

水平 MJS 加固施工对地铁车站的影响研究

苏晶昌, 高吉莉, 刘军

(杭州市勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要: 杭州市新建地铁7号线建设三路站—耕文路站区间隧道工程需下穿运营的地铁2号线建设三路站车站, 为保证盾构机顺利穿越车站, 需对洞内土体进行水平 MJS 施工。在水平 MJS 施工过程中, 对2号线车站采用自动化监测技术, 实时监测车站道床水平位移和竖向位移。根据监测数据总结出水平 MJS 施工期间对地铁车站的影响, 采用自动化监测解决特殊工况对地铁车站影响无法进行量化的难点。自动化实时监测不仅节省人力成本、降低劳动强度又能最大限度减少人为测量误差。由于水平 MJS 施工对车站的影响对比垂直 MJS 施工的影响实例较少, 因此一线施工实例及监测数据有利于总结原有车站变形规律, 推进相关技术研究。

关键词: 隧道工程; 水平 MJS; 自动化监测; 水平位移; 竖向位移; 地铁车站

中图分类号: TU753

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2023)S1-0112-06

Influence of horizontal MJS reinforcement construction on subway station

SU Jing-chang, GAO Ji-li, LIU Jun

(Hangzhou Geotechnical Engineering and Surveying Research Institute with Limited Liability, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

Abstract: The tunnel project from Jianshe Road Station to Gengwen Road Station of Hangzhou Metro Line 7 needs to pass through the station of Jianshe Road Station of Metro Line 2. In order to ensure the smooth passage of the shield machine through the station, it is necessary to carry out horizontal MJS construction on the soil inside the portal. In the process of horizontal MJS construction, automatic monitoring is needed for the station of Line 2 to monitor the horizontal displacement and vertical displacement of the track bed in real time. According to the monitoring data, the influence of horizontal MJS construction on the subway station is summarized, and the automatic monitoring is used to solve the difficulty that the influence of special working conditions on the subway station cannot be quantified. Automatic real-time monitoring can not only save labor cost, reduce labor intensity, but also minimize human measurement errors. Since the influence of horizontal MJS construction on the station is less than that of vertical MJS construction, the first-line construction examples and monitoring data are conducive to summarizing the deformation law of the original station and promoting related technical research.

Key words: tunnel project; horizontal MJS; automatic monitoring; horizontal displacement; vertical displacement; the subway station

0 引言

随着我国城市化快速发展, 为缓解城市范围内的交通运输压力, 地铁成为了主要的交通方式。城市地铁运营里程的快速增长不可避免出现大量邻近地铁隧道施工^[1], 在地铁施工时会对周边土体产生一定的影响, 尤其是在深基坑工程施工时可能会导致紧邻地铁结构发生过大变形而破坏^[2]。线路会

与原线路产生互相影响, 此时就需要在进行穿越施工前进行土体加固等, 不当的变形处理措施会对隧道施工的安全性和效率造成严重影响。因此常规采用 MJS 加固施工, 在加固施工期间需对原有轨道交通设施采用实时监测手段, 以确保 MJS 加固施工对原有轨道交通设施的影响可控。自动化实时监测不仅节省人力成本、降低劳动强度又能最大限度减少人为测量误差^[3]。由于水平 MJS 施工对车站的影响

对比垂直 MJS 施工的影响实例较少,因此一线施工实例及监测数据有利于总结原有车站变形规律,推进相关技术研究。

1 工程概况

项目位于萧山区建设三路与市心北路交叉口,沿建设三路东西向敷设,与 2 号线建设三路站呈“T”型换乘,见图 1。按施工顺序,拟建车站分成一期、二期和三期,二期待一期结构完成后开挖。7 号线建设三路站为地下 4 层站,尺寸为 158.0 m×22.5 m (长×宽),挖深 28.0~29.2 m,坑底处于淤泥质粉质黏土夹粉土层。车站顶板覆土 2.41~3.47 m,车站两端区间均采用盾构法施工,两端盾构工作井均为接收井。

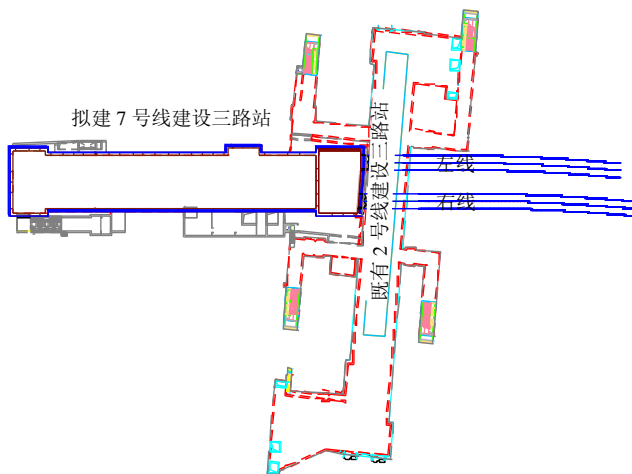


图 1 项目平面位置图

Fig. 1 Project plane location

一期为大里程端头井(邻既有车站侧),尺寸为 20.5 m×26.6 m (长×宽),挖深 29.2 m,距既有车站最近约 1.0 m。围护结构采用厚 1 200 mm 地连墙+地中壁+3 道混凝土撑(一、五、六)+5 道钢支撑+2 道钢临撑+1 道钢换撑+坑底满堂加固,地连墙底进入强风化砂砾岩不小于 3.0 m 或中风化层不小于 0.5 m,坑内设疏干井、观测井和备用井,坑外设应急井、控制性降水井和观测井。

二期为拟建建设三路站的标准段和小里程端头井,尺寸为 136.6 m×22.5 m (长×宽),挖深 27.0~28.5 m,距既有车站最近约 21.7 m。标准段围护结构采用厚 1 200 mm 地连墙+地中壁+3 道混凝土撑(一、五、六)+5 道钢支撑+坑底满堂加固,地连墙底进入强风化砂砾岩不小于 3.0 m 或中风化层不小于 0.5 m,坑内设疏干井、观测井兼备用井,坑外设应急井、控制性降水井和观测井。

三期为大里程端头井与既有车站结构间的基坑和结构,尺寸为 1.0 m×26.6 m (长×宽),挖深 8.9 m,与既有车站相接。利用两侧结构的地连墙,采用旋喷桩加固后垂直开挖。既有建设三路站做时左线未预留 7 号线下穿通道,盾构直接穿越可能性较小,故设置清障竖井冷冻加固后破墙,完成后竖井回填。清障井尺寸为 8.2 m×10.4 m (长×宽),挖深 28.8 m。围护结构采用厚 1 200 mm 地连墙+7 道混凝土撑+坑底满堂加固+混凝土环框梁,地连墙底进入中风化层不小于 1.0 m,坑内设降水井。

拟建 7 号线建设三路站—耕文路站区间隧道顶埋深约 20.7 m,线间距约 16.3 m。盾构隧道外径 6.2 m,内径 5.5 m,环宽 1.2 m,采用错缝拼装管片。7 号线大里程端头井采用冷冻加固后接收,其间下穿既有建设三路站,最小净距为 4.2 m,两者所夹土层为⑥₁淤泥质黏土夹粉土,涉及长度 25.4 m。

拟建 7 号线车站端头为接收端,盾构下穿既有运营 2 号线建设三路站拟采用水平 MJS 加固措施,此种在端头井加固技术施工设备体积小、机动灵活、效率高,具有在狭窄场地及隧道内施工方便、施工加固效果好、施工技术风险低等优点^[4],加固机械拟设置在建设三路站东端底板上,现设计底板标高放置加固机械无法满足加固厚 3 m 的要求。鉴于水平 MJS 加固涉及盾构下穿时 2 号线运营车站安全,为确保水平加固厚度,建设三路站涉及水平 MJS 加固区域的 1.2 m 厚度底板预留 0.6 m 后施工,并按要求设计复核该工况下基坑的安全性。

2 工程地质

拟建地下车站为地下 4 层岛式站,拟采用明挖法施工,车站底板底埋深约 27.44~29.20 m,地下车站主体基坑开挖及其影响范围内各岩土层主要为①填土、②₃₂砂质粉土、②₄砂质粉土、②₄₁砂质粉土、②₄₂粉砂、③₅粉砂夹砂质粉土、⑥₁淤泥质黏土夹粉土、⑥₂淤泥质粉质黏土夹粉土。基坑坑底主要为⑥₁淤泥质黏土夹粉土或⑥₂淤泥质粉质黏土夹粉土。开挖土层中②层及③层粉(砂)性土,力学性质一般,富含地下水,场地下部⑫层和⑭层砂砾土存在承压水,承压水头较高。

拟建 7 号线建设三路站—耕文路站区间隧道场地内填土分布较为不均,场地标高以下 1.0~3.0 m 为填土,其下依次为 10~14 m 的砂质粉土,10~15 m 的淤泥质粉质黏土,10 m 的粉细砂,余下为圆砾和凝灰岩。既有 2 号线建设三路站处于砂质粉

土中, 拟建7号线处于淤泥质黏土中。拟建7号线和2号线建设三路站最小净距为4.2 m, 所夹土层为淤泥质黏土, 下穿纵断面图见图2。

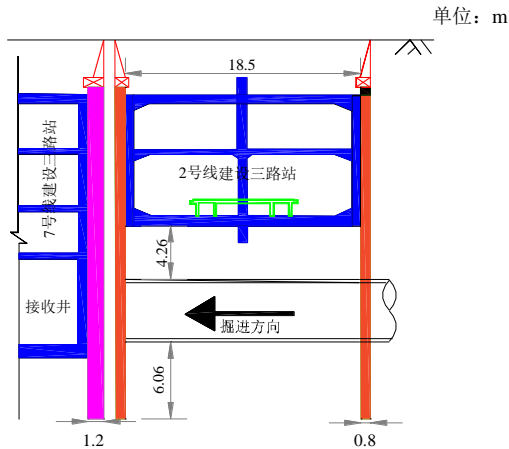


图2 下穿纵断面图

Fig. 2 Underpass vertical section

3 水平 MJS 施工概述

本次盾构接收端水平加固 MJS 桩设计为直径 2 400 mm、横向间距 1 700 mm、竖向间距 700 mm、水平 180°向下半圆喷射。从下到上逐层跳桩施工, 左线 70 根, 右线 65 根。技术参数: (1) 注浆压力不小于 40 MPa; (2) 空气流量 1~2 m³/min; (3) 气压力 0.7 MPa; (4) 地内压力设置系数 1.3~1.6 (视地质情况适当进行调节和控制); (5) 成桩水平度误差 不大于 1/100; (6) 水泥用量 1.65 t/m (半圆); (7) 回抽速度 20 min/m (半圆); (8) 浆液流量 85~100 L/min; (9) 浆液配比中, 水与水泥的质量比为 1:1^[5]。水平 MJS 桩位布置图见图 3。

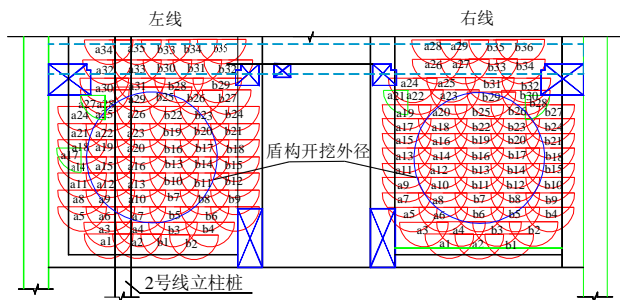


图3 水平 MJS 桩位布置图

Fig. 3 Horizontal MJS pile position

4 自动化监测方案及数据分析

4.1 自动化监测方案

紧邻地铁施工会引起地基地下水位和应力场

发生变化, 导致隧道结构发生位移, 一定的位移可认为是正常现象, 但如果位移过大将致使运营中的地铁隧道面临一定的安全威胁^[6]。为了确保本工程地下结构施工能顺利进行, 及关注项目施工期间“地铁2号建设三路站、建设三路站—振宁路站区间”是否受到影响, 及时获取施工过程中周边构筑物的变形信息, 以求事先掌握施工的影响情况, 为本工程顺利施工提供指导, 进行“信息化”施工。

本工程地铁隧道自动化监测项目包括: 道床竖向位移、隧道水平位移、隧道水平收敛和道床轨间高差, 车站竖向位移、车站水平位移和车站轨间高差。其中涉及水平 MJS 施工测项为车站竖向位移、车站水平位移。

根据相关要求及本项目特点, 对7号线车站开挖深度 0.7 倍区域部分及地铁7号线盾构隧道下穿2号线车站区域进行监测。车站部分既有2号线每3 m 布置一个监测断面, 其他 0.7 倍开挖深度至外延 50 m 范围区域每 6 m 布置一个监测断面, 外延 50 m 范围至 2.5 倍开挖深度区域每 12 m 布置一个监测断面, 隧道部分外延 50 m 范围至 2.5 倍开挖深度区域每 10 环 (12 m) 布置一个监测断面, 隧道与车站交接处各布置一个监测断面, 共 76 个断面。上下行线各 38 个断面, 分别用 S 表示上行线, X 表示下行线, 自动化监测平面布置图见图 4。

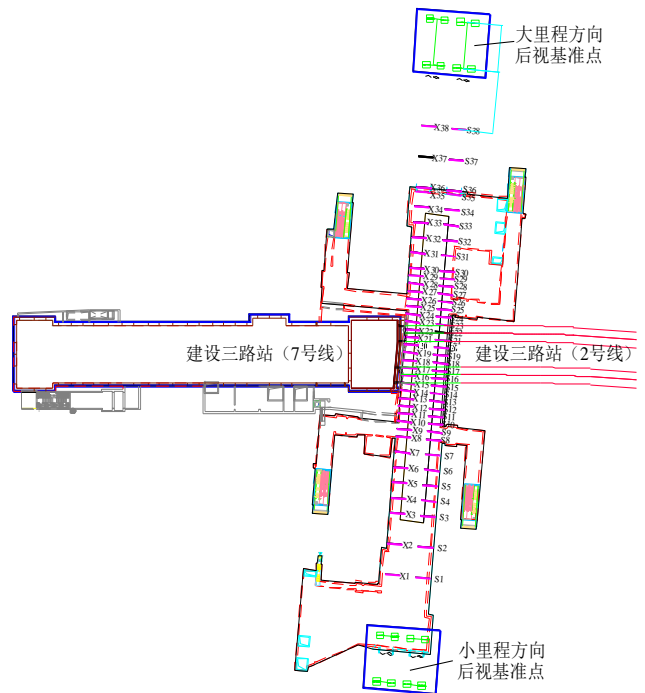


图4 自动化监测平面布置图

Fig. 4 Automatic monitoring plan

地铁隧道呈狭长的带状分布, 控制点常布设在变形区域外隧道两端稳定区域^[7]。基准控制点是整

个系统的原始基准,点位一定要布设在长期稳定可靠的地方,防止点位变形,并且周围没有大的干扰,防止点位被破坏,此外,整个监测网的网型必须科学,图形结构要合适。为保证监测有较高的精度,在地铁 2 号线上下行线分别布设 4 组基准点,每条隧道分别布设 8 点,2 组在变形区域 20 环以外的隧道大里程方向,2 组在变形区域 20 m 以外的车站小里程方向。布设多个工作基准点,用于测站点进行后方交会,每个监测周期开始前校正测站点坐标。

本工程监测区域全长约为 175.55 m (含往外延伸 50 m 范围并已覆盖至 2.5 倍基坑开挖深度)。根据隧道监测范围和通视情况,在 2 号线上下行监测区域各布置 1 台全站仪。为了保证监测精度,保证全站仪与基准点之间通视,本工程在 2 号线上下行车站各布置 1 台测量机器人全站仪。

隧道部分监测点安装在隧道的侧壁两侧和道床轨道两侧,一个断面共 4 点。车站部分监测点安装在车站道床轨道两侧,一个断面共 2 点。

监测棱镜沿全站仪视线方向错开,且镜面垂直于全站仪视线。具体监测棱镜的布置位置需经过现场安装测试,以解决小视场角的问题。

所有基准点与监测点布置应避开设备并满足限界要求,布置时须避开隧道内电线电缆、接触网等设施,并且监测点布置在工务推车等不易碰触的地方。

整个系统是采用无人值守的自动化变形监测系统。项目主要由 4 部分组成:测量机器人徕卡 TM50、自动监测软件 GeoMoS、控制点和变形监测点棱镜若干、现场 IT 设备。通过交会确定仪器的

三维坐标,监测点高程采用三角高程方式获得^[8]。GeoMoS 软件以其功能强大的监测器和分析器,与徕卡自动全站仪组成自动化测量系统,实现整个监测过程的全自动化^[9]。

自动监测系统从调试安装运行起,全天 24 h 连续监测,采用自由设站方式实时同步获取大量监测数据。采集一天的数据取平均作为初始值,后期数据与初始值进行对比,计算出每个测点的位移变量。另一端电源采用 220 V 直接供电加 UPS,保障现场不间断供电,通讯采用 GPRS 通讯,以便现场控制远距离监测。

数据处理模块是系统的核心,需将各测项的初始观测值、上次观测值及本次观测值导入数据监测报表中,通过提前在监测报表中的函数公式直接计算得出本次变化量和累计变化量^[10]。

4.2 数据分析

本项目水平 MJS 加固试桩施工根据施工时间划分为 3 个阶段,各阶段数据随时间变化曲线情况见图 5~8。图中水平位移正值表示向基坑内位移,负值表示远离基坑。竖向位移正值表示隆起,负值表示沉降。

阶段一:2020 年 4 月 29 日—2020 年 5 月 1 日水平 MJS 加固试桩(La1)施工完成。

阶段一分析:第一根水平 MJS 施工期间,2 号线车站上行线水平位移和沉降均变化较平稳,下行线水平位移变化平稳,沉降在施工时稍有所下沉,施工完成后隆起,该阶段总体沉降变化不大。分析原因该阶段施工作业影响范围有限,暂未对 2 号线车站产生明显影响。

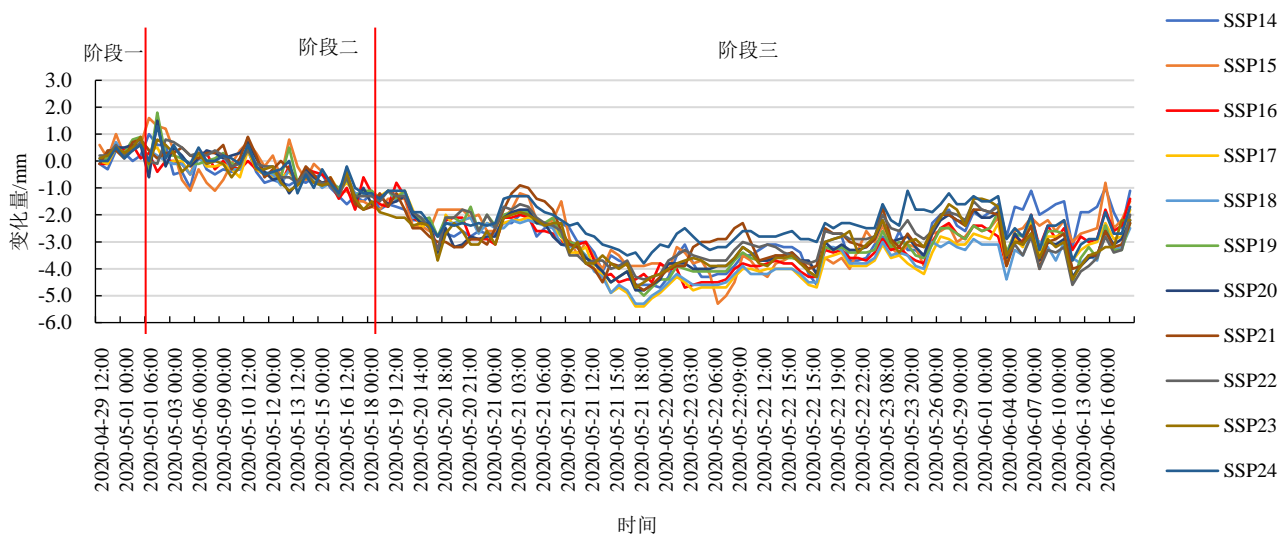


图 5 上行线典型监测点 SSP14-SSP24 水平位移随时间变化曲线图

Fig. 5 Time varying curve of horizontal displacement at typical monitoring points SSP14-SSP24 with time on the upbound line

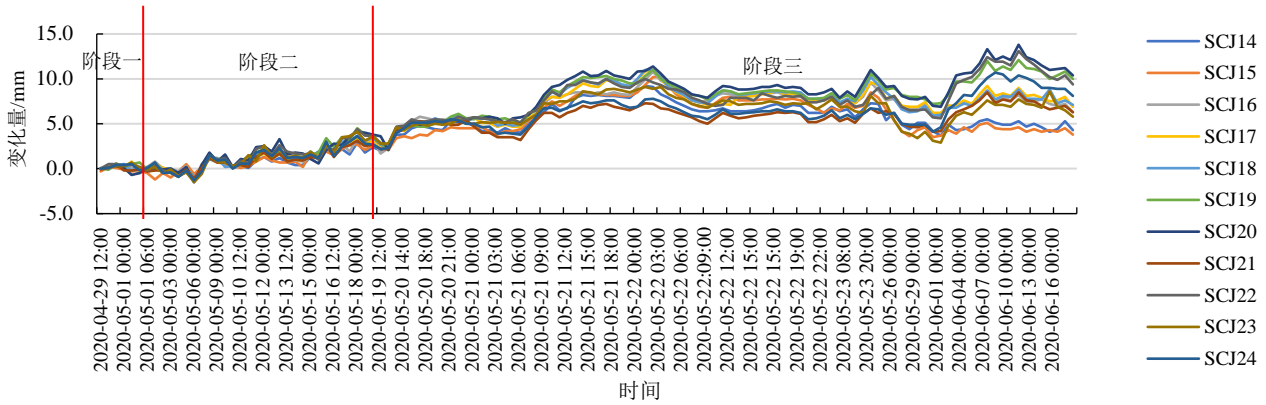


图 6 上行线典型监测点 SCJ14-SCJ24 竖向位移随时间变化曲线图

Fig. 6 Time varying curve of vertical displacement at typical monitoring points SCJ14-SCJ24 with time on the upbound line

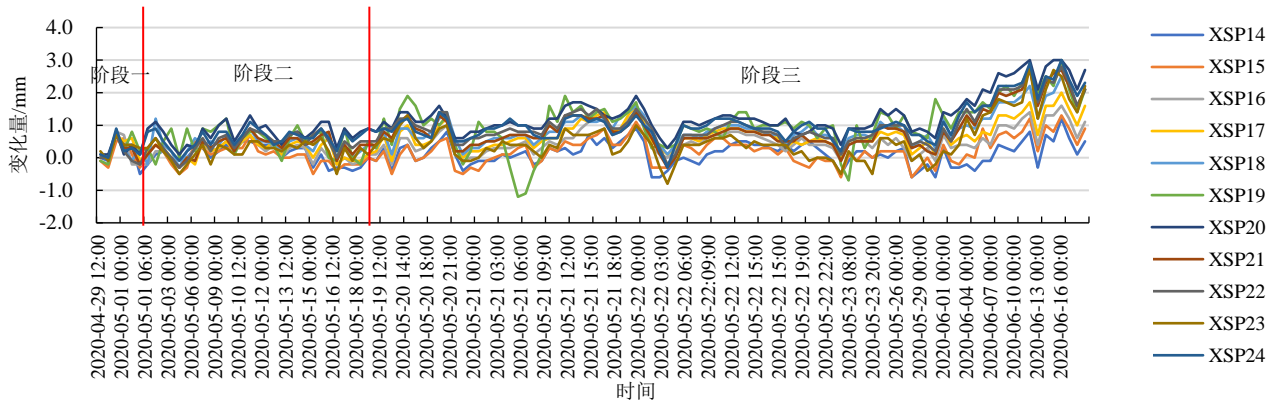


图 7 下行线典型监测点 XSP14-XSP24 水平位移随时间变化曲线图

Fig. 7 Time varying curve of horizontal displacement at typical monitoring points XSP14-XSP24 with time on the downbound line

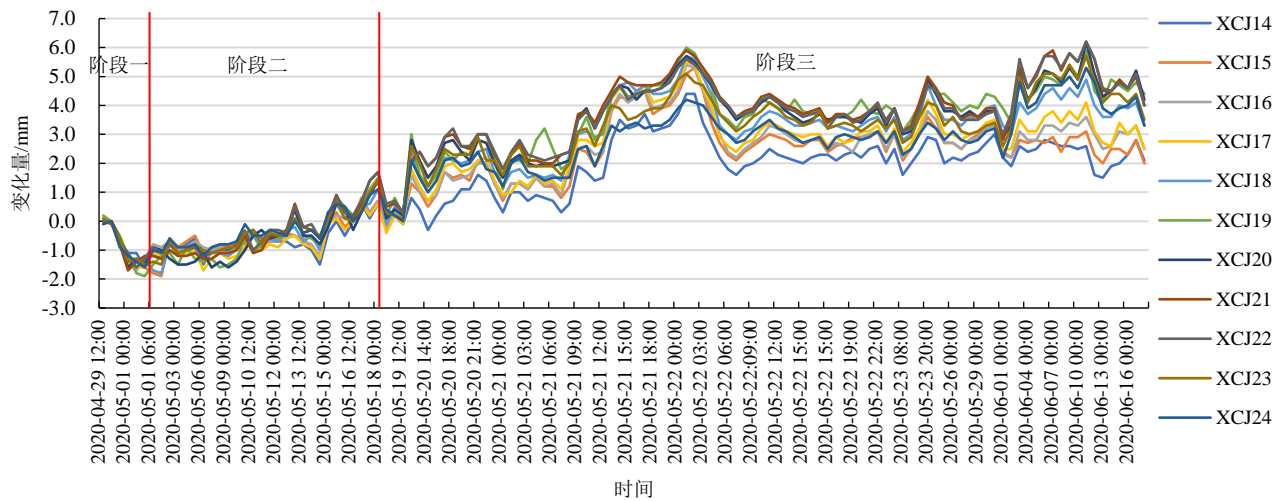


图 8 下行线典型监测点 XCJ14-XCJ24 竖向位移随时间变化曲线图

Fig. 8 Time varying curve of vertical displacement at typical monitoring points XCJ14-XCJ24 with time on the downbound line

阶段二：2020年5月1日—2020年5月18日左洞和右洞第一排水平MJS加固施工完成。

阶段二分析：左右洞底部第一排水平MJS施工完成阶段数据显示，施工过程中，2号线车站上行线水平位移在缓慢往远离基坑方向变化，沉降也随时间变化隆起较明显。下行线水平位移朝基坑方向

有少量位移，但总体该阶段变化平稳，下行线沉降在该施工阶段前期隆起变化较缓慢且变化量不大，2020年5月15日后有明显隆起现象，并与上行线沉降隆起趋势相一致。分析原因为随着多根MJS同时施工，对2号线车站底部土体产生影响，且各个时间段施工时对原有车站底板产生的压力也不一

样,综合影响下使原有车站产生隆起,待施工停止、压力重新平衡、车站下沉又趋于稳定后,该阶段最终是使原有车站上下行均产生了一个隆起效果,但隆起的变化量是上行线较多。

阶段三:2020年5月18日—2020年6月17日剩余水平 MJS 加固施工完成。

阶段三分析:剩余水平 MJS 加固施工阶段中,2020年5月21日之后上行沉降和下行沉降有明显隆起变化情况,上行水平位移朝基坑外变化也较明显,下行水平位移朝基坑方向有少量位移。持续到2020年5月22日之后,数据显示上下行沉降数据开始下沉,上行水平位移朝基坑方向少量位移,下行水平位移有少量往基坑外移动。随后各项监测数据趋于稳定,直到2020年5月23日上下行线沉降开始隆起,上行线水平位移朝坑外变化,下行线水平位移基本无变化。持续到2020年5月23日晚数据开始来回变化直到2020年5月24日之后各项监测数据趋于稳定。2020年5月26日—2020年5月30日水平 MJS 停工期间各监测点数据变化稳定,波动基本在 $\pm 1\text{ mm}$ 之内,在该阶段内地铁2号线车站处于稳定状态,随后随着水平 MJS 继续施工,上下行水平位移及沉降都有所变化,直至2020年6月17日全部施工完成后趋于稳定。

截至2020年6月23日数据显示水平 MJS 施工已经对既有2号线建设三路站车站产生一定影响。由于既有2号线底板与原有地下连续墙形成一个相对密闭环境,水平 MJS 施工在此密闭环境中不断进行注浆使其内部压力增大,对两侧原有地下连续墙产生侧向压力,对底板产生向上压力,导致上行线水平位移朝远离基坑方向位移最大量为 3.1 mm ,下行线水平位移朝基坑方向位移最大量为 3.9 mm ;上行线竖向位移呈隆起趋势,最大隆起量为 11.7 mm ,下行线竖向位移呈隆起趋势,最大隆起量为 5.8 mm 。

5 结 论

本项目为杭州地铁首个在车站底部进行水平 MJS 加固施工的项目,结合已经成熟的自动化监测系统,为水平 MJS 的施工参数优化和技术提升提供数据支持,为保障既有地铁站的安全提供实时数据反馈。

(1)在采用自动化监测系统时充分根据施工情况进行测点布设,保证完全覆盖可能影响的监测

区域,对正影响区域进行合理加密布设。监测系统设置的监测频率可以根据施工工况进行频率调整,以保证数据传输的实时性。

(2)因为本次水平 MJS 施工位于原有2号线建设三路站车站底部,两侧又有既有车站地下连续墙作为阻挡,施工时随着压力的提升将会对原有车站底板及原有连续墙产生作用压力,从而导致原有车站底板产生较大隆起变形且上下行存在差异沉降,虽对原地下连续墙产生一定影响,但还在可控范围内。

(3)水平 MJS 施工过程中应根据实时监测数据及时调整施工参数,确保在不对原有车站产生较大影响的前提下完成作业。可根据数据反应的变形情况及时调整左右洞跳打顺序及注浆压力,控制车站不均匀沉降变形和水平位移。

参考文献

- [1] 于涛. 软土地区深基坑施工对邻近地铁隧道的影响[J]. 地基处理, 2021, 3(5): 427-432.
YU Tao. Influence of deep foundation pit construction on adjacent subway tunnels in soft soil[J]. Journal of Ground Improvement, 2021, 3(5): 427-432.
- [2] 褚峰. 软土深基坑开挖对邻近地铁结构的影响规律分析[J]. 建筑工程, 2020, 42(5): 848-850, 853.
CHU Feng. Analysis of influence rule of excavation of deep foundation pit in soft soil on adjacent subway structure[J]. Building Construction, 2020, 42(5): 848-850, 853.
- [3] 张明栋, 张明智. 紧邻深基坑的地铁结构变形监测体系的建立和工程应用[J]. 城市勘测, 2016(6): 131-134.
ZHANG Ming-dong, ZHANG Ming-zhi. Construction and engineering application of subway structure deformation monitoring system for deep foundation pit[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2016(6): 131-134.
- [4] 余圣骥. 水平 MJS 工法旁通道加固施工方法研究[J]. 山西建筑, 2021, 47(17): 79-81.
YU Sheng-ji. Research on the horizontal MJS reinforcement method in the construction of the metro connected aisle[J]. Shanxi Architecture, 2021, 47(17): 79-81.
- [5] 马敬豹. 水平 MJS 工法在超深扰动土体洞口加固中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2022(9): 169-172.

(下接第 137 页)