

2019年安全系统工程研究热点回眸

彭乐¹, 景国勋^{1,2*}

1. 河南理工大学安全科学与工程学院, 焦作 454000

2. 安阳工学院, 安阳 455000

摘要 安全系统工程主要是对系统风险进行预测、评价、控制的科学技术, 包括事故致因理论、安全评价、安全管理和预警应急等内容。2019年, 安全系统工程在互联网飞速发展的影响下, 经典内容作为研究主体持续发展的同时, 也呈现出大数据共享、评价预警系统智能化等趋势。事故树分析实现了静态平面事故树到动态空间事故树的突破; 随着模糊算法的改进和云计算模型的发展, 安全评价中最常用的层次分析法精确度提高, 更符合实际情况; 建筑业、矿业和化工生产等领域的安全预警系统更加智能化, 生产管理体系更加科学; 灾害风险预测应急系统在试点城市投入使用, 为维护社会公共安全做出了贡献。

关键词 安全系统工程; 系统风险; 安全评价

作为安全科学的一条重要分支, 安全系统工程随着生产科技的日新月异而不断发展。安全系统工程是以安全学和系统科学为理论基础, 以安全工程、系统工程和可靠性工程为手段, 对系统风险进行预测、分析和控制, 以期实现系统安全目标的科学技术^[1]。从20世纪70年代末直到今天, 诸多学者致力于研究安全系统工程, 并已取得累累硕果。这不仅包含了人们对安全的不懈追求, 更承载了对生命的尊重与珍惜。

以“人-机-环”为研究对象的安全系统工程, 对处于各个不同阶段的系统安全进行研究。事故致因理论、安全评价、安全决策作为安全系统工程

的经典主题, 历年来被不同学者从不同角度进行研究, 取得很大发展。近年来, 在互联网和计算机的双重作用下, 经典主题的研究内容和方法不断实现新的突破, 同时安全系统工程呈现出两大新的发展趋势, 即大数据智能化在安全系统中的应用日益广泛和安全系统工程与预警应急愈加密不可分^[2-5]。

2019年3月28日, 在南京举办的智慧电厂论坛中提出电厂智能安全管控系统, 使用“人防+技防+物防”的三重屏障确保电厂的安全。智慧工地安全管理系统^[6-8]、智慧城市交通安全系统^[9-11]以及智能消防预警系统^[12-14]等在互联网和物联网的双重推动下迅速发展。基于数据感知技术, 促进

收稿日期: 2020-01-05; 修回日期: 2020-01-13

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51774120); 国家自然科学基金联合基金重点项目(U19042108)

作者简介: 彭乐, 博士研究生, 研究方向为安全系统工程与管理, 电子信箱: 2747758790@qq.com; 景国勋(通信作者), 教授, 研究方向为安全系统工程与管理, 电子信箱: gxjing@hpu.edu.cn

引用格式: 彭乐, 景国勋. 2019年安全系统工程研究热点回眸[J]. 科技导报, 2020, 38(3): 200-207; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.03.018

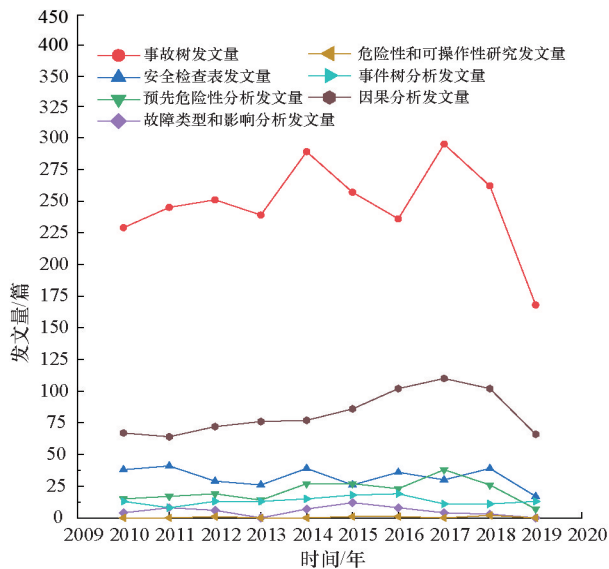


图2 近10年不同事故致因分析方法发文量统计

事故树分析是一门融合多学科、多领域的研究,不仅受到本领域研究进展的影响,同时还会受到许多外界因素的影响。在大数据与云计算的推动下,系统安全分析打破传统的二维空间分析模式,研究空间扩大到三维空间并逐渐趋于空间网络化。空间故障树理论从2012年诞生,到2019年已日渐发展完善,在矿井通风、爆炸事故和可靠性分析等方面应用广泛。空间故障树与因素空间融合,形成一种可适用于大数据环境的可靠性算法,具有广泛的适应性和拓展性^[17-19]。动态分析、模糊分析、贝叶斯网络、尖点突变理论和BP神经网络分析等与故障树分析的联系更加紧密^[20-22]。

2 安全评价

以安全评价为主题,发表年度设定为2019年,在中国知网中共搜索到1375篇论文。发文量超过50篇的行业领域分别为交通运输(227篇)、水利工程(133篇)、矿业(113篇)、建筑(103篇)、化学工程(84篇)、石油天然气(62篇)及城乡规划与市政(50篇),占全年发文量的百分比如图3所示。由此可见,2019年安全评价的热点研究领域为交通运输、水利工程及矿业。

为弥补单一评价方法的不足,基于系统动力学

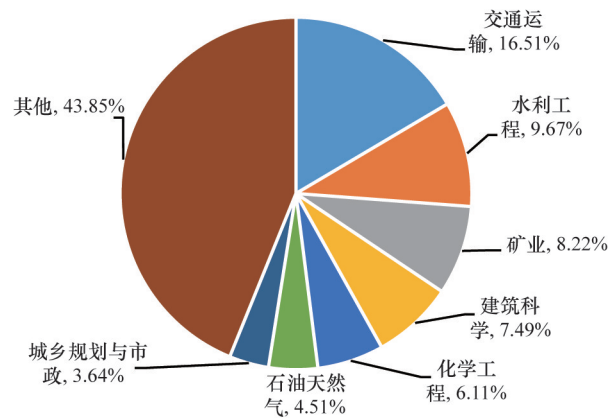


图3 安全评价中各行业领域发文量百分比

原理和主成分分析法,构建出交通安全评价云模型,以大连1号地铁线为例,计算出驱动系统、车辆安全设备和安全监管系统的主要性,改善了轨道交通车辆系统的安全管理现状^[23]。构建隧道交通安全评价指标体系,结合物元可拓法构建出隧道交通安全评价可拓云模型综合评价法,提高隧道交通安全评价的准确性,对隧道设计和交通安全管控具有重要指导意义^[24]。水库工程建筑物3D激光快速扫描技术和数据点云快速处理技术被研发,并基于点云重构技术,提出了水库安全评价模型,有效地解决了水库工程建筑物大面积空间坐标信息获取难题,大大提高了水库安全评价中变形监测和数值分析的准确性^[25]。通过博弈论将层次分析法、熵值法、神经网络算法得到的指标权重进行组合优化,得到精确度更高的煤矿安全综合评价模型,更符合煤矿的实际情况^[26]。

对2019年发表有关安全评价的1375篇论文的关键词进行统计分析,出现5次以上的关键词分别为:安全评价、层次分析法、风险评价、模糊综合评价法、交通安全、安全管理、指标体系、云模型与熵值法,如图4所示。层次分析法与模糊法结合而成的算法被广泛应用于各类安全评价,形成了高速公路的模糊层次分析评价模型^[27]、天然气管道改迁分析评价模型^[28]和煤矿安全评价模型^[29]等。为弥补单一层次分析法指标赋权时模糊不清的缺陷,基于ODIE(频率、检测难易度、影响、费用投入)原则的层次分析云模型评价方法诞生,并已在转炉炼钢风

险评价中进行实践检验^[30]。隧道工程近两年兴起高压气体膨胀法破岩技术,依据施工特点,通过云模型方法生成云滴图进行安全评价^[31]。对地铁列车走行部进行安全评价时,实现了事故树到贝叶斯网络的转化,通过仿真计算得出地铁走行部的高风险部件和脆弱部位^[32]。采用AHP-熵权法减弱传统层次分析法中主观因素的影响,利用可拓集合理论求解各指标关联度,分析社区地震应急中的薄弱环节,在一定程度上提高了社区应急抗灾能力^[33]。

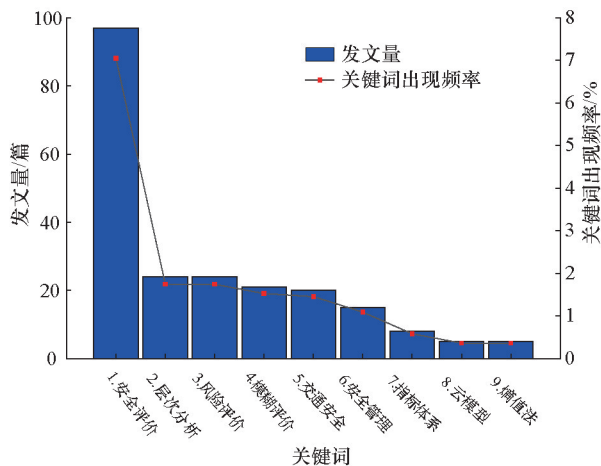


图4 安全评价关键词聚类分析

安全评价的指标体系不断精细化,修正了以往评价指标不全面、界定范围不明确等缺陷。同时,各评价指标赋权时通过各种算法逐渐弱化主观因素的影响,实现了从客观、主观两方面综合考量赋权的过程。在云模型算法及仿真技术大环境下,安全评价一方面更加贴合现实,减少了与实际情况的误差,提高了安全评价的准确性;另一方面,也推动了安全评价与计算机智能系统的融合,为未来安全评价系统的智能化奠定了良好的基础。

3 安全预警

预警是指在事故发生前根据可观测的前兆或以往经验,对预警对象做出定性定量分析,合理预测事故,指导有关人员提前采取相应的措施,阻止事故的发生。建立安全预警系统是防止事故发生和及时采取应急措施的重要举措。通过建立安全

预警系统可以对隐患种类、数量等信息进行动态监控,判断事故发生时可能造成的人员伤亡、财产损失及对环境的影响,提出积极应对措施,提高整个系统的安全程度。

基于安全系统工程基础理论的安全预警系统已经在试点地区投入使用。2019年11月24日,成都市防震减灾局地震监测技术中心和成都高新减灾研究所联合发布消息,“中国首个城市地震预警系统日前在成都开建,未来将借助电脑、手机、电视等终端接收地震预警信息,提前采取应灾措施”。2019年11月27日,江苏省危险化学品安全生产风险监测预警系统正式启动,形成责权分明的分级管控与动态预警网络。2019年12月,浙江省交通运输科学研究院研制《公路涉路作业安全智能预警系统及应用》获得“第一届中国安全科技进步奖”三等奖,为减少超速事故提供科学指导。

2010—2019年,以安全预警为主题词的论文数量整体呈现出增长趋势。2019年论文数量约比2010年增加41%,如图5所示。交通安全预警和建筑施工安全预警等关键词出现频次较高,如图6所示。热应力理论结合人体生理参数阈值,设计出带电作业人员安全预警系统^[34]。通过计算不同车速、弯道半径及超高值道路条件下整车的重心高度,推测弯道行驶时车辆侧翻的临界速度,建立了液罐车侧翻安全预警方法^[35]。采用主动预警控制思想,设计出交通流的实时交通状态辨识及事故风险预警

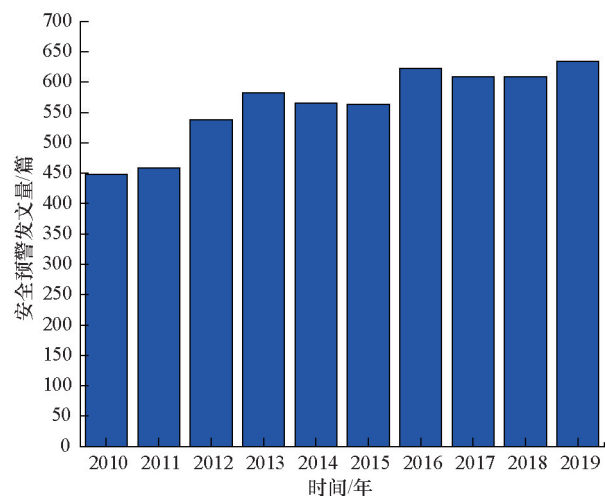


图5 近10年安全预警发文章量对比

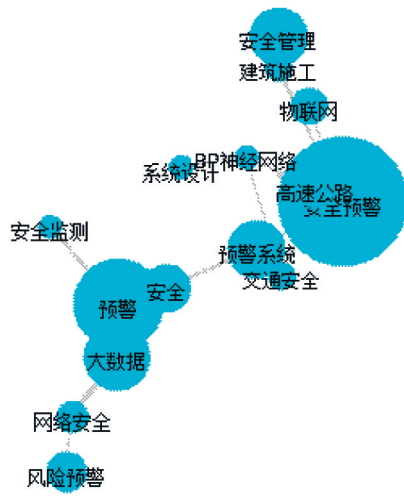


图6 安全预警关键词共现网络

模型^[36]。物联网与安全预警系统相结合,通过区域的实时可视化监控进行趋势分析和预警,从而发挥安全预警、应急指挥和控制的作用^[37]。目前,煤矿已经实现了对瓦斯、一氧化碳等有毒有害气体的超限报警和断电保护等措施,但存在监控数据利用不全面、信息管理混乱等弊端。为弥补这些不足,构建了基于本体与关联规则的煤矿监控预警模型,提高了煤矿安全监测的精确度,减少了事故的发生^[38]。

纵观2019年发表的600多篇论文,大部分安全预警设计框架如图7所示。明确安全预警的目标,通过各种各样的事故致因分析方法,定性定量分析预警对象中存在的隐患信息,汇总后进行安全评价,判断危险状态,及时反馈信息,发出警报,采取应急措施,达到事故发生前将事故消灭的目的。

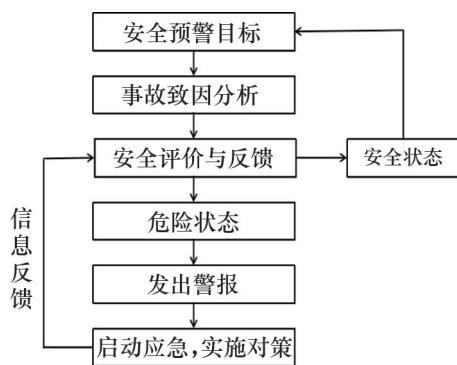


图7 安全预警设计框架

4 安全管理

在中国知网中以安全管理为主题词进行搜索,共检索到11974篇论文,关键词共现网络如图8所示。建筑(房建、隧道、桥梁等)工程领域施工的安全管理无疑是2019年安全管理的研究热点。建筑产业作为国民经济的重要组成部分,与人们的生活息息相关。建筑业从业人数超过全国总就业人数的7%。

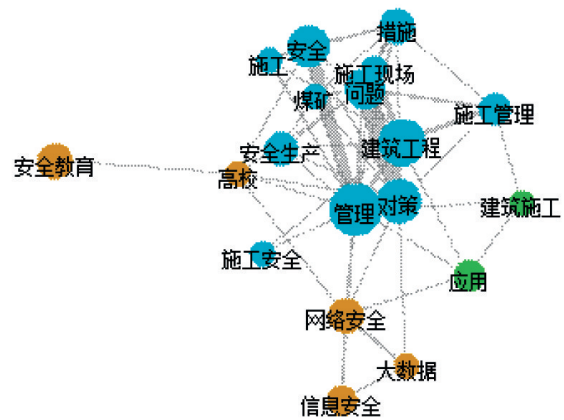


图8 安全管理论文关键词共现网络

杨致远^[39]在2014年提出安全管理不到位是建筑事故的根本原因,人员素质尤为重要。系统动力学、敏感性分析和多目标规划(MOP)三者融入到装配式建筑施工安全管理中,为合理优化安全投入提供参考^[40]。在系统思维和事故致因理论基础上,构建结构化施工安全事故致因系统模型,指出违规作业、安全检查不彻底和人员未充分履行职责应成为安全管理的重点关注问题^[41]。通过分析高处坠落事故行为原因,发现安全管理体的欠缺与安全生产规章制度和安全技术交底制度有一定的关系^[42]。通过统计方法分析水电工程安全事故特征,结合安全隐患到事故的演变过程,完善了现代水电工程项目安全管理风险理论体系^[43]。

与其他行业的安全管理相比,煤矿安全管理系统经过多年的发展已经更加科学。从重点关注期望效用到关注人的主观感知,基于博弈论,构建出有限理性约束下的煤矿安全管理体系^[44]。利用易

安卓编程语言与SQLite数据库技术,采用瀑布生命周期模型的软件开发方法,以《煤矿安全生产标准化考核定级办法》中双控机制的基本内容为依据,设计出基于煤矿安全生产标准化的双控机制APP系统,大大减少煤矿安全管理的工作量,为煤矿安全管理提供了指导^[45]。自动化、信息化和智能化已成为煤矿生产的主要发展趋势,但目前井下不同种类安全监测系统各自独立,给煤矿安全的集成管理造成困扰,在物联网与云计算技术的支持下,已开展煤矿安全生产监控系统云联网平台关键技术的研究,为今后煤矿大数据平台的建立奠定基础^[46]。

2006—2018年,全国高校化学实验室发生火灾爆炸事故不低于16起。虽然事故发生次数不多,但引起政府、高校和有关人员的高度重视,并通过各种网络媒介传播开来,成为人们关注的焦点之一。近10年,关于实验室安全管理的研究逐年增多。2019年,发表关于高校实验室安全管理的论文已超过470篇,超过2010年论文量的3倍。

5 结论

在互联网、物联网及计算机硬件技术的推动下,2019年,安全系统工程在保持发展的基础上,在研究方式和内容等方面不断寻求新的突破,逐步趋于信息化、科技化和智能化。事故致因分析的研究方法从静态分析发展到动态分析,从平面故障树发展到到空间故障树,研究内容上深刻意识到人的不安全行为的重要性。模糊算法、云计算模型等经过改进与层次分析法融合度更高,使得安全评价的精确度得到改善。建筑业、交通业、矿业和化工生产领域的安全预警和管理更加完善,灾害预警系统在部分城市进入调试试验阶段,扭转了面对灾害时束手无策的劣势,确保了城市的公共安全。安全系统工程与其所涉及到的各行各业互相促进,互惠发展,为今后安全系统工程的进一步发展奠定了良好的基础,同时也为维护各行业安全与社会安全稳定提供了指导。

参考文献(References)

- [1] 张景林, 崔国璋. 安全系统工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002: 1-2.
- [2] 任国友, 郑婉婷. 基于知识图谱的安全科学与工程研究趋势特征分析[J]. 风险灾害危机研究, 2019(1): 73-107.
- [3] Song W, Yang Y, Fu M, et al. Real-time obstacles detection and status classification for collision warning in a vehicle active safety system[J]. Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(3): 758-773.
- [4] Chen X S, Liu C C, Wu I C. A BIM-based visualization and warning system for fire rescue[J]. Advanced Engineering Informatics, 2018(37): 42-53.
- [5] 程琦. 基于物联网的安全预警系统研究[D]. 西安: 长安大学, 2019.
- [6] 姚建军, 刘利生. 信息+智能技术在铁路施工安全管理中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(增刊2): 110-114.
- [7] 张宏, 符洪锋. 结合智能安全帽的建筑工人施工安全行为绩效考核及激励机制[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(3): 180-186.
- [8] 张天文. 智慧工地在项目经营管控中的应用[J]. 价值工程, 2018(28): 220-222.
- [9] Wang J, Yu X, Liu Q, et al. Research on key technologies of intelligent transportation based on image recognition and anti-fatigue driving[J]. Eurasip Journal on Image and Video Processing, 2019(1): 1-13.
- [10] Jin J, Ma X. A multi-objective agent-based control approach with application in intelligent traffic signal system[J]. Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2019, 20(10): 3900-3912.
- [11] Zadeh R B, Ghatee M, Eftekhari H R, et al. Three-phases smartphone-based warning system to protect vulnerable road users under fuzzy conditions[J]. Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(7): 1-13.
- [12] 黎蓉. 城市主战消防车参数化设计研究及系统开发[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [13] 毛效禹. 基于数据融合技术和WSN的民用智能火灾报警系统的研制[D]. 南昌: 东华理工大学, 2019.
- [14] 吴泽华. 基于GIS的消防路线规划系统设计[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2019.
- [15] 杨荣, 聂本武. 基于安全系统理论的水电工程智能安全管控模型设计[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15

- (9): 147-152.
- [16] 史梦婷. 基于安卓的智能家居系统软件设计[D]. 海口: 海南大学, 2019.
- [17] 崔铁军, 汪培庄. 空间故障树与因素空间融合的智能可靠性分析方法[J]. 智能系统学报, 2019, 14(5): 853-864.
- [18] 崔铁军, 李莎莎. 空间故障树与空间故障网络理论综述[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(2): 399-405.
- [19] 崔铁军, 李莎莎, 朱宝岩. 空间故障网络及其与空间故障树的转换[J]. 计算机应用研究, 2019, 36(8): 2400-2403.
- [20] 裴甲坤, 王飞跃, 郭换换, 等. 基于改进尖点突变模型的化工事故致因分析[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(7): 20-25.
- [21] 赵志博, 多依丽, 孙铁. 基于动态贝叶斯网络的煤粉加压输送系统可靠性分析[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2019(6): 1-6.
- [22] 王凯, 王成城. 基于模糊事故树的天然气压缩机安全评价研究[J]. 仪器仪表标准化与计量, 2019(1): 13-18.
- [23] 王康, 董四辉. 轨道交通车辆系统安全评价云模型[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(9): 51-56.
- [24] 谭泽斌. 基于可拓云模型的隧道交通安全评价研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- [25] 孙冉, 应爽, 孙黎明, 等. 三维激光扫描技术在怀柔水库工程安全评价中的应用[J]. 北京水务, 2019(5): 53-56.
- [26] 毕娟, 李希建. 基于博弈论组合赋权灰靶模型的煤矿安全综合评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(7): 113-118.
- [27] 韩龙, 董开帆, 封春房. 基于Fuzzy-AHP的高速公路交通安全评价研究[J]. 中国公共安全(学术版), 2019(3): 88-92.
- [28] 赵亚刚, 潘姿伶, 樊益东, 等. 基于AHP-模糊评价的天然气管道改迁安全分析[J]. 石油化工安全环保技术, 2019, 35(4): 26-27, 35.
- [29] 苏亚松, 张长鲁, 贺一恒. 基于AHP和模糊数学的区域煤矿安全风险评价[J]. 煤炭技术, 2019, 38(9): 124-127.
- [30] 李季硕, 许开立, 徐青伟, 等. 基于ODIE原则的AHP-云模型的转炉炼钢风险评价[J]. 工业安全与环保, 2019, 45(10): 20-24.
- [31] 刘敦文, 邱丰恺, 贾昊然, 等. 地铁联络通道高压气体膨胀法开挖施工安全评价[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(5): 1511-1517.
- [32] 尹怀仙. 基于可靠性分析的地铁列车走行部隐患评估体系研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [33] 王海飙, 徐文静. 基于AHP-熵物元的地震安全社区应急管理评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(6): 55-60.
- [34] 李稳, 顾苏, 毛盾, 等. 基于人体体征的作业人员安全预警系统[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(9): 167-172.
- [35] 张卫华, 魏田宇, 徐迟, 等. 基于GIS-T的液罐车侧翻预警方法[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(2): 178-183.
- [36] 高昆. 基于交通流的实时交通状态辨识及事故风险预警模型研究[D]. 西安: 长安大学, 2019.
- [37] 程琦. 基于物联网的安全预警系统研究[D]. 西安: 长安大学, 2019.
- [38] 朱佳. 基于本体与关联规则的煤矿监控预警模型的设计与研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2019.
- [39] 杨致远. 我国建筑企业的安全风险及管理体系研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2014.
- [40] 陈伟, 乔治, 熊付刚, 等. 装配式建筑施工安全事故预防SD-MOP模型[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(1): 19-24.
- [41] 张伟, 朱双娜, 张潇, 等. 建筑施工安全事故致因系统模型与实证分析[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(6): 56-62.
- [42] 孙世梅, 赵金坤, 傅贵. 基于“2-4”模型的高处坠落事故行为原因研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(8): 23-28.
- [43] 樊启祥, 林鹏, 魏鹏程, 等. 水电工程安全事故发生机制与管理对策[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(1): 144-149.
- [44] 田阳. 有限理性约束下的煤矿安全管理[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2019.
- [45] 曾发镔, 倪文耀. 煤矿安全生产标准化安全风险分级管控APP开发[J]. 煤矿安全, 2019, 50(11): 235-238, 243.
- [46] 张莉. 煤矿安全生产监控系统云联网平台关键技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.

Review of 2019 safety system engineering research

PENG Le¹, JING Guoxun^{1,2*}

1. College of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China

2. Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, China

Abstract Safety system engineering is mainly to forecast, evaluate and control systemic risks, including accident cause theory, safety evaluation, safety management and early warning and emergency response. In 2019 with the rapid development of the Internet, other than continuously developing classic research subjects, the security system engineering also presented trends such as big data sharing and intelligent evaluation warning systems. Accident tree analysis has achieved a breakthrough from static planary accident tree to dynamic spacial accident tree. With the improvement of fuzzy algorithms and development of cloud computing models, the accuracy of analytic hierarchy process is improved, making safety evaluation more on line with actual situation. Construction industry, mining, chemical production and other industrial fields have more intelligent safety early warning systems and more scientific production management systems. Disaster risk prediction and emergency response systems have been put into use in some pilot cities for social public safety.

Keywords safety system engineering; systemic risks; safety assessment ●



(责任编辑 王丽娜)