

城市轨道交通隧道盾构施工关键技术探析

龚 正

佛山市地铁建设有限公司 广东 佛山 528000

【摘要】随着我国城市化进程的加快，城市轨道交通作为现代城市公共交通系统的重要组成部分，其建设规模也在不断扩大。隧道是城市轨道交通的重要组成部分，其施工工艺的选择和应用直接影响着工程的安全、质量和效率。盾构法作为一项先进的地下工程施工技术，以其高效、环保、安全等优点被广泛应用于城市轨道交通隧道建设。盾构施工技术的关键在于掌握其核心环节，确保施工过程的顺利进行。本文对盾构法施工技术的特点进行分析，并提出相应的应用建议，旨在促进施工的顺利进行。

【关键词】城市轨道交通；交通隧道；盾构施工；关键技术

近年来，我国的城市轨道交通建设取得了长足的进步，其中盾构法施工是其中的一项重要技术。据统计，我国每年有一半以上的城市轨道交通隧道采用盾构施工，随着盾构法施工技术的不断发展，隧道施工速度不断提高，安全、质量得到了有效的保证。盾构施工中的关键技术包括：盾构机的选型、掘进参数的控制、管片拼装和注浆技术等。合理运用这些技术，可以有效地改善隧道的稳定性，降低施工对周围环境的影响。

1 盾构法施工技术的特点分析

盾构法作为一种新型的盾构施工技术，由于其自身的优越性，已经成为城市轨道交通隧道工程的重要组成部分。其中干扰小是它的一个显著特征，盾构法施工不会产生过大的噪声，对周边环境和既有构筑物影响小，无需占用过多的场地，对交通、人们的日常生活产生的干扰普遍偏小^[1]。而且其施工精度高，盾构法施工技术采用先进的盾构设备，盾构过程中监测系统可以明确隧道盾构的偏差情况，进而对盾构轴线进行严格控制。在盾构施工中，使用的衬砌管片按照不超过 0.5mm 的误差进行控制，有着较高的精确度。但是，盾构法施工技术也不是没有风险的，由于地下环境复杂多变，施工过程中可能面临地质突变、盾构机故障等突发事件。因此在盾构法施工过程中，应充分考虑各种风险因素，制订周密的施工计划及应急预案，以保证施工安全。

2 城市轨道交通隧道盾构施工关键技术的应用建议

2.1 盾构机选型与优化

盾构机是城市轨道交通隧道建设的重要设备，它的选择和优化直接影响着工程的质量、进度和造价。为了保证隧道工程的安全、高效和经济，选择盾构隧道必须综合考虑地质条件、隧道设计参数、施工环境和经济费用等多种因素。在选型时要以“安全可靠，技术先进，

经济合理”为基本原则，为了保证施工安全，必须保证盾构机在复杂的地质条件下平稳通过^[2]。

在实施过程中，需要从多个角度对盾构机进行选择和优化，根据地质情况，进行精细分析，其中地层强度、稳定性、渗透性和地下水埋深是影响盾构机选择的重要因素。如在软土地区，为了保证开挖面的稳定性，通常采用土压力平衡法，土压力设定为 0.12~0.15 MPa；对于硬岩地层，可能要选择泥水平衡盾构机，泥浆护壁可以有效地防止地层中的水分流失，保证施工安全。其次，盾构机设计参数要与隧道设计参数相匹配，隧道设计参数主要包括隧洞直径、埋深和转弯半径等，它们直接影响盾构机的选型和布置方式。如大直径深埋隧洞，盾构机不仅要有较强的掘进能力，而且要有较好的稳定性，还要有高效率的同步注浆系统来保证隧道周围地层的稳定。此外，在选型和优化过程中，施工环境也是一个重要因素，施工环境包括地表建筑、地下管线和交通条件等，对盾构机的选择和施工方法提出了特殊的要求。如在市中心地区施工时，为了减小对周围环境的影响，需要选择低噪声低振动的隧道掘进；在地下水丰富地区施工时，为了保证施工安全，必须选择防水性能好的盾构机。同时盾构机的优化设计也要综合考虑经济费用因素，在满足安全性、可靠性、技术先进性的基础上，对工程进行优化选型，降低工程造价，提高经济效益。如在短距离隧道建设中，可选用小型柔性隧道掘进设备，降低设备购置费用及使用费用；在长距离隧道施工中，为了提高施工效率，降低工程造价，必须选择高效稳定的盾构机。而且在施工过程中，需要实时监控和调试盾构机通过在盾构掘进过程中安装各种传感器及监测系统，对掘进参数、地层变形、地表沉降等参数进行实时监测，并根据数据分析结果对盾构掘进速度、土压力、注浆量等参数进行实时调整，保证隧道施工安全、高效、稳定。

2.2 盾构掘进参数控制

城市轨道交通隧道盾构施工过程中，掘进参数控制是保证施工质量与进度的关键。盾构施工所处的地质条件复杂，隧道埋深差异大，地表环境敏感，对掘进参数的控制要求较高。在复杂地层、全断面地层施工中，为保证掘进稳定、高效、降低刀具损耗、提高掘进速度，需对刀盘及刀具进行合理设计与优化^[3]。

在进行掘进参数控制的过程中，要对各个关键参数进行逐级细致的调整。首先，控制掘进速度是保证掘进速度的基础，如对于软土地层，掘进速度一般为5-10 mm/min，这样可以减小对地层的干扰，保证开挖面的稳定性。对于坚硬岩层，为了提高施工效率，可将掘进速度提高到10-15 mm/min，同时要密切注意地层变化，

避免因掘进速度过快造成设备损坏和地面沉降。其次，刀盘转速的调节也要根据地层特点加以调整，在软弱地层中，降低刀盘旋转速度有利于减小地层扰动，维持开挖面平衡；但对于硬岩层，提高刀盘转速可以提高破岩效率，加速掘进。为了保证掘进过程的顺利进行，必须综合考虑设备型号、地层硬度及掘进速度等因素，确定刀盘转速的具体数值。另外，控制土压力也是非常重要的，为了保证开挖面的稳定性和防止地面沉降，一般要求土压力控制在0.12-0.15 MPa。在实际施工中，需要根据地质条件、隧道埋深和地表监测资料，及时调整土压力，使之与地层压力平衡，避免因地层压力不平衡而引起的施工风险。为充分展示不同地质条件下盾构掘进参数的参考范围，可参考表1：

表 1：不同地质条件下盾构掘进参数设置

地质条件	掘进速度 (mm/min)	刀盘转速 (r/min)	土压力 (MPa)
软土地层	5~10	较低转速	0.12~0.15
中等硬度	10~12	中等转速	0.13~0.16
硬岩地层	10~15	较高转速	0.14~0.17

（注：实际刀盘转速需视设备型号及地层特性而定，以上表格仅为概略范围。）

由此可见，通过对掘进参数的精确控制，不仅可以提高施工效率，而且还可有效地保证施工质量，降低施工风险，如地面沉降等。在施工过程中，要根据实际情况灵活地调整施工参数，保证盾构施工的安全。

2.3 管片安装与接缝密封技术优化

盾构施工中，管片拼装及接缝封缝技术直接关系到隧道施工质量及长期运营安全。管片作为隧道主体支撑结构，其安装精度及接缝密封性直接影响到隧道的稳定与防水。因此，对管片安装及接缝密封工艺进行优化是保证隧道整体质量的关键。由于管片尺寸偏差或质量问题会引起管片拼装后的变形和渗漏，所以管片安装必须严格按照设计规范进行，保证尺寸准确，质量好，减少安装偏差^[4]。同时，在安装前需对管片进行检查和妥善保管，管片应存放在干燥通风的地方，防止受潮、受冻或被污染，影响安装后的使用性能。

在实施过程中，为保证管片的安全，必须采用专用的吊装设备，如龙门吊、管片吊车等，保证管片在吊装过程中的稳定性，吊装时，管片要水平放置，防止倾斜、撞击，保证管片表面平整、完整。在安装管片之前，要对管片的尺寸、外观质量和防水密封条的安装情况进行严格检查，如每节段的尺寸偏差要控制在±2毫米以内，密封条应完好无缺、无脱落、无老化。为了保证管片拼装的精度与稳定性，必须采用专用的拼装设备，如杆式拼装装置、液压拼装装置等。接缝封缝工艺的优化是管片拼装施工的又一个重要环节，高性能的单一型密封材料，如EPDM单一型密封垫，由于具有良好的弹性、耐久性和耐久性能，在管片接头的密封中得到了广泛的

应用，能有效地填补管片接缝缝隙，防止地下水渗漏。实际应用时，必须严格按设计要求安装垫片，保证垫片完全压入密封垫的沟槽中，沟槽的截面面积不小于垫片的横截面积。同时，优化管片拼装工艺，对提高隧道整体刚度及防水能力具有重要意义。可采用错缝拼装方式，使管片间形成相互制约的状态，显著提高隧道整体刚度及抗外荷载能力。在错缝拼装时，要对管片环面平整、接缝密实进行合理控制，如环面平面度偏差不得超过±1毫米，缝宽不超过0.5毫米。施工过程中，还需要对管片接头进行实时监测，并对接头进行调整，以保证接头的平整、密实。可通过安装传感器及监测系统，对管片接头的变形及渗漏情况进行实时监测，并在此基础上对拼装参数（如千斤顶推力、拼装角度等）进行调整，保证接头的防水性能。为充分展示管片安装与接缝密封技术优化中的关键参数，可参考表2：

表 2：管片安装与接缝密封技术优化中的关键参数

环节	参数 / 指标	标准数据
管片吊装	吊装偏差	≤ 2mm
管片检查	尺寸偏差	≤ ±2mm
拼装精度	环面平整度	≤ ±1mm
接缝密封	密封垫安装	沟槽截面积≥密封垫截面积
错缝拼装	接缝宽度偏差	≤ ±0.5mm

2.4 壁后注浆与地表监测

盾构施工过程中，壁后注浆及地表监测是保证隧

道施工安全及周边环境稳定的关键技术。作为隧道建设的一个重要环节，壁后注浆的主要作用是填补盾构机开挖产生的空洞，确保隧道的密封性、稳固性，并有效预防地表沉降等灾害。壁后注浆应考虑多方面因素，如土体性质、隧道尺寸、施工速度和灌浆材料选择等。注浆材料及注浆压力由土体特性决定，如砂性土宜选用透水性好的浆液，粘土宜选用短凝浆液。在保证注浆充分填充空洞的同时，避免过量注浆造成地面隆起和浪费。

在实施过程中，准确控制壁后灌浆是非常重要的，需选择合适的灌浆材料，如水泥浆、聚氨酯等，并根据工程实际情况进行适当调整，以保证注浆效果。在注浆施工过程中，必须采用高精度的监测系统对注浆压力、注浆流量进行实时监控，以保证灌注浆过程顺利进行。注浆压力一般为 0.2-0.6MPa，具体值要根据地层条件及隧道的深度而定。在注浆结束后，利用非破坏性检测技术如探地雷达检测灌浆效果，及时发现灌浆不饱满部位，及时进行二次灌浆加固。二次灌浆的压力、流量要根据第一次灌浆情况适当调整，以保证灌浆效果的均匀可靠。同时，对地面和地下人防隧道进行监测也是必要的，施工前应建立完备的监测系统，实时监测地面沉降，建筑物倾斜，管道变形等。监测数据要及时反馈到现场，以便及时调整盾构施工参数，如掘进速度和土压力等，对于变形速率较大的部位，应加大监测频次，及时采取

二次灌浆等处理措施，确保施工安全及周边环境的稳定。

3 结束语

综上所述，研究盾构法施工中的关键技术，对促进我国城市轨道交通建设具有十分重要的意义。未来，随着科学技术的进步和工程实践的不断完善，盾构法施工技术也会越来越成熟，为我国城市轨道交通事业的快速发展提供强有力的支持。

参考文献：

- [1] 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.
- [2] 龚文棋. 城市轨道交通隧道盾构施工关键技术研究 [J]. 运输经理世界, 2022, (17): 7-10.
- [3] 覃潇潇. 城市轨道交通隧道盾构施工技术特点分析与应用 [J]. 工程机械与维修, 2022, (02): 218-220.
- [4] 张耕玮. 城市轨道交通隧道盾构施工关键技术探讨 [J]. 工程技术研究, 2019, 4(07): 65-66.