

城市轨道交通隧道盾构施工关键技术研究

Research on Key Technologies of Shield Construction in Urban Rail Transit Tunnel

毕跃 张志彬

Yue Bi Zhibin Zhang

中交隧道工程局有限公司 中国·江苏 徐州 221100

China Communications Tunnel Engineering Bureau Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221100, China

摘要: 盾构法是一种全机械化的隧道施工方法,通过盾构外壳和管片支承四周围岩防止发生坍塌。同时,在开挖面前方用切削装置进行土体开挖,通过出土机械外运出洞,靠千斤顶在后部加压顶进,并拼装预制混凝土管片,形成隧道结构的一种机械化施工方法。由于盾构施工技术对环境的影响很小而被广泛采用,得到了迅速的发展。论文主要针对城市轨道交通隧道盾构施工关键技术进行了分析。

Abstract: Shield method is a fully mechanized tunnel construction method. The surrounding rocks are supported by shield shell and segments to prevent collapse. At the same time, in front of the excavation face, the cutting device is used to excavate the soil, the excavated machine is used to transport the hole out, the jack is used to press and push it in at the back, and precast concrete segments are assembled to form a mechanized construction method of tunnel structure. Shield construction technology has been widely used and developed rapidly because of its little impact on the environment. This paper mainly analyzes the key technology of shield construction of urban rail transit tunnel.

关键词: 城市轨道交通;隧道;盾构;施工

Keywords: urban rail transit; tunnel; shield machine; construct

DOI: 10.12346/etr.v4i10.7178

1 引言

随着中国经济快速发展和城市化进程加快,盾构法施工技术具有机械化程度高、对周围环境影响小、施工速度快、适用范围广等特点,成为城市轨道交通,尤其是地铁隧道建设的主要施工方法。盾构法施工因其安全高效,在城市轨道交通隧道等基础设施建设中广泛应用。盾构工程施工管理必须实现地质、装备、人的因素高度融合,对照地质针对性认知装备、对照装备客观应对地质,是盾构应用关键问题。由于中国地域广阔,地下基础设施建设受制于地质认知局限性,加强城市轨道交通隧道盾构施工关键技术进行了分析。

2 工程概况

南京纬三路过江隧道为盾构法单洞双线隧道,区间全长为3537m,隧道管片外径14.5m,内径13.3m,壁厚0.6m,

环宽2m,管片混凝土强度等级为C50,直螺栓连接错缝拼装。区间隧道顶部设置C40预制烟道板,中间设置C40现浇中隔墙,底部设置预制C40口型件,口型件两侧回填C20素混凝土。考虑施工方法、机械设备及隧道内净空尺寸等因素,决定对隧道内部各结构件采用由下至上的施工顺序,中隔墙因需锚入上方烟道板调整至拼装烟道板后进行现浇。

随着线路增长和施工工作面的增加,同步施工原材料运输效率成为制约施工进度的主要问题,尤其是中隔墙施工后洞内车辆无法调头,大大降低了材料的运输效率。因此施工前应先做好材料筹划及洞内运输方案规划。同步施工材料需求如下:①管片拼装:每环10块;②封顶块:1块、邻接块:2块、标准块:7块;③泥浆管2根、水管4根;④辅助材料:各类油脂等消耗材料(平均每天一车次);⑤口型件两侧混凝土回填浇筑:151.5m³混凝土(每环每侧5.05m³,计划以

【作者简介】毕跃(1989-),男,中国吉林松原人,本科,工程师,从事盾构施工研究。

每浇筑 30m 作为一个施工段来计算)；⑥中隔墙及牛腿浇筑：钢筋若干、C40 混凝土(以每浇筑 30m 作为一个施工段，每 5 天一个循环)。

3 城市轨道交通隧道盾构施工关键技术

在应用盾构法施工技术时，应明确盾构机的实际使用需求，型号合适的盾构机可有效提升地铁隧道施工的整体效率。但由于地铁施工的环境比较复杂，施工周期比较长，导致盾构机的应用时间也比较长。为了减少盾构机的应用成本，提高盾构法施工的整体效率，在实际施工开始之前，一定要做好施工环境的调查工作，包括施工范围的主要地质状况以及水文环境等。在此基础上，还应做好地表沉降的防治工作^[1]。因此，需要结合隧道施工的实际要求，优化调整盾构机的施工参数，包括施工稳定系数、施工空隙充填比例以及施工偏差值等。下文主要就城市轨道交通隧道盾构施工关键技术进行分析。

3.1 盾构管片拼装施工技术

施工前应对大直径盾构管片精细拼装，调研该区域的工程地质条件和水文地质条件，同时应该调查周边施工环境，制定专门的处理措施，避免大直径盾构管片出现不同程度的错台、张角、管片开裂等质量问题。利用 BIM 三维信息模型，模拟大直径盾构管片精细拼装施工工艺，对现场施工进行视频监控。在管片拼装施工之前建立 BIM 三维信息模型，将施工计划、各项数据、施工环境、施工方案等纳入模型，通过 BIM 三维模拟，提前掌握施工流程，可以更好地控制施工质量，最大程度避免安全问题，减少返工和修改。

3.1.1 管片安装点位

结合大直径隧道周围环境地段复杂的特点，采取错缝拼装方式能够使衬砌环接缝刚度分布均匀，提高管片环纵向刚度，减少管片接缝和整体结构的变形，利于防水质量。管片环、纵缝相交处仅三缝交汇，相对于通缝拼装的环、纵缝十字形相交，在接缝防水上较易处理。

3.1.2 拼装顺序要求

管片由下向上拼装，拼装过程中检查油缸顶托与管片侧面接触情况。另外，组装管片时，为减小掘削土层的土压和掘削泥水压(或泥土压)的作用，保障掘削面的稳定、控制盾尾间隙及管片组装质量，必须根据管片的装配顺序，依次分几次回收千斤顶。

3.1.3 管片脱离盾尾后的二次复紧

管片安装完成及时复紧，复紧顺序应当满足先上后下的顺序，并且对称进行，如果处于曲线段，由于曲线外侧管片所受内力更大，因此应先复紧外侧螺栓，再复紧内侧螺栓。A 型管片螺栓强度为 6.8 级，拧紧力矩在 969N/m~1293N/m 范围内，其他型号管片螺栓强度为 8.8 级，拧紧力矩在 1293N/m~1723N/m 范围内^[2]。

3.1.4 联络通道处管片的安装

根据设计图纸以及起始里程，确定开孔位置，开孔位置联络通道处管片的切割环采用特殊混凝土管片，通缝安装。

左线与右线联络通道应分开施工，若联络通道处在曲线上，要提前考虑掘进的偏转量，掘进控制好要提前调整油缸行程差，管片提前顺应转弯形式，避免在联络通道位置出现较大的错台和破损^[3]。

对止水条等防水材料进行拼装前检查，尤其是遇水膨胀止水条，不合格及时更换；为防止管片冲洗导致遇水膨胀止水条失效又要保证管片清洁，只在管片满足拼装时，才进行管片冲洗。专业人员负责管片拼装，同时制定内部拼装指标，值班工程师严格按指标盯控拼装质量，及时进行螺栓复紧，出现拼装错台或未达指标要求须重新拼装。掘进过程中，同步在倒数第 7~6 环管片顶部进行二次注浆，保证管片在脱垂盾尾的情况下，管片不会因受力及管片顶部无支撑体而上浮；过程中严格控制注入量。每班对成型管片进行顶部腰部盘浆、放水、补浆工作，保证管片最外端防水效果，整体提升隧道的防水效果。对于下坡掘进、地下水较为丰富的地层，采用二次补浆交叉封水环的注入，具体封水环的频率及单次注入量，视地下水情况，防止地下水长期稀释同步浆液，导致初凝时间大幅度延长，使管片处于整体不稳定状态，从而导致管片整体上浮；封水环注入过后，在封水环前 2 环开孔检查封水效果，做好记录。

3.2 预制口型件施工

口型件采用预制加工，与管片一起运至洞内，利用盾构机上特制的口型件吊机完成起吊及安装。口型件的安装伴随盾构掘进、管片拼装同步进行，预制口型件拼装完成后，口型件节段之间的环缝内外嵌缝槽采用防火密封胶填塞密实，并在底部预留的注浆孔进行水泥浆压注，填充口型件底部与管片间隙。由于口型件为预制构件，曲线段将不可避免地发生错台、拼缝等问题。平、竖曲线段，中箱涵拼装时，可通过在中箱涵纵向连接处设置橡胶垫的方式调整间隙，以实现中箱涵对曲线半径的拟合^[4]。

3.3 口型件两侧回填

①钢筋凿出预制口型件采用 C40 混凝土。口型件两侧底部、顶部分别预埋一排 $\phi 12$ 钢筋，施工前将两侧预埋钢筋凿出扳直。②基面清理口型件两侧回填施工时，为保证填充混凝土的施工质量，施工前首先将管片表面的杂物清理干净。由于口型件两侧混凝土填充后造成口型件顶面以下的管片隐蔽，故在口型件两侧混凝土填充前应对如下项目进行专项检查，并做相应记录，如管片螺栓的紧固情况、拼装完成的管片表面损坏或者裂缝情况、管片表面存在的渗漏水情况。对于存在问题情况及时进行处理后，方可允许进行混凝土填充施工。③控制点放样在管片侧壁上放样混凝土浇筑的控制标高，根据设计要求，口型件两侧回填施工缝、变形缝应避免开管片接缝，垂直施工缝宜与变形缝相结合，同时施工过程中利用管片拼缝确定施工里程。④模板安装固定为方便施工，采用预加工好的定型模板作为堵头模板，在管片和口型件之间固定。⑤混凝土浇筑采用混凝土罐车自卸。每环混凝土需求约 10.1m³。施工中应加强振捣，保证混凝土浇筑密实，无漏振现象。浇筑完成后应及时进行养护，防止混凝土产生

开裂,尽快提高强度^[5]。

3.4 现浇牛腿施工

①烟道板牛腿施工采用C40现浇工艺,利用特制模板台车,模板在混凝土浇筑完成后不拆除。②混凝土面凿毛及植筋牛腿处管片混凝土利用人工凿成毛面,然后对管片进行植筋,植筋完成后将表面的杂物清理干净。为了避免植筋孔破坏管片的防水材料导致管片漏水,施工时采用钢筋探测仪,精准地确定每个植筋孔位置的钢筋走向,避免废孔。③控制点放样在管片上放样混凝土浇筑的控制标高,根据设计要求设置施工缝,利用管片拼缝确定施工里程。④钢筋绑扎、焊接根据图纸要求,钢筋原材运入洞内后现场绑扎、焊接成型,确保其保护层满足要求。钢筋严格按照设计图纸施工。⑤混凝土浇筑牛腿混凝土浇筑前,做好封堵保护措施。混凝土浇筑采用移动泵车进行浇筑。每20m混凝土需求约9m³,混凝土罐车从工作井运至工作面进行浇筑,使用插入式振捣器振捣密实,由施工缝方向向另一侧进行浇筑^[6]。

3.5 预制烟道板拼装

待牛腿达到强度后,将预制烟道板安装到现浇牛腿上。预制烟道板使用DCY型60t胶轮车运输,13.5t特制叉车进行拼装。烟道板拼装期间叉车与隧道通风筒相干涉,拼装前应做好风机关闭、风筒保护等工作。

施工流程:预制烟道板进场→吊装下井→测量放样及拼装标识→运输至拼装位置→风机关闭→风筒保护→氯丁橡胶板铺设→拼装→风机开启。

①拼装准备:使用红外线水平仪定位出隧道中线,作为烟道板安装作业的指示标志,烟道板运输至指定位置后关闭烟道板顶部隧道风筒,进行相应保护,安装前应在烟道板底部铺设好氯丁橡胶板。②试吊:使用叉车将烟道板插起后,保持烟道板离地200~300mm悬停,确认叉车稳定,烟道板固定牢固后,方可继续起吊。③抬升:将烟道板长边方向平行于隧道方向进行抬升,当烟道板底面抬升至牛腿顶面以上时,开始缓慢调整叉车方向,将烟道板调整至垂直隧道轴线方向。④完成拼装:缓慢向前开动叉车使烟道板靠近拼缝位置,将位置调整完成后下放烟道板。⑤拼装完成后及时开启隧道通风,浇筑边角,并进行接缝处理。烟道板安装完毕,重复工序,进行下一块烟道板的安装^[7]。

3.6 中隔墙浇筑

隧道为单洞双线区间,内部设置300mm厚C40混凝土隔墙,利用特制模板台车进行现浇。

①模板台车就位中线及标高控制:在台车就位前,定出轨道中线,墙脚顶面就位标高及拱顶中线、标高,以便于控制台车就位按设计进行。台车行走到位后,调节液压油缸使台车上升及边板外移到就位位置后,再将各部位千斤旋出撑紧,完成台车就位工作。台车就位后对中线、标高、净空尺寸进行检查验收,符合设计要求后方可浇筑混凝土^[8]。②混凝土面凿毛及清理口型件上预留的钢筋接驳器也要在主筋安装前利用人工凿出,然后将表面清理干净,将钢筋与钢筋

接驳器连接。③钢筋绑扎、焊接根据图纸要求,钢筋原材运入洞内后现场绑扎、焊接成型,确保其保护层满足要求。中隔墙主筋通过接驳器底部链接口型件,顶部链接烟道板。

④混凝土浇筑中隔墙混凝土浇筑前,做好封堵保护措施。混凝土在工作井口由地面放至井下,利用罐车运至工作面,采用移动泵车进行浇筑。墙体混凝土由烟道板上部进行浇筑,通过在烟道板上预留施工孔将泵管连接至烟道板上方,通过烟道板中间预留的浇筑孔将混凝土灌注入中隔墙,浇筑孔兼振捣孔。浇筑完成后应做好养护工作及对拉螺栓孔的封堵工作。

3.7 现浇车道板

①车道板施工与盾构掘进及其他内部结构施工同步进行。②考虑中继泵位置和中继泵之间错车通道位置,部分中隔墙在盾构掘进时暂不施工。车道板在已施工完成的中隔墙范围内进行,所以车道板为分段浇筑,且每段浇筑约为300环左右。③考虑隧道内车辆运输,车道板浇筑左右侧分开浇筑,优先浇筑右侧,待右侧车道板达到强度,具备行车条件时,右侧为车辆运输通行道路,同时开始浇筑左侧区域车道板。④单侧浇筑时采用中间向两侧的浇筑方式,每次浇筑100环(200m),前后两侧各配置2辆混凝土运输车进行供料,前后两侧同时浇筑,有效提高浇筑效率^[9]。

4 结语

盾构内部结构与盾构掘进同步施工虽然工序繁多,组织困难,但其能有效提高施工效率,内部结构与盾构掘进同步施工已成为盾构法隧道施工的趋势。本工程通过对内部施工工序的组织和施工工艺的改良以及对运输方式的选择,有效解决多工序施工问题,能够保障正常掘进施工中,同步安装工程的安全有序进行,提高施工效率,保障施工工期。

参考文献

- [1] 李保虎.城市轨道交通盾构法隧道施工工艺研究[J].工程建设与设计,2022(2):124-126.
- [2] 汪福源.城市轨道交通盾构法施工监测分析[J].智能建筑与智慧城市,2021(10):166-167.
- [3] 白晓岭.城市轨道交通软土地层盾构隧道沉降问题探讨[J].建筑技术开发,2021,48(9):137-138.
- [4] 陈雅麒.城市轨道交通盾构法瓦斯隧道造价研究[J].铁路工程技术与经济,2021,36(2):50-53.
- [5] 宋天田,娄永录,吴蔚博,等.城市轨道交通双模式盾构(EPB/TBM)模式转换技术[J].现代城市轨道交通,2020(12):59-64.
- [6] 朱小芹.轨道交通隧道盾构施工主要技术研究[J].黑龙江交通科技,2020,43(12):149-150.
- [7] 周双禧,李志华,陈非龙,等.城市轨道交通盾构法隧道施工新技术及应用[J].施工技术,2020,49(19):87-92.
- [8] 李东明.厦门轨道交通1号线某区间盾构隧道施工引起的地表变形特征研究[J].城市轨道交通研究,2020,23(10):109-114.
- [9] 刘焕磊.盾构机穿越人防工程与矿山法隧道技术运用[J].设备管理与维修,2020(16):101-102.