

基于 LEC 法的建筑施工现场安全风险分级管控体系构建与示例分析

贺敏¹, 王维明¹, 孔潇楠^{1,*}

1. 金乡县金思泉水务有限公司, 山东 济宁, 272200

摘要: 针对建筑施工现场危险源多样、风险状态随施工阶段动态变化以及传统安全检查资源平均配置等问题, 构建基于作业条件危险性评价法(LEC)的风险分级管控体系。依据法规标准和施工活动特征, 从人员、设备、环境、技术和管理五个维度识别危险源, 建立多主体独立赋值、分歧复核和重大事故隐患优先判定机制, 并将综合风险值与责任主体、建议检查频次、技术措施、停工条件及动态更新触发条件相衔接。选取 10 类典型施工场景开展示例评价, 并采用单参数上下调整一档的方法进行情景敏感性分析。结果表明, 示例中重大、较大、一般和低风险分别为 1、4、2 和 3 项, 楼层临边及预留洞口作业风险值最高(D=540); 模板支撑、临时用电和动火作业在参数变化后可能跨越风险等级, 边界场景需缩短复评周期。所构建体系形成“辨识—评价—分级—管控—复查—更新”的闭环, 可为施工现场差异化配置安全管理资源提供方法依据。本文数据用于方法演示, 尚需结合真实工程进一步验证。

关键词: 建筑施工; 风险分级管控; LEC 法; 敏感性分析; 动态更新

Construction and Illustrative Analysis of a Graded Safety Risk Control System for Construction Sites Based on the LEC Method

Min He¹, Weiming Wang¹, Xiaonan Kong^{1,*}

1. Jinxiang County Jinsiquan Water Affairs Co., Ltd., Jining, Shandong, China

Abstract: To address diverse hazards, dynamically changing risk conditions, and the uniform allocation of conventional inspection resources on construction sites, this study develops a graded risk-control system based on the likelihood-exposure-consequence (LEC) method. Hazards are identified from five dimensions: personnel, equipment, environment, technology, and management. A procedure involving independent multi-stakeholder scoring, disagreement review, and priority treatment of major accident hazards is established, and risk levels are linked to responsible parties, recommended inspection frequency, technical measures, work-stoppage conditions, and dynamic-update triggers. Ten typical construction scenarios are evaluated illustratively, and a scenario-based sensitivity analysis is performed by adjusting one LEC parameter by one grade at a time. The example contains one major-risk, four high-risk, two moderate-risk, and three low-risk scenarios. Floor-edge and opening work has the highest score (D=540). Formwork support, temporary electricity use, and hot work may cross risk boundaries when parameters change, indicating that boundary scenarios require shorter reassessment intervals. The proposed system forms a closed loop of identification, assessment, classification, control, review, and updating, providing a methodological basis for differentiated allocation of safety-management resources. The data are illustrative and require validation in actual projects.

Keywords: Construction site; Graded risk control; LEC method; Sensitivity analysis; Dynamic updating

建筑施工现场具有露天作业多、工序转换快、人员流动性大、机械设备集中及多工种交叉作业频繁等特点，危险源的空间位置、暴露人数和后果严重程度会随施工阶段持续变化。现行《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》要求对危险性较大的分部分项工程实施专项施工方案、技术交底、现场监督、监测和验收^[1]。相关实施通知进一步明确了危大工程范围、专家论证和现场管理要求^[2]。《房屋市政工程生产安全重大事故隐患判定标准（2024 版）》则对深基坑、模板支撑、脚手架、起重机械及高处作业等重大事故隐患设置了刚性判定条件^[3]。因此，施工现场安全管理不仅要满足法规底线，还需要对不同作业活动进行风险排序，以明确检查重点和管理资源投入顺序。

危险源识别应覆盖人的因素、物的因素、环境因素和管理因素^[4]。识别结果还应与职业健康安全管理体系中的策划、运行控制、绩效评价和持续改进相衔接^[5]。施工现场检查与隐患整改可依据建筑施工安全检查标准进一步细化^[6]。

LEC 法以事故发生可能性 L、人员暴露频繁程度 E 和事故后果严重程度 C 的乘积表示风险^[7]。房屋市政工程施工安全风险分级导则对 L、E、C 取值、D 值分级及分级管控要求进行了具体规定^[8]。该方法参数含义直观、计算过程简便，可用于作业活动的危险性评价和风险排序^[9]。但传统应用仍可能存在赋值依据不够具体、单一人员评分主观性较强、等级与措施衔接不足以及风险清单更新不及时等问题。现有施工安全风险评价已形成多种技术路径。Fung 等构建了面向施工安全的系统风险评价模型^[10]。Lu 等将 BIM 用于建筑项目设计阶段的施工安全风险量化评价^[11]。Tixier 等提出了基于事故报告数据的施工安全风险建模与仿真方法^[12]。Fu 等将两阶段 LEC 法与贝叶斯网络结合用于桥梁养护事故风险分析^[13]。Yao 等采用关联规则和贝叶斯网络开展施工安全事故风险评价^[14]。这些方法能够处理复杂指标或风险关联，但一般项目在数据持续采集、模型维护和基层操作方面仍可能受到限制。

基于此，本文构建人员、设备、环境、技术和管理多维危险源识别框架，建立多主体独立赋值、分歧复核及重大事故隐患优先判定规则，将风险等级与责任主体、建议检查频次、技术措施、停工条件和动态更新触发机制相联动，并通过典型施工场景与情景敏感性分析检验风险等级对参数变化的响应。本文属于方法构建与示例分析研究，不将示例参数表述为特定工程的实测结果。

1 风险识别与评价方法

1.1 风险识别框架

风险识别应以施工活动为基本单元，结合施工组织设计、专项施工方案和危大工程清单开展^[1]。设备台账、安全检查记录和事故案例可作为现场危险源辨识的补充依据^[6]。识别对象既包括人的不安全行为与物的不安全状态，也包括环境和管理因素之间的叠加作用^[4]。为避免同一危险源在不同表单中重复或遗漏，建议采用“作业区域—施工活动—危险源—可能事故类型—现有控制措施”的结构建立基础清单。

表 1 建筑施工现场安全风险识别维度
Table 1 Dimensions for identifying safety risks at construction sites

风险维度	主要识别内容	典型风险表现
Risk dimension	Main identification content	Typical risk manifestation
人员 Personnel	资格、培训、行为及个体防护	无证上岗、违章操作、防护用品使用不规范

风险维度	主要识别内容	典型风险表现
Risk dimension	Main identification content	Typical risk manifestation
设备 Equipment	机械状态、防护装置、维护保养	限位失效、设备超载、钢丝绳磨损
环境 Environment	作业空间、气象、照明、交叉作业	临边洞口、强风、照明不足、通道交叉
技术 Technology	专项方案、计算验算、交底与验收	方案缺项、支撑验算不足、交底不具体
管理 Management	责任划分、检查、分包协调、整改闭环	责任不清、重复隐患、整改复查不及时

1.2 LEC 评价原理

本文依据危大工程管理规定确定典型作业范围^[1]。在此基础上，结合重大事故隐患判定标准筛选高后果场景^[3]。同时，参考建筑施工安全检查标准补充施工升降机、临时用电和材料运输等日常作业^[6]。最终选取楼层临边及预留洞口、模板支撑、塔式起重机吊装、外脚手架、高处钢筋模板作业、施工升降机、临时用电、混凝土泵送、动火作业和材料运输等 10 类场景。上述场景用于展示评价与管控流程，实际项目应根据工程结构形式、施工阶段、设备配置和分包界面增删。

LEC 法通过事故发生可能性 L、人员暴露频繁程度 E 和事故后果严重程度 C 计算综合风险值 D，其基本形式见式（1）^[7]。表 2 所列参数档次及其含义依据房屋市政工程施工风险分级导则整理^[8]。

$$D=L\times E\times C$$

(1)

其中，L 用于描述危险事件发生的可能性，E 用于描述人员处于危险环境中的频繁程度，C 用于描述事故发生后可能造成的伤亡和损失。D 值越大，表示作业活动的危险性和管控优先级越高^[8]。LEC 评价属于半定量排序工具，不能替代法规判定和重大事故隐患识别^[3]。危大工程的专项方案、施工监测和验收应按照管理规定独立实施^[1]。

表 2 L、E、C 参数常用赋值标准
Table 2 Common scoring criteria for L, E and C

参数	常用取值	基本含义
Parameter	Common score	Basic meaning
L	10、6、3、1、0.5、0.2、0.1	由完全可能发生至实际上不可能发生
E	10、6、3、2、1、0.5	由连续暴露至极少暴露
C	100、40、15、7、3、1	由多人死亡或重大损失至影响较小

1.3 风险等级划分与优先判定

表 3 风险等级划分标准
Table 3 Risk classification criteria

风险值 D	风险等级	管控定位
Risk score D	Risk level	Control orientation
D≥320	重大风险 Major risk	企业与项目部重点管控，控制条件未落实不得作业
160≤D<320	较大风险 High risk	项目负责人和技术负责人实施专项管控

风险值 D Risk score D	风险等级 Risk level	管控定位 Control orientation
$70 \leq D < 160$	一般风险 Moderate risk	纳入日常检查，明确整改期限并复查
$D < 70$	低风险 Low risk	由班组和岗位人员实施常态化预防

本文按照房屋市政工程施工风险分级导则中的常用区间，将风险划分为重大、较大、一般和低风险四级（见表 3）^[8]。风险等级首先依据 D 值确定，但应设置法规优先规则。若某一场景符合重大事故隐患判定标准，应按规定组织整改^[3]。当重大事故隐患排除前或排除过程中无法保证安全时，应撤出人员或暂停施工^[1]。因此，本文所称风险等级是管理优先级，不能用于降低法定控制要求。

1.4 参数赋值与分歧复核机制

实际应用时，建议由项目经理或生产负责人、技术负责人、专职安全管理人员、监理工程师及专业班组负责人分别依据现场状态独立赋值。评分资料应至少包括专项方案和交底记录、检查验收记录、设备运行及维保记录、作业人数与暴露时间、气象和交叉作业信息。各评价主体完成独立评分后，原则上采用中位数作为 L、E、C 的初始值，以降低极端判断的影响。

当同一参数的最高值与最低值跨越两个及以上赋值档次，或不同评分结果导致风险等级不一致时，应由技术负责人组织复核，说明差异来源，并保留评分和复核记录。对于靠近 70、160 和 320 分界值的场景，应提高复评频次；当风险状态恶化但现有赋值表无法充分反映时，优先采取提高管控等级或暂停作业的保守策略。

1.5 体系构建技术路线

体系由资料收集、施工活动划分、危险源辨识、LEC 赋值、风险分级、措施配置、整改复查和动态更新组成。与传统单向评价流程不同，本文在末端设置重新辨识与重新评价反馈路径，使风险清单能够随施工条件变化形成闭环，具体见图 1。

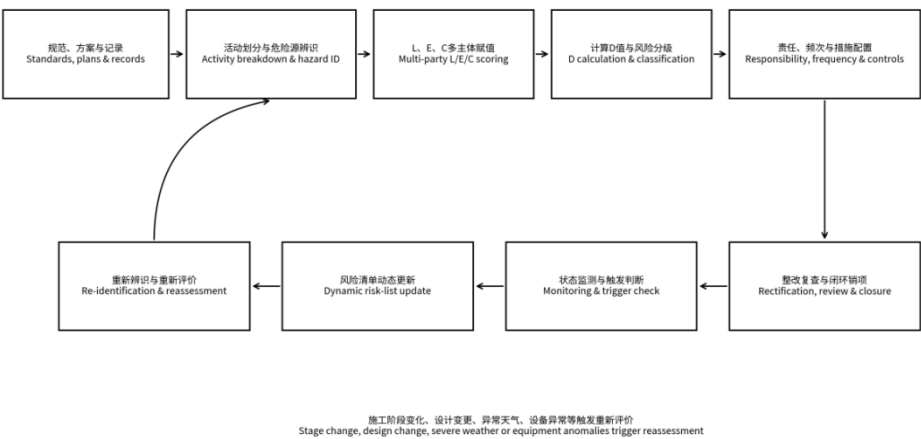


图 1 建筑施工现场安全风险分级管控闭环技术路线

Fig. 1 Closed-loop technical route for graded construction safety risk control

2 结果与分析

2.1 典型施工场景评价

为展示 LEC 法的计算和分级过程，依据一般施工条件对 10 类典型场景进行示例赋值。该赋值不来源于特定项目的监测、问卷或专家调查，不能直接作为某一工程的风险结论。实际应用时，应按照 1.4 节的多主体赋值与复核程序重新确定参数。

表 4 典型施工场景 LEC 评价示例

Table 4 Illustrative LEC evaluation of typical construction scenarios						
序号 No.	典型施工场景 Typical scenario	L	E	C	D	等级 Level
1	楼层临边及预留洞口作业	6	6	15	540	重大 Major
2	模板支撑体系搭设与拆除	3	6	15	270	较大 High
3	塔式起重机吊装作业	3	6	15	270	较大 High
4	外脚手架搭设及使用	3	6	15	270	较大 High
5	高处钢筋及模板作业	3	6	15	270	较大 High
6	施工升降机运行	3	6	7	126	一般 Moderate
7	施工现场临时用电	3	6	7	126	一般 Moderate
8	混凝土泵送及布料作业	3	3	7	63	低 Low
9	焊接、切割等动火作业	3	3	7	63	低 Low
10	材料堆放与场内运输	3	3	3	27	低 Low

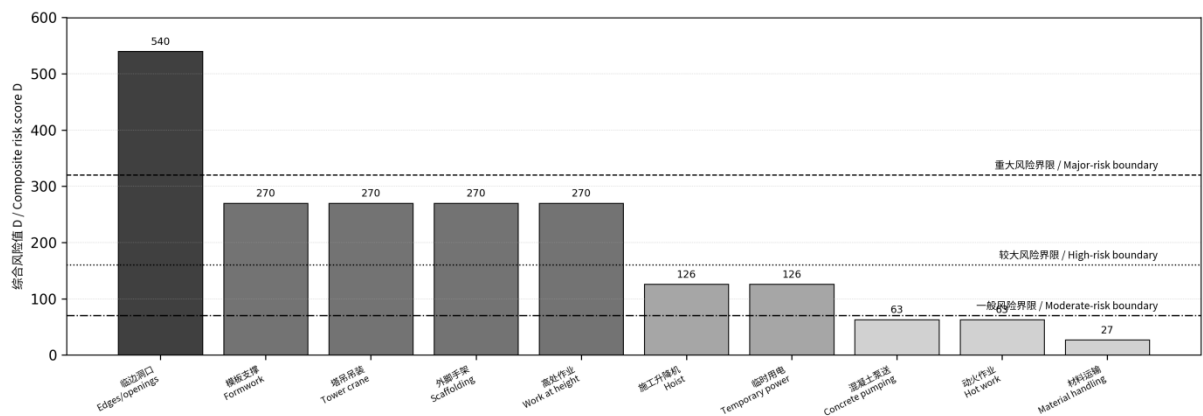


图 2 典型施工场景 LEC 风险值分布示例

Fig. 2 Illustrative distribution of LEC risk scores for typical construction scenarios

2.2 评价结果分析

示例结果中，楼层临边及预留洞口作业的 D 值为 540，属于重大风险。建筑施工安全检查标准将临边、洞口防护列为高处作业检查的重要内容^[6]。结合现场作业特点，其风险还可能受到作业面持续转移、防护设施频繁拆改和多班组交叉作业影响。模板支撑、塔式起重机吊装、外脚手架和高处钢筋模板作业的 D 值均为 270，属于较大风险。危大工程管理规定要求此类作业落实专项方案、交底、现场监督和验收等控制程序^[1]。

施工升降机和临时用电的检查内容包括安全装置、层门、漏电保护、保护接零及电缆敷设等项目^[6]。当上述设施状态异常时，应结合现场情况重新确定 L、E 或 C 值。混凝土泵送、动火和材料运输在本示例的一般条件下处于低风险，但低风险并不等于无风险。职业健康安全管理体系强调在运行条件和风险信息变化时持续改进控制过程^[5]。因此，可燃物集中、通道重叠、夜间照明不足或人员暴露增加时，应重新评价风险等级。

2.3 情景敏感性分析

为检验评价结果对参数变化的响应，选取 5 类代表性场景，分别将 L、E 或 C 单独下调一档和上调一档，计算可能出现的 D 值范围。该分析属于一因素变动的情景检验，用于识别接近等级边界或对现场状态较敏感的场景，不代表真实整改效果。

表 5 代表性场景参数变动敏感性分析

Table 5 Sensitivity analysis of parameter changes in representative scenarios

代表性场景 Scenario	基准 D/等级 Baseline D/level	单参数下调一档后的 D 范 围 D range after one-grade decrease	单参数上调一档后的 D 范 围 D range after one-grade increase	敏感性判断 Sensitivity assessment
临边洞口	540/重大	252~270（较大）	900~1440（重大）	等级较高，控制有效时可降级
模板支撑	270/较大	90~135（一般）	450~720（重大）	对任一参数恶化均较敏感
临时用电	126/一般	42~63（低）	210~270（较大）	典型边界场景，需缩短复评周期
动火作业	63/低	21~42（低）	126~135（一般）	环境和暴露变化可导致升一级
材料运输	27/低	9~18（低）	54~63（低）	单参数变化下等级相对稳定

分析表明，模板支撑和临时用电对参数变化较敏感：前者由较大风险可能升至重大风险，后者由一般风险可能升至较大风险。动火作业基准值低于 70，但上调一档后可进入一般风险，说明风险值接近分界线时不能仅依赖固定检查周期。材料运输在单参数变动下仍保持低风险，但若多参数同时恶化，仍可能跨级，因此动态更新应同时关注复合变化。

2.4 评价方法适用性比较

不同评价方法的目标和数据条件不同。风险模型与仿真可用于描述施工风险的频率、后果及其联合分布^[12]。BIM 辅助评价适合在设计阶段整合建筑信息、施工计划与安全风险数据^[11]。关联规则与贝叶斯网络能够识别事故因素之间的关联关系和条件依赖^[14]。两阶段 LEC 法与贝叶斯网络结合能够反映事故发生与发展的阶段性风险^[13]。表 6 在上述研究基础上对常用方法进行定性比较，其目的不是证明 LEC 法精度最高，而是说明其适合数据基础有限情况下的快速筛查和基层应用。对于大型复杂项目，可将 LEC 作为初筛工具。对具有明显空间冲突的重大、较大风险，可采用 BIM 开展辅助分析^[11]。对风险耦合明显的场景，可进一步使用贝叶斯网络开展条件推理^[13]。

表 6 常用施工安全风险评价方法适用性比较
Table 6 Applicability comparison of common construction safety risk assessment methods

方法 Method	数据需求 Data demand	计算复杂度 Complexity	可解释性 Interpretability	动态更新能力 Dynamic update	适用场景 Applicable scenario
LEC 法 LEC	低	低	高	中	日常筛查、风险排序和班组应用
AHP/模糊评价 AHP/fuzzy	中	中	中	较低	多指标综合评价和方案比选
贝叶斯网络 Bayesian network	较高	高	中高	高	风险关联、推理与预测分析
BIM 集成评价 BIM-integrated	较高	高	高（可视化）	高	数字化基础较好的复杂项目
数据驱动模型 Data-driven model	高	高	视模型而定	高	具备事故与隐患数据库的组织

2.5 分级管控体系构建

2.5.1 风险、责任和措施清单联动

风险分级管控体系应同步建立风险清单、责任清单和措施清单。风险清单记录危险源位置、可能事故类型、LEC 参数、风险值和等级，其危险因素分类可参照国家标准^[4]。责任清单明确企业负责人、项目负责人、技术负责人、安全管理人员、施工员和班组长的职责，并与职业健康安全管理体的职责分工相衔接^[5]。措施清单明确技术措施、建议检查频次、验收要求、停工条件和应急处置方式，具体内容应满足建筑施工安全检查要求^[6]。三类清单应使用相同的场景编号或危险源编码，保证评价结果能够追溯到责任人和具体控制措施。

表 7 不同风险等级的责任与措施配置
Table 7 Responsibility and control measures for different risk levels

风险等级 Risk level	主要责任主体 Responsible party	建议检查频次 Recommended frequency	重点管控要求 Key control requirements
重大 Major	企业负责人、项目负责人	每日检查，关键作业全过程监督	专项方案、作业许可、旁站或监测、明确停工条件

风险等级	主要责任主体	建议检查频次	重点管控要求
Risk level	Responsible party	Recommended frequency	Key control requirements
较大 High	项目负责人、技术负责人	每日或关键节点检查	专项交底、关键节点验收、警戒隔离、专人监护
一般 Moderate	安全员、施工员	周期检查与班组日检结合	日常巡检、限期整改、复查销项
低 Low	班组长、岗位人员	班前检查	标准化作业、现场整理和状态维护

注：表 7 中的检查频次属于本文提出的推荐配置，不替代法律法规、标准规范、专项方案或企业制度中的更高要求。若项目制度规定的检查频次高于表中建议，应执行更严格要求。

2.5.2 分级管控措施

重大风险应实行企业和项目部双层管控。临边和洞口部位应按照检查标准设置防护栏杆、盖板、防护门或安全网等设施^[6]。在此基础上，项目可建立洞口编号、设施移交、拆除审批和恢复验收制度。重大事故隐患应依据判定标准及时识别^[3]。当隐患排除前无法保证安全时，应撤离人员或停止施工^[1]。较大风险应突出专项方案、技术交底和关键节点验收^[1]。模板支撑重点控制立杆基础、架体构造、连接节点、剪刀撑和施工荷载；塔吊作业重点检查基础、附着、安全限位、钢丝绳、吊具和人员资格；脚手架及高处作业重点控制连墙件、脚手板、防护栏杆、安全网和安全带^[6]。

职业健康安全管理体系要求明确职责、运行控制以及不符合事项的纠正措施^[5]。因此，一般风险应纳入项目日常检查，并明确整改责任人、完成时限和复查人员。施工升降机检查应覆盖安全装置、限位装置、防护设施及运行维护状态^[6]。临时用电检查应覆盖配电系统、漏电保护、保护接零和电缆线路^[6]。低风险主要由班组和岗位人员实施常态化控制，但不能因等级较低而取消班前检查和状态维护。

2.5.3 动态更新与闭环管理

风险等级不是固定不变的。规划调整、设计变更或专项方案修改时，应重新履行相应审核、论证和实施程序^[1]。职业健康安全管理体系要求组织在内外条件变化时更新危险源识别和风险评价信息^[5]。整改完成后，应依据检查和验收要求进行复查并形成记录^[6]。重大事故隐患应及时采取措施予以消除^[3]。在隐患整改完成前，本文不允许通过降低 LEC 参数人为下调风险等级。

动态更新应区分“计划触发”和“事件触发”。计划触发包括周检、月检及关键节点验收；事件触发包括设备报警、防护设施拆改、恶劣天气预警、现场人数显著增加和隐患重复出现。更新后的风险等级应同步调整责任人、检查频次和控制措施，避免风险清单与现场状态脱节。

2.5.4 风险分级管控清单示例

表 8 建筑施工现场风险分级管控清单示例
Table 8 Example of a graded risk-control checklist for construction sites

场景	等级	主要控制措施	责任主体	建议频次	停工/更新触发条件
Scenario	Level	Main controls	Responsible party	Frequency	Stop/update trigger
临边洞口	重大	定型化防护、拆除审批、恢复验收、区域隔离	项目负责人/安全员	每日及全过 程	防护缺失、拆改未恢复、交叉作业明显增加
模板支撑	较大	专项方案、基础与节点验收、荷载控制、浇筑监测	技术负责人/施工 员	每日及浇筑 前	架体变形、基础沉降、方案变更、集中荷载异常

场景	等级	主要控制措施	责任主体	建议频次	停工/更新触发条件
Scenario	Level	Main controls	Responsible party	Frequency	Stop/update trigger
塔吊吊装	较大	设备检查、吊具核验、警戒隔离、指挥与司索持证	项目负责人/设备管理人员	关键作业前	限位异常、强风、多塔交叉冲突、人员资格不符
临时用电	一般	三级配电、漏电保护、保护接零、电缆防护	电工/安全员	班前与周期检查	漏保失效、箱门缺失、电缆破损、雨后积水
动火作业	低	作业许可、清理可燃物、配置灭火器、专人监护	班组长/监护人	每次作业前	可燃物集中、通风不足、交叉作业或监护中断

3 讨论

3.1 方法适用性与管理价值

本文体系适用于房屋建筑、市政及水务工程等施工现场的危险源初筛、风险排序和日常管控。与仅形成风险值的传统应用相比，本文进一步明确了评分主体、分歧复核、法规优先判定和动态更新条件，并将风险等级转化为责任、频次和措施配置，从而提高评价结果的可执行性。LEC 法通过明确的 L、E、C 档次和乘积计算形成可比较的危险性分值，便于现场人员理解和沟通^[9]。因此，其优势主要体现在操作简便和结果透明，而不是统计预测精度。

3.2 与既有评价方法的关系

已有研究已形成多种施工安全风险评价路径。BIM 方法可在设计阶段整合建筑信息、施工规划和安全风险数据^[11]。风险模型与仿真能够从事故报告数据中提取风险属性并生成风险分布^[12]。两阶段 LEC 法与贝叶斯网络的结合可反映事故发生和发展阶段的风险变化^[13]。关联规则与贝叶斯网络可以挖掘施工安全事故因素之间的关联关系^[14]。与这些方法相比，本文并未以提高预测精度为目标，而是侧重在数据基础有限的项目中建立可执行的管理闭环。LEC 法可用于快速筛查和确定管理优先级。对于重大、较大风险，应进一步结合专项验算和设备监测开展二次分析。涉及空间冲突和施工过程协同的场景，可采用 BIM 模型辅助分析^[11]。风险耦合关系较复杂时，可采用贝叶斯网络开展深入推理^[13]。

3.3 方法局限性与后续研究

LEC 法仍具有半定量方法的固有限制。其一，施工安全评价人员可能依赖个人经验作出风险判断，评分结果存在主观差异^[10]。其二，单纯使用 L、E、C 乘积难以充分表达事故因素之间的条件依赖关系，引入贝叶斯网络可对此进行补充^[13]。其三，统一风险区间需要结合企业风险承受能力和工程特点进行校准。其四，本文示例未使用真实施工日志、隐患台账和事故数据，尚不能证明体系实施后的事故率或隐患整改效率得到改善。

实际应用时，可依据房屋市政工程施工风险分级导则建立项目初始风险清单^[8]。对具有空间和过程信息需求的重大、较大风险，可结合 BIM 模型开展二次分析^[11]。对风险因素条件依赖明显的场景，可进一步采用贝叶斯网络进行推理^[13]。企业可根据历史隐患和事故数据校准参数档次与风险区间，并定期分析不同评价人员的评分差异。后续研究宜选择处于不同施工阶段的真实项目，比较体系实施前后的重复隐患率、整改闭环时间、检查资源投入和风险等级变化，以验证方法的有效性。

4 结论

(1) 构建了人员、设备、环境、技术和管理五维危险源识别框架,并将具体施工活动作为评价单元,有利于风险信息与责任主体、作业区域和控制措施对应。

(2) 建立了多主体独立赋值、评分中位数汇总、分歧复核和重大事故隐患优先判定机制,能够在保持LEC法简便性的同时降低单一人员经验判断的影响。

(3) 10类典型场景示例中,重大、较大、一般和低风险分别为1、4、2和3项。情景敏感性分析表明,模板支撑、临时用电和动火作业可能随参数变化跨越风险等级,边界场景应缩短复评周期。

(4) 所构建体系将风险等级与责任主体、建议检查频次、技术措施、停工条件和动态更新触发因素相衔接,形成风险清单、责任清单和措施清单联动的闭环管理机制。

(5) 本文属于方法构建与示例分析,未采用特定工程实测数据。后续应结合真实项目的施工日志、检查台账、设备运行信息和隐患整改记录,对参数赋值、风险区间及体系应用效果开展验证。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部. 危险性较大的分部分项工程安全管理规定: 住房和城乡建设部令第37号[S]. 2018.
- [2] 住房和城乡建设部办公厅. 关于实施《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》有关问题的通知: 建办质(2018)31号[S]. 2018.
- [3] 住房和城乡建设部. 房屋市政工程生产安全重大事故隐患判定标准(2024版): 建质规(2024)5号[S]. 2024.
- [4] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 生产过程危险和有害因素分类与代码: GB/T 13861—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [5] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 职业健康安全管理体系 要求及使用指南: GB/T 45001—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [6] 住房和城乡建设部. 建筑施工安全检查标准: JGJ 59—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [7] Kinney G F, Wiruth A D. Practical risk analysis for safety management: NWC TP 5865[R]. China Lake, CA: Naval Weapons Center, 1976.
- [8] 新疆维吾尔自治区住房和城乡建设厅. 房屋市政工程施工安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防控制体系工作导则(试行): 新建质(2022)5号[S]. 2022.
- [9] Graham K J, Kinney G F. A practical safety analysis system for hazards control[J]. Journal of Safety Research, 1980, 12(1): 13-20.
- [10] Fung I W H, Tam V W Y, Lo T Y, et al. Developing a risk assessment model for construction safety[J]. International Journal of Project Management, 2010, 28(6): 593-600.
- [11] Lu Y, Gong P Z, Tang Y C, et al. BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects[J]. Automation in Construction, 2021, 124: 103553.
- [12] Tixier A J P, Hallowell M R, Rajagopalan B. Construction safety risk modeling and simulation[J]. Risk Analysis, 2017, 37(10): 1917-1935.
- [13] Fu T, Li X, Xu W, et al. Risk analysis of bridge maintenance accidents: A two-stage LEC method and Bayesian network approach[J]. International Journal of Transportation Science and Technology, 2024, 15: 51-64.
- [14] Yao H, She J, Zhou Y. Risk assessment of construction safety accidents based on association rule mining and Bayesian network[J]. Journal of Intelligent Construction, 2024, 2(3): 9180015.

第一作者简介: 贺敏(1988-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 工程管理, 施工安全管理。
E-mail: hm18595229676@163.com

***通讯作者简介:** 孔潇楠(1991-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 智慧水务建设管理与信息化项目管理研究, 工程管理。E-mail: 18765999624@163.com。