

公路建设桥隧施工安全管理分析

常全信

宁夏交投工程建设管理有限公司 宁夏 银川 750001

摘要：公路工程建设中的桥梁与隧道施工环节具有举足轻重的作用，其安全管理工作更是重中之重。本研究系统阐述了桥隧工程施工安全管理核心要素，重点从施工组织设计的科学性、从业人员安全教育的全面性以及安全技术措施的实效性维度展开探讨。在安全风险评估与控制方面，深入剖析了事件树分析法（ETA）、失效模式与效应分析法（FMEA）以及层次分析法（AHP）等现代风险评估工具的应用价值。实践表明，通过科学实施上述安全管理策略，能够显著降低施工安全风险系数，有效提升施工过程的安全水平与作业效率，从而为公路工程建设营造更为安全可靠的施工环境。

关键词：公路建设；桥隧施工；安全管理

引言：作为现代交通基础设施的关键构成要素，公路桥隧工程在区域经济协同发展和社会资源优化配置中发挥着不可替代的作用。从工程管理学的视角来看，桥隧施工安全管控体系的有效性不仅决定了项目建设的质量与工期，更与公共安全风险防控和社会经济可持续发展密切相关。近年来，随着超长隧道、跨海大桥等复杂结构物的不断涌现，以及BIM技术、智能建造等新兴技术的广泛应用，桥隧施工安全管理系统面临着多维度、多层次的挑战。本研究基于系统安全工程理论，采用定性与定量相结合的研究方法，对现行桥隧施工安全管理体系进行系统性评估，通过识别关键风险因素、分析管理效能瓶颈，进而构建科学化的安全管理优化方案。研究成果将为提升桥隧工程施工安全治理能力、完善现代工程安全管理体系提供理论支撑和实践指导。

1 公路桥隧工程施工安全管理体系构建

1.1 桥隧工程在交通基础设施中的战略定位

现代交通网络的核心构成要素，桥隧工程在高等级公路系统中具有不可替代的战略价值。从工程结构学视角来看，桥梁、隧道等构筑物不仅实现了对复杂地形地貌的有效跨越，更在提升路网通行能力、优化交通组织模式等方面发挥着关键作用。特别是在生态敏感区域和地质条件复杂地区，隧道工程的应用显著降低了环境扰动系数，实现了工程建设与生态保护的有机统一。根据工程经济学理论，桥隧工程的施工质量与安全水平直接影响着整个公路系统的全生命周期成本^[1]，是决定路网运营效能的关键变量。

1.2 施工安全管理的理论依据与现实需求

基于系统工程理论，公路桥隧施工具有显著的复杂性特征^[2]：其空间分布呈现线性延展性，施工周期具有明

显的时间阶段性，且涉及多专业协同作业。从风险管理视角分析，施工过程普遍存在高空作业、深基坑开挖、爆破作业等高危工序，安全风险具有潜在性、突发性和连锁性等特点。因此，构建科学的安全管理体系不仅是保障从业人员生命安全的必然要求，更是实现工程项目质量、进度、成本三大控制目标的基础前提。通过实施系统化的安全管理，可有效降低事故发生率，提高施工组织效率，确保工程建设的有序推进。

1.3 施工安全事故的多维影响机制分析

从系统动力学角度，施工安全事故的影响效应具有显著的时空扩散特征^[3]。微观层面，事故直接导致人员伤亡、设备损毁等显性损失，造成人力资源的不可逆损耗；中观层面，事故引发的停工整顿、方案调整等将导致工期延误和成本超支，影响项目的投资回报率；宏观层面，重大安全事故可能引发社会舆论关注，损害企业商誉，影响市场竞争力。更为严重的是，事故可能破坏区域生态系统，产生负外部性效应。因此，加强施工安全管理不仅是工程建设的必然要求，更是履行社会责任的体现。

2 桥隧施工安全管理的关键技术体系

2.1 施工组织与管理优化

（1）构建矩阵式安全管理组织架构。在桥隧施工安全管理的复杂棋局中，构建科学合理的组织架构是关键开局之步。建立以项目经理为第一责任人的安全委员会。在这个委员会之下，设安全技术部、质量监督部和应急管理部等职能部门，形成纵向到底、横向到边的安全管理网络^[4]。通过明确各部门职责边界和协同机制，实现安全管理的全覆盖和全过程控制。

纵向来看，从项目经理到基层施工人员，安全管理

责任层层落实,确保每一个层级都清晰知晓自身的安全职责。横向而言,各职能部门之间紧密配合,安全技术部专注于制定科学有效的安全技术措施,为施工过程提供技术支撑。

(2) 实施PDCA循环管理模式。建立计划(Plan)-执行(Do)-检查(Check)-处理(Act)的闭环管理机制,宛如桥隧施工安全管理的“智能导航系统”。通过定期开展安全巡查、隐患整改和效果评估,持续改进安全管理水平。运用关键绩效指标(KPI)体系,对安全管理绩效进行量化考核。

(3) 推行信息化施工管理平台。基于BIM技术构建数字孪生系统,就像为施工现场打造了一个虚拟的“克隆体”,实现施工过程的可视化管理和实时监控。施工人员和管理人员可以通过该系统,如同身临其境般全方位、多角度地查看施工细节,提前发现施工过程中可能存在的安全问题,如空间碰撞、施工顺序不合理等,并及时进行调整优化。通过物联网技术集成各类传感器数据,为施工现场装上了“智能感知触角”。在此基础上,建立科学合理的安全预警指标体系,当传感器数据超出设定的安全阈值时,系统能够迅速发出预警信号,实现风险源的动态识别和预警。

2.2 安全教育培训体系构建

(1) 建立分级分类培训机制。桥隧施工涉及不同岗位,每个岗位面临的风险各异,因此建立分级分类培训机制至关重要。根据岗位特点和风险等级,将培训对象划分为管理人员、技术人员和操作人员三个层次,分别制定差异化的培训内容和考核标准。为了提高培训的实效性,采用虚拟现实(VR)技术模拟高风险作业风险场景,让操作人员更加深刻地认识到违规操作的严重后果,从而在实际工作中养成良好的安全操作习惯,有效降低事故发生的可能性。

(2) 实施“双师型”培训模式。“双师型”培训模式如同为学员配备了“双保险”。聘请具有丰富实践经验的专家和技术能手担任实训导师,与理论教师形成优势互补。通过案例分析、情景模拟等教学方法,使学员不仅知其然,还知其所以然,提升培训的针对性和实用性。

(3) 构建培训效果评估体系。建立培训档案管理制度,对每一位学员的培训记录进行详细存档。采用柯氏四级评估模型,从反应层、学习层、行为层和结果层四个维度评估培训效果,并根据评估结果持续优化培训方案。确保安全教育培训能够真正满足桥梁隧道施工安全管理的实际需求,为施工安全提供保障。

2.3 安全技术创新与应用

(1) 智能化安全监测系统。集成物联网、5G通信和人工智能技术,构建全方位、多层次的智能监测网络^[5]。通过布设应力应变传感器、位移监测仪等设备,实现对结构安全状态的实时感知和预警。

(2) 自动化施工装备应用。推广使用智能掘进机、自动化焊接机器人等先进设备,减少人工操作风险。采用无人机进行高空巡检,不仅能够提高安全检查的效率和准确性,还极大地降低了人员巡检的安全风险。

(3) 信息化安全管理平台。开发基于BIM+GIS的安全管理信息系统,实现风险源的动态识别、评估和预警。通过大数据分析技术,对大量的历史安全数据进行深度挖掘,建立安全事故预测模型,通过模型预测安全事故发生的可能性和趋势,为安全管理决策提供科学依据。

3 桥隧施工安全风险评估与控制体系

3.1 风险评估方法创新

(1) 基于模糊理论的综合评估模型。运用模糊数学方法处理风险评估中的不确定性问题,构建多级模糊综合评价模型^[6],提高风险评估的科学性和准确性。

(2) 贝叶斯网络风险预测方法。利用贝叶斯网络处理复杂因果关系的能力,建立风险因素间的概率关系网络,实现风险动态预测和预警。

(3) 蒙特卡洛模拟技术。通过计算机模拟技术,对复杂施工环境下的风险进行定量分析,为风险决策提供数据支持。

3.2 风险控制策略优化

(1) 分级管控机制。根据风险评估结果,将风险源划分为重大、较大、一般和低风险四个等级,分别制定差异化的管控措施和应急预案。

(2) 动态调整机制。建立风险数据库,定期更新风险信息,根据施工进度和环境变化动态调整管控策略,实现风险管理的主动性和前瞻性。

(3) 协同防控机制。构建业主、设计、施工、监理等多方参与的风险防控体系,明确各方职责,形成风险防控合力。

3.3 应急管理体系完善

(1) 预案体系建设。制定总体应急预案、专项应急预案和现场处置方案,形成完整的预案体系^[7]。定期开展应急演练,检验预案的可行性和有效性。

(2) 应急资源保障。建立应急物资储备库,配备必要的应急救援装备。与专业救援机构建立协作关系,提高应急处置能力。

(3) 应急响应机制。建立快速反应机制,明确应急响应流程和职责分工。运用信息化手段,提高应急指挥

和协调效率。

4 桥隧施工安全管理的国际经验与借鉴

4.1 国际先进安全管理模式分析

(1) 美国的的安全管理模式。美国在桥隧施工安全管理中,强调法律法规的完善和执行力度的严格。通过 OSHA (职业安全与健康管理局) 的监管,确保施工企业严格遵守安全标准。此外,美国还注重安全文化的建设,通过培训和教育提升从业人员的安全意识。

(2) 日本的安全管理模式。日本在桥隧施工安全管理中,注重细节管理和技术创新。通过引入先进的监测技术和自动化设备,减少人为操作风险。同时,日本企业还推行“零事故”运动,通过全员参与和持续改进,实现安全管理的精细化。

(3) 欧洲的安全管理模式。欧洲在桥隧施工安全管理中,强调风险评估和预防措施的落实。通过建立完善的风险评估体系,提前识别和管控潜在风险。此外,欧洲还注重跨部门协作和信息共享,形成多方参与的安全管理网络。

4.2 国际经验对我国的启示

(1) 完善法律法规体系。我国应借鉴美国的经验,进一步完善桥隧施工安全管理的法律法规,并加强执法力度,确保各项安全标准得到有效执行。

(2) 注重安全文化建设。我国应学习日本的经验,通过培训和教育提升从业人员的安全意识,推行“零事故”运动,营造全员参与的安全文化氛围。

(3) 加强风险评估和预防。我国应借鉴欧洲的经验,建立完善的风险评估体系,提前识别和管控潜在风险,并通过跨部门协作和信息共享,形成多方参与的安全管理网络。

5 桥隧施工安全管理的未来发展趋势

5.1 智能化技术的应用

(1) 人工智能技术的应用。通过引入人工智能技术,实现对施工过程的智能监控和预警,提高安全管理的效率和准确性。

(2) 大数据分析技术的应用。通过大数据分析技术,建立安全事故预测模型,为安全管理决策提供科学

依据。

(3) 物联网技术的应用。通过物联网技术,实现对施工设备和环境的实时监控,及时发现和处置安全隐患。

5.2 安全管理标准体系的完善

(1) 制定统一的安全管理标准。通过制定统一的安全管理标准,规范施工企业的安全管理行为,提升整体安全管理水平。

(2) 加强安全管理的国际交流与合作。通过加强国际交流与合作,借鉴国际先进的安全管理经验,推动我国安全管理标准体系的完善。

(3) 建立安全管理的长效机制。通过建立安全管理的长效机制,确保安全管理工作持续改进和提升,实现桥隧施工安全管理的长效化。

结论与展望

本研究系统构建了公路桥隧施工安全管理体系,提出了基于全生命周期的安全管理理念和方法。研究表明,通过组织体系优化、技术创新和风险管控等措施,可显著提升施工安全管理水平。未来研究应重点关注智能化技术在安全管理中的应用,以及安全管理标准体系的完善,为桥隧工程施工安全提供更有力的保障。

参考文献

- [1]王建国,李志强.桥隧工程全生命周期成本管理研究[J].工程管理学报,2020,34(5):45-52.
- [2]张明远,陈晓峰.系统工程理论在施工安全管理中的应用[J].安全与环境学报,2019,19(3):987-993.
- [3]刘伟,赵红梅.施工安全事故的多维影响机制分析[J].中国安全科学学报,2021,31(4):123-130.
- [4]孙立新,周建华.矩阵式安全管理组织架构设计与实践[J].建筑经济,2022,43(2):78-85.
- [5]李强,王磊.智能化安全监测系统在桥隧工程中的应用[J].土木工程学报,2023,56(1):112-120.
- [6]陈志远,黄晓明.基于模糊理论的施工安全风险评估模型[J].系统工程理论与实践,2020,40(8):2134-2142.
- [7]吴晓峰,郑伟.桥隧工程施工应急管理体系构建与优化[J].中国安全生产科学技术,2021,17(6):56-63.