

富水圆砾层地铁车站深基坑周边土体防渗加固技术*

欧孝夺^{1,2,3} 李 胜¹ 钟有信⁴ 胡盛斌^{4,5} 江 杰^{1,2,3}

(1. 广西大学土木建筑工程学院, 530004, 南宁; 2. 工程防灾与结构安全重点实验室, 530004, 南宁;

3. 广西金属尾矿安全防控工程技术研究中心, 530004, 南宁; 4. 南宁轨道交通集团有限责任公司, 530029, 南宁;

5. 华南理工大学土木与交通学院, 510641, 广州//第一作者, 教授)

摘 要 针对富水圆砾地质条件下,土体注浆加固效果较差、造价较高的问题,采用声纳渗流检测技术,通过测量地下水流速、流向、流量和渗透系数等数据,利用三维可视化图像确定渗漏通道指导施工,采取有针对性的防渗加固土体措施。同时结合土层特性,调整袖阀管注浆成分和灌浆长度,实现精准加固。

关键词 地铁车站;深基坑;圆砾层;土体加固;声纳渗流检测

中图分类号 TU472; U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.038

Technology of Soil Seepage Prevention and Reinforcement around Metro Station Deep Foundation Pit in Water-rich Round Gravel Stratum

OU Xiaoduo, LI Sheng, ZHONG Youxin, HU Shengbin, JIANG Jie

Abstract Targeting at problems of poor grouting reinforcement effect and high construction cost in water-rich round gravel stratum conditions, the sonar seepage detection technology is adopted. By measuring the groundwater flow velocity, direction, volume and the coefficient of permeability, 3D visualization image is used to guide the construction by determining the leakage channel, and targeted anti-seepage soil reinforcement measures are adopted. At the same time, combined with the characteristics of soil layer, the sleeve valve pipe grouting composition and grouting length are adjusted to achieve accurate reinforcement.

Key words metro station; deep foundation pit; round gravel stratum; soil reinforcement; sonar seepage detection

First-author's address College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, 530004, Nanning, China

质条件及周边环境越来越复杂,对基坑施工引起的变形控制要求也越来越苛刻^[1]。南宁盆地中的圆砾地层,具有水量丰富、透水性强、整体结构性差以及孔隙率大等特点,在这种地层下深基坑开挖会对基坑稳定性及周边紧邻建(构)筑物的安全造成危险^[2-4],需对基坑与紧邻建筑间土体进行加固。因此,亟需开展富水圆砾层基坑周边土体加固技术,采用经济有效措施确保基坑及周边环境的安全。

深基坑周边土体加固技术是国内外学者的研究热点。孟妍^[5]、李丰果^[6]都对袖阀管注浆法的施工技术在加固地铁基坑周边土体进行研究。关于富水圆砾土层加固措施,任国宏^[7]研究了适于富水圆砾土层的复合加固浆液。这些传统措施存在浆液流失大、加固效果差的问题,如统一采用具有加固效果的浆液,施工成本较高,且很多土体没有必要采用此种浆液。

本文依托南宁市某地铁车站基坑工程,研究富水圆砾地质条件下地铁车站深基坑周边土体的防渗加固技术。

1 工程概况

该地铁车站位于广西省南宁市青秀区金湖路与民族大道交叉路口北侧,沿金湖路南北方向布置。地铁车站紧邻民族大道,民族大道为南宁市主干道,车流量及人流量均较大。周边建筑物距离车站基坑较近,且多为高层建筑。地铁车站及周边环境如图1所示。

该地铁站为四层岛式站台车站,结构长度为150 m,标准段宽25.1 m,底板埋深30.8 m,顶板埋深3.5 m。车站基坑采用明挖顺筑法施工,1 200 mm地下连续墙+内支撑的支护体系,地下连续墙

随着城市地铁建设的发展,地铁车站基坑的地

* 国家自然科学基金地区科学基金项目(51768006, 51568006);广西科技计划项目(桂科 AB17195035)

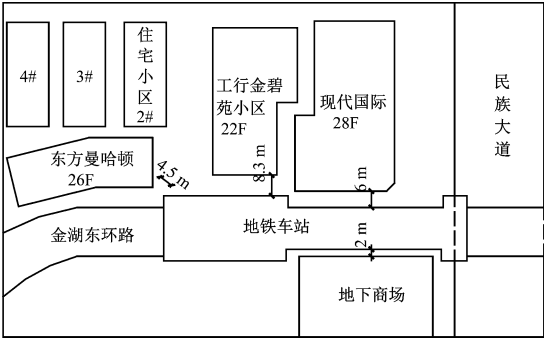


图1 地铁车站及周边环境

嵌入泥岩底部距离结构底板 7.5 m,墙身共设置 5 道砼支撑。地铁车站基坑剖面如图 2 所示。

该地铁车站场地属邕江堆积、河谷阶地区,地势较为平缓。各土层具体参数如表 1 所示。经勘探,场地内地下水类型主要为孔隙承压水,其赋存

于③₋₁粉土、④₋₁粉砂、④₋₂中砂、⑤₋₁圆砾层中,水量丰富,与邕江水力联系密切,且圆砾⑤₋₁厚度大,属强透水层,水位埋深 9.20 m。

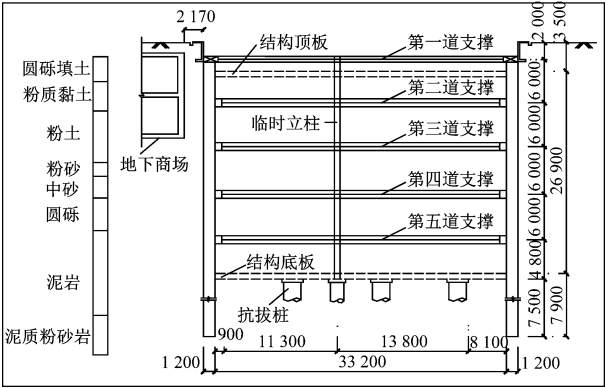


图2 地铁车站基坑剖面图(单位:mm)

表1 各土层物理性质指标

土层编号	土层名称	平均层厚/m	天然重度 γ/(kN/m ³)	压缩模量 E _s /MPa	泊松比	黏聚力 c/kPa	内摩擦角/ (°)	渗透系数 K/(m/d)
① ₋₁	圆砾填土	2.4	19.0	5.0	0.20	19.7	17.4	6.000
② ₋₂	粉质黏土	3.0	20.0	7.0	0.30	25.2	14.2	0.006
③ ₋₁	粉土	6.3	22.0	7.5	0.33	18.6	7.0	0.500
④ ₋₁	粉砂	1.5	22.5	10.0	0.30	15.2	12.5	2.000
④ ₋₂	中砂	2.0	23.0	15.0	0.28	10.2	16.8	15.000
⑤ ₋₁	圆砾	2.9	24.0	9.0	0.25	6.8	34.7	60.000
⑦ ₋₁	泥岩	12.6	25.0	10.0	0.23	58.7	17.2	0.005
⑦ ₋₂	泥质粉砂岩	未钻穿	26.5	20.0	0.23	62.5	24.2	0.500

2 土体加固施工

由于圆砾层土体黏聚力小且水量丰富,地下连续墙成槽清障时对周边土体扰动较大;现代国际和工行金碧苑两栋建筑物桩基均为静压预制方桩,属于摩擦桩,桩底位于粉砂层属于非持力层;两栋建筑物边缘距离地铁车站基坑仅 6 m 和 8 m。因此,基坑开挖对周边建筑物影响较大,存在很大施工风险,需对基坑与建筑间土体采取防渗加固措施。

2.1 声纳渗流检测

在基坑开挖之前,对地下连续墙进行声纳渗流检测^[8],实现对地下隐蔽工程事故隐患提前预报,而后对渗漏区采取针对性更强的防渗加固措施。

在距离地下连续墙外壁 0.5 ~ 1.5 m 处,设 65 个测量孔,按 A1、B1、A2、…的顺序依次编号,测量孔与地下连续墙同深。通过地下连续墙声纳渗流检测,测得 65 个墙缝处的地下水渗流场的流速、流

向、流量和渗透系数等数据。其中,单孔渗漏流量超过 $1.0 \times 10^2 \text{ cm}^3/\text{s}$ 的测量孔共 11 个,如图 3 所示。这些“问题孔”渗透流速均大于 $1.5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$,B15 孔渗透流速高达 $1.02 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。根据现场三维空间地下水渗流 1 235 组原位测量数据,生成基坑地下连续墙渗流场(含流速、流向、流量)三维可视化效果图,如图 4 所示,即渗流场云图,颜色深代表流量、流速大。从图 4 中能够直观获得渗流场异常与地下连续墙的缺陷对应关系,以此确定渗漏缺陷的具体位置。地下连续墙缺陷存在于 B₂₉ ~ A₃₁、A₂₂ ~ B₂₄、A₁₆、A₁₈ 等地下连续墙连接处以及拐角处。为此基坑开挖时,在地下连续墙连接处和拐角处探挖,深 2.5 m、宽 1 m 的沟槽,检查墙面是否存在孔洞、砼严重离析及夹泥夹沙袋等现象,对缺陷处进行钢板封堵加固。同时对基坑周边土体采用袖阀管注浆防渗加固措施。

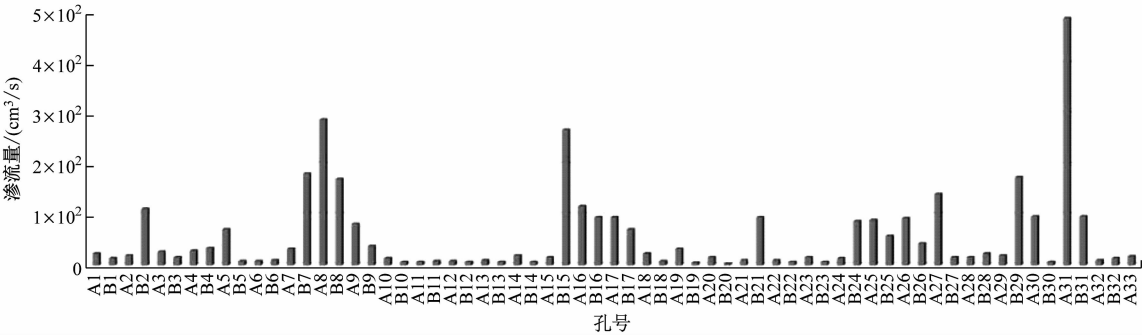


图3 基坑声纳渗流量柱状图

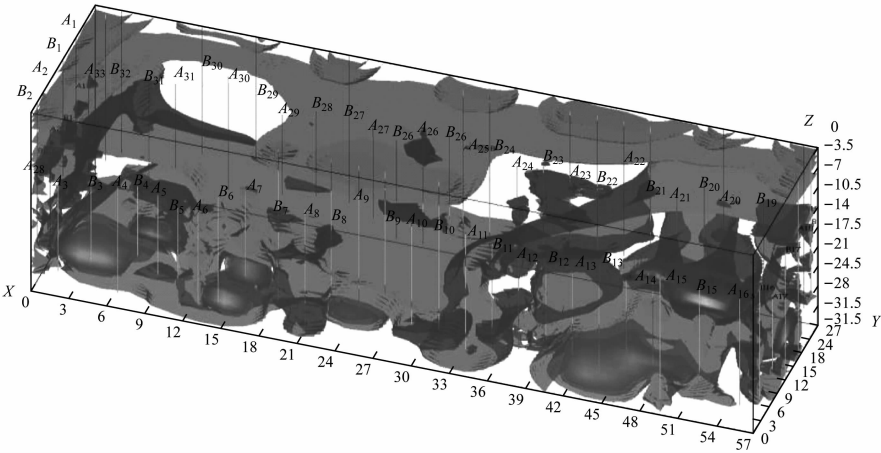


图4 基坑声纳渗流场三维成像图

2.2 袖阀管注浆加固

袖阀管注浆不仅能封堵地下连续墙缺陷,而且能够加固基坑与及周边建筑物间土体。

- 1) 注浆孔分三排呈梅花形布置,排距 1 m,纵向间距 1 m,如图 5 所示,打设深度为 39 m。
- 2) 注浆袖阀管由直径 48 mm PVC 外管、6 分镀锌注浆内管、橡皮套和密封圈组成。袖阀管是一种只能向管外出浆,不能向管内返浆的单向闭合装置。灌浆时,压力将塑料阀管小孔外的橡皮套冲开,浆液进入地层,如管外压力大于管内时,小孔外的橡皮套自动闭合阻断浆液进入管内。
- 3) 注浆范围为地面以下 4.0 m 至袖阀管底,每个灌浆长度固定为 0.5 ~ 1.0 m,可根据地层条件及渗漏情况调整灌浆长度,实现精准防渗加固。
- 4) 注浆顺序为先注靠近地下连续墙的两排注浆孔,再注第三排孔,最后注第二排孔。
- 5) 注浆材料针对不同地质条件及渗漏情况分别采用如下三种浆液:水:水泥:砂配合比为 1.0:0.8:1.0 的砂浆;水灰比为 1:1 的水泥浆配以同体积的水玻璃的双浆液;减水剂:早强剂:水玻璃配合比为 4%:6%:90% 的化学浆液。也可以根据取芯试验调整

注浆参数,本次注浆效果良好未改变参数。

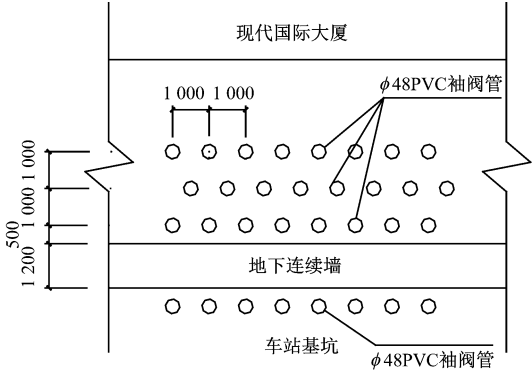


图5 袖阀管平面布置图

- 6) 压浆压力控制在 2 ~ 3 MPa。
 - 7) 钻孔和注浆平行施工,施工间距为 10 m。
- 由下而上分段注浆,遇圆砾等土层时,提前一个灌浆段注特殊浆液。对于透水系数高的圆砾层采用化学浆液进行加固防渗堵漏,粉砂层和粉土层采用凝固速度稍慢的双液浆进行加固,采用成本较低的水泥浆加固其他土层。其中,针对地下连续墙缺陷处,靠近地下连续墙的两排注浆孔中注化学浆液,封堵渗漏通道,第二、三排注浆孔按上述方法分土层进行防渗加固。

2.3 钢花管加固建筑物基础持力层

由于基坑周边建筑物桩基为静压摩擦桩,底部位于粉砂层中,粉砂层属于非持力层,桩基易受周边土体扰动影响。为预防邻近高层建筑物沉降过大的隐患,从提高建筑物地基承载力方面采取措施。故采用钢花管加固建筑物基础持力层,提高静压桩的摩擦力和承载力,从而增加建筑物地基的稳定性,以减小基坑开挖过程中建筑物的沉降。

钢花管注浆与袖阀管施工工艺类似。本方案中:

1) 钢花管水平间距 1 m,钢花管插入建筑物基础以下的长度不小于 2 m,如图 6 所示。

2) 钢花管采用直径 50 mm、厚度 4 mm 的无缝钢管,底部出尖焊封,沿钢管轴向每隔 10 cm 开一对 6 mm 出浆孔,底部 2 m 长度内孔距加密为 5 cm,上部 5 m 内不设孔。

3) 浆液先采用水:水泥:砂配合比为 1.0:0.8:1.0 的砂浆,后期逐步变稀到 1.0:0.5:1.5,压浆压力控制在 2~3 MPa。

4) 所有钢花管一次预埋到位,先期按隔一注一的加固方式进行预注浆加固,再根据建筑物沉降、变形情况进行跟踪补注。

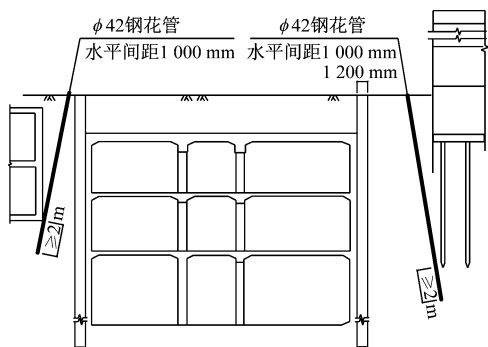


图6 钢花管加固布置剖面图

通过钢花管注浆,浆体挤压土体并充填土体间隙,浆液向四周扩散,凝固后使钢花管与周围土体成为整体,将改善松散土体的物理特性,同时可以减小土体渗透性。注浆后的钢花管,提高了土体的抗滑和抗剪作用,对基坑开挖过程中土体大幅度变形起到了控制作用,减小了周边建筑物的沉降。

3 加固效果及分析

3.1 声纳渗流监测

采取地下连续墙防渗堵漏和周边土体防渗加固施工后,再次对地下连续墙进行声纳渗流检测。

其中,11个渗漏通道在灌浆前后渗漏流速对比图如图7所示。

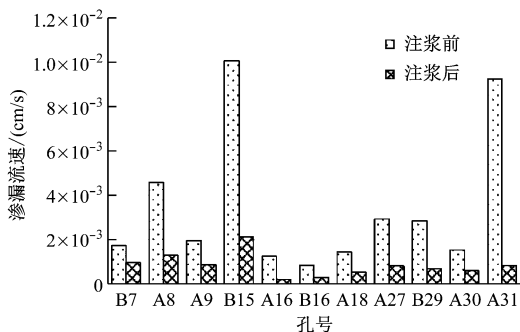


图7 各注浆孔注浆前后渗漏流速对比图

3.2 地下水位监测

地下水位变化曲线如图8所示,基坑施工过程中坑外地下水位的变化较小,地下连续墙对坑内外地下水位进行了成功的隔断。从另一方面讲,地下连续墙接缝处的渗漏水也得到了较好的处理,说明了超前探挖钢板封堵及袖阀管注浆防渗堵漏措施达到了预期的效果。随着施工的不断进行,地下结构回筑,坑外地下水位也逐渐得到了恢复。

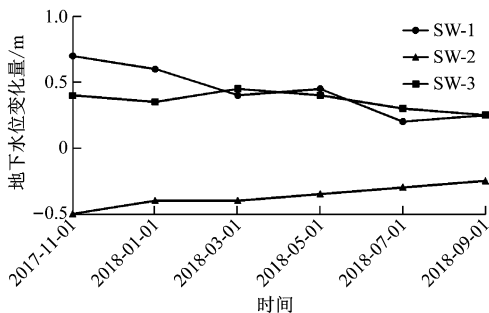


图8 地下水变化曲线

3.3 地下连续墙水平位移监测

地下连续墙水平位移实测结果如图9和图10所示。图中,正值为向坑内位移,负值为向坑外位移。由图9和图10可知,东西两部分地下连续墙水平位移实测曲线整体趋势大致相同,但东侧位移值达15.21 mm。基坑东侧建筑物较多,而西侧南宁百货地下广场为地下框架结构,作用在东侧支护上的水平荷载较大。同时由于二、三道支撑作用位置的坑外土体主要为粉质黏土和粉土,土体强度较差,不能提供较大的被动土压力。因此,基坑西侧支护在第二、三道支撑水平力作用下,有向坑外位移的趋势。而第四、五道支撑所在位置以砂土、圆砾、泥岩为主,东侧在该深度的土压力较小,对应深度处

支护水平变形以向坑内变形为主。

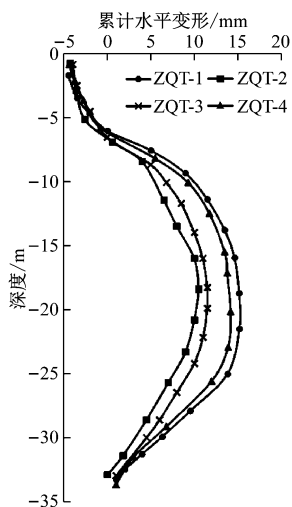


图9 基坑东侧地下连续墙水平位移实测曲线

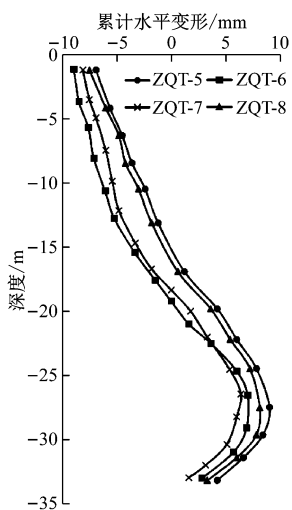


图10 基坑西侧地下连续墙水平位移实测曲线

3.4 基坑周边地表沉降监测

图11为基坑周边地表最终沉降沿基坑边长的分布情况,位于基坑中部的测点JD5-8~JD5-12沉降偏大,分别为10.50 mm、13.10 mm、17.90 mm、11.20 mm和13.00 mm,其他测点的最终沉降大多在13 mm以内。

以上结果表明依据地下连续墙声纳检测结果,采用袖阀管注浆加固周边土体和钢花管加固建筑物基础持力层措施后,地下连续墙接缝处的渗漏情况得到了较好处理,周边土体加固效果良好,基坑施工变形得到有效控制,确保了基坑施工如期完成。

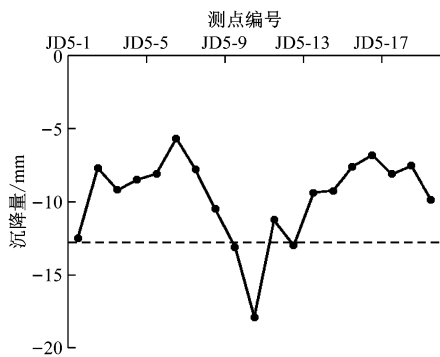


图11 基坑周边地表最终沉降量曲线

4 结论

1) 利用声纳渗流检测技术提前探明地下连续墙的渗漏情况,能够有针对性地采取防渗措施,同时也能实现渗流事故的提前预报。该技术在本工程上的成功应用可以为类似工程作为借鉴参考。

2) 结合声纳渗流检测结果,采用袖阀管注浆法,注入化学浆液进行有针对性的防渗措施。根据土层情况分别注入水泥浆、水泥浆+水玻璃的双浆液和化学浆液加固土体。施工措施效果明显,同时也节约了大量经济成本。

参考文献

- [1] 刘念武,陈奕天,龚晓南,等. 软土深开挖致地铁车站基坑及邻近建筑变形特性研究[J]. 岩土力学,2019(4):1.
- [2] 潘世强,邓俊. 富水砂卵石层深基坑近接建筑物安全施工控制技术研究[J]. 公路工程,2018(3):173.
- [3] 谢雄耀,王强,刘欢,等. 富水圆砾地层盾构下穿火车站股道沉降控制技术研究[J]. 岩石力学与工程学报,2016,35(增刊2):3960.
- [4] 牛建东,梁专明,谭旭亮. 深厚富水圆砾层桩基础加固技术[J]. 施工技术,2013(19):65.
- [5] 孟妍. 港珠澳大桥珠海连接线拱北隧道注浆综合施工技术[J]. 施工技术,2018(19):1.
- [6] 李丰果. 袖阀管注浆帷幕在地铁周边建筑物保护中的应用[J]. 现代隧道技术,2010(6):87.
- [7] 任国宏. 富水圆砾卵石层袖阀管注浆加固技术研究[J]. 隧道建设,2014(12):1183.
- [8] 杜国平,郭建强,黎咏泉,等. 南京城际轨道交通宁高线盾构井声纳渗流控制技术应用[J]. 铁道勘察,2017(6):61.

(收稿日期:2018-11-20)