

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2024.06.012

富水软土地层盾构穿越运营站 风险控制研究

吴薪柳

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 为降低富水软土地层盾构穿越施工对既有运营地铁车站的扰动风险, 以某T型换乘站盾构穿越运营站施工为工程背景, 采用理论分析和现场实测等方法, 研究盾构切割未预留玻璃纤维筋地连墙的刀具配置及推进参数, 并提出下穿运营站的重点风险控制措施。结果表明: 采用不同刀高配合的高强度贝壳刀、降低推进速度与盾构推力, 加大刀盘扭矩, 能实现盾构安全穿越地连墙; 将运营站底板与地层的相互作用力作为下穿施工时的附加荷载, 以盾构中心处的静止土压力提高1.2倍作为土仓压力设定值可减少对底板的扰动; 采用克泥效充填盾壳与地层的空隙, 以及同步注浆、二次注浆与径向注浆组合方式充填管片背后的建筑空隙, 可有效控制既有结构沉降; 盾构下穿运营站施工引起的变形以沉降为主, 盾构切割地连墙施工以水平变形为主, 水平变形占总水平位移的75%以上。

关键词: 轨道交通; 富水软土地层; 盾构施工; 下穿运营站; 切割地连墙; 风险控制

中图分类号: U45

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2024)06-0085-06

Risk Control of Shield Tunneling Undercrossing the Operational Station in Water-rich Soft Strata

WU Xinliu

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308)

Abstract: To minimize disturbances to an existing metro station during shield tunneling in a water-rich soft stratum, this study focuses on the construction of a T-type transfer station where shield tunneling passes through an operational station. The study examines the cutter configuration and tunneling parameters for shield tunneling through a diaphragm wall without glass fiber reinforcement using theoretical analysis and field measurements. Key risk control measures for shield tunneling through the operational station are also proposed. The results indicate that the shield can safely cut through the diaphragm wall by using high-strength shell cutters with varying heights, reducing the tunneling speed and shield thrust, and increasing the cutter head torque. Disturbances to the station floor can be reduced by considering the interaction force between the station floor and the surrounding stratum as an additional load during the underpass construction. Setting the chamber pressure at 1.2 times the static soil pressure at the shield's center further minimizes floor disturbance. Effective settlement control of the existing structure is achieved by filling the gap between the shield shell and the surrounding stratum with clay shock and using a combination of synchronous grouting, secondary grouting, and radial grouting to fill gaps behind the segments. The primary deformation caused by tunneling beneath the operational station is settlement, while shield cutting through the diaphragm wall leads mainly to horizontal displacement, accounting for over 75% of the total horizontal movement.

Keywords: rail transit; water-rich soft stratum; shield construction; undercrossing operation station; cutting diaphragm wall; risk control

收稿日期: 2024-04-07 修回日期: 2024-05-08

作者简介: 吴薪柳, 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为城市轨道交通隧道(与地下)工程, 290888703@qq.com

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划重点课题(N2020G009)

引用格式: 吴薪柳. 富水软土地层盾构穿越运营站风险控制研究[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(6): 85-90.

WU Xinliu. Risk control of shield tunneling undercrossing the operational station in water-rich soft strata[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(6): 85-90.

用土压平衡盾构施工。左右线均在新建站盾构井接收,从盾构井内水平注浆加固后再采用冻结法加固,范围为盾构直径外 2 m 全断面加固,加固长度 4.5 m。

2 穿越运营站地连墙风险控制

由于运营站地连墙施工时,未给新建区间预留玻璃纤维筋穿越条件,本工程采用盾构刀盘特殊设计及掘进参数控制进行地连墙切割。靠近新建站一侧的运营站地连墙,从新建站盾构井内进行微扰动破除,再进行盾构接收。

刀盘上安装贝壳刀、切刀、保径刀和超挖刀,这些刀具除超挖刀外均可从刀盘背部进行更换。刀盘辐条采用 Q345C 高强度钢板焊接而成,面板及周边采用高强度硬质耐磨焊材,具有良好的机械性能。支腿采用整体铸造形式,结构整体性好,保证研磨地连墙所需的强度和耐冲击能力。刀盘设置有 1 个磨损检测装置,对刀具的磨损状况进行有效检测。

贝壳刀是切割地连墙的核心组件,刀盘上共安装 104 把贝壳刀。16 把中心贝壳刀,刀高 180 mm,降低刀高有利于改善刀具受力,切割时可有效避免冲击造成的崩刃且有利于中心区域渣土流动;40 把焊接贝壳刀 B,刀高 180 mm,具有剥落混凝土及切削钢筋的效果;48 把焊接贝壳刀 C,刀高 140 mm,与 180 mm 贝壳刀同轨迹二次切削钢筋,贝壳刀布置如图 2 所示。

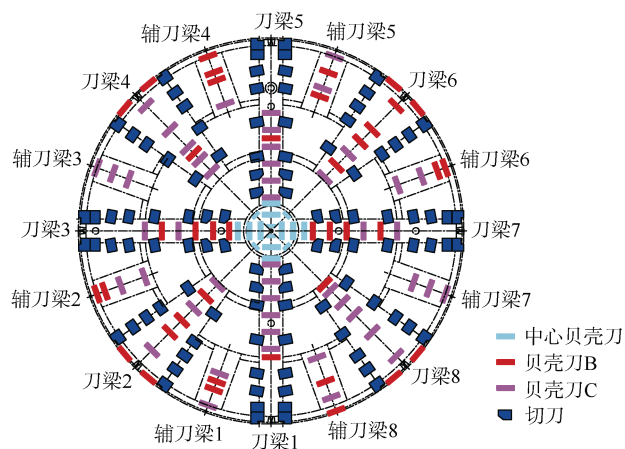


图 2 贝壳刀布置示意

Figure 2 Schematic of cutter bit arrangement

贝壳刀采用大合金撕裂刀,合金硬度 $\geq 85\text{HRA}$,抗弯强度 $\geq 260\text{ kgf/mm}^2$,合金与基体采用银钎焊,对钢筋进行切削,具有良好的耐磨性能和抗冲击性,能满足切削钢筋混凝土的要求。

盾构切割运营站地连墙前,从地面对盾构穿越区

域土体进行局部地层加固,加固范围为盾构直径外 3 m 全断面加固,加固长度 6 m,如图 1(b)所示。加固旋喷桩水灰比 1:1,加固后 28 d,无侧限抗压强度 $\geq 1.5\text{ MPa}$,渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{ cm/s}$ 。

为降低盾构切割未预留玻璃纤维筋地连墙对运营站的影响,综合考虑推进阻力增大及切割钢筋与素混凝土的差异等情况,按掘进位置进行掘进参数的实时调整,盾构切割地连墙参数如表 1 所示。

表 1 盾构切割地连墙参数

Table 1 Parameters of shield cutting diaphragm wall

掘进位置	掘进速度/ (mm/min)	盾构推力/ kN	刀盘 转速/rpm	刀盘扭矩/ (kN·m)
穿越前 0.5~0 m	5~10	1 000~1 500	0.8~1.0	800~1 000
地连墙 0~0.1 m (含外侧钢筋)	0~2	800~1 000	0.6~0.8	2 500~4 000
地连墙 0.1~0.7 m (内外侧钢筋 之间混凝土)	0~2	800~1 000	0.8~1.2	1 500~3 000
地连墙 0.7~0.8 m (含内侧钢筋)	0~2	600~800	0.6~0.8	2 500~4 000

3 下穿运营站风险控制

盾构在穿越地连墙后,开始近距离下穿运营站底板施工,地层损失会引起运营站结构产生变形,需进一步采取措施控制风险。

盾构施工在隧道纵轴线上产生的地层变形一般可分为 5 个阶段^[6],如图 3 所示。

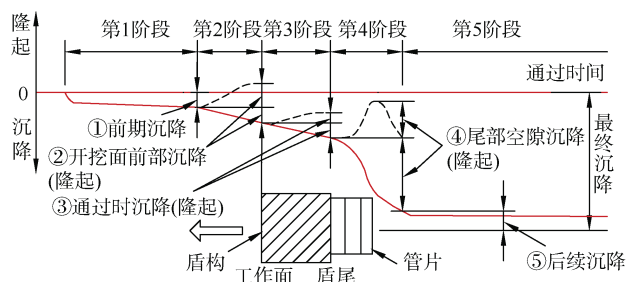


图 3 盾构施工的地层纵向沉降

Figure 3 Longitudinal settlement of stratum in shield construction

第 1 阶段为前期沉降,主要是地下水位降低引起的前方地层固结沉降。第 2 阶段的开挖面前部沉降或隆起,主要由土仓压力设定来控制。第 3 阶段的盾构通过时沉降主要是刀盘超挖引起,可采用充填材料及

时填充。第 4 阶段的盾尾空隙沉降通过同步注浆来填充，并采用二次注浆进行补填密实。第 5 阶段的后续沉降，主要是由于地层被扰动后的固结与蠕变引起。研究表明^[7-8]，第 2、3、4 三个阶段的沉降占总沉降值的 70% 以上，由此可见，盾构下穿既有运营站施工，土仓压力控制、地层与盾壳空隙充填，以及盾构注浆参数是风险控制的关键。

3.1 土仓压力设定

盾构下穿既有运营站底板过程中，土仓压力是控制变形的重要参数之一，由于上方运营站的存在，其取值与上方无车站段的取值应当有所不同。

当掌子面上任何一点的土仓压力等于静止土压力时，土体及其上方结构保持受力平衡状态，盾构下穿既有运营站土仓压力计算示意如图 4 所示。

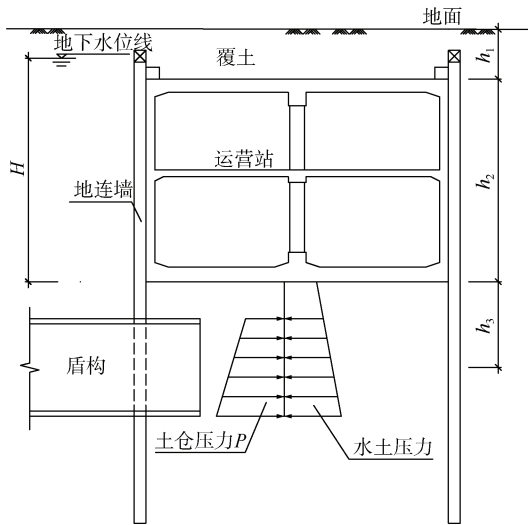


图 4 盾构下穿运营站土仓压力计算示意

Figure 4 Schematic of chamber pressure calculation for shield undercrossing the operation station

当地下水位低，车站覆土与自重满足抗浮要求^[9]时，在地层渗透性较小情况下，盾构中心处静止土压力 P_0 按水土合算，理论计算值为

$$P_0 = K_0 [\gamma(h_1 + h_3) + G' + q] \quad (1)$$

$$G' = (S_0 / S) \gamma_0 h_2 \quad (2)$$

式中， K_0 为静止侧压力系数； γ 为土体饱和容重， kN/m^3 ； h_1 为车站覆土厚度， m ； h_3 为盾构中心至车站底板的距离， m ； q 为地面超载， kPa ； G' 为车站自重引起的压力， kPa ； S_0 为车站横断面结构构件总面积， m^2 ； S 为车站横断面的全断面面积， m^2 ； γ_0 为混凝土的容重， kN/m^3 ； h_2 为车站高度， m 。

当地下水位高，车站覆土与自重不满足抗浮要求时，一般做法是地连墙通过压顶梁的作用参与抗浮后满足要求，此时地面超载、覆土质量、结构自重及地连墙提供的抗浮力 4 项之和与底板处的水浮力产生平衡，结构底板处的压力即为水浮力，将其考虑成附加荷载，盾构中心处静止土压力 P_0 按水土合算，理论计算值为：

$$P_0 = K_0(\gamma_w H + \gamma h_3) \quad (3)$$

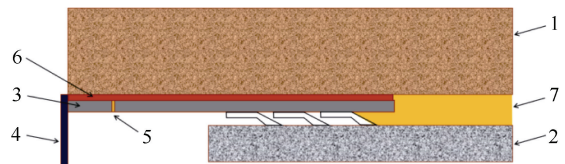
式中， γ_w 为水容重， kN/m^3 ； H 为车站底板处水头高度， m 。

根据本工程的地层及地下水情况，运营站仅靠覆土与自重计算的抗浮系数为 0.83，地连墙参与抗浮后满足要求^[9]。地层平均静止侧压力系数为 0.5，根据式(3)计算得出静止土压力 P_0 约为 0.133 MPa，而盾构埋深相同且上方无车站时的土仓压力理论值约为 0.212 MPa，有车站相比无车站的土仓压力取值降低约 37%。

土仓压力过小会引起上方运营站产生较大的沉降，土仓压力过大会导致压顶梁抗剪破坏或车站结构与地连墙整体上浮。在实际施工中，软土地层宜适当提高土仓压力，以便控制上方车站的沉降变形，可取静止土压力 P_0 的 1.2 倍^[10]左右，本工程盾构下穿运营站施工的土仓压力设定值为 0.17~0.19 MPa，并根据车站变形监测情况及时调整。

3.2 地层与盾壳空隙充填

盾构机开挖直径 6 860 mm，前盾、中盾及尾盾的直径分别为 6 830 mm、6 820 mm 及 6 810 mm，地层与盾壳之间存在 30~50 mm 的空隙。由于同步注浆的注入点是在盾尾后方，因此不能及时填充此空隙。软土地层围岩自稳性差，开挖后若未及时发现得到有效支撑即产生变形，进而引起上方运营站产生沉降，如图 5 所示。



1. 地层；2. 管片；3. 盾壳；4. 刀盘；5. 注浆孔；6. 充填材料；7. 同步注浆浆液

图 5 盾壳与地层空隙充填

Figure 5 Void filling of shield shell and stratum

盾壳与地层的空隙可通过盾壳上的注浆孔进行注浆充填，充填材料对抗沉陷性、泵送性以及凝结时间

等有较高的要求,凝固后能有效支撑且不能阻碍盾构掘进。目前合适的充填材料^[11-12]可选择性少,本工程采用克泥效进行充填,由A、B液混合而成,A液为特殊膨润土液,质量配比为膨润土:水=400:825,B液为水玻璃与水的混合液,两者体积比为1:1,A液与B液按体积比12.5:1混合。管片环宽1.2m,掘进每环的克泥效注入量约0.4~0.6m³。

3.3 盾构注浆参数

针对下穿运营站段,设计采用配筋加强型16孔管片,通过多点位注浆,提升注浆效率与质量,实现更有效填充。结合理论值与工程经验,提出同步注浆、二次注浆及径向注浆参数。

3.3.1 同步注浆

同步注浆一般与盾构掘进同时进行,对盾构机外壳与衬砌外径间的环形空隙进行注浆。通过注浆孔出口处的压力传感器,检测和控制注浆压力与注浆量。注浆先拱肩后仰拱,对称均匀注入。

同步注浆浆液采用单液浆,需满足泵送要求^[13],通过试验确定浆液配比。要求浆液1d抗压强度 ≥ 0.2 MPa,28d抗压强度 ≥ 2.5 MPa,浆液固结收缩率和倾析率均 $< 5\%$,浆液泌水率 $< 3\%$ 。浆液适当加入早强剂,缩短初凝时间至4h内,利用此方法相比不穿越车站段凝固平均快8h以上,从而降低对沉降的影响。

同步注浆量的理论值等于盾尾建筑空隙的体积,为了控制运营站的沉降变形,同时考虑浆液渗透及注浆材料固结收缩等影响,取理论注浆量的170%~200%,与不穿越车站区段的注浆量相比提高了约20%,扣除克泥效注浆填充部分,每环同步注浆量约5.0~6.2m³。注浆压力在保证有效填充并保护设备的前提下,取值比地层土压力高0.1MPa左右,本工程控制在0.25~0.35MPa。

3.3.2 二次注浆

管片出盾尾5环后进行二次注浆,根据车站变形监测结果,及时调整压浆量与注浆压力。

浆液采用水泥-水玻璃双液浆,浆液由A液(水+水泥),B液(水玻璃+水)组成。要求浆液1d抗压强度 ≥ 0.3 MPa,28d抗压强度 ≥ 3.0 MPa,初凝时间 ≤ 40 s。

二次注浆的注浆量取同步注浆量的10%~15%,二次注浆压力过小难以注入,过大会引起管片开裂,二次注浆压力比同步注浆压力高0.05~0.1MPa,本工程控制在0.30~0.45MPa。

3.3.3 多孔管片径向注浆

在二次注浆以后,根据车站的变形监测情况,当变形达到黄色预警值时,通过多孔管片及时补压浆,遵循多点少量多次的原则,浆液采用二次注浆相同浆液,注浆压力 ≤ 0.7 MPa,直至变形满足要求且趋于稳定为止。

3.4 监测结果

车站变形测点沿纵向以5m间隔均匀布置在靠近被切割地连墙一侧的车站侧墙与底板交界处,盾构切割运营站地连墙后下穿车站底板施工,运营站的最终变形监测数据如图6所示。

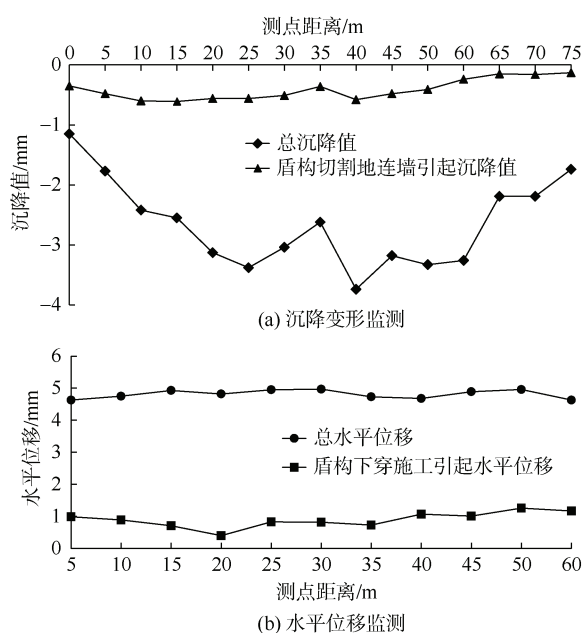


图6 运营站的最终变形监测数据
Figure 6 Final deformation monitoring data of the operating station

由图6(a)可知,运营站的总沉降变形为1.15~3.74mm,车站沿纵向的变形近似呈现W型,测点距离25m处为盾构左线正上方位置,其最大沉降约3.38mm,测点距离40m处为盾构右线正上方最近的测点,其最大沉降约3.74mm,离穿越点越远,沉降变形越小。运营站的沉降变形主要是由于盾构下穿车站底板施工过程中的地层损失引起,盾构切割地连墙阶段,车站沉降变形为0.13~0.61mm。

由图6(b)可知,运营站总水平位移约为4.61~4.98mm,由盾构切割地连墙阶段的顶推及盾构下穿车站施工两个原因引起,后者引起的变形较小,仅为0.4~1.26mm。运营站由于各层板及地连墙影响,其

自身的整体抗侧移刚度近似无限大,在盾构切割地连墙的水平推力作用下,运营站在较大范围内呈现整体平移状态,其引起的水平变形占总水平位移75%以上。

根据运营站的现状检测及安全评估结果,车站水平及竖向变形控制值为10 mm。由图6的监测结果可知,运营站的最大沉降及最大水平位移均未达到黄色变形预警值7 mm^[14],在采取风险控制措施后,变形满足要求。

4 结论

针对富水软土地区盾构穿越运营站未预留玻璃纤维筋的地连墙,以及近距离下穿运营站底板施工的风险控制进行了研究,并采用监测结果验证效果,得出以下结论:

1) 采用180 mm与140 mm两种高度的高强度贝壳刀搭配使用,并且在切割地连墙阶段降低掘进速度与盾构推力,加大刀盘扭矩,根据掘进位置实时调整掘进参数,能实现盾构安全穿越地连墙。

2) 盾构下穿既有运营站过程中,由于上方车站的存在,土仓压力设定应根据地连墙是否参与抗浮进行理论计算,将运营站底板与地层的相互作用力作为下穿施工时的附加荷载,以盾构中心处的静止土压力提高1.2倍作为土仓压力设定值,可减少对底板的扰动。

3) 地层与盾壳空隙采用克泥效充填,以及合理确定盾构同步注浆、二次注浆及径向注浆参数是变形控制的重点。

4) 监测结果表明,盾构下穿运营站施工引起的变形以沉降为主,沿车站纵向近似呈W型,盾构切割地连墙施工以水平变形为主,水平变形占总水平位移的75%以上。采取措施后,竖向与水平位移均满足要求,风险可控。

参考文献

[1] 吕荣海. 玻璃纤维筋混凝土在盾构进出洞工程中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(1): 98-101.
LYU Ronghai. Application of glass fiber reinforced concrete in shield tunnel construction[J]. Urban mass transit, 2018, 21(1): 98-101.

[2] 李文峰, 俞蔡城, 杜江涛. 新建隧道穿越既有车站地下连续墙围护结构洞门稳定性分析[J]. 施工技术, 2017, 46(17): 82-86.
LI Wenfeng, YU Caicheng, DU Jiangtao. Stability analysis of soil body adjacent to concrete diaphragm wall breakage during tunneling under existing subway station[J]. Construc-

tion technology, 2017, 46(17): 82-86.

- [3] 孙会良, 胡盛斌, 肖鹏飞, 等. 地铁曲线接收段盾构近距离斜穿既有车站施工风险控制: 以南宁轨道交通5号线下穿既有1号线广西大学站为例[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(7): 1206-1217.
SUN Huiliang, HU Shengbin, XIAO Pengfei, et al. Construction risk control of a metro shield tunnel in a curved receiving section obliquely crossing an adjacent existing station: a case study on Nanning rail transit line 5 crossing underneath Guangxi university station on existing line 1[J]. Tunnel construction, 2021, 41(7): 1206-1217.
- [4] 陶连金, 许有俊, 王文沛. 盾构穿越既有地铁车站结构安全评估[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(S1): 1513-1516.
TAO Lianjin, XU Youjun, WANG Wenpei. The safety evaluation of the structure of existing subway station above shielding tunnel traversing[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2010, 6(S1): 1513-1516.
- [5] 李晓亮, 孙梓粟, 李谷阳, 等. 盾构下穿既有车站风道的施工风险评估及控制研究[J]. 交通运输研究, 2018, 4(3): 64-72.
LI Xiaoliang, SUN Zili, LI Guyang, et al. Construction risk assessment and control of shield machine passing underneath existing air duct of subway station[J]. Transport research, 2018, 4(3): 64-72.
- [6] 边金, 陶连金, 郭军. 盾构隧道开挖引起的地表沉降规律[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(2): 247-249.
BIAN Jin, TAO Lianjin, GUO Jun. The ground settlement monitoring of a shield tunnel[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2005, 1(2): 247-249.
- [7] 张志勇. 盾构施工对周围环境影响研究综述[J]. 现代隧道技术, 2002, 39(2): 7-11.
ZHANG Zhiyong. Environment impact of shield tunneling[J]. Modern tunnelling technology, 2002, 39(2): 7-11.
- [8] 姚爱敏. 砂卵石条件下盾构施工隧道地表沉降规律分析[J]. 铁道建筑技术, 2011(增刊2): 39-41.
YAO Aimin. Analysis on ground settlement law of shield tunnel construction under the condition of sandy cobble stratum[J]. Railway construction technology, 2011(S2): 39-41.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑工程抗浮技术标准: JGJ 476—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical standard for building engineering against uplift: JGJ 476—2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020.

(下转第114页)

- structure of pile-strut bracing-anchor[J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2012, 34(S1): 230-232.
- [12] 董建华, 庄超. 深基坑框架预应力锚杆微型钢管桩联合支护结构力学特性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(3): 619-633.
DONG Jianhua, ZHUANG Chao. Mechanical properties of the combined retaining structure of frame prestressed anchors and micro steel tube piles in deep foundation pits[J]. Chinese journal of rock mechanics and engineering, 2019, 38(3): 619-633.
- [13] 王鸿运, 姚小波, 张尧, 等. 基于双排桩和锚索支护基坑开挖监测分析[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(增刊 2): 446-450.
WANG Hongyun, YAO Xiaobo, ZHANG Yao, et al. Monitoring and analysis of excavation based on supporting structures of double-row piles and prestressed anchor cables[J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2014, 36(S2): 446-450.
- [14] 徐奴文. 地铁车站深基坑开挖与支护有限元数值模拟[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
XU Nuwen. Finite element numerical simulation of deep foundation pit excavation and support in subway station[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008.
- [15] 刘性锋, 刘禹, 李辉, 等. 地铁站深基坑桩撑支护开挖变形[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(33): 14332-14341.
LIU Xingfeng, LIU Yu, LI Hui, et al. Deformation of pile support excavation in deep foundation pit of subway station[J]. Science technology and engineering, 2023, 23(33): 14332-14341.
- [16] 叶永, 刘杨, 谢旋. 深基坑开挖中支护结构参数优化设计[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2023, 45(3): 14-19.
YE Yong, LIU Yang, XIE Xuan. Optimization design of supporting structure parameters in deep foundation pit excavation[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2023, 45(3): 14-19.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基坑工程监测技术标准: GB 50497—2019[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical standard for monitoring of building excavation engineering: GB 50497—2019[S]. Beijing: China Planning Press, 2019.
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 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, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development 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, 2014.
- (编辑: 王艳菊)

(上接第90页)

- [10] 邹春华, 周顺华, 徐正良, 等. 基于位移反分析法的盾构掘进面土压力计算[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(4): 53-58.
ZOU Chunhua, ZHOU Shunhua, XU Zhengliang, et al. Calculation of the earth pressure on the excavation face of the shield tunnel based on the inverse displacement analysis method[J]. China railway science, 2010, 31(4): 53-58.
- [11] 马云新. 克泥效抑制沉降工法在盾构近距离下穿地铁既有有线工程中的应用[J]. 施工技术, 2015, 44(1): 94-98.
MA Yunxin. Application of clay shock method for settlement control in shields crossing the existing subway in short distance[J]. Construction technology, 2015, 44(1): 94-98.
- [12] 程雪松, 赵林嵩, 郑刚, 等. 盾构周围空隙充填控沉材料配合比研究[J]. 铁道建筑, 2023, 63(3): 99-102.
CHENG Xuesong, ZHAO Linsong, ZHENG Gang, et al. Research on proportion of void filling and settlement control materials around shield[J]. Railway engineering, 2023, 63(3): 99-102.
- [13] 有智慧, 李雪, 霍鹏, 等. 城市轨道交通盾构同步注浆国内外现状及发展[J]. 都市轨道交通, 2020, 33(4): 72-83.
YOU Zhihui, LI Xue, HUO Peng, et al. Present status and development of simultaneous grouting of shield tunnel in the urban rail transit industry[J]. Urban rapid rail transit, 2020, 33(4): 72-83.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通结构安全保护技术规范: CJJ/T 202—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for protection structures of urban rail transit: CJJ/T 202—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- (编辑: 王艳菊)