

运营地铁盾构隧道洞门渗漏水病害整治

钟文文

(深圳地铁运营集团有限公司,深圳 518000)

摘要 城市地铁隧道洞门渗漏水病害较多。基于此,文章针对某城市运营地铁盾构隧道洞门出现的渗漏水病害进行了调研,对洞门渗漏水病害的原因进行了分析。结果表明,外部土体扰动、二次注浆不密实形成含水空腔以及洞门处刚性和柔性接触是产生渗漏水病害的主因。通过两起典型的运营地铁隧道洞门渗漏水治理案例阐述了洞门渗漏水治理的技术要点和难点,提出了洞门渗漏水病害治理原则和建议。

关键词 运营地铁 盾构隧道 洞门 渗漏水 病害整治 壁后注浆

中图分类号:U453.6 **文献标识码:**A

1 引言

地铁盾构隧道出入洞门是最容易出现渗漏水的位置,施工过程中在此位置处发生涌水涌砂的事故层出不穷。例如,广州地铁^[1]、天津地铁^[2]、无锡地铁^[3]、南昌地铁^[4]施工中均出现过洞门涌水涌砂的情况。

除了盾构隧道施工期间洞门处容易发生涌水涌砂事故外,在地铁运营过程中,随着时间的增长,在洞门位置出现渗漏水的情况也越来越多,且地铁渗漏水病害多集中于洞门位置,国内已出现过多种病害^[5-6]。与在建地铁线路不同的是,由于施工时间短、施工安全要求高等原因,地铁运营线盾构区间隧道洞门渗漏水病害的处理难度和风险要大得多。因此,地铁运营线洞门范围内的渗漏水治理成为现阶段地铁运营公司面临的一大难题。

本文以某城市地铁为例,主要介绍运营阶段地铁盾构洞门渗漏水病害的特点、原因分析以及治理难点和建议。

2 地铁隧道洞门结构

地铁运营线道床铺设完成后,典型洞门断面结构如图1所示,洞门环梁与管片、内衬墙间采用收口

胶、镀锌钢板进行防水处理,洞门环梁下部被轨道覆盖。这里将洞门范围设定为区间前5环盾构管片以及车站端头井20 m左右的区域。

3 地铁隧道洞门渗漏水情况调研

从前述洞门位置结构分析可知,洞门环梁与施工时的围护桩、车站端头内衬墙和盾构管片相连,此

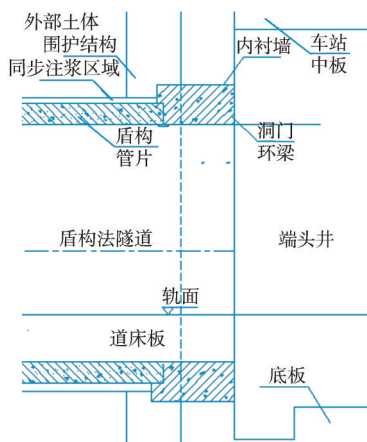


图1 地铁隧道洞门断面结构示意图

Fig.1 Section of the metro tunnel portal structure

修改稿返回日期:2019-12-24

作者简介:钟文文(1964-),男,高级工程师,主要从事地铁运营设备设施管理等方面工作,E-mail:zhongwenwen@shenzhenmc.com.

处结构复杂、界面众多。此外,洞门处于车站与区间结构的交接处,存在两侧主体结构形式不同、施工时间和施工质量不同的问题,因此此处出现的渗漏水病害也较多。

为了解某市地铁洞门渗漏水情况,笔者选取了7座车站的26个洞门进行调研,这些车站和区间均位于砂卵石地层中,地下水无承压性,最高水头达10 m。根据调查结果将洞门处病害分为四类:(1)洞门环梁与内衬墙接缝处渗漏水(图2);(2)洞门与盾构区间管片间接缝处渗漏水(图3),严重的有管片间错台现象;(3)洞门处道床渗水(图4);(4)洞门环梁接水槽渗水(图5)。

在调研过程中发现洞门处渗漏水病害呈现如下特点:

(1) 调研的7座车站的26个洞门,除1个洞门没



图2 洞门环梁与车站结构内衬墙接缝渗水
Fig.2 Water leakage at the joint between portal ring beam and lining wall



图3 洞门处区间盾构管片接缝渗水
Fig.3 Water leakage at the joint of segments at tunnel portal



图4 洞门处道床渗水
Fig.4 Water leakage at portal ballast bed



图5 洞门环梁接水槽渗漏水
Fig.5 Water leakage at water catcher of portal ring beam

有渗漏水情况外,其余均存在渗漏水的情况,洞门渗漏水占比96%。

(2) 约有30%的洞门处有道床渗水的现象。图6所示为4种渗漏水病害数量对出现上述的洞门数量进行统计如下。

(3) 超过25%的洞门渗漏水大于2 L/m²/d。图7所示为洞门渗漏水量的统计。

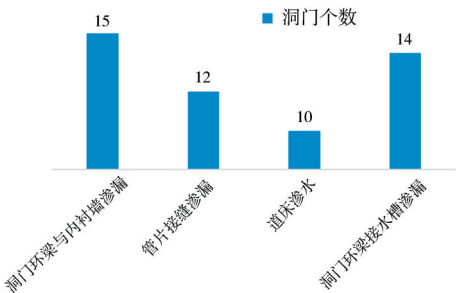


图6 洞门渗漏水病害数量统计
Fig.6 Statistics of the water leakage diseases at tunnel portal

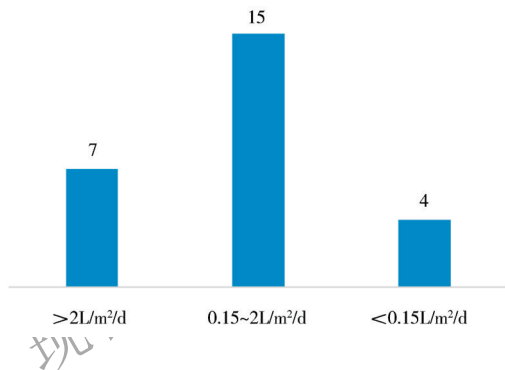


图7 洞门渗漏水统计

Fig.7 Statistics of the volume of water leakage at tunnel portal

4 洞门渗漏水原因

通过上述分析及调研结果,进一步分析隧道进出洞段连接处渗漏水的原因主要有:

(1) 盾构进出洞时,洞口外侧土体部分流失,破坏了加固体及原状土的强度和结构。

(2) 同步注浆和二次注浆不密实。此外,工程所用的注浆材料强度不高、耐久性不好,在列车荷载的作用下会出现注浆体材料劣化和空腔的情况。

(3) 端头井接头及前一环与洞口地下连续墙及内衬呈刚性接触,其它管片与加固体及原状土呈柔性接触,导致该处管片不均匀沉降和渗漏水。图8所示为某盾构区间道床沉降监测曲线,从图中可以看出,在两侧洞门范围内道床沉降变化较为明显。

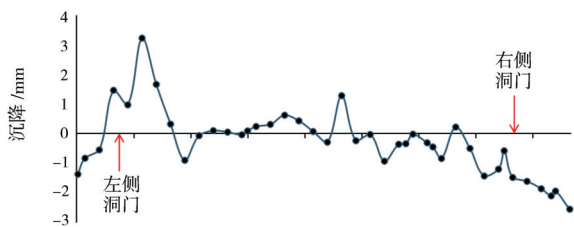


图8 某区间道床沉降监测曲线

Fig.8 Curve of monitored settlements of ballast bed at certain running tunnel section

(4) 盾构隧道洞口的加固土体在强度发展过程中会与基坑围护结构之间产生间隙,土体中的渗水将填充于该间隙,并随着时间的推移,形成一定的水压。洞门外部空洞、不密实情况如图9所示,图中所示的位置会形成富水区域。

(5) 洞门环梁顶部混凝土浇筑不密实,洞门处结构复杂,渗水通道众多。洞门内外结构间隙如图10所示,图中红线均为潜在渗水通道。

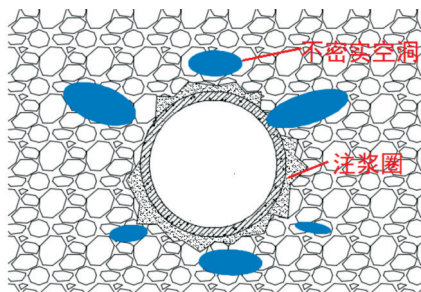


图9 洞门外部情况

Fig.9 Situation outside of portal

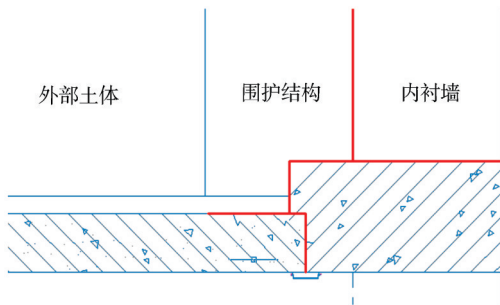


图10 潜在渗水通道

Fig.10 Potential water leakage channel

5 典型案例

洞门渗漏水处理不当可能会造成严重后果,通过两例洞门处渗漏水治理案例来具体说明洞门渗漏水治理的技术要点和难点。

5.1 洞门渗漏水治理造成道床隆起

(1) 事故经过

某车站洞门环梁上部于2018年4月出现渗漏水情况,该处车站埋深15 m,外部地层主要为砂卵石,在底板下有一层砂层。发现渗漏水后施工单位对该处洞门上部环梁接缝进行注浆封堵。4月29日此处至车站内约有30 m的整体道床突然上拱,最大隆起量为30 mm,严重影响行车安全。

当日,在道床上开设泄压孔紧急泄压处理后,道床隆起值恢复正常,如图11所示。

(2) 事故原因

这起事故的原因为:施工单位只对洞门环梁上部渗漏水进行注浆封堵,但是却忽视了对道床下部渗漏水的治理,上部渗漏水封堵注浆致使地层形成隔水层,底板下部砂层局部形成承压水层,承压水由隧道底部进入道床板回填层离缝,整体道床在水的作用下发生了上拱病害。

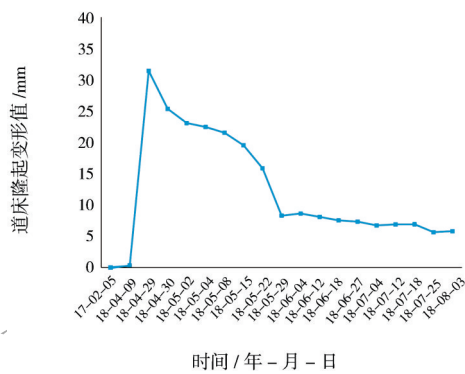


图 11 道床隆起监测值

Fig.11 Values of the monitored heaving of ballast bed

(3) 治理措施

采用在道床上部开设泄压孔进行紧急泄水处理后,针对道床下部结构渗漏水,采取外部土体注浆填充的治理措施。

注浆材料采用水泥浆,水灰比控制在 $0.75:1\sim 1:1$,并加入2%的速凝剂,按照浆液扩散半径 $R=1\text{ m}$ 设计注浆方案,主要对盾构管片底部区域和车站侧结构底板底部土体进行注浆填充加固。

盾构隧道管片底部土体注浆加固采用三个注浆孔注浆,道床两侧注浆孔采用盾构管片预留注浆孔,拱底注浆孔由于被道床覆盖,中间注浆孔应重新设置;打设注浆孔要严格控制钻孔精度,减少对管片的破坏,如图 12 所示。车站侧底板底部土体采用斜向注浆孔注浆加固,注浆孔打穿结构底板并注浆,如图 13 所示。

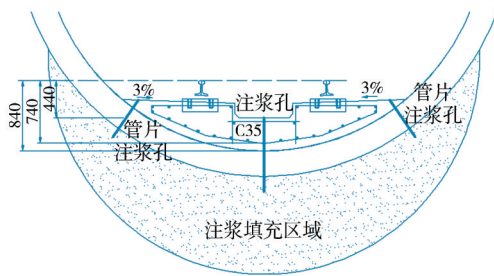


图 12 管片底部注浆剖面图

Fig.12 Cross-section of grouting at bottom of segment

注浆前要先确定管路和地层是否吸浆正常,注浆速度控制在 $40\sim 60\text{ L/min}$,注浆压力不能超过 0.5 MPa 。当注浆速度降到 $5\sim 10\text{ L/min}$ 或者注浆压力上升时,结束注浆。注浆施工过程中对轨道变形、隧道变形以及地表变形进行密切监控,未发现明显变化。

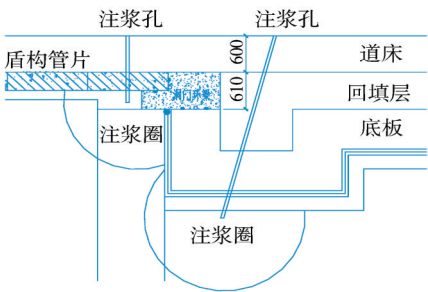


图 13 车站侧底板底部土体注浆纵剖面图

Fig.13 Profile of grouting of soil mass under bottom plate at station side

此处洞门渗漏水经处理后至今未发现反复。

5.2 某车站洞门涌水涌砂事故

(1) 事故经过

某车站洞门环梁与内衬墙接缝位置出现漏水后,采用PVC管将水引排至排水沟内,2016年9月12日,该排水管出现涌水涌砂险情,积水一度漫过道床,危及地铁列车行车安全,如图 14、图 15 所示。

(2) 事故原因

这起事故的主要原因为:引排水管未设置反滤装置,且由于该处洞门外侧在施工期间设置了降水



图 14 某车站洞门涌水涌砂

Fig.14 Water flow and sand gushing at portal of certain station



图 15 排水管内排出泥砂

Fig.15 Sediment discharged from drain pipe

降水井,运营后未及时回填,造成外部空洞,暴雨后空洞土体塌方造成泥砂随排水管进入隧道。

(3) 治理措施

此处渗漏水治理采用洞内及洞外联合注浆加固措施,确保外侧土体空洞填充和内部结构接缝不渗漏。

洞内渗漏水治理主要对洞门环梁与内衬墙接缝渗水进行封堵,注浆材料需要满足:灌注性好、强度高且提升快速、耐久性好等要求,而且由于洞门内预埋有环形钢板,注浆材料要有良好的粘接适应性能。

注浆材料选择HM-III20改性环氧灌浆料,该材料相比其它同类型材料有以下优势:

① 材料粘接性能优异,能保证与内衬墙及洞门圈梁之间优异的粘接性能。测试数据显示:HM-III20的干、湿粘接强度分别为3.9 MPa(规范3.0 MPa)、3.0 MPa(规范2.0 MPa)。通过建立钢板与混凝土粘接计算模型,一侧固定,另一侧施加位移荷载,计算环氧树脂的弹性模量取0.5 GPa、1 GPa、1.5 GPa和2 GPa时的力学性能,如图16所示。从计算结果来看,在粘接面发生1.5 mm的错动下,该材料的粘接性能也可满足要求。

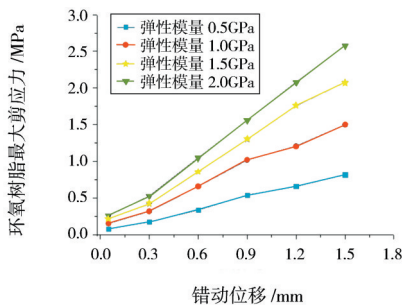


图16 HM-III20灌浆料剪应力计算结果

Fig.16 Calculated results of shear stress of HM-III20 grouting material

② 抗压强度高且强度提升快, HM-III20的抗压强度为57 MPa,抗拉强度为21 MPa。在90 min内即可达到50 MPa以上的抗压强度,实现了天窗修补可操作,适合快修快补的运营线作业。

③ 固化收缩率小,仅为0.6%。在经过100万次疲劳循环试验后,该材料的残余永久压缩变形仅为0.004。

④ 具备优异的环境适应性,所有组分不与水反应,耐碱性为100%。

洞内洞门环梁接缝共注入改性环氧灌浆料330 kg,灌浆完成后洞内无渗漏水现象。洞内环氧注浆止水示意如图17所示。

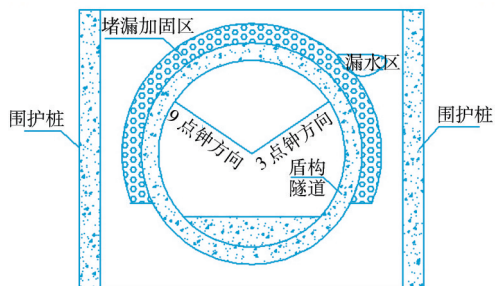


图17 洞内环氧注浆止水

Fig.17 Water stopping by epoxy grouting inside tunnel

由于此处洞门存在涌水涌砂现象,为防止地层空洞对地面造成的影响,需要对地层进行加固处理。在洞内渗漏水治理的同时,在洞外地表正上方与盾构隧道右侧围护桩外部以上地面各布置1个深度为7.5 m的注浆孔,如图18所示。采用袖阀管进行跟踪注浆,浆液为水灰比1:1的水泥浆,注浆压力控制在0.2~0.4 MPa。经统计共注入水泥浆约为3.5 m³。

采用上述措施治理后,后续观察无反复现象。

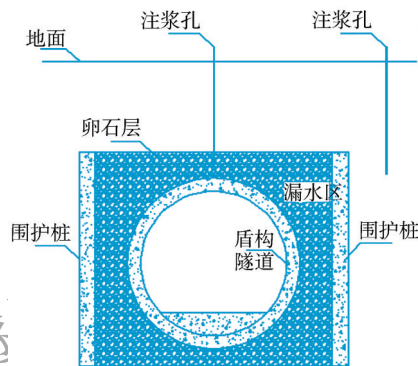


图18 地表注浆加固

Fig.18 Surface grouting reinforcement

6 治理原则及建议

从上述两个案例可以看出,地铁运营线洞门由于结构复杂、潜在渗水通道众多,加之道床的影响,渗漏水治理难度较大,风险也较高。鉴于此,提出治理原则和建议如下:

(1) 建设期间及早处理

运营期间洞门渗漏水病害整治存在施工时间短、难度大、工序复杂等难点,建议施工单位严把施工质量关,在施工期间就彻底解决该问题。图19所示为某车站轨道铺设前洞门渗漏水的现场照片。

因为建设期间工作面开阔,施工质量和时间均



图19 轨道未铺设前洞门渗漏水情况

Fig.19 Water leakage at portal before track laying

有保证,且渗漏水位置容易确认,此时对洞门环梁渗漏水进行注浆处理,同时对盾构管片背后进行补充注浆,这样可避免运营后洞门的渗漏水问题。

(2) 洞门渗漏水宜采用壁后注浆

对于洞门位置存在管片渗漏水较大、错台、道床底部涌水的情况,建议对洞门外部进行壁后注浆处理,既能在隧道外部起到防水帷幕的作用,同时又能加固土体,防止后期沉降继续渗漏。

(3) 病害处理原则

① 注浆顺序为先从洞门环梁处注浆,然后对盾构区间隧道进行堵漏,避免水全部集中于洞门环梁处。同时,注浆时要开设泄压孔,避免引起道床隆起等事故。

② 壁后注浆孔要尽量采用管片预留注浆孔,当预留注浆孔被覆盖需要重新设置注浆孔时,要避免对管片结构产生破坏,在施工时要注意避免管片背后水土突入隧道。

③ 壁后灌浆材料要选择水泥浆、超细水泥浆等可灌性好、耐久性好的浆液。结构施工缝渗漏水治理要采用改性环氧材料。

④ 壁后注浆压力不宜过大,要根据地层条件调节注浆压力、扩散半径等参数,避免注浆对隧道产生影响,在注浆过程中要做好隧道及相应结构的监测工作,避免出现沉降或收敛值过大的情况。

7 结 语

本文针对某城市地铁运营线盾构隧道渗漏水病害进行了调研与分析,结合治理案例给出了一些治理建议。需要注意的是,运营线地铁隧道壁后注浆步骤复杂、难度大、不可控因素多,在施工前要反复进行论证,做好风险防控工作。

参考文献

References

- [1] 张会东. 广州地铁三号线北延段7标右线洞门漏水事故分析与处理[J]. 黑龙江科技信息, 2011(20):280+285.
ZHANG Huidong. Analysis and Treatment of Water Leakage Accident at the Right Portal of Section 7 of North Extension of Guangzhou Metro Line 3[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2011(20): 280+285.
- [2] 李海, 朱长松. 天津地铁6号线西青道站—南运河站区间盾构到达接收措施失效处理实例[J]. 隧道建设, 2016(12):1512-1516.
LI Hai, ZHU Changsong. Countermeasures for Failure of Shield Receiving of Xiqingdao Station—Nanyunhe Station Section on Line No.6 of Tianjin Metro[J]. Tunnel Construction, 2016(12):1512-1516.
- [3] 魏良丰. 浅析盾构接收引起洞门漏水问题的防控措施[J]. 建筑论坛, 2017(7): 3745-3745.
WEI Liangfeng. Analysis on Prevention and Control Measures for Water Leakage of Tunnel Portal Caused by Shield Receiving[J]. Architecture Forum, 2017(7): 3745-3745.
- [4] 杨杰. 浅谈盾构始发洞门土体渗漏水处理措施[J]. 大科技, 2014(10): 213-214.
YANG Jie. Discussion on the Treatment Measures of Soil Leakage Water in the Tunnel Portal during the Shield Launching[J]. Super Science, 2014(10):213-214.
- [5] 魏纲, 姜婉青. 盾构隧道渗漏水原因及危害研究综述[J]. 低温建筑技术, 2017, 39(11):157-160.
WEI Gang, JIANG Wanqing. A Review of the Causes and Hazards of Shield Tunnel Leakage[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2017, 39(11):157-160.
- [6] 王如路, 肖同刚, 朱妍. 上海地铁盾构隧道渗漏水治理与变形控制[C]//中国土木工程学会隧道与地下工程分会防水排水专业委员会学术交流论文集, 2011.
WANG Rulu, XIAO Tonggang, ZHU Yan. Water Leakage Treatment and Deformation Control of Shield Tunnel in Shanghai Metro [C]//Proceedings of Academic Seminar of Professional Committee of Waterproof and Drainage, Chinese Society for Tunnelling and Underground Works, CCES, 2011.

[7] 中华人民共和国国家标准. 地铁设计规范: GB50157-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

National Standard of the People's Republic of China. Code for Design of Metro: GB50157-2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.

[8] 中华人民共和国行业标准. 地下工程渗漏治理技术规程: JGJ/T 212-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

Industrial Standard of the People's Republic of China. Technical Specification for Remedial Waterproofing of the Underground Works: JGJ/T 212-2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.

Remediation of Water Leakage at Portal of Operating Shield Tunnel

ZHONG Wenwen

(Shenzhen Metro Group Co., Ltd., Shenzhen 518000)

Abstract It's very often to encounter water leakage at the portal of urban metro tunnel. An investigation is conducted aiming at the water leakage diseases at the portal of certain urban operating shield tunnel, and the causes are analyzed. The results show that the main causes of water leakage include disturbance of external soil mass, water-containing cavity due to non-impacted secondary grouting, and rigid and flexible contact at portal. The key technical points and difficulties are described based on two typical cases of water leakage remediation at portal of operating metro tunnel, and the principles and recommendations for treatment of water leakage at tunnel portal are proposed.

Keywords Operating metro; Shield tunnel; Portal; Water leakage; Disease treatment; Grouting behind segment

(上接第 174 页)

Monitoring and Control Technology for Blasting Vibration of the Double-arch Tunnel without Middle Drift in Red-bed Soft Rock

QIAN Zhengfu¹ XU Jinfeng^{2,3} ZHOU Yingxin^{1,2,3} ZHOU Biao^{2,3} XIE Xiongyao^{2,3}

(1 Constructing Headquarters of the Yunnan Chuxiong-Dayao Expressway, Chuxiong 650228; 2 Key Laboratory of Geotechnical and Underground Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092; 3 Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract Construction without middle drift is a novel method for the double-arch tunnel, and the blasting excavation of the subsequent tunnel will have a vibration impact on the lining structure of the antecedent tunnel. Taking the Chenjiachong tunnel of Chuxiong-Dayao expressway in Yunnan province as an example, it studies the blasting vibration control technology of double-arch tunnel without middle drift in red-bed soft rock. Firstly, the three main influence factors of the double-arch tunnel blasting are analysed: the distance between blasting sources, the explosive charge and stress release. Then automatic vibration monitoring is carried out in the corresponding area of the antecedent tunnel aiming at the three-bench excavation and two-bench excavation of the subsequent tunnel, and the blasting vibration law of the V-level surrounding rock of the red-bed soft rock is obtained by regression analysis of the monitoring data, the explosive dosage of cutting hole, the numbers of nonel detonator segment and economic energy unloading holes as well as the hole spacing are obtained by back analysis, a layout of the blast holes and blasting scheme are established to meet the needs of the site. The field monitoring data show that the revised critical value of vibration velocity and the optimized blasting scheme meet the safety requirements and guarantee the smooth excavation of the subsequent tunnel and no vibration induced cracking in the concrete secondary lining.

Keywords Red-bed soft rock; Double-arch tunnel without middle drift; Blasting; Interaction; Automated monitoring; Vibration control.