

# 低瓦斯隧道大直径土压平衡盾构快速分体始发技术

薛彦军<sup>1</sup>, 刘奇<sup>1</sup>, 房师涛<sup>2</sup>, 李围<sup>3\*</sup>

(1. 中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 650004; 2. 中国电建集团铁路建设有限公司, 北京市 100044;  
3. 上海同隧土木工程技术有限公司, 上海市 201306)

**摘要:**依托成都地铁18号线土建4标兴隆站—天府新站大直径盾构低瓦斯区间,分析了开发快速分体始发技术的详细原因,提出了分体始发工艺过程、三阶段掘进以及掘进参数控制,建立了快速分体始发技术。该技术的应用提高了效率,缩短了工期,可以提前15~20 d实现盾构正常掘进,社会经济效益明显。

**关键词:** 地铁; 区间隧道; 大直径盾构; 快速分体始发; 低瓦斯

## 1 前言

随着城市的发展,地铁建设遇到的地质与环境条件越来越复杂:大直径盾构穿越江底岩溶区施工风险<sup>[1]</sup>和粉细砂地层加固处理<sup>[2]</sup>;盾构施工对临近高架桥桩基影响需要采取加固措施<sup>[3]</sup>;南京地铁1号线超近距离下穿玄武湖市政隧道,李围和何川等采用室内相似模型试验<sup>[4]</sup>和有限元数值模拟方法<sup>[5]</sup>进行了盾构隧道近接下穿地下大型结构施工影响研究,提出了盾构掘进控制措施。在城市盾构始发与接收安全风险高,如2007年11月20日,南京地铁2号线中和村站—元通站盾构区间元通站右线南端头接收进洞门时发生渗漏事件,引起地面大面积塌陷,造成盾构机被埋。

盾构始发井的长度必须大于盾构机及后备套台车总长才能正常始发,如果始发井的长度不足,则需要分体始发。如北京市南水北调配套工程东干渠输水隧洞ZTE6250土压平衡盾构机及后备套台车总长约76 m,而盾构始发井长度仅为48 m,对设备进行了改造始发<sup>[6]</sup>;青岛地铁1号线海泊桥站也遇到了始发场地受限的问题,通过优化布置配套设备并最大限度地利用双护盾TBM自身配置完成了始发工作<sup>[7]</sup>;广州市轨道交通6号线盾构三标段还遇到了盾构在半径为250 m的圆曲线上始发,从盾构设备选型、分体始发以

及管片设计和注浆控制等方面解决了曲线分体始发的技术难题<sup>[8]</sup>。

成都地铁18号线土建4标兴隆站—天府新站中间风井结构长度仅设计为25 m,而盾构机及其后配套的长度达到了114 m,中间风井无法满足盾构机整体始发,故只能采取分体始发技术。分体始发主要用于始发井的大小不足的情况,可降低工程造价、减少征地和节约投资,具有显著的经济社会效益。传统的盾构分体始发从连接桥处断开,后备台车均设置在地面上,多在正面采用小渣斗(5 m<sup>3</sup>左右)进行出渣,其效率低进度慢。为了提高出渣效率和始发速度,故开展“地铁区间隧道大直径土压平衡盾构快速分体始发技术”的研究具有重要意义。

## 2 依托工程概况

成都地铁18号线土建4标兴隆站—天府新站盾构区间(兴一天区间)位于龙泉山脉以东、合江镇镇区东北面、太和路西侧,区间起讫里程为YCK34+30.585~YCK39+105.469,全长5 074.884 m。线路出兴隆站后,由西向偏东方向沿规划路敷设,沿线依次下穿红星路南延线、鹿溪河桥、成自泸高速等道路桥梁,区间两侧现状主要为农田、林地,山头较多,地形起伏大,最大高差为40 m。由于区间太长,中间在YDK35+860.709位置设置了中间风井并兼作盾构始

收稿日期:2021-04-06(修改稿)

基金项目:中国电建重大专项(编号:DJ-ZDXM-2017-23)

作者简介:薛彦军,男,高级工程师。E-mail:289044685@qq.com

\* 通信作者:李围,男,博士,教授。E-mail:121855203@qq.com

发井。中间风井—天府新站盾构区间右线设计起点里程为 YDK35+860.709,终点设计里程为 YDK38+575,右线共投入 1 台盾构机进行隧道掘进施工。

兴一天区间隧道最小纵坡坡度为 2‰,最大纵坡坡度为 24.115‰。线路最大隧顶埋深约 45.2 m,最小隧顶埋深约 4.2 m,最小平面曲线半径 1 200 m。中间风井始发井结构尺寸为长 25 m、宽 28 m。设计速度 140 km/h,区间隧道内径 7 500 mm,隧道外径 8 300 mm,管片厚度 400 mm,管片宽度 1 500/1 800 mm。

区间场地覆盖层均为第四系,地表多为人工填土覆盖,其下为全新统冲积黏土、粉质黏土、粉土、砂土及卵石土,上更新统冰水沉积、冲积砂土及卵石土,下伏

基岩为白垩系上统灌口组泥岩、砂岩,白垩系下统天马山组—侏 罗系上统蓬莱镇组泥岩、砂岩、砾岩。

### 3 分体快速始发方案的提出

兴一天区间共投入 4 台复合式土压平衡盾构机进行隧道施工:2 台从兴隆站始发,兴一天区间风井接收;2 台从兴一天区间风井始发,天府新站接收;区间盾构掘进筹划列于表 1。兴一天区间采用 ZTE8600 土压平衡盾构机施工,其刀盘直径为 8.65 m,主机不包含螺旋机长度为 10.5 m、包含螺旋机长约 16.5 m,盾构机及其后配套全长 114 m,如表 2 所示。

表 1 盾构筹划

线路	长度/m	历时/d	始发时间	到达时间
兴隆站—中间风井左线	2 383.410	477	2017.04.01	2018.07.01
兴隆站—中间风井右线	2 372.849	475	2017.05.01	2018.07.29
中间风井—天府新站左线	2 712.018	542	2017.04.01	2018.09.25
中间风井—天府新站右线	2 714.291	543	2017.06.01	2018.11.25

表 2 盾构及台车长度

项目	长度/m	左侧	右侧
设备桥	16.5	泡沫系统	二次注浆机
1 <sup>#</sup> 台车	11.3	控制室	注浆系统
2 <sup>#</sup> 台车	12.3	膨润土箱	泵站
3 <sup>#</sup> 台车	12.3	空压机	控制柜
4 <sup>#</sup> 台车	11.2	循环水系统	变频柜
5 <sup>#</sup> 台车	11.2	污水系统	整流变压器
6 <sup>#</sup> 台车	11.2	防爆变压器	高压电缆托盘
7 <sup>#</sup> 台车	8.2	应急发电机	水管架

由于兴一天区间在洛带气田和苏码头气田的影响范围内,根据地勘结果被划分为低瓦斯盾构区间,盾构需要防爆和通风改装以及瓦斯监测等,导致盾构掘进速度慢。再加上区间长度超过了 5 km,即使利用中间风井将其分为两段后施工,其长度已达到了 2.7 km 左右,是普通地铁区间长度的 2~3 倍,需要提高盾构施工速度。同时,该区间地质条件复杂,盾构主要穿越砂土、卵石土、泥岩和砂岩导致盾构掘进速度慢。而且,该区间为大直径盾构机,开挖直径达到了 8.65 m,开挖面积是普通地铁区间隧道的 1.87 倍,增加了开挖和出渣工作量。因此,该区间盾构掘进速度的综合指

标仅按 150 m/月筹划。

为了使盾构尽快达到正常掘进施工状态,经过研究提出了如下快速分体始发方案:

(1) 在盾构机制造前期就与风井设计沟通,将风井结构长度由 25 m 调整至 65 m。

(2) 同时,与盾构机厂家研究将盾构机刀盘至 3<sup>#</sup>台车长度控制在 64 m 内,可以实现在 3<sup>#</sup>台车处断开进行分体始发,满足了 1<sup>#</sup>台车~3<sup>#</sup>台车下井始发,在正常掘进前,避免了过多的液压管路、注浆管、电缆等管线从地面连接到地下的主机上,减少了连接工作量,提高了盾构掘进效率。

(3) 通过调整始发井结构,风井中间增加两个出土孔,保证了分体始发吊装材料、渣斗的流畅性。

(4) 改为 3<sup>#</sup>台车侧面进行出渣,可正常使用 20 m<sup>3</sup>渣斗,极大地提高了出渣效率。

(5) 3<sup>#</sup>台车顶部整体焊接改为螺栓栓接,实现了顶部可拆卸,便于始发时材料、管片直接吊装下井,大大提高吊装速率。

## 4 快速分体始发技术

### 4.1 分体快速始发工艺过程

(1) 托架轨道安装定位。吊装盾构机前,首先吊

装托架、轨道下井,调平、加固。

(2) 1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup> 台车吊装安装。在地面组装时按照 3<sup>#</sup> 台车~1<sup>#</sup> 台车顺序组装,组装并加固好后吊装下井,安装连接。

(3) 4<sup>#</sup>~7<sup>#</sup> 台车吊装安装。在地面组装时按照 4<sup>#</sup> 台车~7<sup>#</sup> 台车顺序组装,并加固好放于地面。

(4) 盾体下井安装。进行盾体下井安装,组装完成后安装反力架,并加固。

(5) 盾构机连接系统调试。盾构机各管线连接完成后,接通大电,进行盾构机空载调试和负荷调试,同时拼装负环管片。

(6) 始发掘进。盾构机始发掘进,在 3<sup>#</sup> 台车侧面

进行出渣,顶部进行材料、管片吊装。

(7) 管片拼装。掘进进尺达到 1 环管片幅宽后拼装管片,拼装完成后进行下一循环施工。

(8) 4<sup>#</sup>~7<sup>#</sup> 台车吊装下井。掘进完成 117 m 大于整机长度后,盾构机拆除管线,依次下井 4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>、7<sup>#</sup> 台车。

(9) 二次连接系统调试。台车下井完成后,进行盾构机管线连接系统调试,调试完成后开始正常掘进。

4.2 分体快速始发盾构掘进技术

根据风井结构出土口预留位置,将分体始发掘进分解成三阶段进行掘进施工,如图 1 所示。

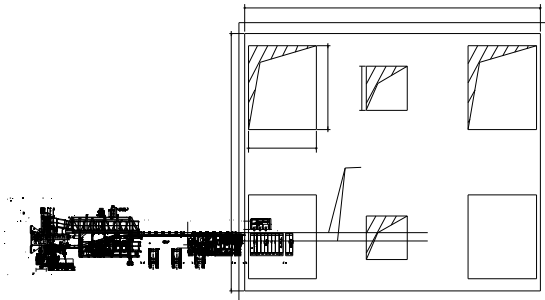


图 1 三阶段盾构掘进(单位:m)

第一阶段:初始 15 m 掘进,采用侧面出渣,电瓶车编组为 1 车头+1 渣斗,在 3<sup>#</sup> 台车顶部吊装管片、

进行出渣,顶部进行材料、管片吊装。

第二阶段:15~28 m 掘进,采用侧面出渣,电瓶车

耗材等,在中间采用管片小车运输,由卷扬机牵引。

编组为 1 车头+2 渣斗,由 3<sup>#</sup> 台车顶部吊装管片、耗材等转移至中间出土口进行吊装,在中间采用管片小车运输,由卷扬机牵引。

第三阶段:29~117 m 掘进,在中间进行出渣,同时电瓶车编组为 1 车头+2 渣斗+1 管片车+1 浆车,进行管片、材料、渣土、水泥浆运输。

#### 4.3 掘进参数控制

(1) 盾构掘进参数控制为:推进速度 30~50 mm/min,推力 8 000~12 000 kN,刀盘转速 1.5~2.0 r/min,扭矩 3 000~4 500 kN·m,土仓压力 0.3~0.5 MPa,每环出土量 $(142\pm 3)$  m<sup>3</sup>。

(2) 渣土改良中泡沫剂原液比例调为 2%,流量为 450~500 mL/min,刀盘加水和土仓加水相结合,确保渣土和易性而不结“泥饼”。

(3) 每 1 m<sup>3</sup> 同步注浆材料配比为:水泥 250 kg、粉煤灰 320 kg、膨润土 90 kg、砂 900 kg、水 400 kg,每环注浆量为 9~11 m<sup>3</sup>、压力为 0.5~1.0 MPa,注浆点位以上部 1 点和 6 点为主,中间 2 点和 5 点为辅,下部 3 点和 4 点少量注浆。

(4) 二次注浆材料 A 液:B 液(体积比)=1:1,A 液水灰比为 1:1(重量比),B 液水玻璃与水比为 1:1(体积比),每隔一环注一次,根据管片姿态和同步注浆量,注浆压力控制为 0.1~0.2 MPa。

(5) 盾构机水平姿态控制在 $\pm 20$  mm,垂直姿态控制在前点-30~20 mm,后点-45~-60 mm。

### 5 快速分体始发技术应用效果

应用大直径土压平衡盾构快速分体始发技术,中间风井-天府新站左线 2017 年 4 月 10 日开始始发掘进,5 月 5 日完成分体始发段掘进(提前 8 d),5 月 14 日完成二次始发调试(提前 8 d)。右线 2017 年 5 月 11 日开始始发掘进,6 月 2 日完成分体始发段掘进(提前 10 d),6 月 9 日完成二次始发调试(提前 9 d)。该快速分体始发技术的应用大大提高了工作效率,节省总工期 1 个月,节省费用计算如下:

(1) 节省盾构机租赁费: $30\text{ d}\times 5.4\text{ m/d}\times 1.2\text{ 万元/m}=194.4\text{ 万元}$ 。

(2) 节省出渣费用:小渣斗容量 5 m<sup>3</sup>、每米吊运 36 次,侧面出渣渣斗容量为 20 m<sup>3</sup>、每米吊运仅 9 次,每米节省出渣提升费 0.14 万元,中一天区间左右线长 5 426 m 共节省 759.64 万元。

(3) 节省管线连接费用:从 3<sup>#</sup> 台车断开始发比从连接桥断开节省 120 m 管线,注浆管 6 根 $\times 120\text{ m}\times 0.045\text{ 万元/m}$ +其他管线 10 根 $\times 120\text{ m}\times 0.08\text{ 万元/m}=128.4\text{ 万元}$ 。

(4) 节省管理人员费用: $65\text{ 人}\times 1.5\text{ 万元/月}=97.5\text{ 万元}$ 。

节省费用合计: $194.4+759.64+128.4+97.5=1\,179.94\text{ 万元}$ ,经济效益明显。

### 6 结语

成都地铁 18 号线为中国首条设计时速达 140 km/h 的地铁线路,土建 4 标兴隆站-天府新站区间为西南片区第一条低瓦斯和大直径( $\phi 8\,650\text{ mm}$ )盾构地铁隧道。针对该区间长度超过了 5 km 且穿越瓦斯泥岩和砂岩复杂地质条件导致的工期长,采用了中间竖井分两段和 4 台土压平衡盾构的掘进方式,并建立了快速分体始发技术。该技术解决了大直径盾构机分体始发掘进施工中进度慢、进材料和出土困难以及始发掘进参数难控制等技术难题,安全质量得到了有效保证,加快了施工进度,减少了物资、设备和人员的投入,节约了工人和管理人员费用,取得了显著的社会经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 赵勇,傅鹤林,史越,等.大直径盾构江底掘进穿越岩溶区的风险水平分析[J].中外公路,2018,38(4):212-217.
- [2] 曾学艺,李垚,彭斌.大直径盾构隧道穿越粉细砂地层注浆加固预处理研究[J].中外公路,2017,37(2):181-184.
- [3] 刘秋常,马百顺,陈守开.盾构施工不同加固措施对临近高架桥桩基影响研究[J].中外公路,2018,38(1):172-176.
- [4] 李围,何川,张志强.大型地下结构下修建盾构隧道模型试验[J].西南交通大学学报,2005,40(4):478-483.
- [5] 李围,何川.盾构隧道近接下穿地下大型结构施工影响研究[J].岩土工程学报,2006(10):1 277-1 282.
- [6] 张俊英.盾构机分体始发施工技术[J].铁道建筑技术,2013(9):44-47.
- [7] 王小强,郭志,王以栋,等.双护盾 TBM 分体始发技术研究与在青岛地铁 1 号线的实施[J].隧道建设(中英文),2018,38(9):1 573-1 578.
- [8] 邵翔宇,刘兵科,马云新,等.小半径曲线隧道内盾构分体始发技术研究[J].市政技术,2008(6):487-491.