

文章编号: 1674—8247(2019)03—0046—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.03.010

新建下穿隧道对既有铁路车站结构的影响分析

高夕良 杨孟根

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:重庆轨道交通10号线重庆北站南广场站至北广场站隧道采用曲墙结构垂直下穿重庆北站既有站房结构,采用矿山法进行施工,分析隧道下穿施工对既有车站结构变形及稳定安全的影响具有重大的工程应用意义。本文采用FLAC3D模拟分析了下穿施工对既有车站结构的变形影响,揭示了既有结构的变形特点与规律,为预测施工过程中结构的变形和设计方案的可性实施提供了理论技术支持。模拟分析结果与现场实测的既有铁路车站结构变形规律、数值大小及数值基本一致,最大变形量小于控制值,按设计方案进行施工可满足车间安全性要求。

关键词:垂直下穿; 结构变形; 数值模拟; 现场监测

中图分类号:U455.44 **文献标志码:**A

Analysis of Influence of New Underpass Tunnel on the Existing Railway Station Structure

GAO Xiliang YANG Menggen

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The method that curved wall structure vertically passes under the existing station building of Chongqingbei Station is applied for the tunnel from South Square Station to North Square Station of Chongqingbei Station of Chongqing rail transit line 10, and Mine Method is used for construction. The analysis of underpass construction has big engineering application significance for the structure deformation and stability and safety of the existing station. In this paper, FLAC3D is adopted to analyze the effect on deflection of the existing station building, and to illustrate deformation features and law of the existing structures. Also it provides theoretical and technological supports for feasible implementation which predicts deformation and design scheme during construction process. In conclusion, deformation rules and values from field measure are basically consistent with those of simulation analysis and maximum deformation is less than control value. The construction as per the present design scheme meets the safety requirements.

Key words: vertical underpass; structure deformation; numerical simulation; field monitoring

在既有铁路车站下新建隧道必然对车站结构产生扰动^[1]。受既有结构变形控制标准和铁路车站运营结构安全的控制,工程设计和施工难度较大^[2-3]。若采用托换法或冻结法进行下穿施工,施工工期较长、工程造价高,且有产生较大环境污染的风险^[4]。若采用

全断面法+曲墙暗挖施工方案施工,则可大大节约施工时间,减小施工对周围建筑物的干扰及环境污染,保证既有车站、轨道及新建隧道的安全。因此,正确分析和可靠预测新建隧道下穿施工引起的既有铁路车站结构变形及结构稳定安全,具有重大的工程应用意义。

收稿日期:2019-03-07

作者简介:高夕良(1963-),男,教授级高级工程师。

引文格式:高夕良,杨孟根.新建下穿隧道对既有铁路车站结构的影响分析[J].高速铁路技术,2019,10(3):46-50.

GAO Xiliang, YANG Menggen. Analysis of Influence of New Underpass Tunnel on the Existing Railway Station Structure [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 46-50.

尽管不少学者对新建隧道下穿既有车站及周边附属结构的变形控制技术进行了大量研究,积累总结了一些经验和技术。如 Chang S. B.^[5]、Lunardi P^[6] 等人对新建隧道下穿既有线采用不同施工工法进行比较分析,总结出采用高压注浆强化土体、不同开挖顺序等措施在埋深大、地层条件差的双线隧道中,可保证既有结构与施工的安全。张旭^[7] 等人对北京地铁 6 号线垂直密贴下穿 2 号线车站结构进行研究,明确了既有地铁车站结构沉降控制的重点区域,总结出下穿施工期间,初支背后回填注浆与千斤顶顶升等措施能在一定程度上减小既有车站结构沉降。但至今仍未系统全面地总结出既有车站结构的变形规律。且在繁华市区复杂环境条件下,采用矿山法施工曲墙双线隧道,垂直下穿既有铁路车站的工程案例分析鲜有见到。

本文以重庆轨道交通 10 号线重庆北站南广场站至北广场站区间下穿重庆北站站房结构为背景,采用 FLAC3D 三维模拟预测了下穿施工引起既有铁路车站结构变形规律,结合现场沉降监测结果,验证全断面法+曲墙暗挖施工方案的可行性。总结了新建隧道下穿既有铁路车站结构时上部建筑物的变形规律,为既有车站的安全运营、新建隧道的安全施工提供了理论支持,研究结果可为类似工程提供参考与借鉴。

1 工程概况

重庆轨道交通 10 号线重庆北站南广场站至北广场站区间隧道出重庆北站(南广场)后下穿重庆北站站台及铁路轨道,后接入重庆北站(北广场)。下穿区间隧道结构高约 7.65 m,宽约 8.60 m,双线呈平行布置,双线隧道净距 10.5 m,隧道拱顶到地面的距离 17.8 m。

既有站房柱下采用钢筋混凝土扩展基础,基底-2.15 m,距离区间隧道拱顶 15.0~16.0 m,上下呈斜交,交角 11°。

目前场地内为重庆火车北站南广场以及城市道路等建(构)筑物,地面高程在 255 m 左右,广场负一层高程在 249.30 m 左右,地势平坦。拟建场地出露的地层由上而下依次为素填土、粉质粘土、砂质泥岩和砂岩,隧道围岩以砂质泥岩为主,夹薄层砂岩,岩层平缓,地下水为基岩裂隙水,围岩级别为Ⅳ级。

初期支护由系统锚杆、喷射混凝土、钢筋网加工字钢拱架组成,锚杆采用全长粘结砂浆锚杆,每 0.5 m 设 1 榀钢架,喷射混凝土采用 C25 早强混凝土,厚 260 mm。

隧道施工会引起邻近建筑物周围土体松动变形,造成基础沉降和挠曲变形,对基础及上部结构产生影

响,若变形过大,则会影响上部构筑物的正常使用。因此,制定邻近基础沉降控制标准,采取相应的保护、加固基础方法,才能将地铁隧道施工造成的影响控制在允许范围之内。对于位移控制标准,综合参考 TG/GW 102-2019《普建铁路线路修理规则》、GB 50007-2011《建筑地基基础设计规范》及相关工程的实际控制标准,站房基础总沉降控制值为 15 mm,相邻基础最终沉降差控制值为 8 mm。线路轨道 10 m 弦测量的高低偏差控制值为 4 mm。

既有南站房为钢筋混凝土框架结构,屋盖为钢网架,总高度 21.0 m,外立面为玻璃幕墙。结合既有工程的实际情况,确定上部结构的最大允许变形为 0.001 H,控制在 21 mm。

2 数值模拟

2.1 计算模型

采用有限差分程序 FLAC3D 建立三维模型,为充分模拟隧道的三维空间效应,并降低边界效应的影响,模型沿纵向取 90 m,横向取 274 m,深度取 75 m。根据实际情况模拟隧道埋深及基坑开挖。模型前后、左右方向受水平约束,垂直方向底面受竖向约束,顶面为自由面。在模拟过程中,对需要重点考虑的隧道部分,采用六面体单元映射划分,地层、初期支护及二次衬砌采用弹塑性实体单元模拟。

岩土体采用 Mohr-Column 本构模型,综合考虑地勘报告资料确定岩土材料物理力学参数,如表 1 所示。隧道初支、二次衬砌和铁路车站结构的力学参数依据 TB 10003-2016《铁路隧道设计规范》确定,如表 2 所示。

表 1 岩土材料物理力学参数

类别	重度 (kN/m ³)	弹性模量 /MPa	泊松比	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /(°)
素填土	20.5	500	0.3	-	28
砂岩	24.8	4 550	0.13	2 100	42
砂质泥岩	25.7	1 400	0.37	1 029	34.12

表 2 混凝土材料物理力学参数

混凝土	重度 (kN/m ³)	弹性模量/GPa	泊松比
初期支护	22	29.5	0.2
二次衬砌	25	33.5	0.2
连续墙	22	10.0	0.25

2.2 开挖过程模拟

隧道采用全断面法开挖,数值模拟重庆轨道交通 10 号线隧道施工过程。首先按每进尺 2 m 的速率进行左洞开挖,岩体开挖后,立即施作初支,循环至左洞挖通,最后施作二衬;左洞开挖完成后进行右洞开挖,

右洞开挖方式与左洞开挖方式相同。隧道上部重庆北站站房荷载施加于模型柱子顶部,荷载大小为41 kPa。

2.3 计算结果

地表竖向位移可同时反映隧道施工对既有站房地面、站房立柱的影响,也可间接反映隧道施工对站房上部结构的影响,故选取隧道顶部地表位移作为评估隧道对站房影响的物理量。

地表最大竖向位移与新建隧道开挖长度的关系,如图1、图2所示。从图中可以看出,地表位移与隧道开挖呈现一定的时空效应。随着隧道的开挖,隧道上方地表竖向位移逐步变大,整体下沉。距离掌子面越近的区域,受施工的影响越大。左洞开挖20 m时,对地表沉降影响较大,此时地表最大沉降为0.16 mm,之后随着开挖距离的增大,地表沉降稳步增长;当开挖到90 m(模型纵向长度90 m)时,地表最大沉降为0.30 mm,此时增长速率较快。左洞挖通后进行右洞的开挖,右洞开挖20 m时,最大沉降为0.32 mm,较左洞挖通时的最大沉降仅增加0.02 mm,开挖到90 m时,最大沉降为0.44 mm。由此可见右洞开挖对地表的沉降影响较左洞小。左右洞开挖完成后,地表最大沉降为0.44 mm,小于站房基础总沉降控制值,地铁区间隧道开挖对站房影响较小。

48

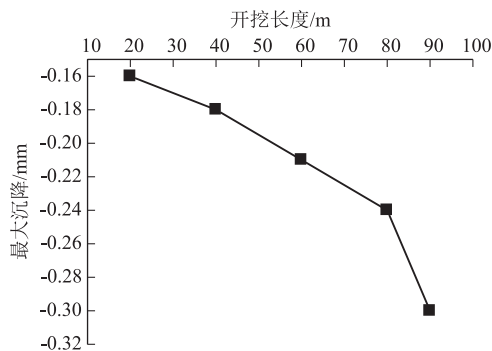


图1 地表最大沉降与左洞开挖长度的关系图

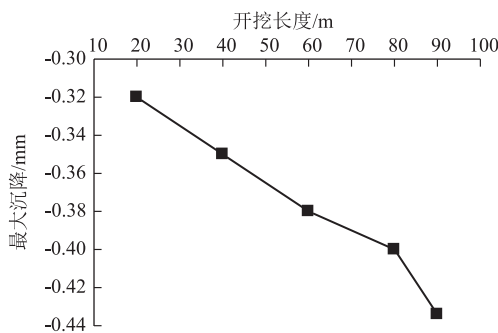


图2 地表最大沉降与右洞开挖长度的关系图

实际工程中,隧道开挖后先发生围岩应力释放,后施作初期支护,应力释放率的大小取决于支护时机与

支护参数等^[10]。本次数值分析中,采用反向施加应力法模拟应力释放率。为模拟不同程度围岩应力释放下隧道施工对既有站房的影响,选取应力释放率为10%到100%(梯度为10%)的工况进行计算。不同围岩应力释放率下,站房基础最大沉降曲线,如图3所示,隧道正上方既有站房基础的沉降纵向分布曲线,如图4所示。

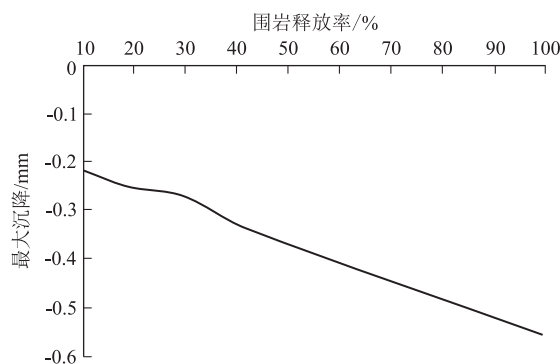


图3 不同围岩应力释放率下基础最大沉降曲线图

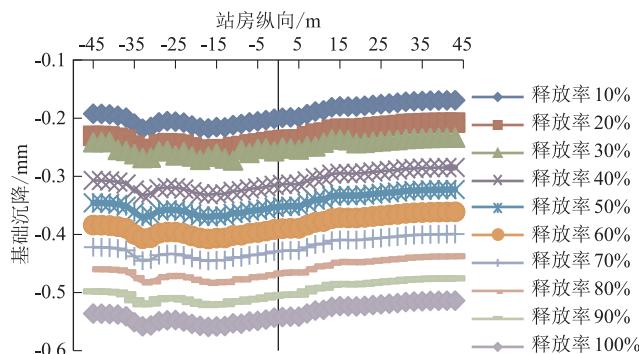


图4 隧道正上方站房基础沉降纵向分布曲线图

从图3、图4中可以看出,随着围岩应力释放率的增加,隧道正上方站房基础的沉降逐渐增加,纵向各个部位的沉降增长量基本一致;应力释放率从20%增加到30%时,各个部位的沉降增长量相对较小,应力释放率从30%增加到40%时,各个部位的沉降增长量相对较大。当应力释放率为100%时,站房最大沉降为0.56 mm,小于站房基础总沉降控制值(15 mm)。按设计方案施工时,围岩应力释放率约为60%,站房最大沉降约0.41 mm,因此当按照设计方案施工时,可保证上方站房基础运营安全。

3 现场监测

为保证新建隧道安全下穿既有结构,需在隧道施工期间采取对既有铁路车站进行实时监控量测,并根据现场监测数据及时调整支护参数和施工工法。如减小开挖进尺、注浆加固等措施,以降低施工对隧道上部

车站与轨道结构的影响。对车站结构的监测采用人工监测的方法,对轨道结构采用静力水准仪自动化监测的方法。

3.1 站房监测

对于站房的沉降监测,首先采用 Trimble DINI12 电子水准仪,配套钢钢尺等,根据施工现场及周边情况,在隧道施工影响范围以外的稳定位置埋设基准点。基点用直径 $\phi 16$ 以上的圆头螺钉,顶部锯十字小槽并涂防锈漆。建筑物沉降测点埋设主要分为两种情况:(1)对于混凝土或砖混结构的建筑物,采用直接在建筑物上钻孔,埋入“L”形钢筋,埋入端用混凝土与建筑物浇筑连成一个整体(如图的 5(a)所示),另一端打磨成半圆形,监测时放置钢钢尺保证测量的准确性;(2)对于钢结构形式的建筑物,采用焊接的形式,使测点和结构连成整体(如图 5(b)所示)。通过数值模拟发现,隧道正上方的站房受施工影响较大。本文章选取隧道正上方区域内 36 根站房柱进行监测分析,如图 6 所示。

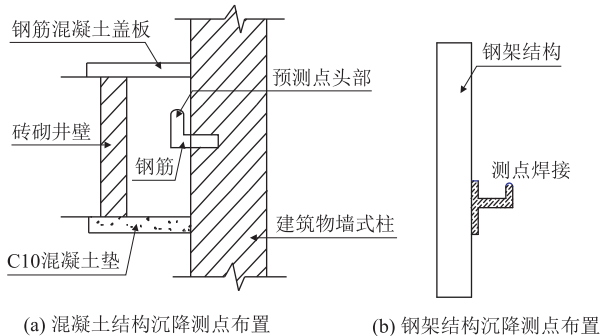


图5 建筑物沉降点布置示意图

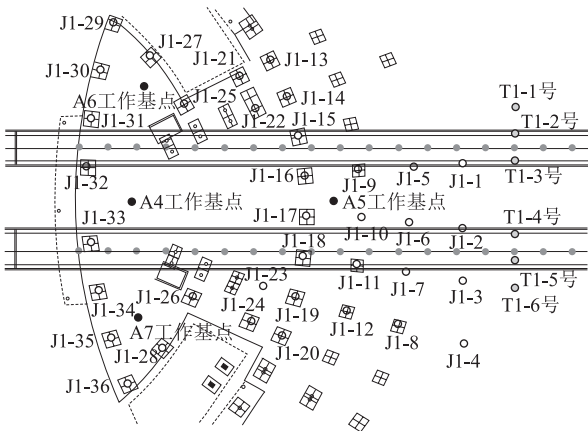


图6 既有南站监测房柱分布图

3.2 站房沉降监测结果

从2016年11月26日到2017年12月31日,对36根站房柱进行不间断的沉降监测。选取隧道正上方区域内受施工影响较大的J1-1、J1-2(处于南站房靠后位置)、J1-16、J1-18(处于南站房中间位置)、J1-32、

J1-33(处于南站房靠前位置)站房柱为主要分析对象。在监测期间中,站房柱沉降波动范围为 $-0.70 \sim 0.1$ mm。其沉降随着时间的变化规律,如图7所示。

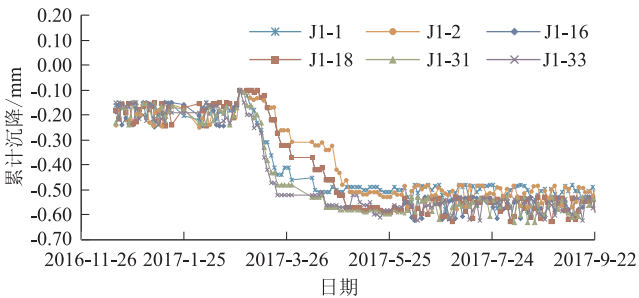


图7 典型站房柱沉降值变化规律

从图7可以看出,2017年2月至2017年4月期间,受下方新建隧道施工影响,6根站房柱的沉降波动较明显。随着隧道的开挖,J1-1、J1-2的沉降速度较快,J1-16、J1-18沉降速度较慢,J1-31、J1-33最慢,各站房柱的最大沉降稳定在0.6 mm。施工完成后,站房柱的沉降波动趋于平缓。实际施工过程中,受基准点移动、设备误差等影响,实测值会发生波动,但不影响整体变形规律。变形速率最快的时间与下方隧道施工时间基本吻合,站房柱沉降呈现一定的时空变化规律。J1-1~J1-36号站房柱最大沉降值,如表3所示。

表3 站房柱最大沉降值

站房柱	最大沉降量/mm	站房柱	最大沉降量/mm
J1-1	-0.6	J1-19	-0.2
J1-2	-0.6	J1-20	-0.3
J1-3	-0.5	J1-21	-0.2
J1-4	-0.5	J1-22	-0.5
J1-5	-0.6	J1-23	-0.2
J1-6	-0.6	J1-24	-0.4
J1-7	-0.5	J1-25	-0.2
J1-8	-0.6	J1-26	-0.2
J1-9	-0.6	J1-27	-0.2
J1-10	-0.5	J1-28	-0.2
J1-11	-0.4	J1-29	-0.2
J1-12	-0.5	J1-30	-0.3
J1-13	-0.3	J1-31	-0.6
J1-14	-0.2	J1-32	-0.6
J1-15	-0.5	J1-33	-0.6
J1-16	-0.6	J1-34	-0.6
J1-17	-0.6	J1-35	-0.4
J1-18	-0.5	J1-36	-0.2

从表3中可以看出,重庆火车北站南站房站房柱最大沉降值为0.60 mm,与数值模拟结果基本相同。在监测期内,站房柱的沉降量始终在规定的控制基准内变化,因此,南站房站房柱沉降量受轨道交通1号隧道施工影响较小,火车北站南站房结构处于安全状态。

3.3 站房柱倾斜监测结果

采用全站仪对重庆火车北站南站房 J1-1~J1-36

号站房柱的倾斜程度进行监测,选取靠近施工隧道的J1-1、J1-2、J1-16、J1-18、J1-32、J1-33站房柱为主要分析对象。站房柱的倾斜变化规律,如图8所示。

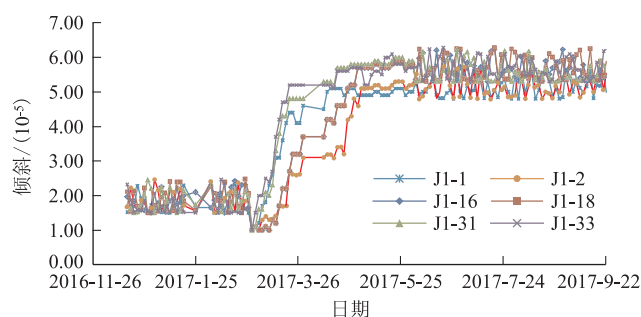


图8 典型站房柱倾斜变化规律

从图8可以看出,新建隧道在下穿既有站房时,重庆车北站南站房站房柱最大倾斜为 $6.0 \times 10^{-5} H$,倾斜变形为1.26 mm。在监测期内,站房柱的倾斜量始终在规定的控制基准内变化,因此,南站房站房柱倾斜量受隧道下穿施工影响较小,重庆北站南站房结构安全。

4 结论

本文以重庆轨道交通10号线下穿重庆火车北站南广场站房为背景,研究了下穿施工期间既有铁路站房结构变形特性和稳定性,得到以下结论:

(1) 三维数值分析得到站房基础最大沉降为0.56 mm;现场实测站房柱最大沉降为0.60 mm,最大倾斜为1.26 mm。隧道施工过程中结构的变形满足控制要求,施工期间能保证站房的正常运营。数值模拟得到既有轨道的最大沉降为0.43 mm,10 m弦测量的高低差为0.04 mm,现场实测最大沉降为0.2 mm,区间隧道施工对轨道影响较小。

(2) 按现有下穿施工方案进行施工,既有车站与轨道变形较小,能有效控制其变形,满足结构变形控制要求。受下部隧道开挖卸荷、施工扰动、施工步骤的影响,既有结构变形呈现一定的时空变化规律。距新建隧道越近的既有结构变形越大;距掌子面越近的既有结构变形速率越快。

(3) 数值模拟计算结果和现场实测数据在变形规律与数值上吻合度较高,数值模拟结果能够准确地反映下部隧道开挖对上部既有结构的影响。

(4) 隧道开挖初期,既有车站与轨道结构沉降发生突变,根据现场监测数据及时调整设计参数,确保下穿施工期间既有结构的安全。

参考文献:

[1] FANG Q, ZHANG D L, LI Q Q, et al. Effects of Twin Tunnels Construction Beneath Existing Shield-driven Twin Tunnels [J].

Tunneling and Underground Space Technology, 2015 (45): 128-137.

[2] 赵立财. 浅埋大跨径软土地层公路隧道下穿既有铁路车站路基施工技术[J]. 现代隧道技术, 2014, 51(6): 160-166.

ZHAO Licai. Construction Technology of Shallow Buried Long-span Soft Soil Layer Highway Tunnel through Subgrade of Existing Railway Station [J]. Modern Tunnelling Technology, 2014, 51(6): 160-166.

[3] 宋军. 浅埋暗挖隧道下穿建筑物桩基托换施工技术[D]. 长沙: 中南大学, 2013.

SONG Jun. Construction Technology of Building Pile Foundation Underpinning of Shallow-buried Excavation Tunnel Underpassing [D]. Changsha: Central South University, 2013.

[4] 高朗, 高延达, 张社荣, 等. 小间距双线隧道CRD法零距离下穿既有营运车站变形影响研究[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(11): 95-99.

GAO Lang, GAO Yanda, ZHANG Sherong, et al. Analysis of the Impact of Subsurface Excavation of Double Line Running Tunnel with CRD Method under Existing Operating Station [J]. Railway Standard Design, 2017, 61(11): 95-99.

[5] Chang S. B. & Moon S. J. A Case Study on Instrumentations of a Large Section Tunnel Crossing Existing Subway Structure [C]. Proceeding of the KGS 2000 Spring Conference: 56-59.

[6] Lunardi P. & Cassani G. Construction of an Underpass at the Ravone Railway Yard in the City of Bologna [C] // Progress in Tunneling After 2000, 2001, 3: 319-328.

[7] 张旭, 张成平, 韩凯航, 等. 隧道下穿既有地铁车站施工结构沉降控制案例研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(4): 759-766.

ZHANG Xu, ZHANG Chengping, HAN Kaihang, et al. Case Study of Control Technology of Structural Settlements Due to Tunneling beneath a Subway Station [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(4): 759-766.

[8] 朱正国, 余剑涛, 朱永全. 区间隧道零距离下穿既有地铁车站施工方案研究[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(6): 124-130.

ZHU Zhengguo, YU Jiantao, ZHU Yongquan. Study on Construction Scheme of Existing Metro Station under Zero Distance of Interval Tunnel [J]. Modern Tunnelling Technology, 2013, 50(6): 124-130.

[9] 张晓丽, 张顶立, 王梦恕. 既有地铁注浆抬升合理位置的确定[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(5): 712-717.

ZHANG Xiaoli, ZHANG Dingli, WANG Mengshu. Determination of Proper Position of Grouting during Lifting the Existing Subway [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(5): 712-717.

[10] 阿比尔的, 郑颖人, 冯夏庭, 等. 应力释放后隧道稳定安全系数研究[J]. 现代隧道技术, 2016, 53(2): 70-76.

Abil's, ZHENG Yingren, FENG Xiating, et al. Study on Stability Safety Factors of Tunnel after Stress Release [J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53(2): 70-76.

[11] 蔡向辉. 盾构下穿引起的既有线路轨道变形与列车运营作用研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(7): 30-34.

CAI Xianghui. Study on Track Deformation and Train Operation of Existing Lines Caused by Shield Piercing [J]. Railway Standard Design, 2016, 60(7): 30-34.

(编辑: 刘会娟 白雪)