

# 四台盾构共用一个工作井同时掘进的施工技术分析与研究

黄源

上海隧道工程有限公司 上海 200032

**摘要:** 随着城市轨道交通建设的不断发展,越来越多的城市倾向于建设城市轨道交通枢纽。同时受市区内建筑物密集影响,狭小场地内多台盾构通过同一工作井密集始发推进的情况也时有发生。本文以上海轨道交通市域线机场联络线 JCXSG-12 标为例,深入探讨四台盾构共用同一工作井同时掘进的施工技术,希望研究内容能够给类似项目带来一定启发。

**关键词:** 轨道交通; 四台盾构; 同时推进

## Analysis and research on construction technology of four shield tunneling with one working well

Yuan Huang

Shanghai Tunnel Engineering Co., LTD. Shanghai 200032

**Abstract:** With the continuous development of urban rail transit construction, more and more cities are inclined to build urban rail transit hub. At the same time, due to the influence of dense buildings in the urban area, several shield tunneling through the same working well from time to time. Taking JCX SG-12 standard of airport contact line of Shanghai rail transit municipal line as an example, this paper deeply discusses the construction technology of four shield tunneling sharing the same working well at the same time, hoping that the research content can bring some inspiration to similar projects.

**Keywords:** Rail transit; Four shield tunneling; Simultaneous propulsion

### 一、工程概述

#### 1. 工程介绍

上海轨道交通市域线机场联络线 JCXSG-12 标包含 7# 风井施工, 7# 风井~凌空路工作井、7# 风井~浦东机场站两段双洞双线盾构区间隧道。其中 7# 风井~凌空路工作井盾构区间长度左线约为 5714.839m, 右线约为 5695.384m, 引入两台  $\Phi 9325\text{mm}$  土压平衡盾构先后从 7# 风井始发掘进至凌空路工作井接收; 7# 风井~浦东机场站盾构区间长度左线约为 3665.636m, 右线约为 3656.507m, 采用两台  $\Phi 9320\text{mm}$  土压平衡盾构, 仍从 7# 风井始发, 掘进至浦东机场站接收。

隧道衬砌采用预制钢筋混凝土管片, 错缝拼装。衬砌环为双面楔形通用环, 每环衬砌环分为 8 块管片。管片外径为  $\Phi 9000\text{mm}$ , 内径为  $\Phi 8100\text{mm}$ , 管片厚度 450mm, 管片宽度为 1800mm。



图1 机场联络线 12 标示意图

#### 2. 盾构始发井介绍

7# 风井为本工程 4 台盾构机共用的接收井及唯一的物料垂直运输通道。7# 风井采用明挖法施工, 规模为  $88\text{m} \times 27\text{m}$  (内净), 基坑深约 21.8 ~ 24.5m。围护结构采用 1000mm 厚的水下 C35、P10 钢筋混凝土地下连续墙, 地墙深 58m。

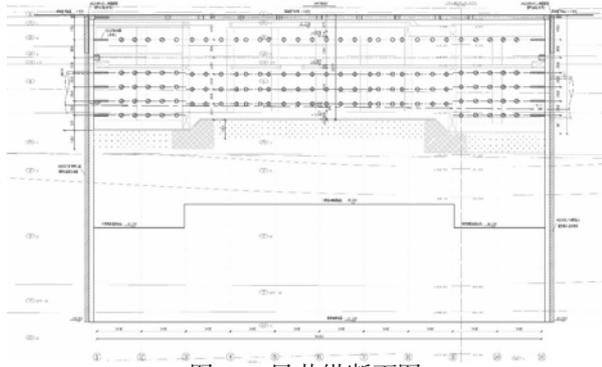


图 2 7# 风井纵断面图

### 3. 盾构区间工程地质情况

7# 风井~凌空路工作井区间隧道穿越的主要土层为: ④灰色淤泥质黏土, ⑤ 1 灰色黏土, ⑤ 31 灰色粉质黏土, 始发段有部分② 3 灰色黏质粉土, ③ 1 灰色淤泥质粉质黏土。

7# 风井~浦东机场站区间隧道穿越的主要土层为: ④灰色淤泥质土、⑤ 1 灰色黏土、⑤ 31 灰色粉质粘土, 局部进入⑦ 1 草黄色~灰黄色黏质粉土层。

### 4. 盾构机概况

7# 风井~凌空路工作井区间隧道使用两台新制  $\phi 9325\text{mm}$  土压平衡盾构机进行掘进施工。该盾构机主要由刀盘、前盾、中盾、盾尾、六节后配套台车等部件组成, 设备总长约 82m。其中主机部分长度约 15m, 单节车架长度 8.28m~9.83m。盾构机额定扭矩 18129kN·m, 最大推力 128370kN, 最大推进速度 80mm/min,

7# 风井~浦东机场站区间隧道使用两台新制  $\phi 9340\text{mm}$  土压平衡盾构机进行掘进施工。该盾构机主要由刀盘、前盾、中盾、盾尾、五节后配套台车等部件组成, 设备总长约 98m。其中主机部分长度约 11m, 单节车架长度 9.3m~16.6m。盾构机额定扭矩 20400kN·m, 最大推力 94826kN, 最大推进速度 80mm/min。

## 二、单井四台盾构同时掘进的难点分析

4 台盾构机同时掘进的难点如下:

(1) 本工程是整个机场联络线的关键节点, 工期压力极大。为按期完成, 每台盾构机需要达到 9 环/天的推进量, 即 4 台盾构机每天合计推进 36 环, 4 台盾构机互相影响, 施工协调难度大。

(2) 9m 级盾构每环产生渣土  $123\text{m}^3$ , 4 台盾构机施工高峰期每天将产生  $4400\text{m}^3$  以上的渣土。然而现场施工场地狭小, 仅有 20 亩, 无法设置大容量的渣土坑, 每日土方必须及时外运, 此外因卸点规定, 每天仅有白天 12 个小时的外运时间, 出土压力大, 一旦出土不及时, 将导致盾构机停机。

(3) 上海市内统一采用  $10\text{m}^3$  土方车, 4 台盾构同时施工每天产生  $4400\text{m}^3$  土, 需求土方车 440 车次; 每天使用  $400\text{m}^3$  同步浆, 需求罐车 40 车次; 管片 36 环, 需求管片车 54 车次。即每天在场地内行驶车辆达到 534

车次, 地面交通运输压力大。

(4) 4 台盾构机的垂直运输全部在  $88\text{m} \times 27\text{m}$  的狭小工作井内进行, 每推进一环, 行车需要吊运土箱、管片及轨道轨枕等零星材料合计 10 吊, 即行车每天需吊装 360 次, 这对整个垂直运输系统也是极大的挑战。

## 三、盾构施工工效分析

盾构施工工效受盾构机自身推拼速度和后配套运输速度两方面限制。

### 1. 盾构推拼

盾构机设计最大推进速度 8cm/min, 按照 6cm/min 考虑单机掘进能力, 每环推进 30min, 拼装 50min, 合计 80min。

### 2. 后配套运输

#### (1) 隧道内水平运输

盾构推进一环需要配置 5 个  $30\text{m}^3$  土箱、1 个  $13\text{m}^3$  浆车、3 个管片平板及配套的机头。所有设备总长度 74m, 而 7# 风井总长度仅 88m, 不能同时停靠两区间的编组。因此选用如下的短编组车队形式:

编组 1: 55T 柴油机头 +  $30\text{m}^3$  土箱 5 个, 总长约 47m;

编组 2: 55T 柴油机头 +  $13\text{m}^3$  浆车 1 个 + 管片平板 3 个, 总长约 39m。

每环施工需 2 次水平运输。

#### (2) 垂直运输

为避免 4 台盾构在垂直运输上互相影响, 在工作井上方共布置 4 台行车, 分别负责吊运土箱及管片, 后配套运输各个工序环节预计时间统计如下表

表 1 后配套运输各个工序环节的预计时间统计表

运输方式	设备	单次循环时间
垂直运输	100T 行车	9min/吊
	32T 行车	7min/吊
水平运输	柴油车	水平运输: 10min
施工工序	预计所需时间	
井口卸管片 + 放浆	40min	
车架放浆 + 卸管片	40min	
井口吊土 (5 箱土)	50min	

### 3. 工效分析

在此基础上模拟盾构推进流程, 将土箱柴油机组编号 1#, 管片、同步浆柴油机组编号 2#, 以正常工况下单台盾构机推进为例:

(1) 推进时间 30 分钟, 在此期间, 2# 电机车在井口吊管片 + 放浆;

(2) 拼装时间 50 分钟, 在此期间, 1# 电机车开出至井口, 开始吊土。然后 2# 电机车驶入, 并在车架内下管片 + 放浆;

(3) 拼装结束后, 2# 电机继续放浆下管片, 10min 后开出至井口, 1# 电机车驶入, 开始新一轮推进;

得出结论: 水平运输是影响盾构掘进速度的关键因素, 单机掘进能力 110min/环, 13 环/天。

在 4 台盾构同时推进的情况下, 位于对角线的两台盾构同时推进拼装, 能够做到 4 台盾构机垂直运输互不影响。考虑放电缆、测量定向等影响盾构效率的工作或其他不确定情况, 将正常推进时推进量定位 9 环/台/天。

#### 四、施工筹划及技术措施

##### 1. 确定 4 台盾构始发先后顺序

在确定盾构机的始发顺序上, 主要考虑以下几个因素:

(1) 工作井有效长度仅 88m, 7# 风井~浦东机场站区间盾构机总长 98m, 超出工作井长度; 7# 风井~凌空路工作井区间盾构机总长 82m, 虽小于工作井长度, 但整体下井后将完全遮挡后方的吊装口, 导致土方及材料无法运输, 二者均不具备整体始发的条件, 因此采用分体始发方案。始发阶段最后一节车架不安装, 盾构机主体及其余车架全部进入隧道后, 拆除负环阶段再安装最后一节车架。4 台盾构机共用一个工作井始发, 左右线的两台盾构可同时始发, 对向的两台盾构机不能同时始发, 必须等待先始发盾构机最后一节车架安装完成, 让出工作井空间后方可始发对向的另一台盾构机。

(2) 7# 风井~凌空路工作井区间左右线是长区间, 为整个工程的关键节点, 在 4 台盾构机的始发先后顺序上将长区间的盾构始发顺序前移。

(3) 同向的左右线隧道间距仅 0.5D 左右, 为减少推进过程中的相互影响, 同向左右线盾构始发时间错开一个月以上。

基于以上三点, 采用对角线始发的方式, 同时先行始发 7# 风井~浦东机场站区间右线盾构与 7# 风井~凌空路工作井区间右线盾构, 待这 2 台盾构出洞后始发 7# 风井~凌空路工作井区间右线盾构, 最后始发 7# 风井~浦东机场站区间左线盾构。

##### 2. 工作井及隧道段的岔道布置

利用 7# 风井内径约 88m 与每条区间隧道前 100m 范围布置 1 组“Y”岔道, 使左、右线侧具备同时停放 2 组柴油机组的现场条件; 首先 100m 范围能进行存车, 其次当同侧(同区间左右线)柴油机组同时达到 7# 风井标准段内时, 100T 行车能同时进行土箱吊运, 或者对侧(不同区间左线或右线)柴油机组进入风井时, 1 组柴油机组吊运管片, 1 组柴油机组吊运土箱, 增强井口工作效率。

当区间隧道各完成 100m 后, 开始布置双组轨道,  $\leq 1.5\text{km}$  距离的掘进状态下每条区间隧道各布置 2 组柴

油机组, 提供日常水平运输; 当区间隧道掘进长度达到 1.5~2km 时, 在隧道内另布置 1 组“Y”岔道, 并增加一组柴油机组, 避免因区间长度的增加造成水平运输效率降低。

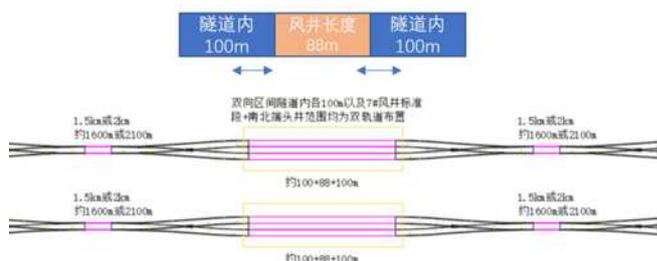


图 3 7# 风井与前 100m 隧道范围岔道布置示意图

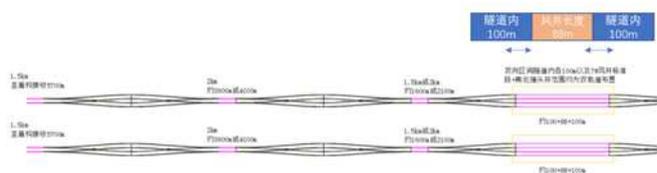


图 4 7# 风井~凌空路转换井区间隧道岔道布置示意图

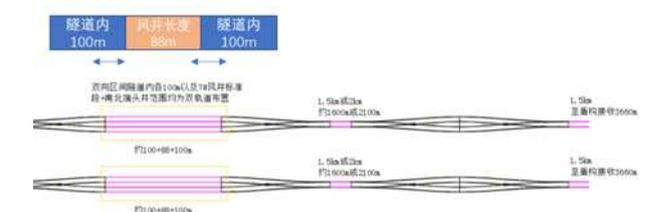


图 5 7# 风井~浦东机场站区间隧道岔道布置示意图

#### 3. 地面物料运输方案

##### (1) 平面布置

施工场地主要设置集土坑、管片堆场与同步浆场地, 根据每天的推进需求, 需综合考虑三者的大小关系。通过合理的场地布置实现推进储备的最大化。

在工作井西侧设置一座容量约 10000m<sup>3</sup> 集土坑, 能够保证盾构推进两天, 集土坑设 4 处装土点, 经试验土方车辆就位、装运、驶离至新土方车就位一个完整周期耗时 5min, 4 处装土点每小时可出土 48 车。在 12 小时的有效出土时间内可出土 576 车, 即 5760m<sup>3</sup> 土方, 满足每天 4400m<sup>3</sup> 的出土需求。

7# 风井在南北端头各预留了 2 处吊装口, 在标准段有为后期铺轨准备的轨排孔, 利用该基坑预留孔洞较多的特点, 在南、北端头井上方各布置 1 台 32T 行车用于管片吊运。在工作井标准段布置 2 台 100T 行车用于土箱出土, 避免管片及土箱吊运的交叉干扰。

同步浆拌浆场地设置在场西北侧, 生产能力 20m<sup>3</sup>/h, 能够满足每天的同步浆需求, 利用 13m<sup>3</sup> 搅拌车运输至井口。

工作井周边及场地西侧共可存放 53 环管片, 配置 2 部 10 吨级叉车负责短驳管片运输。

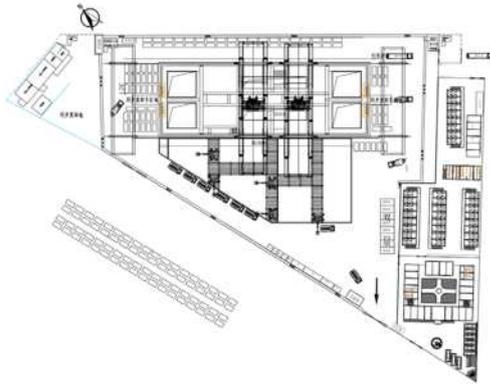


图 6 施工场地平面布置图

### (2) 交通组织

本工程地面行驶车辆极多, 为了保证地面交通运输的正常运行, 减少车辆间的互相影响, 确定了场地内车辆单向行驶的总原则。

施工场地西侧设置 1#、2# 两处大门, 东侧设置 3# 大门。土方运输车、同步注浆运输车均由 2# 大门驶入场区。其中土方运输车入场区内后, 立即右转驶向集土坑, 待装土完成后, 由 1# 大门驶出场区; 同步注浆运输车分别驶向南、北端头储浆区域卸点, 待完成后由 3# 大门驶出场区; 管片运输车、材料运输车均由 3# 大门进出场区。

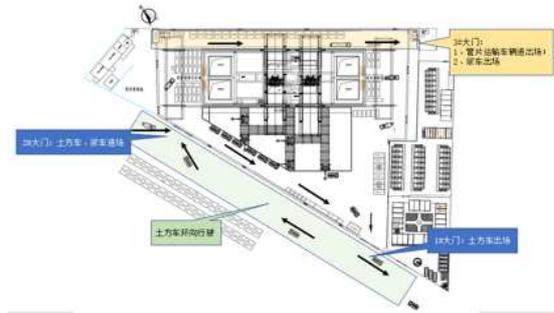


图 7 施工场地交通运输线路图

### 五、小结

上海轨道交通市域线机场联络线 JCXSG-12 标的 4 台 9m 级土压平衡盾构通过上述施工筹划和部署, 在狭小场地、狭小工作井的不利条件下取得了一定的成果。

(1) 实现了单一工作井内 4 台盾构机的密集安装始发, 盾构机安装时间 35 天, 首两台盾构始发间隔仅 3 天。

(2) 实现了盾构的高效率推进, 取得了单台盾构日最大推进量 15 环, 4 台盾构合计日最大推进量 49 环的成绩。

(3) 实现了场地内繁重交通的畅通, 单日最大出土量达到 662 车次, 土方车、管片车等全部车辆运输达 750 车次。

### 参考文献:

[1] 吴绍龙, 刘超, 邹玉强, 赵志达, 李维娜. 狭小空间盾构分体始发与暗挖交叉施工工效分析 [J]. 施工技术, 2020, 49(21): 88-90.

[2] 王亚飞, 刘亚辉, 黄运生等. 长距离盾构隧道水平运输系统技术研究及应用 [J]. 山西建筑, 2022, 48(18): 142-144+148. DOI: 10.13719/j.cnki.1009-6825.2022.18.036.

[3] 杨志勇, 白志强, 李元凯等. 土压平衡盾构长距离施工运输模型应用研究——以北京地铁新机场线一期工程为例 [J]. 隧道建设 (中英文), 2022, 42(08): 1428-1434.

[4] 上海市绿化和市容管理局关于印发《关于推进本市工程渣土卸点计量及消纳结算管理的实施意见》的通知. 沪绿容规〔2020〕5号