

成都地铁19号线天府商务区站矩形断面 矿山法零距离下穿既有车站施工方案

杨凤梅¹ 叶至盛²

(1. 中国电建华东勘测设计研究院有限公司, 311122, 杭州; 2. 中电建铁路建设投资集团有限公司, 100044, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘要 新建的成都地铁19号线天府商务区站零距离安全下穿既有的地铁运营车站,采用矩形断面设计,以矿山法施工。基于施工重点及难点分析,对施工方案进行比对。经比较,分段法施工方案优势明显,更适用本工程。建立地层-车站结构有限元模型,对开挖施工阶段和正常运营阶段的既有车站受力情况进行仿真计算。仿真计算结果表明,分段法施工能满足既有车站的结构变形、承载力及裂缝控制要求。简要介绍了对既有地铁运营车站的主要保护性施工控制措施,并采用先进的仪器和技术对既有运营车站变形进行监测。监测结果表明,既有运营车站变形控制效果良好,监测项目均未超出控制值,上部运营车站处于安全可控状态。

关键词 地铁车站; 矿山法施工; 零距离下穿

中图分类号 U231. +3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.12.032

Chengdu Metro Line 19 Tianfu Commercial District Station Construction with Rectangular Section Mining Method Zero-distance Under-passing Existing Station

YANG Fengmei, YE Zhisheng

Abstract The newly built Chengdu Metro Line 19 Tianfu Commercial District Station under-passes existing operating station at zero-distance safely, it adopts rectangular section design and mining method for construction. Based on analysis of construction key points and difficulties, construction schemes are compared, and the segmentation scheme has significant advantages, more adaptable to this project. By establishing stratum-station structure finite element model, the existing station force conditions during excavation construction phase and normal operation phase are simulated and calculated. Simulation calculation results show that segmentation construction can satisfy the control requirements of structure deformation, bearing force and cracks. The main protective construction control measures of the existing station are introduced briefly, and advanced equipment and technology are adopted to monitor the existing

station deformation. Monitoring results show that existing operating station deformation is well controlled. Monitored items are all below the controlled value, and the overhead operating station is under safe and controllable state.

Key words metro station; mining method construction; zero-distance under-passing

First-author's address Power China Huadong Engineering Co., Ltd., 311122, Hangzhou, China

近年来,随着地铁网络化建设的快速发展,穿越既有地铁运营车站的新地铁车站施工逐步成为地铁建设的常态。由于线路和规划等发生变化,换乘站中的先建车站往往无法给后建车站提供理想的预留条件;而后建车站的施工也会不同程度地对既有运营车站结构造成影响,甚至可能危及运营安全。新建线路近距离下穿既有有线或车站,既要考虑既有有线或车站的沉降变形,又要考虑线路运行安全,故施工工序复杂,工艺要求高^[1-5]。

本文基于新建的成都地铁19号线天府商务区站采用矩形断面矿山法零距离下穿既有地铁运营车站项目,针对施工难点重点,进行具体施工方案的比选,并解读了施工中的控制措施,以期后续类似工程建设提供参考。

1 项目概况

1.1 工程概况

成都地铁6号线(以下简为“6号线”)天府商务区站和成都地铁19号线(以下简为“19号线”)天府商务区站为十字形换乘。其总平面示意图如图1所示。其中:6号线车站已于2020年底运营,其主体结构为地下3层双柱3跨框架结构,长235.2 m、宽23.3 m、深25.8 m;新建的19号线车站为地下4层双柱3跨框架结构,长220.0 m、宽28.6 m、

深 35.7 m, 顶板覆土厚 3 ~ 4 m。19 号线车站大部分采用明挖法施工, 其下穿 6 号线车站的部分采用矿山法暗挖施工。

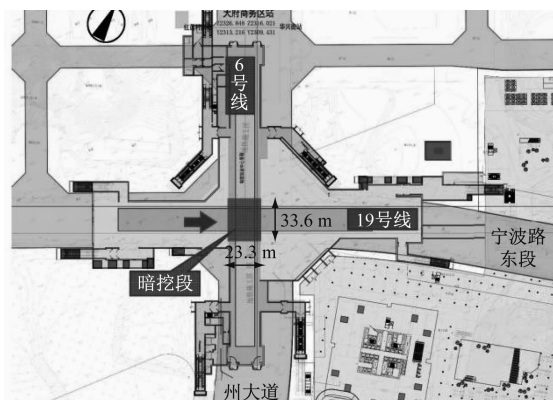


图 1 天府商务区站总平面示意图

Fig. 1 Diagram of Tianfu Commercial District Station overall plan

1.2 矿山法施工部分与运营车站关系

矿山法施工部分沿 19 号线线路方向长 23.3 m, 宽 33.6 m。该部分车站为地下 4 层矩形框架结构。如图 2 所示, 19 号线暗挖段位于负 4 层, 其余三层与 6 号线相接。负 4 层部分结构高 10.4 m, 埋深为 24.8 m。开挖范围需破除 6 号线底板下方 12 根 $\phi 1.2$ m、长 10 m 的抗拔桩, 再新建 19 号线车站永久结构(包括板梁柱、侧墙及抗拔桩), 其中新建车站的顶板密贴既有运营车站的底板。

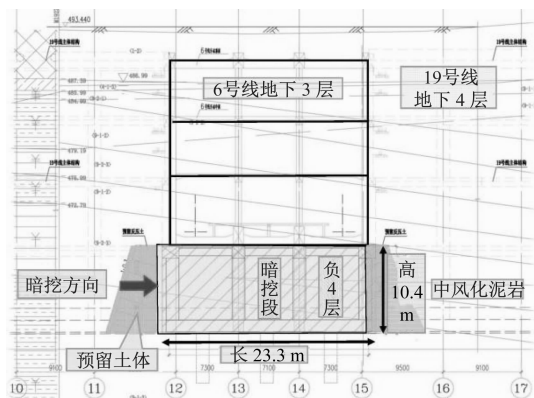


图 2 下穿地段沿 19 号线方向纵剖面图

Fig. 2 Longitudinal section of the under-passing part along Line 19

1.3 地质条件

矿山法施工段位于中风化泥岩地层, 其围岩等级为 V 级, 地层岩性较好。不良地质主要为低瓦斯有害气体及断层, 特殊岩土为膨胀岩、风化岩及石膏。勘察期间车站范围地下水位埋深约为 2.0 ~ 14.7 m, 平均渗透系数为 0.44 m/d, 属弱-中等透水层。

1.4 施工重点与难点

1.4.1 新建车站与预留的下穿条件不匹配

6 号线在建设期已在地下二层预留 19 号线轨行区穿越条件。但后因城市核心商务区规划及地块开发等条件发生变化, 19 号线车站从地下 2 层调整为地下 4 层, 无法匹配 6 号线预留的下穿实施条件, 只能采用矿山法下穿既有运营车站的底板。而类似案例少, 难以借鉴相关施工经验。

1.4.2 零距离下穿施工中的既有车站沉降控制

由于拱形受力效果较好, 矿山法施工断面通常设计为马蹄形断面。为减少新建车站埋深, 节约工程投资, 本工程将新建车站顶板密贴运营车站底板, 二者间无空隙。因此, 只能采用矩形断面矿山法来施工。

本项目为超规模危大工程, 为确保既有线的安全运营, 既有线沉降控制指标仅为 10 mm, 差异沉降控制指标为 4 mm。无论是施工过程中的控制不当, 还是在开挖施工阶段有土体自稳性不好、开挖支护不及时或初期支护收敛变形较大等问题, 或是在结构施工阶段新旧框架体系不密贴等, 都会使运营车站结构沉降超过控制值, 进而影响运营安全。

1.4.3 主体结构防水质量

暗挖段主体结构须分块施工, 逐步形成完整主体结构, 故施工分缝较多。考虑到本站埋深大、地下水位高的特点, 则主体结构施工缝防水质量是本工程质量控制的重点。

1.4.4 技术难点

下穿段结构顶板施工空间有限, 难以控制浇筑振捣质量。故应于场外设试验段, 并在关模前提前完成浇筑管预埋, 确定详细浇筑方案, 以确保顶板密实。

本项目中, 首先, 对既有车站底板底部进行凿毛并清理; 然后, 通过植筋与新建的建筑物顶板钢筋连接, 再浇筑微膨胀混凝土成为整体, 以保证受力连续。此外在浇筑过程中应加强振捣、保证密实。

新增抗拔桩施工原设计采用人工挖孔桩, 施工进度慢、风险高、对工期不利。后来引进了改良的低矮旋挖钻进行机械施工, 大大提高成桩效率。

2 施工方案比选

19 号线天府商务区站矿山法施工部分(以下简

为“矿山法部分”)的实施可采用导洞法施工方案或分段法施工方案。

2.1 导洞法施工方案

如图 3 所示,导洞法开挖共设置 4 个导洞。其施工过程为:首先,按①→②→③→④顺序交错开挖;并在导洞开挖时于抗拔桩底部新建条形基础,形成抗拔桩+条形基础的临时支撑体系;待导洞全部贯通后,按⑤→⑥→⑦→⑧顺序扩挖剩余土体;每个扩挖区贯通后,紧跟施工该区域 19 号线车站的结构和临时钢立柱,并破除 6 号线的抗拔桩+条基临时支撑;待永久结构全部形成后再拆除钢立柱,实现由临时支撑到永久框架结构的受力体系转换。导洞法施工方案的支撑体系如图 4 所示。

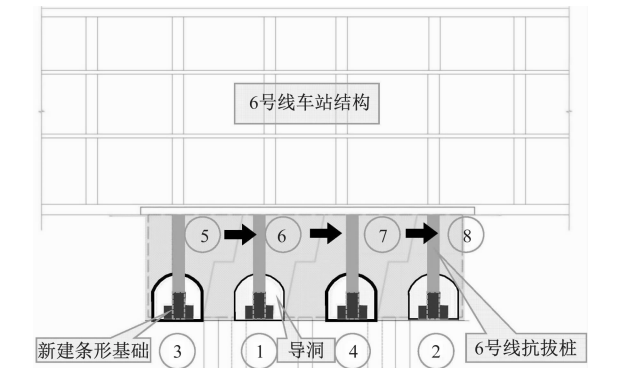


图 3 导洞法开挖示意图

Fig. 3 Diagram of pilot tunnel excavation

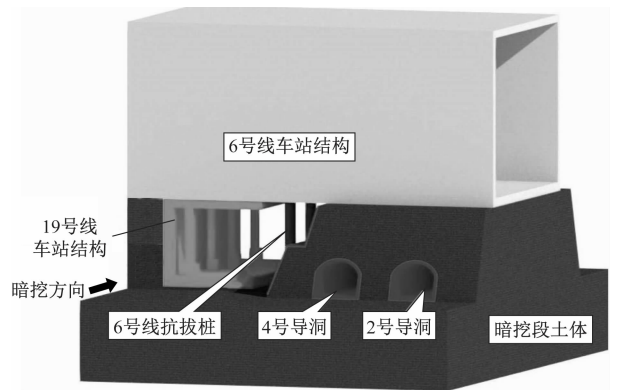


图 4 导洞法施工支撑体系示意图

Fig. 4 Diagram of pilot tunnel method construction support system

该方案主要优点为:每道施工工序均有明确的竖向支撑体系作用,运营车站的变形及沉降相对易控制。

2.2 分段法施工方案

如图 5 所示,分段法将断面分为 7 个开挖区域,

每个区域采用上下台阶法开挖,同时破除 6 号线抗拔桩。首先,开挖①→②→③→④区域土体,并随开挖进程进行支护;每开挖一段区域,随即形成永久结构,再进行下一段区域开挖。然后,开挖⑤→⑥→⑦区域土体,依次施做永久结构。施工期间主要利用未开挖土体和新筑主体结构形成支撑体系(如图 6 所示)。

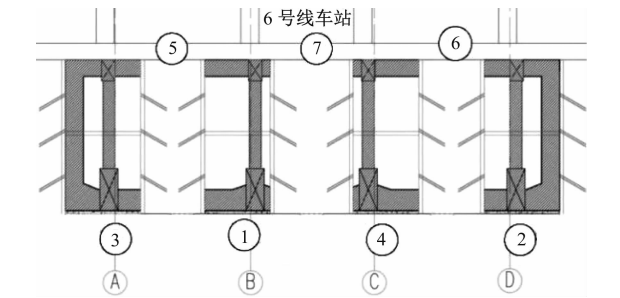


图 5 分段法开挖示意图

Fig. 5 Schematic diagram of segmentation excavation

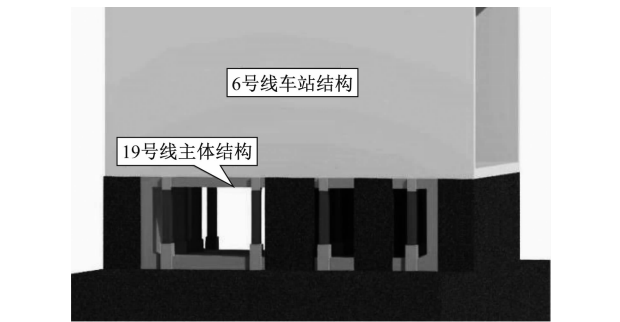


图 6 分段法施工的支撑体系示意图

Fig. 6 Diagram of segmentation construction support system

2.3 方案比选

本文从施工工序等不同方面对 2 个施工方案进行对比,如表 1 所示。

表 1 方案对比

Tab.1 Scheme comparison

比较项目	导洞法施工方案	分段法施工方案
施工工序	7 道工序,工序复杂	仅 3 道工序,工序简单
支撑体系	临时支撑体系多,需转换 3 次,较复杂	临时支撑体系较少,需转换 2 次,较简单
工期	直线工期约为 310 d	直线工期约为 220 d
底板防水	底板有 11 条施工缝,防水效果差,结构整体性差。	底板有 7 条施工缝,防水效果较好,结构整体性较好。
施工难度	施工难度较高。	施工难度较低。
费用比较	临时支护费用约为 635 万元	临时支护费用约为 619 万元,其他费用与导洞法施工方案费用一致

由表 1 可见,分段法施工方案优势明显,故本工程采用分段法施工。

3 既有结构受力及变形的仿真计算

本文采用 MIDAS-GTS NX 有限元软件,建立地层-车站结构仿真模型,对开挖施工阶段既有车站的结构变形及内力影响进行计算,并对正常使用阶段既有车站的承载力进行计算复核。

3.1 结构概况及主要支护参数

矿山法施工段开挖断面有 5.4 m(宽)×10.4 m(高)、4.8 m(宽)×10.4 m(高)两种。隧道按区域采用上下台阶法分部施工,每部循环进尺按 0.5 m 控制。

开挖施工过程中设置的喷锚支护,在后期施作结构时需部分拆除。喷锚支护设置 I 28a 工字钢架;钢架间距为 0.5 m,且在钢架两侧打设锁脚锚管;喷射混凝土采用 0.35 m 厚的 C25 混凝土。19 号线车站结构尺寸为 23.3 m(长)×33.6 m(宽)×10.4 m(高),采用 C35、P12 防水混凝土。

3.2 开挖施工阶段

本文采用 MIDAS-GTS NX 有限元软件,建立地层-车站结构模型如图 7 所示,对开挖施工阶段既有车站的结构变形及内力进行计算分析。

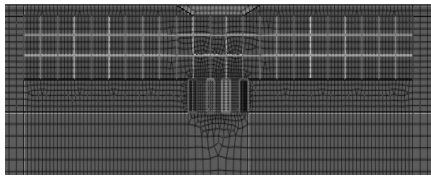


图 7 开挖施工阶段的地层-车站结构有限元计算模型

Fig. 7 Stratum-station structure finite element calculation model at excavation construction stage

3.2.1 模型选择及本构关系

根据分段法施工步序,计算时假定围岩为连续介质,采用四面体单元模拟;车站结构采用梁单元模拟。围岩在开挖过程中考虑其塑性变形,采用修正摩尔库伦弹塑性准则;而车站结构、围护结构仅考虑其弹性工作,采用线弹性本构关系^[6-7]。

3.2.2 计算结果

从图 8 所示的计算结果可看出,暗挖施工过程中引起车站结构产生的竖向最大位移出现在图 5 所示中开挖步骤 5 的 6 号线底板位置,为 4.6 mm,小于规范要求的 10 mm,满足变形控制要求。

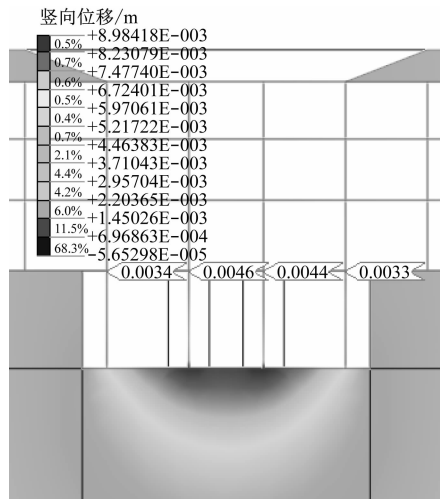


图 8 车站竖向位移计算云图

Fig. 8 Nephogram of station vertical displacement calculation

3.3 正常使用阶段

暗挖节点处荷载-车站结构三维模型如图 9 所示。对暗挖节点处进行计算,计算结果见图 10。在暗挖节点处,既有结构顶板厚 0.9 m、中板厚 0.4 m、底板厚 1.1 m。

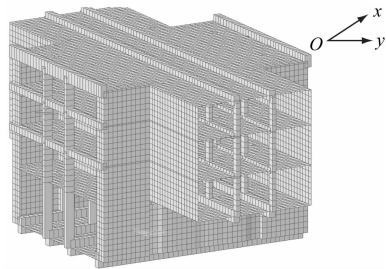


图 9 正常使用阶段的荷载-车站结构三维有限元模型

Fig. 9 3D finite element model of load-station structure at normal operation stage

根据内力计算结果,在正常使用阶段 6 号线底板均可满足承载力要求。进一步配筋验算可知,裂缝控制要求同样满足。

4 主要保护性施工控制措施

4.1 运营车站变形控制措施

主要应对措施:①运营车站采用自动化监测技术,暗挖段施工根据自动化监测成果信息化施工;②暗挖段严格按设计图纸的步序施工,分部、分层、分段开挖,及时跟进型钢拱架及喷锚支护,施工期间加强施工监测;③施工前制定应急预案,包括加强超前支护、初期支护、增设临时支撑等措施,有效控制运营车站变形量,确保结构安全;④暗挖施工

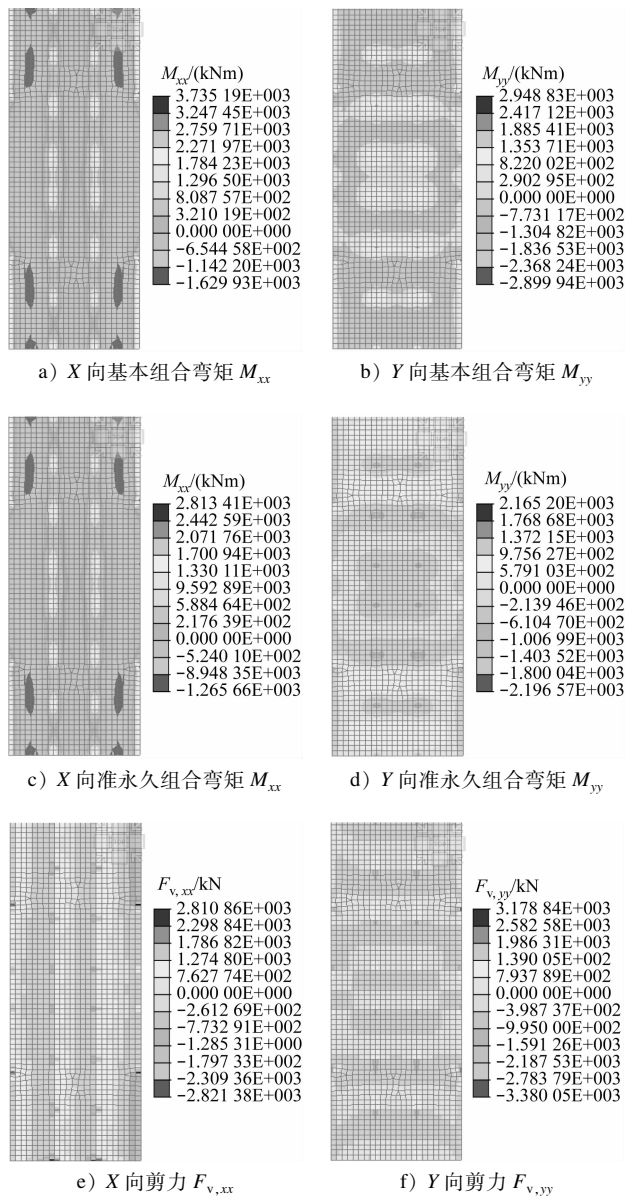


图10 既有运营车站底板受力仿真计算结果

Fig. 10 Simulation calculation results of existing operating station floor force

期间,运营车站上方不得超载;⑤与运营公司建立沟通联动机制。

4.2 对多条施工缝的结构防水施工措施

主要应对措施:①施工缝位置设置止水钢板,并控制止水钢板安装质量;②加强防水措施,在原设计基础上施工缝加设橡胶止水条、预埋注浆管;③加强施工缝处理,每仓混凝土浇筑后及时有效地进行凿毛处理,新浇筑混凝土前用高强度水泥浆预处理;④若出现渗漏水情况时,采取专项措施及时堵漏,制定专项方案,使用专业队伍,采用专项材料,并经专业验收。

5 监测及分析

采用徕卡 TM30 测量机器人(测角精度为 $0.5''$,测边精度为 $0.6 \text{ mm} + 10^{-6}$ 测距)自动监测。监测点采用锚固方式将小棱镜固定在道床,以及结构边墙的中部与顶部。TM30 测量机器人以 $3 \sim 6$ 次/d 的频率自动采集现场三维数据,并将数据实时传输至控制中心。经过粗差剔除及数据平差,即可计算出监测点的水平位移和竖向位移。

由图 11—图 13 可见:矿山法施工至主体框架结构浇筑完成期间,既有运营车站结构顶板水平、竖向位移无明显变形趋势,变形均小于 -1 mm ;既有运营车站道床的水平位移与竖向位移均较小,上下行隧道变化趋势相近,位移均小于 -1 mm ,结构施工完成后变形趋势收敛;道床横向、纵向无明显不均匀差异沉降。

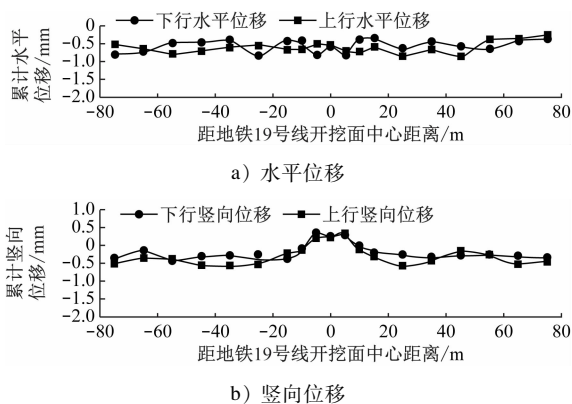


图 11 既有运营车站顶板的位移变化图

Fig. 11 Displacement change diagram of existing operating station roof

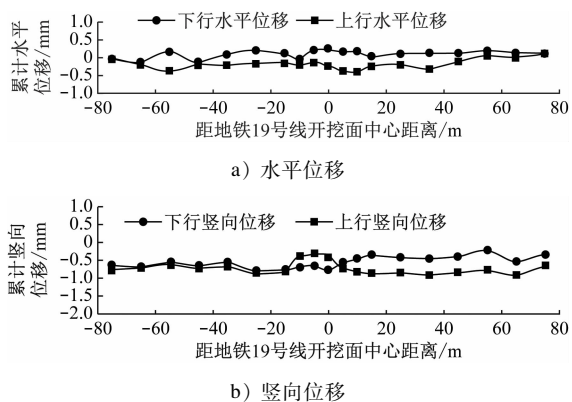


图 12 既有运营车站道床的位移变化

Fig. 12 Displacement change of existing operating station track bed

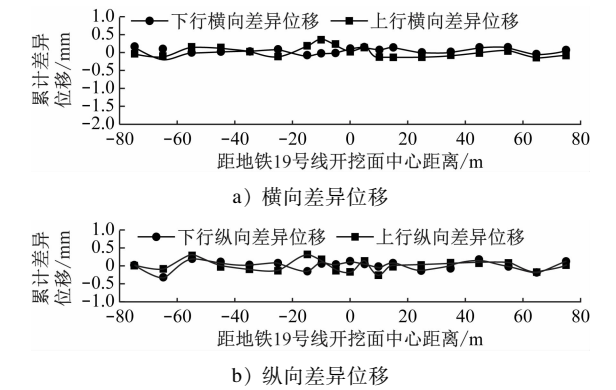


图 13 既有运营车站道床的差异位移变化

Fig. 13 Variation of differential settlement of existing operating station

既有运营车站各测点监测指标的远程自动监测成果如表 2 所示。将各项目监测结果与其目标控制值对比可见:运营车站的结构及轨行区竖向位移较小,控制效果良好;所有测点的监测项目均未超出控制值。

表 2 既有运营车站各监测项目的监测结果

Tab.2 Monitoring results of each monitoring items at existing operating station

监测项目	线路方向	测点距开挖面距离/m	监测累计值/mm	监测控制值/mm
顶板 竖向位移	上行	25	-0.58	10
	下行	-55	-0.41	10
顶板 水平位移	上行	45	-0.87	10
	下行	-5	-0.84	10
道床 竖向位移	上行	35	-0.92	10
	下行	-25	-0.79	10
道床 水平位移	上行	10	-0.41	10
	下行	0	0.21	10
道床横向 差异沉降	上行	-10	0.35	4
	下行	-65	-0.20	4
道床纵向 差异沉降	上行	-15	0.30	4
	下行	-65	-0.34	4

6 结语

新建的 19 号线天府商务区站零距离下穿既有地铁运营车站,采用矿山法施工,具有较大施工难度。

经比较,分段法施工方案支撑体系转换简单、

工序少、工期短、施工缝少且防水效果好,更适用于本工程。经仿真计算,分段法施工既能满足既有车站结构变形、承载力及裂缝控制要求,又能保证运营车站安全。本文还总结了对既有运营车站的主要保护性施工控制措施,并采用先进的仪器和技术对既有运营车站变形进行监测。监测结果表明,既有运营车站变形控制效果良好,监测项目均未超出控制值,上部运营车站处于安全可控状态。

参考文献

[1] 牛晓凯. 新建隧道长距离密贴平行下穿既有隧道结构工程响应及控制[D]. 北京:北京交通大学,2018.

NIU Xiaokai. Engineering response and control of existing tunnel structure with long distance close bonding and parallel undercrossing[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2018.

[2] 柯成建. 城市暗挖隧道下穿不同结构形式既有有线变形特性分析[D]. 北京:北京交通大学,2018.

KE Chengjian. Analysis on deformation characteristics of existing lines with different structural forms under urban underground tunnel[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2018.

[3] 杨会军,周冉. 下穿地铁车站暗挖施工对既有有线影响分析[J]. 铁道工程学报,2018(7):86.

YANG Huijun, ZHOU Ran. Analysis of influence of underground excavation on existing line under subway station[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2018(7): 86.

[4] 孟令志. 大断面平顶直墙车站密贴下穿既有有线风险控制技术研究[D]. 北京:北京交通大学,2017.

MENG Lingzhi. Research on risk control technology of large-section flat-topped and straight-walled stations with close pasting underneath existing lines [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.

[5] 李利,王永红,柏林. 大断面暗挖平顶直墙结构密贴下穿既有有线沉降控制关键技术[J]. 北京交通大学学报,2016(2):114.

LI Li, WANG Yonghong, BO lin. Key techniques of settlement control for large section mined tunnel with horizontal proof and straight wall closely crossing underneath the existing tunnel[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2016(2):114.

[6] 施仲衡. 浅埋暗挖法设计理论论述[J]. 现代隧道技术,2005(2):37.

SHI Zhongheng. Comments on the theory of mining method adopted for shallow tunnels[J]. Modern Tunnelling Technology, 2005(2):37.

[7] 王梦恕. 地下工程浅埋暗挖技术通论[M]. 合肥:安徽教育出版社,2005.

WANG Mengshu. General theory of underground engineering shallow buried and underground excavation technology[M]. Hefei: Anhui Education Press, 2005.

(收稿日期:2021-11-05)