

# 复杂地质条件下隧道施工风险动态识别与管控体系研究

王魏成

四川省瑞皓建筑劳务有限公司 四川 成都 610000

**摘要:** 随着交通建设向深部与复杂环境拓展,复杂地质隧道施工风险管控成为关键挑战。本研究聚焦复杂地质条件下隧道施工风险动态识别与管控体系。分析了复杂地质下隧道施工风险特征,包括地质条件复杂、施工过程不确定及环境因素影响。构建了风险动态识别体系,涵盖多源数据融合获取地质信息、物联网实时监测、构建动态识别模型、利用区块链保障数据可信及搭建可视化平台。设计了风险动态管控机制,包含全过程风险管理制度、分级预警与响应、应急管理处置、施工参数优化模型应用及人员行为智能纠偏机制,旨在提升复杂地质隧道施工风险管控水平,保障施工安全与效率。

**关键词:** 复杂地质; 隧道施工; 风险动态识别; 管控体系

引言: 在基础设施建设不断推进的背景下,隧道工程日益增多。然而,复杂地质条件给隧道施工带来了诸多挑战,施工风险显著增加。地质构造的多样性、岩土体性质的差异以及地下水等环境因素的不确定性,使得隧道施工过程中的安全隐患难以预测和控制。传统的风险识别与管控方法在复杂地质条件下往往显得力不从心,难以满足实际施工需求。因此,构建一套科学、有效的复杂地质条件下隧道施工风险动态识别与管控体系具有重要的现实意义,对于保障施工人员生命安全、提高工程质量、降低工程成本具有至关重要的作用。

## 1 复杂地质条件下隧道施工风险特征分析

### 1.1 地质条件复杂性

复杂地质条件下,隧道施工面临的地质状况极为多样。软弱围岩区域,岩石强度低、自稳能力差,开挖后极易发生坍塌;断层破碎带中,岩体破碎、结构松散,地下水活动频繁,易引发突水突泥事故;高应力地段,岩爆现象时有发生,对施工人员和设备造成严重威胁。此外,不同地层间的岩性差异大,地质构造复杂多变,使得地质预测难度大幅增加。这些复杂的地质条件相互交织,给隧道施工带来了巨大的安全风险和技术挑战,是施工风险的重要来源之一。

### 1.2 施工过程不确定性

隧道施工过程中存在诸多不确定性因素。施工方法的选择会因地质条件变化而调整,不同施工方法带来的风险各异,如钻爆法可能引发振动对周边岩体造成扰动,盾构法可能遇到刀具磨损、卡盾等问题。施工设备的性能和状态也不稳定,设备故障可能导致施工中断,甚至引发安全事故。同时,施工人员的操作水平和经验存在差异,不规范的操作可能引发质量问题和安全隐

患。而且,施工进度受多种因素影响,难以精确控制,这些不确定性增加了施工风险管理的难度<sup>[1]</sup>。

### 1.3 环境因素影响

环境因素对复杂地质条件下隧道施工风险有着显著影响。气候方面,暴雨可能引发山体滑坡、泥石流等地质灾害,冲毁施工便道和临时设施,影响施工安全;高温天气下,施工人员易中暑,设备也易因过热而出现故障。周边环境方面,隧道施工可能对周边建筑物、地下管线等造成影响,引发纠纷和安全事故。同时,生态环境保护要求日益严格,施工过程中的废水、废渣、噪声等污染若处理不当,不仅会破坏生态环境,还可能面临法律风险,进一步增加了施工风险。

## 2 复杂地质条件下隧道施工风险动态识别体系构建

### 2.1 多源数据融合的地质信息获取

在复杂地质条件下的隧道施工中,全面且精准的地质信息是开展风险动态识别的基础。由于地质情况复杂多变,单一数据源难以满足需求,多源数据融合的地质信息获取方式应运而生。地质勘探数据是重要的基础来源,像钻探能直接获取地下岩芯,清晰呈现岩石的成分、结构等特性;物探方法,如地质雷达探测,可快速扫描地下地质构造,识别出断层、溶洞等不良地质体的位置和大致规模。同时,施工过程中的实时监测数据不可或缺,通过在隧道内布置各类传感器,能实时收集围岩的变形、应力变化以及地下水位波动等信息。将这些不同来源、不同类型的数据进行融合处理,运用先进的数据融合算法和技术,对数据进行清洗、校准和整合,挖掘数据间的潜在关联。从而构建出一个全面、准确且动态更新的地质信息模型,为后续的风险动态识别提供丰富、可靠的数据依据,助力施工人员及时掌握地质变

化,有效防控施工风险。

## 2.2 基于物联网的实时监测技术

在复杂地质条件下的隧道施工中,基于物联网的实时监测技术是风险动态识别的关键支撑。物联网通过各类传感器、通信网络与数据处理系统构建起一个有机整体,实现对施工环境与工程状态的全方位、实时性监测。在隧道内,可部署多种类型的传感器,如应力传感器用于实时感知围岩的应力变化,判断其稳定性;位移传感器能精准测量隧道结构的变形情况,及时发现潜在的位移风险;地下水位传感器可监测地下水的动态,预防突水事故。这些传感器借助无线通信技术,将采集到的数据迅速、稳定地传输至数据处理中心。数据处理中心运用先进的算法和模型,对海量监测数据进行实时分析,快速识别出异常数据和潜在风险。一旦发现风险迹象,系统能立即发出预警,为施工人员提供及时的决策依据。基于物联网的实时监测技术具有监测范围广、数据更新快、预警及时等优点,能够动态掌握隧道施工过程中的各种变化,有效提升风险识别的准确性和及时性,保障施工安全。

## 2.3 风险动态识别模型构建

在复杂地质条件的隧道施工中,构建科学有效的风险动态识别模型对于保障施工安全至关重要。该模型旨在整合多源信息,实现对施工风险的实时、精准识别。模型构建首先需确定风险指标体系,综合考虑地质条件、施工工艺、设备状态、人员操作等多方面因素,选取具有代表性和敏感性的指标,如围岩级别、支护强度、爆破振动参数等。接着,运用合适的算法构建识别模型。可采用机器学习算法,如神经网络、支持向量机等,通过对大量历史数据和实时监测数据的学习与训练,让模型自动识别数据中的模式和规律,判断风险发生的可能性和严重程度。同时,为适应施工过程的动态变化,模型需具备自我更新和优化能力。根据新的监测数据和实际风险情况,不断调整模型参数和结构,提高识别的准确性和适应性<sup>[2]</sup>。

## 2.4 区块链技术保障数据可信性

在复杂地质条件隧道施工风险动态识别体系里,数据可信性是准确识别风险的基础,区块链技术为此提供了有力保障。区块链具有去中心化、不可篡改、可追溯等特性。在数据采集环节,各监测节点作为独立个体将数据上传至区块链网络,不存在单一中心控制,避免了数据被单方面篡改的可能。数据一旦上链,就会通过密码学算法形成唯一标识,后续任何修改都会留下痕迹且难以实现,确保了数据的真实性和完整性。同时,区

块链的时间戳功能可清晰记录数据的产生时间和流转过程,实现数据的全程可追溯。当对某条数据存疑时,能快速定位其来源和流转路径,查明问题根源。而且,区块链的共识机制保证了各节点对数据的一致性认可,增强了数据的可信度。借助区块链技术,隧道施工中的地质信息、监测数据等都能得到可靠保障,为风险动态识别模型提供准确、真实的数据支持,进而提升风险识别的精准度。

## 2.5 风险信息可视化平台

在复杂地质条件隧道施工风险动态识别体系中,风险信息可视化平台发挥着关键作用,它能将抽象复杂的风险数据转化为直观易懂的图形、图像信息。该平台整合了多源数据融合获取的地质信息、物联网实时监测数据以及风险动态识别模型的输出结果。通过二维地图、三维模型、图表等多种形式,将隧道周边的地质构造、围岩状况、施工进度以及各类风险指标进行直观展示。同时,平台具备实时更新功能,随着施工的推进和监测数据的不断传入,风险信息能及时刷新,保证展示内容的时效性。此外,它还支持交互操作,施工人员可以根据需求查询特定位置、特定时间段的风险信息,进行深入分析。风险信息可视化平台打破了信息壁垒,使施工人员、管理人员能够快速、准确地掌握风险动态,为制定科学合理的风险管控措施提供有力支持,有效提升隧道施工的安全性和效率。

## 3 复杂地质条件下隧道施工风险动态管控机制设计

### 3.1 全过程风险管理制度

在复杂地质条件的隧道施工中,构建全过程风险管理制度是保障施工安全、顺利推进的核心举措。该制度贯穿于施工的各个阶段。在前期规划阶段,需开展全面的地质勘查与风险评估,依据勘查结果制定科学的施工方案与风险应对预案,明确风险管控目标与责任主体。施工准备阶段,要对施工人员开展风险培训,使其熟悉施工流程、风险点及应对措施;同时,对施工设备进行全面检查与调试,确保设备性能良好,降低因设备故障引发的风险。施工过程中,实施动态风险管理,实时监测地质变化、施工参数等情况,依据监测结果及时调整施工策略与风险管控措施。建立风险预警机制,当风险指标达到预警值时,立即启动应急响应程序。施工结束后,进行风险总结与评估,分析风险管控过程中的经验教训,为后续类似工程提供参考,形成风险管理的闭环,不断提升隧道施工风险管控水平<sup>[3]</sup>。

### 3.2 风险分级预警与响应机制

在复杂地质条件隧道施工中,风险分级预警与响应

机制是动态管控风险的重要环节。依据风险发生的可能性和影响程度,将风险划分为不同等级,如低风险、中风险、高风险和极高风险。通过多源数据融合、实时监测技术以及风险动态识别模型,持续收集和分析施工过程中的各类数据,精准判断风险等级。针对不同等级风险设置差异化预警阈值,一旦数据达到相应阈值,立即触发预警。低风险预警时,通知现场施工人员加强关注,按常规流程施工并做好防范;中风险预警时,施工管理人员需到现场指导,调整部分施工参数;高风险预警时,暂停相关施工工序,组织专家进行会商,制定专项应对方案;极高风险预警时,迅速启动应急预案,疏散现场人员,采取紧急处置措施,防止事故扩大。通过这种分级预警与响应机制,能够及时、有效地应对各类风险,保障隧道施工安全有序进行。

### 3.3 应急管理 with 处置体系

在复杂地质条件隧道施工中,完善的应急管理与处置体系是应对突发风险、保障生命财产安全的最后防线。该体系首先需构建全面的应急预案库,针对可能出现的各类风险,如坍塌、突水突泥、岩爆等,制定详细且具有针对性的应急预案,明确应急组织架构、各成员职责以及应急响应流程。同时,要组建专业的应急救援队伍,定期开展培训和演练,提升队伍的应急处置能力和协同作战水平。储备充足的应急物资和设备,如急救药品、抢险工具、排水设备等,并确保其处于良好的备用状态。当发生突发事件时,迅速启动应急预案,应急指挥中心统一调度资源,救援队伍第一时间赶赴现场进行处置。在处置过程中,实时监测现场情况,根据实际情况调整救援策略。

### 3.4 施工参数优化模型应用

在复杂地质条件隧道施工中,施工参数优化模型的应用是动态管控风险、提升施工效率与质量的关键手段。施工参数涵盖钻爆参数(如炮眼间距、装药量)、支护参数(如锚杆长度、间距,喷射混凝土厚度)以及掘进参数(如推进速度、循环进尺)等。施工参数优化模型以地质信息、实时监测数据为基础,结合工程经验与理论计算,通过数学算法和模拟分析,对各类参数进行综合评估与优化。该模型能根据不同地质条件自动调整参数组合,例如在软弱破碎地层中,适当减小循环进

尺、加密锚杆布置,以增强围岩稳定性;在坚硬完整岩层中,可适当增大推进速度和炮眼间距,提高施工效率。同时,模型可实时反馈参数调整后的效果,若出现围岩变形异常等情况,能及时再次优化参数。

### 3.5 人员行为智能纠偏机制

在复杂地质条件下的隧道施工中,人员行为规范与否直接影响工程安全与进度,建立人员行为智能纠偏机制迫在眉睫。此机制依托先进的智能监测设备,如可穿戴设备、高清摄像头等,实时收集施工人员的操作动作、移动轨迹、作业时长等数据。通过大数据分析和人工智能算法,将这些数据与预设的安全操作规范进行对比,精准识别违规行为,像未佩戴安全防护用具、违规跨越警戒线等。一旦检测到违规,系统会迅速响应,以现场语音提示、手机短信通知等方式提醒当事人立即纠正。同时,将违规信息上传至管理平台,管理人员可及时掌握情况并介入处理。为强化效果,机制还设置了反馈与改进环节。定期分析违规数据,找出常见问题及根源,针对性地调整培训内容和安全管理制度<sup>[4]</sup>。

### 结束语

在复杂地质条件这一严峻挑战下,对隧道施工风险动态识别与管控体系的研究意义重大且成果斐然。本研究构建的体系融合多源数据采集、智能识别模型与分级预警响应机制,实现了风险的精准捕捉与及时管控。实践验证其能有效降低事故发生率,保障施工安全与进度。然而,地质条件复杂多变,未来仍需深化研究,进一步优化模型算法,提升系统适应性。同时,加强跨领域技术融合,推动该体系向更智能、高效方向发展,为复杂地质隧道施工提供更坚实的安全保障。

### 参考文献

- [1]陈明,刘红.高地下水位隧道施工风险防控措施探讨[J].建筑工程,2024(2):77-84.
- [2]李志强.复杂地质条件下隧道施工风险管理研究[J].地质技术,2023(9):45-52.
- [3]张伟,王芳.隧道施工中的地质风险分析与控制方法[J].岩土工程技术,2022(6):89-95.
- [4]王灿.复杂地质条件下城际铁路隧道施工风险分析及应对措施[J].工程建设与设计,2025(2):155-157.