

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2022.03.045

小净空、上软下硬地层盾构始发技术研究

李作仁¹, 周胡蒙², 金立³

(1. 中铁六局集团有限公司, 北京市 100071; 2. 温州市鹿城区城市综合开发投资管理有限公司, 浙江 温州 325000;
3. 温州市鹿城区城市发展集团有限公司, 浙江 温州 325000)

摘要: 依托某地铁区间盾构机分体始发工艺, 对盾构分体始发技术进行研究。由于该区间始发空间狭小, 只能选择四次分体始发工艺展开盾构施工。工作井作为该区间盾构施工的唯一始发井, 设计长度为 18 m, 且邻近山体, 作业空间有限, 场地无法满足常规盾构整体始发条件要求, 需采取分体始发工艺。通过实践证明, 盾构分体始发技术可以解决“小净空、上软下硬地层盾构始发”的难题, 降低盾构始发条件限制, 优化设计, 减少征地拆迁, 有利于城市轨道交通施工。通过盾构机分体始发技术, 可以突破上软下硬淤泥地质和场地狭小的限制, 是盾构施工技术的有益补充, 对城市隧道工程盾构施工具有重要借鉴意义。

关键词: 小净空; 分体始发; 半环始发; 上软下硬地层

中图分类号: U455.43

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)03-0172-05

0 引言

随着国家基础建设投资力度的加大、城市交通压力的不断增长, 盾构隧道工程建设呈现较大的增长趋势^[1]。某地铁盾构隧道采用 8.8 m 级土压平衡盾构机, 在始发施工过程中采取小净空、上软下硬地层分体始发的工艺。这是国内首例采用该工艺的工程。该工程面临复杂的施工环境、极高的施工技术难度, 重大的施工安全风险、较高的环保节能要求。在项目实施过程中, 结合现场实际条件, 通过一系列的施工工艺优化和发明创造, 解决了狭小空间限制问题; 通过详细的地质勘探, 结合理论基础, 对掘进参数、出土量、注浆量等施工参数进行优化, 强化施工监测, 克服了上软下硬地层始发技术难点, 完成大盾构、小净空、上软下硬地层分体始发, 为后续类似工程提供了宝贵的经验。

1 工艺原理

(1) 依据现场实际空间条件, 结合盾构机和台车的设计长度、各设备系统的协同配合运转的形式, 通过一系列施工工艺优化, 进行多次分体, 分阶段推进。

(2) 采取一系列发明创造和设备改造, 解决盾构分体始发管线延伸及盾构出渣难题。

(3) 采取半环始发的形式, 解决盾构渣土和管片垂直运输空间受限问题。

收稿日期: 2021-07-14

作者简介: 李作仁(1991—), 男, 本科, 工程师, 从事市政施工工作。

(4) 针对上软下硬地层始发掘进, 结合地勘成果和理论基础, 对掘进参数、出土量、注浆量等施工参数进行优化, 强化施工监测。

2 工程概况

某地铁盾构隧道采用 8.8 m 级土压平衡盾构机在小净空、上软下硬地层条件下采用分体始发的工艺。该盾构隧道内径 7.7 m, 外径 8.5 m, 0.4 m 厚, C55、P12 高精度单层装配式平板型钢筋混凝土管片, 管片宽 1.6 m, 环向分块采用七块方式, 一块封顶块, 两块邻接块, 四块标准块。

该区间左线盾构隧道采用分体始发工艺, 始发井净空尺寸为 27.6 m × 18 m (左线净空 13.8 m × 18 m), 分体始发阶段主要穿越地层为⑨含碎石粉质黏土、⑩₁全风化熔结凝灰岩、⑩₂强风化熔结凝灰岩、⑩₃中风化熔结凝灰岩。设计要求隆沉量控制在 -30 mm ~ +10 mm (见图 1、图 2)。

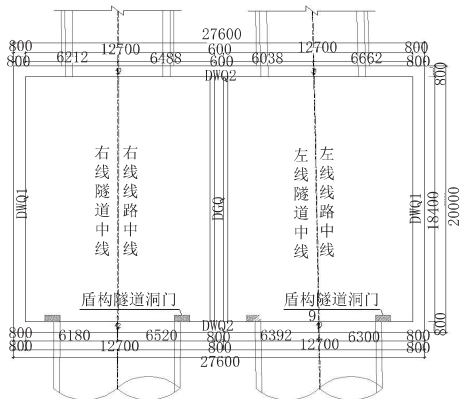


图1 盾构工作井平面图

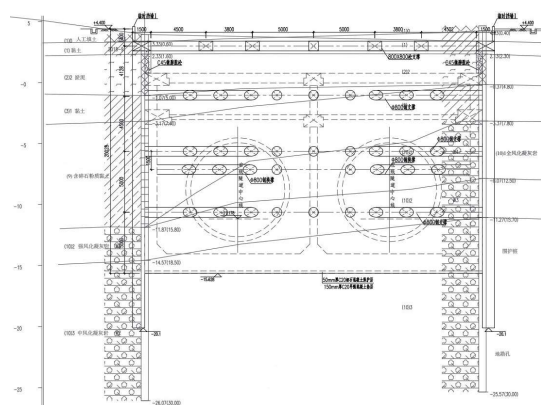


图2 盾构工作井剖面图(右为分体始发区间)

3 施工工艺流程与操作要点

3.1 施工工艺流程

本项小净空、上软下硬地层盾构分体始发工法，主要施工工艺流程如图3、图4所示。

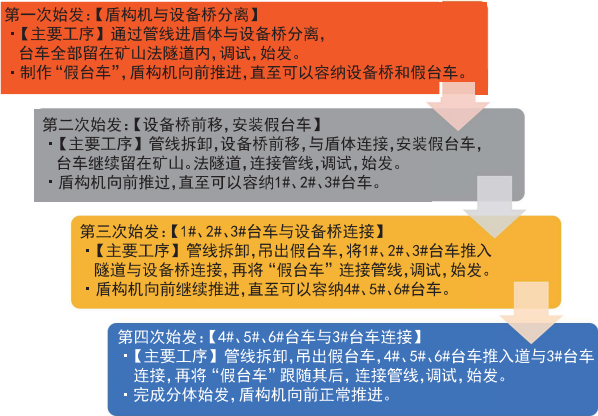


图3 盾构分体始发简图

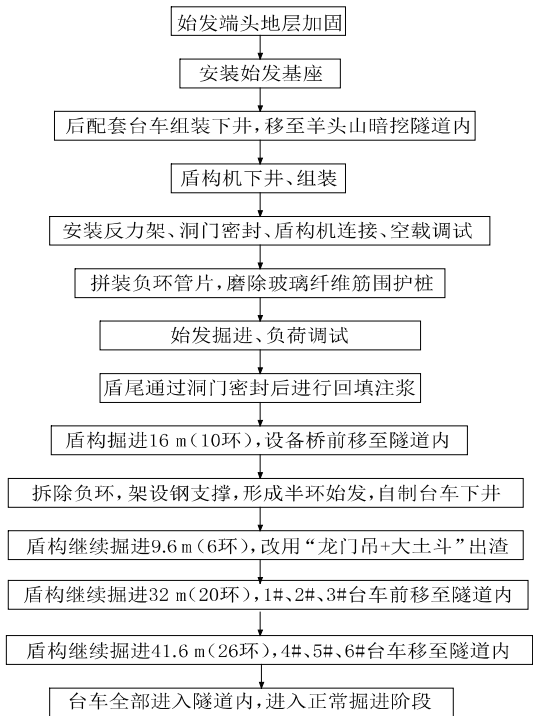


图4 施工工艺流程图

3.2 操作要点

3.2.1 分体始发操作要点

始发井采用明挖顺做法施工,主体结构为2层两跨矩形框架结构,盾构吊装孔净空尺寸仅为17.4 m,地处山脚,且与暗挖隧道相接。

由于始发竖井兼作盾构施工出土口,渣土吊运空间有限,在盾体进入土体前的掘进段,采用“龙门吊+小渣斗(6 m³)”的出土方式进行施工。当始发井口空间较大后,采用“龙门吊+大渣土斗(22 m³)”的出土方式进行施工。主要分为7个阶段,具体叙述如下。

(1)第一阶段

始发托架、后配套设备、盾构机和反力架的先后吊装下井与安装。

(2)第二阶段

盾构机进行设备调试,加长盾体与设备桥间的管路连接(预备至少20 m的管路连接),盾体前移,刀盘抵至掌子面并进行磨桩后,设备桥和台车继续留在暗挖隧道内。

(3)第三阶段

盾体与设备桥间采用管路连接,掘进10环(16 m)。此阶段采用“配合龙门吊+小渣斗”的出渣方式。由于盾构始发井口的空间狭小,反力架与工作井主体结构净空尺寸仅为3.2 m,同时螺旋机伸出反力架1.5 m,只能采用自制6方小土斗进行出渣,管片采用单块、侧边吊装下井拼装。

(4)第四阶段

拆除负环管片(-8环~-3环,共6环),形成半环状态,安装钢支撑。空间条件具备后,将设备桥前推至与盾体相连,然后通过半环开口将预先做好的一节自制型钢台车吊装下井。型钢自制台车为设备桥提供支撑力,同时在自制台车上加装皮带机主动轮和下料口,配合设备桥采用皮带机出土,提高施工效率。

(5)第五阶段

采用“龙门吊+小渣斗”的出渣方式,再次掘进9.6 m(6环),接着吊装大土斗下井,改用“龙门吊+大渣斗”的出渣方式。继续掘进20环(32 m),为后续1#、2#、3#台车进入隧道提供空间。在此阶段,需考虑管线延长连接。

(6)第六阶段

将1#、2#、3#台车推入盾构隧道内,将自制台车调整至与3#台车相连,配合盾构机掘进26环(41.6 m),至62环。此阶段,4#、5#台车仍留在暗挖隧道内,3#

台车与4#台车之间加长管路连接。

(7)第七阶段

将4#、5#台车推入盾构隧道内,6#台车吊装下井并推入隧道内,自制台车调整至6#台车后面,并将7#台车的污水箱改装至6#台车,无须使用7#台车,进入正常掘进阶段。

(8)管线延伸托架装置的应用

为克服4次分体始发过程中劳动力浪费,节约工期,项目盾构团队研发了一种管线延伸托架装置(见图5)。该装置包括底支撑杆、横支架、滚轴、限位杆和连接耳。其中,底支撑杆用于支撑横支架,与横支架焊接牢固,使其保持水平、稳定。连接耳焊接固定于横支架一端,连接耳需开圆形孔,与盾构管片螺栓连接固定,保证整个托架的稳定。滚轴主要用于减少管线延伸过程中的摩擦力,位于横支架上方,两端采用板型构件支撑,保证滚轴的运转空间。限位杆的主要作用是防止管线延伸过程中产生偏移、滑落,立于滚轴两端。该装置结构简单,能够实现快速安装并使用,且无须破坏管片结构,缩短分体始发管线延伸工作时间,避免耗费大量人力,提高分体始发施工效率,节约工期,并且可重复使用。

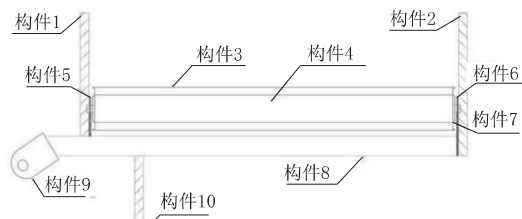


图5 管线延伸托架装置大样图

3.2.2 半环始发操作要点

(1)管片拆除空间

为同时保证自制台车吊装下井及后期大土斗出渣的空间需求,计划对6环负环管片进行拆除,分别拆除-8环~-3环,每环管片1.6 m,拆除总长度9.6 m,横向净空拆除尺寸拟为5.4 m。

(2)管片吊装

管片拆除过程中,为保证拆除效率,6环管片拆除后分3次拆除与吊装,2块一组,中间通过管片螺栓进行紧固连接成整体。每组管片采用2点吊装,即每块管片上中间设1个吊点。吊点采用 $\phi 100$ mm水钻将管片打孔形成。

(3)负环管片加固

盾构掘进过程中,为使盾构姿态得到良好控制,现拟对已拆除的负环管片范围内采用 $\phi 609$ mm钢支撑进行加固,左右各一道,长度9.6 m,以管片中线

对称布置,中心间距3 m,能满足大土斗出渣的空间需求。

3.2.3 上软下硬地层掘进参数控制要点

该隧道长度474.124 m(长链0.698 m),线间距13.5~16.5 m,隧道埋深约8.64~10.8 m,线路平面最小曲线半径为3 200 m,最大纵坡为-22‰。隧道主要穿越黏土地层,始发段前50 m穿越上软下硬地层(上部黏土,下部凝灰岩)。

盾构在上软下硬地层分体始发过程中,通过以下措施可克服面临的难题。

(1)地质勘探

做好超前谋划,提前做好始发段地质补勘工作,详细了解地质情况,对盾构掘进施工参数提供强有力的保障。

(2)掘进参数的拟定与控制

通过理论计算,结合以往类似地层的施工经验进行实践数据分析,土压的设定要避免土压过小造成地层沉降变形过大,为1.1~1.3 bar。推力设定在1 700~2 100 T,并应根据参数实际情况进行缓慢增加,避免因推力增幅过大造成地层变形。刀盘扭矩设定在2 300~3 000 kN·m。由于在上软下硬地层,盾构刀盘受力不均匀,易造成较严重的磨损,故刀盘转速不宜过大,宜设定在1.2~1.4 rpm;推进速度宜设定在10~30 mm/min,避免造成刀盘磨损严重及盾构姿态偏差较大。

(3)出土量

由于盾构分体始发阶段时间较长,同时所处上软下硬地层地质不均匀,极易产生地层沉降。因此,盾构过程中需严格做好出土量控制。出土量控制采用重量、方量双控指标,依据理论基础计算出单环理论出渣方量,主要通过实测渣土密度和龙门吊称重系统进行渣土重量实测,宜控制在114~118 m³。根据监测沉降量,建立隧道上部地面沉降槽模型,结合设计要求隆沉量控制范围,求得地层损失率不得大于0.97%。

(4)同步注浆

严格按设计采取质量合格的普通酸盐水泥砂浆作为同步注浆材料,通过多梯度试验对同步注浆配合比进行筛选、优化,形成表1所示配合比。

每环同步注浆量不少于9 m³,宜取9~10 m³,并根据地下水情况、盾构出渣情况进行动态调整。控制同步注浆压力宜控制在2~4 bar,注浆速度需与掘进速度相匹配。管片拼装及时,控制质量严格要求,

表 1 上软下硬地层盾构分体始发同步注浆配合比

材料名称	水	砂子	膨润土	粉煤灰	水泥
质量/(kg·m ⁻³)	470	890	80	420	120

同时利用管片凹凸榫保证管片拼装的整体性与质量。

3.2.4 技术参数总结

(1)掘进参数

针对上软下硬地层,根据地勘成果,结合以往施工经验拟定初始决定参数,再根据第一次分体始发决定经验,确定最佳掘进参数。盾构分体始发施工掘进参数参考表 2。

表 2 上软下硬地层盾构分体始发掘进参数

推进速度 / (mm·min ⁻¹)	总推力 /t	刀盘转速 /rpm	刀盘扭矩 / (t·m)
10 ~ 30	1 700 ~ 2 100	1.2 ~ 1.4	230 ~ 300
土压力 /bar	同步注浆 /m ³	出土量 /m ³	
1.1 ~ 1.3	9 ~ 10	114 ~ 118	

(2)二次注浆

选用水泥、水玻璃双液浆,水灰比 0.8 : 1 ~ 1 : 1 (质量比),水泥浆 : 水玻璃 = 1 : 1 (体积比)。管片脱出盾尾 3 环后,立即进行二次注浆,每环二次注浆量 0.3 ~ 0.7 m³,注浆压力不小于 1 MPa。洞门封堵止水环施做选用水泥、水玻璃双液浆,配比同上,起到封堵后方、保证后续同步注浆效果的作用。同时通过二次注浆,能够防止隧道渗漏水及控制管片上浮的现象。

(3)渣土改良

上软下硬地层始发掘进过程中,渣土改良不佳时,易出现盾构姿态难以控制、蛇形掘进、管片破损、土方超挖等情况,进而导致掘进参数异常,严重影响盾构正常掘进。为确保渣土具有良好的和易性、流动性,针对地层特点,选用优质泡沫进行渣土改良。同时备好聚合物添加剂,如果存在地下水较大,可在泡沫原液中加入一定的聚合物进行渣土改良。盾构掘进控制方面,控制螺旋转速与土仓压力匹配,加强渣温管理,动态调整渣土改良剂配比和注入量。

3.2.5 上软下硬地层盾构分体始发技术措施

3.2.5.1 盾构掘进技术措施

根据以往施工经验和相关理论,结合本工程的具体情况,采取以下盾构掘进技术措施:

(1)采用隧道自动导向系统和人工测量辅助进行盾构姿态监测。

(2)根据线路条件所做的分段轴线拟合控制计划、导向系统反映的盾构姿态信息,结合隧道地层情况,通过分区操作盾构机的推进油缸来控制掘进方向^[2]。

(3)严格控制盾构出渣量,避免超挖造成地表沉降。

(4)本区间主要穿越黏土地层,在掘进过程中,需做好地质预测,合理控制掘进参数,优化渣土改良,防止出现结泥饼现象。

(5)区间始发段前 50 m 穿越上软下硬地层,应合理控制推进压力及掘进速度,避免出现蛇形掘进、姿态偏差过大。

(6)该隧道始发段为 22‰大纵坡掘进,且大部分处于黏土地层,应合理掘进姿态,适当保持上仰,抵消盾构机栽头趋势,避免姿态偏差过大。

(7)通过调整各组推进油缸的压力来实现盾构掘进姿态调整与纠偏。一般情况下,盾构机如果偏离设计轴线 20 mm,即进行纠偏。纠偏过程应逐步进行,不能一次到位,每环纠偏量水平方向上不超过 2 mm,竖直方向上不超过 3 mm^[3]。

3.2.5.2 管片拼装技术措施

(1)拼装前,先测量盾尾间隙,根据实测的数据,选取合适的管片拼装点位。

(2)拼装前,清理上一环管片上的泥块和泥浆,保证环面清洁、无渣泥。

(3)拼装时,保证初衬砌环圆度,推进油缸的伸缩顺序应与管片拼装顺序一致。

(4)螺栓三次复紧。每环推进结束后,须拧紧连接螺栓。在下环推进时复紧一次。每掘进完成 3 环,对 10 环以内的管片连接螺栓复紧一次。

3.2.5.3 壁后注浆技术措施

(1)经过多次配合比试验,选择最合适的同步注浆浆液配合比,确保浆液初凝时间与盾构掘进速度匹配,避免产生管片上浮或偏移。

(2)盾构掘进过程中,合理控制同步注浆量和注浆压力,保证管片壁后空隙填充饱满。

(3)根据现场实际情况,选择合适的二次注浆频率。若出现渗漏水,及时采取二次注浆。

3.2.5.4 监控量测技术措施

为准确了解盾构始发时地面的变形情况,为盾构施工提供依据,做到信息化施工,在盾构始发段监测采取如下措施:

(1)加强暗挖隧道内的净空收敛、拱顶沉降和地

表沉降监测,每日形成监测日报,及时发布监测数据信息。

(2)建(构)筑物沉降监测。盾构施工过程中,加强对端头处龙门吊基础、地下管线、周边建筑的监测。

(3)增加监测频率。施工前,应对原数据进行多次观测,取其平均值作为原始数据,确保原始数据的准确。在盾构穿越其间在原有的监测基础上增加监测频率,待盾构穿越后沉降趋于稳定后,逐渐减少监测次数。

(4)测量的数据应及时汇总上报工程部,以便于及时了解施工现状和相应区域的变化情况,确定新的施工参数和注浆量等信息和指令,并传递给盾构操作手,使盾构推进及时作相应调整,确保盾构隧道的施工安全。

(5)采取信息化施工

a. 监测信息的反馈。监测信息实时反馈,盾构施工监测信息按照规定的监测频率及时反馈。

b. 监测分析。根据监控量测数据进行实时分析和阶段(周/月)分析,对地层的扰动情况、盾构隧道的安全状态等进行科学合理的评价,并提出相应的建议。盾构施工监测为常规监测项目,主要针对地面加固施工及盾构施工影响范围内的地面沉降、盾构隧道结构净空收敛、拱顶沉降监测。

c. 信息化施工。根据监测数据及分析结果,动态调整施工参数,采取针对性的技术措施、应急措施,或按照应急预案启动相关应急程序。

4 结 语

为保证盾构分体始发施工万无一失,施工前,提前针对始发段上软下硬地层采取地质勘探工作,结合理论基础,为后续的盾构盾构施工参数控制提供了强有力的理论保障。

(1)本工程案例的成功实施,关键在于充分的前期准备。施工前,进行了详细的施工调查,精心策划、科学组织与论证,及时、充分征求了业主、公司的宝贵意见,以此为基础进行了科学合理的施工工艺优化。

(2)小净空、上软下硬地层盾构分体始发施工的施工安全,关键在于加强吊装风险管控、减小盾构施工扰动、控制盾构掘进参数,控制地层沉降。

(3)本工程案例的成功实施,离不开简洁实用的发明创造。针对盾构分体始发过程中的出渣问题,自制了简易台车。针对盾构分体始发管线延伸的难题,发明了一种盾构分体始发管线延伸托架装置。针对始发空间狭小,垂直运输困难,采取了小土斗出渣方法、半环始发的形式等。该工程实例的上述一系列关键技术、工程实践经验及良好的发明创造,可在类似工程中推广应用。

参考文献:

- [1] 孙金泽.盾构法施工技术的研究现状与发展前景[J].城市建设理论研究(电子版),2015(42):15-20.
- [2] 刘盛.论隧道盾构施工技术措施[J].城市建设理论研究(电子版),2014(28):183-184.
- [3] 扶凤娇.城市地铁盾构施工技术措施探讨[J].科技与生活,2011(15):115.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com