-65.
ZHANG Lianhui. Analysis of construction technology and construction quality control of high pressure jet grouting pile in highway engineering [J]. Transpo World, 2020(4): 64-65.

(编辑 周红军)