

基于智能化风险评估的高速公路施工安全体系构建

朱秀霞

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要:针对高速公路施工风险复杂多变、传统人工管控精准度低、时效性差、体系碎片化等突出问题,本文依托物联网、大数据智能化技术,构建全流程动态风险评估模型,建立多维度风险指标体系与分级预警机制。从技术、制度、人员等层面搭建一体化施工安全管控体系,形成预判、管控、复盘的闭环管理模式。研究旨在破解传统管控短板,推动施工安全管理向数据驱动转型,提升高速施工安全防控科学化与精细化水平。

关键词:智能化风险评估;高速公路施工;安全体系构建

引言:高速公路施工工序繁杂、作业环境复杂、交叉施工多,存在多重安全风险,极易引发安全事故。传统依靠人工巡检、静态制度管控和事后处置的管理模式,难以适配现代化施工安全管控需求,存在风险识别滞后、评估不精准等诸多短板。为提升施工安全管控效能,本文引入智能化风险评估技术,搭建系统化、动态化的施工安全管理体系,为高速公路施工安全防控、降低事故风险、完善安全管理体系提供全新的实践路径。

1 高速公路施工安全风险与传统管控问题分析

1.1 高速公路施工安全风险特征与类型

(1) 施工安全风险核心特征:具备复杂性、突发性、动态性、连锁性,受地形地貌、天气环境、施工设备、人员操作、工序交叉等多因素叠加影响,风险耦合效应显著。(2) 自然环境风险:包含暴雨、大风、高温、霜冻等极端天气,以及山区边坡、软土地基、沟壑地形等地质环境带来的施工风险,具有不可控性与季节性特征。(3) 人为操作风险:涵盖施工人员违规操作、安全意识薄弱、专业技能不足、岗前培训不到位等人为隐患,是安全事故的主要诱因之一。(4) 设备与工序风险:包括施工机械老化、设备运维不当、特种设备违规使用,以及路基、桥梁、隧道、路面交叉施工的工序冲突风险,易引发机械伤害与结构安全隐患。

1.2 传统高速公路施工安全管控模式

(1) 人工巡查管控模式:主要依靠安全管理人员定时定点现场巡检、逐项排查隐患,以人工经验判断风险等级并做出处置决策,该模式管控方式灵活但效率偏低、受主观因素影响较大,难以满足大规模施工区域的管控需求。(2) 静态制度管控模式:依托既定的安全管理制度、施工规范与标准开展日常管控,风险评估多为

阶段性静态核查,无法动态适应施工进度变化、环境条件改变及突发状况,管控时效性明显不足。(3) 事后处置管控模式:传统管控重心长期偏向事故发生后的整改落实与责任追究,以事后总结、被动应对为主,缺乏事前预判预警与事中动态干预调控机制,管理链条存在明显缺口^[1]。

1.3 传统安全管控存在的核心问题

(1) 风险评估精准度不足:长期依赖人工经验进行风险定性评估,缺少量化数据支撑与科学分析手段,对隐蔽性风险、动态变化风险识别能力薄弱,风险等级判定偏差较大,难以指导精准防控策略制定。(2) 管控实时性与全面性欠缺:人工巡检方式存在明显的盲区与滞后性,无法实现施工全时段、全区域的风险连续监测与覆盖,隐患发现不及时、响应不到位,容易使初期风险积累演变为安全事故。(3) 管控体系碎片化:风险识别、评估研判、预警发布、整改落实等各环节之间衔接不顺畅、信息传递不及时,缺乏一体化的闭环管理机制,导致问题整改闭环率偏低,整体管控效能受限。(4) 智能化技术应用不足:现阶段智能监测设备、大数据分析技术、物联网感知手段等应用较为零散,未形成系统化、常态化、集成化的智能管控体系,先进技术对安全管理的赋能效应尚未充分释放。

2 高速公路施工智能化风险评估模型构建

2.1 智能化风险评估总体框架与原则

(1) 评估总体框架:搭建“数据采集-数据预处理-风险指标分析-风险等级判定-动态预警”的全流程智能化风险评估框架,各环节以数据流为纽带紧密衔接,形成闭环联动的评估体系,确保从原始数据到预警输出的转化高效有序。(2) 科学性原则:基于高速公路施工规

范与安全理论,结合工程实际设置评估指标,指标体系需经专家评审与现场实测双重验证,保证评估结果真实可靠、客观准确,具备工程实用价值。(3)动态性原则:适配施工全流程动态变化,实时更新风险数据,实现风险状态的动态评估与评估结果的动态更新,确保模型能够随施工阶段推进和环境条件改变及时响应,始终保持评估时效性。(4)全面性原则:覆盖人员、设备、环境、工序、管理五大维度,全面囊括各类施工安全风险源,通过多维度交叉关联分析,有效规避单维度评估导致的风险遗漏。

2.2 智能化风险评估指标体系建立

(1)人员安全风险指标:包含人员持证上岗率、安全培训合格率、违规操作频次、在岗状态监测数据等二级指标,从资质准入、素质能力、作业行为三个层面综合表征人员风险水平,实现对人的不安全行为的全面量化评估。(2)设备安全风险指标:涵盖设备完好率、定期运维率、特种设备检测合格率、机械运行异常数据等二级指标,实现对设备设施从日常维护保养到实际运行状态的全方位、全周期风险监控^[2]。(3)环境安全风险指标:包括气象监测数据、地质监测数据、施工现场防护条件、周边环境隐患等二级指标,动态捕捉自然环境和作业环境中各类不安全因素的实时状态与发展演变趋势。(4)管理与工序风险指标:包含安全制度落实情况、工序衔接合规率、隐患整改闭环率、应急管理水平等二级指标,从组织管理效能角度系统衡量安全管控体系的运行质量与综合成效。

2.3 智能化风险评估模型搭建

(1)风险数据采集:依托物联网传感器、视频监控、人员定位设备、设备监测终端等技术装备,按施工区域与作业类型科学合理布设数据采集节点,实时采集施工现场各类风险数据,确保数据来源连续稳定、覆盖全面无死角。(2)数据预处理:通过大数据技术对采集到的原始数据进行清洗、筛选、分类等预处理操作,剔除无效数据与异常噪声,统一数据格式与标准规范,有效提升数据精准度与可用性,为模型运算分析奠定坚实可靠的数据基础。(3)风险等级量化判定:综合运用层次分析法、模糊综合评价法,对各层级指标权重科学赋值,将综合风险计算结果划分为低、中、高、极高四个等级,实现风险从定性描述到定量分级的科学转换与精准判定。(4)动态评估模型优化:基于施工进度推进与作业场景变化,实时动态调整各指标权重参数,引入反馈修正机制,持续优化模型适应能力与精度,实现全周期动态风险评估,确保评估结果始终贴合施工现场实际

状况^[3]。

2.4 风险预警机制设置

(1)分级预警标准:对应四级风险等级,设置蓝色、黄色、橙色、红色四级预警标准,逐级明确各级预警触发的量化阈值与判定条件,确保预警启动规范统一、标准明确、有据可依。(2)多渠道预警推送:通过智能管控平台、手机 APP 终端、现场声光报警设备等多种渠道,实时向各级管理人员与施工班组分层级精准推送预警信息,构建多维度、全覆盖的预警信息传播网络,确保预警信息及时有效传递。(3)预警闭环处置机制:明确各级预警对应的整改责任人、整改时限与标准处置流程,建立预警、整改、复核、销号全闭环管理链条,配套跟踪督办机制,切实保障每条预警信息均有响应、有处置、有反馈、有记录、有实效。

3 基于智能化风险评估的高速公路施工安全体系构建与保障

3.1 安全体系构建总体目标与架构

(1)总体目标:依托智能化风险评估技术,构建全覆盖、动态化、精准化、闭环式的高速公路施工安全管理体系,实现安全风险事前预判、事中管控、事后复盘的全程闭环管理,推动施工安全管理从传统的经验驱动型向数据驱动型根本转变,全面降低施工安全事故发生率与损失程度,切实保障施工人员生命财产安全和工程建设顺利推进,为高速公路施工安全管理现代化转型提供系统性的解决方案。(2)整体架构:搭建“技术支撑层、风险评估层、管控执行层、监督复盘层”四层一体化安全管理体系架构。其中,技术支撑层作为体系的基础底座,承担多源数据采集、传输、存储与平台运行维护职能;风险评估层居于架构核心位置,负责风险识别、量化分析、等级判定的核心计算功能;管控执行层依据评估结果落实具体管控措施与现场处置指令;监督复盘层对体系运行全过程实施监督评价与阶段性总结反馈。四层架构之间通过标准化数据接口与规范化业务流紧密衔接,各层级纵向贯通、横向协同、闭环运行,形成有机统一的安全管理整体。

3.2 智能化施工安全体系核心模块

(1)智能数据采集与监测模块:全面整合物联网传感器、视频 AI 识别、人员定位、设备运行监测等技术手段,按施工区域、工序特点与风险等级分类部署数据采集终端,实现施工现场人、机、环、管全要素全天候实时监测与自动采集上传,确保数据来源连续稳定、覆盖全面无死角,为体系运行提供坚实可靠的数据基

础^[4]。(2) 动态风险评估与预警模块: 依托已构建的智能化风险评估模型, 实时接收并深度分析前端监测数据, 自动精准判定当前风险等级并触发分级预警, 实现风险状态分钟级动态更新, 确保评估结果与施工现场实际保持高度同步, 有效破解传统静态评估滞后性突出的难题。(3) 智能安全管控执行模块: 针对不同等级风险, 系统自动匹配对应的标准化管控方案库与处置措施清单, 精准指导现场隐患整改、施工工序优化、人员设备调度管控等工作, 实现从风险识别到管控执行的快速响应与精准施策, 显著提升现场安全处置效率。(4) 数据复盘与优化模块: 系统全面汇总施工全过程风险监测数据、整改记录与预警处置信息, 定期开展阶段性安全复盘分析, 深度挖掘隐患成因规律与管控薄弱环节, 据此持续优化风险评估模型参数与管控策略, 形成螺旋上升、持续改进的闭环优化机制。

3.3 安全体系运行流程设计

(1) 前期风险预判: 施工准备阶段, 依托智能化评估模型, 结合施工组织设计方案、场地地质环境勘察数据、设备人员配置信息等基础资料, 完成初始风险综合评估, 科学制定前置防控方案, 明确各施工阶段重点管控对象与关键风险源, 细化针对性防控措施, 将安全关口前移至施工启动之前, 从源头上压缩风险空间。(2) 施工动态管控: 施工过程中持续采集现场实时数据, 动态更新风险状态并自动量化评估等级, 一旦触发预警阈值立即启动分级响应程序, 快速落实整改措施并实时跟踪整改进度与效果, 实现风险早发现、早预警、早处置的闭环管理, 切实将安全隐患消除于萌芽状态, 有效遏制事故演化链条。(3) 事后复盘优化: 分项工程或施工阶段完工后, 系统全面梳理风险管控全过程数据记录, 深入分析隐患成因机理与管控措施实际效果, 编制形成阶段性安全评估报告, 为后续同类工程施工安全管控策略优化提供翔实的数据支撑与科学决策依据, 实现经验积累与管理能力持续提升的良性循环。

3.4 体系落地实施保障措施

(1) 技术保障: 搭建集成数据采集、风险分析、预警推送、整改跟踪等功能的一体化智能安全管控平台, 建立模型定期校验与算法更新机制, 持续优化风险评估

模型精度与响应速度, 同步升级智能监测终端设备, 加强网络安全防护能力建设, 保障技术体系运行稳定、数据精准可靠。(2) 制度保障: 完善智能化安全管控配套管理制度体系, 明确各层级、各岗位智能化管控工作职责、标准操作流程与绩效考核指标, 将智能化评估结果纳入日常安全管理考核范畴, 建立体系运行定期评估与持续改进制度, 以健全的制度规范保障体系常态化规范运行。(3) 人员保障: 开展全员智能化安全管理专项培训, 分层级、分岗位制定针对性培训方案, 重点提升管理人员智能设备操作能力、风险数据分析解读能力及智能管控系统综合应用水平, 建立岗位能力考核评估机制, 确保各岗位人员均具备体系运行所需的能力素质。(4) 资金与设备保障: 将智能监测设备采购部署与信息化平台建设运维资金纳入项目专项预算, 建立长效资金保障机制, 制定设备定期运维保养与检测更新制度, 设立设备运维专项基金, 确保各类监测终端与管理平台持续稳定运行, 积极推进设备国产化替代进程, 为安全体系高效运转提供坚实的物质基础与硬件支撑。

结束语

本文结合高速公路施工安全管控痛点, 完成智能化风险评估模型搭建与闭环安全管理体系构建, 有效解决了传统管控精准度不足、动态管控缺失等问题。通过多维度保障措施支撑体系落地, 实现施工安全全时段、全方位智能化管控。此次研究构建的体系可有效提升施工安全防控能力, 助力高速公路施工安全管理现代化升级, 也可同类基建工程安全管控工作提供参考与借鉴。

参考文献

- [1] 段晓晨, 邢文豪. 道路工程全线建设安全风险预测与控制方法模型研究 [J]. 运筹与管理, 2025, 34(10): 80-86.
- [2] 夏凯, 惠子南. 数字孪生驱动的智慧工地安全协同管控平台 [J]. 计算机应用研究, 2023, 40(9): 289-295.
- [3] 李焱坤, 袁瑛. 高速公路施工阶段安全风险智能化评估与管控策略 [J]. 运输经理世界, 2025, 16(18): 163-168.
- [4] 朱辉, 唐佳心. 公路工程施工安全管理系统性框架与智能化优化 [J]. 交通运输工程学报, 2023, 23(12): 145-152.