

深圳地铁隧道区间盾构施工与配套机械配置分析

李伟, 黄琦恒

(中铁四局集团公司机械工程分公司, 安徽 合肥 230023)

摘要:通过对深圳地铁五号线5304标民~五隧道区间盾构施工方法与机械配置分析,总结了实现地铁隧道盾构区间快速施工盾构配套设备选型,为类似城市地铁工程施工积累经验。

关键词:地铁;隧道盾构施工;配套机械;选型分析

中图分类号:U455.3 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2010)05-0078-04

Analysis on Allocation of Tunnel Interval Shield Construction and Auxiliary Machinery/LI Wei, HUANG Qi-heng
(Mechanical Engineering Company of CTCE Group, Hefei Anhui 230023, China)

Abstract: By the analysis on the shield construction method and machinery allocation for Minzhi to Wuhe tunnel interval of Shenzhen metro No.5 Line, subway tunnel shield supporting equipment selection for subway tunnel shield interval rapid construction was summed up to accumulate experience the similar project.

Key words: metro;tunneling shield construction;auxiliary machinery;selection analysis

1 盾构施工简介及影响施工的因素

使用土压平衡式盾构机施工地铁隧道区间的方法是:采用土压平衡式盾构机掘进隧道,以刀盘旋转切削和搅拌开挖面土体,密封土舱储土,螺旋输送机排土,掘进的同时进行同步注浆,可通过加泥系统、

加泡沫系统向开挖面和土舱内添加润滑浆液,改善切削土体的塑流性。此种盾构施工方法能有效控制地表隆陷,适用于城市街区下的隧道掘进施工。

地铁隧道区间土压平衡式盾构机掘进示意图 1。

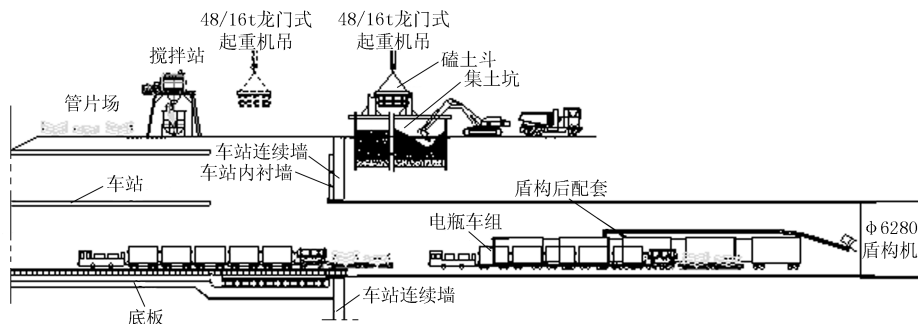


图1 地铁隧道区间土压平衡式盾构机掘进示意图

盾构施工就像是一条流水线施工,几个关键机械故障或配备不合理,都可以造成施工暂停或施工进度缓慢。

1.1 单环掘进施工工序流程(图2)

从图2可以看出,当出现以下问题时,将会导致整个流程中断(不考虑盾构机故障):

- (1)垂直运输起重设备——龙门吊出现故障;
- (2)水平运输设备——电瓶车组出现故障;
- (3)一次输送的同步注浆浆液不足,必须二次运输,否则会造成掘进后方地面沉降;

(4)渣土装载外运设备故障,比如:集土坑满,渣土无法外送,渣土斗车无法清空;

(5)盾构机冷却系统是保障盾构机正常运转的设施,所以当冷却塔故障、冷却水管道输送泵或者通风系统的轴流风机等设备出现故障时,也会导致整个流程中断。

1.2 盾构机掘进及拼装的条件

盾构施工可以简单的看作是“掘进→拼装”反复循环的过程。在保证盾构设备正常运转的情况下,掘进的条件是:

收稿日期:2009-10-30

作者简介:李伟(1974-),男(汉族),重庆开县人,中铁四局集团公司机械工程分公司工程师,机械电子专业,从事盾构施工机械管理工作,安徽省合肥市望江路96号综合楼6楼,tttaco@163.com。

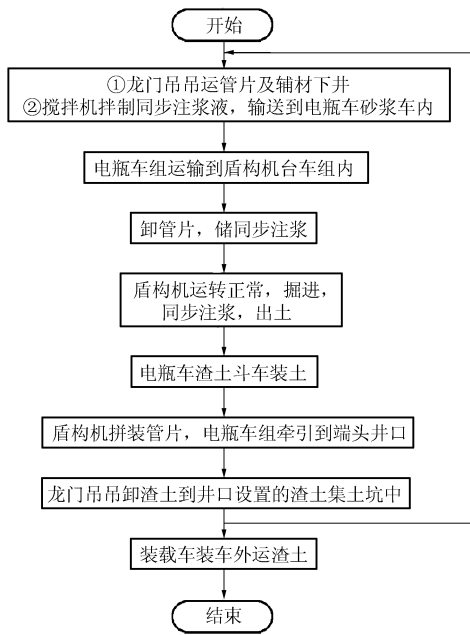


图 2 单环掘进施工工序流程图

- (1) 盾构机同步注浆浆液到位;
 - (2) 渣土斗车就位。
- 拼装的条件是:待拼装管片就位。

2 提高盾构机工作效率的方案

综上所述,为了提高掘进效率,减少单环“掘进+拼装”的时间,设计了以下方案:

- (1) 掘进时,尽量加大渣土斗车容积,减少渣土斗车数量,往渣土斗车中装渣土时,减少移动渣土斗车时导致停车的时间,减少龙门吊卸渣土的时间;
- (2) 计算单环掘进时需要同步注浆浆液的体积,合理选用砂浆车,尽量保证单台砂浆车装载砂浆满足注浆量;
- (3) 根据施工场地的条件,对电瓶车组进行合理编组,尽量编组一列车来满足单环掘进时所需的全部材料及设备。

3 施工案例

以深圳地铁五号线 5304 标民~五隧道区间盾构施工为例。

3.1 工程概况

区间位于宝安区民治村,两端车站均为地下两层岛式车站,线路整体呈东西走向,区间起点布置于民治大道东侧、平南铁路南侧的既有道路下方,线路出民治站后与平南铁路平行前进,在下穿梅观高速立交桥、近距离经过坂田火车站后线路向东南方向偏转,进入布龙公路,在布龙路与五和南路交界处进

入五和站,区间终点位于五和南路。

左线里程为 DK21 + 820.741 ~ DK23 + 819.487,累计长链 8.002 m,总长度为 2006.748 m;右线里程为 DK21 + 777.001 ~ DK23 + 819.487,短链 0.468 m,总长度为 2042.018 m。左右线合计 4048.766 m。隧道采用盾构法施工,为单圆盾构,盾构机外径 6.28 m,隧道采用 6 块管片错缝拼装而成,管片环宽 1.5 m,外径 6.0 m,厚度 0.3 m,隧道内径 5.4 m,隧道顶部覆土厚度 7.5 ~ 27.3 m,隧道先上坡后下坡,最大纵坡 15.6‰ 上坡,8‰ 下坡,变坡点采用原曲线顺接,最小半径 3000 m,隧道平面共 4 条曲线,最小曲线半径 400 m。区间共设 1 个泵站及联络通道 (DK22 + 200)、2 个联络通道 (DK22 + 800、DK23 + 400) 和 1 个通风井 (DK22 + 535),以满足排水、通风、消防和疏散要求。

本工程选用 2 台 Ø6280 mm 海瑞克盾构机分别掘进左右线。

3.2 选配电瓶车组

3.2.1 计算出土量,合理选配渣土斗车

每环理论出渣量为:

$$\frac{\pi D^2}{4} \times L = \frac{\pi \times 6.28^2}{4} \times 1.5 \text{ m} = 46.63 \text{ m}^3/\text{环} \quad (1)$$

式中: L ——管片长度; D ——盾构机外径,即刀盘直径,6.28 m,下同。

每环实际掘进距离按 1.5 m 计算,每环出土量在 98% ~ 100% 之间,则:

$$T_F = \frac{\pi D^2}{4} \times L \times \gamma = \frac{\pi \times 6.28^2}{4} \times 1.5 \text{ m} \times 1.5 \approx 70 \text{ m}^3 \quad (2)$$

式中: T_F ——总出土量; γ ——渣土松散系数,取广州深圳地区松散系数均值 1.5。

按每方渣土 2 t 计算,总出渣质量为:

$$W = T_F \times 2 \text{ t/m}^3 = 70 \text{ m}^3 \times 2 \text{ t/m}^3 \approx 140 \text{ t/环}$$

如选用 17 m³ 的渣土斗车运输,则一列车使用 5 台渣土斗车:

$$W' = 17 \text{ m}^3 \times 2 \text{ t/m}^3 = 34 \text{ t}$$

根据海瑞克盾构机台车间最小净距为 1750 mm、管片长度为 1.5 m,选用宽度为 1500 mm 的渣土斗车,其斗尺寸(长 × 宽 × 高,下同)为 6000 mm × 1500 mm × 1920 mm,渣土斗车尺寸为 6600 mm × 1500 mm × 2500 mm。

3.2.2 计算同步注浆量

同步注浆量理论上是充填盾尾建筑间隙的注浆量,但由于同时要考虑盾构机推进过程中的纠偏,浆

液渗漏(与地质情况有关)及注浆材料固结收缩等因素,因此总注浆量可用下式进行计算:

$$Q = V\lambda \quad (3)$$

式中: Q ——总注浆量, m^3 ; λ ——注浆量系数,取140%~200%,曲线地段及粉细砂地层段取较大值,其他地段根据实际情况而定; V ——盾尾建筑间隙, m^3 。

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \times L \quad (4)$$

式中: d ——管片外径, 6.0 m; L ——管片宽度, 1.5 m。

则:

$$V = \frac{\pi(6.28^2 - 6.0^2)}{4} \times 1.5 \text{ m} = 4.05 \text{ m}^3$$

则 $Q = 5.67 \sim 9.10 \text{ m}^3$, 正常情况下注浆量不能小于 5.7 m^3 , 因此选用 7 m^3 的砂浆车。搅拌箱容量体积为 $3000 \text{ mm} \times 1400 \text{ mm} \times 1670 \text{ mm}$, 砂浆车尺寸为 $4760 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm} \times 2460 \text{ mm}$ 。

区间长度约为 2 km, 电瓶车牵引行驶时间最长为:

$$t = \frac{2 \text{ km}}{10 \text{ km/h}} \times 60 \text{ min} = 12 \text{ min}$$

实际砂浆车搅拌箱储浆时间更长, 而在长时间里浆液易发生离析现象。因此, 要求在运输过程中, 砂浆车在运输过程中能使用“直流-交流电机”自行搅拌。

3.2.3 编组方案

(1) 选用 17 m^3 容积的渣土车, 一列车中使用 5 台渣土斗车满足单环掘进的出土量。

(2) 各车辆参数:

①ZT-17 (17 m^3 渣土斗车): 自重 9.1 t, 斗重 4.8 t, 整车尺寸为 $6570 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}$;

②GP-15 (15 t 管片车): 自重 2.1 t, 整车尺寸为 $4392 \text{ mm} \times 1400 \text{ mm} \times 5400 \text{ mm}$;

③SJ-7 (7 m^3 砂浆搅拌运输车): 自重 6 t, 整车尺寸为 $4800 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm} \times 2400 \text{ mm}$ 。

(3) 考虑到多工点的适用性, 设定最大坡度 35‰ (本工程最大纵坡为 15.6‰ 上坡, 8‰ 下坡), 选用 35 t 牵引机车。它的启动粘着牵引质量为 200 t, 运行牵引质量为 238 t, 满足满载渣土的运输。

(4) 机车按 1 列编组方式的牵引载荷为:

①5 个渣土车满载的载荷为:

1 环渣质量 + (5 渣车自重 + 1 砂浆车自重 + 2 管片车自重)

$$= 150 \text{ t} + (5 \times 9.1 + 6 + 2 \times 2.1) \text{ t} \approx 215 \text{ t}$$

②牵引力计算:

基本参数: 设线路最大纵坡 35‰, 持续速度 7.8 km/h, 最高速度 15.6 km/h, 满载时列车总质量 (不含机车) 215 t, 机车起动的粘着牵引质量:

$$Q_q = [F_g - P(wg' + ig)] / (wg'' + ig) \text{ kN} \quad (5)$$

式中: Q_q ——机车起动的牵引重力, kN; F_g ——粘着牵引力, $F_g = \mu P$, N; μ ——粘着系数, 取 0.33; P ——机车粘着重力, kN; wg' ——坡道上机车单位阻力, 5 N/kN, ig ——坡道阻力系数, 取纵坡千分数绝对值 35, 上坡为 +, 下坡为 -, wg'' ——坡道上车辆单位阻力, 17 N/kN。

设机车自重为 35 t, 即设机车的粘着重力约为 350 kN, 代入参数得机车起动的粘着牵引重力:

$$Q_q = [0.33 \times 350000 - 350 \times (5 + 35)] / (17 + 35) \\ = [115500 - 14000] / 52 \approx 1952 \text{ kN} \approx 199 \text{ t}$$

机车运行牵引重力:

$$Q_{y_a} = [F_k - P(wo' + ig)] / (wo'' + ig) \quad (6)$$

式中: Q_{y_a} ——机车运行牵引重力, kN; F_k ——机车轮周牵引力, 97.115 kN; wo' ——机车单位阻力, 1.77 N/kN; wo'' ——车辆单位阻力, 1.094 N/kN。

代入参数得到机车运行牵引重力:

$$Q_{y_a} = [97115 - 350 \times (1.77 + 35)] / (1.094 + 35) \\ = [97115 - 12870] / 36.094 \approx 2334 \text{ kN} \approx 238 \text{ t}$$

③计算分析:

根据上述计算, 使用 35 t 机车作为牵引机车, 在 35‰ 坡道上起动的时, 可以保证该条件下的起动的牵引。

电瓶车组总长约为 58 m, 满足车组在海瑞克盾构机台车内长度的要求, 亦满足在车站提供长度满足的情况下, 在洞口布双线单开道岔 (详见图 3), 选用 2 列编组。具体编组情况如下:

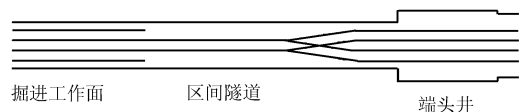


图 3 洞内运输线路道岔布置示意图

列车 1/列车 2: 1 电瓶车 + 5 渣土斗车 + 1 砂浆车 + 2 管片车

1 台砂浆车和 2 节管片车在电瓶车组进入盾构机台车内时定位摘钩, 并用铁鞋固定这三节车。渣土斗车列装土完成后再连接上, 出洞卸土, 以此来节省砂浆从砂浆车中倒运到盾构机中的泵送时间。

3.3 选配龙门式起重机

3.3.1 参数选择

龙门吊的规格,从以下几个项目的安全性考虑来确定:主钩最大起吊质量,小钩额定起升质量,主钩上下吊装物品速度,大车走行速度,小车运行速度,多盾构工地的适应性。

(1)主钩最大起吊质量确定:

电瓶车机车:35 t;

单个满载渣土斗质量 $4.8 \text{ t} + 17 \text{ m}^3/\text{斗} \times 2 \text{ t}/\text{m}^3 = 38.8 \text{ t}$ 。

(2)副钩最大起吊质量确定:一节管片车允许装载3块管片,质量约为 $4.5 \text{ t} \times 3 \text{ 块} = 13.5 \text{ t}$ 。

(3)龙门吊跨距确定:场地允许龙门吊跨距为21.5 m。

(4)工作环境等参数地下深埋9~36 m,相对湿度65%~80%,环境温度0.4~42℃,每年5~9月为雨季,年平均风速2.6 m/s,极端最大风速40 m/s(为南或南南东向台风)。

(5)轨面以下起吊高度为26.5 m。

3.3.2 龙门吊规格型号及相关参数

双梁龙门式起重机:工作级别A₆,额定起重重量为40/16 t,跨度为16.3~23 m可变,可调整步长为500 mm,最大跨度23 m,单悬臂有效长度3.5 m,悬臂可拆卸;

小车行走速度:0~35 m/min,变频调速;

大车行走速度:0~45 m/min,变频调速;

主钩起升速度:0~15 m/min,变频调速;主钩起升高度:轨面以上起升8.5 m(吊杆采用柔性链式吊杆,便于倾倒渣土斗),轨面以下起升26.5 m;

副钩起升速度:0~25 m/min,变频调速(吊卸管片及辅材);副钩起升高度:同主钩;

安全装置:抗风等级11级,有针对台风、暴雨措施,主钩、副钩起升限位采用“起升行程限位+重锤”双限位,大车、小车走行采用“行程限位+防撞装置”双保险。

3.4 本盾构工程采用设备(见表1)

表1 深圳地铁5号线5304标民~五隧道盾构区间施工主要设备表

序号	设备名称	单位	型号	规格	生产厂家	数量	备注	
1	盾构机	台	土压平衡式	Ø6280 mm	海瑞克(广州)	2	总功率:1643 kW	
2	水平运输系统 (工矿电瓶车组)	工矿电瓶车	JXKB35-9/510	35 t		4	功率:220 kW	
3		渣土斗车	ZT-17	7.76 t	中铁工程机械研	20	6660 mm × 1500 mm × 2500 mm	
4		砂浆运输车	SJ-7	7 m ³	究设计院有限公	4	4760 mm × 1500 mm × 2460 mm	
5		管片车	GP-15	1.9 t	司	8	4280 mm × 1500 mm × 626 mm	
6		电瓶充电机	台	BXC-320/C	35 kVA		8	
7	垂直运输系统	门式起重机	台	MG	40 t/16 t	河南江河起重机有限公司	2	跨度:16.3~23 m 变跨
8		门式起重机	台	MG(L)	16 t	徐州市重力起重设备制造厂	1	跨度:16.3~23 m 变跨
9	水冷却系统	冷却塔	台	GL-150	150 m ³ /h	深圳市金康明制冷设备有限公司	2	
10		管道泵	台	GD-80-40-100		深圳市凡凌特五金机电有限公司	10	口径:Ø100 mm;流量:80 m ³ /h;扬程:40 m
11	同步砂浆搅拌泵送系统	搅拌站	台	HZS35	35 m ³ /h	佛山市诚力建筑机械有限公司	1	
12		细石泵	台	SBS-15-08-30		青岛科尼乐重工有限公司	1	砂浆泵送功率:15 m ³ /h
13	隧道通风系统	轴流风机	台	SDF(C)-No11	55 kW × 2	山西侯马鑫丰康	2	风管直径:Ø1200 mm
14		二次通风设备	台	30HK026		广州吉原交通工程技术有限公司	2	盾构机内二次通风
15	渣土外运设备	挖掘机	台	PC200		日本小松	1	
16		泥头车	台	20 t			5	
17	地面及地下通讯	交换机	部	32 门			1	
18		交换机	部	16 门			2	
19		电话机	部				20	
20		对讲机	部				12	
21	配电系统	变压器	台	500KVA/400V			2	盾构配套设备供电
22		高压开关柜	套	2000KVA 8.6/10KV			2	盾构机供电
23	二次注浆设备	套	KBY-50/70			4		

为以下几种情况:①开浇或在第一次拆卸导管前砼的塌落度太小;②开始浇筑砼时砼的入仓速度太快(对钢筋笼质量不大的情况);③导管理入砼太深;④提升导管时导管刮碰钢筋笼等。针对以上几种情况要制定相应对策,避免钢筋笼上浮现象的发生。同时在钢筋笼下设完毕后必须用钢管作为支承杆,一端固定在钢筋笼上,另一端固定在护壁桶上或钻机上等,起到固定钢筋笼的作用,防止钢筋笼上浮。

(6)砼浇筑时出现导管漏浆、导管堵管现象。首先,要经常对导管进行耐压试验,确保导管的耐压性,防止砼浇筑时出现爆管;在安装导管时要检查导管的密封圈是否完好、接头丝扣是否清理干净、连接时丝扣是否紧固。对于导管堵管现象,产生的主要原因为砼离析、砼骨料超径、砼塌落度太小、砼浇筑中断时间过长、导管进气进浆等。

如出现上述情况要及时采用应对措施,及时解决。

①一旦出现导管漏浆,要根据漏浆情况及时采用泥浆泵或小抽砂桶(小于导管内径)将导管内的泥浆抽出,注入少量的清水冲洗砼表面并排出孔外后,及时灌入砼。如漏浆太大不能将泥浆抽干,就要把导管拔出孔外,处理好漏浆部位后重新下设导管,将导管插入砼不小于1 m,将导管内的泥浆抽出,注入少量的清水冲洗砼表面并排出孔外后及时灌入砼(砼塌落度适当大一些)。

②一旦出现导管堵管,要及时上下活动并抖动导管,如果没有效果就要将导管拔出处理堵管。如果是刚开始浇筑或浇筑了少量的砼,原则上应将钢筋笼拔出重新清孔后再浇筑;如果已浇筑了很多砼,则应将导管重新下入孔内并插入砼内,将导管内的泥浆抽出,注入少量的清水冲洗砼表面并排出孔外后及时灌入砼(砼塌落度适当大一些)。

(上接第81页)

4 结语

盾构推进是一个连续的链式工作工程,在此工作环节内任何一个主要设备的选型不够合理都会影响盾构推进的进度;任何一个主要设备出现故障,都会导致整个工程的停工。所以对盾构机配套设备的合理选型是前期准备工作中的一个重点。隧道施工机械的选型应从机械整体匹配出发,充分发挥整条作业线的生产能力,在考虑经济性和适用性的情况下,与施工方法相适应。科学的施工组织管理可确保生产有序、可控。设备选型的合理、设备质量的可靠

(7)桩体砼出现混浆、离析、夹泥等现象。对于这几种情况主要为以下几种原因:

①砼开浇时孔底沉渣太厚,导致一部分沉渣被砼压在桩底形成桩底沉渣夹层,另一部分沉渣与砼混浆;

②砼开浇时导管底部距孔底距离过大,导致底部砼混浆、导管返浆使砼混浆;

③砼塌落度太大,导致砼混浆、离析等现象;

④导管漏浆,导致砼混浆、离析等现象;

⑤导管理入砼太浅或导管拔脱砼面,导致砼混浆、离析、夹泥(断桩)等现象。

4 结语

(1)京沪高铁工程量大、质量标准高、施工干扰大,通过工程施工,使工程技术、管理干部的业务水平有很大的提高。

(2)对于高标准的京沪高铁项目,必须要认真、严格地按工程技术要求、工程规程规范组织施工,才能够保证工程质量;同时对一些高难度的质量标准,要进行一些必要技术攻关予以解决。

(3)以上的施工经验总结,希望对相关工程具有借鉴作用。

参考文献:

- [1] 周树旺,唐世杰.铁路大桥基础加固嵌岩钻孔灌注桩的施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(3):36-38.
- [2] 毛广陵.杭州湾跨海大桥IX-B合同段钻孔桩基础施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(5):20-23.
- [3] 杨宗仁.苏通长江公路大桥试验钻孔施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(1):21-23.
- [4] 周红军.旋挖钻进技术适用性的初步研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):39-45.
- [5] 王建勇.钻孔灌注桩施工质量控制及事故处理浅析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(2):23-24.

靠都会对盾构机推进速度的提高有着极大的促进作用。

参考文献:

- [1] 竺维彬,鞠世健,等.复合地层中的盾构施工技术[M].北京:中国科学技术出版社,2006.
- [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.
- [3] 吴宗泽.机械设计实用手册[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [4] 中国铁道建筑总公司.隧道掘进机施工技术[M].北京:机械工业出版社,2005.