

# 盾构辅助常压开仓技术在南宁地铁隧道中的应用

曲兆雷

(中建八局轨道交通建设有限公司,江苏 南京 210000)

**摘要:**盾构开仓是盾构隧道施工中难以避免的一道工序,结合南宁地铁四号线总部基地站—飞龙路站区间隧道的盾构开仓实践经验,介绍了素桩加降水这一辅助常压开仓技术在南宁地铁隧道中成功应用的实例。在介绍工程应用背景的基础上,详细叙述了辅助开仓方法中素桩及降水施工的技术要点,可为南宁地区盾构开仓方案选择提供指导,也可为类似条件下盾构开仓方案的选择提供借鉴。

**关键词:**盾构隧道;辅助常压开仓;素桩加固;降水;南宁地铁

**中图分类号:**U455 **文献标识码:**B **文章编号:**1672—7428(2020)02—0088—06

## Auxiliary intervention technology in shield tunneling at atmospheric pressure in the Nanning Subway Tunnel

QU Zhaolei

(China Construction Eighth Engineering Division Rail Transit Construction Co., Ltd.,  
Nanjing Jiangsu 210000, China)

**Abstract:** Shield intervention is an inevitable process in shield tunnel construction. In reference with the practical experience on shield intervention in the tunnel between Zongbujidi Station and Feilong Road Station of Nanning Subway Line 4, this paper introduces the successful application of auxiliary intervention technology in shield tunneling at atmospheric pressure with the plain pile and dewatering in the Nanning subway. Based on the introduction of the engineering application background, the technical points for plain pile construction and dewatering in the auxiliary intervention method are described in detail, which can provide guidance for the selection of the intervention plan in shield tunneling in the Nanning area, and also provide reference for the selection of the intervention plan in shield tunneling under similar conditions.

**Key words:** shield tunnel; auxiliary intervention at atmospheric pressure; plain pile reinforcement; dewatering; Nanning Subway

### 0 引言

随着我国经济的快速发展,地铁盾构隧道得到突飞猛进的发展,盾构技术以其安全、快速、高效等优势已成为城市轨道交通建设中不可或缺的关键技术。盾构机在掘进过程中,会发生一些故障或突发情况,此时必须进入土仓进行作业。开仓作业主要包括 3 种情形:(1)盾构机长距离掘进后,刀具、刀盘将不可避免的产生磨损,特别是在高磨蚀性地层,磨损更加严重,必须进行开仓换刀作业;(2)盾构机在粘性土、强风化地层、上软下硬地层,若掘进操作不

当,刀盘易结泥饼,当采用分散剂处理效果不好时,需进仓处理;(3)盾构机穿越复杂多变地层,遭遇被迫停机(如处理孤石),需开仓检修、维修刀盘<sup>[1-9]</sup>。因此,选择合适进仓方式和时机对刀具、刀盘进行检修或更换已成了盾构隧道施工中一项难以避免的作业。

目前工程实际中常采用的开仓技术包括常压开仓、辅助常压开仓和带压开仓 3 种,开仓方式的选择必须结合地层、经济分析、风险分析进行综合比选,当开挖面稳定性较好时,通常选用常压开仓或辅助

收稿日期:2019—12—03 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.02.015

作者简介:曲兆雷,男,汉族,1985 年生,地铁项目执行经理兼总工程师,地理信息系统专业,广西南宁市江南区那洪大道 16 号秋潮集团 4 楼中国建筑(530031),184429383@qq.com。

引用格式:曲兆雷.盾构辅助常压开仓技术在南宁地铁隧道中的应用[J].采矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):88—93.

QU Zhaolei. Auxiliary intervention technology in shield tunneling at atmospheric pressure in the Nanning Subway Tunnel[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):88—93.

常压开仓<sup>[10-12]</sup>。

## 1 常压开仓位置选择及辅助常压开仓方法

### 1.1 常压开仓位置选择

常压开仓可充分利用地层的自稳性,在地层条件好的情况下,同时具备安全性和经济性等优势。根据开仓原因的不同,常压开仓可分为主动开仓和被动开仓两类,主动开仓即主动计划进行的盾构刀具检查、更换;被动开仓指不可预见事件处理而进行的开仓,如泥饼处理、孤石及硬岩处理、刀盘刀具磨损严重的检查更换等。主动开仓可以自主选择开仓位置,一般可选在出全断面中风化岩层位置前、结合联络通道加固位置。主动进仓点的选择要综合考虑地质条件与周边环境条件,地质条件直接关系到开仓施工安全,要求地下水少、地层自稳能力强<sup>[13-14]</sup>。

### 1.2 辅助常压开仓方法

当地层自稳性较好,但不足以直接进仓时,可采用辅助加固手段后常压开仓。此时,开仓点周边应具备地层加固条件,应避开管线、建(构)筑物、水体、地层分界面、山谷地段、交通路口等。辅助常压开仓方法及应用实例如表 1 所示。

## 2 工程概况

南宁地铁 4 号线总部基地站—飞龙路站区间沿五象大道布设,东西走向,如图 1 所示。区间采用盾构法施工,总部基地站为盾构接收端,飞龙路站为盾构始发端,车站为盾构的始发与接收预留条件。左

表 1 辅助常压开仓方法及应用实例

Table 1 Method and field cases of auxiliary intervention at atmospheric pressure

| 序号 | 辅助方法         | 应用实例          |
|----|--------------|---------------|
| 1  | 旋喷桩加固和压密注浆加固 | 北京地区砂卵石地层     |
| 2  | 深层搅拌桩加固      | 南京地区砂层及淤泥质地层  |
| 3  | 钻孔排桩法        | 南京地铁 4 号线混合地层 |
| 4  | WSS 注浆加固     | 合肥地铁砂层        |
| 5  | 降水加固法        | 成都卵石地层        |
| 6  | 钻孔排桩降水方法     | 成都地铁          |
| 7  | 压密注浆和双液注浆加固法 | 北京地区          |
| 8  | 克泥效工法和衡盾泥工法  | 厦门和武汉         |
| 9  | 降水基坑开挖换刀修复法  | 长沙湘江隧道工程      |
| 10 | 基坑放坡开挖工法     | 南京地铁四号线       |
| 11 | 构筑小竖井开挖换刀法   | 沈阳和南京地铁       |
| 12 | 砂浆填仓换刀       | 深圳、广州、厦门等地铁   |
| 13 | 冻结法          |               |

线设计起止里程为 K15 + 826.021 — K16 + 682.906,区间长度为 859.262 m;右线设计起止里程为 K15 + 826.021 — K16 + 682.906,区间长度 856.885 m。区间在 ZK16 + 149.691 (YK16 + 150.088) 设联络通道兼区间泵房一处。区间隧道主要穿越硅质岩层、灰岩层、含角砾粘性土、角砾、粘性土粉质粘性土,工程影响范围内的地下水类型主要为上层滞水和裂隙岩溶水。

选用中铁装备出产的 487 号盾构机用于区间盾构施工。487 号盾构机的刀盘结构为辐条面板式,如图 2 所示,包括 6 个主梁+6 个面板,刀盘开口率 35%,可安装滚刀,刀座可实现滚刀与可更换撕裂刀、可更换滚刀更换,为复合式刀盘。同时具备较硬



图 1 总部基地站—飞龙路站区间线路平面图

Fig.1 Layout of Zongbujidi Station to Feilong Road Station Tunnel

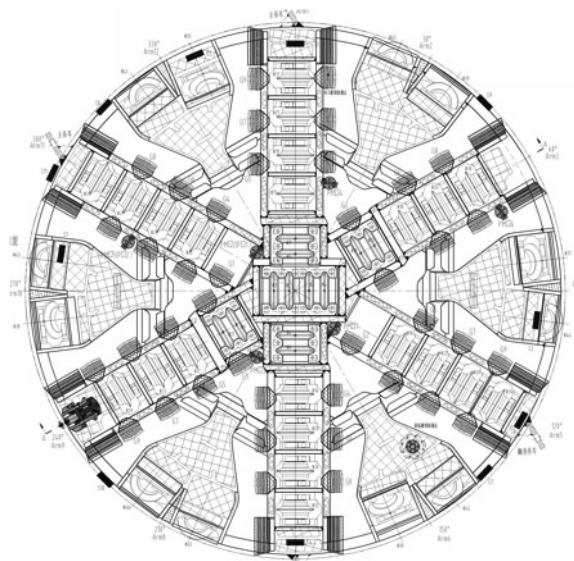


图 2 487 号盾构机刀盘结构

Fig.2 Structure of shield machine cutter head for No. 487

岩掘进和软土地层的掘进要求。

由于区间隧道长度较大,且长距离穿越全断面硅质岩层,土质硬度较高,易造成刀盘磨损,根据计划对左线盾构机进行开仓检查及刀具更换。刀具检查及更换位置位于左线区间隧道 317 环处,地层为全断面硅质岩层,地质剖面如图 3 所示。地面位置位于五象大道机动车道,施工影响范围内无建筑物与重要市政设施,如图 4 所示。

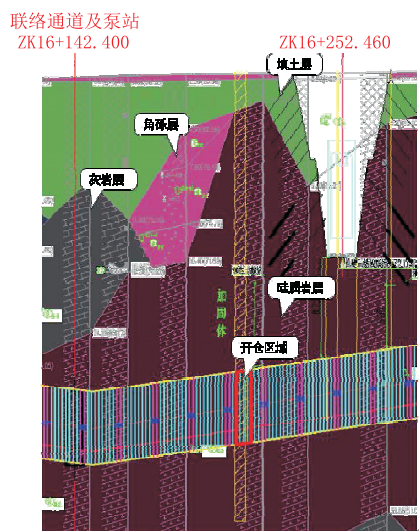


图 3 左线刀盘 317 环位置地质纵断面

Fig.3 Geological vertical section at Ring 317 of the left line cutter head

### 3 素桩加降水辅助常压开仓技术

由于本区间全断面硅质岩地层强度较低,盾构

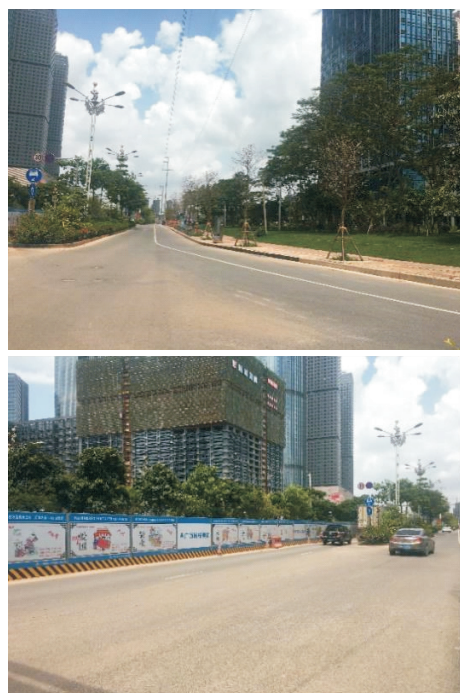


图 4 开仓位置周边环境

Fig.4 Surrounding environment of shield intervention

机常压开仓时掌子面在水土作用下有坍塌的风险。开仓处岩层自稳能力较差,岩体破碎,采用素桩加降水井的方式进行常压换刀施工作业。整个开仓作业包括两次,其中第一次开仓作业过程中出现险情,经过对方案进行改进后,进行第二次开仓作业,顺利完成开仓换刀作业。

由本区间前 300 环掘进经验可知,全断面硅质岩地层中裂隙水水量较大,因此对常压换刀位置进行可靠的降水施工。

#### 3.1 第一次开仓作业

第一次开仓换刀施工前,考虑到本区间全断面硅质岩地层风化性较高,岩层易破碎,盾构机常压开仓时掌子面在水土作用下有坍塌的风险,预先在开仓位置 316 环处打入 3 排素桩,让盾构机主动掘进进入素桩加固区,达到稳定掌子面的效果,素桩加固区设计采用  $\Phi 1000@1000$  的素混凝土灌注桩,梅花形布置,合计成桩 28 根,素桩采用 C15 混凝土浇筑,成桩深度为隧道底面向下 3 m。在开仓换刀施工前,为了减少地下水对整个换刀施工过程的影响,在加固体前后及盾体两侧和盾尾位置各设置 2 口降水井,刀盘前方增设 2 口降水井,合计 10 口降水井,降水井深度 40 m。加固及降水详情如图 5 所示。

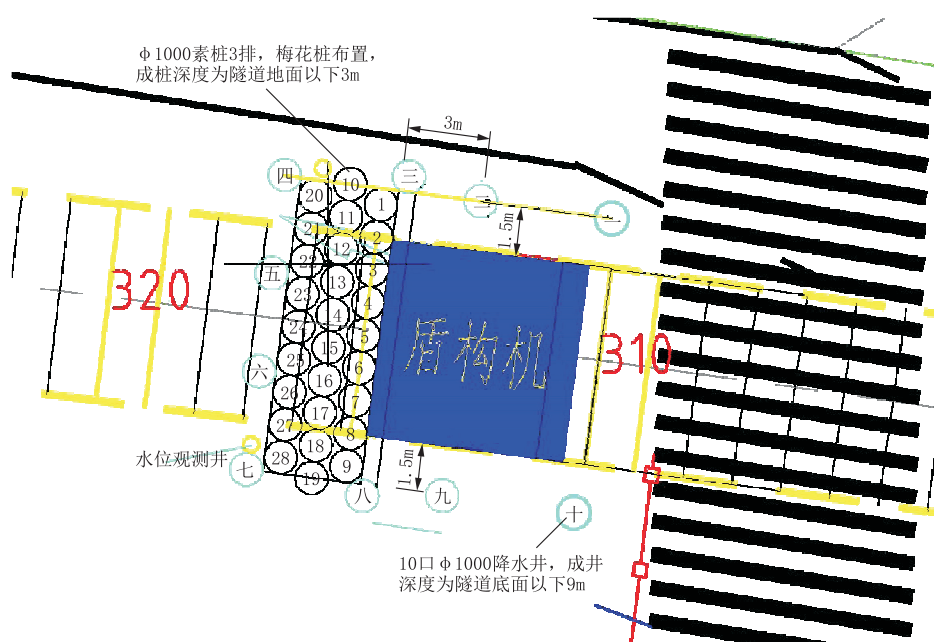


图 5 第一次开仓换刀加固详图

Fig.5 Reinforcement details of the first intervention for replacement of the cutter head

按照上述加固方法,实际开仓换刀施工过程中,由于南侧 2、3 号降水井受非机动车道南侧 110 kV 高压线塔的影响,成井位置距离盾构机过近,在高水头压力作用下,进行第 4 仓开仓换刀施工时出现了土仓内涌入 3 号降水井滤料的险情,项目部当机立断,立即撤出土仓内施工人员,并关闭土仓闸门。后续观察发现,加固桩桩间空隙经高压水流冲刷,水土流失,已形成渗漏通道,原加固措施已无法满足开仓换刀施工需求。

### 3.2 第二次开仓加固方案

为保证作业人员生命安全,保证开仓换刀施工顺利进行,在原素桩加固体外侧补充 22 根  $\Phi 1000$  mm 的素咬合桩,素桩采用 C20 水下混凝土浇筑,成桩深度为隧道底面以下 3 m,桩长 34 m。其中,在原有 3 排素桩加固体前补充 19 根素咬合桩,南北桩距 0.7 m、东西桩距 1 m,在原加固体北侧补充 2 根素桩,南侧补充 1 根素桩。

将原降水井回填,在新加固体旁重新设置 10 口降水井与 5 口观测井,其中 9 口降水井与 2 口观测井需要重新施工,剩余的 1 口降水井与 3 口观测井利用原有降水井与观测井。降水井深度 40 m,观测井深度 35 m。其中 4 口降水井设置在加固体两侧,用于掌子面周围降水,2 口降水井设置于盾体两侧

313 环位置、2 口降水井设置于盾尾 311 环位置,分别用于降低盾构机两侧及后方水位。2 口降水井设置于刀盘正前方,用于降低盾构机前方水位,降水井中心距离盾构机盾壳净距 1.5 m,水位观测井设置于加固体两侧,用于观测降水水位。新加固体布置如图 6 所示。

### 3.3 加固体施工

#### 3.3.1 素桩施工

为了开仓换刀地层加固施工进度及后续施工质量考虑,开仓换刀地层加固施工先进行咬合桩施工,施工顺序为 1、4、7、10、...、22,跳 3 孔施工。由于 22 号素桩处于原加固体后侧且不与其它桩位相连,第一次开仓施工时盾构机刀盘 3 点位有一定渗漏,疑似桩间土已流失。为了保证盾构机盾体北侧加固效果,对盾体北侧 22 号桩周围土体进行注浆加固。地面注浆采用地质钻机进行引孔,钻孔深度 23 m,下管进行补浆,浆液水灰比 1,间距 0.5 m,共计 18 根(详见图 7)。

#### 3.3.2 降水施工

降水井埋置深度为 40 m,成孔直径 1000 mm,盾构机前方 4、5、6、7 号采用  $\Phi 400$  mm PE 管,盾构机开仓换刀完成之后直接对其穿越,其余降水井孔下入  $\Phi 500$  mm 钢管,滤管外包 2 层 60 目尼龙网。

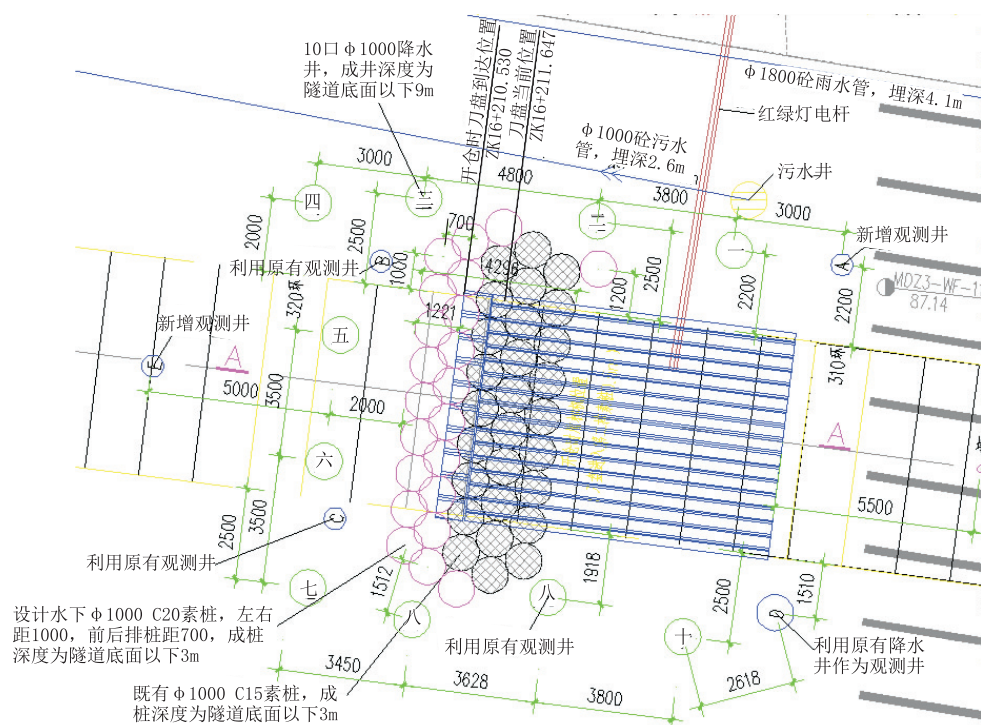


图6 第二次开仓换刀加固图

Fig.6 Reinforcement details of the second intervention for replacement of the cutter head

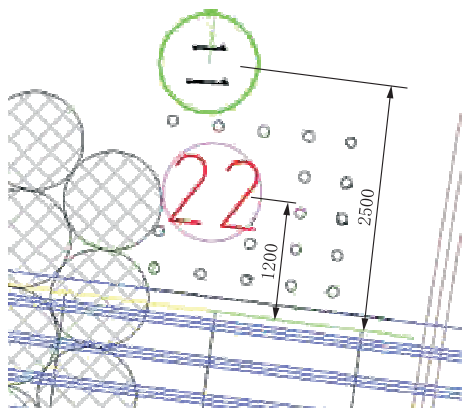


图7 22号桩周边钻孔注浆加固示意

Fig.7 Grouting reinforcement around Pile 22

管范围内回填 4~7 mm 滤料, 滤料含泥量 $\leq 3\%$ , 井口用粘土封填防止地表水流入, 井边四周设挡水台, 降水井管底采用滤网进行封闭, 防止泥沙流出。管内安装潜水泵, 并根据水量变化及水位观测孔的水位调整泵型、泵量, 确保降水效果, 潜水泵扬程 100 m, 功率 25 kW, 启动功率 100 kW, 抽水量为 50  $\text{m}^3/\text{h}$ 。降水井施工完成后进行降水抽排, 水位降至隧道底部以下 1 m 后进行开仓施工。观测孔采用  $\text{O}800$  mm PVC 管, 深度 35 m,  $\text{O}800$  mm 滤管外包 2 层 60 目尼龙网。管范围内回填 4~7 mm 滤料,

滤料含泥量 $\leq 3\%$ 。2 口分布在盾构机前方, 2 口分布在盾构机后方两侧, 用于水位观测<sup>[15-16]</sup>。

#### 4 开仓作业实施效果

在第一次开仓换刀作业失败的基础上, 项目部严格按照变更后的加固方案, 组织实施了素桩施工、降水井施工及 22 号素桩周边的注浆加固, 通过开仓条件验收后, 进行了第二次开仓换刀作业。主要作业内容包括清理刀盘泥饼、拆除磨损刀具和安装新刀具, 共更换刀具 12 把。在长达 7 d 的开仓作业时间内, 地面沉降监测点未出现异常沉降, 土仓内未见渗漏水现象。通过清理土仓内土体可以发现完整桩体, 素桩加固效果较好, 开挖面整体稳定, 未出现险情。第二次开仓作业的顺利实施, 说明在素桩、降水的施工质量能得到保证的前提下, 这一加固方案用于该地层的盾构开仓作业是可行的。

#### 5 结语

降水井必须严格按照设计进行施工, 降水井平面位置不准, 可能导致开仓失败。

素桩加降水这一辅助常压开仓技术可在南宁地区盾构开仓中进行应用, 对于类似条件下的盾构开

仓方案选择具有借鉴意义。

## 参考文献(References):

- [1] 张凤祥,朱合华,傅德明.盾构隧道[M].北京:人民交通出版社,2004.  
ZHANG Fengxiang, ZHU Hehua, FU Deming. Shield tunnel [M]. Beijing: China Communication Press, 2004.
- [2] 周文波.盾构法隧道施工技术及应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.  
ZHOU Wenbo. Shield tunnelling technology[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004.
- [3] 张宗喜,辛振省.复杂地层泥水盾构开仓换刀施工技术研究[J].铁道工程学报,2013(3):62—65,96.  
ZHANG Zongxi, XIN Zhenxing. Research on technology for opening compartment and changing cutleries of slurry shield under complicated geological conditions[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013(3):62—65,96.
- [4] 唐伟,张继清,吴劲旻.卵石层中长距离大直径盾构换刀地面加固研究[J].铁道工程学报,2012(2):19—24.  
TANG Wei, ZHANG Jiqing, WU Shaoyang. Research on ground reinforcement for replacing cutters for long-distance and large diameter shield driving in pebble layer[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012(2):19—24.
- [5] 董泽龙.富水砂砾石复合地层土压平衡盾构气压开仓施工技术[J].城市道桥与防洪,2016(3):127—130.  
DONG Zelong. Earth pressure balance shield excavation chamber tunneling technology in water-rich sand gravel complex stratum[J]. Urban Roads Bridges and Flood Control, 2016(3):127—130.
- [6] 杨志勇,王霆,江玉生.无水砂卵石地层土压平衡盾构主动换刀技术研究[J].现代隧道技术,2016,53(1):147—152.  
YANG Zhiyong, WANG Ting, JIANG Yusheng. Active cutter replacement techniques for EPB shield tunneling in a waterless sandy cobble stratum[J]. Modern Tunneling Technology, 2016,53(1):147—152.
- [7] 陈馈.盾构法施工超高水压换刀技术研究[J].隧道建设,2013,33(8):626—632.  
CHEN Kui. Technologies for replacing cutting tools in shield tunneling under ultra-high water pressure[J]. Tunnel Construction, 2013,33(8):626—632.
- [8] 朱伟,闵凡路,夏胜全,等.南京长江隧道开挖面稳定性控制及开仓实例研究[C]//第六届中日盾构隧道交流会论文集.2011:324—329.  
ZHU Wei, MIN Fanlu, XIA Shengquan, et al. A case study of tunnel face stability and chamber intervention in Nanjing Yangtze River Tunnel[C]//Proceedings of the Sixth Japan - China Conference on Shield-driven Tunneling. 2011:324—329.
- [9] 温良涛.软弱富水砂层地质条件下土压平衡盾构接收施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):88—93.  
WEN Liangtao. Receiving process for earth pressure balance shield in soft water-rich sand formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(6):88—93.
- [10] 朱伟,闵凡路,姚占虎,等.盾构隧道开仓技术现状及实例[J].现代隧道技术,2015,52(1):9—18.  
ZHU Wei, MIN Fanlu, YAO Zhanhu, et al. Technical status and case study on intervention in the shield chamber[J]. Modern Tunneling Technology, 2015,52(1):9—18.
- [11] 王江卡.深圳地铁复合地层盾构换刀加固施工技术[J].工程建设与设计,2015(4):139—143.  
WANG Jiangka. Construction technology on strata reinforcement for changing cutter heads in Shenzhen composite strata[J]. Construction & Design for Project, 2015(4):139—143.
- [12] 张雨来.长春地铁富水砂卵石地层常压开仓加固技术[J].建筑机械,2018(1):93—96.  
ZHANG Yulai. Consolidation technology of open position in water rich sandy gravel stratum in Changchun Subway[J]. Construction Machinery, 2018(1):93—96.
- [13] 刘树山.砂卵石地层盾构隧道刀具更换方案研究[J].隧道建设,2008,28(3):268—270,276.  
LIU Shushan. Study on ground consolidation scheme for cutting tool replacement during shield tunneling in cobble and sand strata[J]. Tunnel Construction, 2008,28(3):268—270,276.
- [14] 王志成.常压更换刀具换刀程序和改进方案[J].隧道建设,2010,30(3):339—343.  
WANG Zhicheng. Procedure of replacing of cutting teeth under atmospheric pressure and its optimization[J]. Tunnel Construction, 2010,30(3):339—343.
- [15] 李洪财.南京长江江心洲超大直径盾构接收井明挖段超深基坑降水技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):87—92.  
LI Hongcai. Study on dewatering technology of ultra-deep foundation pit in opening cut section of super-large diameter shield receiving well in river island of Nanjing Yangtze River[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(5):87—92.
- [16] 车灿辉.巨厚非均质潜水含水层抽水试验及参数计算[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(11):60—64.  
CHE Canhui. Pumping test and calculation of hydrogeological parameters for massive anisotropic phreatic aquifers[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(11):60—64.

(编辑 周红军)