

公路桥梁施工安全管理与风险评估研究

文 / 李京泰 甘肃民航旅马坞西寨高速公路管理有限公司

摘要: 进行公路桥梁施工安全管理与风险评估研究,通过资料搜集、理论分析,阐述公路桥梁施工特点、公路桥梁施工安全风险识别,围绕评估方法选择、设计标准化风险评估流程提出公路桥梁施工风险评估方法,最后就完善安全管理制度、全寿命周期安全管理机制、加强安全事故应急处理展开具体化研究,以期完善公路桥梁工程安全管理体系,避免留下安全隐患,持续提升安全管理水平,为公众出行提供一个安全的环境,并为其他相关研究提供可靠的参考资料。

关键词: 公路桥梁施工; 安全管理; 风险评估

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.050

引言

进入新时期后,国内的公路桥梁工程开始向更广的范围扩张,与此同时,也会面临更多的安全风险挑战,一定程度上阻碍了工程的稳定推进,甚至让工程面临延期的风险。据此,有必要加强对工程施工的风险评估,基于评估结果,完善安全管理机制,在管理实践中持续总结经验,了解当下安全管理的缺陷与不足,提出改进方式,为公路桥梁施工稳定、安全推进保驾护航。

一、公路桥梁施工特点分析

分析公路桥梁施工特点,主要集中在以下几点。点多线长面广,施工现场管理难度大,公路桥梁工程线路长、遍布范围广,工点多,工程推进中的地理位置、气候、环境、周边设施、施工技术等因素均可能会影响到施工进度,需施工团队协调各方面的事务。标准化要求高,成本投

入增加,随着公路桥梁工程的标准化要求逐步提升,各类检查项目逐步严格,为达到施工标准需增加标识标牌、设备、管理人员等,导致成本投入不断增加。安全工作艰巨,山区公路桥梁工程遍布各类沟壑,道路狭窄,并有较多山地弯道,安全管理面临较大挑战。

二、公路桥梁施工安全风险识别

统计公路桥梁施工主要安全风险源,包括以下几种。自然风险,如冰雪、暴雨、强风等恶劣天气,洪水、泥石流、山体滑坡等自然灾害,地质条件不确定性等,均不同程度地增加安全风险概率^[1]。技术风险,主要涉及高空作业风险、设备故障风险、施工工艺缺陷等。管理风险,包括施工组织设计不合理、安全制度不健全等。人为风险,包括作业技能不足、操作不当等。结合典型重大风险源进行具体分析,如表1所示。

表1 公路桥梁施工典型重大风险源表

序号	风险类型	表现	可能导致的后果
1	支架现浇法施工	模板坍塌、支架失稳	工期延误、人员伤亡
2	墩柱/墩塔施工	高空坠落、物体打击	伤亡事故
3	钢索斜拉式施工	结构失稳、索力失控	经济损失、施工延期

三、公路桥梁施工风险评估

(一) 评估方法选择

公路桥梁施工风险评估方法主要包括两种类型:定性评估法、定量评估法,结合工程实际灵活选择,或者对其加以融合应用。

1. 定性评估法。一是专家调查法,引入德尔菲法,综合专家意见,初步识别公路桥梁工程的各类风险因素。二是风险矩阵法,结合施工风险本身的发生概率影响程度,对其加以二维分级,如表2所示。

表2 公路桥梁施工风险二维分级表

概率/影响	轻度	中度	严重	灾难级
可能	II级	III级	IV级	IV级
偶尔	I级	II级	III级	IV级
罕见	I级	II级	III级	III级

2. 定量评估法。一是作业条件危险性评估,根据施工事故可能性、暴露频率、后果严重性,判定施工风险程度^[2]。二是模糊综合评价机制,主要用于处理不确定性施工风险因素,构建隶属度函数,辅助判断风险类型、严重程度。

(二) 设计标准化风险评估流程

1. 评估准备。一是构建专业的评估团队,由施工团

队安全负责人、安全专家、结构工程师等组成。二是搜集核心数据,主要包括:设计方案,如结构图纸、地质报告、初步设计方案、主要设计负责人等;历史数据,同类型公路桥梁施工方案、事故案例等;施工实时监测数据,包括施工位移、应力应变等,支持风险识别、评估^[3]。

2. 风险识别。引入HAZOP分析方式(如图1),识别公路桥梁施工工艺偏差风险,结合搜集的数据,构建

安全风险清单, 主要包括: 结构风险, 如地基沉降、超载等, 引入支架失稳、地基不稳等事故; 环境风险, 如水文数据突变, 造成洪水冲击、建筑坍塌等; 人为风险, 管理不到位、安全培训缺失等, 造成违章操作, 可能引发相关安全事故。



图1 HAZOP分析三大步骤图

3. 模型构建。开发基于公路桥梁工程实况的贝叶斯网络模型, 量化工程安全风险传导路径。一是变量选择与定义, 筛选与工程相关的随机变量, 主要包括: 人为因素, 安全意识、操作技能; 管理因素, 组织设计、安全制度; 技术因素, 设备状态、施工工艺; 自然因素, 气象条件、地质条件等, 定义每个变量, 留出可量化的状态空间。二是构建网络状态, 结合各类因素的因果关系构建有向无环图, 节点表示随机变量, 边表示直接影响关系; 通过条件独立性测试方法, 明确最优结构^[4]。三是参数学习、条件概率表设置, 为每个节点定义条件概率表, 结合历史数据获取参数, 主要包括施工缺陷造成的事故概率提升、地质条件对支架稳定性的影响概率等。四是模型验证与优化, 结合历史事故数据, 检验模型准确性; 进行敏感性分析, 识别关键风险因素; 定期更新模型参数, 适应施工现场的环境变化。

4. 动态评估机制。一是评估框架构建, 主要包括以下指标: 地质环境指标, 水文条件、岩土类型、地震烈度等; 工程特征指标, 施工工艺、跨度规模、结构形式等; 管理能力指标, 应急预案、人员资质、安全制度等; 外部环境特征, 周边建筑、气候特征、交通流量等。二是评估实施流程, 数据采集, 利用设计文件审查、地质勘探等方法获取基础施工数据; 权重确定, 利用层次分析法, 设置各指标权重; 风险量化, 引入模糊综合评价法, 确定综合风险值; 等级划分, 结合风险值, 将工程划分为多个风险等级, 对其加以针对性处理。

5. 评估报告输出。一是列出工程概况、评估范围, 包括: 工程基本信息, 如工程名称、结构类型、地理位置、施工阶段等; 评估范围界定, 明确评估的施工区域、风险类型、时间节点等^[5]。二是风险等级分布图, 可视化呈现, 分级标准, 并加以动态更新。三是控制措施清单, 包括分级管控机制、应急预案、措施有效性等。

6. 持续改进机制。根据输出的评估结果, 对施工风险加以持续改进。一是实施PDCA循环, 计划阶段, 结合评估结果设置改进目标; 执行阶段, 明确责任人、改进措施; 检查阶段, 结合监测数据, 检验措施有效性; 处理阶段, 结合标准化有效经验, 完善无效方案。二是实施效果量化评估, 关键指标包括风险整改完成率、事故发生率、预警响应时效等; 对比分析改进前后的安全风险发生概率变化情况, 评估降低的人员伤亡, 减少的损失金额等。三是报告质量要求, 保证数据完整、可追溯、格式规范、保密性高。

四、公路桥梁施工安全管理途径

(一) 完善安全管理制度

严格贯彻落实“安全第一、预防为主、综合治理”的安全管理方针, 完善公路桥梁施工安全管理制度, 覆盖各个施工流程, 关注以下制度要点。

1. 岗位责任制度。一是成立安全生产领导小组, 主要由建设单位牵头, 联合监理单位、施工单位等成立, 负责资源调配、重大安全决策、日常安全管理等。二是设置专职安全生产管理机构, 要求施工单位按照年度施工产值配备满足工程需要的专职安全生产管理人员, 直接对项目经理负责; 监理单位设置独立的安全监理岗, 每日提交巡查日志, 标志安全风险问题, 提示相关单位及时处理^[6]。

2. 过程控制类制度。一是安全生产检查制度, 严格落实班前检查、专项检查、定期巡查相结合的综合检查制度, 并将检查结果记录在案, 以便随时查看。二是隐患排查制度, 要求安全人员在每个施工班组按照既定路线巡查施工现场, 佩戴专业的随身摄像头, 发现安全隐患, 及时通过网络手段发布, 安排整改人员按照轻重缓急的原则, 依次处理, 最后再加以复查^[7]。

3. 安全生产奖惩制度。制定完善的安全生产奖惩机制, 实现安全绩效、施工小组或者个人薪酬晋升挂钩, 对施工安全管理作出突出贡献、提出可行性建议、引入先进管理技术等岗位人才, 给予其对应奖励。相反, 因个人因素导致安全事故发生、概率提升, 或者是已经引发安全事故的行为, 根据事故大小、影响范围、造成的损失等, 追究相关人员责任, 严重时交予相关部门处理, 以此构建良好的安全施工环境。

(二) 全寿命周期安全管理机制

构建全寿命周期安全管理机制, 涉及施工前、中、后三个阶段的安全管理工作, 增强管理力度, 规避安全风险。

1. 施工前安全管理。一是编制专项安全施工方案，针对高支模、深基坑等危大工程，编制独立方案，附加计算书、关键节点详图，降低安全事故发生率；制定的方案必须由监理单位、施工单位等联合审批、论证，确保无异常点后，再正式投入使用。二是安全技术交底，强化三级交底模式，包括作业人员、班组长、项目总工，增加安全保障；交底内容中必须包括应急联络方式、风险示意图等。三是落实人员准入管理机制，所有进入施工现场的人员，必须经过岗前8小时的安全培训，且考核合格；高空、机械操作等特种作业人员必须考取相关证书。

2. 施工中安全管理。一是进行风险动态监测，对梁体架设、墩柱施工等重要工序执行24h不间断的智能监测；设置红、黄、蓝三级预警阈值，在触发安全阈值时自动响应相关程序，避免安全问题的持续严重化。二是严格执行作业许可制度，有限空间、高处作业等落实工作票管理机制，经相关人员审批、签字后再正式施工。三是设置设备管理规范，起重设备一机一档，每日正式施工前空载试运行，检测有无安全隐患，压力容器等特种设备每个季节强制检验。

3. 施工后安全管理。该阶段的安全管理主要在于通过工程验收，明确管理风险点，为后续的相关管理提供参考，并及时明确主要责任人，避免主要责任推诿事故。一是联合多部门进行工程验收，通过荷载试验、无损检测等方式评估公路桥梁结构性能，发现局部偏差，提出纠正措施。二是构建数字档案管理系统，记录施工过程数据、质量检测数据等，为工程运营、检修、维护等提供数据支持。三是制定缺陷责任期专项维护计划，针对支座老化、伸缩裂缝等常见问题构建快速响应机制，降低运营成本开支。

（三）加强安全事故应急处理

1. 设置分级响应机制。针对不同的安全事故，启动分级响应机制，降低应急资源分配压力，缩减成本开支，保持安全管理的持续性，关注以下要点。一是三级预案架构，包括：综合预案，设计施工单位应急组织架构、响应程序，主要包括启动条件、覆盖范围、资源调配等；专项预案，主要针对触电、坍塌等事故制定技术处置方案，包含责任人清单、流程图等；现场处置方案，明确各个岗位在各类安全事故中的具体责任。二是动态更新机制，根据施工推进进度、安全管理反馈等要素，定期更新应急机制，标注预案关键控制点，提升预案推进实效。

2. 定期实战演练。为提升施工团队的安全事故应对能力，定期组织实战演练，关注以下要点。一是设置演练目标，包括：能力提升，模拟高空坠落、触电、坍塌

等安全事故场景，提升施工团队的协同处置能力、应急响应速度；流程验证，检验应急预案各个环节是否能有效衔接；设备测试，在实操中检查急救器材、通讯设备、应急照明灯的完好率。二是实施框架设计，确定实施频率，全流程季度综合演练，配合机械伤害、消防等月度专项演练；构建多类高风险场景模板，每次演练随机抽选其中两种；评估标准，设置人员疏散达标率、4min响应时效等可量化指标。三是关键步骤执行，包括：场景构建阶段，利用施工现场现有条件搭建事故现场，注入伤员昏迷、通讯中断等突发变量，考验团队的应变能力；演练实施阶段，执行双盲测试，临时通知施工团队安全演练内容、时间，多角色联动，同时触发医疗机构、监理方的应急响应；总结改进阶段，录制演练视频，分析安全操作盲区，并对其加以及时纠正。

结语

综上，文章就公路桥梁施工安全管理与风险评估展开了深入探究，以上提出的各类观点、对策是基于文献分析、研究与创新性应用，是对当前研究成果的总结，并提出了各类新的安全管理方式，提升了施工安全管理效果。但本次研究仍存在不足之处，如部分模块论述相对简略，需在后续研究中予以补充、完善，使其更具参考价值，并需在研究中引入更多的先进技术，如BIM技术，进行施工碰撞检测，优化设计方案，减少安全风险事故，提升安全管理水平。

参考文献

[1] 李宏伟. 公路桥梁施工中的应力监测与安全管理[J]. 智能城市应用, 2025, 8(1): 23-25.

[2] 刘克廷, 张辰. 3E环境下的公路隧道施工坍塌风险安全风险评估与对策研究[J]. 交通节能与环保, 2025, (3): 252-255.

[3] 李秀伟. 高海拔地区公路路基桥涵施工安全风险策略研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(7): 158-160.

[4] 王凤岩. 公路桥梁下穿高铁立交桥的施工技术与风险管理研究[J]. 建筑技术开发, 2025, (1): 72-74.

[5] 贾飞. 考虑多信息融合的桥梁施工安全风险预估[J]. 华北科技学院学报, 2025, (4): 76-83.

[6] 陈高飞, 肖帅. 在建高速公路桥梁与运营高铁桥梁并行方案施工的定性安全风险评估[J]. 建筑安全, 2025, (4): 65-68.

[7] 刘占阳. 公路工程路堑高边坡施工安全管理风险评估与控制策略研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(5): 149-152.

作者简介：李京泰，男，1988年8月，汉，甘肃省白银市，本科，工程师，主要从事公路施工安全管理工作。