

Exploration of Safety Risk Management Strategies for Highway Tunnel Construction

Huaqiang Sun

China Highway Engineering Consulting Group Co., Ltd., Beijing, 100083, China

Abstract

In the modern transportation system, highway tunnels have the advantages of shortening travel and improving transportation efficiency, and have become an important link to connect different regions and promote economic development. In recent years, China's infrastructure construction has been promoted, and the number and scale of highway tunnel projects have shown a rapid growth trend. The geological conditions faced by tunnel construction are complex and changeable. Fault fracture zone, weak surrounding rock and high gas stratum are common. In addition, the construction environment is closed and the working space is limited, which makes the safety risk in the construction process remain high. Once a safety accident occurs, it will cause casualties and property losses, and it will also have a negative impact on the surrounding environment and social stability. Based on this, this paper analyzes the significance of safety risk management in highway tunnel construction, and puts forward specific strategies to improve construction safety risk management, so as to promote the transformation of the industry to digital and intelligent direction.

Keywords

highway tunnel; construction safety; risk management

公路隧道施工安全风险管 理策略探讨

孙华强

中国公路工程咨询集团有限公司, 中国 · 北京 100083

摘 要

现代交通体系中公路隧道具有缩短行程、提高运输效率等优势,成为连接不同区域、促进经济发展的重要纽带,近年来我国基础设施建设推进,公路隧道工程数量与规模均呈现出快速增长的态势。而隧道施工所面临的地质条件复杂多变,断层破碎带、软弱围岩、高瓦斯地层屡见不鲜,加之施工环境封闭、作业空间有限,使得施工过程中的安全风险居高不下。一旦发生安全事故,会造成人员伤亡与财产损失,还会对周边环境、社会稳定产生负面影响。基于此,本文分析公路隧道施工安全风险管 理的重要意义,提出完善施工安全风险管 理的具体策略,促使行业向数字化、智能化方向转型。

关键词

公路隧道; 施工安全; 风险管 理

1 引言

公路隧道是现代交通基础设施的主要部分,近年来公路交通网络快速拓展,隧道工程规模越来越大,施工过程中的安全风险愈发复杂多样化,科学进行施工安全风险管 理十分重要。因此,系统探讨公路隧道施工安全风险管 理策略,对于保障工程顺利实施、推动行业可持续发展具有至关重要的现实意义。

2 公路隧道施工安全风险管 理的重要意义

2.1 保障工程安全与质量

隧道施工过程中,断层、溶洞等不良地质现象极易引

发塌方事故,塌方会威胁施工人员的生命安全,对已完成的支护结构造成严重破坏,导致工程进度受阻和成本增加。例如:隧道施工过程中由于对前方地质情况探测不准确,没有发现断层带,在开挖过程中发生塌方,大量土石方涌入隧道砸毁部分支护结构,使段工程不得不重新施工,延误工期,增加巨额的返工费用。且大量的地下水涌入隧道,会软化围岩,降低围岩的稳定性,引发泥石流等次生灾害,对隧道内的电气设备造成损坏,影响施工的正常进行。而火灾事故则可能导致隧道结构受损,影响其长期使用性能,此情况下科学进行安全风险管 理,可提前对地质条件进行详细勘察分析,制定针对性的支护方案与防水措施,避免或减少塌方、涌水等事故的发生,保障工程安全^[1]。

2.2 提升施工效率与经济效益

隧道施工中各种大型机械设备如挖掘机、装载机、盾构机等发挥着重要作用,如果设备管 理不到位,缺乏定期的

【作者简介】孙华强(1990-),男,中国山东烟台人,硕士,工程师,从事公路工程施工管 理、安全管理研究。

维护和保养, 很容易出现故障影响施工进度。例如: 隧道对盾构机的维护不合理, 刀具磨损严重, 在施工过程中频繁更换刀具, 每次更换刀具都需要停机数小时, 严重影响施工效率, 使工期延长。且人员操作失误也是导致安全事故和效率低下的重要原因, 爆破作业中炸药用量计算不准确或装药方式不当, 很容易导致爆破效果不佳, 甚至引发炸药爆炸事故, 造成人员伤亡、设备损坏, 此期间加强安全风险管控可规范设备管理及人员操作, 减少非计划停工, 优化资源配置, 提高施工效率, 降低工程成本, 提升经济效益^[2]。

2.3 保护环境与社会效益

施工过程中噪声污染会影响居民的正常休息与学习, 粉尘污染会导致空气质量下降, 引发呼吸道疾病, 废水污染则会污染地下水和地表水影响生态平衡。例如: 城市隧道施工项目由于没有采取有效的降尘措施, 施工过程中产生的粉尘弥漫在周边空气中导致附近居民投诉不断, 严重影响社会和谐, 隧道施工期间需要对周边道路进行交通管制, 交通拥堵影响人们的出行, 一旦发生隧道坍塌、火灾, 还会引发交通中断, 造成更大的社会影响, 此情况下进行施工安全管理, 设置围挡、安装防尘网、定期洒水降尘, 可减少施工对周边环境的污染, 而构建智能交通管控系统, 多级预警机制可有效切断事故链蔓延, 减少二次事故对社会交通的干扰, 保护环境, 提升社会效益。

3 公路隧道施工安全风险管理的策略

3.1 完善施工安全管理计划

公路隧道工程施工安全管理期间, 需科学开展地质勘察工作, 识别地质风险, 采用地质雷达、地球物理探测、钻探等对隧道沿线的地质情况进行调查, 绘制详尽的地质图谱, 明确断层、溶洞、软弱围岩等不良地质体的分布位置, 大型隧道工程中施工前综合运用地质勘察方法, 发现原设计未标注的多处溶洞群, 调整施工方案, 避免在施工过程中因溶洞坍塌而引发的重大安全事故。且在实际工作中需合理采用风险评估方法, 例如: 使用风险矩阵法, 构建风险发生概率和后果严重程度的二维矩阵, 将风险划分为低、中、高三个等级, 对于塌方风险, 结合围岩等级、支护参数、施工方法等因素, 评估其发生概率和可能导致的人员伤亡、设备损坏、工期延误, 确定塌方风险的等级, 制定相应的控制措施。对于高瓦斯隧道高风险, 需采取严格的安全措施, 配置多点有害气体检测仪实时监测瓦斯浓度, 设置超标预警系统, 瓦斯浓度超过安全阈值自动启动通风系统, 增加通风量降低瓦斯浓度, 加强瓦斯抽放管理, 提前将瓦斯抽出, 减少隧道内的瓦斯含量。而如若存在软弱围岩, 需采用锚杆增强围岩的稳定性, 喷射混凝土封闭围岩表面预防风化, 利用钢支撑提供额外的支撑力。同时合理设计锚杆的长度、间距、直径、喷射混凝土的厚度, 保证围岩在施工过程中的稳定性^[3]。

3.2 强化施工全过程的安全风险管理力度

3.2.1 设备管理与维护

施工设备安全管理期间需完善, 施工企业应对所有施工设备进行登记造册, 明确设备的型号、规格、购置时间、使用状况等信息。制定设备定期维护计划, 按照计划对设备的机械性能、电气系统、液压系统进行检查。例如: 对于挖掘机, 定期检查发动机的运行状况、液压油的压力和清洁度、履带的磨损情况。构建设备档案, 详细记录设备的维修历史、故障情况、更换的零部件等信息, 了解设备的常见故障、维修周期, 提前做好备件储备与维修准备。且需采用先进的机械安全监测系统实时采集设备的温度、压力、振动, 当设备运行参数出现异常时, 系统自动发出预警信号, 提醒维修人员及时进行检查和维修, 避免设备故障的扩大^[4]。

3.2.2 人员培训与安全意识提升

为提高施工人员安全意识, 改善安全操作技能, 需开展培训活动, 采用课堂讲授、案例分析、现场演示、VR虚拟现实模拟等方式进行安全规程培训, VR虚拟现实技术可模拟各种事故场景, 施工人员在虚拟环境中体验应急处置流程, 提高应急反应能力。例如: 工程项目中利用VR模拟塌方事故场景, 施工人员体验被困在隧道中, 指导其正确使用应急设备进行自救、互救, 提高施工人员的安全意识和应急处置能力。同时构建岗位责任制, 将安全绩效纳入考核体系, 明确各级人员在安全管理中的职责, 从项目经理到一线施工人员, 每个人都承担相应的安全责任。将安全绩效与工资、奖金、晋升等挂钩, 对在安全管理工作中表现优秀的个人和团队进行奖励, 对违反安全规定的行为进行处罚。

3.2.3 环境监测与应急响应

公路隧道施工过程中, 需在施工现场的周边合理布置监测点对噪声、粉尘、废水等污染物进行监测, 噪声监测采用声级计测量施工现场不同位置的噪声强度, 保证其不超过规定的标准限值。粉尘监测采用粉尘采样器, 采集空气中的粉尘样本, 分析粉尘的浓度和成分; 废水监测则对施工现场排放的废水进行采样, 检测其pH值、化学需氧量、悬浮物等指标。灭火器应根据不同的火灾类型进行选择、配置, 干粉灭火器适用于扑救可燃固体、可燃液体和可燃气体火灾; 二氧化碳灭火器适用于扑救精密仪器及电气设备火灾; 消防水源应保证充足的水量及水压, 设置消防水池与消防水泵; 应急照明设备应安装在疏散通道、楼梯间等关键位置, 保证在火灾发生时提供足的照明。定期组织消防演练, 提高施工人员的应急处置能力, 让施工人员熟悉火灾应急处置流程, 掌握灭火器及消防设备的使用方法, 提高其在火灾发生时的自救、互救能力。

3.3 建设施工安全风险管理信息系统

3.3.1 集成化监控平台

为提升施工安全风险管理水平, 需建设集人员考勤、

区域定位、车辆设备出入管理、视频监控、LED屏显示等功能于一体的安全管理系统,实现施工现场全面监控,采用人员考勤系统利用刷卡、指纹识别、人脸识别等技术准确记录施工人员的出勤情况,便于管理人员进行考勤管理、工资核算,区域定位系统采用超宽带、射频识别等技术实时分析现场人员的位置及运动轨迹,人员进入危险区域系统自动发出预警信号。且需采用车辆设备出入管理系统对施工现场的车辆、设备进行登记,记录车辆及设备的进出时间、型号、车牌号等信息,防止未经授权的车辆、设备进入施工现场。同时配置视频监控系统,在施工现场的关键位置安装摄像头实时监控施工过程、周边环境,管理人员借助监控中心或手机客户端随时查看施工现场的情况发现安全隐患,利用LED屏显示系统显示安全警示信息、施工进度、天气情况等内容,提醒施工人员注意安全,在集成化监控平台的支持下,管理人员实时掌握施工现场的人员、设备分布及运动轨迹,便于进行调度、安全监控,发生安全事故后,管理人员借助平台迅速定位被困人员的位置组织救援,提高救援效率^[5]。

3.3.2 智能监测技术应用

公路隧道施工安全风险期间,企业需采用结构监测、火灾监测预警、交通流智能控制技术构建全周期防护体系,提升隧道施工安全水平。此期间需要按照监测系统的情况,利用激光测距仪、机器视觉装备及巡检机器人等对隧道结构进行实时监测。例如:采用激光测距仪精确测量隧道拱顶、边墙等部位的沉降及变形,利用机器视觉装备以图像识别技术检测隧道表面的裂缝、剥落等缺陷,应用巡检机器人自动在隧道内巡查发现异常情况及时报警。且需使用火灾监测系统的多模态感知与深度学习算法实现火灾的早期预警,利用可见光传感器捕捉火灾产生的烟雾和火焰,采用红外传感器检测火灾产生的高温,借助气体传感器检测火灾产生的一氧化碳、二氧化碳。同时,利用深度学习算法对传感器采集的数据进行分析处理判断火灾的发生概率,在毫秒级时间内发出警报,检测到隧道内车辆发生故障系统自动调整后车辆的速度,以可变情报板和广播系统提醒驾驶员注意安全,避免追尾事故的发生,与交通指挥中心进行联动调整周边道路的交通流量,减少事故对社会交通的影响。

4 公路隧道施工安全风险发展趋势

4.1 数字化与智能化转型

近年来,物联网、大数据、人工智能等技术快速发展,

公路隧道施工安全管理正从传统的人工巡检向智能监测转型。基于AI的火灾监测技术是采用可见光、红、气体传感器的多模态感知,结合深度学习算法全方位捕捉温度异常、烟雾浓度变化、气体成分改变等火灾早期特征。深度学习算法可对大量的历史火灾数据进行学习分析,构建火灾预测模型,提高火灾预警的准确性。BIM模型可直观地展示隧道的设计结构及施工过程,管理人员可在模型上进行安全风险的动态模拟。例如:在施工前,BIM模型模拟不同施工方案下的结构受力情况,提前发现潜在的安全隐患,优化施工方案;在施工过程中,实时监测数据与BIM模型进行集成,实现安全状态的实时评估预警。

4.2 全周期风险管理

未来公路隧道施工安全管理将覆盖事前预防、事中控制、事后处置的全流,在隧道施工前对周边地质进行详细勘察,构建地质模型,结合结构监测数据,预测施工过程中可能出现的结构变形及破坏情况,提前采取加固措施。当火灾监测系统发出警报后,自动联动喷淋系统、排烟系统,同时通知管理人员与救援人员。智能交通管控保障事后处置,以交通流调控减少二次事故影响。在事故发生后,及时调整周边道路的交通信号,引导车辆绕行,避免交通拥堵,为救援工作创造有利条件。

5 结语

综上所述,公路隧道施工安全风险十分重要,能保障工程顺利推进,因此面对复杂地质条件与高风险环境,企业需持续创新管理策略,融合前沿技术,构建科学、高效、可持续的风险防控体系,改善整体的施工安全风险,提升工作水平,达到预期的目的。

参考文献

- [1] 马文钊.公路隧道施工安全风险管理的动态评估与应对策略[J].科海故事博览,2025,12(20):44-49.
- [2] 吕华成.公路隧道施工安全风险防控与应急管理策略研究[J].广东安全生产技术,2025(6).
- [3] 刘昌恒.高速公路隧道施工安全技术管理策略思考[J].汽车周刊,2024(2):0151-0153.
- [4] 袁贤王.公路隧道施工安全风险与现场管理研究[J].大众标准化,2023(14):93-95.
- [5] 张二维.高速公路隧道施工新技术与安全管理研究[J].汽车周刊,2024(4):0165-0167.