

盾构法与传统开挖法在城市地铁施工中的比较研究

李振坤

中铁隧道股份有限公司, 河南 郑州 450000

DOI:10.61369/ETQM.2026020039

摘 要 : 随着城市化进程的加快, 地铁成为缓解城市交通压力的重要手段, 而施工方法的科学选择直接关系到工程的安全、质量与效益。本文深入对比研究了盾构法与传统开挖法(含明挖、盖挖等)在城市地铁施工中的应用特性。从技术特性角度看, 盾构法凭借高度机械化与自动化, 在软土、富水等复杂地质及中深埋区间施工中优势显著, 具有沉降控制好、施工速度快、安全性高等特点; 传统开挖法则更适应地质稳定、水位较低的浅埋及大断面工程, 操作直观但受环境制约大。在经济性方面, 盾构法初期设备投入高但具备规模效益, 适合长距离隧道以缩短工期; 传统法初期投入低, 适合短距离或浅埋车站。在环境与社会效益方面, 盾构法对周边建筑、交通及市容环境影响较小, 生态友好; 传统法施工扰动大, 易造成交通拥堵和环境污染。实际工程中应综合考虑地质条件、工程规模、周边环境及经济成本, 合理选择施工方案以实现综合效益最大化。

关 键 词 : 城市地铁; 盾构法; 传统开挖法; 施工技术

Comparative Study on Shield Tunneling Method and Traditional Excavation Method in Urban Subway Construction

Li Zhenkun

China Railway Tunnel Group Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000

Abstract : With the acceleration of urbanization, subways have become an important means to alleviate urban traffic pressure, and the scientific selection of construction methods is directly related to the safety, quality, and efficiency of the project. This paper provides an in-depth comparative study on the application characteristics of the shield tunneling method and traditional excavation methods (including open excavation, covered excavation, etc.) in urban subway construction. From the perspective of technical characteristics, the shield tunneling method, with its high degree of mechanization and automation, offers significant advantages in complex geological conditions such as soft soil and water-rich strata, as well as in medium- to deep-buried sections, featuring good settlement control, fast construction speed, and high safety. Traditional excavation methods, on the other hand, are more suitable for shallow-buried and large-section projects with stable geology and low water levels, offering intuitive operation but being greatly constrained by the environment. In terms of economic efficiency, the shield tunneling method requires high initial equipment investment but offers economies of scale, making it suitable for long-distance tunnels to shorten construction periods; the traditional method requires low initial investment and is suitable for short-distance or shallow-buried stations. Regarding environmental and social benefits, the shield tunneling method has minimal impact on surrounding buildings, traffic, and urban appearance, being ecologically friendly; the traditional method causes significant construction disturbance, easily leading to traffic congestion and environmental pollution. In practical projects, comprehensive consideration should be given to geological conditions, project scale, surrounding environment, and economic costs to reasonably select a construction plan and maximize comprehensive benefits.

Keywords : urban subway; shield tunneling method; traditional excavation method; construction technology

引言

目前城市地铁施工方法主要包括盾构法和传统开挖法(如明挖法、盖挖法及浅埋暗挖法等), 传统开挖法技术成熟度高、施工工艺相对直观, 在浅埋、大断面车站及特定地质条件下具有明显优势; 而盾构法作为现代化的隧道施工技术, 凭借其机械化程度高、对周边

环境影响小、施工安全性好等特点，已成为城市地铁区间隧道建设的主流选择。尽管两种方法在工程实践中均有广泛应用，但其在技术适应性、经济效益、环境影响及安全风险控制等方面存在显著差异。若施工方法选择不当，不仅会增加工程成本、延误工期，还可能引发严重的安全事故和环境问题。基于此，本文旨在通过对盾构法与传统开挖法在城市地铁施工中的应用进行深入比较研究，以期对未来城市地铁工程建设方案的合理优选提供理论依据和实践参考。

一、技术特性与适应性比较

（一）地质条件的适应性

地铁建设主要包括车站和隧道区间施工，盖挖法和明挖法在当今建设车站时应用较多，盾构法是隧道区间施工的主流方法，但具体施工方法的选用要考虑到诸多因素的共同影响^[1]。地质条件是地铁施工技术选择的核心制约因素，盾构法与传统开挖法的适配性差异显著^[2]。盾构法自带支护体系，对软土、砂层及富水等复杂松散地层适应性强，能有效抑制沉降并防止涌水；但在硬岩、孤石及溶洞等极端地层中适应性差，易出现设备磨损严重、效率降低及刀盘卡滞等问题。传统开挖法更适合地质稳定、水位较低的简单地层，施工直观，但在软土及富水地层中风险高，需投入高昂的支护和降水成本，极易引发沉降或涌水事故；在硬岩地层虽可爆破，但受城市环境限制严格。

（二）埋深与断面尺寸的适应性

地铁隧道埋深与断面尺寸直接影响施工方法的选择，两者适配性差异显著。盾构法在埋深适应性上优势明显，特别适合中深埋隧道，能有效规避地下障碍并控制沉降，且对单圆、双圆及异形等多种断面尺寸适应性强，但浅埋施工易引发地面隆沉且受力控制困难^[3]。传统开挖法则更适用于浅埋隧道，施工简单高效且成本低，尤其适合大断面工程；但在深埋条件下，其开挖难度、支护成本及安全风险显著增加，且对圆形、异形等复杂断面的适应性较差。

（三）施工机械化与自动化程度

施工机械化与自动化程度是影响施工效率、质量和劳动强度的关键，盾构法与传统开挖法在此存在本质差异^[4]。盾构法高度机械化、自动化，核心设备盾构机集成开挖、支护等多项功能，可连续掘进，土体切削、出土、管片拼装等工序有序开展，掘进中的各类控制由自动化系统完成，人工仅需监控调整，劳动强度大幅降低；现代盾构机还配备智能化监测设备，能动态调控施工，提升效率与质量，其日掘进速度达6-12m，远胜传统工法，适配长距离地铁区间隧道施工。传统开挖法机自程度低，施工依赖人工环节多，明挖、盖挖法虽可借助机械完成部分作业，但支护、浇筑、绑扎等核心工序仍需大量人工，施工效率受人工、天气影响大，日掘进仅1-3m，长距离施工工期易大幅延长，且施工质量靠人工把控易出现偏差，同时劳动强度大、安全隐患较多。

（四）施工安全风险分析

城市地铁施工风险高，盾构法与传统开挖法差异明显。盾构法风险在掌子面失稳、涌水涌砂、设备姿态失控及管片破损等，尤其在复杂地质下易引发沉降和事故^[5]。但因其封闭施工，受外界影响小，通过智能监测和参数优化，风险相对可控。传统开挖法风险集中在边坡坍塌、基坑失稳、高空坠落及物体打击。开放环境受天气影响大，人工环节多，隐患点多面广，防控难度大，需严格支护与强化管理。

二、经济效益比较分析

（一）成本构成分析

盾构法与传统开挖法成本构成差异显著，核心体现在设备、人工、材料及辅助工程成本上^[6]。盾构法以设备和材料成本为主：盾构机购置、运输、维护等投入极高，管片及同步注浆等材料成本占比大；人工成本因机械化程度高占比低，辅助工程（始发/接收井等）成本较高，但随工程长度增加单位成本降低，具规模效应。传统开挖法以人工、材料和辅助工程成本为主：人工成本因机械化程度低占比高，支护材料（钢板桩、混凝土等）用量大、成本高；设备投入（挖掘机等）占比低，辅助工程（支护、降水等）成本较高，地质复杂或工程规模大时成本显著上升，单位成本相对稳定。

（二）施工工期对比

施工工期是衡量工程经济效益的重要指标，盾构法与传统开挖法的工期差异，主要体现在施工效率、工序复杂度和外界环境影响上，二者适配的施工场景也不同。盾构法工期更短，适合长距离地铁区间隧道施工，其机械化自动化程度高，日掘进速度达6-12m，远高于传统法的1-3m，且开挖、支护等工序同步进行，封闭施工受外界环境干扰小，可全天候作业，如1km地铁区间，盾构法施工仅需3-6个月，传统法则要12-24个月^[7]。传统开挖法工期较长，适用于短距离、浅埋的地铁车站或区间隧道，其工序繁杂且多有手工操作，施工效率低，还易受恶劣天气、城市地面施工限制等影响，标准地铁车站明挖施工需18-24个月，盖挖施工则要24-36个月。需注意的是，盾构法前期设备调试、始发井修建等准备工作周期长，若为短距离区间等小规模工程，其准备周期可能接近甚至超过掘进周期，此时传统开挖法反而更具工期优势。

（三）综合评价

综合评价需结合工程规模、地质、工期、安全风险等因素，全面分析盾构法与传统开挖法的经济效益。长距离、中深埋、地质复杂（如软土、富水）的地铁区间，盾构法综合效益更显著^[8]。虽初期设备投入高，但施工效率高、工期短，可大幅降低人工、机械租赁及资金占用成本，且安全风险低、对周边环境扰动小，能减少事故及环境赔偿费用。例如软土地质5km地铁区间，盾构法可比传统开挖法缩短工期1-2年，减少损失数千万元。短距离、浅埋、地质简单的地铁车站或区间，传统开挖法更具优势。其初期投入低，无需昂贵盾构设备，工艺成熟、操作简单，可降低技术风险和设备维护成本，浅埋大跨度工程还能减少后期衔接成本。例如地质稳定的浅埋地铁车站，明挖法可比盾构法降低初期投入数千万元，工期可控。综合评价还需考量长期效益，盾构法隧道结构稳定、寿命长、后期维护成本低；传统开挖法隧道易受地质和施工质量影响，后期维护成本较高。方案选择需兼顾短长期效益，实现经济效益最大化。

三、环境影响与社会效益比较

（一）对周边建筑物与管线的影响

城市地铁多在核心区域施工，周边建筑密集、管线复杂，施工对其影响关乎居民安全与城市设施运行。盾构法影响较小，通过密封舱压力控制和同步注浆减少土体扰动，将地面沉降控制在30mm内^[9]。施工无需大面积开挖，可规避管线，穿越重要设施时优化掘进参数等可进一步降险，能有效避免建筑开裂、管线故障等问题。但地质复杂或参数控制不当，仍可能因沉降过大产生影响。传统开挖法（明挖、盖挖）影响较大。明挖需大面积开挖，破坏土层稳定，易致建筑倾斜、管线断裂；盖挖虽缩小地面开挖范围，但地下施工仍扰动土体，基坑易隆起、边坡坍塌。此外，拆改建筑、迁移管线会增加成本与工期，干扰居民生活及城市设施运行，如明挖常需封路、迁管线，可能导致停水停电停气。

（二）对城市交通与市容的影响

城市地铁施工期间对城市交通与市容的影响，直接关系到城市的正常运行和形象。盾构法施工对城市交通与市容的影响较小^[10]。盾构法施工仅需在始发井、接收井位置进行地面开挖，占地面积小，且始发井、接收井的位置可选择在道路两侧或绿化带内，对地面交通的影响较小；同时，盾构法施工过程中无大面积土方堆放，渣土运输量相对较少，且运输时间可避开交通高峰期，可有效减少对城市交通的干扰。此外，盾构法施工现场整洁，无明显的施工扬尘、噪声污染，对城市市容环境的影响较小，可保持城市形象的整洁有序。传统开挖法施工对城市交通与市容的影响较大。明挖法施工需大面积封闭地面道路，开挖基坑，会严重影响地面交通通行，导致交通拥堵；盖挖法施工虽然可部分恢复地面交通，但盖板施工期间仍需封闭地面道路，且地下开挖过程中需频繁运输土方和材料，进一步加剧交通拥堵。此外，传统开挖法施工过程中会产生大量的土方，若土方堆放不当，会占用城市公共空间，影响市容环境；同时，施工过程中会产生大量的扬尘和噪声污染，不仅影响周边居民生活，还会破坏城市空气质量和市容形象。例如，在城市主干道采用明挖法施工地铁车站时，往往需要封闭一条或多条车道，导致周边道路交通拥堵，且施工扬尘和噪声会对周边商铺和居民造成严重影响。

（三）生态环境影响

地铁施工对生态环境的影响主要体现在土方开挖、噪声污染、扬尘污染、废水排放等方面。盾构法施工对生态环境的影响

相对较小。土方开挖方面，盾构法施工产生的渣土量相对较少，且渣土可通过密封的皮带输送机或渣土车运输，减少渣土散落对环境的污染；同时，渣土可进行集中处理和资源化利用（如用于道路回填、制砖等），减少对土地资源的占用。噪声污染方面，盾构机的噪声主要产生在隧道内部，通过隧道结构的隔音作用，地面噪声污染较小，一般可控制在国家环境噪声标准范围内。扬尘污染方面，盾构法施工在封闭的隧道内进行，无地面扬尘产生，仅在始发井、接收井位置有少量扬尘，通过采取洒水降尘、覆盖等措施，可有效控制扬尘污染。废水排放方面，盾构法施工产生的废水主要为盾构机冷却废水和隧道涌水，废水经处理达标后可排放或循环利用，对周边水体环境的影响较小。传统开挖法施工对生态环境的影响相对较大。土方开挖方面，传统开挖法产生的渣土量较大，若处理不当，会占用大量土地资源，且渣土散落会对周边土壤和水体环境造成污染；同时，大面积土方开挖会破坏地表植被，导致水土流失，影响生态环境。噪声污染方面，传统开挖法施工过程中，挖掘机、装载机、起重机等机械设备运行产生的噪声较大，且施工空间开放，噪声传播范围广，会对周边居民生活和生态环境造成严重影响，尤其在夜间施工时，噪声污染更为突出。扬尘污染方面，传统开挖法施工过程中，土方开挖、运输、堆放等环节会产生大量扬尘，扬尘中含有大量的颗粒物，会污染空气质量，影响人体健康和周边植被生长。废水排放方面，传统开挖法施工产生的废水主要为基坑降水、混凝土浇筑废水等，废水中含有大量的泥沙、水泥等污染物，若未经处理直接排放，会对周边水体环境造成污染。

四、结束语

盾构法与传统开挖法作为城市地铁建设的两大核心技术手段，各具特色且互有优劣，不存在绝对的优劣之分，其适用性高度依赖于具体的工程条件。本文通过对两者在技术特性、经济效益以及环境与社会效益等方面的系统比较分析表明，盾构法凭借其高度的机械化、自动化及对复杂地质的良好适应性，在长距离、中深埋及周边环境敏感的区间隧道施工中展现出显著的综合优势，能够有效保障施工安全并减少对城市生活的干扰；而传统开挖法则在浅埋、大断面及地质条件相对简单的车站或短距离区间施工中，凭借其工艺成熟、成本可控及操作灵活等特点，依然保持着重要的应用地位。

参考文献

- [1] 司增国. 城市地铁施工技术 [J]. 四川建材, 2018, 44(12): 167-168. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4011.2018.12.079.
- [2] 杨继江. 浅谈城市地铁施工技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2015(3): 5319-5320. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2104.2015.03.3431.
- [3] 邢岩松. 浅谈城市地铁施工技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2011(14).
- [4] 白励. 城市地铁施工技术探讨 [J]. 消费导刊, 2018(6): 44. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5719.2018.06.047.
- [5] 金明宵. 城市地铁施工技术要点和管理方法 [J]. 装饰装修天地, 2020(7): 138.
- [6] 周佑武. 浅谈城市地铁施工技术中浅埋暗挖技术 [J]. 中小企业管理与科技, 2020(33): 191-192.
- [7] 刘成. 谈城市地铁施工技术要点和管理思路 [J]. 工程设计与设计, 2019(7): 285-287. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2019.04.099.
- [8] 董明伟. 城市地铁区间隧道暗挖施工技术分析 [J]. 砖瓦世界, 2024(5): 137-139. DOI: 10.3969/j.issn.1002-9885.2024.05.046.
- [9] 郑赛. 城市地铁车站施工技术分析方法 [J]. 智能城市, 2021, 7(12): 149-150.
- [10] 刘立勇. 城市地铁隧道盾构施工技术与管理 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2016(15): 1637-1637. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2104.2016.15.637.