

文章编号:1006-2106(2014)08-0090-06

# 盾构法隧道端头井地层加固方法及其应用研究<sup>\*</sup>

王天明 戴志仁<sup>\*\*</sup>

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043)

**摘要:**研究目的:盾构始发或接收是控制盾构法隧道工程的关键节点之一,鉴于盾构法隧道端头井地层加固风险高、投资大,且近年来由于端头井地层加固处理不当引起的工程事故屡见不鲜,因此需要针对不同的地质条件与加固要求,明确合理的地层加固方式与相应的加固范围,以及环境保护要求相对苛刻条件下的特殊工法。

**研究结论:**通过研究得出:(1)由土体稳定性与止水性要求共同确定的纵向加固长度为盾构机长度与(1~2)倍管片环宽之和,而由土体稳定性确定的加固长度仅需3~4 m;(2)受橡胶老化与密封压力较低的影响,铰链板结合止水橡胶板密封装置的使用受到限制,箱体密封装置由于密封压力高、密封性能可靠且施工便捷,在泥水盾构工程中比较适用;(3)盾构密闭始发装置在风险控制、工期保障、环境保护与循环利用等方面具有明显的优势;(4)盾构密闭始发装置可应用于各类盾构隧道工程,尤其是周边环境控制要求高、不允许进行地面管线改迁的工程。

**关键词:**盾构井;地层加固;洞门密封型式;盾构密闭始发

**中图分类号:**U455.4 **文献标识码:**A

## Application on Ground Reinforcement Method of Launching Shaft for Shield Tunnel

WANG Tian-ming, DAI Zhi-ren

(China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd, Xi'an, Shanxi 710043, China)

**Abstract:** **Research purposes:** Shield launching and receiving is one of the most important process during shield tunneling. Large investment and high risk will be encountered in ground reinforcement for shield launching shaft, and engineering accidents also frequently happen due to insufficient reinforcement. Therefore, the reinforcement method and its relevant range should be made clear based on kinds of geological conditions and reinforcement requirements, and some specific construction method should also be put forward in some specific construction conditions.

**Research conclusions:** From the study, it is concluded: (1) The longitudinal reinforcement length should be the sum of shield length and 1~2 times of segment width which is determined by soil stability and watertightness. The reinforcement length which is determined by soil stability is only 3~4 m. (2) The limitation of hinge plate with sealing rubber sheet is put forward due to rubber aging and the relatively lower sealing pressure, and also the box sealing device is applied in slurry shield project due to the relatively higher sealing pressure and reliable performance. (3) The advantages of shield airtight launching device on risk control, construction period guarantee, and environment protection

<sup>\*</sup> 收稿日期:2014-05-05

<sup>\*\*</sup> 作者简介:王天明,1963年出生,男,教授级高级工程师,现任中铁第一勘察设计院集团有限公司城建院副总工程师;戴志仁,1981年出生,男,工程师。

are made clear. (4) The shield airtight launching device can be adopted in all types of shield launching project, especially for strict control requirement of surrounding environment and no pipeline movement.

**Key words:** shield shaft; ground reinforcement; hole water – proof type; the shield airtight launching device

近年来,随着城市轨道交通建设的快速发展,盾构法隧道端头井地层加固不当引起的工作井洞门喷砂涌水、土体坍塌、隧道破坏等严重事故屡见不鲜,如上海轨道交通 8 号线某车站盾构接收时,泥砂大量涌入接收井,经过两次地基补充加固与接收才控制住风险<sup>[1]</sup>;上海轨道交通 10 号线某车站盾构始发时,地层沉降导致上方雨水管破裂,引起大量泥水涌入致使始发井被淹;以及南京地铁某车站盾构接收时,操作不当引起地面大范围塌陷与隧道破损等等。据不完全统计,对于盾构法隧道工程,盾构始发或接收引起的工程事故占到总事故的 70% 以上<sup>[2]</sup>。相关学者对此进行了大量研究,张庆贺等<sup>[3]</sup>系统地介绍了盾构进出洞工作井封门的设计、制作及土体加固的施工技术要求;李大勇等<sup>[4]</sup>对盾构井端头地层加固与一般地层加固的区别进行了分析;赵峻<sup>[5]</sup>介绍了洞门圈用填料盒进行密封的设计方法;李飞等<sup>[6]</sup>介绍了用一端开口、另一端封闭的钢套筒装置来接收盾构的思路;王梦恕等<sup>[7]</sup>介绍了切割洞门法与电蚀直接穿越法(EW 法);Yun Bai 等<sup>[8]</sup>介绍了软土地区盾构隧道进出洞的主要风险及其应对措施等等。现有研究成果主要集中在加固土体的稳定性计算、洞门密封型式与风险控制等方面,未能对既有端头井加固方式的选择提供有效的参考依据。

本文从盾构井端头地层加固的基本理论出发,对盾构井端头地层的纵向与横向加固范围、各类洞门密

封型式与地层加固方法的优缺点及其选择依据进行了详细的论述,明确了洞门密封型式与地层加固范围应统筹考虑,在此基础上,将相关原理应用于南宁地铁 1 号线各区间盾构井端头加固设计,并对特殊工况下的盾构密闭始发技术进行了重点介绍,包括基本原理、主要工序与关键技术,肯定了盾构密闭始发技术在风险控制、工期保证与环境保护等方面的优势。研究结论可为盾构始发与接收相关的设计与施工提供依据。

## 1 盾构井端头加固理论、加固方式及其选择依据

对于盾构井端头地层加固而言,遇到的主要问题有:破除洞门时发生的坍塌和从洞门密封处出现的涌水、涌砂;地下水与砂土沿着盾壳与土体间的空隙从盾构机周边处流入工作井;工作井周边地表及地下埋设物等产生沉降或变形<sup>[2]</sup>。因此,盾构始发或到达施工的安全问题要从规划、设计阶段就予以关注,尽可能将端头井远离管线布置<sup>[9]</sup>。

### 1.1 洞口土体加固理论

目前,国内盾构端头井土体加固理论分析方法主要有板块理论、弹塑性静力学理论、土体扰动极限平衡理论以及滑移线理论等,各种方法的适用性与对比分析如表 1 所示,其中基于土体扰动极限平衡理论与滑移线理论方法的应用相对普遍。

表 1 洞口加固理论研究方法的对比

加固理论	理论基础	理论角度	安全系数	适用性
板块理论	弹性薄板理论	微观角度	加固体极限抗拉强度安全系数	砂性土或黏性土
弹性静力学理论	弹性薄板理论	微观角度	加固体弯曲应力或剪应力安全系数	砂性土或黏性土
基于扰动理论	极限平衡理论	微观角度	加固范围安全系数	砂性土
滑移线理论	极限平衡理论	整体平衡角度	加固体抗滑移安全系数	黏性土

### 1.2 洞口土体加固范围的工程解

洞口土体加固的主要目的是解决破除洞门后土体的稳定性与止水性问题。

#### 1.2.1 土体纵向加固长度

洞口土体的加固设计需要同时考虑纵向与横向加固长度,其中纵向加固长度主要考虑盾构机类型、地层透水性以及洞门密封型式等<sup>[7]</sup>,具体如表 2 所示。

表 2 盾构井端头地层纵向加固长度建议值

盾构机类型	地层透水性	洞门密封型式	纵向加固长度	
			解决的主要问题	纵向加固长度
泥水平衡盾构	透水	帘布橡胶或填料盒	土体稳定性与止水性	盾构机长度 + (1~2)倍管片环宽
	不透水	帘布橡胶或填料盒	土体稳定性	满足稳定性要求
	透水	钢丝刷或气囊密封或箱体密封	土体稳定性	满足稳定性要求
	不透水	钢丝刷或气囊密封或箱体密封	土体稳定性	满足稳定性要求
土压平衡盾构	透水	帘布橡胶或填料盒	土体稳定性与止水性	盾构机长度 + (1~2)倍管片环宽
	不透水	帘布橡胶或填料盒	土体稳定性	满足稳定性要求
	透水	钢丝刷或气囊密封或箱体密封	土体稳定性	满足稳定性要求

由表 2 可知,当同时需要考虑土体的稳定性与止水性时,纵向加固长度为盾构机长度加(1~2)倍管片环宽,这主要是由于当纵向加固长度小于盾构主机长度时,刀盘与盾尾无法同时位于加固区,加固区前方隧道洞周的水土(特别是砂性或粉土地层)可能沿着盾壳与岩土之间的空隙进入端头井,所以纵向加固长度应大于盾构主机长度,使得盾尾进入加固区并注浆后,盾构机刀盘尚未脱离加固区,确保加固区前方地层水土的渗漏通道完全被加固土体及隧道背衬注浆所隔断。

同时,当只需要考虑土体的稳定性问题时,对于砂质地层,可将加固层看作是挡土墙支撑的圆板来进行计算;对于黏土地层,则可将拆除挡土墙时形成的圆弧滑动面进行计算。既有经验表明,一般纵向 3~4 m 的加固长度即可满足要求。

1.2.2 土体横向加固长度

对于横向土体加固长度,主要根据采用的加固方法,由土体的稳定性与止水性共同确定。根据国内盾构法隧道工程经验,构造上横向加固长度参考表 3,其中  $D$  为盾构直径,  $B$  为隧道中心处水平向加固长度,  $H_1$  和  $H_2$  表示盾构上、下需要加固的土层厚度<sup>[3]</sup>。

表 3 盾构井端头地层横向加固长度经验值 (单位:m)

$D$	$1 \leq D < 3$	$3 \leq D < 5$	$5 \leq D < 8$	$8 \leq D < 12$	$12 \leq D < 15$
$B$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$H_1$	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
$H_2$	1.0	1.0	1.5	2.0	3.0

1.3 盾构井端头加固方式及其选择依据

盾构井端头加固方式主要包括洞门密封型式与地层加固方式,在设计中需要统筹考虑。当具体的洞门密封型式可以有效解决洞门止水问题时,端头井地层的纵向加固长度可以大大减小,工程费用与工期也可得到有效控制。

1.3.1 常用洞门密封型式及其选择依据

为防止泥水从洞门外洞口与盾构壳体之间的环形

建筑空隙窜入工作井内,影响开挖面泥水压力或正面土压力的建立,必须要设置性能良好的洞口密封止水装置。目前,国内外盾构始发或达到中使用的止水装置主要有铰链板结合止水橡胶板密封装置(如图 1 所示)、洞圈填料盒密封<sup>[4]</sup>、气囊密封装置以及箱体结构密封装置(如图 2 所示)<sup>[6]</sup>等。其中铰链板结合止水橡胶板密封装置的运用最为广泛,但水压力较大时或是泥水平衡盾构条件下应尽量避免使用,同时也应密切注意橡胶老化引起的密封失效问题;气囊密封装置在铰链板后面可以设置多道气囊,显著提高密封效果;当地层条件对洞口密封装置要求很高时,可考虑采用箱体结构密封装置,设置的多道密封刷与注浆孔可确保洞门的有效密封。

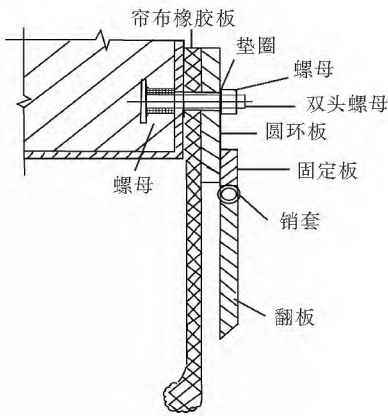


图 1 铰链板结合止水橡胶板密封装置

泥水盾构始发时,由于盾构机掘削面需要尽快建立泥水压力平衡开挖面水土压力,较高压力的泥浆会通过盾壳与地层间的空隙向盾尾方向渗透,因此对盾尾密封提出了较高的要求,一般的铰链板结合止水橡胶板密封装置难以满足要求,因此箱体密封装置在泥水盾构工程中应用广泛。

1.3.2 常用地层加固方法及其选择依据

不同性质的隧道工程,其洞口的结构形式各不相

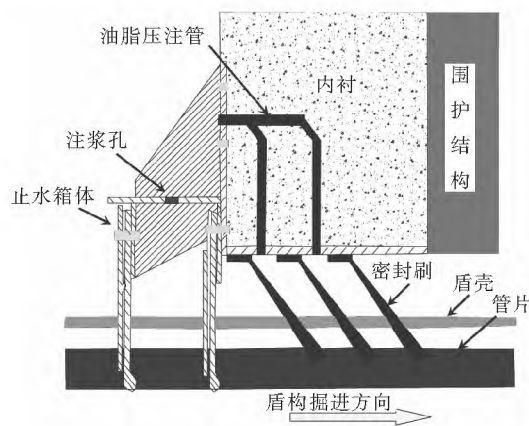


图 2 箱体洞门止水装置

同,常见的有:外封门、内封门、特殊封门、地下连续墙封门、钻孔灌注桩封门、SMW 工法封门和合成纤维混凝土洞门等。所以,地层加固方式和技术也须随洞口工况和封门结构形式进行优化、调整。

目前常用的地层加固方法主要有降水法、注浆法、深层搅拌桩(结合 SMW 工法)、高压旋喷法、冻结法、素混凝土连续墙或素混凝土桩结合降水法等等,对地下水位比较高、透水性比较强的地层,应同时配合采用降水措施。对工程中常见的盾构井端头地层加固方法进行比较,具体如表 4 所示<sup>[8]</sup>。

表 4 盾构端头洞口土体加固工法综合对比

加固方法	工法特点、适用性及对环境影响	安全性	工期与造价
降水法	(1)井点布置灵活、使用方便;(2)施工速度快,见效快;(3)个别井管破坏不会影响整个系统;(4)可反复使用,费用低;(5)改善土体的性能	降低地下水位,配合其他工法可大大提高安全性	施工速度快,造价较低
冻结法	(1)土体加固强度高、止水性能好;(2)施工周期长、造价高;(3)土体的冻触对地面的隆沉有一定影响;(4)适用于含水量较高的砂性土层,在越江隧道的工程中较为多用	冻结质量有保证时,土体强度和抗渗性能较好,是一种比较安全的工法	工期长(三个月左右),造价高
注浆法	(1)施工设备简单,规模小,耗资少;(2)占地面积小,对交通影响小,噪声和振动较小;(3)土体加固质量可靠性不高,常配合其他工法一起使用;(4)不宜用于泥水平衡盾构	加固质量的可靠性相对较差,单独使用时风险较大	工期较短,造价较低
深层搅拌桩(SMW)	(1)对土体扰动较小;(2)水泥与土体充分搅拌,桩体全长无接缝,止水性好;(3)环境污染小,施工时噪声小、振动小;(4)水泥土后期强度增长较大,可能会造成盾构切削土体困难;(5)适用各种土质	土体的强度、抗渗性能均较好,是一种较安全的工法	工期较短,造价相对较低
高压旋喷桩	(1)浆液注入的部位和范围可控,搭接紧密;(2)可调节注入参数以获得满足设计需求的固结体;(3)设备轻便、操作容易、施工所需空间小;(4)适合大部分地层;(5)施工可能会影响附近管线及构筑物;(6)不宜用于泥水平衡盾构	加固土体强度很高,但抗渗性能差	工期较短,造价较高
素混凝土墙结合注浆法	(1)注浆深度大、可注性好;(2)可分段、重复注浆;(3)注浆过程中发生冒浆和串浆的可能性小;(4)钻孔、注浆可平行作业,工作效率高 <sup>[9]</sup>	加固范围与加固质量可靠,较安全	工期较短,造价相对较低
素混凝土桩结合降水法	(1)施工设备简单,规模小,耗资少;(2)占地面积小,对交通影响小,噪声和振动较小;(3)地层强度加固质量可靠性不高	一定程度上取决于地层降水效果	工期较短,造价相对较低

2 南宁地铁 1 号线区间隧道盾构井端头加固方式比选

2.1 工程简介

南宁地铁 1 号线西乡塘客运站~衡阳西站区间地质条件复杂<sup>[10]</sup>,盾构穿越地层主要为强透水的圆砾层,区间隧道所处地层从上到下主要为素填土层、硬塑

状粉质黏土、可塑状粉质黏土层、软塑状粉质黏土层、粉土以及圆砾层,隧道洞身一般位于可塑状粉质黏土层、软塑状粉质黏土层与圆砾层,具体如表 5 所示。

2.2 盾构井端头加固方式比选

基于北京、成都、沈阳等地卵石土地层条件下,盾构井端头地层加固主要采用地面袖阀管注浆、素桩+深层注浆或地面双重管高压旋喷桩等方式,基于表 4



中各种地层加固方法的综合比较,考虑到南宁地区圆砾层渗透系数高(大于 60 m/d)的特点,单一某种工法的加固效果在卵石土地层条件下可能难以保证,因此综合采用了不同的组合工法,具体如表 5 所示。

表 5 南宁地铁 1 号线盾构井端头地层情况与加固方式

位置	地质情况		拱顶埋深/ 地下水位/m	周边控制管线	端头井地层加固方式	
	洞顶	洞身			洞门密封型式	地层加固方式
西乡塘客运站大里程端接收井	素填土、硬塑状粉质黏土、可塑状粉质黏土	可塑状粉质黏土	9.61/7.35	无	铰链板结合止水橡胶板密封(帘布橡胶)	高压旋喷桩
民族大学站小里程端始发井	素填土、硬塑状粉质黏土、粉土	粉土、圆砾	10.29/6.53			600 mm 厚素混凝土连墙 + 袖阀管注浆
民族大学站大里程端始发井	素填土、软塑状粉质黏土	软塑状粉质黏土、圆砾	9.11/7.35			
陈村站小里程端接收井	素填土、硬塑状粉质黏土	硬塑状粉质黏土、圆砾	9.63/5.33			
陈村站大里程端接收井	素填土、硬塑状粉质黏土、软塑状粉质黏土	圆砾	8.07/7.80			
动物园站小里程端始发井	素填土、硬塑状粉质黏土、可塑状粉质黏土	可塑状粉质黏土、软塑状粉质黏土	9.61/6.25			高压旋喷桩
动物园站大里程端接收井	素填土、硬塑状粉质黏土、可塑状粉质黏土	可塑状粉质黏土、圆砾	10.03/6.35			600 mm 厚素混凝土连墙 + 袖阀管注浆
心圩江站小里程端始发井	素填土、硬塑状粉质黏土	圆砾	10.55/7.80			高压旋喷桩
心圩江站大里程端接收井	素填土、硬塑状粉质黏土、	软塑状粉质黏土	9.34/7.55	污水管 $\phi 1\ 500$		$\phi 1\ 000$ mm 素桩 + 袖阀管地面注浆
广西大学站小里程端始发井	素填土、硬塑状粉质黏土	圆砾	9.19/7.00			

3 盾构密闭始发技术在南宁地铁中的运用

3.1 原盾构始发方案

南宁地铁 1 号线广西大学站盾构始发井端头位于大学东路路中,周边商业繁华,构筑物密集,同时始发井端头地层加固范围内存在控制性管线(埋深 -1.2 m 的煤气管以及埋深 -2.7 m ~ -1.2 m 直径 1.5 m 的雨污河流管)。

原盾构始发井端头地层加固采用素混凝土连续墙 + 地面袖阀管注浆,但地层加固范围内管线迁改工期长、难度大、费用高,按盾构始发场地现状,无法满足工期要求。为解决管线影响端头加固的问题并满足工期要求,对部分管线进行保护后,采用盾构密闭始发技术。

3.2 盾构密闭始发技术

3.2.1 盾构密闭始发原理

盾构密闭始发技术的基本原理是将盾构始发施工转变为正常掘进施工。主要利用一个两端开口的钢套

筒,其一端与洞门预埋环梁相连,另一端利用加强环梁、管片负环与钢套筒筒体实现盾尾密封,如图 3 所示,在盾构机壳体与钢套筒之间形成一个相对密闭的三维环状空间,将一定压力的含水砂土充满密闭的三维环状空间,然后向土舱内注入泥浆(压力需达到设计值),实现洞门处掘削面上水土压力的平衡与正常掘进。

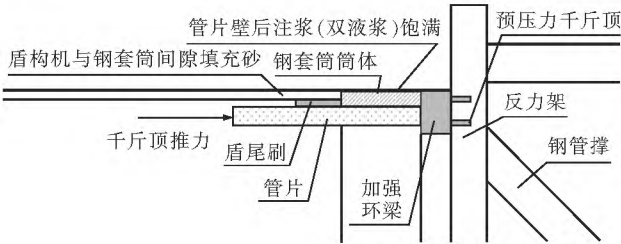


图 3 钢套筒与盾构机盾尾处密封设计示意图

3.2.2 盾构密闭始发步骤

盾构密闭始发主要涉及洞门检查、钢套筒安装、负

环安装与盾构机顶紧掌子面、钢套筒内回填砂以及始发掘进等几个步骤。关键是要控制好钢套筒各部分的连接及其密封性,钢套筒内含水砂土的回填与压力控制,以及盾构掘削面的平衡控制等。具体工序如图 4 所示。

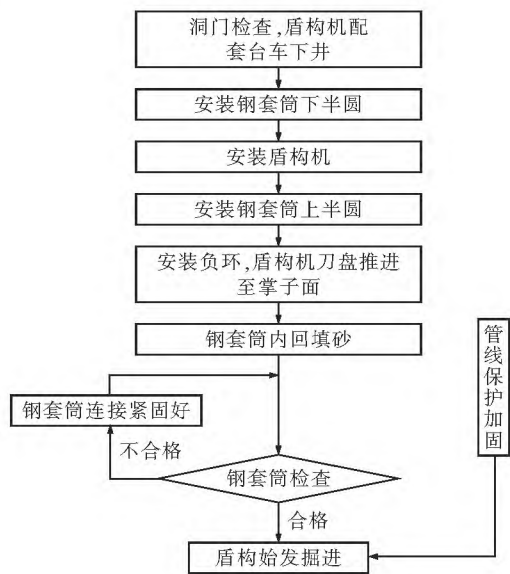


图 4 构始发工序图

3.2.3 盾构密闭始发关键技术

3.2.3.1 始发装置的密封性保障技术

钢套筒与洞门预埋环梁连接处开裂,钢套筒与负环之间密封不好,盾构始发时引起钢套筒压力泄漏,导致内外水土压力不平衡,引起地面沉降。因此,在反力架和加强环梁之间设置预压千斤顶,通过预压千斤顶对钢套筒施加预压力,使钢套筒顶紧洞门预埋环梁。钢套筒后端通过加强环梁和负环管片连接,连接处设置止水橡胶圈,负环管片外侧与钢套筒之间的间隙通过管片壁后注双液浆进行密封,如图 5 所示。



图 5 压力监测系统

3.2.3.2 盾构机与密封装置的防扭转技术

洞门连续墙除前,盾构机切削连续墙时产生较大扭矩可能超过盾构机自重与钢套筒下部砂之间的摩擦

反力。盾构机自重可以提供的扭矩为  $3\,129.5\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,钢套筒内加压后(刀盘中心压力达到  $150\text{ kPa}$ )防扭转的抵抗扭矩可以达到  $26\,217\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,同时还在钢套筒两侧每隔  $2\text{ m}$  安装了一根工字横撑和三脚架,完全可以满足盾构机防扭转的抵抗力矩。

3.2.3.3 盾构始发前的保压技术

盾构密闭始发的基本原理就是利用钢套筒内形成的水土压力与土舱内的泥浆压力,平衡掘削面上的地层压力,必须减少水土压力与泥浆压力在盾构始发过程中的波动。因此在钢套筒上设置了压力监测系统(图 5),对形成的水土压力进行实时监测,同时通过盾构机内部的监测系统,严格控制土舱内的泥浆压力。

4 结论

通过对盾构法隧道端头井地层加固方法及其在南宁地铁中的运用研究,主要得出以下几点结论:

(1) 基于盾构井端头地层加固的主要影响因素,分别给出了隧道纵向与横向的加固范围参考值,由土体稳定性与止水性要求共同确定的加固长度为盾构机长度与  $(1\sim 2)$  倍管片环宽之和,而由土体稳定性确定的加固长度仅需  $3\sim 4\text{ m}$ 。

(2) 明确了盾构井端头加固设计需统筹考虑洞门密封型式与地层加固范围,指出了铰链板结合止水橡胶板密封装置的局限性与箱体密封装置在泥水盾构工程中的适用性。

(3) 明确了常用的盾构井洞门密封型式的优缺点,对常用的盾构井地层加固方式的工法特点、适用性、安全性、以及工期与造价等方面进行了详细的比较,给出了相应的选择依据。

(4) 阐述了南宁地铁 1 号线各区间盾构井端头的加固方式,并对盾构密闭始发技术进行了较为详细的介绍,明确了盾构密闭始发技术在风险控制、工期保障、环境保护与循环利用等方面的优势。

参考文献:

[1] 戴志仁, 张心旷. 上海某地铁盾构隧道进出洞地基加固处理[J]. 施工技术, 2008(11): 103-105.  
Dai Zhiren, Zhang Xinkuang. Ground Reinforcement for Shield Construction of Some Subway Station in Shanghai [J]. Construction Technology, 2008 (11): 103-105.  
[2] 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 Communications Press, 2004. (下转第 100 页 To P. 100)

- Organization [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2000.
- [2] 毛保华, 姜帆, 刘迁, 等. 城市轨道交通[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- Mao Baohua, Jiang Fang, Liu Qian, etc. City Orbit Traffic [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [3] 伍勇, 刘思宁. 基于节能和面向旅客服务的列车编组方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2004(6): 27-31.
- Wu Yong, Liu Sining. Research on the Train Car-set Scheme Based on Saving Energy and Serving the Passengers[J]. Urban Mass Transit, 2004(6): 27-31.
- [4] 聂英杰. 城市轨道交通的客流特性分析[J]. 地下工程与隧道, 2003(4): 20-23.
- Ning Yingjie. Analysis of City Orbit Traffic Passenger Flow Characteristics[J]. Underground Engineering and Tunnel, 2003(4): 20-23.
- [5] 方蕾, 庞志显. 城市轨道交通客流与行车组织分析[J]. 城市轨道交通研究, 2004(5): 42-44.
- Fang Lei, Pang Zhixian. Analysis of Passenger Flow and Transportation Organization of City Orbit Traffic [J]. Urban Mass Transit, 2004(5): 42-44.
- [6] 唐明辉, 王健全. 城轨列车编组形式及牵引电机的选择[J]. 铁道机车车辆, 2005(3): 50-53.
- Tang Minghui, Wang Jianquan. Selection on Car-set Formation and Traction Motor of City Orbit Traffic Train[J]. Railway Locomotive and Vehicle, 2005(3): 50-53.
- [7] 叶芹禄. 试论城市轨道交通车辆的编组[J]. 铁道勘测与设计, 2004(6): 31-33.
- Ye Qinlu. Discussion on Train Car-set of City Orbit Traffic[J]. Railway Survey and Design, 2004(6): 31-33.
- [8] 王印富, 雷志厚. 城市轨道交通行车组织方法的探讨[J]. 铁道工程学报, 2001(4): 59-63.
- Wang Yinfu, Lei Zhihou. Discussion on Transportation Organization Scheme of City Orbit Traffic[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2001(4): 59-63.
- [9] 李宇东. 城市轨道交通开行“短列”可行性分析[J]. 铁道工程学报, 2002(1): 20-22.
- Li Yudong. Feasibility Study of Running Short Car-set Train of City Orbit Traffic [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2002(1): 20-22.
- [10] 费安萍. 大客流地铁运营组织[J]. 现代城市轨道交通, 2005(2): 33-35.
- Fei Anping. Transportation Organization of High Volume Metro Route[J]. Modern Urban Transit, 2005(2): 33-35.

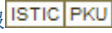
(编辑 曹淑荣)

(上接第 95 页 From P. 95)

- [3] 张庆贺, 唐益群, 杨林德. 隧道建设盾构进出洞施工技术研究[J]. 地下空间, 1994(2): 110-119.
- Zhang Qinghe, Tang Yiqun, Yang Linde. Study of the Construction Technologies for Shield Launching and Receiving in Tunnel Construction [J]. Underground Space, 1994(2): 110-119.
- [4] 李大勇, 王晖, 王腾. 盾构机始发与到达端头土体加固分析[J]. 铁道工程学报, 2006(1): 87-90.
- Li Dayong, Wang Hui, Wang Teng. Analysis of Soil Reinforcement for the Starting and Arriving of Shield Machine in Metro Construction [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2006(1): 87-90.
- [5] 赵峻. 盾构进出洞施工关键技术[J]. 上海建设科技, 2008(5): 62-65.
- Zhao Jun. Key Techniques for Shield Launching and Receiving[J]. Shanghai Construction Technology, 2008(5): 62-65.
- [6] 李飞, 凌波. 盾构到达接收辅助装置的设计[J]. 建筑机械化. 2009(9): 66-68.
- Li Fei, Ling Bo. Design of an Accessorial Equipment Used for the Arrival of a Shield in Metro Engineering [J]. Construction Mechanization, 2009(9): 66-68.
- [7] 王梦恕, 等. 中国隧道与地下工程修建技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- Wang Mengshu, etc. Tunneling and Underground Engineering Technology in China [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [8] Yun Bai, Zhiren Dai, Shaoming Liao and Yaoyao Fan. The Risks and Countermeasures of Shield Launching and Receiving in Soft Soil. ITA. AITES 2010 Word Tunnel Congress (May 14 ~ 20, Vancouver, Canada).
- [9] 白云, 汤竞. 软土地下工程的风险管理[J]. 地下空间与工程学报, 2006(1): 21-28.
- Bai Yun, Tang Jing. Risk Management for Underground Project in Soft Soils [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006(1): 21-28.
- [10] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 南宁市城市轨道交通 1 号线一期工程施工图设计[R]. 西安: 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 2013.
- China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd. The Detailed Design of Nanning Metro Line 1 at the First Stage [R]. Xi'an: China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd, 2013.

(编辑 吕 洁)

## 盾构法隧道端头井地层加固方法及其应用研究

作者: [王天明](#), [戴志仁](#), [WANG Tian-ming](#), [DAI Zhi-ren](#)  
作者单位: [中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安, 710043](#)  
刊名: [铁道工程学报](#)   
英文刊名: [Journal of Railway Engineering Society](#)  
年, 卷(期): 2014, 31 (8)

引用本文格式: [王天明](#). [戴志仁](#). [WANG Tian-ming](#). [DAI Zhi-ren](#) 盾构法隧道端头井地层加固方法及其应用研究[期刊论文]-[铁道工程学报](#)  
2014 (8)