

# Research on key technology and safety risk control of municipal railway tunnel construction

Pan Chen Pu Guo Qiong Cui

China Railway Tongtong Track Operation Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

## Abstract

As a critical component of urban rail transit construction, municipal railway tunnel engineering faces significant challenges stemming from the complexity of its technical systems and the inherent uncertainties in construction environments. When confronting dense urban building clusters, complex geological structures, and overlapping operational conditions, the selection of key technologies and the scientific formulation of risk control strategies become pivotal to ensuring project success. Through adaptive analysis of typical construction methods and technical interventions at critical stages—including subsidence control, quality formation of lining structures, and ventilation/drainage layout optimization—this study proposes a construction technology system tailored to municipal railway tunnel characteristics. Furthermore, it addresses potential safety risks during construction by developing emergency response mechanisms for geological anomalies, cross-construction risk identification methodologies, and technical coordination strategies for operational interference scenarios. These findings provide theoretical foundations and practical approaches for dual control of tunnel construction safety and quality.

## Keywords

Municipal Rail Transit; Tunnel Construction; Key Technologies; Risk Control; Technical System

# 市域铁路隧道施工关键技术与安全风险控制研究

陈攀 郭璞 崔琼

中铁通轨道运营有限公司, 中国·浙江温州 325000

## 摘要

市域铁路隧道施工作为城市轨道交通建设中的关键环节,其技术体系的复杂性与施工环境的不确定性共同构成了巨大的工程挑战。面对城市密集建筑群、复杂地质构造及交叉运营条件,施工中对关键技术的选择与风险控制路径的科学制定成为确保工程顺利推进的核心内容。通过对典型工法的适应性分析,结合施工过程中地层沉降控制、衬砌质量成型、通风排水布局等关键技术节点的技术处理,研究提出适用于市域铁路隧道特点的施工技术体系。同时,聚焦施工阶段可能面临的各类安全风险,探索地质突发情况应对机制、交叉施工风险识别方法以及运营干扰施工中的技术协调策略,为隧道施工安全与质量双重管控提供理论支撑与实践路径。

## 关键词

市域铁路; 隧道施工; 关键技术; 风险控制; 技术体系

## 1 引言

随着城市化进程加速与交通需求持续增长,市域铁路作为连接中心城区与郊区的重要交通走廊,其建设质量直接影响区域一体化发展格局。隧道作为市域铁路线路中的核心构造形式,因其穿越地质复杂、下穿建筑密集、邻近既有交通设施等特点,在施工阶段面临多种技术挑战与不确定因素。传统隧道施工方法在市域环境下暴露出适应性不足的问题,而安全事故的频发也反映出对风险控制体系尚未形成有效支撑机制。为提升市域铁路隧道工程的施工效率与安全水

平,亟需从关键技术路径、施工组织逻辑及风险管理手段等方面展开系统研究,构建契合市域特点的技术应用模型与控制方案。

## 2 市域铁路隧道工程施工特点与复杂性分析

市域铁路隧道往往穿越城市密集区域,其路径沿线所涉及的地质条件呈现出较高的不确定性与多样性。不同地区岩层结构、水文地质条件和地层物理力学性质存在显著差异,使得施工过程中对地质反应的预判难度加大。在浅覆土条件下施工易引发地面沉降或地表建筑物影响,而在富水砂层中盾构推进则可能导致涌水突泥等突发事件。地下水位变化对施工围护结构与基坑稳定性构成潜在影响,增加了施工工艺调整与应急响应技术压力。地质条件的不稳定对隧道

【作者简介】陈攀(1996-),男,中国湖北鄂州人,本科,助理工程师,从事温州市域铁路S1S2线设备维保研究。

结构选型、施工进度安排及风险控制提出了更高的要求，推动对地质信息获取、实时反馈与动态设计调整的深度依赖<sup>[1]</sup>。

### 3 主要施工技术体系与工法适配分析

#### 3.1 盾构法在不同地层条件下的适应性运用

盾构施工在市域铁路隧道中因其自动化程度高、施工连续性强而广泛采用，但不同地层条件对其适应性提出了显著要求。在软弱地层中，盾构推进需密切关注刀盘扭矩变化与渣土状态，以防地层坍塌或盾构卡机现象。在富水砂层环境中，盾构机需配备高效泥水或土压平衡系统以控制前方压力，避免涌水或塌方。在复杂复合地层推进过程中，盾构设备需具备多模式切换功能，灵活应对土岩交界带施工中的突发变化。施工参数如推进速度、盾构姿态、同步注浆量等需实时监测与调整，以确保隧道结构稳定与周边环境安全。不同地质条件下的适应性运用推动盾构施工技术向智能化、精细化方向发展。

#### 3.2 矿山法施工中围岩控制与开挖优化

矿山法作为应对复杂地质和深埋隧道的重要手段，其施工过程对围岩的响应控制与开挖过程的优化尤为关键。在硬岩条件下需采用控制爆破或机械破岩手段以减小扰动范围，防止围岩松动导致结构变形。在软弱围岩中则应提前加固支护结构，增强围岩稳定性。合理的分部开挖与支护同步施工策略是保障施工安全和控制变形的核心手段。围岩监测数据需动态反馈至施工参数调整系统，形成实时分析与响应机制。对掌子面开挖方式、支护类型、锚杆布置及喷射混凝土厚度等细节参数的优化直接影响隧道断面成型质量与结构耐久性，体现出矿山法在控制与适应地质变化中的灵活应变能力。

### 4 隧道施工中关键环节的技术控制路径

#### 4.1 地表沉降控制技术与施工扰动减缓措施

市域铁路隧道施工对地表沉降控制提出严苛要求，因其关系到周边建筑安全与城市基础设施正常运行。施工扰动主要来源于开挖卸载、支护滞后、注浆密实度不足等环节，需通过系统化控制策略进行干预。在盾构法中同步注浆密实度与注浆压力控制是抑制沉降的关键环节，矿山法则侧重于支护结构的合理布置与开挖步序管理。采用超前地质预报、三维激光扫描、地面监测点布控等技术手段形成全过程监控体系，为沉降趋势分析与工艺参数优化提供数据支撑。扰动减缓措施如地层改良、减震垫层和变形缝设置等配合实施，实现对不同阶段沉降风险的前置管理与动态响应，提升隧道施工对地表环境的适应能力。

#### 4.2 隧道衬砌结构成型与质量控制技术

隧道衬砌结构作为长期承载与防护系统的核心，其成型质量直接影响使用寿命与结构安全。在盾构施工中，预制管片拼装精度、拼缝密封性能及拼装顺序均需严格控制，以防止渗水、错缝或结构位移。衬砌混凝土施工需确保浇筑连

续性与养护时间匹配，避免出现冷缝、空鼓或早期裂缝。钢筋布置与衬砌厚度应根据设计参数逐段核查，确保结构一致性与承载力。质量控制应贯穿设计审查、原材料检测、施工过程管理和竣工验收全过程，建立多级验收机制。借助激光断面检测、超声波透测、内窥成像等无损检测手段，对衬砌状态进行定期评估与缺陷修复，为隧道运营阶段的安全性与稳定性提供坚实保障<sup>[2]</sup>。

#### 4.3 施工排水与通风系统的配置与技术要求

隧道施工环境封闭潮湿，排水与通风系统对施工效率与人员健康具有决定性作用。排水系统需根据隧道纵断面高程设置合理集水井与排水沟，配合多级水泵确保施工区域干燥，防止积水对设备基础及作业安全产生影响。防排结合策略在设计阶段需充分考虑涌水量、渗水路径与排放能力，减少对周边地下水位的扰动。通风系统设计应满足有害气体稀释、粉尘清除与新风补给的综合需求，尤其在爆破作业或长距离掘进中通风效率直接影响作业条件。设置轴流风机、送风管道及风压调控装置可实现定向、均匀送风。施工过程中应依据气体浓度、温度和湿度变化动态调整通风参数，确保作业环境始终处于可控范围，满足隧道安全作业标准。

### 5 安全风险识别与预控机制研究

#### 5.1 地质突发事件识别与施工动态响应机制

隧道掘进过程中易遭遇突发性地质事件，包括涌水、突泥、坍塌、瓦斯异常等，其成因涉及地层破碎程度、水文变化、围岩结构突变等复杂因素。施工前应通过物探、钻探和试掘等方式建立详尽的地质资料体系，识别潜在风险区域。在掘进过程中配置前方地质超前预报设备，结合围岩压力监测与盾构参数波动，实时掌握地质状态演变。现场应建立动态响应机制，包括信息研判、预警发布、人员疏散与技术调整，确保突发状况下的快速反应。施工参数如推进速度、注浆压力、支护间距需随风险等级进行调整。多工序协同联动与预案演练的常态化可强化应对能力，将突发事件的影响控制在可承受范围之内，提升隧道建设的安全韧性。

#### 5.2 交叉施工区域安全风险的类型及控制要点

市域铁路隧道常与既有道路、地铁、桥梁、管线等形成交叉关系，其施工风险集中在结构扰动、荷载转移、空间冲突及工序干涉等方面。隧道穿越既有设施时，土体扰动可能导致沉降超限，引发结构裂缝或变形，影响周边正常使用功能。交叉区域作业空间狭小，施工设备布置受限，易出现人员集中、作业干扰等管理难题。风险控制需立足于施工阶段划分明确、支护结构设计加固、沉降监测布点密集与进度协调同步。施工前应对交叉构筑物开展变形评估与承载力校核，制定施工时序与应急预案，形成以信息反馈为核心的协同施工机制。通过地质补强、应力释放、结构减载等技术手段，降低结构响应幅度，在不干扰运营前提下完成交叉段安全穿越。

### 5.3 运营环境下二次施工的风险因素与技术应对

在市域铁路已开通段内进行隧道结构加固、设备改造或功能扩展等二次施工,作业环境复杂、干扰因素多、安全风险高。运营列车震动频繁,对隧道围护结构稳定性和设备连接安全性带来持续应力扰动,若施工方案设计不周易引发结构损伤或功能故障。隧道内空间封闭,通风、照明和逃生条件有限,加剧突发事件处置难度。施工作业需严格受限于列车运行时刻与通行断面条件,施工时间窗口短、工序压缩,增加资源组织和进度控制难度。技术应对路径需围绕扰动最小化、工期最紧凑、质量最可控构建施工体系。采用模块化结构快速拼装、无震动设备低干扰作业和智能监测系统实时反馈施工动态,可实现对风险的同步识别与动态调整。施工期间需建立与运营单位的高频沟通机制,保证关键节点协同推进,确保运营安全与施工质量双达标<sup>[3]</sup>。

## 6 数字化技术在风险控制与技术管理中的应用

### 6.1 基于地质信息建模的风险预测与动态更新

地质建模技术通过整合钻探数据、物探成果与历史施工信息构建三维地质实体模型,为风险识别与工艺设计提供可视化支撑。模型可按区段划分形成数字化地层剖面,反映土体分布、岩性变化、水文走向等关键参数,便于提前识别突发风险区域。在施工推进过程中,实时采集的监测数据可反馈至模型进行修正,形成动态更新机制,实现地质信息与施工状态的双向联动。地质信息建模平台可集成沉降预测算法与支护参数分析功能,辅助施工参数优化调整。通过空间数据比对分析,对隧道掘进轨迹、地表变形趋势与结构变形状态进行定量预测,提升施工前的决策质量与施工中的控制精度,降低因信息滞后引发的突发风险。

### 6.2 隧道施工全过程监测系统的集成与数据分析

施工监测系统以围岩位移、支护应力、地表沉降、水位变化、环境气体等为监测对象,构建包括传感器布设、数据采集、远程传输与自动预警在内的综合体系。系统在各关键断面与高风险区域布设高密度监测点,实现对结构变化与地质响应的连续观测。数据采集终端可设定阈值,当监测数据异常波动时自动触发警报,并通过平台推送至管理人员终端。集成平台利用大数据分析 with 曲线对比功能,对监测结果进行趋势判断与风险研判,辅助施工组织优化与技术路径调整。数据共享机制可提升多方协同能力,实现设计、监理与

施工单位的信息同步。全过程监测体系构建了从感知层到决策层的信息闭环,对提高施工透明度与反应效率起到重要作用。

### 6.3 施工智能化调度系统对风险处置的技术支撑

智能化调度系统通过对作业计划、资源配置、施工状态及环境数据的全面集成,实现施工过程的数字化指挥与动态管理。系统结合工序工期模型与设备运行参数,构建多层次控制模块,在不同时间节点自动匹配最优作业路径。风险处置方面,调度系统与监测系统联动,一旦感知到异常数据或事件,即可触发施工计划调整、资源重新分配及路径更换策略,确保风险不扩散、不滞后。系统支持作业数据的可视化展示与可追溯分析,便于管理人员远程监控与决策支持。系统中集成的资源调度算法可根据现场施工状态实时优化材料运输、人员安排与设备协同,减少重复作业与误操作带来的安全隐患。施工调度数字平台有效提升了项目执行的反应速度与技术稳定性,是推动隧道工程高效管理与风险闭环控制的关键支点<sup>[4]</sup>。

## 7 结语

市域铁路隧道工程作为城市交通体系的重要基础设施,其施工过程涉及多项复杂技术与高风险工序,必须在动态环境中实现全过程精细化管理。通过对施工特点、关键技术、风险类型与数字化手段的系统分析,可为工程实践提供理论依据与技术路径支持。在施工组织、工艺选择与应急响应方面,应持续优化技术适配能力与信息化管理水平,以提升施工质量与安全控制能力。未来需推动多专业协同与技术融合,构建高效、安全、可控的隧道建设体系,助力市域铁路工程实现可持续发展目标。

### 参考文献

- [1] 易开元.探析市域铁路隧道施工安全风险及防范措施[J].塑料包装,2025,35(03):363-366.
- [2] 余志义.市域(郊)铁路隧道防灾疏散救援模式及消防给水标准的分析与调研——以长江三角洲地区为例[J].居业,2025,(03):106-108.
- [3] 范敏.市域铁路隧道施工安全风险评价及防范措施研究[J].工程技术研究,2025,10(03):149-151.
- [4] 虞斌杰.市域铁路隧道工程防水施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(04):154-156.