

Discussion on the key technology of the underground line construction of urban rail transit

Zhanwen Wu

Beijing SARS International Engineering Consulting Co., Ltd. Beijing Fengtai District, Beijing, 100071, China

Abstract

With the acceleration of urbanization process, the urban rail transit system has become a key way to ease urban traffic congestion and promote sustainable urban development. As a key component of urban rail transit, the construction technology of underground lines has a direct impact on the safety, economy and environmental friendliness of the project. This paper focuses on the key technologies of the underground line construction of urban rail transit, analyzes the characteristics, advantages and applicable conditions of each construction method, and provides a scientific basis for optimizing the construction technology and improving the engineering quality. For the construction of underground urban rail transit, it is necessary to continuously optimize and innovate construction technology, and give full play to the positive role of various technologies, so as to improve the quality of engineering construction.

Keywords

urban rail transit; underground line; construction technology; strategy analysis

城市轨道交通地下线路施工关键技术探讨

武占文

北京赛瑞斯国际工程咨询有限公司, 中国·北京 100071

摘 要

随着城市化进程不断加快,城市轨道交通系统变成缓解城市交通拥堵、推动城市可持续发展的关键方式。地下线路作为城市轨道交通的关键构成部分,其施工技术直接对工程的安全性、经济性以及环境友好性产生影响。本文围绕城市轨道交通地下线路施工的关键技术展开研讨,剖析各施工工法的特点、优势以及适用条件,为优化施工工艺、提高工程质量提供科学依据。对于城市轨道交通地下线路施工而言,需要不断优化创新施工技术,最大程度发挥各项技术的积极作用,从而提高工程建设质量。

关键词

城市轨道交通;地下线路;施工技术;策略分析

1 引言

城市轨道交通线路施工在城市交通建设里占据着关键部分,它的关键技术覆盖了勘探、掘进、结构防水以及施工监测等多个领域,文章探讨了明挖法、暗挖法以及盾构法等主要施工方法的特点以及适用条件,剖析了勘探评估、掘进作业、爆破作业以及暗挖施工技术实施要点以及地下结构防水和施工监测技术的关键措施。经过系统研究,可为城市轨道交通线路施工提供理论方面的指导以及实践方面的参考,促进施工技术创新以及工程质量控制。

2 城市轨道交通地下线路施工概述

2.1 地下线路施工类型与特点

城市轨道交通地下工程根据施工条件主要可分为三种典型工法,明挖法采取自上而下的施工顺序,先进行地表开挖形成工作基坑,待完成结构浇筑后再实施覆土回填,这类工法最大的优势在于操作简便、工期可控且质量稳定,但存在道路封闭周期长、施工场地需求大及扬尘噪声污染等问题^[1]。相较于明挖法,暗挖法则采用地下作业方式,依靠超前支护和分部开挖技术减少对地表建筑物的扰动,特别适用于交通繁忙区域,然而其施工精度要求严苛,要对围岩变形实施动态监测,盾构法则依靠全断面掘进设备同步完成土体开挖与管片拼装,兼具施工效率高、安全性强和环境影响小的特点,但存在设备采购和维护成本较高,且前期准备工作复杂等制约因素,特别适用于软土地层中的长距离隧道建设。

【作者简介】武占文(1984-),男,中国内蒙古乌兰察布人,本科,工程师,从事工程管理研究。

2.2 施工方法分类

隧道工程常见工法包含明挖法、暗挖法、盾构法及特殊水域使用的沉管法，明挖施工根据场地条件可选择自然放坡或围护结构支撑两种形式，特别适合地质稳定且埋深较小的区域，暗挖技术体系涉及传统矿山法和现代新奥法，前者在岩质地层中采用分阶段开挖工艺逐步推进隧道成型，后者则主张充分发挥地层自稳特性，凭借精密爆破与锚喷支护协同作业实现安全掘进。盾构工法根据设备工作原理差异可分

为土压平衡与泥水加压两大类型，其中土压盾构借助密封舱内渣土压力调控系统，有效应对黏土、砂层等复合地层，泥水盾构则凭借循环泥浆压力补偿机制，在承压水丰富区域呈现独特优势，针对跨水域工程需求，沉管法则采用预制管节浮运沉放工艺，施工时先在预制场完成管节制作，经水运至设计位置进行水下精准对接，该工法在江河湖海等水下隧道建设中有不可替代性^[2]。

表 1 隧道工程常见工法表

工法类型	特点	适用条件
明挖法	自然放坡或围护结构支撑	地质稳定且埋深较小的区域
暗挖法	传统矿山法和现代新奥法	岩质地层或地层自稳特性较好的区域
盾构法	土压平衡与泥水加压	黏土、砂层等复合地层或承压水丰富区域
沉管法	预制管节浮运沉放工艺	江河湖海等水下隧道建设

2.3 施工流程

工程建设实施流程可分为五大阶段：前期筹备环节需完成地质勘探、施工图深化设计、场地平面布置及施工许可文件申领等基础工作，主体施工阶段根据工法差异呈现不同工序——明挖工法需先行构筑围护体系（如施作钢板桩或地下连续墙），待支护系统成型后按土层特性分层开挖至基底设计标高，继而分步实施混凝土垫层浇筑、柔性防水层敷设、底板结构现浇及侧墙顶板支模作业，暗挖法则以超前支护（管棚搭设与注浆小导管预埋）为先导，严格遵循“开挖一榀、支护一榀”的循环工序，每完成一个开挖断面就立即实施喷射混凝土、锚杆布设与钢拱架安装等临时支护措施，待初期支护体系应力释放稳定之后，方可进行模筑混凝土二次衬砌施工，盾构掘进工艺着重于始发前完成盾构机组装与调试测试，在推进过程中实时拼装预制管片构筑环向支撑，直至精准贯通至接收井完成设备拆解，竣工收尾阶段重点推进隧道内部机电设备安装与轨道敷设，同步开展通风环控、电力供应等系统的联动调试，最终凭借多部门联合验收后投入正式运营^[3]。

3 城市轨道交通地下线路施工关键技术分析

3.1 地质勘探与评估技术

地下工程施工前要建立系统性地质认知体系，采用多源勘探技术组合，包括岩土取样、波速测试、物探成像等手段，全面获取地下三维地质信息，岩芯钻探可揭示垂向地层序列特征，配合孔内摄像技术实现岩体结构面的数字化表征，综合应用地质雷达、地震波反射等物探技术，可构建三维地质异常体分布模型^[4]。基于多参数耦合分析，重点研究岩土力学参数的空间变异性、地下水渗流场特征及构造破碎带展布规律，凭借数值模拟评估软弱夹层、富水裂隙带等潜在风险源对支护结构的力学效应。实践证明，采用地质BIM技术建立的可视化模型能有效指导盾构刀盘配置优化，针对不同围岩等级制定差异化的注浆加固方案，降低隧道掘

进过程中的突水塌方概率，实现复杂地层条件下的安全高效施工。

3.2 隧道掘进技术

3.2.1 盾构法

盾构施工技术主要借助专用机械设备完成隧道掘进作业，该集成化装备将岩土切削、临时支护、渣土运输和结构成型等工序进行智能化整合。在掘进作业中，旋转刀盘对地层实施机械破碎后，创新采用螺旋轨道输送与泥浆压力调控相结合的出渣方式，针对不同地质特征，形成了以土压动态平衡和泥浆压力补偿为代表的两类核心技术体系，前者借助精确控制土仓压力实现地层稳定，后者则利用循环泥浆构建压力屏障。机械液压推进系统与预制混凝土管片的智能拼装技术形成协同作业，实时构筑隧道永久支护结构，该工法在施工效率、环境影响控制及地层适应性方面有较大优势，特别适用于城市建成区的地下空间开发，但需注意其存在的技术经济性挑战，包括大型设备购置成本、精密液压系统维护要求及复合型技术团队培养等现实制约因素^[5]。

3.2.2 钻爆法

钻爆法作为岩层开挖的传统工艺，主要包含钻孔布置、药卷装填和爆破控制等关键步骤，施工人员沿设计断面轮廓线钻设炮孔后，依靠调节药量及起爆顺序实施定向爆破，使岩体按预定形态破碎剥离，完成爆破作业后立即启动通风系统排除有害气体，待烟尘散尽即开展出渣运输，随后实施初期加固措施。该工法在复杂地层中呈现出较大优势，有较高的工艺灵活性且所需机械设备相对简易，但爆破过程产生的振动波可能对邻近建（构）筑物造成累积损伤，飞溅碎石存在安全隐患，同时受地质条件影响容易导致开挖面平整度不足，这些特性使得施工风险管控和围岩稳定性维护成为技术难点。

3.2.3 暗挖法

暗挖施工技术（如图1所示）凭借非开挖方式实现地

下隧道的掘进作业,可有效维持地表结构的完整性,传统矿山工法采取分步开挖策略,分阶段推进隧道断面的成型,而新奥法则注重岩体力学性能的利用,依靠精细化爆破控制减少岩层扰动,并配合锚喷支护技术对围岩进行即时加固,该工法虽有地面交通干扰小、环境破坏可控等优势,但受限于狭窄的作业空间和复杂的工艺环节,其施工进度相对迟缓^[6]。在实施过程中需构建完善的岩体位移监测体系,并依赖高水平的施工组织管理和专业技术团队,才能保证工程安全与质量目标的实现。



图1 暗挖法

3.3 地下结构防水技术

地下结构防水性能直接关系到轨道交通运营安全及工程耐久性,是地下工程建设的核心控制要素。在工程实践中,一般需要将结构本体防水与外部防水层协同应用以形成双重防护体系,结构自防水主要依靠调整水泥用量和掺入膨胀剂等优化混凝土配比参数,同时配合振捣密实、温度调控等施工工艺,有效提高混凝土抗渗等级并抑制裂缝发展。附加防水层体系包含柔性防水材料 with 刚性防护措施,其中高分子类防水卷材凭借其优异的耐化学腐蚀性和机械强度,施工时采用热熔焊接技术保证接缝部位形成可靠密封,聚氨酯防水涂料则凭借机械喷涂形成无缝弹性膜层,特别适用于异型结构表面处理。在施工冷缝及结构接驳部位,需采用遇水膨胀橡胶止水条配合可注浆管进行补强,并在变形缝处设置多

道止水带形成梯度防水屏障。科学设计防水体系并严格把控施工质量,可阻断地下水渗透路径延缓钢筋锈蚀速率,还可以维持隧道结构干燥环境,保证机电设备稳定运行。

3.4 地下线路施工监测与控制技术

地下工程安全控制体系的核心环节在于施工过程的动态监测与智能调控,采用全站仪、水准仪等精密测量设备对隧道周边建筑物沉降量、地下水位波动及围岩位移量进行动态跟踪,同时基于传感器网络实时采集盾构机掘进参数、支护体系应力应变等关键指标,借助建立三维数值模型对多源异构数据进行融合分析。当建筑物累计沉降达预警阈值80%时,凭借降低盾构推进速率并实施超前注浆加固,可将最终沉降量控制在设计允许范围内。该技术体系依靠构建“监测-预警-决策”闭环机制,能实现施工风险的超前预判,还可根据实时数据动态优化施工工艺,在保证工程结构安全性的最大程度降低施工作业对周边环境的扰动。

4 结语

经过对城市轨道交通地下线路施工关键技术展开系统的探讨分析,本文明确了地质勘探、隧道掘进、结构防水以及施工监测等技术,在保障工程安全以及提升施工效率方面所有的关键作用。随着技术持续进步创新,城市轨道交通地下线路施工技术会朝着更智能化、更绿色化的方向发展。

参考文献

- [1] 温馨. 城市轨道交通线路纵断面设计优化方法研究[D]. 北京交通大学, 2019.
- [2] 何麟辉,赵壹. 城市轨道交通地下线路节能坡设计研究[J]. 现代城市轨道交通, 2019, (01): 38-41.
- [3] 周镒,杨文昕. 城市快速轨道交通线路纵断面节能坡研究[J]. 交通科技, 2018, (04): 30-33+37.
- [4] 王雅群,彭华,陈军华. 城市轨道交通地下线路有砟轨道应用的可行性分析[J]. 铁路技术创新, 2018, (02): 35-39.
- [5] 李继伟,李生鹏,徐炳进,等. 地铁地下线路诱发振动现场测试与数值仿真研究[J]. 广州城市职业学院学报, 2016, 10 (02): 5-10.
- [6] 赵强. 城市轨道交通线路敷设方式研究[J]. 铁道工程学报, 2016, 33 (02): 102-105.