

轨道交通盾构施工关键技术研究

——以苏州轨道交通7号线为例

常康康

(中铁十二局集团有限公司, 山西 太原 030024)

摘要 随着城市化进程不断加快,城市轨道交通建设已成为缓解交通压力以及促进城市发展的关键举措。本文聚焦苏州轨道交通7号线,深入探讨其盾构施工关键技术。通过对工程概况、盾构区间风险源的分析,详细阐述了盾构始发、掘进、到达等阶段的技术要点,以及针对施工重点难点提出的技术措施,旨在为类似工程提供参考,进而保障施工安全与质量,推动盾构施工技术发展。

关键词 轨道交通;盾构技术;盾构施工;盾构机

中图分类号:U215

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.038

0 引言

盾构法凭借高效、安全且对周边环境影响较小等优势,在城市地铁交通项目施工建设中,各类工程普遍采用了盾构技术这一先进手段,但面对复杂的地质条件和周边环境,施工过程中也遇到了不少挑战,技术要求较高,风险较大^[1]。苏州轨道交通7号线作为苏州市轨道交通线网的关键线路,其盾构施工面临诸多挑战。深入研究苏州轨道交通7号线盾构施工关键技术,对保障施工安全、提升工程质量以及推动盾构施工技术发展有关键现实意义。

1 工程概况

苏州轨道交通7号线呈现出整体南北走向的态势,属于苏州市轨道交通线网里的关键骨干线路,它将相城区、工业园区以及吴中区等多个城市中心连接起来,苏州市轨道交通7号线工程土建施工V II-TS-07标段含有三个车站,分别是作为换乘站的群星二路站、林家潭路站以及郭巷站,以及三个盾构区间,依次是群星二路站至林家潭路站区间、林家潭路站至郭巷站区间以及郭巷站至尹中路南站区间。车站运用明挖法以及半盖挖方式施工,区间主体借助盾构法来施工,所使用的ZTE6830盾构机,其整机总长大概为95 m,重量约为550 t,水平转弯半径是250 m,主机总长约9 m,给施工提供了有力的设备支撑。

2 盾构始发技术

2.1 始发段试掘进

2.1.1 始发掘进

在初始发掘推进阶段,刀盘的转速被严格设定为每分钟1.0转,掘进的速度维持在每分钟5~8 mm,这样的参数设定是综合考虑了盾构机的性能以及地质条件后得出的,其作用在于能保证盾构机顺利地破土前行,又能防止因速度过快致使掌子面失去稳定,当盾尾进入洞门密封区域时,同步开展注浆作业,这是极为关键的环节^[2]。注浆可填充盾尾与洞门之间的空隙,防止土体出现坍塌以及地下水发生渗漏,需要密切留意洞门密封的状况,一旦察觉到有泄漏现象,要即刻进行封堵,以此保障施工的安全。

鉴于盾构机有特殊的构造,无法直接对掌子面的情形进行观察,借助出渣量来推断掌子面的状况成为关键的方式。若出渣量过大,有可能意味着掌子面发生了坍塌,这会对施工的安全以及进度产生严重的影响,如果出渣量过小,则或说明掌子面存在空洞或者裂隙,严格把控出渣量对于保证开挖面的稳定而言非常关键^[3]。

2.1.2 始发段确定

决定始发段长度的因素主要存在两个方面:一方面是衬砌与周围地层之间的摩擦阻力,这种摩擦阻力越大,那么盾构机向前推进时所需的推力也就越大,

作者简介:常康康(1986-),男,专科,助理工程师,研究方向:地铁施工。

相应地始发段长度也会受到一定影响；另一方面是盾构机的总长度，较长的盾构机在开始启动时需要更长的稳定段来保障其可正常运行^[4]。作业启动环节顺利落幕，立刻启动负环管片、反力架和临时支撑的拆除工程，这是后续掘进顺利进行的必要条件。盾构掘进的反作用力主要依赖衬砌与周边地层的摩擦力来承受，注浆后的衬砌与地层摩擦力必须超越盾构推进力，否则可能导致盾构机无法正常推进，甚至引发安全事故。

2.2 盾构始发段掘进施工

2.2.1 刀盘转动

刀盘启动时，必须先以低速转动。这是为了让刀盘逐渐适应土层，同时观察刀盘扭矩等参数是否正常，以及土仓内土压变化是否稳定。待各项参数正常后，再逐步提高刀盘转速。若刀盘启动困难，应尝试正、反转刀盘，帮助其摆脱困境。在操作过程中，要严密监控刀盘扭矩等参数，一旦某参数报警，应立即停机检查，查明原因并修理，待参数恢复正常后方可继续掘进。刀盘转动时，盾构机可能会出现侧倾现象，当侧倾较大时，应反方向转动刀盘，使盾构机恢复到正常姿态，一般每推进一环，刀盘根据盾构偏转角度调整一次旋转方向^[5]。

2.2.2 千斤顶顶进

在掘进过程中，各组千斤顶应保持均匀施力，严禁松动千斤顶。考虑到盾构机自重，掘进时盾构机下部千斤顶推力应略大于上部千斤顶推力，这样可以保证盾构机的稳定前进。初始段刀盘通过土层加固区时，千斤顶的推力设定应小于正常推力，遵循低速切削的原则，防止出现大块土体影响施工。在掘进施工中，千斤顶行程差应控制在 50 mm 内，且单侧推力不宜过大，以避免挤裂管片。

3 盾构掘进技术

3.1 掘进流程

盾构掘进属于一项系统工程，其中覆盖了盾构掘进、管片拼装、材料运输、掘进注浆以及管线延长等诸多环节，这些环节彼此关联且相互制约，只要有任何一个环节出现问题，就可能会对施工进度以及质量产生影响。例如：如果材料运输不够及时，就会致使盾构机停机等待，影响掘进效率，若管片拼装质量欠佳，会对隧道的整体稳定性以及防水性能造成影响。各环节要协调配合，以此保障施工可顺利开展。

3.2 盾构掘进测量

由于本区间隧道施工工期紧、测量任务重，采用人工测量盾构瞬时状态会给测量工作带来较大压力，且

人工测量速度慢、易出错。因此，本区间隧道盾构配置盾构姿态自动测量（见图 1）系统，该系统可快速、准确、实时地给出盾构机空间位置与方位姿态，包括与线路中线的平面偏离、高程偏离、纵向坡度、横向旋转和切口里程的测量。通过输入所有管片中心坐标或隧道线形，系统处理后可在显示屏上显示实时盾构姿态，为施工人员提供准确的信息，以便及时调整盾构机姿态。

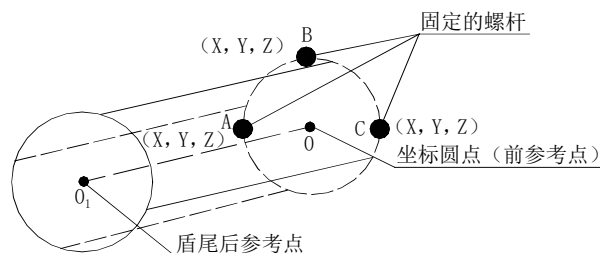


图 1 盾构姿态测量示意图

4 盾构施工重点难点及技术措施

4.1 盾构进出洞施工安全

在盾构进出洞施工过程中，保持洞口土体稳定是最大的风险。本工程盾构进出洞地层为粉砂夹粉土、黏质粉土、粉质粘土地层，需进行有效的端头加固。端头加固技术可采用旋喷桩、搅拌桩等方法，提高土体的强度和稳定性。加固效果检查可通过钻孔取样、标准贯入试验等方式，确保加固质量满足要求。若加固效果不好，会造成洞门的流水、流砂，甚至坍塌。钢套筒接收技术可提供密闭的接收环境，防止土体和地下水进入隧道，保障施工安全。施工步骤包括安装钢套筒、在钢套筒内破除洞门、回填低强度材料等。

4.2 盾构穿越粉砂地层

1. 地层特点及施工难点。粉砂地层中，盾构机的姿态不易控制、推进阻力大，富水粉砂地层地质条件敏感，盾构机掘进参数控制不好容易引起地面沉降，甚至危及地面建筑物和地下重点管线的安全。粉砂地层颗粒较细，透水性较强，在盾构掘进过程中，易发生流砂现象，导致土体失稳。

2. 沉降及轴线控制技术措施。为控制沉降和轴线，需严格控制掘进参数。刀盘转速应根据地质情况调整，一般控制在 1~2 r/min，避免过高转速导致土体扰动过大。推进速度保持在 3~5 cm/min，确保土体有足够时间排土和形成支护。土仓压力应与地层土压力和水压力平衡，防止地层塌陷或涌水。注浆量要根据地层损失情况合理确定，及时填充间隙。同时，加强监测，根据监测数据及时调整参数，确保施工安全。

4.3 盾构小半径曲线掘进

1. 小半径曲线施工特点。在小半径曲线段掘进时,盾构机的姿态需要动态调整。由于曲线半径小,盾构机在前进过程中容易偏离设计轴线,因此需要不断调整姿态以保证隧道轴线精度。

2. 姿态预偏和掘进速度控制。在常规隧道挖掘工程过程中,需确保盾构机沿水平方向向曲线内侧适当偏移,尤其是在半径较小的弯曲地带,盾构姿态通常需向内弧线偏移约10 mm。沿曲线轨迹引导盾构设备行进,确保管片拼接时其轴线位于弧线内侧,自管片自盾尾滑落之后,侧向分力的存在使得物体向外侧发生偏移,科学配置初始偏差量,便于在急曲线内进行纠偏。同时,合理控制掘进速度,避免速度过快导致盾构机失控。

5 盾构下穿既有有线技术措施

5.1 既有有线情况分析

郭巷站~尹中路南站在区间盾构下穿既有有线,2号线延伸线郭巷站为单柱双跨箱型结构,底板下标高-13.861~-16.861范围内采用 $\Phi 850$ 三轴搅拌桩加固,加固范围为坑底以下3 m, $q_u \geq 1.0$ MPa;盾构机穿越范围围护结构采用玻璃纤维筋地连墙,地连墙墙厚800 mm,混凝土设计强度等级为C35。不同地层对盾构掘进的影响不同,粉质黏土层相对稳定,但粉土夹粉砂层和粉砂夹粉土层富水性强,易发生流砂现象。

5.2 既有有线保护措施

当盾构机穿越既有线路时降低推进速度是极为关键的环节,一般将推进速度控制在正常速度的70%~80%,要严格控制盾构姿态以及纠偏情况,防止频繁且大幅度的纠偏致使土体受到扰动,依据监测获取的数据以及设计分析反馈回来的信息,及时对盾构推进速度、刀盘转速、正面土仓压力、出土量、同步注浆量等施工参数作出调整。如果监测发现地表沉降过大,那就应当适度降低推进速度,并增加注浆量,要保证盾构机可平稳地穿越有线路,以此保障既有线路的结构安全以及正常运营。

6 盾构到达施工工艺技术

6.1 钢套筒接收

为了确保盾构接收阶段的顺利开展,本区域所采用的是封闭式接收装置的接收技术方案。郭巷站尾端的地墙厚度为1 200 mm,盾构机的切削刀盘已与地层壁面接触,立即启动钢套筒的安装程序。在钢制套筒

内实施洞门拆除作业,拆除工程进展至剩余600 mm厚度的关键阶段,向钢套筒内填充低强度材料并确保压实。随后,向接收端钢套筒内注入与土仓切口相等的预压力。接着,盾构机可直接进入钢制外壳内进行隧道挖掘。执行盾尾部位的浆料填充修补工作,浆液固化步骤已确定,依次拆除钢套筒和盾构机,将此物吊离现场,作业接收环节得以顺利完成。钢套筒接收能有效防止土体坍塌和地下水渗漏,保障施工安全。

6.2 盾构到达段掘进施工

在盾构机尚未进场前,以实地测量数据为研究支撑,精确测定盾构刀盘前端与桩体接触的确切里程长度。盾构机穿越至既定施工里程的指定区域,立即转为挖掘作业状态。此时需指派专人轮值,每日对地面沉降进行两次细致的跟踪监测。依托监测数据,迅速执行补浆等必要手段。即将进入第三十圈的比赛圈,对盾构机姿态进行再确认,确保其沿预定轴线顺利穿出洞窟。精确的测量和监测能及时发现盾构机姿态偏差,通过调整千斤顶推力等参数,使盾构机准确出洞。

7 结束语

苏州轨道交通7号线进行盾构施工时面临着复杂的地质状况以及环境方面的挑战,经过对盾构始发、掘进、到达等关键技术展开研究,并且针对施工重点难点采取有效的技术手段,可保障施工安全以及工程质量。本文所提出的各项技术手段和监控要点,为类似工程提供了有益参考,可提升盾构施工水平,推动盾构施工技术持续发展。在实际施工过程中,要严格按照技术要求来操作,加强监测与管理,保证城市轨道交通建设顺利开展,为城市发展提供有力支撑。未来,随着技术不断进步,盾构施工会更加安全、高效且环保。

参考文献:

- [1] 马彬友.盾构下穿既有地铁车站施工技术研究[J].安徽建筑,2023,30(02):49-51.
- [2] 梁景一,王建.盾构近距离穿越房屋群施工技术研究[J].江苏科技信息,2023,40(02):56-59.
- [3] 张博.岩溶区地铁盾构隧道施工关键技术研究[J].中华建设,2024(02):110-112.
- [4] 袁伟嘉.复杂地质条件下的市政地铁隧道盾构施工技术研究[J].工程机械与维修,2024(02):120-122.
- [5] 刘顺涛.盾构浅覆土小间距上跨既有地铁施工技术[J].技术与市场,2023,30(11):113-117.