

DOI: 10.7672/sgjs2025170007

# 基于知识工程的起重伤害事故致因分析\*

龚文婷, 陈珂

(华中科技大学土木与水利工程学院, 湖北 武汉 430074)

**[摘要]** 利用知识工程技术,以中国知网核心数据库相关文献关键词作为强制提取词,将我国2000—2020年间313份起重伤害事故调查报告,绘制成关键词共现网络图。利用上下文关键词索引和特定编码规则,生成起重伤害事故致因主题,并分析事故致因主题的聚类特征和中心性。结果表明,未设专职监管人员具有较高的中介中心度,是网络媒介作用的最强节点。隐患排查治理不彻底的特征向量中心度最高,显示其在网络中的节点重要性最强。2000—2010年事故致因主题的年度分布相对稀疏,而2011—2020年的年度分布明显密集,且部分致因的逆文档频率陡增。安全监管不到位、违章行为、设备受力失衡等恒定致因贯穿2000—2020年各月度,表明这些致因是施工安全管理重点关注对象,需采取针对性措施,以有效降低事故风险。

**[关键词]** 起重机;事故;知识工程;文本挖掘

**[中图分类号]** TU61;X948

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 2097-0897(2025)17-0007-07

## Analysis of Lifting Injury Accident-cause Based on Knowledge Engineering

GONG Wenting, CHEN Ke

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract:** By applying knowledge engineering technology, taking the relevant keywords from the core database of CNKI as mandatory extraction terms, a co-occurrence network map of keywords was drawn for 313 investigation reports on lifting injury accidents in China from 2000 to 2020. Key words in context (KWIC) and specific coding rules were employed to generate themes of lifting accident-cause, followed by an analysis of their clustering characteristics and centrality. The results indicate that, lack of dedicated supervision personnel exhibits high betweenness centrality, making it the most influential mediating joint in the network. Incomplete hazard identification and rectification has the highest eigenvector centrality, highlighting its critical importance within the network. The annual distribution of accident-cause themes was relatively sparse from 2000 to 2010, but became significantly denser from 2011 to 2020, with a sharp increase in the inverse document frequency of certain accident-cause. Furthermore, persistent accident-cause, such as inadequate safety supervision, violations of safety regulations, and equipment load imbalance were consistently present across all months from 2000 to 2020. These findings underscore the need for targeted measures to effectively reduce accident risks, particularly in these key areas of safety management.

**Keywords:** cranes; accident; knowledge engineering; text mining

## 0 引言

起重作业的复杂性和管理难度使起重伤害事故频繁发生<sup>[1]</sup>。2022年8月24日,南京市2021G24地块工地的1座塔式起重机倾覆,造成2人死亡、2

人受伤。根据近年的施工安全事故调查报告可知,起重伤害事故在各类事故中占比高达25%<sup>[2]</sup>。因此,预防起重伤害事故成为当务之急<sup>[3]</sup>。

针对起重伤害事故的致因,国内外学者从不同角度进行分析。从人的不安全行为视角,晋良海等<sup>[4]</sup>引入风险感知、安全意识和行为经验等认知结构变量,发现这些因素对违章行为意向有显著的正

\* 国家自然科学基金(72101093)

[作者简介] 龚文婷,硕士研究生,E-mail:15002799505@163.com

[通信作者] 陈珂,博士,副教授,E-mail:chenkecm@hust.edu.cn

[收稿日期] 2025-01-11

向影响;郑霞忠等<sup>[5]</sup>认为管理方、监管方的不当决策会导致不安全行为。从物的不安全状态视角,Luo等<sup>[6]</sup>研究位置传感器数据出现错误,对起重机安全监控系统的影响;张伟等<sup>[7]</sup>建立基于物联网的塔式起重机实时监控,对系统传感器的布置方案提出建议。从管理缺陷视角,Suraji等<sup>[8]</sup>总结项目条件不充分或管理不善导致的不安全状态。

上述研究对起重伤害事故致因分析具有重要意义,但未探明各致因间的关联,也未建立其演化知识图谱。因此,利用知识工程技术<sup>[9]</sup>,从起重伤害事故文本数据中,识别关键事故致因主题的网络地位,并揭示事故致因主题的多尺度时间分布规律。

## 1 研究思路及数据来源

### 1.1 研究思路

起重伤害事故致因知识图谱如图1所示。首先,收集原始起重伤害事故调查报告,并进行数据格式化处理。其次,通过数据预处理提取有价值的知识,再将第三方数据库的知识与之融合构建知识库。最后,利用相似度计算生成知识图谱,推理、预测其中的知识,从而挖掘出事故致因主题间隐含的关联。

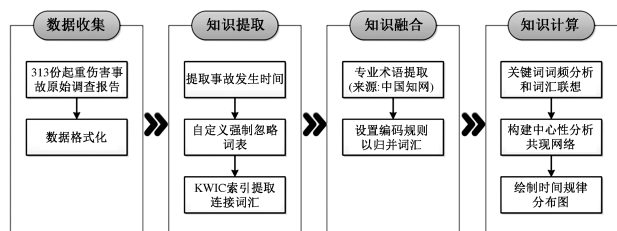


图1 起重伤害事故致因知识图谱

Fig.1 Knowledge map of lifting injury accident-cause

### 1.2 数据来源及预处理

将安全管理网(<https://www.safehoo.com/>)中2000—2020年间的313份起重伤害事故调查报告作为语料,整理事故发生的相应年份与月份,并构建年-月多尺度语料数据库。

在数据预处理阶段,确定强制提取词和强制忽略词,以提高词频分析的准确性和可靠性。在中国知网(CNKI)核心数据库中,将起重设备、起重作业、事故等中文词汇作为检索词,搜集整理62篇相关文献,并利用CiteSpace与VOSviewer可视化知识图谱工具收集关键词,共整理29个强制提取词,如教育培训、塔式起重机等。

在事故调查报告的年-月多尺度数据库初始词频列表中,将词频较高但没有实际意义的词视为强制忽略词,如要、将等,但未、不、进行等与事故致因

关联较强的词不能被归为强制忽略词,否则会导致编码频率产生较大偏差。

## 2 起重伤害事故关键词分析

### 2.1 词频分析

起重伤害事故高频词的词云分析如图2所示,词云字体越大,表示词频越高。管理、监管等词汇在词云中呈高频状态,表示其在事故关键致因中的重要性。不到位、不健全等否定词与事故致因密切相关。违章、操作、意识淡薄等词汇反映人的有意不安全行为,与事故致因联系紧密。另外,塔式起重机词频较高,其在不同施工阶段均被频繁使用,表现出内在危险性。

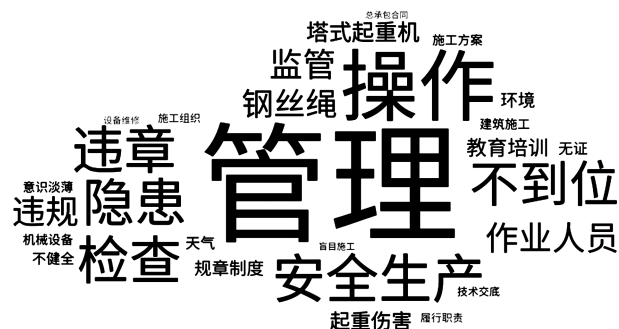


图2 起重伤害事故高频词的词云分析

Fig.2 Word cloud analysis on lifting injury accidents

另外,事故致因主题由若干词汇组成,词频列表无法直接反映事故致因,且高频词的重要性与其在文档中出现次数成正比。因此,单一的词频分析无法避免数据噪声及冗余的干扰<sup>[10]</sup>,需进行词汇联想分析。

### 2.2 词汇联想

词汇联想用于查找与特定词汇密切相关的词,采用连接线连接高度共现词,生成共现网络。依据从高到低累计占比20%的原则,筛选高频词作为事故发生原因和事故后果间的中介动词<sup>[11]</sup>,筛选结果为造成、导致、致使等。以对数似然值(Log Likelihood)为度量工具对中介动词进行词汇联想分析,计算如下:

$$\begin{aligned} \text{Log Likelihood} = & a \ln a + N \ln N - F_1 \ln F_1 - F_2 \ln F_2 + \\ & (F_1 - a) \ln (F_1 - a) + (F_2 - a) \\ & \ln (F_2 - a) + (N - F_1 - F_2 + a) \\ & \ln (N - F_1 - F_2 + a) - (N - F_1) \\ & \ln (N - F_1) - (N - F_2) \ln (N - F_2) \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $a$ 为某词汇 $w$ 在节点词(或中心词)左5~右5跨度内出现的概率; $F_1$ 为节点词在整个数据库中的出现概率; $F_2$ 为词 $w$ 在整个数据库中的出现概率; $N$ 为整个数据库的所有单词总数。

以“造成”为例,模块化共现网络如图3所示,正方形气泡代表搜索词“造成”,而圆形气泡代表关联词汇。气泡大小反映词汇频率高低,而同色气泡表示这些词汇具有相似的外观模式,并形成1个簇。彼此密切相关的词汇间用边线连接,边的权重表示词汇间共现次数,权重越大表示2个词汇间的联系越紧密、关系越强。最突出的线条显示为最小生成树,以突出词汇间的主要联系。

由图3可知,“造成”的最小生成树结构较复杂,中心词“臂”将最小生成树01,02,03相连,说明起重机“臂”的重要性。“站位”“不当”游离在外,说明与其他事故致因联系不强。在最小生成树01中,边的颜色较深,反映其内部关联强度较大。整体而言,事故发生的主要原因包括违章操作、钢丝绳断裂、失去平衡、塔身超载等。这些因素联系紧密,是起重伤害事故致因分析的重点。

### 2.3 词组搭配

上下文关键词(KWIC)索引旨在检索上下文中的关键字,分析提取词汇在文档中的搭配规律。为解决词频分析单一性造成词不连句的问题,聚焦于词频列表中从高到低累计占比达20%的高频词,对其进行KWIC索引,并以得分表为依据,对每个高频词进行词组搭配,得分 $f(w)$ 计算如下:

$$f(w) = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i + r_i}{i} \quad (2)$$

式中: $f(w)$ 为高频词词组搭配得分; $l_i$ 表示节点词(或中心词)向左*i*个跨度; $r_i$ 表示节点词(或中心词)向右*i*个跨度; $i$ 表示节点,取值为1,2,3,4,5。

计算 $f(w)$ 值时,频率( $l_i + r_i$ )除以*i*, $i$ 根据与节点词的距离对频率进行加权。因此,出现在节点词附近(即*i*较小)的词比出现在节点词之前或之后的5个词具有更大的权重。一般来说,词 $w$ 在节点词( $l_i + r_i$ )之前或之后出现频率越大, $f(w)$ 的值越大。如高频词“监管”主要得分如表1所示,“监管”左侧第1个得分最高词为“安全”,故可搭配为“安全监管”。归纳与事故致因相关词汇,如不到位、不力、不落实等,可确保词组搭配有效性。

然而,搭配短语存在同义问题。如监管不到位和监管存在漏洞意义相同,故需对搭配短语进行同义归并。事故致因主题词汇归并编码计算如下:

$$\text{word}_1 + \text{word}_2 \mid \text{word}_1 + \text{word}_3 \cdots \quad (3)$$

式中:“+”表示某事故致因的若干构成词汇间的连接,若干同义事故致因间用“|”分隔,整体组成1个事故致因主题。事故致因主题编码示例如下:①安全监管不到位,编码公式为\*安全监管不到位,监管+不到位|监管+混乱|监管+不力|监管+存在+漏洞;②违章行为,编码公式为\*违章行为,违章+行为|违章+操作|违规+操作|违章+施工|违章+起吊;③操作不当,编码公式为\*操作不当,操作+不当|操作+失误|操作+方法+不当|操作+不慎|不良+操作;④冒险作业,编码公式为\*冒险作业,冒险+作业|冒险+施工|冒险+操作。基于上述步骤,共生成28个事故致因主题:安全监管不到位、违章行为、隐患排查治理不彻底、设备设施存在缺陷、安全教育培训不到位、安全意识淡薄、设备受力失衡、安全检

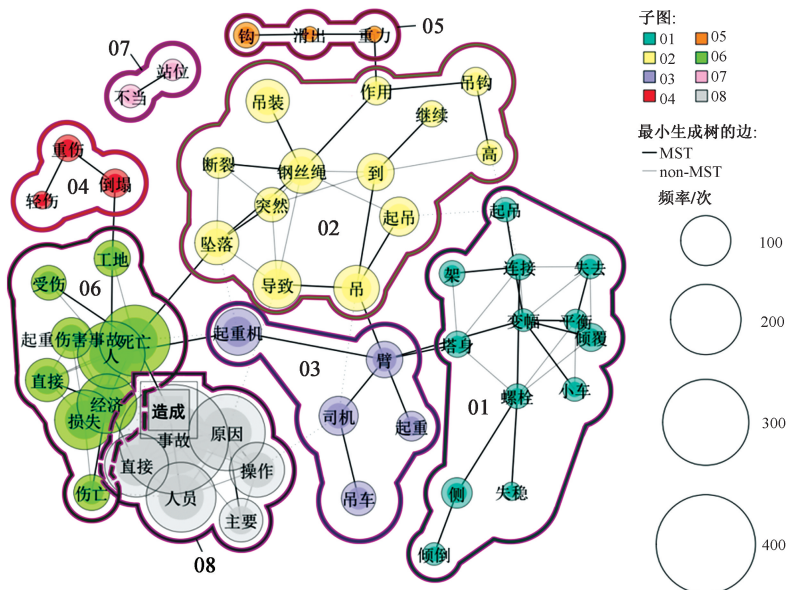


图3 “造成”的模块化共现网络

Fig. 3 Modular co-occurrence network for “cause”

表 1 “监管”的主要 KWIC 索引得分

Table 1 Major KWIC index scores for “supervision”

词汇	总计	$l_5$	$l_4$	$l_3$	$l_2$	$l_1$	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$r_5$	得分
安全	1 847	67	39	66	314	995	1	51	96	76	112	1 297. 050
人员	486	20	40	35	27	12	264	2	6	32	48	335. 767
生产	454	36	11	19	51	245	1	0	22	27	42	310. 267
不到位	298	9	6	16	2	0	186	21	9	33	16	220. 583
现场	446	20	22	63	176	77	0	6	27	25	30	219. 750
制度	246	23	7	7	7	0	157	22	5	7	11	185. 800
监督	223	3	3	1	9	147	2	35	3	12	10	177. 683
工作	246	18	22	19	11	3	138	12	7	7	9	173. 817
责任	240	27	14	8	0	0	150	5	8	12	16	172. 933
职责	192	6	1	4	5	0	141	15	3	8	9	158. 583

查不落实、未认真履行职责、未取得施工许可证、未进行安全技术交底、冒险作业、无证上岗、未编制专项施工方案和应急预案、规章制度不健全、操作不当、设备超载运行、安全知识匮乏、盲目施工、交叉作业、钢丝绳断裂、未设专职监管人员、站位不当、极端天气情况、未签订施工总承包合同、设备缺少安全防护装置、未设置安全警示标志、设备维保不到位,其频率分别为 347, 327, 317, 256, 237, 227, 194, 176, 176, 148, 121, 102, 94, 72, 71, 53, 52, 46, 44, 41, 38, 37, 28, 27, 21, 20, 17, 14。

### 3 起重伤害事故致因分布规律

#### 3.1 事故致因主题聚类分析

对事故致因主题进行聚类分析,采用自组织图探究事故致因主题的间距。首先,标准化处理每个事故致因主题,其次,从 6 个相邻节点的 6 个向量中计算欧氏距离。给定 2 个事故致因主题的  $n$  维向量,分别为  $\mathbf{a}(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$  和  $\mathbf{b}(x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$ ,基于标准化欧式距离的自组织图不受各维度直接数值的影响,实现了从高维度到低维度网格的变换,并保留重要的拓扑结构和度量信息。相似度越高的数据在图中映射越接近,区域面积反映了类别占比。

借鉴事故系统四要素理论<sup>[12]</sup>,将事故致因主题按性质拟聚类为人、机、环(境)、管(理)。事故致因主题自组织如图 4 所示,不同类别的事故致因主题间存在多重关联,这些关联共同构成复杂的安全事故致因系统<sup>[13]</sup>。

从管理因素视角来看,管理缺陷包括安全监管不到位、职责履行不严、缺乏专职监管人员等内容,常导致违章行为频发、隐患排查和治理不到位、不能及时解决设备设施等问题。此外,规章制度不健全、专项施工方案和应急预案缺失,均会使施工安全管理缺乏明确的指导,从而增加事故风险。

从人为因素角度分析,安全教育培训不到位、

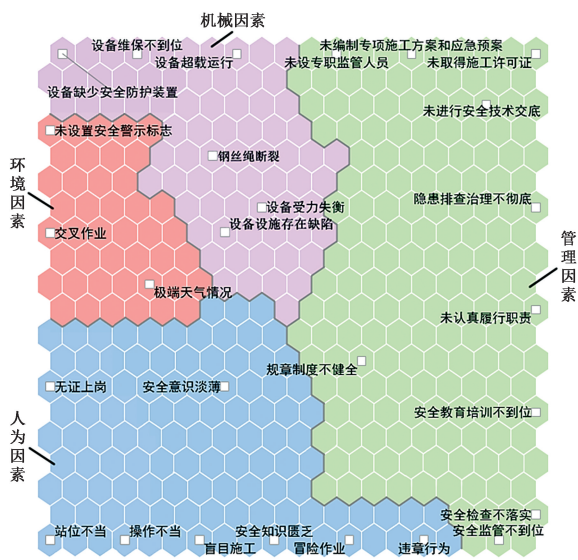


图 4 事故致因主题自组织

Fig. 4 Self-organizing of accident-cause themes

安全意识薄弱和安全知识匮乏等问题,易导致施工人员操作不当,增加事故风险。违章作业、冒险行为、无证上岗和盲目施工等现象,直接反映施工人员存在安全意识缺失及自我保护能力不足等问题。此外,操作不当、站位错误等人为因素可能直接引发设备受力不均、钢丝绳断裂等安全事故。

从机械因素角度分析,设备设施缺陷、超载运行及缺乏安全防护装置等问题,提高了设备故障和事故发生的可能性;设备维保不足将导致设备性能下降,不能及时发现和排除潜在安全隐患。

从环境因素角度来看,极端天气可能对施工设备和人员产生直接影响,而复杂的交叉作业环境进一步增加了不同工种及设备间的相互干扰,从而提高事故发生概率。

为进一步比较事故致因主题与直接致因、间接致因间的差异性和相似性,以 Jaccard 系数为聚类依据。设  $A$  为某个事故致因主题、 $B$  为直接致因,两者均有  $n$  个二元属性,则 Jaccard 系数定义如下:

$$J(A,B) = \frac{M_{00}}{M_{01} + M_{10} + M_{11}} \in [0,1] \quad (4)$$

式中:  $M_{00}$  为两者属性值同时为 0 的属性个数;  $M_{01}$  为  $A$  属性值为 0 且  $B$  属性值为 1 的属性个数;  $M_{10}$  为  $A$  属性值为 1 且  $B$  属性值为 0 的属性个数;  $M_{11}$  为两者属性值同时为 1 的属性个数,且满足  $M_{00} + M_{01} + M_{10} + M_{11} = n$ 。

Jaccard 系数越接近于 1,说明 2 个比较对象的相似程度越高、关联越紧密。引入间接致因  $C$ ,若  $J(A,B) > J(A,C)$ ,说明该事故致因主题与直接致因联系更紧密,可将此事故致因主题归为直接致因。28 个事故致因主题与直接致因和间接致因的 Jaccard 系数如表 2 所示。

由表 2 可知,直接致因包括违章行为、设备设施存在缺陷、设备受力失衡等 11 个因素。其中,人为因素和机械因素占比最高,表明设备的不安全状态与人的不安全行为在时空交叉是导致起重伤害事故的主要直接原因。间接致因涵盖安全监管不到位、隐患排查治理不彻底、安全意识淡薄等 17 个因素。管理因素在间接致因中占据首位,而安全意识淡薄、安全知识匮乏等因素被认定为起重作业人员的习惯性行为<sup>[14]</sup>。因此,加强作业人员安全知识普及与安全意识提升尤为重要。同时,需要从多方面入手,包括提高人员安全意识、完善设备设施及优化施工环境,以有效强化安全管理。此外,应建立健全安全监管和应急响应机制,及时发现并消除安全隐患,从而保障施工活动安全有序进行。

### 3.2 基于共现网络的中心性分析

中介中心性(betweenness centrality, BC)指某节点出现在其他节点间最短路径的个数。给定 2 个事

故致因主题  $s$  和  $t$ ,对于含  $n$  个节点的事故致因网络,节点  $i$  的中介中心性  $C_B(i)$  表示如下:

$$C_B(i) = \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n \frac{d_{st}(i)}{d_{st}} (s \neq t \neq i) \quad (5)$$

式中:  $d_{st}$  为  $s$  到  $t$  的最短路径数量;  $d_{st}(i)$  为  $s$  到  $t$  经过节点  $i$  的最短路径数量。

节点的中介中心性值越高,代表该节点对网络信息流动的影响力越强。事故致因主题的中介中心性网络如图 5 所示。可以看出,未设专职监管人员具有高中介中心性,其次是安全检查不落实、设备受力失衡。为减弱这些事故致因主题在网络传播中的媒介作用,以及避免产生连锁反应,必须对这些事故致因主题采取相应防控措施,加强干预,从而降低事故发生率。

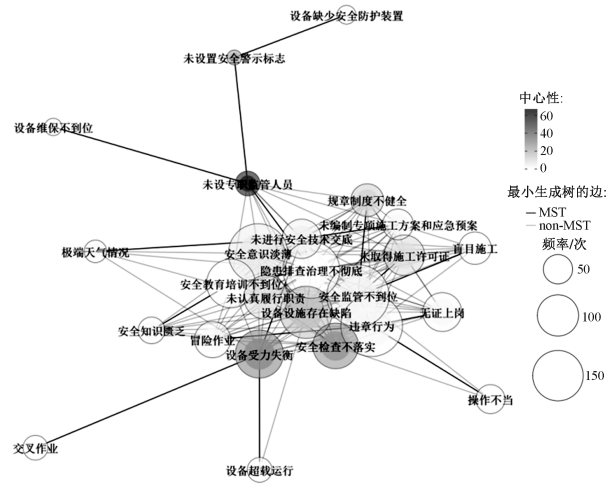


图 5 中介中心性共现网络

Fig. 5 Betweenness centrality of co-occurrence network

表 2 事故致因主题的 Jaccard 系数

Table 2 Jaccard coefficients of accident-cause themes

事故致因主题	Jaccard 系数		事故致因主题	Jaccard 系数	
	直接致因	间接致因		直接致因	间接致因
安全监管不到位	0.551	0.577	规章制度不健全	0.168	0.181
违章行为	0.470	0.464	操作不当	0.108	0.094
隐患排查治理不彻底	0.472	0.479	设备超载运行	0.064	0.062
设备设施存在缺陷	0.425	0.390	安全知识匮乏	0.093	0.113
安全教育培训不到位	0.340	0.379	盲目施工	0.154	0.155
安全意识淡薄	0.269	0.272	交叉作业	0.077	0.067
设备受力失衡	0.367	0.320	钢丝绳断裂	0.053	0.052
安全检查不落实	0.306	0.346	未设专职监管人员	0.085	0.099
未认真履行职责	0.287	0.330	站位不当	0.065	0.063
未取得施工许可证	0.233	0.271	极端天气情况	0.069	0.063
未进行安全技术交底	0.212	0.233	未签订施工总承包合同	0.025	0.030
冒险作业	0.196	0.181	设备缺少安全防护装置	0.044	0.040
无证上岗	0.180	0.183	未设置安全警示标志	0.020	0.025
未编制专项施工方案和应急预案	0.138	0.151	设备维保不到位	0.037	0.045



设备的非正常操作或使用,进一步加剧设备受力失衡的安全风险。

#### 4 结语

借助知识工程技术,对起重伤害事故致因进行词云分析,并构建关键词共现网络,生成起重伤害事故致因主题图谱。通过该图谱展现事故致因主题的聚类结果,探讨各类事故致因主题与直接致因、间接致因间的相似性,揭示关键事故致因主题的网络地位、中介作用及时间分布规律。

1)从事故致因主题分布看,隐患排查治理不彻底、安全监管不到位、违章行为在致因网络中占据重要地位。未设专职监管人员、安全检查不落实、设备受力失衡3项致因主题扮演信息交互的中介角色,表明其在致因主题中具有连接性、传播性,是需要高度重视和重点管控的对象。

2)从事故致因主题分布看,近10年来,部分致因的逆文档频率呈显著增长趋势。其中,安全监管不到位、违章行为为恒定致因,而盲目施工在8月份的频次显著增加,需采取针对性的干预措施降低事故发生的可能性。

#### 参考文献:

- [1] 晋良海, 李佳妍, 郑霞忠, 等. 空间冲突下起重作业安全迹线规划模型[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(3):47-52.  
JIN L H, LI J X, ZHENG X Z, et al. Trajectory planning model for lifting operation considering spatial conflict[J]. China safety science journal, 2020, 30(3):47-52.
- [2] CHEN Y, ZENG Q, ZHENG X Z, et al. Safety supervision of tower crane operation on construction sites: an evolutionary game analysis[J]. Safety science, 2022, 152:105578.
- [3] 黄浪, 吴超, 马剑. 安全信息流视域下的事故致因模型构建[J]. 管理评论, 2020, 32(4):274-285.  
HUANG L, WU C, MA J. An accident-causing model under the perspective of safety information flow[J]. Management review, 2020, 32(4):274-285.
- [4] 晋良海, 龚润, 陈述, 等. 认知结构变量对起重作业人员违章行为意向的影响[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(1):8-13.  
JIN L H, GONG R, CHEN S, et al. Influences of cognitive structure variables on lifting workers' intentions to violate[J]. China safety science journal, 2018, 28(1):8-13.
- [5] 郑霞忠, 史高阳, 陈述. 多方博弈下起重作业人员有意不安全行为致因分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(5):175-181.  
ZHENG X Z, SHI G Y, CHEN S. Causation analysis on intentional unsafe behavior of crane operator under multi-parties

- game[J]. Journal of safety science and technology, 2017, 13(5):175-181.
- [6] LUO X W, LEITE F, O' BRIEN W J. Location-aware sensor data error impact on autonomous crane safety monitoring[J]. Journal of computing in civil engineering, 2015, 29(4):109568136.
- [7] 张伟, 廖阳新, 蒋灵, 等. 基于物联网的塔式起重机安全监控系统[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(2):55-62.  
ZHANG W, LIAO Y X, JIANG L, et al. Safety monitoring system of tower crane based on internet of things[J]. China safety science journal, 2021, 31(2):55-62.
- [8] SURAJI A, DUFF A R, PECKITT S J. Development of causal model of construction accident causation[J]. Journal of construction engineering and management, 2001, 127(4):337-344.
- [9] HUO X S, YIN Y, JIAO L D, et al. A data-driven and knowledge graph-based analysis of the risk hazard coupling mechanism in subway construction accidents[J]. Reliability engineering & system safety, 2024, 250:110254.
- [10] 韩天园, 田顺, 吕凯光, 等. 基于文本挖掘的重特大交通事故成因网络分析[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(9):150-156.  
HAN T Y, TIAN S, LÜ K G, et al. Network analysis on causes for serious traffic accidents based on text mining[J]. China safety science journal, 2021, 31(9):150-156.
- [11] SHAO B, HU Z G, LIU Q, et al. Fatal accident patterns of building construction activities in China[J]. Safety science, 2018, 111:253-263.
- [12] CHEN Y J, FENG W, JIANG Z Q, et al. An accident causation model based on safety information cognition and its application[J]. Reliability engineering and system safety, 2021, 207:107363.
- [13] 孙新红, 周之皓, 汤育春, 等. 面向危险场景的装配式建筑施工安全事故分析[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(2):51-57.  
SUN X H, ZHOU Z H, TANG Y C, et al. Scene-oriented statistical analysis of safety accidents in prefabricated construction[J]. Construction technology, 2022, 51(2):51-57.
- [14] 方伟立, 丁烈云. 工人不安全行为智能识别与矫正研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(8):131-135.  
FANG W L, DING L Y. Artificial intelligence recognition and modification of workers' unsafe behavior[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology(natural science edition), 2022, 50(8):131-135.
- [15] 陈珂, 张芸菡, 梁玉瑾, 等. 塔式起重机作业安全管理研究进展[J]. 工业安全与环保, 2023, 49(7):55-59, 62.  
CHEN K, ZHANG Y H, LIANG Y J, et al. Research progress of safety management for tower crane operation[J]. Industrial safety and environmental protection, 2023, 49(7):55-59, 62.