

复杂岩溶地层地铁车站深基坑涌水灾害的 声呐探测及综合治理

邱运军^{1,2} 郑爽^{3,4} 魏东^{3,4} 冯诗洋¹ 王祥秋⁵

(1. 中国建设基础设施有限公司, 100044, 北京; 2. 中建南方投资有限公司, 518101, 深圳; 3. 中国建筑第四工程局有限公司, 510610, 广州; 4. 中建四局土木工程有限公司, 518101, 深圳; 5. 佛山科学技术学院, 528225, 佛山)

摘要 [目的] 在佛山地区, 复杂岩溶地层具有特殊性, 其钙质粉砂岩地层及其破碎带极易引发地铁车站基坑涌水灾害。因而有必要采用声呐技术进行探测, 并通过综合治理解决涌水问题。[方法] 以佛山地铁3号线中山公园站为研究对象, 从涌水险情出发, 介绍了该站声呐探测方案, 并基于探测结果分析了该站深基坑地下水的渗漏特性, 判定了渗漏点的空间分布及其涌水灾害类型。结合基坑底部超前钻勘察成果及基坑内涌点分布特征, 提出了坑外后退式双液注浆止水帷幕+坑内咬合旋喷桩基坑渗漏联合封堵方案。着重阐述了方案中后退式双液注浆、双管旋喷咬合桩以及MJS(全方位高压喷射)桩等技术的施工要点。对采用综合治理前后的代表性测孔处地下水渗流速度进行对比, 以验证治理效果。[结果及结论] 声呐探测技术能精准探查岩溶地层深基坑渗漏点的具体位置及其渗流场相关参量。采用后退式双液注浆、双管旋喷咬合桩及MJS桩相结合的联合封堵方案可有效解决复杂岩溶地段深基坑开挖大面积涌水渗漏技术难题。

关键词 地铁车站; 深基坑; 涌水灾害; 声呐探测; 岩溶地层; 联合封堵技术

中图分类号 TU94⁺3: U231.3

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2024.06.021

Sonar Detection and Comprehensive Treatment of Water Inrush Disaster for Metro Station Deep Foundation Pit in Complex Karst Strata

QIU Yunjun^{1,2}, ZHENG Shuang^{3,4}, WEI Dong^{3,4}, FENG Shiyang¹, WANG Xiangqiu⁵

(1. China Construction Infrastructure Co., Ltd., 100044, Beijing, China; 2. China Construction Southern Investment Co., Ltd., 518101, Shenzhen, China; 3. China Construction Fourth Engineering Division Co., Ltd., 510610, Guangzhou, China; 4. CSCEC4 Civil Engineering Co., Ltd., 518101, Shenzhen, China; 5. Foshan University, 528225, Foshan, China)

Abstract [Objective] In Foshan Area, due to the specific

characteristics of the complex karst stratum, the calcareous siltstone stratum and the fracture zone can easily cause water inrush disaster in metro station foundation pit. Therefore, it is necessary to adopt sonar technology for detection and solve the water inrush problem through comprehensive treatment.

[Method] Taking Zhongshan Park Station of Foshan Metro Line 3 as the research object, the sonar detection scheme for the station is introduced, the groundwater leakage characteristics of the station deep foundation pit are analyzed based on the detection results, the spatial distribution of leakage points and the type of the water inrush disaster are determined. Based on the results of advanced drilling exploration at the bottom of the foundation pit, and the distribution characteristics of the water inrush points in the foundation pit, a joint sealing scheme for leakage in the foundation pit is proposed, including a retreating double liquid grouting waterproofing curtain outside the pit and a pit interlocking rotary jet grouting pile. The key construction techniques of the retreating double liquid grouting, interlocking rotary jet grouting pile and MJS (metro jet system) pile are emphatically described. The groundwater leakage speeds at representative test holes before and after comprehensive treatment are compared to verify the treatment effect. [Result & Conclusion] The sonar detection technology can accurately detect the specific spots of the deep foundation pit water leakage points in karst stratum and the relevant parameters of the seepage field. The adopted joint sealing scheme of double liquid grouting, double pipe rotary jet interlocking pile and MJS pile can effectively solve the technical problem of large-scale water inrush and leakage in deep foundation pit excavation in complex karst area.

Key words metro station; deep foundation pit; water inrush disaster; sonar detection; karst stratum; joint sealing technology

由于岩溶地质条件引发的工程施工灾害事故时有发生。目前, 国内外学者针对地下工程岩溶地质灾害问题做了大量的研究工作, 积累了较丰富的

工程实践经验。文献[1]基于区域水文地质调查及瑞雷波探测等技术手段分析贵阳某地铁深基坑岩溶发育特征,由此提出基底全面注浆止水措施。文献[2]分析南京某地铁站深基坑突涌水灾害事故原因,提出前进式分段注浆及膜袋封孔注浆新技术。文献[3]针对广州某地铁站上软下硬岩溶地层深基坑特殊力学性态,利用有限元数值模拟岩溶对深基坑开挖及变形的影响。文献[4]基于跨孔CT(层析成像)探测技术研究无锡地铁某区间隧道岩溶发育规律,利用半解析解与数值模拟方法分析隧道围岩稳定性。文献[5-7]基于地质勘察资料分析了南宁地铁线路岩溶发育规律,利用有限元数值计算分析了岩溶对地铁站及盾构隧道的影响,为岩溶治理措施及专项设计提供依据。文献[8-10]系统分析了武汉地铁工程岩溶地质构造特征及坍塌机理,提出了有针对性的岩溶注浆治理技术。

尽管国内外学者针对岩溶地质灾害问题的研究与实践取得了丰硕的成果,但佛山地区岩溶形成条件具有自身特殊性,其溶洞主要由断层破碎带含钙质粉砂岩层经地下水长期渗流侵蚀而成,岩溶区段地下水贮存形态十分复杂,给深基坑工程涌水灾害防治提出重大挑战。对此,本文以佛山地铁3号线(以下简称“3号线”)中山公园站为研究背景,重点探讨复杂岩溶地层中地铁站深基坑用水灾害的探测技术及防治技术。

1 工程概况

中山公园站位于文昌路与货站路交叉口,沿文昌路东西向设置。该站为路侧地下二层岛式站台车站。车站大里程端带单渡线,车站中心里程为DK56+958.333,有效站台中心线的轨面高程为-11.40 m,车站总长度为315.5 m,标准段外包宽度为22.7 m。围护结构采用厚0.8 m、深29.4 m、幅宽6.0 m的地下连续墙,配工字型钢接头。地下连续墙混凝土强度等级为C35,防渗等级为P8,竖向受力钢筋保护层厚度为70 mm。中山公园站深基坑采用明挖法施工。

1.1 工程地质条件

中山公园站场地从上至下土层依次为:〈1〉素填土、〈2-1A〉淤泥、〈2-1B〉淤泥质土、〈2-2〉淤泥质粉细砂、〈2-3〉淤泥质中粗砂、〈2-4〉粉质黏土、〈3-2〉中粗砂、〈7-2〉强风化岩、〈8-2〉中风化岩;基底位于砂层、黏土层和淤泥质土层。地下连续墙底

位于〈7-2〉强风化粉砂岩层或〈8-2〉中风化粉砂岩层中。

在YBK57+010—YBK57+080里程段,岩溶强发育,见洞率为68.4%。受隐伏断裂影响,场地内基岩裂隙水发育,下伏基岩含较多钙质成分。受地下水冲刷,基岩内的钙质成分流失,形成溶蚀洞。溶蚀洞以半充填或全充填状态为主,且充填物为流塑状黏性土。在YBK57+010—YBK57+080里程段,岩溶发育面积为2 975.7 m²,溶洞平均高度为2.89 m。在YBK57+105—YBK57+130里程段,岩溶发育面积为477.2 m²,溶洞平均高度为9.7 m。

1.2 水文地质条件

根据区域水文地质资料及岩土工程勘察报告,中山公园站地下水类型及主要赋存方式为:

1) 第四系孔隙水,主要赋存于冲、洪积砂层中,稳定水位埋深基本为2.67~2.94 m。孔隙水含水层主要为海陆交互相淤泥质粉细砂〈2-2〉、淤泥质中粗砂〈2-3〉、冲洪积粉细砂层〈3-1〉、中粗砂层〈3-2〉和砾砂〈3-3〉。

2) 基岩风化裂隙水及岩溶水。基岩风化裂隙水为承压水,主要赋存于强、中风化岩的风化裂隙之中,其稳定水位埋深基本为3.05~3.17 m。岩溶水赋存于中风化岩的溶蚀裂隙和溶洞中,含水层无明确界限,其透水性主要取决于裂隙、溶洞发育程度、溶洞充填情况。基岩风化程度越高,裂隙充填程度就越大,渗透系数就越低。

2 基坑涌水险情及成因分析

2.1 基坑涌水概况

当中山公园站基坑开挖至第一道支撑以下6.0 m处时,在车站标准段岩溶分布区域基坑南侧31轴—39轴及北侧31轴—39轴区域内部沿基坑边2~3 m范围内,先后发生了6处较大规模涌水险情,导致基坑开挖无法正常施工,且使基坑周边构筑物变形量明显增大。经初步判断,基坑涌水同岩溶地下水渗流通道联通、地下连续墙渗漏及墙底绕流等因素有关。

为确保基坑顺利开挖,也为确保周边环境安全,特别是基坑北侧主要交通干道文昌桥的通行安全,利用坑内钻探法对岩溶分布范围进行补充勘探,并采用声呐探测法对基坑内涌水渗漏点附近区段的地下连续墙渗漏情况进行检测。

2.2 基坑渗漏的声呐探测

声波在渗流场中具有独特的传播特性:顺水流方向的声波传播速度较大,而逆水流方向的声波传播速度较小;若水流速度不同,即使传播路径相同,声波传播所需的时间也不相同。由此,通过声呐技术对地下水渗流速度场的探测,即可判定基坑开挖范围内的涌水点位置,以进一步分析发生涌水事故区段基坑地下连续墙及其墙底的绕流情况。

根据中山公园站基坑涌水险情的主要分布区域,可初步确定2个重点探测区域——车站标准段,以及3号线与预留的佛山地铁5号线交叉换乘节点段(以下简称“换乘节点段”)。共布设了19个声呐测孔,其中车站标准段布设了11个测孔(测孔编号为sn-c16、sn03—sn12),换乘节点段布设了8个测孔(测孔编号为sn13—sn20)。各测孔均埋设了管长为30 m、管径为80 mm的PVC(聚氯乙烯)管。将PVC管内注满水后,利用三维流速矢量声呐测量仪,对测孔内不同深度测点处的地下水三维渗流特性进行探测。由声呐探测数据可得,各测孔的渗流速度-测点深度曲线如图1所示。

由图1 a)可知,在车站标准段的sn-c16、sn04、sn07及sn09测孔不同深度处,存在地下水渗流速度突变现象,说明存在多处地下水渗漏通道。sn-c16测孔处的渗漏通道位于地表以下24 m处,其最大渗流速度为 1.80×10^{-3} cm/s,平均渗流速度为 1.39×10^{-4} cm/s。sn04和sn07测孔处渗漏通道的位置均位于地表以下约25 m处,但两者渗漏速度不相同,sn04测孔处渗漏通道的最大渗流速度为 1.98×10^{-3} cm/s,平均渗流速度为 1.46×10^{-4} cm/s;sn07测孔处渗漏通道的最大渗流速度为 2.69×10^{-3} cm/s,平均渗流速度为 1.67×10^{-4} cm/s。sn09测孔处渗漏通道位于地表以下约30 m处,其最大渗流速度为 3.56×10^{-3} cm/s,平均渗流速度为 1.23×10^{-4} cm/s。

同理,由图2 b)可知,在车站换乘节点段的sn17测孔处存在明显的渗漏通道。该渗漏通道位于地表以下30 m处,最大渗流速度为 2.17×10^{-3} cm/s,平均渗流速度为 1.03×10^{-4} cm/s。

为了直观呈现渗漏通道的空间位置,通过分析声呐探测原位测量数据,可得基坑声呐三维渗流场可视化成像和基坑声呐渗流三维流速等值线,形成基坑渗流场声呐探测成果,如图2所示。

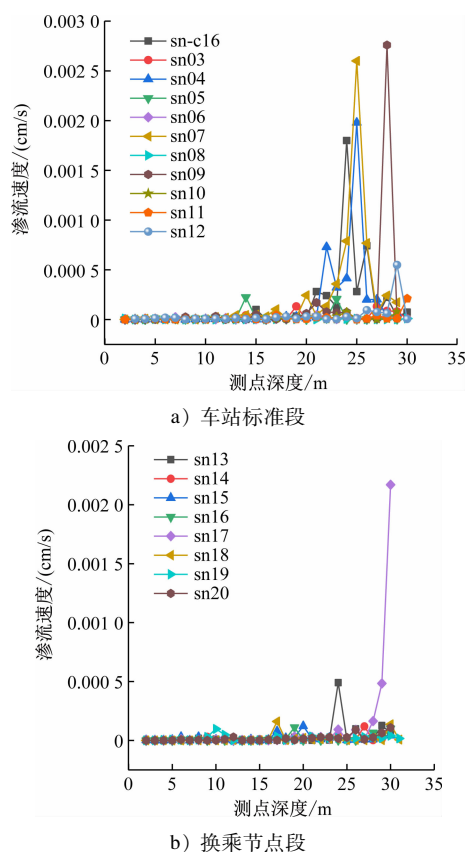


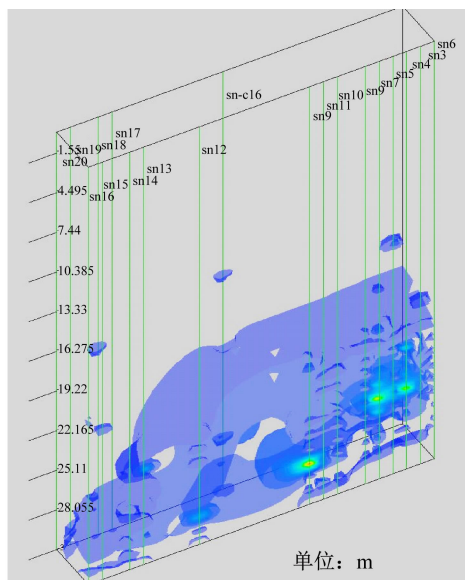
图1 各测孔的渗流速度-测点深度曲线
Fig. 1 Curves of seepage velocity and measuring point depth for each detection hole

由图2可清晰判定基坑渗漏通道的空间位置,进而推断其涌水原因:sn4、sn7及sn-c16测孔的渗漏通道位于地面以下24~25 m处,可推断此处为因地下连续墙施工质量问题而产生的涌水;sn9及sn17测孔处的渗漏通道位于地下连续墙底部,可推断此处应为地下连续墙底绕流或者墙底以下岩溶裂隙存在渗流通道所致。

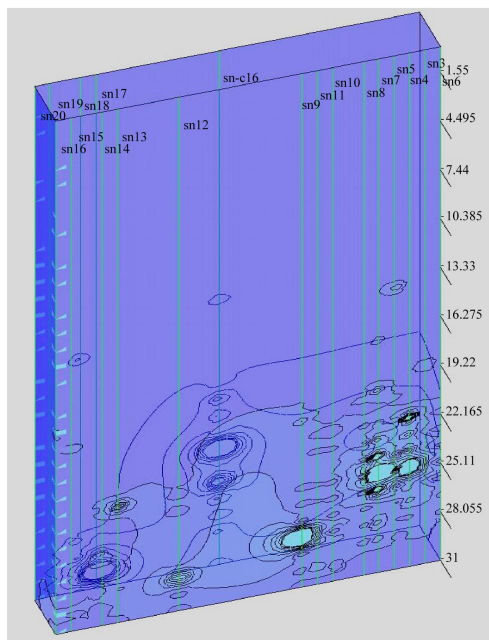
3 基坑涌水的综合治理

中山公园站基坑涌水事故呈多点散发特性,且存在基坑底部涌水、地下连续墙体渗漏及墙底绕流等多种形式。结合岩溶区域探水井回水试验可以判定,岩溶地段局部区域存在大量且复杂的地下水渗流通道。在此情况下,对于中山公园基坑内的岩溶分布区域及地下连续墙接头,仅采取单点注浆封堵等传统治理措施,不但无法有效解决涌水渗漏问题,还会影响整个基坑的施工进度及周边环境安全与稳定。

综合分析中山公园站地质构造与岩溶地下水



a) 基坑声呐渗流场三维成像



单位: m/s

b) 基坑声呐渗流三维流速等值线

图2 基坑渗流场声呐探测成果截图

Fig. 2 Screenshot of seepage field sonar detection results

赋存特性,经专家组多次咨询论证最终确定,对岩溶区段采用坑外后退式双液注浆止水帷幕+坑内咬合旋喷桩联合封堵方案(以下简称“联合止水封堵方案”)进行综合治理。

3.1 后退式双液注浆止水帷幕

为了阻断基坑内外因岩溶裂隙及承压水可能形成地下连续墙底绕流通道,在岩溶区域基坑外侧紧贴地下连续墙进行注浆,在基坑内外形成 U 字形的双液浆连续止水帷幕,如图 3 所示。注浆孔沿地

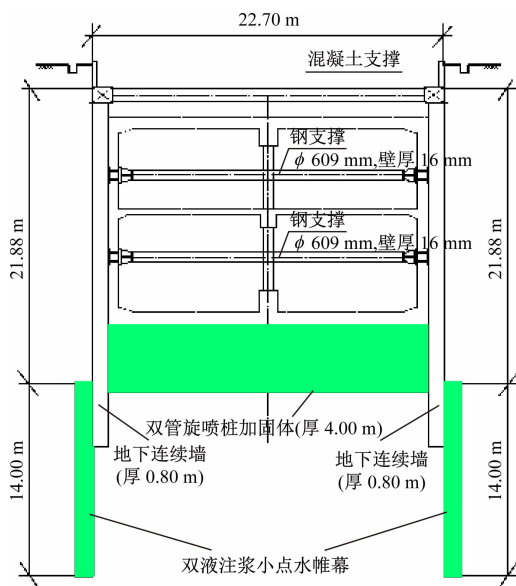


图3 双液注浆+旋喷桩联合封堵方案

Fig.3 Combined plugging scheme of double liquid grouting and rotary jet grouting pile

注浆采用后退式双液注浆工艺。注浆材料选用 PO42.5 普通硅酸盐水泥,以及波美度为 30 ~ 40 Be'、模数 $M = 2.8 \sim 3.1$ 的水玻璃原液。注浆压力控制在 0.2 ~ 0.6 MPa。

3.2 坑内咬合旋喷桩及封堵

由于基坑底部涌水点呈多点分散分布,地下水渗流路径复杂多变,故岩溶分布区域也存在不确定性风险。因此,对已圈定的岩溶边界范围内全部基坑底部采用 $\phi 600\text{ mm}@300\text{ mm}$ 双管高压旋喷咬合桩(以下简称“旋喷桩”)连续封底措施。

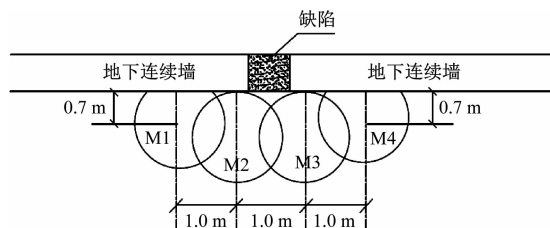
旋喷桩的实体桩端部在基坑底以下 4 m 范围内。旋喷桩浆液采用强度等级为 42.5 级普通硅酸盐水泥配制。根据现场试验确定,旋喷桩浆液水灰比为 1.0。

对于地下连续墙体(含接头)部位的渗漏点,采取 MJS(全方位高压喷射)桩进行局部封堵。在每一处地下连续墙渗漏点外侧施工 4 根 $\phi 2\ 400\ \text{mm}$ @ $1\ 000\ \text{mm}$ 的 MJS 桩作为止水封堵措施, MJS 桩桩平面布置如图 4 所示。

3.3 止水效果检验

为了检验岩溶区段基坑渗漏综合治理效果,以车站标准段渗漏风险较大,以及加固前地下水渗漏

速度和单位时间内渗流量较大的代表性测孔 sn04 和 sn07 作为研究对象。对比分析加固前后测孔的声呐检测数据,以检验综合止水封堵方案的治理效果。具体对比结果如图 5 所示。



注:MJS 桩施工顺序为 M1→M4→M2→M3,M2 与 M3 施工时间间隔须大于 24 h。

图 4 MJS 桩的平面布置图

Fig. 4 Plan of MJS piles

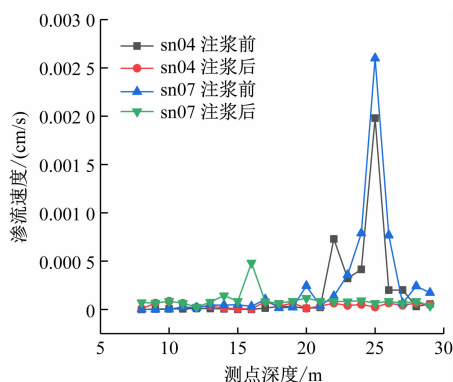


图 5 综合治理前后代表性测孔的渗流速度对比

Fig. 5 Comparison of seepage velocity of the typical detection hole before and after grouting reinforcement

由图 5 可知,采取止水封堵方案治理后,sn04、sn07 测孔处渗漏点的地下水渗流速度分别由注浆前的 $1.98 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 和 $2.60 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 下降至 $2.41 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 和 $6.41 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。这一结果表明,止水封堵方案较好地解决了岩溶区段深坑开挖涌水问题。

中山公园站基坑涌水的实际治理结果表明,综合止水封堵方案取得了预期的加固堵漏效果,有效解决了岩溶地段深基坑开挖大面积复杂涌水渗漏这一难题。

4 结语

本研究将声呐技术应用于复杂岩溶地层深基坑工程渗漏的探测中,通过获取地下水渗流场的空间成像图及其三维流速特征线图其特征数据,为准确定位地下水渗漏点的空间位置及其发生渗漏的

潜在原因提供可靠基础。与弹性波 CT 等传统物理探测手段相比,声呐探测技术具有更高的精确度,可为解决复杂地层地下工程渗漏探测难题提供可靠的技术手段。

中山公园站基坑涌水采用综合止水封堵方案进行治理,有效阻断了基坑内外岩溶裂隙承压水形成的墙底绕流通路。这为解决复杂地质条件下岩溶地层深基坑开挖涌水灾害问题提供了新思路。

与传统岩溶注浆处理措施相比,综合止水封堵方案能有效提高基坑开挖施工的安全性。此外,基坑外止水帷幕与基底满堂旋喷桩加固层共同形成了基底以上主体结构的包裹隔水层,从而提高了车站主体结构抗浮与抗渗性能,增强了中山公园站运营后的安全性与稳定性。

参考文献

- [1] 廖阳,张可能,张岳,等.富水岩溶地铁深基坑注浆止水机理及效果评价[J].工程勘察,2017,45(12):15.
LIAO Yang, ZHANG Keneng, ZHANG Yue, et al. Analysis on groundwater cut-off mechanism and grouting effect of deep Metro excavation in water-rich Karst area[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2017, 45(12): 15.
- [2] 金鲍,李俊才,江天玺,等.岩溶及断层破碎带地层基坑设计与坑底突涌治理[J].人民长江,2017,48(19):85.
JIN Bao, LI Juncai, JIANG Tianqian, et al. Study on optimization design and intruding control technology for deep-foundation pit in Karst and fault fracture zone[J]. Yangtze River, 2017, 48(19): 85.
- [3] 黄骥征,许烽霜,沈水龙.砂土覆盖岩溶地层基坑开挖引起地层变形分析[J].地下空间与工程学报,2017,13(6):1639.
HUANG Jizheng, XU Yeshuang, SHEN Shuilong. Strata deformation behaviors analysis caused by deep excavation of a metro station in sand covered Karst strata[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(6): 1639.
- [4] 郭书兰.无锡地铁某区段岩溶发育特征及围岩稳定性分析[D].南京:南京大学,2018.
GUO Shulan. Karst characteristics and surrounding rock stability analysis of A Karst development section in Wuxi metro[D]. Nanjing: Nanjing University, 2018.
- [5] 潘野,张亮,王位赢.地铁车站岩溶处理设计[J].都市轨道交通,2017,30(4):76.
PAN Ye, ZHANG Liang, WANG Weiyang. Method to solve Karst in subway station [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(4): 76.
- [6] 江杰,侯凯文,吕波,等.南宁地铁2号线暗挖隧道岩溶处理方案分析[J].城市轨道交通研究,2018,21(9):125.

(下转第 120 页)

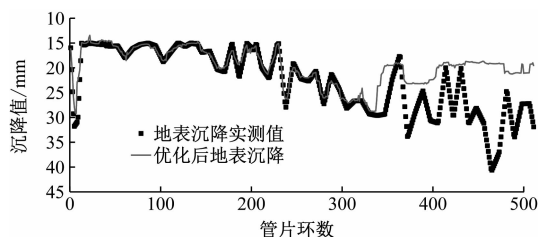


图5 地面沉降的实测值与优化后预测值对比

Fig.5 Comparison between the measured value and the predicted value of land subsidence optimization

4 结语

本文提出了一种基于区域地质信息的盾构掘进参数自适应调整与地面沉降控制方法,共包含两个阶段,预测模型构建阶段和施工阶段。模型 A 的最优算法为随机森林回归算法;在模型 B 中,刀盘转速、油缸总推力、螺旋机扭矩的调整优化应选取随机森林回归算法,掘进速度的调整优化应选取决策树回归算法。

从南京地铁 9 号线绿滨区间的应用效果来看,采用基于区域地质信息的盾构掘进参数自适应调整与地面沉降控制方法,对盾构掘进参数进行优化能有效控制地面沉降,效果良好。该方法可在类似项目中广泛应用。

参考文献

[1] 朱诚,王昭敏,隆锋,等. 基于 ABC-BP 神经网络的地铁盾构

地表沉降预测[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023, 51(4): 72.

ZHU Cheng, WANG Zhaomin, LONG Feng, et al. Prediction of ground settlement of subway shield based on ABC-BP neural network[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2023, 51(4): 72.

[2] Boubou R, Emeriault F, Kastner R. Prediction of surface settlements induced by TBM using Artificial Neural Networks method [M]// VIGGIANI G. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. London: CRC Press, 2012: 809.

[3] CHEN R, ZHANG P, WU H, et al. Prediction of shield tunneling-induced ground settlement using machine learning techniques [J]. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 2019, 13(6): 1363.

[4] CHEN R P, ZHANG P, KANG X, et al. Prediction of maximum surface settlement caused by earth pressure balance (EPB) shield tunneling with ANN methods[J]. Soils and Foundations, 2019, 59(2): 284.

[5] 刘益平,孙焯. 基床系数试验测试与取值方法比选[J]. 电力勘测设计, 2018(增刊1): 130.

LIU Yiping, SUN Zhuo. Comparison of test and evaluation methods of coefficient of subgrade reaction[J]. Electric Power Survey & Design, 2018(S1): 130.

· 收稿日期:2023-08-14 修回日期:2023-10-06 出版日期:2024-06-10

Received:2023-08-14 Revised:2023-10-06 Published:2024-06-10

· 作者:曹铁军,高级工程师,32754511@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 115 页)

JIANG Jie, HOU Kaiwen, LYU Bo, et al. Analysis of Karst treatment scheme in tunnel excavated on Nanning metro line 2 [J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(9): 125.

[7] 赵庚亮,张志龙,赵金鹏,等. 南宁地铁 4 号线岩溶发育特征及处治技术[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(31): 13552.

ZHAO Gengliang, ZHANG Zhilong, ZHAO Jinpeng, et al. Karst development characteristics and classification treatment technology of Nanning metro line 4 [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(31): 13552.

[8] 李慎奎,陶岚,吴圣贤. 武汉地铁工程中沙漏型岩溶注浆新技术探讨及实践[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(5): 187.

LI Shenkui, TAO Lan, WU Shengxian. Discussion and application of new grouting technology in hourglass-shaped Karst in Wuhan metro project [J]. Modern Tunnelling Technology, 2021, 58(5): 187.

[9] 李慧娟,金小刚,涂婧,等. 湖北武汉典型地区岩溶发育特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(4): 40.

LI Huijuan, JIN Xiaogang, TU Jing, et al. Analysis on characteristics of Karst development in Wuhan of Hubei Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(4): 40.

[10] 刘鹏瑞,刘长宪,姜超,等. 武汉市工程施工引发岩溶塌陷机理分析[J]. 中国岩溶, 2017, 36(6): 830.

LIU Pengrui, LIU Changxian, JIANG Chao, et al. Mechanism of Karst collapse caused by engineering construction in Wuhan City [J]. Carsologica Sinica, 2017, 36(6): 830.

· 收稿日期:2022-04-18 修回日期:2022-05-12 出版日期:2024-06-10

Received:2022-04-18 Revised:2022-05-12 Published:2024-06-10

· 第一作者:邱运军,高级工程师,276799508@qq.com

通信作者:王祥秋,教授,tongji_wxq@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license