

建设工地四维应急协同机制构建与实证研究

欧洋^{1,2} 弋平^{2,3} 余金星^{2,4*}

1. 南充科技职业学院; 2. 南充科技职业学院建筑工程研究所; 3. 南充市经济开发区应急管理局; 4. 四川省测绘地理信息局

摘要: 为破解建设工地传统应急管理中“协同失灵”困境, 构建“政府—企业—社区—工人”四维协同理论框架, 揭示其提升系统应急韧性的内在作用路径。采用问卷调查与结构方程模型相结合的方法, 对四川省内12个典型在建项目的298份有效问卷进行实证分析。结果表明: 四维协同显著正向影响应急韧性(路径系数=0.73), 过程优化是提升工地应急韧性的关键杠杆(路径系数=0.65)。四维协同机制能有效提升建设工地应急韧性, 为基层应急治理提供可操作路径。

关键词: 应急管理; 建设工地; 四维协同; 韧性提升

DOI: 10.65976/3078-8145.2026.01.021

引言

《“十四五”国家应急体系规划纲要》强调, 要“构建统一指挥、专常兼备、反应灵敏、上下联动的应急管理体制”, 这对基层应急能力在系统化与协同化方面提出了更高要求^[1]。建设工地作为城市化进程中的高风险场所, 其应急管理长期受困于“政企协同失灵”与“社会力量缺失”的结构性矛盾的双重困扰, 传统“政府—企业”二元模式难以应对复杂灾情, 社区支援缺位、工人参与不足导致“最初一公里”响应迟缓。

现有研究多聚焦于制度层面的宏观协同, 对工地现场微观主体的能动性关注不足。薛泽林^[2]提出“功能型协同”理念; 金太军等^[3]对风险社会治理结构的探讨, 为多元共治奠定理论基础; 张桢^[4]与Okada等^[5]将视角延伸至社区层面, 论证了社区在应急响应中的潜在价值; 李海凌等^[6]与叶阿萍等^[7]构建的韧性评估框架, 凸显了“结构—认知”维度的重要性; 费立国等^[8]、程蕊^[9]与刘杨等^[10]的研究则表明, 智慧应急技术能有效优化决策流程。但是, 社区作为地理邻近主体, 具备信息本地化优势和快速响应的天然优势; 工人作为险情第一目击者和初始处置者, 其风险认知与技能水平直接决定着应急响应效率。因此, 如何有效整合政府、企业、社区与工人四方力量, 构建一个扁平化、网络化的四维应急协同机制, 是当前建设工地安全与应急管理领域亟待解决的一个现实问题。

本研究尝试构建“政府—企业—社区—工人”四维协同框架, 并揭示其提升系统应急韧性的作用路径, 旨在为响应“十五五”规划战略导向, 为基层应急治理提供理论依据和实践参考。

1 四维协同理论框架

1.1 四维协同理论内涵与角色定位

四维协同框架, 主要基于建设工地应急管理系统的结构完整性、功能互补性与责任连续性原则构建, 目的是形成覆盖应急全链条中的关键节点与责任主体。本质上是四种应急力量在信息、资源与行动上的功能互补与动态联动, 四者构成有一个机整体(见图1), 彼此间形成纵向指挥与横向协作相结合的网络化关系, 共同构成一个闭环协同系统, 实现从风险预警到恢复重建的全过程覆盖。

政府是制度供给者, 负责应急预案制定、跨部门指挥体系搭建与应急资源宏观调度。企业是负责风险责任主体, 承担现场初期处置、险情信息实时上报与组织人员疏散。社区是负责邻近支援体, 提供应急避难场所、志愿者支援与区域预警信息推送等补充性资源。工人是初始执行者, 其个体的风险认知与避险技能, 直接决定了应急响应的“最初一公里”效率。

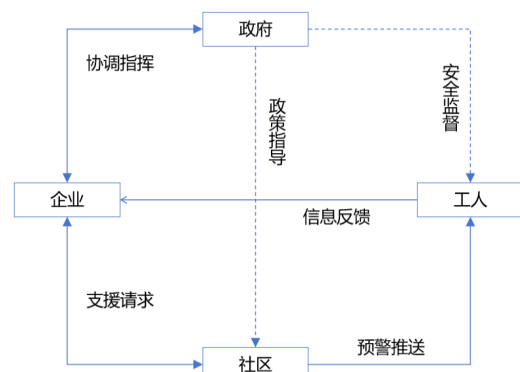


图1 G-E-C_m-W 四维协同理论模型图

基金项目: 四川省哲学社会科学重点实验室“智慧应急管理重点实验室”2025年度课题(2025ZHYJGL-11)。

作者简介: 欧洋(1986—), 男, 硕士, 副教授, 高级工程师, 研究方向为工程风险与韧性治理、城市更新与空间治理。

弋平(1986—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为安全生产监管、应急管理。

通讯作者: 余金星(1987—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为防灾减灾与测绘信息研究、地质灾害监测与评价。

1.2 应急韧性三维度

本研究将“应急韧性”定义为系统在灾害冲击下保持核心功能、快速恢复并适应学习的能力，解构为结构韧性、过程韧性、认知韧性三个维度：

(1) 结构韧性：指应急组织网络的稳固性与资源冗余度，体现为指挥体系完备、物资储备充足、多方协作顺畅；

(2) 过程韧性：指应急响应流程的敏捷性与信息流转效率，体现为决策迅速、执行高效、反馈及时。

(3) 认知韧性：指应急主体的风险意识与协同默契度，体现为风险识别准确、应急处置熟练、团队协作默契。

四维协同通过优化权责结构（赋能结构韧性）、畅通响应流程（驱动过程韧性）、统一风险认知（筑牢认知韧性），最终实现系统应急韧性的全面提升，见图 2。

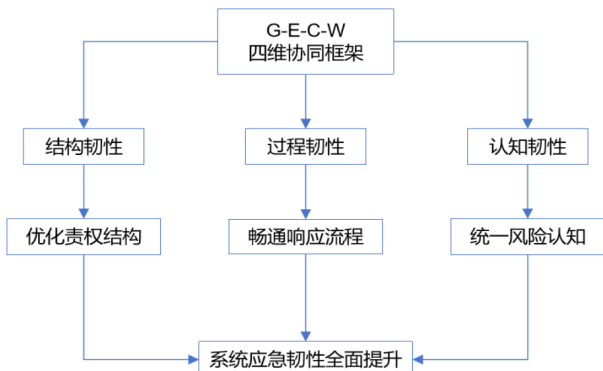


图 2 四维协同影响应急韧性的理论模型图

2 研究设计

2.1 研究模型与假设

本研究采用结构方程模型——一种基于协方差矩阵分析变量间关系的多元统计方法，检验四维协同对应急韧性及其三个维度的影响。基于理论框架，提出以下研究假设：

- H1：四维协同显著正向影响应急韧性；
- H1a：四维协同显著正向影响结构韧性；
- H1b：四维协同显著正向影响过程韧性；
- H1c：四维协同显著正向影响认知韧性。

2.2 四维协同度量模型与权重确定

为测度协同水平，构建量化模型： $C = \alpha G + \beta E + \gamma C_m + \delta W$ 。其中： C 为综合协同度； G 为政府调度效能， E 为企业响应速度， C_m 为社区支持度， W 为工人规范操作能力的标准化值。

权重系数采用层次分析法（AHP）确定。邀请 10 位应急管理领域专家（4 位学者、2 位政府官员、4 位企业安全总监），采用 1-9 标度法进行两两比较

（见表 1）。计算得最大特征值 $\lambda_{max}=4.051$ ，一致性比率 $CR=0.019 < 0.10$ ，通过一致性检验。精确权重为 $\alpha=0.47$ ， $\beta=0.28$ ， $\gamma=0.17$ ， $\delta=0.08$ ，为便于表述，调整为 $\alpha=0.4$ ， $\beta=0.3$ ， $\gamma=0.2$ ， $\delta=0.1$ 。

表 1 G-E-C_m-W 四维判断矩阵 (A)

角色	G	E	C _m	W
G	1	2	3	5
E	1/2	1	2	4
C _m	1/3	1/2	1	3
W	1/5	1/4	1/3	1

2.3 数据收集与样本特征

本研究于 2025 年 6 月至 2025 年 12 月期间，针对四川省内 12 个典型在建项目开展问卷调研。正式发放前进行小规模预测试（n=25），根据反馈优化问卷表述。调研期间未发生重大安全事故或应急管理政策重大调整。

问卷采用 Likert 5 点量表，共发放 350 份，回收有效问卷 298 份，有效回收率 85.1%。样本覆盖政府管理人员、企业安全负责人、社区工作者及一线工人，比例均衡，且样本普遍具有较长的工作年限，具有良好的代表性（见表 2）。

表 2 调查样本基本情况分布表

特征	类别	样本数(人)	百分比
所属主体	政府管理人员	35	11.74%
	企业安全负责人	89	29.87%
	社区工作者	62	20.81%
	一线工人	112	37.58%
工作年限	5 年及以下	101	33.89%
	6—10 年	127	42.62%
	11 年及以上	70	23.49%
项目类型	住宅建筑	158	53.02%
	公共建筑	86	28.86%
	基础设施	54	18.12%

2.4 分析方法

采用 SPSS 26.0 与 AMOS 24.0 软件进行数据分析。通过验证性因子分析检验量表信效度，运用结构方程模型检验假设，采用 Bootstrap 法（重复抽样 2000 次）计算 95% 置信区间。通过 Harman 单因子检验控制共同方法偏差，结果显示第一因子解释变异量为 31.2%，未超过 40% 临界标准，表明共同方法偏差并不严重。

3 实证结果与分析

3.1 组合信度与效度检验

量表总体克隆巴赫系数为 0.91，各潜变量组合信度值均大于 0.8，平均变异抽取量均大于 0.5，表

表 3 组合信度与收敛效度检验结果

潜变量	观测变量	因子荷载	克隆巴赫系数	组合信度	平均变异抽取量
政府调度 (G)	G1: 应急指挥体系完善度	0.81	0.88	0.89	0.62
	G2: 资源跨区域调配能力	0.79			
	G3: 应急预案科学性	0.76			
企业响应 (E)	E1: 初期险情处置速度	0.85	0.9	0.91	0.67
	E2: 信息上报及时性	0.82			
	E3: 自主决策授权满意度	0.80			
社区支持 (C _m)	C _m 1: 应急避难场所可用性	0.78	0.86	0.87	0.59
	C _m 2: 志愿者动员效率	0.77			
	C _m 3: 预警信息推送能力	0.75			
工人能力 (W)	W1: 风险识别准确率	0.83	0.89	0.89	0.65
	W2: 自救互救技能掌握度	0.81			
	W3: 安全规范操作遵从性	0.78			

注: 所有因子载荷均在 $p < 0.001$ 水平上显著。

明量表具有优异的组合信度与收敛效度 (见表 3)。Fornell-Larcker 准则检验显示判别效度良好。

3.2 影响机制检验

结构方程模型分析结果 (见表 4) 表明, 所有假设均获得支持。四维协同对应急韧性的总体路径系数为 0.73 ($p < 0.001$), 假设 H1 成立。

路径分解得知: 四维协同对过程韧性的路径系数为 0.65 (H1a 成立), 对结构韧性为 0.58 (H1b 成立), 对认知韧性为 0.51 (H1c 成立)。过程韧性路径系数最高, 表明“并联”流程优化是提升工地应急韧性的关键杠杆; 结构与认知韧性为中长期累积效应。因此, 改革应优先压缩“决策—行动”时滞, 再逐步夯实组织网络与风险文化。

模型拟合指标显示: $\chi^2/df=2.18 (< 3.0$ 表示优良), RMSEA=0.063 (< 0.08 表示良好), CFI=0.94、TLI=0.92 (0.9 表示优良)。各项指标均优于判别标准, 理论模型与实际数据拟合良好。

3.3 稳健性检验

为验证权重设置的稳健性, 分别使用 AHP 精确权重 ($\alpha=0.47, \beta=0.28, \gamma=0.17, \delta=0.08$) 与近似权重 ($\alpha=0.4, \beta=0.3, \gamma=0.2, \delta=0.1$) 计算协同度并代入结构方程模型。结果显示: 两种权重下的路径系数差异均小于 0.02,

且显著性水平均保持 $p < 0.001$, 表明权重近似处理对研究结论无实质性影响, 模型稳健性良好。

4 应急管理启示与对策建议

4.1 协同权责清单设计

基于研究发现, 建议制定适用于建设工地的应急协同权责清单指引。

政府作为制度供给者, 制定专项应急预案, 建立跨部门指挥体系, 每季度组织联合演练, 统筹调配区域内应急资源;

企业作为风险责任主体, 承担现场初期处置主体责任, 建立 24 小时值班制度, 确保险情信息 30 分钟内上报并保障应急通道畅通;

社区是邻近支援体, 签署应急支援协议, 提供避难场所和志愿者队伍, 协助区域预警信息推送, 参与灾后恢复重建;

工人是初始执行者, 参加入场安全培训和应急演练, 掌握风险识别与自救互救技能, 履行险情首报义务, 服从现场指挥调度。

4.2 应急流程优化

针对过程韧性关键杠杆作用, 应推动传统模式“串联”流程向“并联”流程转变。一是建立“企业一键上报、社区预警精准推送、工人移动端首报”的标准化信息

表 4 结构方程模型路径系数

研究假设	影响路径	路径系数	标准误	临界比	P 值	95%CI	检验结果
H1	四维协同→应急韧性	0.73	0.08	9.125	< 0.001	[0.62,0.84]	支持
H1a	四维协同→过程韧性	0.65	0.06	10.833	< 0.001	[0.56,0.74]	支持
H1b	四维协同→结构韧性	0.58	0.07	8.286	< 0.001	[0.48,0.68]	支持
H1c	四维协同→认知韧性	0.51	0.09	5.667	< 0.001	[0.38,0.64]	支持

注: CI 为 Bootstrap 法计算的 95% 置信区间。

流转机制, 缩短“决策—行动”响应时滞; 二是构建建设工地应急数字孪生系统, 实现从“人找事”到“事找人”的转变, 最大限度提升应急响应效率。

4.3 现场应用建议

在结构层面: 通过地方规章或标准合同形式, 法定化各方职责边界与资源调配权限, 为四维协同提供制度冗余; 在过程层面: 推动“智慧工地”与应急管理平台深度融合, 实现标准化应急信息流; 在认知层面, 依托真实案例, 开展多方参与的“情景构建”与实战化演练, 在实践中统一风险认知、磨合协同流程、培育互信文化。

5 结论

本研究构建并验证了政府—企业—社区—工人四维协同理论框架, 证实了该框架对于提升系统应急韧性的显著正向影响, 且这一影响通过结构优化 ($\beta=0.58$)、流程畅通 ($\beta=0.65$)、认知统一 ($\beta=0.51$) 三条路径共同实现。研究表明, 推动形成“政府主导、企业负责、社区协同、工人参与”的共建共治共享的应急治本主要来源于四川省, 研究结论在不同地域文化背景下的普适性有待进一步验证; 主要考察了四维协同对应急韧性的静态影响, 对于四维协同动态演化过程的刻画尚显不足。未来研理新格局, 是提升建设工地安全水平的必然路径。

但研究仍存在局限, 样究可扩大抽样范围, 并采用纵向追踪数据动态揭示协同机制在应急全周期中的演化规律。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国应急管理部. “十四五”国家应急体系规划 [Z]. 北京: 应急管理部, 2022.
- [2] 薛泽林. 功能型协同: 跨区域复杂公共危机处置的新视角 [J]. 中国行政管理, 2025, 41(6): 135-144.
- [3] 金太军, 赵军锋. 风险社会的治理之道 [M]. 北京: 北京大学出版社: 2018: 450.
- [4] 张楨. 数字赋能城市社区应急: 现实需求、行动困境与实现路径 [J]. 中共南昌市委党校学报, 2025, 23(4): 81-87.
- [5] Okada N, Renn O. Coping with Persistent Disruptive Stressors and Polycrisis: Community-Based Policy Making and Local Empowerment [J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2025, 16(4): 560-574.
- [6] 李海凌, 刘睿玲, 张怀. 基于PSR+云模型的室内地震应急避难场所的韧性评估 [J]. 地震工程学报, 2025, 47(1): 143-151.
- [7] 叶阿萍, 邵安. 城市应急组织韧性安全的理论逻辑、评估体系及预案框架 [J]. 城市发展研究, 2025, 32(3): 18-23+53.
- [8] 费立国, 李涛. 数字孪生技术赋能应急决策: 基于理论与应用的综合分析 [J]. 行政论坛, 2025, 32(1): 161-176.
- [9] 程蕊. 我国城市“智慧应急”建设面临的挑战与应对 [J]. 武夷学院学报, 2025, 44(7): 49-53+60.
- [10] 刘杨, 闫绪娴, 王俊丽, 等. 我国智慧应急研究: 主题、脉络、争鸣与盲区 [J]. 灾害学, 2025, 40(2): 119-125.