

地铁暗挖施工技术与质量控制研究

连江波

中铁北京工程局集团城市轨道交通工程有限公司, 中国·安徽 合肥 230088

摘要: 随着城市轨道交通建设的快速发展, 地铁暗挖施工因对地面交通、周边建筑影响较小, 在城区密集地段得到广泛应用。本文结合地铁暗挖施工的特点, 重点分析了常用暗挖施工技术的原理、应用要点, 针对施工过程中易出现的质量隐患, 从施工准备、工序控制、监测预警等方面提出针对性的质量控制措施, 同时探讨了施工中的常见问题及解决对策, 为地铁暗挖施工的安全、高效开展提供理论参考和实践指导, 保障地铁工程施工质量符合规范要求。
关键词: 地铁暗挖; 工序管理; 监测预警

Research on Underground Subway Excavation Construction Technology and Quality Control

Lian Jiangbo

China Railway Beijing Engineering Bureau Group Urban Rail Transit Engineering Co., Ltd., China Anhui Hefei 230088

Abstract: With the rapid development of urban rail transit construction, subway tunneling has gained widespread application in densely populated urban areas due to its minimal impact on surface traffic and surrounding structures. This paper analyzes the principles and key application points of common tunneling techniques, focusing on the characteristics of subway tunneling. It proposes targeted quality control measures addressing potential quality risks during construction, covering preparation, process control, and monitoring systems. Additionally, it explores common construction issues and their solutions, providing theoretical references and practical guidance for safe and efficient subway tunneling operations to ensure construction quality complies with regulatory standards.

Keywords: Subway excavation; Process management; Monitoring and early warning

0 引言

近年来, 我国城市化进程不断加快, 城市人口激增, 地面交通压力日益凸显, 地铁作为高效、便捷、环保的轨道交通方式, 成为缓解城市交通拥堵的重要举措。在地铁建设中, 施工方法主要分为明挖、暗挖和盾构法, 其中暗挖尤其适用于城市中心区、古建筑保护区等地面条件复杂的地段。

但地铁暗挖施工多在地下环境进行, 地质条件复杂多变, 施工空间狭窄, 工序繁琐, 且易受地下水、周边构筑物等因素影响, 施工难度较大, 质量控制风险较高。若施工技术应用不当、质量控制措施不到位, 极易出现坍塌、涌水、开裂等质量安全隐患, 造成巨大的经济损失和社会影响。因此, 深入研究地铁暗挖施工技术, 完善质量控制体系, 对保障地铁工程质量和施工安全具有重要的现实意义。本文结合实际施工经验, 对地铁暗挖施工技术及其质量控制要点进行详细探讨。

1 地铁暗挖施工核心技术

地铁暗挖施工技术以“少扰动、早支护、勤量测、快封闭”为核心原则, 根据地质条件、隧道断面尺寸及周边环境的不同, 选择合适的施工方法。目前, 我国地铁暗挖

施工中最常用的技术主要包括新奥法、浅埋暗挖法。

1.1 新奥法施工技术

新奥法(NATM)是基于岩体力学理论发展而来的暗挖施工技术, 核心是充分利用围岩自身的承载能力, 通过合理的开挖方式、及时的支护措施和严密的监测反馈, 实现隧道的稳定施工。该技术主要适用于中等强度以上的岩层稳定性较好的地段, 在地铁山岭隧道、深埋隧道施工中应用广泛。

施工要点主要包括: 一是开挖作业, 根据隧道断面尺寸, 可采用全断面开挖、台阶法开挖等方式, 开挖过程中严格控制开挖速度和进尺; 二是支护作业, 开挖后及时进行支护, 以喷射混凝土、锚杆、钢拱架为主, 形成联合支护体系, 抑制围岩变形; 三是监测反馈, 施工过程中实时监测围岩沉降、隧道收敛等指标, 根据监测数据调整施工支护方案, 实现动态施工管理。

1.2 浅埋暗挖法施工技术

浅埋暗挖法是针对城市浅埋地铁隧道(埋深小于10m)发展的施工技术, 该技术适用于软土、砂层、粉质黏土层等围岩稳定性较差的地段, 能够有效控制地面沉降, 减少对周边构筑物的影响, 是城市中心区地铁暗挖施工的

首选方法^[1]。浅埋暗挖法的核心是“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”，常用的开挖方式包括CRD法（交叉中隔壁法）、CD法（中隔壁法）、台阶法、单侧壁导坑法等。

以CRD法为例，施工要点如下：一是超前支护，开挖前采用超前小导管或大管棚进行预注浆加固，确保注浆密实，形成超前支护帷幕，防止开挖过程中出现涌水、坍塌；二是分层开挖，将隧道断面分为四个部分，分层、分块进行开挖，每开挖一块及时进行支护，开挖进尺控制在0.5-1.0m，避免一次性开挖面积过大；三是中隔壁和临时仰拱设置，开挖过程中及时设置中隔壁（钢格栅+喷射混凝土）和临时仰拱，划分施工单元，增强隧道整体稳定性；四是二次衬砌，初期支护完成后，待围岩变形趋于稳定，及时进行二次衬砌施工，二次衬砌确保衬砌密实、平整，与初期支护紧密结合^[2]。

2 地铁暗挖施工质量控制要点

地铁暗挖施工质量控制贯穿施工全过程，需从施工准备阶段、施工工序阶段、施工监测阶段三个层面入手，确保每一道工序质量符合规范要求，从根本上规避安全隐患。

2.1 施工准备阶段质量控制

施工准备阶段是质量控制的基础，直接影响后续施工质量，主要控制要点包括地质勘察、施工方案设计、人员设备准备三个方面。

一是地质勘察控制。施工前，需组织专业勘察团队对施工区域进行详细的地质勘察，查明施工区域的地层分布、岩性特征、地下水埋深、围岩等级及周边构筑物、地下管网的分布情况，编制详细的地质勘察报告。

二是施工方案设计控制。根据地质勘察报告、隧道设计要求及周边环境条件，编制科学、合理、可行的暗挖施工方案，明确施工方法、开挖方式、施工进度及质量控制措施。

三是人员设备准备控制。施工前，组建专业的施工团队，对所有人员进行岗前培训，考核合格后方可上岗作业。同时，配备符合施工要求的机械设备，确保机械设备运行正常，避免因设备故障影响施工质量和进度。

2.2 施工工序阶段质量控制

施工工序是质量控制的核心环节，地铁暗挖施工工序繁琐，需重点控制开挖、支护、防水、衬砌等关键工序的质量，规范施工操作，确保工序质量达标。

一是开挖工序质量控制。开挖质量直接影响围岩稳定性和后续支护效果，控制要点包括开挖断面尺寸、开挖进尺、开挖坡度及开挖平整度。开挖过程中，严禁超挖、欠挖，隧道断面尺寸偏差需控制在规范允许范围内（一般不超过 $\pm 5\text{cm}$ ）；对于软土、砂层等不稳定地层，开挖后及时进行支护，避免围岩长时间暴露引发坍塌；开挖坡度需

根据地质条件进行调整，确保开挖面稳定平整，为后续支护施工奠定基础。

二是支护工序质量控制。支护是保障隧道稳定的关键，分为初期支护和二次衬砌，需分别控制其施工质量。初期支护中，喷射混凝土需采用湿喷工艺；锚杆安装位置准确，锚杆与钢拱架连接牢固；钢拱架加工精度符合要求，连接螺栓紧固，与围岩紧密贴合^[3]。二次衬砌施工前，需检查初期支护质量，若存在缺陷需及时处理；衬砌模板安装牢固，无漏浆现象；混凝土浇筑采用分层浇筑、连续振捣，振捣密实，避免出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷；混凝土养护及时，养护时间不少于14天，确保混凝土强度达标。

三是防排水工序质量控制。地铁暗挖隧道防排水质量直接影响隧道使用寿命和运营安全，需坚持“以防为主、防排结合、综合治理”的原则，重点控制防水卷材铺设、注浆防水及排水系统设置的质量。

2.3 施工监测阶段质量控制

地铁暗挖施工环境复杂，围岩变形、地面沉降等风险较高，施工监测是及时发现质量安全隐患、指导施工的重要手段，需建立完善的监测体系，确保监测数据准确、可靠，为质量控制和施工调整提供依据。

监测体系建立需明确监测项目、监测频率、监测预警值及监测方法。常用的监测项目包括围岩沉降、隧道收敛、地面沉降、周边构筑物沉降及地下管网变形等；监测频率根据施工进度和围岩稳定性确定，开挖阶段监测频率较高（每天1-2次），围岩稳定后可适当降低监测频率（每3-5次）；监测预警值需根据规范要求和周边环境条件确定，当监测数据达到预警值时，需立即停止施工，分析原因，采取针对性的防控措施。

监测过程中，需安排专业监测人员进行操作，严格按照监测方案规定的方法进行监测，确保监测数据准确、真实；建立监测数据台账，及时记录监测数据，对监测数据进行整理、分析，绘制监测曲线，掌握围岩变形和支护结构受力变化规律，根据监测数据调整施工参数和支护方案，实现动态质量控制。同时，加强监测设备的维护和校准，确保监测数据可靠。

3 地铁暗挖施工常见质量问题及解决对策

结合地铁暗挖施工实际，施工过程中易出现围岩坍塌、衬砌开裂、涌水涌砂、防水失效等质量问题，若不及时处理，会严重影响工程质量和施工安全，针对上述常见问题，提出以下解决对策。

3.1 围岩坍塌问题

围岩坍塌是地铁暗挖施工中最严重的质量安全问题之一，主要原因包括：地质条件恶劣，围岩稳定性差；开挖方式不当，超挖、欠挖严重，开挖进尺过大；超前支护和

初期支护不及时、不到位；地下水渗透导致围岩软化。

解决对策：一是施工前详细勘察地质条件，针对不稳定围岩地段，提前采用超前小导管、大管棚预注浆加固，提高围岩稳定性；二是严格按照施工方案规定的开挖方式和进尺进行施工，严禁超挖、欠挖，软土、砂层地段开挖进尺控制在0.5m以内，开挖后立即进行初期支护；三是加强初期支护质量控制，确保喷射混凝土密实、锚杆锚固力达标、钢拱架安装牢固，形成有效的联合支护体系；四是加强地下水治理，采用降水、注浆堵水等措施，降低地下水水位，避免地下水渗透软化围岩；若发生小规模坍塌，立即停止施工，清理坍塌物，加固周边围岩和支护结构，再恢复施工；若发生大规模坍塌，立即启动应急预案，组织人员撤离，采取回填、注浆加固等措施控制坍塌范围，再制定专项处理方案。

3.2 衬砌开裂问题

衬砌开裂主要分为初期支护开裂和二次衬砌开裂，主要原因包括：围岩变形过大，支护结构受力不均；混凝土配合比不当，施工质量差；养护不及时，混凝土强度增长缓慢；衬砌模板安装偏差过大，导致衬砌受力不均；地下水侵蚀导致衬砌腐蚀开裂。

解决对策：一是加强施工监测，及时掌握围岩变形规律，根据监测数据调整支护参数，控制围岩变形，避免支护结构受力不均；二是严格控制混凝土配合比，确保原材料质量，采用合理的浇筑和振捣工艺，避免出现蜂窝、麻面等缺陷，提高衬砌混凝土质量；三是加强混凝土养护，二次衬砌浇筑完成后及时覆盖保湿，养护时间不少于14天，确保混凝土强度达标；四是规范衬砌模板安装，确保模板安装牢固，模板接缝严密，避免出现漏浆和模板变形；五是加强防排水施工质量，避免地下水渗透侵蚀衬砌，若发现衬砌开裂，及时采用压力注浆、粘贴碳纤维布等措施进行修补，防止裂缝扩大。

3.3 防水失效问题

防水失效主要表现为隧道渗漏水，主要原因包括：防水卷材破损、起鼓、搭接不严密；注浆防水不密实，存在空隙；排水系统堵塞，排水不畅；衬砌混凝土存在裂缝、蜂窝等缺陷，导致地下水渗透。

解决对策：一是加强防水卷材施工质量控制，铺设前清理初期支护表面，确保表面平整、干燥，卷材铺设平整、牢固，搭接宽度符合要求，搭接处采用密封胶密封严密，避免出现破损、起鼓；二是严格控制注浆防水质量，调整注浆材料配合比，控制注浆压力和注浆量，确保注浆密实，形成有效的防水帷幕，注浆后进行质量检测，若存在空隙

及时进行补浆；三是规范排水系统施工，确保排水管、盲沟安装位置准确，连接牢固，施工完成后进行通水试验，确保排水畅通，定期清理排水系统，避免堵塞；四是加强衬砌混凝土质量控制，避免出现裂缝、蜂窝等缺陷，若发现衬砌存在渗漏点，及时采用注浆、嵌缝等措施进行修补，确保防水效果。

4 结语

地铁暗挖施工技术的合理应用和严格的质量控制，是保障地铁工程质量和施工安全的关键。本文通过对地铁暗挖施工核心技术（新奥法、浅埋暗挖法）的分析，明确了各技术的应用要点；从施工准备、施工工序、施工监测三个阶段，提出了针对性的质量控制措施；针对施工中常见的围岩坍塌、衬砌开裂、防水失效等质量问题，给出了相应的解决对策，得出以下结论：

(1) 新奥法适用于围岩稳定性较好的岩层地段，核心是利用围岩自身承载能力，注重监测反馈；浅埋暗挖法适用于城市浅埋软土地段，核心是“管超前、严注浆、短开挖、强支护”，两种技术需根据地质条件合理选用。

(2) 地铁暗挖施工质量控制需贯穿全过程，施工准备阶段重点做好地质勘察、施工方案设计和人员设备准备；施工工序阶段重点控制开挖、支护、防排水等关键工序质量；施工监测阶段建立完善的监测体系，实现动态质量控制。

(3) 针对施工中常见的质量问题，需提前采取防控措施，及时发现、及时处理，确保工程质量符合规范要求。

随着地铁建设规模的不断扩大，暗挖施工技术将不断创新和完善，质量控制体系也将更加健全。未来，需结合实际施工场景，深入研究复杂地质条件下的暗挖施工技术，推动城市轨道交通建设高质量发展。

参考文献：

- [1] 李术才, 张庆松, 刘人太等. 地铁暗挖施工围岩稳定性控制技术研究进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(S1): 2645-2660.
- [2] 张成平, 王梦恕, 张顶立等. 城市地铁浅埋暗挖施工地面沉降控制技术[J]. 岩土工程学报, 2019, 41(05): 889-898.
- [3] 刘勇. 地铁暗挖施工技术及其质量控制要点分析[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(08): 132-133.

作者简介：连江波（1992.05-），男，汉族，内蒙古乌兰察布人，工程师，本科，研究方向：从事市政工程技术管理工作。