

# 新建地铁隧道下穿既有地铁隧道的影响研究

程良水<sup>1</sup>, 葛金明<sup>2</sup>

(1. 杭州市勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012; 2. 杭州地铁运营有限公司, 浙江 杭州 310020)

**摘要:** 近些年城市地铁线路大量增多, 各线路之间难免会存在相互穿插。地铁下穿对上部既有隧道会产生较大影响, 会引起上部既有隧道的变形。本文以杭州地铁 3 号线武林门站—武林广场站区间隧道下穿 2 号线武林门站—沈塘桥站区间隧道工程地铁保护监测项目为实例, 对上部既有 2 号线地铁隧道进行了实时监测, 对监测数据进行分析, 掌握该隧道的变形情况。论文通过工程概况、地质概况、对上部隧道施工实时监测的技术方法以及监测数据等, 对新建地铁隧道下穿既有隧道的影响进行了研究与分析, 可以为类似工程提供一些参考。

**关键词:** 地铁隧道; 下穿; 变形; 实时监测; 影响; 数据分析

中图分类号: TU231

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2023)S1-0105-07

## Influence of the new subway tunnel passing under the existing subway tunnel

CHENG Liang-shui<sup>1</sup>, GE Jin-ming<sup>2</sup>

(1. Hangzhou Geotechnical Engineering and Surveying Research Institute with Limited Liability, Hangzhou 310012, Zhejiang, China;

2. Hangzhou Metro Operation Co., Ltd., Hangzhou 310020, Zhejiang, China)

**Abstract:** In recent years there are many metro lines in the city, and there will be interaction between them. Subway underrunning will have a great impact on the existing upper tunnel, which will cause the deformation of the existing upper tunnel. This paper takes the subway protection monitoring project of the tunnel project of Wulinmen Station - Wulin Square Station of Hangzhou Metro Line 3 and Line 2, as an example. Real-time monitoring was carried out on the existing upper Line 2 subway tunnel, and data analysis was carried out to master the deformation of the tunnel. The general situation of the project and the geological situation, the real-time monitoring technology and methods, together with the monitoring data quality improvement strategy were combined to study the significant impact of the project on the construction of the upper tunnel. It is hoped that this research and analysis can provide reference for similar engineering projects.

**Key words:** subway tunnel; underrunning; deformation; real-time monitoring; influence; data analysis

## 0 引言

由于各大城市交通情况日渐严峻, 地面交通拥堵严重, 为缓解地面交通压力, 近些年城市地铁建设突飞猛进, 尤其一二线大城市, 地铁线路繁多, 纵横交错, 相互穿插, 后建隧道对已有隧道会产生较大影响, 尤其后建隧道下穿已有隧道存在较大风险, 对已有地铁隧道的安全状况有较大威胁, 因此需对已有隧道进行实时监测, 保障地铁安全运营。

## 1 工程概况

杭州地铁 3 号线武林门站—武林广场站区间为

单圆盾构区间, 本区间隧道为盾构法圆形隧道错缝拼装管片结构形式, 管片环宽 1.20 m, 外径 6.20 m, 内径 5.50 m, 壁厚 0.35 m。始发端线间距 16.70 m, 隧道设计里程为右线 K28+502.885~K29+248.61, 右线全长为 745.725 m, 左线为 K28+504.325~K29+231.433, 设一长链 18.372 m, 左线全长为 746.480 m, 埋深 20.000~22.870 m。盾构由武林门站始发, 沿体育场路下方敷设, 于武林广场站结束。

杭州地铁 3 号线武林门站—武林广场站区间隧道下穿既有地铁 2 号线武林门站—沈塘桥站区间, 其中左线为出 3 号线武林门站后 22 m (出加固区 10 m), 于第 18~24 环先下穿 2 号线上行线, 再于第 32~38 环下穿 2 号线下行线, 下穿角度为 81°,

右线为出3号线武林门站后18m(出加固区9m),于第15~21环下穿2号线上行线,再于第28~35环下穿2号线下行线,下穿角度为80°。3号线埋深为19.1m,与2号线最小垂直间距为3.6m。

下穿位置距运营2号线武林门站端头最近处为5.5m,2号线区间结构形式同样为盾构法圆形隧道错缝拼装管片,管片环宽1200mm,外径6200mm,内径5500mm,壁厚350mm,3号线左右线间距为16m。

3号线盾构穿越段所处地层为⑥<sub>1</sub>淤泥质黏土,既有2号线上部(1.2m)处于④<sub>1</sub>淤泥质黏土,下部(5m)处于④<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土,两区间间地层主要为④<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土。位置关系图见图1~2。

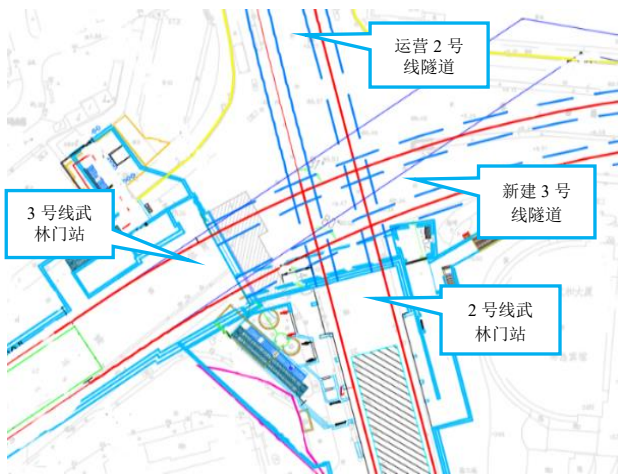


图1 区间平面位置关系图

Fig. 1 Layout of relative positions

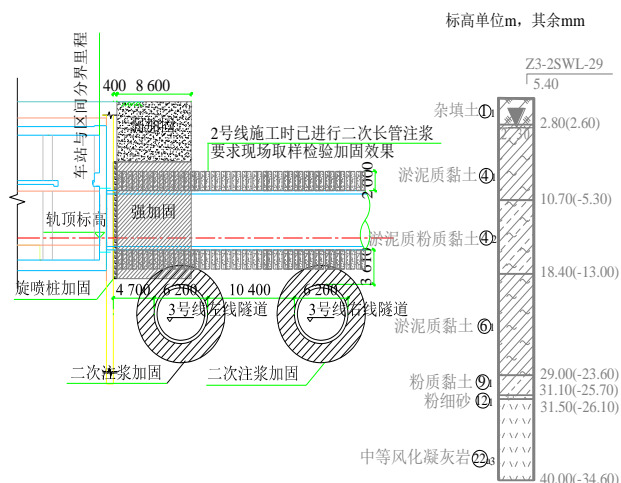


图2 区间剖面位置关系图

Fig. 2 Profile of relative positions

## 2 工程重难点分析

盾构掘进过程中隧道周围地层应力不断发生

变化,从而造成周围土体产生变形和破坏。随着隧道的不断掘进,所影响的范围也不断扩大,最终传递到地面影响既有线结构及轨道。若下穿既有隧道过程中未按设计要求严格控制沉降值及变形量,将会影响列车运营安全。

(1)本项目穿越距离极近,3号线隧道与既有2号线隧道最小垂直间距为3.6m。穿越过程中对既有2号线有较大威胁,严格控制盾构施工参数,包括土仓压力、出土量、推进速度等,保证盾构机匀速正常推进,禁止出现下穿段盾构停机现象,为减少盾构推进对既有线影响时间,在确保推进速度最大化的前提下采取快速完成管片拼装的方式来减少盾构停机的时间,快速通过该影响区段。

(2)下穿位置地层土体为淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土,土质较差,该土质扰动后较难稳定,沉降等变形反应明显。

(3)既有2号线运营对盾构掘进的监测控制要求更高。在杭州地铁3号线武林门站—武林广场站区间盾构掘进过程中,既有地铁2号线采用的是自动化监测加人工复核的模式,但是自动化系统反馈的数据在时间上有滞后性,实际土压的控制必然会与理论设计值存在一定的偏差。故盾构掘进的参数控制要有超前性,要合理地选择盾构机的掘进参数,避免推力过大、出土量过多等对地表沉降产生不良后果。严格控制出土量,注浆量需同步,二次注浆需及时,注浆会对既有隧道产生较大影响<sup>[1]</sup>。

## 3 监测方法及实施方案

### 3.1 自动化监测技术

本工程地铁隧道采用自动化监测手段对地铁变形进行实时监测,在既有2号线武林门站—沈塘桥站区间隧道内采用徕卡 GeoMoS 自动化监测系统,该系统具有自动控制及变形数据分析功能,可以自动完成测量周期、实时显示变形趋势、实时评价测量成果<sup>[2]</sup>,是一款非常理想的自动化监测系统,整个自动化变形监测系统主要由4部分组成:(1)测量机器人徕卡 TM50;(2)自动监测软件 GeoMoS;(3)控制点和变形监测点棱镜若干;(4)现场 IT 设备等。监测系统如图3所示。自动监测系统从调试安装到运行,全天24h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1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<sup>[3-4]</sup>。主要对道床竖向位移、道床水平位移、隧道水平收敛进行实时监测,

每 20 min 出具 1 次报表, 采取 24 h 值班制度, 并且每日采用人工测量对自动化数据进行复核, 确保数据的准确性。



图 3 监测系统组成图

Fig. 3 Composition of monitoring system

### 3.2 监测设备安装布设

#### (1) 基准点布设

全站仪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, 最后整个监测网的观测站和基准点要经过测量平差处理。

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。

#### (2) 监测机器人徕卡 TM50 全站仪 (测站) 布设

根据隧道监测范围和通视情况, 在既有 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必须要通视的条件, 本工程在 2 号线上下行隧道(里程约为 K24+746.933 处) 各布置一台测量机器人全站仪, 全站仪技术参数指标见表 1。

表 1 全站仪技术参数

Table 1 Technical parameters of total station

型号	徕卡 TM50 0.5" 全站仪
测角精度	0.5"
测距精度	0.6 mm+1 ppm
单次测量时间	2~3 s
最大旋转角速度	180°/s
数据记录	SD 卡/RS232 输出
望远镜放大倍率	30
电源	锂电池, 可充电/外接电源
监测配件	圆棱镜、L 型棱镜

#### (3) 监测点布设

车站部分监测点安装在车站道床轨道两侧, 一个断面共 2 个点。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 个点。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。自动化监测点布设见图 4。图 4 中 2X 表示 2 号线下行, 2S 表示 2 号线上行, 3Z 表示 3 号线左线, 3Y 表示 3 号线右线。

人工复核监测点使用地铁运营单位布设的长期运营监测点。

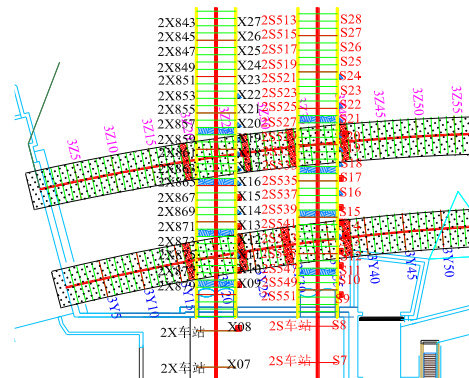


图 4 自动化监测点布设图

Fig. 4 Layout of automatic monitoring points

### 3.3 自动化监测数据分析处理

系统经过一段时间的运行, 通过 GeoMoS 全站仪变形监测软件生成这段时间的监测点的位移表, 当监测点出现超限情况, 系统会自动以短消息或者电邮形式发送报警信息。

通过全站仪测得第  $i$  个断面  $SP_i$  在  $K_1, K_2$  期间的三维坐标  $SP_i(XK_1, YK_1, ZK_1), SP_i(XK_2, YK_2, ZK_2)$ , 则变量  $DESP_i(K_1, K_2) = EK_1 - EK_2$ 。X、Y 为水平方向, Z 为垂直方向。全站仪测量原理见图 5。

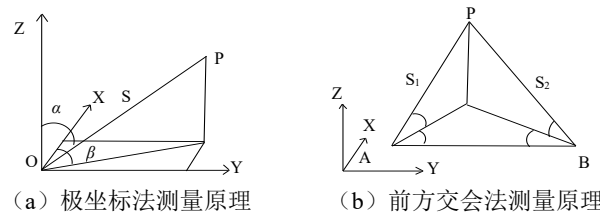


图 5 全站仪测量原理图

Fig. 5 Measuring principle of total station

### 3.4 人工复核测试方法

每日对道床竖向位移以及隧道收敛进行人工复核, 竖向位移使用电子水准仪进行二等测量, 隧道收敛使用测距仪进行测量, 对测量数据使用办公软件进行处理分析。监测点变量曲线见图 6。图 6 中红、黄分别代表 X、Z 方向, 蓝色为趋势线。

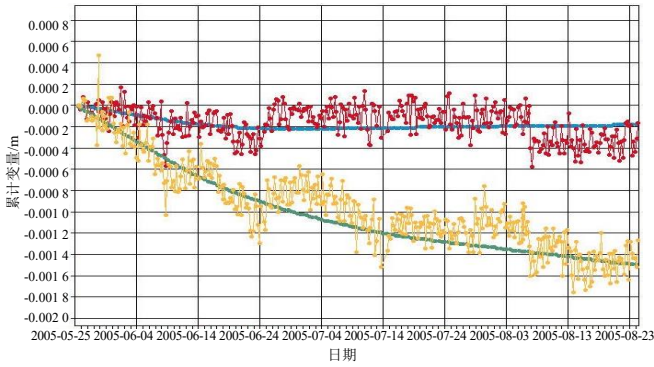


图6 监测点变量曲线图

Fig. 6 Variable curve of monitoring points

### 4 监测数据成果分析

本次穿越为左右线分开穿越, 2021年4月30日—2021年5月17日为右线穿越, 2021年6月8

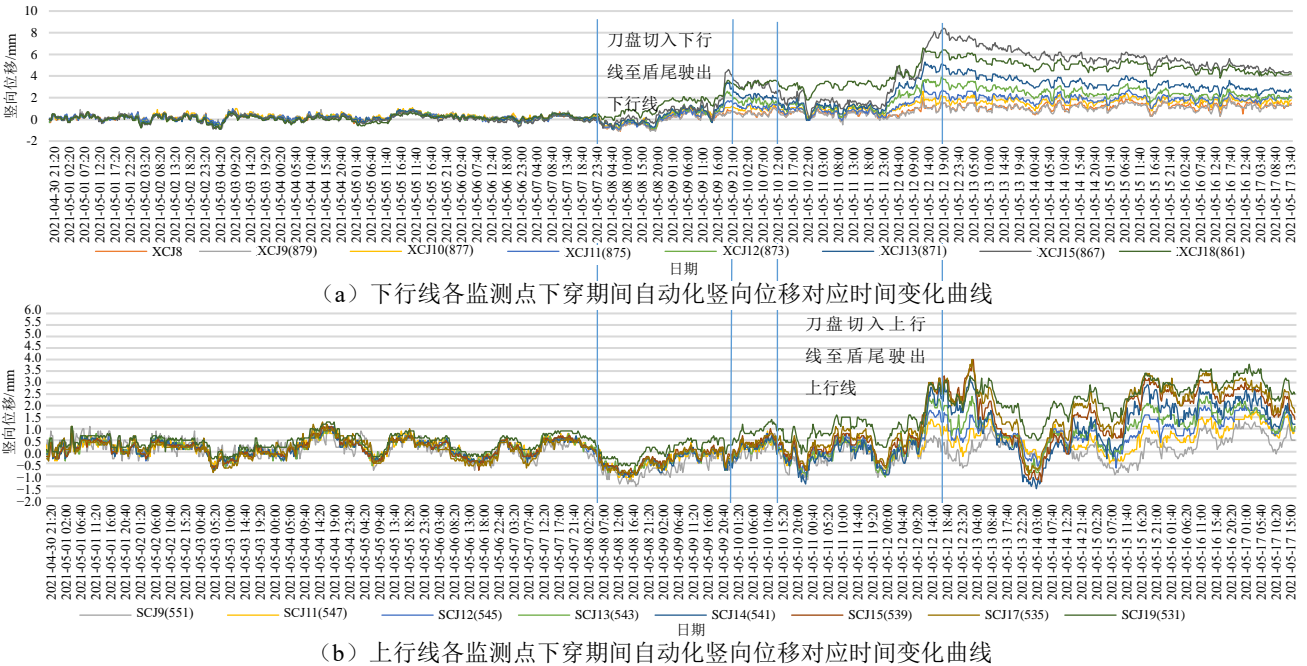


图7 右线穿越期间自动化竖向位移随时间变化曲线图

Fig. 7 Curve of automatic vertical displacement changing with time during right line crossing

#### 4.2 右线穿越期间自动化水平位移

由监测成果显示, 既有地铁2号线隧道内自动化监测上行线水平位移观测点累计变化最大点为SSP9(551), 2021年4月29日—2021年5月18日, 该点累计变化量为0 mm, 其余各点累计量为-1.1~0 mm。既有地铁3号线洞内自动化监测下行线水平位移观测点累计变化最大点为XSP18(861), 2021年4月29日—2021年5月18日, 该点累计变化量为-3.6 mm, 其余各点位移为-3.6~-0.5 mm。综合以上监测数据可知, 杭州地铁3号线武林门站—武林广场站区间下穿既有地铁2号线使既有隧道往3号

日—2021年6月24日为左线穿越。

#### 4.1 右线穿越期间自动化竖向位移

由监测成果显示, 既有地铁2号线隧道内自动化监测上行线竖向位移观测点累计变化最大点为SCJ19(531), 2021年4月29日—2021年5月18日, 该点累计沉降2.5 mm, 其余各点沉降量为0.9~2.5 mm。既有地铁3号线洞内自动化监测下行线竖向位移观测点累计变化最大点为XCJ15(867), 2021年4月29日—2021年5月18日, 该点累计沉降4.3 mm, 其余各点沉降量为1.3~4.3 mm。综合以上监测数据可知, 杭州地铁3号线下穿既有地铁2号线, 刀盘切入既有地铁2号线下方时, 土体损失, 先发生下沉, 盾构推进中同步注浆跟上, 沉降趋于稳定, 二次注浆使隧道上抬<sup>[5-7]</sup>。右线穿越期间自动化竖向位移随时间变化曲线如图7所示。

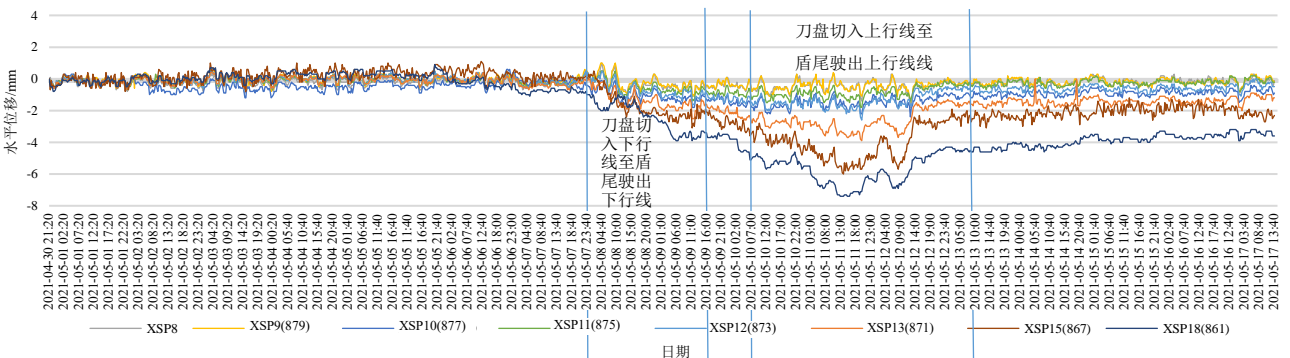
线隧道偏移。右线穿越期间自动化水平位移随时间变化曲线如图8所示。

#### 4.3 左线穿越期间自动化竖向位移

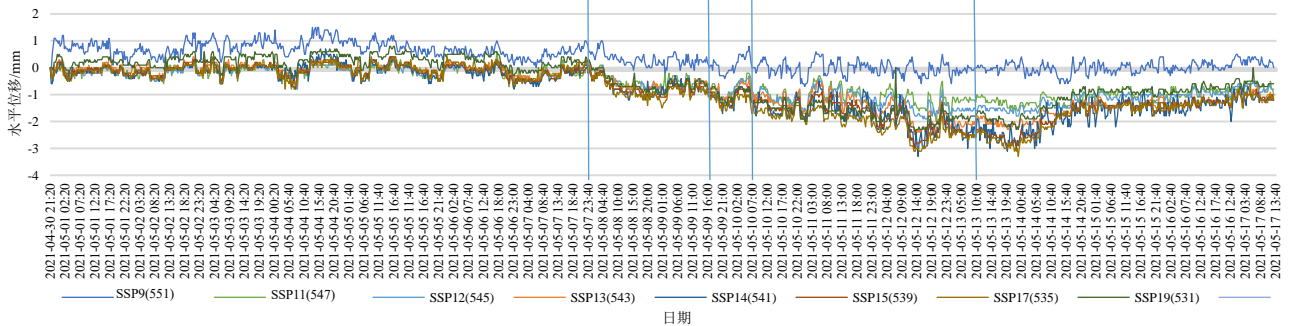
由监测成果显示, 既有地铁2号线隧道内自动化监测上行线竖向位移观测点累计变化最大点为SCJ24(523), 2021年6月8日—2021年6月24日, 该点累计沉降量为1.5 mm, 其余各点沉降量为0.9~1.5 mm。既有地铁3号线洞内自动化监测下行线竖向位移观测点累计变化最大点为XCJ22(853), 2021年6月8日—2021年6月24日, 该点累计沉降量为2.0 mm, 其余各点沉降量为0.5~2.0 mm。

综合以上监测数据可知, 杭州地铁 3 号线武林门站—武林广场站区间下穿既有地铁 2 号线, 刀盘切入既有地铁 2 号线下方时, 土体损失, 先发生少量

下沉, 进行同步注浆与二次注浆, 隧道上抬较大, 后注浆停止, 沉降回落较大。左线穿越期间自动化竖向位移随时间变化曲线如图 9 所示。



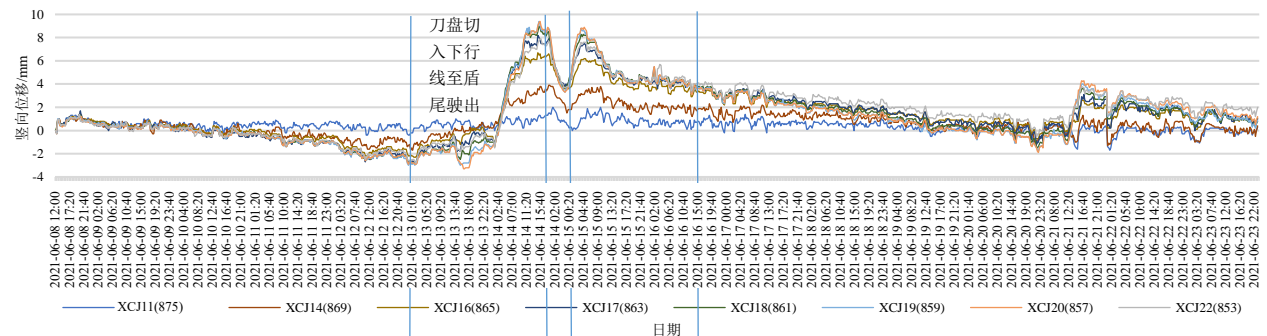
(a) 下行线各监测点自动化水平位移对应时间变化曲线



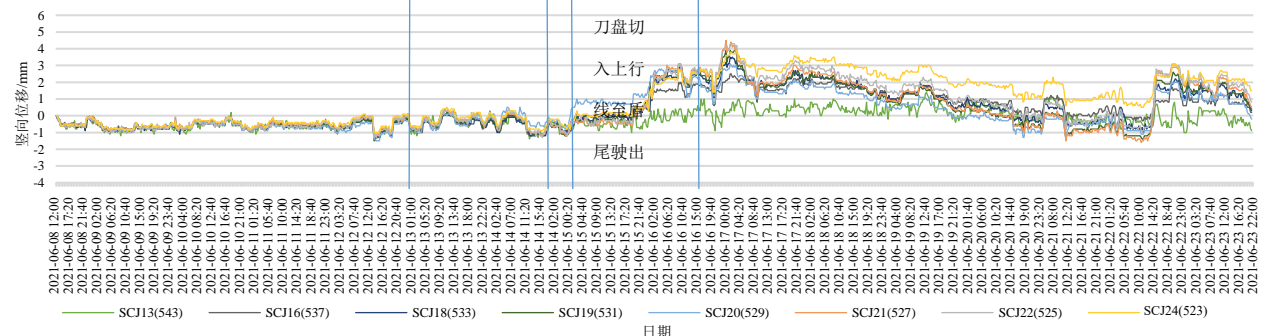
(b) 上行线各监测点自动化水平位移对应时间变化曲线

图 8 右线穿越期间自动化水平位移随时间变化曲线图

Fig. 8 Curve of automatic horizontal displacement changing with time during right line crossing



(a) 下行线各监测点自动化竖向位移对应时间变化曲线



(b) 上行线各监测点自动化竖向位移对应时间变化曲线

图 9 左线穿越期间自动化竖向位移随时间变化曲线图

Fig. 9 Curve of automatic vertical displacement changing with time during left line crossing

#### 4.4 左线穿越期间自动化水平位移

由监测成果显示,既有地铁2号线隧道内自动化监测上行线水平位移观测点累计变化最大点为SSP20(529),2021年6月8日—2021年6月24日,该点累计变化量为0.9 mm,其余各点累计量为-0.1~0.9 mm。既有地铁3号线洞内自动化监测下行线水平位移观测点累计变化最大点为

XSP22(853),2021年6月8日—2021年6月24日,该点累计变化量为0.5 mm,其余各点沉降量为-0.5~0.5 mm。综合以上监测数据可知,杭州地铁3号线武林门站—武林广场站区间下穿既有地铁2号线使既有隧道往3号线隧道偏移,后盾尾通过后反方向反弹回去。左线穿越期间自动化水平位移随时间变化曲线图如图10所示。

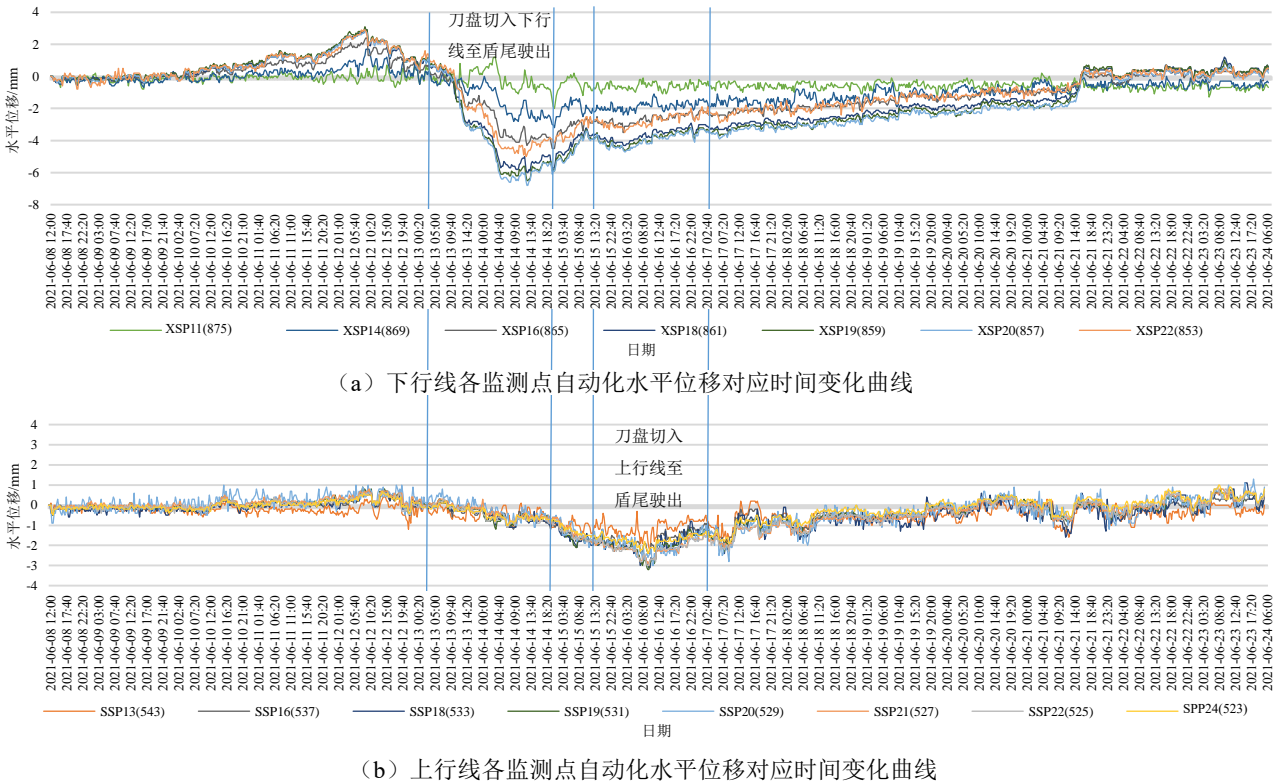


图10 左线穿越期间自动化水平位移随时间变化曲线图

Fig. 10 Curve of automatic horizontal displacement changing with time during left line crossing

## 5 结论

新建隧道下穿对既有隧道会产生较大影响,盾构刀盘切入上部既有隧道下方后使上部既有隧道下方土方流失导致既有隧道产生沉降,随着盾构前进同步注浆的位置会产生较大上抬,盾尾驶出后注浆停止,会产生沉降,直至趋于稳定,但往往由于下部地质条件较差,尤其是淤泥质土层,后期会持续产生沉降,因此需进行二次注浆,稳固上部隧道的周边土层,使既有隧道达到稳定状态,既有隧道在下穿隧道的作用下向盾构前进方向产生一定的偏移,新建隧道下穿既有隧道风险极高,对既有隧道的安全运营造成极大威胁,下穿过程中实时监测为项目的顺利实施提供了极大的指导作用。随着科技的发展,自动化监测会越来越先进,越来越精准,为工程的顺利实施提供更大的帮助<sup>[8]</sup>。

## 参考文献

- [1] 陈红,刘明光. 自动化监测系统在昆明地铁4号线下穿既有地铁中的应用[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(6): 123-126.  
CHEN Hong, LIU Ming-guang. Application of automatic monitoring in under-passing of the existing line for the construction of Kunming metro line 4[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(6): 123-126.
- [2] 胡现辉. 自动全站仪在港区堆场吊车轨道基础监测应用中的研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.  
HU Xian-hui. Study on the auto-total station apply to port yard crane railway foundation monitoring[D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城市轨道交通工程监测

技术规范: GB 50911—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for Monitoring Measurement of Urban Rail Transit Engineering: GB 50911—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.

[4] 魏兵超. 新建盾构隧道近距离下穿既有地铁线安全风险控制措施研究[J]. 四川水泥, 2022(7): 264-266.

WEI Bing-chao. Study on safety risk control measures of new shield tunnel passing under existing subway lines in short distance[J]. Sichuan Cement, 2022(7): 264-266.

[5] 周丁恒, 张志勇, 贾世涛, 等. 近接地铁条件下深基坑施工控制与分析[J]. 青岛理工大学学报, 2021, 42(4): 35-42, 71.

ZHOU Ding-heng, ZHANG Zhi-yong, JIA Shi-tao, et al. Construction control and analysis of deep foundation pit adjacent to metro structure[J]. Journal of Qingdao

University of Technology, 2021, 42(4): 35-42, 71.

[6] 曹崇. 地铁穿越既有线路时的风险分析[J]. 工程建设与设计, 2018(6): 129-130.

CAO Chong. The risk analysis of the subway crossing existing lines[J]. Construction & Design for Engineering, 2018(6): 129-130.

[7] 陈小娟. 南京地铁三号线白雨区间下穿宁芜铁路沉降控制分析[J]. 黑龙江交通科技, 2012(2): 14-15.

CHEN Xiao-juan. Analysis on settlement control of Nanjing Metro Line 3 passing under Ningwu Railway in Baiyu section[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2012(2): 14-15.

[8] 罗文亮, 曾益平, 董晓光, 等. 一种盾构下穿既有运营隧道变形控制的施工方法: CN201510377165.5[P]. 2017-04-12.

LUO Wen-liang, ZENG Yi-ping, DONG Xiao-guang, et al. A Construction Method for Deformation Control of Shield Tunneling Through Existing Operating Tunnels : CN201510377165.5[P]. 2017-04-12.



(上接第 104 页)

LI Wei-qiang, SUN Hong-wei. Influence of deep excavations on existing subways[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S1): 419-422.

[9] 左殿军, 史林, 李铭铭, 等. 深基坑开挖对邻近地铁隧道影响数值计算分析[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(增刊 2): 391-395.

ZUO Dian-jun, SHI Lin, LI Ming-ming, et al. Numerical analysis of influence of deep excavations on adjacent subway tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(S2): 391-395.

[10] 刘方梅. 深基坑开挖对临近地铁隧道的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.

LIU Fang-mei. Influence on adjacent tunnel in processes of deep foundation[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.