

城市市政桥梁工程施工安全风险控制研究

黄宝盛

新疆北新国际工程建设有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830092

摘要：随着城市交通发展，市政桥梁工程规模不断扩大，施工环境日趋复杂，面临交叉作业密集、地下管线交错、交通干扰频繁及地质水文多变等多重风险，安全事故易引发严重社会后果。本文构建“全周期、全要素、全流程”安全风险控制体系：首先分析市政桥梁特有的风险源及其耦合特征；其次提出以风险辨识、评估、预警与处置为核心的四阶段闭环管理流程；再从组织保障、技术支撑和安全文化三方面，设计多层次综合防控策略；最后展望智能化、信息化技术在风险控制中的深度应用前景，为提升市政桥梁工程本质安全水平提供理论支撑与实践路径。

关键词：市政桥梁；施工安全；风险控制；安全管理体系

引言

城市化加速推动市政桥梁（如立交桥、高架桥、人行天桥等）建设需求持续增长。然而，此类工程深嵌于高度密集的城市环境中，施工场地常被既有建筑、繁忙交通与复杂地下管网（供水、燃气、电力、通信等）包围，且施工窗口期短、社会关注度高，安全风险极易演变为影响城市运行的公共事件。传统以事后处置为主的安全管理模式，难以应对市政桥梁工程所具有的高耦合性、高动态性与高敏感性。现代安全管理强调“预防为主、关口前移”，亟需一套科学、系统、可操作的风险控制理论与方法。本研究立足现实需求，从系统工程视角出发，对城市市政桥梁工程施工安全风险进行全方位、深层次的解构与重构，旨在构建逻辑清晰、层次分明、技术先进的风险控制范式，为行业提供理论支撑与实践指导，切实筑牢城市基础设施建设的安全防线。

1 城市市政桥梁工程安全风险源解析

要有效控制风险，必先精准识别风险。城市市政桥梁工程的安全风险源具有鲜明的复合性与交互性，可从物理环境、施工技术、人为因素和外部干扰四个层面进行系统梳理。

1.1 物理环境风险

物理环境是风险产生的基础载体。首先，复杂地质与水文条件是首要挑战。城市区域历经长期开发建设，地下常存在回填土、废弃构筑物、孤石等不良地质体，加之地下水位受城市活动影响波动剧烈，极易在基坑开挖、桩基施工等环节引发塌方、涌水、管涌等地质灾害。其次，密集的既有构筑物与地下管线构成了巨大的空间约束和潜在危险源。施工振动、土体位移可能对邻近建筑的基础造成扰动，导致沉降甚至开裂；一旦不慎损坏高压电缆、燃气管道或主干供水管，后果不堪设想^[1]。再者，受限的作业空间与交通干扰也是常态。在城市核心区施工，场地狭小，大型设备施展困难，物料运输与社会车辆交织，形成了复杂的人-机-环交互界面，极大地增加了物体打击、机械伤害和交通事故的风险概率。

1.2 施工技术风险

施工技术方案的合理性与执行的规范性直接决定了工程的本质安全水平。深基坑与高支模工程是公认的高危分部分项工程。市政桥梁的承台、墩柱基础通常需要开挖深度超过5米的基坑，其稳定性受土压力、水压力、周边荷载等多重因素影响，失稳风险极高。而用于支撑现浇箱梁的满堂支架，若设计不当、材料劣质或搭设不规范，在混凝土浇筑的巨大荷载下可能发生整体或局部坍塌。大型构件吊装与高空作业同样风险突出。预制节段、钢箱梁等大型构件的吊装过程，涉及多台大型起重机械的协同作业，对吊点设计、索具选择、信号指挥、风力监测等环节要求极为严苛。同时，桥梁主体结构施工绝大部分处于高空，临边、洞口防护稍有疏忽，便可能导致高处坠落事故。此外，特种工艺风险也不容忽视，如采用顶推法、转体法施工时，临时结构的受力状态复杂多变，对实时监控和精确控制提出了极高要求。

1.3 人为与管理因素风险

再完美的技术方案，最终都要依靠人来执行。作业人员安全素质参差不齐是普遍存在的问题。大量一线工人流动性大，安全培训不足，对复杂工况下的风险认知模糊，习惯性违章作业屡禁不止。管理人员风险意识薄弱同样致命。部分项目管理层重进度、轻安全，对隐患排查流于形式，对安全投入能省则省，未能建立起有效的安全责任体系和奖惩机制。分包管理混乱更是风险的放大器。多层分包、以包代管的现象导致安全责任链条断裂，总包单位对分包队伍的实际管控力严重不足，安

全指令难以穿透到作业末梢。

1.4 外部环境干扰风险

市政桥梁工程无法隔绝外部世界的扰动。极端天气事件,如突发的强降雨、大风、雷电等,会直接威胁露天作业的安全,特别是对高空作业和临时结构构成严峻考验。社会公共安全事件,如周边区域的火灾、爆炸、恐怖袭击等,虽非施工直接引发,但可能波及工地,打乱正常施工秩序,甚至造成次生灾害。这些外部风险虽然发生概率相对较低,但一旦发生,其破坏力巨大,必须纳入风险防控的考量范畴。

2 安全风险控制的闭环管理流程

针对上述复杂的风险源,必须建立一个动态、闭环的管理流程,实现风险的全过程、精细化管控。该流程可划分为风险辨识、风险评估、风险预警和风险处置四个紧密衔接的阶段。

2.1 全面系统的风险辨识

风险辨识是整个控制流程的起点,其目标是穷尽所有潜在的危险源。应采用“自上而下”与“自下而上”相结合的方法。“自上而下”指由项目技术负责人牵头,依据设计文件、施工组织设计、相关规范标准,系统梳理各施工阶段、各作业环节可能存在的固有风险。“自下而上”则鼓励一线班组和作业人员参与,通过班前会、安全观察卡等形式,报告他们在实际操作中发现的动态风险和未遂事件。常用的辨识工具包括工作危害分析(JHA)、安全检查表(SCL)以及危险与可操作性分析(HAZOP)等^[2]。辨识结果应形成详细的《危险源清单》,明确每个危险源的位置、可能导致的事故类型、涉及的作业活动及相关责任人。

2.2 科学量化的风险评估

在完成风险辨识后,需对每个风险进行量化或半量化的评估,以确定其优先级和管控等级。风险评估的核心是分析事故发生的可能性(L)与后果的严重程度(S),并计算其风险值($R = L \times S$)。可能性评估需考虑现有控制措施的有效性、作业频率、环境条件等因素;严重程度评估则需综合考量对人员伤亡、财产损失、环境破坏及社会影响的潜在后果。根据风险值的大小,可将风险划分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险四个等级,并分别用红、橙、黄、蓝四色进行标示,形成直观的“安全风险四色分布图”。对于重大和较大风险,必须制定专项施工方案和应急预案,并报请专家论证。

2.3 动态精准的风险预警

风险预警是连接评估与处置的桥梁,旨在将风险信息

及时、准确地传递给相关人员,以便采取前置措施。预警系统应具备实时性和分级响应能力。对于可通过传感器实时监测的风险(如基坑位移、支撑轴力、塔吊垂直度、风速等),应建立自动化监测预警平台。当监测数据达到预设的黄色预警阈值时,系统自动向现场安全员和相关负责人发送警报,提示加强巡查;当达到红色预警阈值时,则立即触发声光报警,并向项目主要负责人和应急小组推送最高级别警报,要求立即停止相关作业,启动应急程序。对于无法实时监测的风险(如人的不安全行为),则依赖于现场安全巡视和视频智能分析技术进行人工或半自动预警。

2.4 高效协同的风险处置

风险处置是闭环管理的最终落脚点,其核心在于落实针对性的控制措施。应遵循“消除、替代、工程控制、管理控制、个体防护”的层级控制原则。对于重大风险,首选方案是通过优化设计或施工工艺从源头上消除风险(如采用逆作法减少基坑暴露时间)。若无法消除,则考虑替代方案(如用小型设备替代大型设备以适应狭小空间)^[3]。工程控制措施(如设置可靠的临边防护、安装自动喷淋降尘系统)是第二道防线。管理控制(如实施作业许可制度、加强安全教育培训、安排专人旁站监督)和个体防护(如强制佩戴安全带、安全帽)则是不可或缺的补充。所有处置措施的落实情况都应纳入日常安全检查和考核,确保形成管理闭环。

3 多层次立体化的综合防控策略

要将上述闭环管理流程落到实处,必须构建一个由组织、技术和文化三大支柱支撑的综合防控体系。

3.1 健全的组织与制度保障

强有力的组织保障是风险控制成功的前提。项目层面应成立以项目经理为第一责任人的安全生产领导小组,明确各岗位的安全职责,确保“一岗双责”落到实处。必须建立健全覆盖全员、全过程的安全生产责任制,并与绩效考核、薪酬分配直接挂钩,形成有效的激励约束机制。在制度层面,除了严格执行国家及地方的安全法规外,还应结合项目特点,制定更具操作性的内部安全管理制度,如《危险性较大分部分项工程管理制度》、《交叉作业安全协调制度》、《临近营业线施工安全防护制度》等。同时,应建立畅通的隐患举报和信息反馈渠道,鼓励全员参与安全管理。

3.2 先进的技术与装备支撑

技术是提升本质安全水平的关键驱动力。在勘察设计阶段,应充分运用BIM(建筑信息模型)技术进行碰撞检查和施工模拟,提前发现并解决空间冲突和工序矛

盾,优化施工方案。在施工阶段,大力推广智慧工地建设,集成应用物联网、大数据、人工智能等技术。例如,利用无人机进行定期航拍,快速获取工地全景和重点部位影像;通过部署智能安全帽、人员定位手环,实现对作业人员的实时定位和行为分析;运用AI视频监控系统,自动识别未戴安全帽、闯入危险区域等违规行为^[4]。对于深基坑、高支模等危大工程,必须建立自动化、全天候的监测系统,并与预警平台联动,实现风险的早发现、早处置。

3.3 深厚的安全文化培育

制度和技术是硬约束,而安全文化则是软实力,它从根本上改变人的安全意识和行为习惯。应致力于营造“人人讲安全、事事为安全、时时想安全、处处要安全”的浓厚氛围。这需要从领导层做起,以身作则,将安全视为不可逾越的红线。要创新安全教育培训形式,摒弃枯燥的说教,采用VR/AR沉浸式体验、事故案例情景再现等方式,让员工真切感受到违章作业的可怕后果。要注重正向激励,设立“安全之星”、“平安班组”等荣誉,表彰在安全管理中表现突出的个人和集体。通过持续的文化浸润,使安全从一种外在要求内化为全体员工的自觉行动和价值追求。

4 智能化发展趋势与未来展望

随着新一轮科技革命的浪潮席卷而来,城市市政桥梁工程施工安全风险控制正迈向一个全新的智能化时代。

4.1 数字孪生驱动的超前预演

数字孪生技术将为风险控制带来革命性变革。通过构建一个与物理工地完全同步的虚拟映射,管理者可以在虚拟空间中对各种施工方案进行反复推演和压力测试。例如,可以模拟在不同降雨强度下基坑的渗流场变化,预测最危险的滑裂面;可以模拟大型吊装作业的全过程,检验吊装路径是否与周边障碍物存在冲突。这种“在虚拟中试错,在现实中执行”的模式,能够将绝大多数风险消灭在方案阶段,实现真正的超前预控。

4.2 人工智能赋能的自主决策

未来的安全管理系统将不再是简单的信息展示平台,而是一个具备自主学习和决策能力的智能体。通过机器学习算法对海量的历史事故数据、监测数据和巡检记录进行深度挖掘,系统能够自动识别出风险发生的早

期征兆和内在规律。在此基础上,结合强化学习等技术,系统甚至可以自主生成最优的风险应对策略,并向现场管理人员推荐。例如,当系统预测到未来24小时内有强对流天气时,会自动建议调整高空作业计划,并检查所有临时结构的抗风加固措施是否到位。

4.3 全要素集成的韧性管理

未来的风险控制将更加注重系统的整体韧性。这意味着不仅要关注单个风险点的防控,更要着眼于整个施工系统的抗干扰能力和快速恢复能力。通过将安全管理系统与项目的进度、成本、质量等其他管理系统深度融合,形成一个统一的项目管理中枢。当某一风险事件发生时,系统不仅能启动应急预案,还能自动评估该事件对整体工期和成本的影响,并生成相应的调整方案,确保项目在遭受冲击后能够迅速回归正轨,最大限度地降低综合损失。

5 结语

城市市政桥梁工程施工安全风险控制是一项关乎人民生命财产与城市运行稳定的复杂系统工程。面对日益严峻的挑战,必须摒弃碎片化管理,转向基于系统思维、先进技术与安全文化融合的现代化治理体系。本文提出的“风险源解析—闭环管理流程—综合防控策略—智能化展望”框架,为实现这一转型提供清晰路径:通过全面识别、科学评估、动态预警与高效处置风险,并依托组织保障、技术装备与安全文化支撑,可将风险控制在可接受范围。未来,随着数字孪生、人工智能等技术深度应用,市政桥梁安全管理将迈向更智能、精准与韧性的发展新阶段,为建设安全、宜居、智慧的现代化城市提供坚实保障。

参考文献

- [1]徐方方,董新华,宋乐乐.市政桥梁施工安全管理与风险防控措施研究[J].中国房地产业,2025,(29):58-61.
- [2]朱登峰.市政桥梁工程施工中安全管理问题分析[J].运输经理世界,2023,(32):112-114.
- [3]赵继乾.浅析市政桥梁工程施工安全监理要点[J].建设监理,2022,(11):36-39.
- [4]姚健.市政桥梁支架施工技术及安全控制[J].建筑技术开发,2023,50(06):102-104.