

交通工程山岭隧道施工安全管理技术要点探究

王伊莎 刘 巍

山东省路桥集团有限公司 山东 济南 250100

摘要: 山岭隧道作为交通工程关键组成, 施工环境封闭、地质条件复杂, 安全风险突出, 安全管理成为工程建设核心议题。本文围绕交通工程山岭隧道施工安全管理技术要点展开研究, 明确其内涵与特征; 从前期准备、开挖控制、通风照明、用电与设备管理、突发风险应急处置五大核心环节, 梳理具体安全技术管控要点; 探讨了信息化管理应用, 包括安全监测系统构建、BIM与GIS技术融合及数据驱动动态管控。研究旨在为山岭隧道施工安全管理提供系统性技术参考, 助力提升施工安全管控水平, 保障工程人员生命与工程结构安全。

关键词: 交通工程; 山岭隧道施工; 安全技术; 管控要点

引言: 当前交通工程山岭隧道部分项目因技术管控不到位、信息化应用不足, 仍存在安全隐患。基于此, 本文以山岭隧道施工安全管理为研究对象, 从内涵特征界定入手, 深入剖析核心环节安全技术要点, 同时探索信息化技术应用路径, 以期弥补传统管理短板, 为同类工程安全管理提供科学依据, 推动交通工程山岭隧道施工安全管理标准化、精细化发展。

1 交通工程山岭隧道施工安全管理内涵与特征

1.1 交通工程山岭隧道施工安全管理的内涵

交通工程山岭隧道施工安全管理, 是以保障施工全过程人员生命安全、设备完好及工程结构稳定为核心目标, 通过系统性规划、组织、协调与控制, 整合技术、管理、制度等多维度资源的动态管理过程。其核心在于围绕山岭隧道施工的特殊性, 构建“预防为主、防控结合”的管理体系: 一是依托地质勘察、方案设计等技术手段, 提前识别施工中潜在的风险源, 从源头降低安全隐患; 二是通过建立标准化的作业流程、责任分工机制及监督考核体系, 确保施工各环节严格遵循安全规范, 实现对“人、机、料、法、环”五大要素的全周期管控, 最终达成施工安全与工程进度、质量的协同推进。

1.2 交通工程山岭隧道施工安全管理的特征

交通工程山岭隧道施工安全管理具有以下三大特征: (1) 高复杂性。受山岭地区地质条件多变、施工空间封闭等因素影响, 安全管理需同步应对围岩稳定性、涌水突泥、有害气体积聚等多重风险, 管理对象与影响因素呈现交叉关联的复杂形态。(2) 强技术性。安全管理与隧道施工技术深度融合, 从开挖方法选型、支护体系设计到监测设备应用, 均需以专业技术为支撑, 技术方案的合理性直接决定安全管理的有效性。(3) 动态性。施工过程中地质条件、作业环境、工程进度均处于动态变

化中, 安全风险随之动态调整, 要求管理体系具备实时监测、动态评估与快速响应能力, 确保安全管控措施与现场实际精准匹配^[1]。

2 山岭隧道施工核心环节安全技术管控

2.1 山岭隧道施工前期安全技术准备要点

前期安全技术准备是保障后续施工安全的基础, 要从多维度开展系统性工作, 具体要点如下: (1) 地质勘察与风险预判。采用综合勘察技术, 结合钻探、物探手段, 全面获取隧道沿线地质信息, 包括围岩级别、岩层走向、地下水赋存状态及不良地质体分布, 重点探明断层破碎带、岩爆、高地温等特殊地质的范围与特征。建立地质信息数据库, 通过专业软件分析风险概率与影响程度, 划分风险等级, 对高风险隧道同步完成专项地质超前预报设计, 为后续施工方案制定提供依据。(2) 施工方案安全优化。依据地质勘察结果, 确定开挖方式、支护结构参数及施工步序。对洞口工程、不良地质段施工等关键工序进行安全验算, 确保方案满足结构稳定性要求。针对高风险区段, 增设专项安全保障措施, 明确技术指标与控制标准, 专项方案需通过专家论证, 形成完整的施工技术文件。(3) 技术交底与人员准备。构建分层技术交底体系, 按管理、技术、作业三个层面, 明确各岗位安全技术要求, 留存交底记录并归档。组织全员三级安全教育培训, 涵盖安全操作规程、风险识别方法及应急基本知识, 考核合格后方可上岗; 特种作业人员需持专项资格证书, 确保具备相应操作能力。(4) 设备与材料核查。对进场施工设备进行全面检查, 核实设备型号、性能参数是否符合施工要求, 查验设备合格证、检测报告等文件。对支护材料、爆破器材等关键物资, 按规范进行抽样检测, 确保材料质量达标, 建立设备与材料管理台账, 实现可追溯管理。

2.2 山岭隧道开挖施工安全控制技术要点

开挖施工是隧道施工的关键环节,需通过技术手段控制风险,保障施工安全,核心要点包括:(1)开挖工法选型。根据围岩级别、隧道断面尺寸及地质条件,选择适配的开挖工法。硬岩地层优先采用钻爆法,软岩及破碎地层选用台阶法、CRD法等分部开挖工法,坚持“短进尺、弱爆破、强支护、快封闭、勤量测”原则,合理确定开挖循环进尺,避免因工法不当引发围岩失稳。(2)爆破参数控制。钻爆法施工时,优化炮眼布置,明确周边眼、掏槽眼的间距、深度及装药量,周边眼间距控制在40-60cm,装药量按围岩硬度梯度调整。采用光面爆破或预裂爆破技术,减少对围岩的扰动。严格执行爆破器材领用、存放与使用制度,按规定设置警戒区域,爆破后等待15分钟以上通风排烟,再检查掌子面围岩状态,确认无险情后方可继续作业。(3)围岩监测管理。在隧道开挖面及周边布设监测点,监测项目包括拱顶沉降、周边收敛、围岩内部位移等。确定监测频率与预警值,初期支护完成后1-15天内每天监测1-2次,采用自动化监测设备实时采集数据,绘制位移-时间曲线分析变形趋势,若发现数据超预警值,立即暂停施工,采取加固措施。(4)开挖面防护。开挖后及时对掌子面进行封闭处理,采用喷射混凝土等方式加固围岩,喷射厚度按围岩级别控制在5-10cm。对不稳定围岩段,缩短开挖与支护的间隔时间至4小时内,必要时设置临时钢支撑,防止围岩坍塌。定期检查开挖面地质状况,发现异常及时调整施工参数^[2]。

2.3 山岭隧道施工通风与照明安全技术管理

通风与照明直接影响隧道内作业环境安全,需建立完善的技术管理体系,具体如下:(1)通风系统设计。根据隧道长度、作业人数及施工产生的有害气体排放量,计算通风量,确保每人每分钟新鲜空气不低于 3m^3 ,粉尘浓度控制在 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。确定风机型号、数量及布置方式,短隧道采用压入式通风,长隧道采用压抽混合式通风,搭配湿式凿岩、喷雾降尘等综合措施。风管选用高强度、抗磨损材料,接口密封严密,漏风率不超过10%,风管出口距开挖面距离控制在10-15m范围内。(2)通风系统运行维护。制定通风设备日常巡检制度,检查风机运行状态、风压风量参数及风管完好情况,记录运行数据。定期清理风机滤网、风管内积尘,及时修复破损风管。根据施工进度调整通风系统布置,确保通风效果持续达标。(3)照明系统配置。按隧道施工区域功能划分,确定不同区域照明标准。开挖面、作业平台采用高亮度照明灯具,电压不超过36V;运输通道、辅助洞室采用常

规照明,确保路面亮度均匀不低于 15lx 。灯具安装牢固,间距合理,避免出现照明死角。(4)照明系统管理。定期检查灯具完好性、亮度及线路绝缘情况,及时更换损坏灯具,修复老化线路。合理控制照明开关时间,避免能源浪费,同时确保施工期间照明系统稳定运行。

2.4 山岭隧道施工用电与机械设备安全管理技术

用电与机械设备安全是隧道施工安全的重要保障,需通过技术手段强化管理,要点如下:(1)临时用电系统设计。根据施工设备总功率,确定供电方案,选择合适的变压器、电缆规格,采用双回路或备用电源配置。采用“三级配电、两级保护”模式,设置总配电箱、分配电箱及开关箱,实行“一机一闸一漏一箱”配置。电缆敷设符合规范要求,架空高度不低于2.5m或埋地深度不小于0.7m,避免机械损伤,潮湿环境采用防水电缆,所有电气设备实施TN-S接零保护。(2)用电安全管理。定期对配电设备、线路进行绝缘检测,每月至少1次检查漏电保护器动作可靠性。操作人员需掌握用电安全知识,正确使用电气设备,严禁违规接线、超负荷用电。施工现场设置明显的用电安全警示标志,配备绝缘手套、验电器等防护用具。(3)机械设备选型与验收。根据施工需求选择性能匹配、安全可靠的机械设备,优先选用具有安全保护装置的设备。设备进场前进行验收,核查设备技术资料、性能参数及安全状况,验收合格后方可投入使用,建立设备台账,记录设备使用、维护情况。(4)机械设备运行与维护。制定机械设备安全操作规程,操作人员严格按规程操作,定期对设备进行保养,检查设备零部件磨损、润滑及运行状态,及时更换损坏部件。设备运行中出现异常,立即停机检修,严禁带病运行,定期对设备进行安全检测,确保设备性能稳定。

2.5 山岭隧道施工突发风险应急处置技术要点

针对施工中可能出现的突发风险,需建立科学的应急处置技术体系,具体要点包括:(1)风险识别与预案编制。全面梳理隧道施工可能面临的塌方、突水突泥、火灾等突发风险,分析风险成因、危害程度及影响范围。依据风险类型编制专项应急预案,明确应急组织机构、响应流程、处置措施及资源调配方案,包含人员撤离的具体路线与集结点,预案需具有可操作性与针对性并通过评审。(2)应急资源配置。按应急预案要求,配备抢险工具、排水设备、急救药品、通信设备等应急救援物资,消防器材按每50m间距布置。在隧道内每隔200-300m设置应急避灾硐室,配备通风、照明、通讯及生活保障设施。(3)应急演练与培训。定期组织应急演练,每季度至少一次模拟不同类型突发风险场景,检验应急

预案可行性与应急队伍处置能力。演练后进行总结评估,优化应急预案与处置流程。开展应急救援培训,提升应急人员专业技能,掌握应急处置步骤与安全注意事项。(4)突发风险处置。发生突发风险时,立即启动应急预案,通过声光报警系统组织人员撤离至安全区域,切断危险源。按预案采取针对性处置措施,如塌方时采用注浆加固、设置临时支护;突水突泥时启用排水系统,封堵水源;火灾时使用灭火设备灭火,启动排烟系统^[3]。

3 山岭隧道施工安全信息化管理技术应用

3.1 安全监测信息化系统构建

系统需通过软硬件协同形成全周期管控体系,要点包括:(1)监测设备选型与布设。按隧道风险点选自动化设备,依规范定布设密度与位置,覆盖开挖面、支护结构、围岩等关键区域,设备需抗干扰、耐潮湿以适应隧道环境。(2)数据传输网络搭建。采用有线无线结合方式,短距离用蓝牙或LoRa技术,长距离布光纤网络,保障数据实时稳定上传;设缓存模块防丢失,建加密机制护信息安全。(3)软件平台功能设计。平台需具备数据采集、存储、分析与可视化功能,支持自动生成报表与趋势曲线,预设围岩变形、应力等预警阈值,触发时推送信息至管理人员,预留接口便于系统对接。

3.2 BIM、GIS等技术在安全管理中的融合应用

技术融合聚焦全流程安全管控,提升管理精度,应用方向为:(1)三维模型构建与碰撞检测。用BIM建隧道地质、结构、设备三维模型,集成进度与安全参数;结合GIS叠加周边地形数据,模拟施工对环境影响,排查管线、构筑物与隧道空间冲突,优化方案。(2)施工过程可视化管控。将BIM模型与现场监测数据实时关联,通过移动端或监控平台展示开挖、支护动态,管理人员可远程查进度与安全状态、标记违规操作,同时模拟方案风险辅助优化。(3)资产与运维数据集成。施工阶段将设备参数、材料信息、监测数据录入BIM模型,形成工程

数据库;结合GIS建全生命周期档案,为后期运维安全检查、风险评估提供支撑。

3.3 数据驱动的安全风险动态管控技术

管控依托多源数据分析实现风险精准识别与响应,关键环节为:(1)多源数据融合处理。整合监测数据、施工日志、地质勘察信息,经数据清洗剔除异常值,标准化统一格式,建结构化数据库,为分析提供高质量基础。(2)风险分析模型构建。基于历史数据与规范建评估模型,用机器学习算法预测围岩变形、支护应力,识别风险类型与等级,结合施工阶段动态调参数提准确性。(3)动态预警与处置联动。依分析结果建分级预警机制,明确响应流程;预警触发后自动匹配处置方案推至管理人员,跟踪进度形成“预警-处置-反馈”闭环,确保风险及时化解^[4]。

结束语:本文系统探究了交通工程山岭隧道施工安全管理技术要点,明确了安全管理内涵特征,细化了五大核心环节技术管控要求,并阐述了信息化技术的应用方向,形成了较为完整的安全管理技术体系。随着技术发展,未来需进一步推动智能化技术与安全管理深度融合,持续优化动态管控机制,为山岭隧道施工安全提供更全面的技术支撑。

参考文献:

- [1]武培龙.隧道施工安全管理控制要点分析[J].门窗,2025(9):148-150.
- [2]江坤,侯维甲.公路工程瓦斯隧道施工安全管理要点浅析[J].区域治理,2025(23):0108-0110.
- [3]朱湘隆.交通工程山岭隧道施工安全管理技术要点探究[J].现代工程科技,2025,4(2):109-112.
- [4]仲玮年.复杂条件下公路隧道施工技术与安全保障措施[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(1):001-006.