

公路工程施工现场安全隐患识别与治理机制探讨

蔡松¹ 潘娟²

1. 四川公路桥梁建设集团有限公司大桥工程分公司 四川 成都 610000

2. 中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 610000

摘要: 公路工程作为国家基础设施建设的核心领域,其施工安全直接关系到工程质量、人员生命安全及社会经济发展。然而,施工现场复杂的环境与多变的作业条件导致安全隐患频发,传统治理模式已难以满足动态化、精准化的安全管理需求。本文以公路工程施工现场安全隐患为研究对象,结合交通运输部发布的《公路水运工程生产安全重大事故隐患判定标准》,系统分析安全隐患的识别方法与治理机制。通过深入剖析隐患类型、特征及识别技术,提出基于“预防-识别-响应-改进”的闭环管理体系。

关键词: 公路工程;安全隐患识别;治理机制;重大事故隐患判定标准;闭环管理

1 引言

公路工程是国家基建重点,有施工周期长、环境复杂、技术要求高特点,现场高风险作业多,安全风险广泛。传统安全管理模式依赖经验与事后处理,有“重检查轻整改”“重形式轻实效”等问题,难应对动态风险。交通运输部发布的《公路水运工程生产安全重大事故隐患判定标准》(以下简称《判定标准》)明确提出“以风险管控为核心、以隐患排查为抓手”理念,为科学治理隐患提供政策依据。本文从安全隐患识别、治理机制设计、技术工具应用三方面研究,结合工程案例,提出可复制推广的闭环管理体系,提升公路施工安全管理水平。

2 公路工程施工现场安全隐患类型与特征

2.1 安全隐患的分类体系

根据《公路水运工程生产安全重大事故隐患判定标准》,施工现场安全隐患可分为以下四类:(1)管理类隐患:包括施工单位资质失效、安全管理人员无证上岗、专项施工方案未审核等。(2)作业环境类隐患:涉及“两区三场”(办公区、生活区、预制场、加工场、拌和场)选址不当、高边坡未监测、隧道未开展超前地质预报等。(3)设备设施类隐患:包括施工机械老化、支架体系未预压、挂篮未验收等。(4)操作行为类隐患:涵盖特种作业人员未持证、高处作业未系安全带、爆破作业未设置警戒区等。

2.2 安全隐患的动态特征

一是时空分布不均衡性:隐患数量随施工进度呈现“U型”曲线,基础施工阶段与装饰装修阶段风险较高。例如,深基坑事故多发生于开挖初期,而高处坠落事故集中于主体结构施工阶段。二是风险耦合性:单一隐患

可能引发连锁反应。如某隧道施工中,未按规定进行超前地质预报(环境隐患)导致突水突泥,同时因应急预案缺失(管理隐患)扩大事故损失。三是隐蔽性:部分隐患需通过专业检测才能发现。例如,支架体系预压不足可能导致混凝土浇筑时发生整体坍塌,但表面无明显变形迹象。

3 公路施工安全隐患识别方法与技术工具

3.1 传统识别方法的局限性

公路施工安全隐患识别长期依赖人工巡查与经验判断,存在明显局限。一是主观性强,不同检查人员对同一隐患判定结果差异大;二是覆盖面不足,人工巡查主要靠肉眼,难以发现隐蔽性隐患,如地质变化、结构内部应力异常等;三是时效性差,传统检查周期通常每周一次,难以应对突发风险,极端天气后隐患可能迅速恶化,人工巡查难以及时响应,错过事故预防窗口期。

3.2 智能化识别技术应用

3.2.1 BIM+物联网技术: BIM与物联网的融合为隐患识别提供了实时、精准的技术支撑。通过在施工设备、材料及人员佩戴智能终端,系统可实时采集位置、振动、温度等数据,并结合BIM模型进行风险模拟。例如,在深基坑监测中,倾角仪、沉降仪可实时监测位移速率,当超过 0.2mm/d 时自动触发预警^[1]。高支模监测中,应力传感器可实时监测支架立杆荷载,当荷载超过设计值的80%时,系统自动推送整改通知,避免超载导致的坍塌事故。人员定位系统通过UWB标签划定电子围栏,当工人进入深基坑、爆破区等危险区域时,系统立即发出警报,有效降低了人员伤亡风险。

3.2.2 无人机巡检系统: 无人机搭载高清摄像头与激光雷达,可对高边坡、桥梁上部结构进行三维建模,快

速识别裂缝、剥落等隐患。在高边坡巡检中,无人机可覆盖人工难以到达的区域,通过图像识别算法自动检测裂缝宽度、走向。测试数据显示,无人机巡检效率是人工的8倍,隐患识别准确率提升至92%。桥梁巡检中,无人机可拍摄桥梁底部图像,结合深度学习模型识别锈蚀、混凝土脱落等病害。某大桥通过无人机巡检发现主梁腹板裂缝,及时进行加固处理,避免了结构失效风险。

3.2.3 AI图像识别:基于深度学习算法的AI图像识别技术可自动识别安全帽未佩戴、临边防护缺失等违规行为。在安全帽识别中,工地出入口、作业面安装的摄像头通过YOLOv5算法实时检测人员是否佩戴安全帽。某工地试点项目中,AI系统日均发现隐患数量是人工的3倍,误报率低于5%,显著提升了监管效率。临边防护识别则利用语义分割技术,自动标注防护栏杆缺失、洞口未覆盖等隐患位置,并生成整改单推送至责任人手机端。

3.3 重大事故隐患判定标准的应用

以《判定标准》为核心,构建“分级分类”识别体系可实现隐患的精准管控。一级隐患(重大风险)直接判定为停工整改项,如“隧道未开展监控量测”“高边坡未按专项方案开挖”“爆破作业未设置双层防护网”等,这些隐患可能导致灾难性后果,必须立即停工整改。二级隐患(较大风险)需在24小时内制定整改方案,如“支架体系预压荷载不足设计值的80%”“起重机械未检测合格即投入使用”“临时用电未采用TN-S系统”等,这些隐患可能引发严重事故,需限期整改并跟踪复查^[2]。三级隐患(一般风险)限期7日内整改,如“消防器材配备不足”“安全技术交底未签字”“配电箱未上锁”等,这些隐患虽风险较低,但需及时消除以避免累积效应。通过分级分类管理,可实现隐患治理的“轻重缓急”有序推进。

4 公路施工安全隐患治理机制设计

4.1 闭环管理框架

基于PDCA循环理论,构建“预防-识别-响应-改进”四阶段闭环机制,可实现隐患治理的全过程管控。

4.1.1 预防阶段:预防阶段的核心是通过风险评估确定高风险工序,并制定专项管控方案。风险评估采用LEC法(危险性分析法),对评分 ≥ 70 分的高风险工序实施重点管控。例如,深基坑开挖、高支模搭设等工序因涉及复杂地质条件或高荷载,需编制专项施工方案,明确技术参数、防护措施及应急预案。技术交底则采用“三维动画+实物模型”方式,将抽象的风险点转化为直观的视觉信息,确保作业人员理解防控措施。

4.1.2 识别阶段:识别阶段依托智能化技术实时采集

隐患数据,并结合判定标准进行风险分级。数据采集通过传感器、无人机、摄像头等设备完成,上传至安全管理信息系统后,系统自动比对《判定标准》,生成隐患清单并标注风险等级^[3]。可视化展示利用BIM模型或GIS地图标注隐患位置,实现风险“一张图”管理。

4.1.3 响应阶段:响应阶段根据隐患等级启动不同处置流程。一级隐患需立即停工,2小时内上报至交通运输主管部门,24小时内组织专家论证并制定整改方案。二级隐患由项目经理签发整改通知单,限期48小时内整改,安全总监跟踪复查。三级隐患由班组长负责整改,安全员每日巡查并记录整改情况。通过分级响应,可确保隐患得到及时、有效的处置。

4.1.4 改进阶段:改进阶段通过定期分析隐患数据,优化管理流程。数据分析利用大数据技术挖掘隐患规律,标准修订根据新技术、新工艺的发展动态更新专项施工方案及操作规程,确保管控措施与时俱进。培训教育针对高频隐患开展专项培训,如开展“临边防护标准化施工”“挂篮系统验收要点”等课程,提升作业人员安全技能。

4.2 责任体系构建

4.2.1 企业主体责任:施工主体需建立“项目经理-安全总监-班组长”三级责任链。项目经理作为安全生产第一责任人,每月带队开展安全检查,组织隐患整改验收,确保整改措施落实到位。安全总监负责日常安全管理,每日巡查并记录隐患,督促责任人限期整改,形成“日查日清”机制。班组长每班前检查作业环境及设备设施,及时排除隐患并向安全员报告,确保作业面安全可控。

4.2.2 政府监管责任:交通运输主管部门通过“双随机、一公开”方式开展抽查,强化监管力度。飞行检查不定期对在建设项目进行突击检查,重点核查重大隐患整改情况,防止企业“应付检查”。挂牌督办对存在一级隐患的项目,在交通运输部门网站公示并限期整改,形成社会监督压力。信用评价将隐患治理情况纳入企业信用评价体系,与招投标挂钩,倒逼企业落实主体责任。

4.2.3 第三方服务责任:引入专业机构提供隐患排查、安全评估等技术支撑,弥补企业自身能力不足。隐患排查由第三方机构每季度开展一次全面排查,出具隐患清单及整改建议,确保排查无死角^[4]。安全评估在项目关键节点(如隧道贯通、桥梁合龙)进行,验证风险管控效果,为项目顺利推进提供保障。培训服务为项目管理人员提供安全管理培训,提升隐患识别与治理能力。

4.3 保障措施

4.3.1 技术保障：建立隐患排查治理信息系统，实现数据实时上传、分析、预警。系统功能包括隐患录入、整改跟踪、统计分析、预警推送等模块，覆盖隐患治理全流程。数据接口与BIM模型、物联网设备、政府监管平台对接，实现数据共享，避免信息孤岛。移动端应用开发手机APP，方便现场人员随时上报隐患、查看整改任务，提升工作效率。

4.3.2 资金保障：按工程造价的1.5%-2%提取安全专项费用，优先用于隐患治理。费用管理建立安全费用台账，专款专用，严禁挪用，确保资金用于刀刃上。绩效评价将安全费用使用效果纳入企业考核指标，与奖金挂钩，激励企业合理使用资金。

4.3.3 培训保障：开展“隐患识别技能竞赛”“VR安全体验”等特色活动，提升从业人员安全意识。技能竞赛组织安全员、班组长参加隐患识别比赛，评选“隐患排查能手”并给予奖励，激发员工学习热情。VR体验利用虚拟现实技术模拟坍塌、火灾等事故场景，增强工人应急处置能力。案例教育定期组织观看事故警示片，分析隐患导致事故的因果链，吸取教训。

5 工程案例分

5.1 项目概况

某山区高速公路全长58公里，包含隧道8座、桥梁23座、高边坡42处。项目地处地震断裂带，地质条件复杂，施工安全风险高。其中，某隧道全长3.2公里，最大埋深450米，穿越富水断层带，施工难度大。

5.2 治理机制应用

5.2.1 风险预控：施工前开展地质灾害评估，对3处滑坡体进行预加固处理；编制《高风险工序管理手册》，明确隧道掘进、桥梁架设等工序的安全管控要点：隧道掘进采用“三超前、四到位”技术（超前预报、超前支护、超前排水，工法到位、支护到位、排水到位、监控到位），确保施工安全。桥梁架设使用智能化挂篮系统，配备应力传感器与位移监测装置，实时监控结构安全。

5.2.2 智能识别：在隧道内布设120个传感器，实时监测拱顶沉降、围岩压力等参数；利用无人机每周对高边坡进行巡检，生成三维变形图谱：2024年6月，某隧道掘进至K12+300时，监测系统显示拱顶沉降速率突增至0.5mm/d（阈值为0.2mm/d），系统自动触发黄色预警。

无人机巡检发现K25+100处高边坡出现裂缝，宽度达3厘米，系统立即推送整改任务至项目部。

5.2.3 快速响应：项目部接到预警后，立即停止施工，组织专家论证并调整支护参数：增加超前小导管注浆加固围岩，缩短开挖进尺至0.5米/循环，加强监控量测频次至每小时1次。对裂缝进行灌浆封闭，增设主动防护网，并划定警戒区域禁止人员进入。

5.2.4 持续改进：项目结束后，通过分析隐患数据库发现：70%的安全事故与“两区三场”选址不当相关，20%与设备设施老化相关，10%与操作行为违规相关。后续项目据此优化了临建设施规划标准，要求生活区与施工区距离 ≥ 500 米；建立设备设施全生命周期管理系统，强制报废使用年限超10年的起重机械。

5.3 实施效果

项目实施期间，共识别隐患1273项，其中一级隐患28项、二级隐患342项、三级隐患903项，整改完成率100%；未发生死亡事故，重伤率控制在0.2‰以下，较行业平均水平降低60%。项目获评“平安工地”示范项目，其治理经验在全省推广。

结语

公路工程施工现场安全隐患有动态性等特征，需“技术+管理”双轮驱动治理；基于《判定标准》的分级分类识别体系，结合BIM+物联网等技术，可提升隐患管理精准性；闭环管理机制通过四阶段循环，能持续削减隐患，降低事故发生率。未来研究可进一步探索数字孪生技术构建数字镜像实现预测性治理；利用区块链特性建立可信数据链；根据新技术、新工艺发展，定期修订《判定标准》完善隐患判定依据。

参考文献

- [1]成志刚,申铁军.公路工程施工安全风险分级管控与隐患排查治理[J].交通科技与管理,2023,4(01):80-82.
- [2]李清莹.公路桥梁工程施工现场安全隐患分级排查治理研究[D].华中科技大学,2020.
- [3]毛娟,朱亚德,王祥.公路工程施工安全风险分级管控和隐患排查治理机制研究与应用[J].安全与健康,2022,(06):48-53+62.
- [4]谭立.公路工程施工中的安全管理与风险控制研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(07):113-115.