

基于 DEMATEL – ISM 的脚手架事故致因机理

曾玉刚

(兰州倚能电力设计咨询有限公司,甘肃 兰州 730050)

摘要:脚手架工程是建筑工程中的一项重要的措施项目,脚手架工程中的施工风险成为建筑施工过程中的一个重点问题。本文在参考相关文献和脚手架事故实例的基础上,确定导致脚手架事故发生的影响因素,通过构建 DEMATEL 模型探究各影响因素之间的内在关联和作用程度,确定关键因素;运用 ISM 模型得出各因素间 3 阶 6 层递阶结构模型,提出具体对策和建议。结果表明:安全管理制度不完善、教育培训不充分等 6 项关键因素是造成脚手架事故发生的主要原因。其中,工人安全意识薄弱和施工现场管理不到位是造成脚手架事故的直接因素,安全管理制度不完善是最根本因素。本文成果可为脚手架工程施工安全提供理论参考。

关键词:脚手架工程; 施工风险; 影响因素; DEMATEL 方法; ISM 模型

中图分类号: TU712.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)11-0073-06

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.11.152

Causal mechanism of scaffold accident based on DEMATEL – ISM

ZENG Yugang

(Lanzhou Yineng Electric Power Design Consulting Co., Ltd., Lanzhou 730050, Gansu, China)

Abstract: Scaffold project is an important measure item in construction engineering, and the construction risk in scaffold project has become a key problem in the construction process. Based on the relevant literature and scaffold accident examples, the factors influencing the occurrence of scaffold accidents are determined. By constructing the DEMATEL model, the intrinsic correlation and degree of action of various influencing factors are explored, and the key factors are determined. The ISM model is used to obtain a three-order and six-layer step-down structure model between each factor, and specific countermeasures and suggestions are proposed. The results show that six key factors, such as imperfect safety management system and insufficient education and training, are the main reasons for scaffold accidents. Among them, the weak safety awareness of workers and the inadequate management of the construction site are the direct factors causing scaffold accidents, and the imperfect safety management system is the most fundamental factor. The results can provide a theoretical reference for the construction safety of scaffold project.

Key words: scaffold project; construction risks; influencing factors; DEMATEL method; ISM model

建筑业是事故多发型高危行业,突发性强、危险性大,容易产生伤亡事故^[1],其中高空坠落事故尤为突出。据住建部官网数据显示,2020 年在全国房屋市政工程生产安全事故中,高处坠落事故 407 起,占总数的 59.07%,是建筑业发生大量伤亡的主要原因。DONG 等^[2]通过分析 FACE 项目报告中

建立的定量数据库得出,高空坠落事故发生的主要原因是脚手架问题。脚手架失稳、塌落也是导致人员伤亡的重要原因。因此,研究引起脚手架事故发生的风险因素,识别关键因素并进行有效管控,是有效降低脚手架事故发生的重要举措。

在建筑施工中,脚手架是一种常见的临时性

收稿日期: 2024-03-18

作者简介: 曾玉刚(1987—),男,工程师,从事工程造价、工程管理工作。

支撑结构,不论在工作期间还是休息期间,都有可能造成人员伤亡和财产损失。针对脚手架工程施工安全的研究主要集中于施工技术与方法,如:赵江平等^[3]基于多源信息融合和 WOA - CNN - LSTM,构建出外脚手架隐患信息数据层和特征层分类预警模型,为实现外脚手架安全预警管理提供理论依据;马国鑫等^[4]基于无人机和图像识别技术,设计了外脚手架安全性自动检测系统,旨在降低外脚手架成本,提高安全性;武雷等^[5]结合某工程实例,探讨了如何将 BIM 技术应用于脚手架,以此对脚手架实施安全管理;周启明^[6]对株洲市某超高层建筑附着式升降脚手架拆除方法进行了详细论述,提出该施工技术对作业过程中的安全、经济具有重要意义。

尽管目前脚手架安全风险的相关研究众多,但针对导致脚手架事故的风险因素及其内在关联的研究相对较少。鉴于此,本文通过决策实验室分析法 (DEMATEL) 与解释结构模型法 (interpretative structural modeling method, ISM) 对造成脚手架事故的风险因素进行影响强度评判,并确定各因素间的内在关联与层级结构,进而提

出相应对策,以期降低脚手架事故发生、提高脚手架安全提供理论依据。

1 脚手架工程施工风险因素识别

基于中国知网数据库和安全管理网,对脚手架工程、安全管理、风险因素等关键词进行检索,收集并分析 64 篇脚手架事故相关文献和 40 起脚手架事故实际案例。同时,参考住建部房屋市政工程安全事故报告,将脚手架工程施工风险因素划分为人员、技术、管理、环境、材料及机械设备 5 种类别,并邀请 8 名来自高校、建筑施工企业、设计院的专家学者对脚手架工程施工风险指标进行多次筛选总结,得出 15 个脚手架工程施工风险因素^[7-9],构建脚手架工程施工风险因素评价指标体系,如表 1 所示。

2 基于 DEMATEL - ISM 的脚手架工程施工风险因素模型构建

2.1 研究方法

决策实验室分析法 (DEMATEL) 是一种决策分析方法,通过模拟决策过程中可能的情景和结果来

表 1 脚手架工程施工风险因素评价指标体系

影响因素	指标	释义
人员因素 A	工人安全意识薄弱 A ₁	工人架上作业时,忽视风险、缺乏自我保护意识。
	施工人员操作是否得当 A ₂	架子工在搭设、拆除过程中,是否由于经验不足、技术更新滞后等问题出现操作不当,导致脚手架存在安全隐患。
	“三违行为” A ₃	工作场所中违章指挥、违章操作和违章作业。
技术因素 B	施工方案是否合理 B ₁	脚手架搭设前是否制定安全、高效和符合规范要求的施工技术方案。
	勘察是否合格 B ₂	勘察人员是否按照相关规定和标准对脚手架施工场地进行勘察工作,是否对施工现场的环境、隐患等进行全面了解。
	监测是否到位 B ₃	脚手架搭设、拆除过程中监测人员是否通过一系列的检查、测量和试验等手段,对脚手架的安全性、稳定性和承载能力进行评估。
管理因素 C	安全管理制度是否完善 C ₁	是否制定和完善脚手架工程安全管理制度。
	安全检查是否到位 C ₂	是否定期地、系统地以及全面地对建筑施工中的脚手架进行检查。
	教育培训是否充分 C ₃	是否组织针对从事脚手架工程的相关人员进行足够的技术培训和安全教育。
	施工现场管理是否到位 C ₄	管理人员是否对脚手架的搭设、使用等过程进行有效组织、协调与控制,以促进施工安全。
环境因素 D	恶劣环境影响 D ₁	在大风、大雨、大雪等天气下进行脚手架作业。
	脚手架作业现场环境影响 D ₂	脚手架施工现场布局不合理、场地狭窄。
材料及机械设备因素 E	设备故障 E ₁	脚手架防坠落装置、安全网等是否有效,移动便携安全带固定装置是否故障。
	材料是否合格 E ₂	脚手架钢管、扣件、底座等材料质量、选型是否合格。
	机械设备选型是否得当 E ₃	是否依据施工环境、施工工序、施工工艺等要求选择脚手架工程机械设备。

表 3 脚手架工程施工风险综合影响矩阵

因素	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3	C_1	C_2	C_3	C_4	D_1	D_2	E_1	E_2	E_3
A_1	0.01	0	0.06	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0.18	0	0.06	0.03	0.06	0.07
A_2	0	0	0.01	0.07	0.12	0.13	0	0.02	0	0.01	0	0.02	0.02	0.01	0.01
A_3	0.01	0	0.02	0.08	0.13	0.14	0	0.08	0	0.09	0	0.02	0.16	0.07	0.08
B_1	0.01	0	0.18	0.04	0.15	0.15	0	0.09	0	0.16	0	0.08	0.17	0.07	0.09
B_2	0.01	0	0.02	0.07	0.02	0.07	0	0.07	0	0.02	0	0.07	0.02	0.01	0.01
B_3	0.01	0	0.02	0.07	0.02	0.02	0	0.06	0	0.02	0	0.06	0.07	0.01	0.02
C_1	0.10	0.07	0.12	0.16	0.12	0.18	0	0.10	0.17	0.18	0	0.03	0.19	0.14	0.15
C_2	0.06	0	0.14	0.13	0.09	0.10	0	0.03	0	0.05	0	0.02	0.12	0.08	0.08
C_3	0.18	0.11	0.15	0.09	0.11	0.11	0	0.09	0	0.13	0	0.03	0.19	0.14	0.15
C_4	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D_1	0.01	0	0.03	0.08	0.02	0.08	0	0.12	0	0.04	0	0.01	0.25	0.01	0.03
D_2	0.01	0	0	0	0.06	0.01	0	0	0	0.11	0	0	0.01	0	0.06
E_1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0	0.01	0	0.06
E_2	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.06	0	0.02	0	0	0.12	0	0.01
E_3	0	0	0	0.01	0.06	0.06	0	0.01	0	0.02	0	0.01	0.17	0	0.01

表 4 脚手架工程施工风险影响因素的 DEMATEL 分析结果

因素	影响度	被影响度	中心度	原因度	排序	因素属性
A_1	0.499	0.466	0.965	0.033	11	原因因素
A_2	0.426	0.185	0.611	0.241	15	原因因素
A_3	0.868	0.761	1.629	0.107	5	原因因素
B_1	1.189	0.810	1.998	0.379	1	原因因素
B_2	0.373	0.922	1.295	-0.549	8	结果因素
B_3	0.364	1.062	1.426	-0.698	7	结果因素
C_1	1.586	0	1.586	1.586	6	原因因素
C_2	0.896	0.738	1.634	0.158	4	原因因素
C_3	1.476	0.167	1.642	1.309	3	原因因素
C_4	0.083	1.151	1.235	-1.068	9	结果因素
D_1	0.674	0	0.674	0.674	14	原因因素
D_2	0.272	0.403	0.675	-0.132	13	结果因素
E_1	0.195	1.485	1.681	-1.290	2	结果因素
E_2	0.238	0.562	0.800	-0.323	12	结果因素
E_3	0.351	0.778	1.129	-0.426	10	结果因素

关因素干扰。 λ 值通常依据专家经验确定, 主观性较强, 因此本文基于统计分布的均值 α 与标准差 β 之和来计算阈值大小, 计算公式:

$$\lambda = \alpha + \beta \quad (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (8)$$

根据阈值对整体影响矩阵进行处理, 得出脚手架工程施工风险因素可达矩阵 F 。

2.2.7 层级结构划分

(1) 计算可达集 $R(x_i)$ 和先行集 $A(x_i)$ 。

(2) 当 $R(x_i) \cap A(x_i) = A(x_i)$ 时, A_1 、 C_4 为第一层影响因素, 在矩阵中划去上述因素对应的行列。同理可得第二层影响因素 E_1 、 E_3 , 第三层影响因素 A_3 、 $B_1 \sim B_3$ 、 C_2 、 D_2 、 E_2 ; 第四层影响因素 A_2 、 D_1 ; 第五层影响因素 C_3 ; 第六层影响因素 C_1 。

综上, 构建脚手架工程施工风险因素多级递阶结构模型, 如图 1 所示。

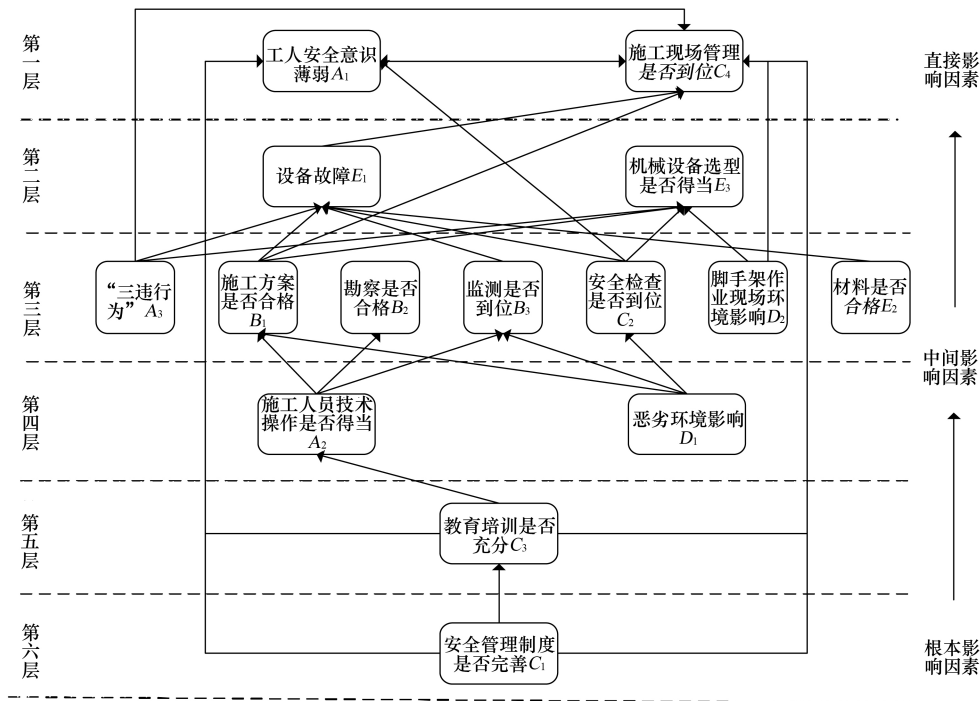


图1 脚手架工程施工风险因素多级递阶结构模型

3 结果分析

3.1 DEMATEL 分析

DEMATEL 法能够识别造成脚手架事故发生的关健影响因素，根据 DEMATEL 法得出数据结果如下。

(1) 影响度：得分值前三的影响因素分别是安全管理制度是否完善(1.586)、教育培训是否充分(1.476)、施工方案是否合理(1.189)，表示这3种因素容易影响其他因素。因此，应制定完善的安全管理制度，加强队伍安全教育培训工作，并制定完备合理的施工方案。

(2) 被影响度：被影响度中排名较高的影响因素分别是设备故障(1.485)、施工现场管理是否到位(1.151)、监测是否到位(1.062)，表示这3项因素更易受到其他因素的影响。通过这3项因素可以更清晰地了解其他因素的作用程度。

(3) 中心度：重要程度前三的因素分别是施工方案是否合理(1.998)、设备故障(1.681)、教育培训是否充分(1.642)。中心度强调影响因素的重要程度，上述3项影响因素是造成脚手架事故发生的主要影响因素，改进和完善这些影响因素对于增强脚手架工程的施工安全具有重要作用。

(4) 原因度：安全管理制度是否完善是原因

度排名最高的原因因素，表示其最易影响其他因素；结果因素中排名最高的为施工现场管理是否到位，说明其最易受到其它因素的影响。

3.2 ISM 分析

解释结构模型能够直观展现脚手架工程施工安全影响因素间的作用关系和层级结构，分析结果如下。

(1) 由图1可知，以多级递阶结构模型为介质，脚手架工程施工风险影响因素体系可划分为3阶6层，其中安全管理制度是否完善位于第六层，为根本影响因素；第五、四、三、二层为中间影响因素，包含教育培训是否充分、施工方案是否合理等12项影响因素；工人安全意识薄弱和施工现场管理是否到位位于第一层，属于直接影响因素，改善这两项因素对提高脚手架工程施工安全有直接推动作用。

(2) 安全管理制度是否完善作为根本影响因素，对于提高脚手架工程施工安全有着关键作用。安全管理制度是否完善会直接影响安全教育和工人安全意识等，继而通过施工人员操作技术水平、勘察是否合格、监查是否到位等因素间接影响脚手架工程施工安全。显然，从根本上降低脚手架事故的发生，完善安全管理制度至关重要。

第二至五层的中间影响因素则通过对直接因素施加影响间接发挥作用。工人安全意识薄弱和施工现场管理是否到位作为直接影响因素,对于降低脚手架工程中的施工风险具有重要意义。

4 对策与建议

(1) 根本因素优化。完善安全管理制度是最根本的关键因素。首先需要明确安全管理的目标、原则和责任,确保所有员工了解并遵守安全政策;其次,企业与政府、高校等机构相互合作,既要自上而下制定各项安全管理制度,又要具体情况具体分析;再次,成立专门的安全管理团队,负责制度、实施和监督安全管理制度;最后,建立安全事件的报告与处理机制,鼓励员工及时报告安全问题,及时改进。

(2) 中间因素落实。教育培训是否充分、施工方案是否合理、设备故障、监测是否到位作为关键影响因素,应着重考虑。加强安全教育培训工作,增加安全培训的频率和内容,包括安全意识培训、应急处置培训等,确保员工具备必要的安全知识和技能。优化施工方案,详细阐述施工细节,并对施工方案进行审查,确保合理性和安全性,避免潜在的安全风险,及时调整和完善方案。改善设备故障问题,应从选型入手,基于价值工程从项目环境、项目特点等多种因素考虑选取最适合的脚手架型号^[11],同时建立设备定期检修和维护制度,确保设备运行正常。改善监测不到位问题,则通过制定监测计划,包括监测频率、监测方法等,确保监测工作有序进行,并对监测数据进行及时、准确分析,发现问题时及时采取措施处理。

(3) 直接因素重视。强化工人安全意识,完善安全防护措施。定期组织工人开展安全教育培训工作,提高工人的安全意识和风险意识,让他们了解安全规定和操作规程;设置安全标识和警示牌,提供必要的安全防护设备,强化安全管理和监督,定期组织安全检查工作,发现并处理安全隐患和问题,确保工作安全。

5 结 语

基于中国知网数据库、安全管理网等数据平

台,依据相关文献和具体实例,建立脚手架工程施工风险影响因素评价指标体系。通过运用 DEMATEL 方法确定了导致脚手架事故发生的 8 个原因因素和 7 个结果因素,并得出 6 项关键因素;基于 ISM 模型构建可达矩阵,并对影响因素进行层级划分,得出 3 阶 6 层的递阶结构模型,结合数据分析结果与相关文献资料,针对影响脚手架工程施工安全的关键影响因素,为脚手架工程施工安全提供理论参考。

参考文献:

- [1] 崔庆宏,王森. 基于 ISM - MICMAC 的建筑工人不安全行为影响因素[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2021,33(3):272 - 278.
- [2] DONG X W S, LARGAY J A, CHOI S D, et al. Fatal falls and PFAS use in the construction industry: findings from the NIOSH FACE reports [J]. Accident Analysis and Prevention, 2017, 102: 136 - 142.
- [3] 赵江平,张雪莹,侯刚. 基于多源信息融合和 WOA - CNN - LSTM 的外脚手架隐患分类预警研究[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(3): 933 - 942.
- [4] 马国鑫,韩豫,孙佳宁,等. 基于无人机的外脚手架安全性自动检查系统设计与实现[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35(4): 169 - 174.
- [5] 武雷,邵明民,夏聘. BIM 技术在脚手架安全管理中的应用研究[J]. 施工技术, 2016, 45(18): 15 - 17; 80.
- [6] 周启明. 超高层建筑附着式升降脚手架拆除施工技术[J]. 工程建设, 2022, 54(10): 57 - 61.
- [7] 陆晨,李永福. 基于 DEMATEL - ISM 的建筑施工安全风险影响因素研究[J]. 建设科技, 2022(18): 23 - 26.
- [8] 张敏,郑生钦. 基于 DEMATEL - ISM 的装配式建筑施工风险因素研究[J]. 项目管理技术, 2022, 20(11): 73 - 78.
- [9] 郑霞忠,吴凯,陈述,等. 基于 ISM 和 D - S 证据理论的手脚手架坍塌致因诊断[J]. 人民长江, 2017, 48(7): 70 - 73.
- [10] 陈为公,张娜,张友森,等. 基于 DEMATEL - ISM 的城市灾害韧性影响因素研究[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 1 - 6; 17.
- [11] 吴经纬. 基于价值工程的建筑脚手架方案比选[J]. 工程建设, 2024, 56(1): 73 - 78.