

铁路隧道施工安全管理及风险预警技术应用研究

梁鹏

中铁二十二局集团第四工程有限公司

摘要：铁路隧道施工是一项风险较高的工程活动，为了保障施工人员的生命安全和项目的顺利进行，隧道施工安全管理及风险预警技术应用研究变得尤为重要。本文基于对铁路隧道施工安全管理及风险预警技术的调研和实践经验，对其进行了深入研究和探讨。本文介绍铁路隧道施工安全管理的重要性，探究目前常见的隧道施工风险，并探讨了风险评估与预警技术的应用。根据实践证明，通过对施工现场进行风险评估，可以对潜在的风险进行快速识别，从而采取相应的预防措施。同时，结合先进的监测技术和数据分析方法，实现对施工风险的实时监测，及时采取措施，避免发生严重的安全事故。

关键词：铁路隧道施工；安全管理；风险评估；预警技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.12.046

一、前言

近年来，信息技术迅猛发展，风险预警技术在铁路隧道工程中的应用也日益普及。风险预警技术能通过实时监测、数据分析、预测模型等手段，提前发现潜在的安全风险，并及时采取相应的措施进行预防。基于此，本文将深入探讨铁路隧道施工安全管理及风险预警技术的应用，介绍施工中存在的安全隐患和风险因素，分析其对施工过程的影响，详细阐述隧道施工安全管理的重要性，并提出一套科学合理的管理措施和方法，将探讨风险预警技术在隧道施工中的应用，并提出相应的发展方向和改进建议。通过对铁路隧道施工安全管理及风险预警技术的研究，为我国铁路交通建设提供科学指导和技术支持，促进铁路隧道施工的安全性、高效性和可持续发展。同时，也可以为其他相关领域的安全管理和风险预警提供借鉴，推动我国安全生产的不断发展^[1]。

二、工程概述

本标段位于北京大兴区、河北廊坊广阳区境内榆安1号隧道里程DK35+770~DK37+250和榆安2号隧道DK38+350~DK40+300，隧道全长3.43km，采用明挖，放坡+钻孔灌注桩围护+钢支撑支护型式。基坑开挖深度大，开挖深度22.0~24.0m，开挖宽度13.6m~15.7m。施工安全风险高，线路长，断面型式多，涉及专业多，工作面小，征地迁改数量较多，安全和质量控制难度大，为该标段重难点工程。

沿线涉及礼贤清真寺文物保护单位，经过大兴区、廊坊市广阳区多个乡镇，部分地段人口密集；沿线地下水为第四系孔隙潜水，赋存于第四系松散堆积层中，局部具承压性，其中砂类土层中水量丰富。沿线地下水埋深变化较大，水位埋深7.4~22.2m（高程1.63~16.95m），水位季节性变幅3~5m，主要含水层

为砂类土，粉细砂为主，由大气疏干及地表水渗透补给，排泄以蒸发、向深层承压水渗透和人工开采为主。

三、铁路隧道施工安全管理和风险预警方案

（一）铁路隧道结构监控量测内容

在施工过程中，结构监控量测是一项重要的技术手段，能实时监测隧道结构的变形和运动情况，及时发现问题，并采取相应的应对措施^[2]。隧道结构监控量测内容包括如下方面：

（1）地质监测，通过地质勘探和监测，了解地层情况、岩层裂缝、地下水位等信息，为隧道施工提供参考。其次是隧道开挖的监测，包括隧道轮廓的测量、地表沉降的监测、围岩变形的观测等。这些数据可以及时反映隧道施工的进展和影响，为工程管理提供依据。

（2）隧道结构监测。包括隧道衬砌的测量，通过测量衬砌的尺寸、倾斜度等参数，判断衬砌的质量和变形情况。同时，还需要对隧道内部进行监测，包括隧道内部空气质量的监测、地下水位的测量等，这些数据能及时掌握隧道内部环境变化，为安全管理提供参考。

（3）技术手段。随着现代科技快速发展，使得监测仪器和设备愈发先进，如激光扫描仪、GNSS定位系统、倾斜传感器等高精度测量设备，能提供准确的数据。同时，数据处理和分析软件的应用，也使得监测数据能够更好地服务于工程管理。

以上仅是隧道结构监控量测内容的一部分，具体的监测项目还可根据实际情况进行调整和补充。在监测过程中，需要使用专业的监测设备，并配合数据分析和处理软件，对监测数据进行实时分析，及时采取相应的措施^[3]。

（二）铁路隧道施工安全管理和风险预警模型

使用三层系统结构的隧道施工安全监测预警系统，首先进行地质资料的先期预测，然后实现监测资料的自动采集，并将监测数据存储于数据库中。数据库层负责对先前采集的数据进行分类存储，并根据实际情况智能地进行数据分析、判断、集成和风险预警报告等工作。数据访问/展示层则通过强大的GIS平台，提供及时便捷的查询功能，使用户能够查看预警信息、风险情况和应急处理情况。同时，该系统还将先前的数据可视化和信息化展示，以直观地呈现预警信息（如图1所示）。

（三）铁路隧道施工安全管理和风险预警平台结构

这套系统设计采用3层结构的模式。首先是前端，包括自动化检测设备、人工监测量测和超前地质预报等监测数据采集平台。其次是中档，涵盖了多种数据传输方式，如GPRS方式、因特网和无线方式等。最后是后端，基于地理信息系统为基础，包括地理信息系统地图模块、监控数据采集模块、监控实时分析模块以及巡查监控和动态风险评估的安全管理与风险预警平台^[4]。

（四）铁路隧道施工安全管理和风险预警平台的功能

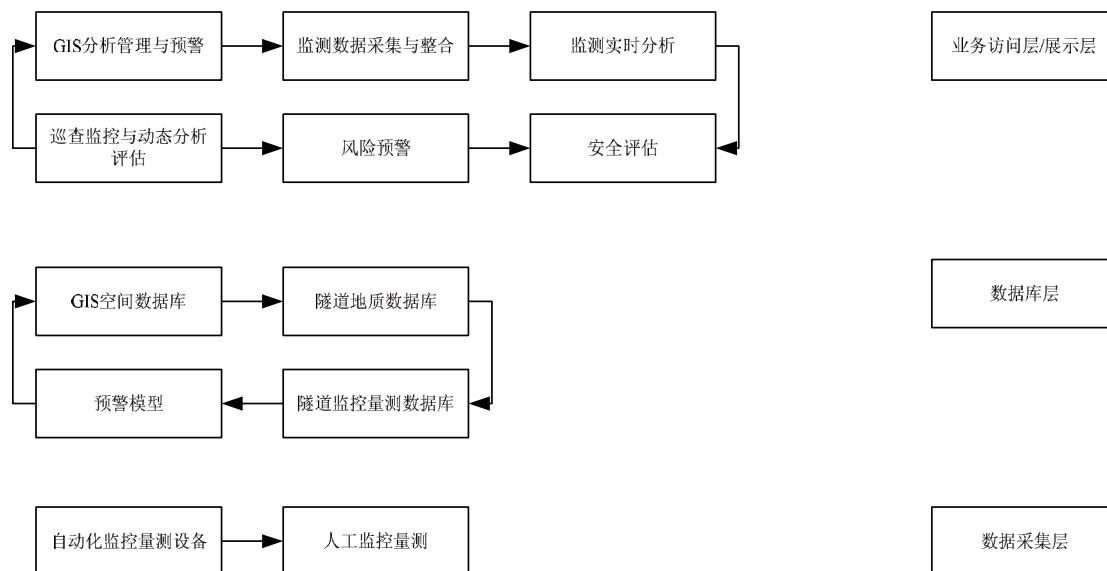


图1 铁路隧道施工安全监测和预警模型

隧道施工安全管理和风险预警平台是为了提高隧道施工安全管理水平而开发的一种技术工具。该平台主要包括监测数据的采集与整合、监测实时分析、安全评估、风险预警等功能。下面将详细介绍这些功能。

(1) 监测数据的采集与整合。通过安装传感器和监测设备，可以实时采集隧道施工过程中的相关数据，如温度、湿度、振动、位移等。这些数据将会被收集并整合到平台中，以便后续分析和评估。

(2) 监测实时分析。通过对采集到的数据进行实时分析，可以及时发现隧道施工过程中的异常情况和潜在风险。例如：如果采集到的温度数据超过了预设的范围，系统将会自动发出警报，以提醒工作人员采取相应的措施。这样可以帮助管理人员及时做出决策，保障施工安全。

(3) 安全评估是隧道施工安全管理和风险预警平台的重要功能。基于采集到的数据，系统可以对隧道施工过程中的安全状况进行评估。通过建立一套科学的评估方法和指标体系，可以对不同阶段的施工安全进行量化评估，并生成相应的报告。这可以帮助管理人员了解施工现场的实际安全情况，及时发现和解决存在的问题。

(4) 风险预警。基于监测数据的分析和安全评估结果，系统可预测隧道施工中可能出现的风险，并及时发出预警。例如，如果监测数据显示隧道周围的地质结构存在异常，系统将会发出风险预警，以便采取相应的防范措施。这样可以有效减少施工事故的发生，保障施工人员的生命安全^[5]。

四、隧道施工安全管理

(一) 危险源辨识

为了确保施工过程中的安全，必须进行有效的安全管理对施工阶段的风险进行评估。

(1) 风险评估程序。根据该工程的施工特点，结合《铁路建设工程风险管理技术规范》(Q/CR-9006-

2014)和《铁路隧道工程风险管理技术规范》(Q/CR9247-2016)以及该工程工程建设实际情况，按照施工阶段风险评估流程图进行本工程风险评估。(如图2所示)

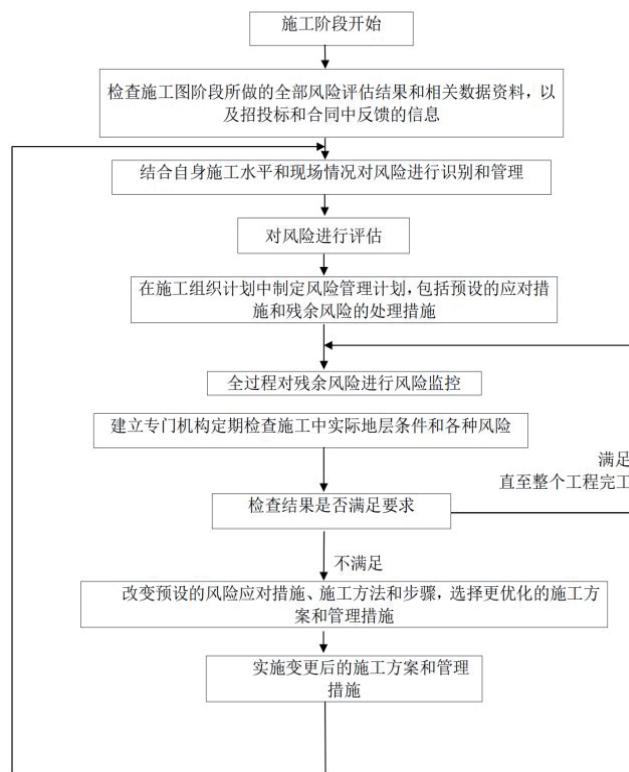


图3 施工阶段风险评估流程图

(2) 危险源辨识，从高空坠落、坍塌、机械伤害等方面分析，并提出相应的安全管理措施。例如：由于隧道内的通风条件不佳，施工过程中可能会产生一些有害气体，如一氧化碳、硫化氢等。这些有害气体会对施工人员的健康造成严重威胁，甚至导致中毒或窒息。因

此, 在施工前需要进行充分的通风处理, 确保隧道内空气的质量达到安全标准。同时, 施工人员需要佩戴适当的防护装备, 如防毒面具、防毒服等, 以防止有害气体对身体健康的影响。

(3) 高空坠落。在隧道施工中, 由于施工面积有限, 工人常常需要在高处作业, 一旦不慎掉落, 就可能造成严重伤害甚至生命危险。因此, 在施工现场必须设置合适的防护设施, 如安全网、安全带等, 确保工人的安全。同时, 施工方还需要进行全员培训, 提高工人的安全意识, 加强对高处作业的管理和监督。

(4) 机械伤害。在施工过程中, 各种机械设备如挖掘机、铲车等都可能引发事故。因此, 在施工现场必须设置合适的安全警示标志, 禁止非作业人员进入危险区域。为了保障施工人员的生命安全和工程的顺利进行, 必须实施科学合理的安全管理措施, 主要包括制定详细的施工方案和施工组织设计, 严格执行施工规范和操作规程, 加强现场监管和安全教育培训等。同时, 施工方还需对操作人员进行专业培训, 提高其操作技能和安全意识。在机械设备维护和保养方面, 也需严格按照规定程序进行, 确保设备的正常运行和安全使用。

(二) 危险源处理措施

针对高空坠落, 在施工过程中, 工人可能需要在高处进行作业, 如悬挂脚手架。为了防止高空坠落事故发生, 必须配备合适的个人防护设备, 如安全带和安全帽, 悬挂脚手架要经过合格的安全检查, 并严格按照操作规程进行使用; 对于坍塌风险。在地下施工中, 土壤的稳定性是关键, 为了防止坍塌事故, 工作人员要进行地质勘探, 根据勘探结果采取相应的支护措施, 如设置支撑框架、使用地下注浆技术; 针对机械伤害。在使用各种机械设备时, 操作人员必须经过专业培训, 按照操作规程进行操作。同时, 机械设备必须定期维护和检修, 确保其正常运行。在施工现场, 必须设置明显的警示标志和警戒线, 提示人员不得靠近机械设备作业区域^[6]。

五、隧道施工风险预警技术

(一) 风险预警流程

隧道施工风险预警技术是在隧道施工过程中, 通过采集相关数据, 及时发现潜在的风险因素, 并采取相应的措施来防范风险的技术手段。风险预警流程是指在隧道施工过程中, 从风险的识别到风险的评估和控制的全过程。首先, 风险识别。在隧道施工过程中, 需要对可能存在的风险因素进行全面的调查和研究, 包括地质条件、水文环境、施工设备等方面的因素。通过对相关数据的分析和评估, 可以初步确定潜在的风险因素; 其次, 风险评估。在风险评估过程中, 需要对潜在的风险因素进行定量或定性的评价, 确定其对施工安全的影响程度和可能发生的频率。通过建立风险评估模型, 对风险进行综合评估, 为后续风险控制提供依据; 然后, 风险的控制。在风险控制过程中, 需要采取相应的措施来降低潜在风险的发生概率和影响程度, 包括选择适当施工方法、加强施工监管、提高施工人员安全意识等方面的措施; 最后, 风险的监测与反馈。在施工过程中, 要

对风险因素进行持续监测, 及时获取相关数据, 并对风险的发展趋势进行分析。还要及时向相关责任人反馈风险信息, 以便他们能及时采取相应的措施^[7]。例如: 榆安1号隧道、榆安2号隧道工程风险处理时, 设止水帷幕段基坑采用坑内降水, 确保基坑内没有明水作业; 地下水位低于基底的可根据情况设置地下水位观测井, 及时掌握地下水位变化情况, 坚持信息化施工运行。根据地下水位情况, 对地下水采取合理的处理措施:

1) 任何一层土方开挖前, 应先检查观测井水位, 是否控制在设计要求安全水位以下, 不可盲目开挖, 避免出现透水、突涌事故。

2) 沿线基坑侧壁存在粉砂地层, 地层自稳性差, 为防止基坑开挖过程桩间砂层出现流沙现象, 确保基坑施工安全, 对该地层的基坑侧壁采用小导管注浆加固。

3) 基坑放坡坡顶及坡底两侧设置侧沟, 防止明水流入基坑内。

(二) 风险预警功能

隧道施工风险预警技术是指在隧道施工过程中, 通过各种手段和设备对潜在风险进行预警, 并及时采取相应的措施来降低事故发生的可能性。警报功能是隧道施工风险预警技术的基本功能, 当监测设备检测到隧道施工中存在潜在的风险时, 如地质变化、裂缝出现等, 系统会立即发出警报。这样, 施工人员能迅速采取相应的应对措施, 避免发生安全事故。而矫正功能是隧道施工风险预警技术的重要功能, 当预警系统发出警报后, 施工人员可根据警报信息进行判断和分析, 找出导致风险的原因, 并采取相应的矫正措施。

综上所述, 铁路隧道施工安全管理和风险预警技术的应用是确保隧道施工安全的重要手段。通过科学合理的安全管理和现代化的风险预警技术的应用, 可以提高施工的安全性和效率, 减少事故的发生概率。然而, 技术的推广应用和各方合作仍面临一些挑战, 需要进一步研究。希望本研究能够为相关领域的工程实践提供参考, 并促进隧道施工安全管理和风险预警技术的进一步发展。

参考文献

- [1] 苏一夫. 高原隧道施工安全管理与风险预警技术应用[J]. 同行, 2021(7): 139-140.
- [2] 贾佳杰. 铁路隧道施工安全管理及风险预警技术应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2021(1): 1041.
- [3] 任飞. 铁路隧道施工安全管理及风险预警应用分析[J]. 石油石化物资采购, 2022(24): 189-191.
- [4] 工程施工企业“云网端一体化”安全管理实践[J]. 国企管理, 2021(15): 78-85.
- [5] 崔桐赫, 郭祥, 李春红, 等. 智能铁路BIM数字化建设管理系统设计与应用[J]. 铁路计算机应用, 2023, 32(7): 25-28.
- [6] 王宗华. 风险预警机制在涉铁施工安全管理中的应用[J]. 城市建筑与发展, 2022, 3(9).
- [7] 孔祥芳, 胡哨刚, 刘晓波, 等. 基于风险预警的铁路车务系统安全管理策略探讨[J]. 交通企业管理, 2021, 36(4): 99-101.