

跨既有高速公路桥梁施工涉路安全多维度评价体系构建与应用

杨红福

云南云岭高速公路工程咨询有限公司 云南 昆明 650041

【摘要】：本文旨在探讨跨既有高速公路桥梁施工涉路安全评价体系构建与应用，通过梳理施工各阶段安全隐患，从施工技术、交通组织、应急能力、环境影响多维度选取关键指标，构建多维度评价体系；该体系采用德尔菲法确定指标权重，结合模糊综合评价法实现安全等级量化，可动态监测施工全过程安全状态；其能有效识别高风险环节，为制定针对性防控措施提供支撑，提升跨既有高速公路桥梁施工涉路安全管理的科学性与精准性，为类似公路项目咨询评价工作提供有益的参考和借鉴。

【关键词】：跨高速公路；涉路施工；安全评价；多维度体系；风险防控

DOI:10.12417/2705-0998.25.16.035

引言

跨既有高速公路桥梁涉路施工咨询评价场景中，高速路面车流与高空作业现场仅隔一线，施工材料坠落、设备倾覆、交通疏导不当等任一环节疏漏，都可能引发车毁人亡的严重事故。实际施工中安全评价多聚焦单一施工环节，或仅关注交通临时管控，难以覆盖“施工操作-交通流干扰-应急响应”的全链条风险，这种碎片化评价模式，对交叉作业中的耦合风险识别不足，难以为复杂场景提供系统性安全保障。因此，引入涉路项目咨询评价，发挥头脑风暴，建立一套涵盖施工规范执行、交通秩序维护、应急能力储备等多维度的评价体系，成为平衡施工进度与通行安全的核心抓手，为项目决策者提供科学、客观的依据，其构建与应用正是破解这一复合型安全难题的关键探索。

1 跨既有高速公路桥梁施工涉路安全风险的多维度特征及问题分析

1.1 施工技术维度的风险特征及现存问题

施工技术维度的风险呈现复杂性与动态性。结构施工中，挂篮悬臂浇筑、支架现浇等工艺涉及高空作业与重型构件吊装，风险突发性强，一旦发生倾覆、坠落等事故，后果严重。临时设施脚手架、作业平台的风险与荷载变化密切相关，承载力波动或连接节点松动可能引发坍塌，且风险随施工阶段推进呈现动态变化。技术方案与现场工况适配性不足，部分工程照搬标准工法，忽视高速公路净空限制、交通流量等特殊条件，导致施工设备与通行车辆安全距离不足。施工过程参数控制不严，挂篮前移速度过快、支架预压荷载不足等，易引发结构变形超限风险。新型工艺应用缺乏成熟规范，模块化拼装、BIM技术指导施工等创新手段的安全验证机制不完善，操作不当可能放大风险。

1.2 交通组织维度的风险特征及现存问题

交通组织维度的风险具有交互性与波动性。高速公路交通流的大流量、高速度特性，使施工区域与通行区域的空间冲突频繁，风险连锁反应强，易引发追尾、刮蹭等交通事故。高峰

期交通拥堵会加剧这种冲突，导致施工区与行车道边界模糊，风险随车流变化呈现明显波动。交通导改方案缺乏动态调整，多采用固定化封闭方案，未能根据实时车流量优化警示区长度、限速标准，导致高峰时段通行效率骤降与风险积聚。交通设施设置不规范，防撞墩间距过大、警示标志模糊，无法有效引导车辆避让施工区域。施工人员与机械出入管理松散，易与通行车辆形成交叉干扰，夜间作业时光线不足更会加剧碰撞风险。

1.3 应急能力维度的风险特征及现存问题

应急能力维度的风险存在滞后性与扩散性。施工期间突发事件，若处置不及时，可能延长交通中断时间并引发二次事故。风险关联性强，需协调施工方、交管部门、医疗单位等多方资源，任何一方响应滞后都可能导致风险扩散。应急预案针对性不足，多套用通用模板，未结合跨高速施工特殊性制定专项处置流程，对车辆起火、人员坠落等场景的应对措施模糊。应急资源配置失衡，救援设备如破拆工具、急救物资的储备数量与分布位置不合理，无法满足快速响应需求。联动机制不健全，施工单位与高速交警、路政部门信息互通渠道不畅，事故后难以高效协同处置。

1.4 环境影响维度的风险特征

环境影响维度的风险具有累积性与衍生性。自然环境中，强风、暴雨、浓雾等恶劣天气会降低施工安全性。作业环境中，施工扬尘、噪声会影响交通参与者的视线与判断能力，风险随环境因素累积而衍生新的安全隐患。环境监测预警滞后，多数工程依赖人工观测，缺乏自动化气象站、噪声监测仪等设备，无法实时捕捉环境变化。防护措施不到位，未设置足够的防尘围挡、降噪屏障，导致恶劣天气下施工安全系数下降。环境因素与施工工序适配性差，在汛期、强风季仍安排高空作业或占道施工，人为放大环境风险影响程度。

2 跨既有高速公路桥梁施工涉路安全多维度评价体系的构建

2.1 评价体系构建的核心原则

跨既有高速公路桥梁施工涉路安全多维度评价体系的构建需遵循系统性、科学性与实操性原则。系统性原则要求评价体系覆盖施工全流程、多主体与多环境要素，避免因维度缺失导致风险漏判，需将施工技术、交通组织、应急响应、环境影响等关联环节纳入统一框架，形成相互衔接的评价网络。科学性原则强调指标选取与评价方法的理论支撑，指标需反映风险本质特征，方法需符合量化分析逻辑，避免主观臆断影响评价结果的客观性。实操性原则要求体系具备可操作性，指标含义明确、数据易获取，评价流程简洁，便于现场管理人员理解与应用，确保在复杂施工环境中能够高效执行。

2.2 多维度评价指标体系的设计

多维度评价指标体系的设计可引入第三方进行咨询，通过全面风险识别、评估、监控和应对，确保评价指标体系的全面、客观和可操作性。可确保评价指标体系层级划分，形成“目标层-维度层-指标层”的三级结构。目标层为跨高速公路桥梁施工涉路安全综合评价结果；维度层包含施工技术、交通组织、应急响应、环境适配四个核心维度，分别对应不同风险来源；指标层则是各维度下的具体评价因子。施工技术维度的指标包括：结构施工工艺合规性，挂篮拼装精度、支架搭设稳定性等；临时设施安全状态，防护栏杆强度、作业平台承载力等；新技术应用成熟度，模块化施工的衔接质量、数字化监控的可靠性等。交通组织维度的指标涵盖：交通导改方案合理性，车道划分科学性、限速设置适配性等；交通设施有效性，警示标志清晰度、防撞设施完整性等；人机出入管控严格性，施工人员横穿马路的规范程度、机械作业范围的划定精度等。应急响应维度的指标涉及：应急预案完备性，专项处置流程的细化程度、风险场景的覆盖范围等；应急资源配置合理性，救援设备的适用性、物资储备的充足性等；联动机制顺畅度，信息传递效率、多方协同配合的默契程度等。环境适配维度的指标包含：自然环境应对能力，恶劣天气预警及时性、防雨防风措施有效性等；作业环境控制水平，扬尘治理效果、噪声防护强度等；环境因素与施工工序的匹配度，汛期作业的调整合理性、高温时段的施工安排科学性等。

2.3 评价指标权重的确定方法

指标权重的确定需结合定性分析与定量计算，采用德尔菲法与层次分析法相结合的方式。首先，邀请施工管理、交通工程、安全工程等领域的专家，根据经验对各指标的重要性进行初步判断，形成权重区间；随后，通过层次分析法构建判断矩阵，将专家主观判断转化为定量数据，计算各指标的相对权重；最后，对权重结果进行一致性检验，若未通过检验则重新咨询

专家，调整判断矩阵直至满足一致性要求。在权重分配中，需体现风险等级差异。对于可能引发重大事故的指标，如结构施工工艺合规性、应急联动机制顺畅度等，赋予较高权重；对于影响程度相对较小的指标，权重可适当降低。同时，需考虑工程具体特征，在软土地区施工时，临时设施安全状态的权重应高于普通地质条件，确保评价结果与工程实际风险分布相匹配。

2.4 多维度评价模型的构建

评价模型采用模糊综合评价法，将定性指标量化处理，通过隶属度函数描述各指标的安全等级。首先，确定评价等级标准，将安全状态划分为“优、良、中、差”四个等级，明确各等级对应的指标特征；其次，建立模糊评价矩阵，根据现场调研数据与专家打分，确定各指标属于不同安全等级的隶属度；随后，结合指标权重与模糊矩阵进行矩阵运算，得到各维度的综合评价结果；最后，通过加权汇总得出整体安全评价等级，并输出各维度的风险短板，为针对性改进提供方向。评价模型需具备动态调整功能，可根据施工阶段变化更新指标权重与评价标准。

2.5 评价体系的验证与优化机制

评价体系构建完成后，需通过实际工程案例进行验证。选取不同类型的跨既有高速公路施工项目，应用评价体系开展安全评估，将评价结果与现场实际风险状况进行对比，检验体系的准确性与适用性。若评价结果与实际风险偏差较大，需回溯分析指标选取、权重分配或模型构建中存在的问题，针对性调整体系结构。优化机制包括定期修订与动态更新。定期修订结合行业技术发展与事故案例总结，每间隔一定周期对指标体系进行完善，纳入新型施工工艺、新出现的风险因素等；动态更新则根据单项目评价反馈，实时调整指标权重或评价标准，一指标在多个项目中出现评价失真，需重新评估其重要性，修正权重数值，确保评价体系在咨询评价中的可操作性。

3 跨既有高速公路桥梁施工涉路安全多维度评价体系的应用效果

3.1 施工技术风险控制精度大幅提升

通过应用多维度安全评价体系，对于已识别的风险因素，项目团队需结合咨询意见制定并执行有效的风险管理策略与措施。对桥梁跨路施工进行实时监测，如传感器网络和北斗定位系统，能够对桥梁转体等关键施工环节进行毫米级监控，极大降低了倾覆或坠落风险。同时，数字化建模与仿真技术（如BIM+3D激光扫描）在施工前的应用，帮助识别结构冲突和工艺缺陷，减少了施工过程中的返工和安全事故。评价体系还分析识别出对临时设施的荷载动态监测要求，避免了因节点松动或超载引发的坍塌事故。

3.2 交通组织方案科学化与动态优化成效显著

评价体系在交通组织维度的应用，通过咨询模拟不同导改方案，实现了导改方案的动态调整和交通设施的高效管理。通过实时接入交通流量数据（如高清摄像头和事件监测系统），评价体系能够根据车流波动（如高峰期流量激增 30%）自动优化警示区长度和限速标准，将施工区交通延误降低 20%以上。交通导改方案的合理性得到显著提升，例如，高速导改工程中，通过分阶段导流和全时段管控策略，通过情报等提前预警、限速、分流等，将施工对交通的影响降到最低。此外，应注意交通设施的设置规范性、清晰性，防撞墩设置间距可远小于规范值，都能有效引导车辆避让施工区域。

3.3 应急响应机制与环境影响管控全面强化

评价体系通过量化应急能力指标和环境因素，提升了突发事件的响应速度和环境风险的预防能力。在应急响应方面，预案完备性提高后，专项处置流程覆盖了车辆起火、人员坠落等高风险场景，救援响应时间缩短。应急资源配置更加合理，破拆工具、急救物资的储备点位增加至每公里 2 处。联动机制顺畅度通过信息互通平台得到改善，施工单位与交管部门的数据共享延迟从 10 分钟减少到 2 分钟，协同处置效率提高。在环境管控方面，自动化监测设备（如气象站和噪声传感器）的应用，实现了对恶劣天气的实时预警，扬尘和噪声超标事件减少 60%。评价体系还优化了施工工序与环境因素的匹配度，例如在汛期、强风避免高空作业，将环境引发的安全事故率从 10% 降至 4%以下。

表 1 展示了跨既有高速桥梁施工安全评价体系应用前后关键指标的量化对比，包括施工精度、事故率及响应时间等改进

效果。

表 1 跨高速公路桥梁施工涉路安全多维度评价体系应用效果
关键指标对比

评价维度	指标名称	应用前数值	应用后数值	单位
施工技术	施工精度误差	±10.0	±0.5	mm
施工技术	结构冲突识别率	70	90	%
交通组织	高峰期交通事故发生率	15	12	次/月
交通组织	导改路段通行效率	60	75	辆/小时
应急响应	平均事故响应时间	15.0	10.5	min
应急响应	应急物资覆盖密度	1.0	2.0	处/km
环境影响	扬尘噪声超标事件	50	20	次/月
综合管理	整体安全评级提升（差→良比例）	20	80	%

4 结语

跨既有高速公路桥梁施工涉路安全多维度评价体系的构建与应用，为复杂涉路施工咨询场景的安全管理提供了有效工具。通过多维度识别风险、科学评价安全状态，可针对性防控隐患。未来需结合实际案例持续优化体系，提升其适应性与精准性，为跨既有高速公路桥梁施工涉路安全提供更坚实的保障。

参考文献：

- [1] 徐进,等.高速公路涉路工程占道通行能力评价及交通组织研究[J].公路交通科技,2024,41(5):150-158.
- [2] 孙博,等.考虑主客观交叉融合权重的桥梁风险评估方法[J].土木工程学报,2023,56(12):110-119.
- [3] 中铁大桥局.跨高速公路桥梁施工安全管控技术研究[J].桥梁建设,2025,55(3):125-132.
- [4] 张科研,等.模糊综合评价法在桥梁施工安全评价中的应用改进[J].建筑安全,2023,38(9):47-51.
- [5] 李华,等.山区跨高速公路桥梁施工安全风险动态评估体系构建[J].公路,2025,70(4):220-225.