

基于组织与人因分析系统的塔吊事故分析

曹阳¹, 刘国买², 林鸿涛²

(1. 福建工程学院 土木工程学院, 福建 福州 350118;
2. 福建工程学院 管理学院, 福建 福州 350118)

摘要: 人因分析系统将事故致因简化为潜在因素作用于个人不安全行为, 个人不安全行为导致事故发生。根据塔吊事故特点, 构建组织与人因分析系统, 其作用机制为潜在因素作用于个人不安全行为和组织不合理决策, 组织不合理决策和个人不安全行为作用于事故。结果表明: 塔吊事故主要有 3 类作用机制, 其中安全文化、个人状态和班组状态对事故的影响最大。针对事故作用机制和作用强度, 从组织和个人两个方面提出相应对策与建议。

关键词: 塔吊; 安全; 人因分析系统; 组织; 事故致因

中图分类号: X947

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2022)03-0225-07

Tower crane accident analysis based on organization and human factor analysis system

CAO Yang¹, LIU Guomai², LIN Hongtao²

(1. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: The human factor analysis system simplifies the causes of accidents to potential factors acting on personal unsafe behaviors, and personal unsafe behaviors lead to accidents. Combined with the characteristics of tower crane accidents, an organization and human factor analysis system was proposed. Its mechanism is that potential factors act on personal unsafe behaviors and unreasonable organizational decisions, and then the two act on accidents. Results show that there are three main types of action mechanisms in tower crane accidents. Safety culture, personal status and team status have the greatest impact on accidents. In view of the mechanism and impact intensity of the accident, corresponding countermeasures and suggestions are put forward from both organizational and personal aspects.

Keywords: tower crane; safety; human factor analysis system; organization; accidents causes

塔吊是一种特殊起重设备,在建筑业得到广泛应用,据统计 2020 年我国在用塔吊数量达到 46 万台^[1]。塔吊给施工带来方便的同时也蕴含着危险,有数据显示 2016—2020 年间共发生 605 起事故,平均每年 121 起^[2]。由于塔吊作业环境多变、构造特殊、装拆技术要求高,这给建筑安全生产管理带来极大挑战。分析塔吊安全事故原因,改善塔吊安全管理,一直是理论界关注的热点,也是建筑行业关心的重要问题之一。Vivian^[3]认为塔吊事故是个人不良状态影响个人

操作行为,由个人不安全行为所引发,应重点对个人状态进行预防。Shin^[4]认为塔吊事故的发生本质上是由人的行为与设备的不良状态共同引发的事故。黄莺等^[5]运用系统动力学模型,分析了塔吊作业管理,表明塔吊司机的不安全行为是导致事故关键因素。综合以上分析,塔吊安全管理的研究主要侧重于“人的研究”,包括人的行为、个人状态等相关影响因素,并针对这些因素采取相关的干预或者预防措施,而缺乏对组织决策行为作用机制的关注。

本文借鉴人因分析系统,基于塔吊技术复杂性、工作环境特殊性、安全事故影响因素多样性,构建了组织与人因分析系统,识别塔吊事故致因因素并对其归纳与整理,并应用结构方程模型对组织与人因分析系统进行实证研究,揭示塔吊事故致因与事故之间作用机制,有助于施工现场对塔吊安全采取针对性措施,预防或减少塔吊事故的发生。

1 组织与人因分析系统研究

1.1 组织与人因分析系统原理

人因分析系统认为事故发生存在{潜在因素}→{个人不安全行为}→{事故}的因果链条^[6],{潜在因素}包括个人状态、设备状态、工作环境、组织资源管理等因素,{个人不安全行为}包括操作人员技术失误、认知失误、判断失误等风险因素。Swuste^[7]对多起塔吊事故案例进行分析,认为塔吊事故的发生与组织不合理决策有关,造成事故的直接原因是组织过分关注成本,忽略了设备选型,缺乏对塔吊的维护与保养,导致塔吊稳定性差,从而引发事故。资料表明“5·22”事故的直接原因是组织决策层未重视强风恶劣天气,未采取相应的应急措施进行预防^[8]。Zhou等^[9]发现,人、设备和工作环境相互耦合是引发事故的直接原因,而设备不良状态、环境应急措施不当主要是组织决策的结果。因此,笔者认为组织的不安全行为应作为事故发生的主要因素之一,组织不合理决策行为与个人不安全行为共同导致事故发生。

综上所述,考虑到组织在事故致因中的作用,

借鉴人因分析系统原理,结合塔吊技术复杂性,构建组织与人因分析系统。组织与人因分析系统可以简化为:{潜在因素}→{组织不合理决策}→{个人不安全行为}→{事故}。与人因分析系统相比,此系统强调组织在事故发生机制中的作用。

1.2 组织与人因分析系统的构成因素

组织与人因分析系统因素的确定主要包括两个方面:其一,确定“个人不安全行为”和“组织不合理决策”所包含的因素,这些因素直接作用于事故,称为显性因素;其二,确定影响显性因素的因素,也称潜在因素。本文采取文献分析和事故案例研究相结合的方式,梳理事故致因因素,再通过企业调研、与有关专家访谈,进一步确认塔吊风险各类各层次的因素。

(1) 文献梳理

对文献进行综合分析,共计识别出了 47 个因素。两类风险因素具体表现为:显性因素,包括个人不安全行为、设备状态等;潜在因素,包括监管人员实践、现场工作安排、个人工作状态、工作环境、安全文化、组织规划与流程^[9-11]。

(2) 案例研究与专家访谈

根据文献综合分析得到的结果,结合 2016—2021 年 100 起塔吊事故案例致因因素识别,并与施工、塔吊租赁企业的 8 名塔吊安全管理领域专家进行访谈。确定显性因素有个人不安全行为、班组管理、设备管理等 3 个一级指标,潜在因素有监管人员实践、现场工作安排、组织规划和流程、安全文化、班组状态、技术环境、个人状态等 7 个一级指标,组成结构如图 1 所示。

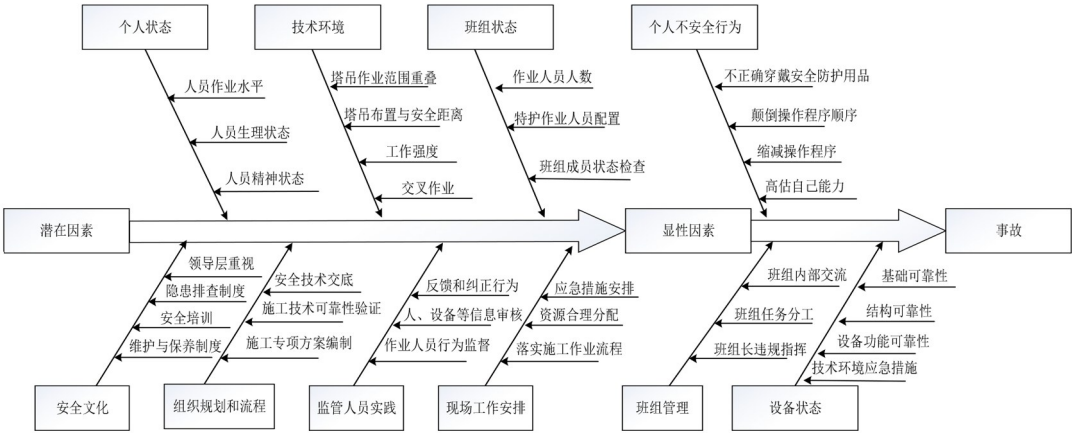


图 1 塔吊风险因素结构图

Fig 1 Structure diagram of tower crane risk factors

1.3 作用关系假设

组织与人因分析系统中潜在因素与显性因素之间的作用关系,如图 2 所示,为了探索塔吊事故致因对事故的作用机制,提出以下假设:

H_{11} :潜在因素“安全规程和流程”与显性因素“班组管理”相关;

H_{12} :潜在因素“安全规程和流程”与显性因素“设备状态”相关;

H_{13} :潜在因素“安全规程和流程”与显性因素“个人不安全行为”相关;

同理,其他 6 个潜在因素与显性因素关系,共计 24 项假设。

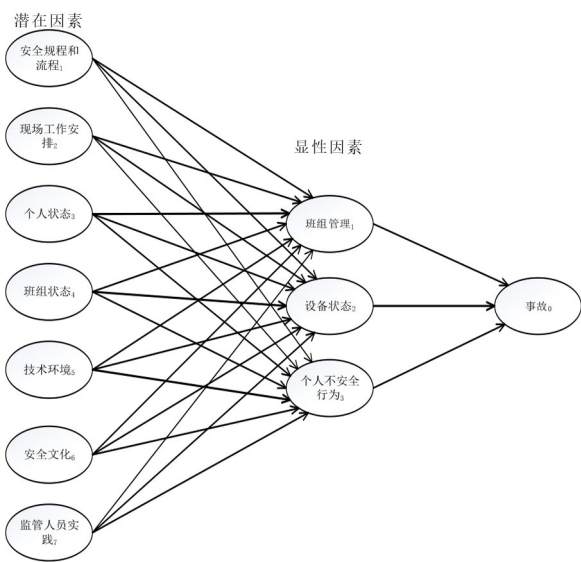


图 2 塔吊事故致因与事故作用机制图
Fig.2 Causes and working mechanism of tower crane accidents

2 实证分析

2.1 数据收集与样本可靠性分析

问卷设计分为两部分,第一部分是基础信息,包括受调查人员工作年限、岗位和学历,第二部分是依据图 1 的二级指标设计相应的题项。共发放

300 份调查问卷,回收 253 份,剔除 10 份不合格问卷,得到有效问卷 243 份。经统计得知,受访对象中现场技术人员、安拆人员、安全监督人员、塔吊司机占受访总人数的 73%;工作年限 3~5 年的占 38%;高中以上学历的占 74%。对样本进行信度分析,结果如表 1 所示,克隆巴赫系数在 0.6 以上,说明数据信息的信度符合要求。运用 SPSS26.0 进行相关性检验分析,KMO 的值为 0.863,Barttle 球检验 sig = 0.000<0.005。10 个因子的累积解释方差为 71.032%,能够覆盖绝大多数因子,结果表明潜变量与观测变量之间可靠性较好。

2.2 模型的拟合与假设检验

结构方程模型是一种研究变量之间作用关系的多元统计技术,常用于验证变量之间因果关系,并能够自主评价因果关系影响程度的研究方法。第一步,对 7 个潜在因素进行相关性检验。其结果值均<0.7,说明变量之间相关性不强,符合要求。第二步,样本数据的适配度检验。适配度检验是样本共变异矩阵减去期望共变异矩阵,结果越接近于 0 说明数据与模型拟合效果越好。适配度指标帮助判断两个共变异矩阵相减结果,主要分为两类,一类是相似度指标,如 NFI、CFI、TLI 等,这类指标值一般要>0.8;另一类是相异性指标,如 RMSEA 等,这类指标值一般要<0.08。利用 AMOS22.0 软件计算样本的适配度指标,结果如表 2 所示,两次计算结果表明样本的适配度较好。第三步,假设检验分析。以|C.R|值作为评价标准,当|C.R|>1.96 表明假设路径显著,|C.R|<1.96 表明假设路径不显著应该删除。通过计算,结果如表 3 所示,其中 H_{12} 、 H_{21} 、 H_{32} 、 H_{33} 、 H_{41} 、 H_{53} 、 H_{72} 、 H_{73} 等 8 条假设关系的|C.R|<1.96,表明假设关系不成立,应删除;其余 16 条假设关系成立,最后得到事故作用机制系统图,如图 3。

表 1 量表的可靠性检验
Tab.1 Reliability test of scale

潜变量	编号	题项	因子荷载	克隆巴赫系数 α
班组管理	B11	班组内部交流	0.864	0.741
	B12	班组任务分工	0.735	
	B13	班组长违规指挥	0.741	

续表

潜变量	编号	题项	因子荷载	克隆巴赫系数 α
设备状态	B21	基础可靠性	0.692	0.743
	B22	结构可靠性	0.732	
	B23	设备功能可靠性	0.776	
	B24	技术环境应急措施	0.749	
个人不安全行为	B31	不正确穿戴安全防护用品	0.863	0.886
	B32	颠倒操作程序顺序	0.831	
	B33	缩减操作程序	0.809	
	B34	高估自己能力,蛮干作业	0.789	
安全规程和流程	A11	安全技术交底	0.773	0.753
	A12	施工技术可靠性验证	0.753	
	A13	施工专项方案编制	0.703	
现场工作安排	A21	应急措施安排	0.687	0.734
	A22	资源合理分配	0.727	
	A23	落实施工作业流程	0.705	
个人状态	A31	人员作业水平	0.743	0.843
	A32	人员生理状态	0.843	
	A33	人员精神状态	0.884	
班组状态	A41	作业人员人数	0.878	0.923
	A42	工种配置	0.892	
	A43	班组成员状态检查	0.912	
技术环境	A51	交叉作业	0.818	0.853
	A52	塔吊作业范围重叠	0.882	
	A53	工作强度	0.853	
	A54	塔吊布置与安全距离	0.804	
安全文化	A61	领导层的重视程度	0.921	0.931
	A62	安全责任制度的健全程度	0.892	
	A63	企业安全培训制度健全程度	0.915	
	A64	塔吊维护保养制度健全程度	0.902	
监管人员实践	A71	反馈和纠正行为	0.788	0.812
	A72	人、设备等信息审核	0.812	
	A73	对作业人员行为监督	0.793	

表 2 模型的拟合系数分析

Tab.2 Analysis of fitting coefficient of the model								
拟合指标	NFI	χ^2/df	CFI	TLI	IFI	GFI	PNFI	RMSEA
指标理想值	>0.8	<3.3	>0.8	>0.9	>0.9	>0.9	>0.5	<0.08
初步结果	0.864	2.694	0.908	0.913	0.934	0.922	0.721	0.069
修正结果	0.891	2.609	0.909	0.913	0.931	0.921	0.732	0.059

表 3 假设检验的分析结果
Tab.3 Analysis result of hypothesis test

路径	标准化路径系数	C.R.	C.R > 1. 96
H ₁₂ :安全规程和流程→设备状态	0.636	0.974	拒绝
H ₂₁ :现场工作安排→个人不安全行为	0.073	1.021	拒绝
H ₃₂ :个人状态→设备状态	0.096	1.643	拒绝
H ₃₃ :个人状态→班组管理	0.300	1.458	拒绝
H ₄₁ :班组状态→个人不安全行为	0.742	1.384	拒绝
H ₅₃ :技术环境→班组管理	0.456	0.400	拒绝
H ₇₂ :监管人员实践→设备状态	0.289	1.633	拒绝
H ₇₃ :监管人员实践→班组管理	0.134	1.743	拒绝
H11:安全规程和流程→个人不安全行为	0.373	2.041	接受
H13:安全规程和流程→班组管理	0.153	2.542	接受
H22:现场工作安排→设备状态	0.327	3.144	接受
H23:现场工作安排→班组管理	0.204	3.582	接受
H31:个人状态→个人不安全行为	0.512	8.421	接受
H42:班组状态→设备状态	0.123	4.342	接受
H43:班组状态→班组管理	0.462	3.654	接受
H51:技术环境→个人不安全行为	0.386	2.862	接受
H52:技术环境→设备状态	0.083	4.234	接受
H61:安全文化→个人不安全行为	0.258	3.432	接受
H62:安全文化→设备状态	0.474	2.331	接受
H63:安全文化→班组管理	0.523	5.341	接受
H71:监管人员实践→个人不安全行为	0.393	1.992	接受
H10:个人不安全行为→事故	0.213	4.732	接受
H20:设备状态→事故	0.168	2.144	接受
H30:班组管理→事故	0.279	2.294	接受

3 结果讨论与对策建议

3.1 作用机制

对 16 条路径进行分析,可以归纳三类作用机理。

第一类作用机制,潜在因素作用于个人不安全行为,再由个人不安全行为引发事故,这类因素包括个人状态、监督人员实践;第二类作用机制,潜在因素作用于组织不合理决策,再由组织不合理决策引发事故,这些潜在因素包括现场工作安排、班组状态;第三类作用机制比较复杂,潜在因素既作用于个人不安全行为,又作用于组织不合理决策行为,再由组织不合理决策和个人不安全

行为共同作用,引发事故,这类潜在因素包括安全文化、安全规程和流程、技术环境。

将这三类作用机制进行整理,得到组织与人因分析系统作用机制,如图 4。

3.2 主要影响强度

图 3 反映了各变量之间的直接作用强度和间接作用强度,而直接作用强度与间接作用强度相加就是总作用强度,7 个潜在因素作用强度结果详见表 4。

公共潜在因素包括安全文化、安全规程和流程、技术环境,由表 4 可知安全文化总作用强度为 0.668,对事故总影响较大;其次是技术环境、安全规程和流程。企业应该重点关注安全文化对事故

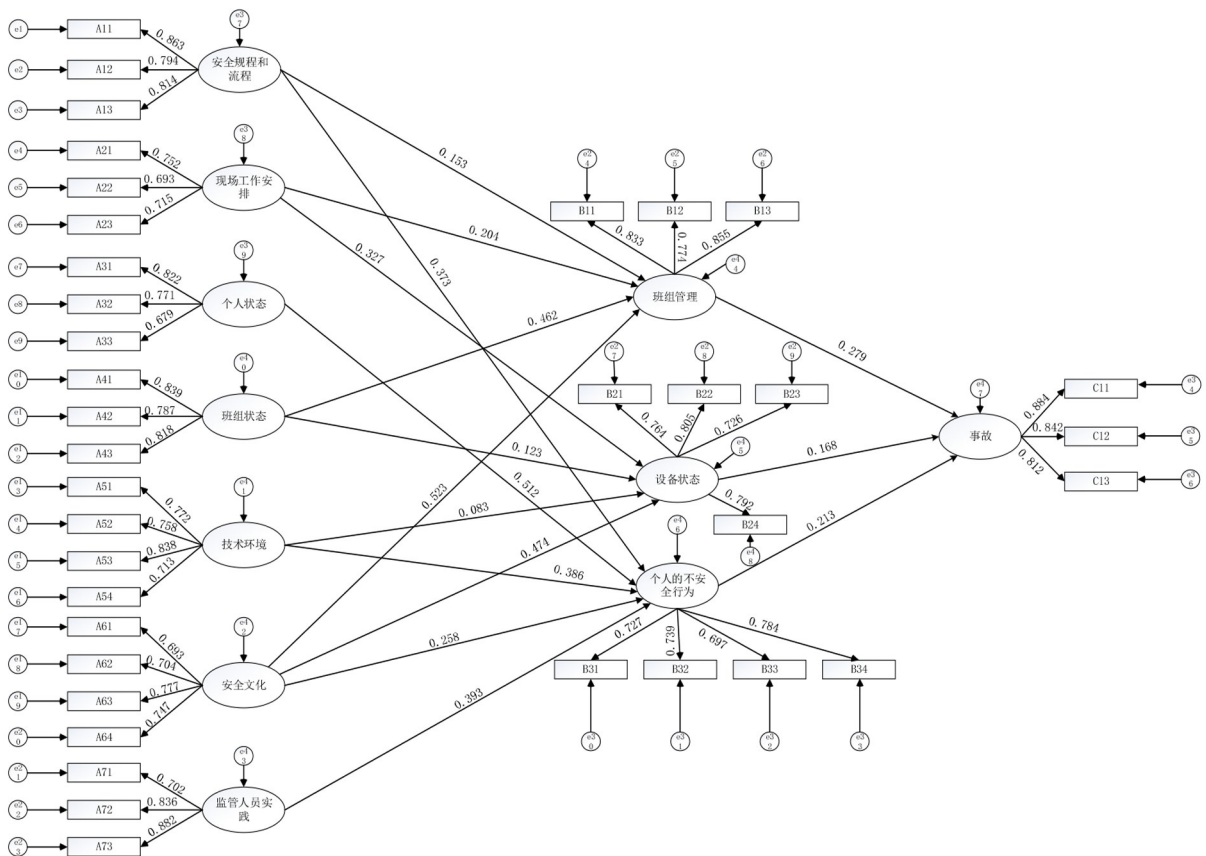


图 3 事故作用机制系统图

Fig 3 System diagram of accidents' working mechanism

的影响,企业安全文化缺失主要表现在企业制度建设匮乏、领导层的安全意识不强。企业制度缺失会导致塔吊日常维护保养不到位、班组管理缺乏指导依据,领导层安全意识不强会导致安全投入不足、参与作业人员不具备相应资质、设备带病作业等。

表 4 潜在因素与事故之间效应分析

Tab.4 Effect analysis between potential factors and accidents

影响路径	直接作用强度	间接作用强度	总作用强度
安全规程和流程→事故	0.373	0.080	0.453
现场工作安排→事故	0.327	0.055	0.382
个人状态→事故	0.512	0.086	0.598
班组状态→事故	0.462	0.128	0.590
技术环境→事故	0.386	0.082	0.468
安全文化→事故	0.523	0.145	0.668
监督人员实践→事故	0.393	0.084	0.477

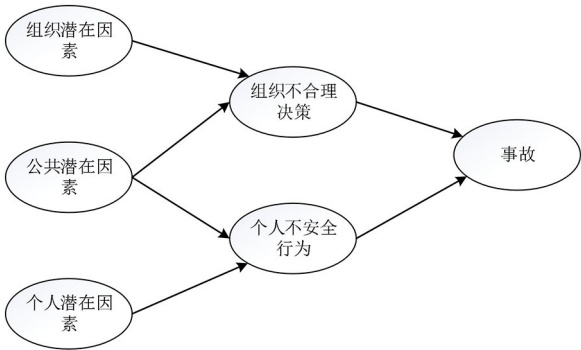


图 4 组织与人因分析系统作用机制

Fig.4 Working mechanism of organization and human factor analysis system

个人潜在因素包括个人状态、监督人员实践,由表 4 可知个人状态总作用强度为 0.598,监督人员实践总作用强度为 0.477,个人状态对事故影响较大。企业应该重点关注个人状态对事故的影响,塔吊吊装功能离不开个人的操作行为,而个人状态又影响到个人的操作行为。有调查研究表

明,个人的生理状态、知识与技能等是影响事故的重要原因^[3]。

组织潜在因素包括工作安排、班组状态,由表4可知班组状态总作用强度为0.59,现场工作安排总作用强度为0.382,班组状态对事故影响较大。由于塔吊是大型特殊设备,需要多人配合且对操作人员的技术和安全要求较高,配备人员均为特殊作业工种,企业应该重点关注班组状态。根据事故统计结果,事故多是由于企业未派遣合格作业班组或作业班组内部违规指挥,将不具备作业资格的人员安排在关键岗位等,从而引发事故^[2]。

3.3 对策与建议

根据上述分析结果,要强化安全管理,降低安全事故,应在组织和个人层面加强管理。

在组织层面:加强企业安全文化建设,建立健全企业安全管理制度,尤其是加强安全知识与技能培训、完善塔吊维护保养;加强安全投入和措施建设,改善生产环境,及时更新设备;加强设备的维护管理,按维修、保养规程对设备定期进行保养和定项检修;建设优质班组,将安全管理与绩效挂钩,从作业人员中选拔懂管理、懂技术的人员担任班组长;引入外部监督,对外吸纳懂管理、懂安全、懂技术的管理人员,增强现场安全监督管理。

在个人层面:增强安全意识,加强作业前隐患

排查,防止不可控因素的发生;加强与作业班组的沟通,做好技术交底,熟练掌握技术规范和设备状态;提高个人工作责任感,认真学习并严格执行遵守操作规范,防止违规操作行为;班组长应加强自身协调能力,协调各参建单位之间、各类作业人员之间的关系,保障安全有序作业;持续进行塔吊安全技术和知识的学习,熟练掌握不同类型塔吊的施工作业技术要求和操作规程。

4 结语

本文借鉴人因分析系统的作用机制,结合塔吊事故的特点,构建了组织与人因分析系统,分析塔吊事故致因与事故之间的三类作用机制,即潜在因素作用于个人的不安全行为,个人的不安全行为引发事故;潜在因素作用于组织不合理决策,组织不合理决策引发事故;潜在因素既作用于个人的不安全行为,又作用于组织不合理决策,组织不合理决策和个人的不安全行为共同作用引发事故。研究表明,在三类作用机制作用下,安全文化、个人状态和班组状态3个因素对安全事故影响最大。针对作业机制和影响强度的研究结果,从组织和个人两个方面提出对策与建议,以期能预防或减少塔吊事故的发生。

参考文献:

- [1] 2018年中国塔吊行业市场现状及发展趋势分析 海外市场逐渐成为发展新机遇点[EB/OL]. [2019-04-25]. <https://bg.qianzhan.com/report/detail/459/190425-88aa7b79.html>.
- [2] 刘晨,孙世梅,赵寅杰,等. 2016—2020年建筑塔式起重机事故统计分析[J]. 工业安全与环保, 2022, 48(3): 53-55, 63.
- [3] TAM V. Tower crane safety in the construction industry; a Hong Kong study[J]. Safety Science, 2011, 49(2): 208-215.
- [4] SHIN I J. Factors that affect safety of tower crane installation/dismantling in construction industry[J]. Safety Science, 2015, 72: 379-390.
- [5] 黄莺,珊瑚,姚思梦. 施工塔吊安全管理的系统动力学分析[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(6): 2060-2068.
- [6] 沈中芹,曾旺,王瑞强,等. 基于改进 HFACS-MI 模型的煤矿透水事故致因分析[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(3): 178-184.
- [7] SWUSTE P. A 'normal accident' with a tower crane? An accident analysis conducted by the Dutch Safety Board[J]. Safety Science, 2013, 57: 276-282.
- [8] 毕节市七星关区天河广场项目“7.2”塔吊倒塌较大事故调查报告[EB/OL]. [2018-09-25]. https://www.bijie.gov.cn/bm/bjsyjjlgj/gk_5127035/zhsgjy_5127051/201809/t20180925_67557043.html.
- [9] ZHOU W, ZHAO T S, LIU W, et al. Tower crane safety on construction sites; a complex sociotechnical system perspective[J]. Safety Science, 2018, 109: 95-108.
- [10] 赵挺生,周炜,徐凯,等. 塔吊使用阶段安全风险分析与贝叶斯建模[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(11): 350-356.
- [11] 张伟,张潇,薛楠楠,等. 塔吊安全事故致因网络模型构建与分析[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(12): 1-7.