

城市轨道交通隧道盾构施工关键技术探析

杨晋

中铁隧道股份有限公司

摘要：城市轨道交通隧道盾构施工技术体系逐渐发展完善，提高了城市轨道交通隧道质量，保障了人们的生命财产安全。本文分析了盾构法的施工原理，在此基础上介绍了地铁沉降控制、隧道穿越断裂层等施工难点。针对城市轨道交通隧道盾构施工中的选择和安装管片点位、掘进参数确定等环节的工作作了探究。围绕着城市轨道交通隧道盾构施工中的管片安装技术、盾构机推进技术、壁后注浆技术、盾构接收技术等进行了深入分析。就城市轨道交通隧道穿越既有建筑物、侧穿铁路、穿越断裂层时的安全措施做了介绍，希望可以为相关研究人员提供参考。

关键词：城市轨道交通隧道；盾构施工；关键技术；探析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.10.021

引言

城市轨道交通对于城市经济发展具有重要意义，一直以来都备受关注和重视。城市轨道交通隧道施工难度较大，对人们的生产生活存在直接的影响。为此针对城市轨道交通隧道施工技术的研究力度不断地加大，盾构施工技术作为常用技术之一，近年来不断地创新与优化，满足了城市轨道交通隧道建设施工的需求。城市轨道交通隧道盾构施工过程中会遇到各种各样的问题，渗透先进的施工理念和技术，能够充分地保障施工质量。明确城市轨道交通隧道盾构施工的重点、难点，挖掘城市轨道交通隧道盾构施工的专业人才，积累城市轨道交通隧道盾构施工经验具有必要性。

一、城市轨道交通隧道盾构施工法原理分析

盾构施工的关键设备时盾构机，盾构机罩可以为开挖施工形成掩护，保障施工的安全和质量。尚未开挖的城市轨道交通隧道可以获得盾构机的临时支护，盾构机可以承担城市轨道交通隧道四周岩体的压力，同时抵抗地下水的压力，如此便可以避免岩体和地下水对隧道施工产生消极影响。盾构机的盾壳在开挖施工结束之后，还可以继续为管片的安装、壁厚注浆施工提供掩护。盾构施工的难度比较大，施工之前都要提前做好勘探勘察工作，掌握全面细致的数据和信息，挖出一口始发作业井，以及一口接收作业井，科学管理这两个作业井，保障作业安全性。盾构机以及盾构机的相应配套装置都要用于始发作业井中，还涉及了反力架、负环的安装与配置，整体复杂性较为明显。接收作业井则更多是为盾构机的到达、解体提供有利的环境。城市轨道交通隧道盾

构施工的始发作业井和接收作业井都设置在城市轨道交通车站的末端，施工活动开展后，轴线作为施工的依据，会根据施工的基本情况及其产生的数值纠正盾构施工活动，避免盾构施工不符合施工方案^[1]。

二、城市轨道交通隧道盾构施工法的施工难点

（一）城市轨道交通隧道沉降控制方面

城市轨道交通隧道下穿越的时候，容易产生复杂的施工问题，如果没有及时地采取处理措施，或者提前没有做好预防工作，则会出现地层扰动、沉降现象，会破坏城市轨道交通隧道施工进度和安全。城市轨道交通隧道的施工环境和施工条件有所不同，一些情况下城市轨道交通隧道在高速公路下面，城市轨道交通的客流量比较大的情况下，提前做好沉降控制工作具有必要性。

（二）隧道穿越断裂层方面

城市轨道交通隧道断裂层施工难度比较大，断裂层的岩体破裂面宽度较大、倾角较大的时候，具体的施工活动难以推进，需要充分地考虑到城市轨道交通的实际情况，结合施工方案进行会审和探究，以针对性地处理施工难点。比如很多断裂层的节理裂隙较多，处理难度较大。一般节理裂隙伴随着围岩破裂的问题，会加大地表水渗出的可能性，断裂层的构造十分软弱，施工时需要解决的问题较多，容易延长施工周期。断裂层施工过程中，很多施工设备容易出现损坏，比如很多施工设备的刀具损伤率较高。一些地区的城市轨道交通隧道施工环境十分复杂，除了岩石的强度不达标之外，其硬度也不符合要求，会导致施工过程中施工设备的滚筒受到过度磨损，从而降低施工质量。为了解决这些问题现如今在施工过程中都会全面地分析不同的施工技术方，以联系和结合的方式控制施工问题，防止盾构机施工过程中被包覆，避免盾构机无法二次启动^[2]。

三、城市轨道交通隧道盾构施工的管片点位选择和安装技术

盾构机的盾尾必须要留有一定的空隙，为此需要重视城市轨道交通隧道施工中管片点位的选择和安装。根据工程的实际情况设计盾构机架，一般情况下可以根据隧道施工的环境与条件设置推进油缸，使其数量具有科学性。通过公式计算出盾构机管片楔形量。盾构机的盾尾和推进缸的形状不同，差异较大，选择管片点位并进行安装的时候要借助其他部位的力量，实现补偿拼装的效果，提高盾构机盾尾间隙的均匀一致性，有效控制推进缸冲程差值，促使盾构机的施工效果达到预期^[3]。

四、城市轨道交通隧道盾构施工掘进参数的确定技术

盾构施工之前就需要完成掘进参数的确定工作，以指导后续施工活动。施工过程中不同的施工条件对施工质量的影响不同，积极地发挥信息化的监测与勘探技术获取客观精确的数据参数，融入盾构施工掘进参数的计算公式中。

五、城市轨道交通隧道盾构施工关键技术及其要点

(一) 安装管片

提前监测盾构机，确保其运行状态良好，安排好作业人员与作业条件，提高盾构机运行的效率和质量。盾构机的顶进作业施工质量达到了要求和标准后，施工单位则要根据施工方案开展现场衬砌施工工作，严格参照地下设施的标准进行，以降低施工风险。盾构法在城市轨道交通隧道中占据着重要的地位，应用到掘进施工中，则可以保障衬砌施工的质量，提高城市轨道交通隧道的承载力。地下设施项目本身具有复杂性，危险系数比较高。施工过程中钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土的应用比例较高，将这些砌块按照要求和标准进行施工，必然需要施工人员提前开展盾构尺寸的了解和熟悉工作，确保参数的精确性。盾构机具有比较简单的结构，操作简便，提前按照要求培训作业人员，便可以保障盾构机的应用效果。盾构机应用过程中容易出现偏移现象，作业人员要按照培训时掌握的技术完成纠偏工作。矩形砌块和梯形砌块属于城市轨道交通隧道盾构施工中常见的砌块形式，适应于不同的施工环境和条件。具体来看，梯形砌块具有更明显的整体性，安装的难度较低，而且更容易达到施工标准。为此实践中可以尽量地采取梯形砌块开展施工活动，提前采取措施控制施工偏差，降低后续施工的难度。无论是梯形砌块还是矩形砌块都应当采用科学合理的黏结工艺加以处理，提高砌块接缝的防水性能，保障砌块装配的效果^[4]。

(二) 推进盾构机

千斤顶可以应用盾构机的推进施工中，为盾构机提供推力，提高盾构机施工效果。盾构机在城市轨道交通隧道施工中的应用价值较高，具体的应用方法比较多。目前能够产生比较明显的方法是土体压力平衡式盾构法，这种盾构法的应用需要确定掘进方案，制定具体的施工标准和要求。确定开挖工作面之后，盾构机容易面临阻力而无法推进。这种情况下则需要考虑到盾构机的刃口、工作面之间的情况。当盾构机拥有的推力不足时，其无法在规定的时间内完成掘进施工任务。当盾构机的推力过大时，则容易导致工作面土壤受到的压力过大出现凸起，破坏施工质量。为了制定具体的施工方案，明确推力参数非常必要。作业人员操作盾构机的时候必须要观测土层地质情况，分析不同的土层的应力，形成清晰的数据报告。盾构机掘进的速度与其推动力、掘进泥土等参数存在直接关系，利用公式进行计算

和验算保障掘进速度的合理性。一般情况下可以控制在20~40mm/min，不过也需要根据土层的硬度进行调整，确保盾构机掘进速度的均匀一致性，防止盾构机破坏土体的稳定性。土压平衡动力施工难度较大，盾构机运行过程中容易出现偏差，提前根据需求选择规格合适千斤顶加以科学分布。安排施工人员在盾构机的后方开展灌浆工作，有效提高盾构机位移调整的精确性^[5]。

(三) 壁后注浆施工

城市轨道交通隧道盾构施工过程中壁后注浆作为重要的施工环节，要根据盾构施工的情况制定注浆方案。盾构机的刀盘直径要以实际情况进行设置，通常要大于隧道的直径，促使衬砌与盾尾之间的间隙较为合理。围岩作为城市轨道交通隧道中常见的地质情况，其具有变形崩塌的可能性，为此一般都要利用盾构间隙保持围岩的应力均衡状态，促进地层的稳定，降低围岩位移的概率。为了达到这样的效果，作业人员要完成衬砌防水施工工作。管片衬砌的前期施工中，壁后注浆施工可以提高其施工质量。壁后注浆技术可以促使盾构机的开挖施工与灌浆施工在同一时间进行，借助箱体外侧的注浆管、灌浆孔保障注浆施工质量。城市轨道交通隧道的防水性能良好的情况下才可以预防盾尾水渗透，破坏封闭土仓的稳定性，降低喷射现象发生概率。二次壁后注浆施工中盾构机的掘进要保障城市轨道交通隧道的稳定性。当壁后注浆施工出现了缺陷，二次灌浆后则要进行全面检查以确保缺陷被填补。二次注浆施工中浆体的质量越高，越能够避免盾构机沉降并提高城市隧道交通隧道的防水功能。

(四) 盾构接收施工

作为城市轨道交通隧道盾构施工的最后一个施工环节，盾构接收施工对盾构整体施工质量的影响非常大。实践中需要围绕着实际情况进行分析和研究，把握盾构施工过程中，结合盾构施工要点确定盾构接收施工方案。盾构施工过程中作业人员要针对洞门位置的探孔进行观察和检测，以便于及时地发现渗漏现象。通过提高土体的稳固性，评估城市轨道交通隧道盾构施工的要求和标准，确保城市轨道交通隧道的轴线位置，充分地控制盾构基座加固效果，提高洞门止水帘布的安装水平，尽可能地提高城市轨道交通隧道盾构接收的效果。具体的施工过程中导线的布置要科学合理，以提高盾构接收的效率。盾构机要保持平稳状态进入到隧道中，掘进的速度要与施工方案保持一致，当掘进到距离洞口位置的100m的时候，轴线位置的推进、测量工作则要安排富有经验的工作人员开展，以确保轴线符合要求^[6]。

六、城市轨道交通隧道盾构重难点位置施工安全措施

(一) 穿越既有建筑物施工安全措施

盾构机在城市轨道交通隧道施工中的应用，可能遇

到穿越既有建筑物的情况。在这样的情况下盾构机施工则要建立在精确全面的数据基础之上,以避免破坏既有建筑的质量。具体施工过程中过挖、欠挖的问题都要充分地避免,以科学合理的方式控制平衡压力,使其变化的幅度和频率明显降低。盾构机推进的速度要符合标准,一般情况下以低速掘进的方式开展掘进施工工作,则可以预防盾构机的滚刀对岩土分界面造成过大的撞击。掘进的方式方法都要参照施工方案进行选择,通常掘进的速度以10~20mm/min最佳,掘进的方式则可以2/3舱气体保压方式最好。通过这样的操作模式,借助稳坡缓坡法,精准纠偏法控制盾构机施工对地表的破坏,避免既有建筑物受到影响。盾构机进入弯道施工后,容易出现偏移,纠偏要事前进行,防止结构出现空洞。注浆量保持同步、均匀的状态,则可以完成建筑孔洞与缝隙的填补,预防土体变形。压浆工艺的施工难度较高,提前培训施工人员,安排技术人员进行指导,能够预防后期沉降问题^[7]。

(二) 侧穿铁路施工安全措施

城市轨道交通隧道盾构施工十分复杂,施工条件和施工环境对施工质量、施工周期的影响非常大。比如侧穿铁路作为城市轨道交通隧道盾构施工中十分常见的情况,需要提前制定铁路安全运行保障方案。充分地防控塌方、变形、沉降等问题,设置城市轨道交通隧道盾构施工目标。通过试验操作完成施工工艺的评估与判断,最终确定符合城市轨道交通隧道盾构施工实际情况的方案。根据施工需求完成逐级优化工作,提高盾构施工的匀速性、均衡性、连续性。盾构机的掘进速度要保持在合理范围内,避免时间和空间等方面出现变化。施工单位应当提前安排人员开展施工设备、施工工艺、施工技术管理等管理活动,以避免盾构机的运行出现故障,或者盾构施工滞缓,导致盾构施工连续性被破坏。盾构机的掘进参数应当始终处于稳定的状态,按照标准控制盾构机的掘进速度,调配盾构机的转矩,使其在掘进过程中保持动态性的平衡^[8]。墙后灌浆的操作难度比较大,与同步灌浆、二次灌浆一样都要保障浆体的质量,以及灌浆、注浆的速度和力道,尽可能地保障灌浆的饱满性,避免管片存在孔隙。

(三) 盾构穿越断裂层施工措施

现如今在穿越断裂层的施工中可以应用超前地质雷达检测技术和预加固技术,以充分地发挥盾构机的功能和作用。超前地质雷达检测技术可以为掘进参数的采集与评价提供支持,完成预测结果的显示任务,提高盾构机施工决策与方案的科学性和合理性。应用专用的超前钻机开展跟管钻井施工,提高钻孔的水平性,则可以保障施工的安全与效率^[8]。断裂层的围岩施工同样存在明显的难度,可以按照9m设置一个封闭环的原则保障盾构机的应用效果。如此一来封闭环形作业区域形成,相

应的注浆平台便可以发挥作用,有利于盾构机施工进度控制。一般情况下化学注浆法可以满足盾构穿越断裂层施工需求,为了更进一步地控制施工质量,还可以应用水泥-水玻璃双液浆增强注浆的效果。采用先进的技术监测与控制盾构工程,衔接盾构施工流程,开展地质预测活动,把握地面建筑物的沉降指标,为具体的施工活动奠定基础并提供依据。盾构机运行过程中可能面临地表塌陷沉降问题,可以根据具体的类型采取针对性的预防措施。整体上来看以注浆量、注浆速度、盾构机的出土量、盾构机的刀盘旋转速度等指标为主进行调控和管理,可以增强盾构穿越断裂层地表沉降问题的控制效果。

结束语

综上所述,城市轨道交通隧道盾构施工关键技术的分析与研究,有助于推动了实践工作的开展,加快城市轨道交通体系的优化与完善。城市轨道交通隧道盾构施工原理清晰、具体化,可以指导盾构施工的具体活动,保障每一个施工环节的质量。应用先进的安全措施和技术为盾构施工的重点、难点建立有利的条件,可以控制城市轨道交通隧道质量风险,保障施工人员生命财产安全。实践中积极地结合城市轨道交通隧道施工的环境与条件制定科学合理的盾构施工方案,可以提升盾构施工的质量和效率,促进城市轨道交通功能的发挥。

参考文献

- [1]王凯.城市轨道交通重叠隧道外挂式联络通道施工关键技术[J].建筑科技,2023,7(06):91-95.
- [2]温森,张明旭,周义等.城市轨道交通双线叠交盾构隧道合理竖向净距研究[J].城市轨道交通研究,2023,26(06):68-72.
- [3]钟伟超.城市轨道交通隧道盾构施工技术特点分析与应用[J].科技创新与应用,2023,13(04):178-181.
- [4]官寅.城市轨道交通盾构隧道内3种典型减振轨道性能比较[J].铁道勘察,2023,49(02):131-136.
- [5]王宁,任传斌,姜伟玲.城市轨道交通盾构隧道病害空间分布特征量化研究[J].测绘通报,2022,(09):12-17.
- [6]顾志敏,吴哲.城市轨道交通盾构隧道变形超限的壁后注浆加固治理技术[J].城市轨道交通研究,2022,25(05):61-65.
- [7]刘健美.城市复杂环境下轨道交通多线并行小净距矿山法与盾构法隧道的设计[J].建筑施工,2022,44(01):127-129+133.
- [8]丁树敏.城市轨道交通工程场站线浅覆土、小半径、大纵坡盾构施工关键技术.北京市,中国建筑一局,2020-05-25.