

基于行业的城市安全生产风险结构及差异性

陈宁¹, 唐军梅¹, 王尧¹, 陈安²

1. 北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所, 北京 100054

2. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

摘要 风险防治和隐患排查是城市安全的重要组成部分。由于各行业领域中潜在的风险类型和分布存在着很大差异, 因此在风险防治工作中需要考虑差异性, 并有针对性地制定行业风险防控措施。研究了城市安全生产风险的行业分布差异性, 提出了行业安全风险结构的概念, 在行业风险分布标准化的基础上定义了行业安全风险向量, 基于信息熵理论给出了行业风险熵和风险特异度的量化指标。基于对数万个不同企业风险和隐患案例分析的结果, 发现风险向量、风险熵、风险特异度等几个参数的确定有助于对安全生产风险进行行业内和行业间的对比研究, 从而为行业安全风险分类监控提供依据。

关键词 安全生产风险; 行业安全风险向量; 行业风险熵; 风险特异度

城市的工业化带来了大量的危险源, 风险呈现出集中化、多样性和高发性的特点。城市危险源高度聚集, 重特大事故发生的可能性较大, 工业原料和危险化学品的使用和储存容易导致火灾、爆炸、中毒事故的发生, 而城市管理设施(包括供水、发电、供气、供暖、加油等)存在大量的危险源, 一旦疏于管理就可能造成严重的人员伤亡、财产损失、环境危害和社会影响。因此, 保障城市运行系统的安全成为应急管理的首要任务^[1]。

突发事件分为自然灾害、事故灾难、公共安全

事件、公共卫生事件4类。城市行业安全主要考虑导致事故灾难类突发事件的安全生产风险。在《安全科学技术词典》中, 安全生产被定义为“企事业单位在劳动生产过程中的人身安全、设备和产品安全, 以及交通运输安全等”^[2]。根据《中华人民共和国突发事件应对法》, 安全生产风险是指“在生产过程中因安全生产隐患可能引发的, 致使大面积生命财产安全遭受重大损失的灾难性社会后果”。安全生产事故分类一般有2种: 一种按照安全生产事故发生的行业领域来划分, 例如, 煤炭、石油、化工、冶

收稿日期: 2022-03-23; 修回日期: 2022-06-15

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(19AZD019)

作者简介: 陈宁, 副研究员, 研究方向为大数据技术和风险分析, 电子信箱: nchenyx19@163.com

引用格式: 陈宁, 唐军梅, 王尧, 等. 基于行业的城市安全生产风险结构及差异性[J]. 科技导报, 2023, 41(13): 109-117; doi: 10.3981/j.issn.

1000-7857.2023.13.011

金、石化、地质、农业、林业、水利、电力、建设等产业部门的安全生产事故^[3]；另一种按照安全生产事故的原因来分类。依据《生产安全事故报告和调查处理条例》和《GB 6441—2008 企业职工伤亡事故分类标准》，企业事故灾难主要有20类：物体打击、淹溺、冒顶片帮、锅炉爆炸、车辆伤害、灼烫、透水、容器爆炸、机械伤害、火灾、放炮、其他爆炸、起重伤害、高处坠落、火药爆炸、中毒和窒息、触电、坍塌、瓦斯爆炸、其他伤害。

在安全生产中，危险源是危险的物质、能量以及载体，包括人（人员）、机（机器）、物（物料）、法（方法）、环（环境）等可能造成人身伤害的因素。风险是因危险源的存在而存在的，是危险情况发生的可能和后果的组合。危险源是风险的载体，风险是危险源的属性。危险源不同，产生的风险类型和等级也不同。隐患包括人的不安全行为、物的不安全状态、安全管理的缺陷，以及环境的不安全因素等。事故是指突发的、造成人员伤亡和财产损失及社会影响的意外事件。如图1所示，一个处于正常运行状态的危险源发生事故需要突破层层防护，而每一层的突破点就是隐患。如果这些隐患没有被及时清除，就会进入非正常运行状态，导致事故的发生。

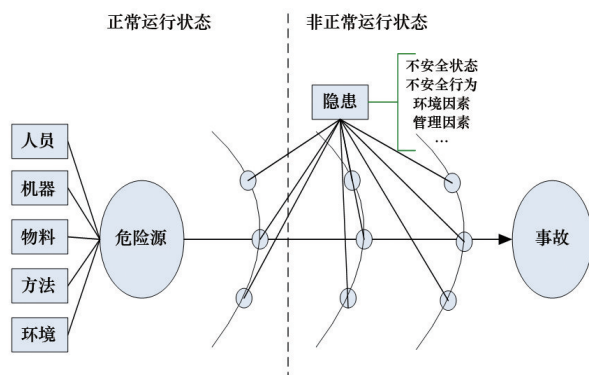


图1 危险源、隐患和事故的关系

风险评估的目的是测评某一事件造成的影响和损失的可能程度。城市安全生产风险评估主要包括风险识别、风险分析、风险评价等内容，首先识别劳动生产过程中潜在的危险源，运用定性或定量方法分析风险的可能性和严重程度，确定风险控制的优先顺序和安全风险管控措施。从评估对象来

看，城市安全生产风险评估主要有2大类。一类是以城市或区域为评估对象，根据评估目标建立指标体系，对风险进行辨识、评估及分级^[4]。谢红利^[5]应用安全管理、风险管理及数据包络法，研究上海市安全生产风险及治理问题；张瓷^[6]从危险性、脆弱性、应急能力3个方面综合评估了北京市某区安全生产风险的类别及特征；刘娜等^[7]根据京津冀地区13个城市的人口数、区位熵、外商投资额、GDP、就业人数等指标，预测各城市的环境风险。另一类是针对某个特定的行业领域，对各类危险源、风险、事故之间的内在关系进行分析，建立模型对事故的发生、发展及损失进行预测。常用的预测方法有关联分析、神经网络、支持向量机、回归分析等。例如，在城市管理领域，利用神经网络预测电气火灾发生起数^[8]，基于贝叶斯模型预测城市供水管网爆管的危险率^[9]。在建筑领域，利用关联分析对地铁基坑工程施工事故预警^[10]；在交通领域，利用关联规则分析交通事故致因之间的关系^[11]，利用决策树和神经网络预测交通事故的严重度^[12]。

从研究方法来看，城市安全生产风险评估主要分为定性和定量2大类。前者主要有调查了解法、逻辑分析法、类似估计法等，后者包括专家打分法、风险矩阵、数据包络分析(DEA)等。近年来，人工智能技术在安全生产风险管理中有着越来越多的应用，在风险识别、预警、救援等方面起到了重要作用^[13-15]。

目前，城市安全生产风险评估主要依据《GB/T 27921—2011 风险管理风险评估技术标准》中的方法，研究风险点和危险源的辨识填报和等级确定^[16]、区域综合风险的可能性和严重性分级^[17-18]，以及行业安全生产风险特征分析和分级管控^[19-22]等问题。由于在经营范围、工作场所、劳动环境、生产设备设施等方面的差别，不同行业的风险类型和分布存在着很大差异，在风险综合防治中需要考虑这种差异性，有针对性地制定行业风险防控措施。目前，行业安全风险的研究大多针对某个具体行业，鲜见不同行业之间风险对比的研究。行业的风险特征缺少标准化的量化指标，使得行业之间在风险组成上很难进行比较。

风险理论最初用于构造商业保险的各种风险模型^[23]。风险结构是指风险之间的相互关系,主要有独立和相依2种类型。经典风险理论假设风险相互独立,主要研究风险的组成和比例。以保险公司为例,风险结构指保险公司整体业务中各个险种的比例或者某个险种各区间业务保费的比例。目前,风险结构在银行业、保险业、信托业、证券业等金融领域中广泛应用,而在城市安全生产风险管理领域中还未见报道。

1 定义

行业安全风险结构是指行业中各类潜在安全风险的组成及比例。本研究首先对行业中的危险源和风险类型进行排查,然后计算各类风险的比例,得到行业安全风险向量。

定义1:令 (a_1, a_2, \dots, a_m) 为某行业领域潜在的各类风险数(其中 m 为风险类型数),行业安全风险向量 (x_1, x_2, \dots, x_m) 是指各类风险的比例,其中 $x_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^m a_i}$ 表示第 i 种风险在全部风险中占的百分比,且 $\sum_{i=1}^m x_i = 1$ 。

风险向量用来刻画行业安全风险结构,即哪些风险出现的可能性较高,哪些风险出现的可能性相对较低。通过将不同行业的安全风险标准化,进而可对行业的安全风险结构进行分析和对比。

1948年,Shannon提出信息熵的概念,是一种对信息无序程度的量化度量。令 X 为信源,取值为 $x_i(i=1, 2, \dots, n)$, p_i 为 x_i 的概率, $\ln \frac{1}{p_i}$ 为 x_i 的信息量,也就是说 x_i 出现的概率越大,不确定性越小,信息量也越小。信息熵 $H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$ 是信息量的期望值,反映不确定性的程度,信息熵越大,不确定性也就越大。一个系统越有序(即不确定性越小),信息熵就越低;反之,一个系统越混乱(即不确定性越大),信息熵就越高。信息熵在决策树分类特征选择^[24]和多属性决策指标赋权^[25]中有广泛的应用。

在本研究中,信息熵用来度量行业领域中风险类型的不确定性。

定义2:令 (x_1, x_2, \dots, x_m) 为某行业领域安全风险向量,行业风险熵 E 表示该行业领域中潜在的各类风险的不确定性,计算如下

$$E = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m x_i \ln x_i \quad (1)$$

行业风险熵 E 的取值范围为 $[0, 1]$,当 $\exists x_i = 1, x_{j=1,2,\dots,m,j \neq i} = 0$ 时,达到最小值0;当 $x_1 = x_2 = \dots = x_m = \frac{1}{m}$ 时,达到最大值1。行业风险熵反映行业中各风险分布的均衡程度,风险熵越大,表示该行业的风险分布越平均;反之越小,表示该行业的风险分布差异越大。

从风险的角度来看,信息熵还可以用于度量风险存在于不同行业中的差异程度。如果一种风险的信息熵越小,表明它对行业间风险差异的贡献越大。相反,如果一种风险的信息熵越大,表明它对行业间风险差异的贡献越小。为了对这种贡献值进行度量,定义了风险特异度作为衡量指标。

定义3:令 $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ 为第 $i(1 \leq i \leq n)$ 个行业领域的安全风险向量,风险 $j(1 \leq j \leq m)$ 的特异度是指该风险在不同行业中存在的差异度,计算时,首先对 x 进行标准化,得到标准化的安全风险向量 y ,对每种风险分别计算熵值 e ,然后计算风险的特异度 s 。

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad i = 1, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \ln y_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$s_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

由信息熵的定义可知,当风险向量中各分量相等时,即 $x_{i1} = x_{i2} = \dots = x_{im}$,信息熵达到最大值;相应地,特异度也最小,说明该风险在不同行业领域中呈均衡分布。

风险防治的目的是通过识别和评估生产过程中各种不确定事件,并采取管控措施,将影响控制在可接受的范围内,实现改善安全生产环境、减少

和杜绝安全生产事故的发生。由于各地区的产业结构不同,行业领域的风险结构也会有所区别。

1) 行业安全风险向量通过标准化使行业内部不同风险之间的对比(即行业内风险对比)以及不同行业的风险之间的对比(即行业间风险对比)成为可能。风险熵给出了行业内的风险差异性指标,风险特异度给出了行业间的风险差异性指标。

2) 在行业风险管控和应急管理中,对生产过程中的危险因素进行辨识和评估之后,可以根据行业风险向量、风险熵、风险特异度等参数分类分级采取有效措施进行管控,合理分配应急资源,提高突发事件的应对能力。风险熵反映行业风险分布的均衡程度,该指标可以为行业风险管控的复杂度提供依据,风险熵高的行业应制定更全面的管控措施。风险特异度反映风险的行业差异,为行业特有风险防治和隐患排查提供依据,达到风险防范重点监控的目标。

3) 风险向量反映行业的风险分布特征,在此基础上可以分别进行行业聚类分析和风险聚类分析,前者反映行业在风险分布上的相似性,后者反映风险在行业分布上的相似性。通过分组可以进一步了解整个城市的安全生产风险现状,制定更合理高效的风险分类管控措施。

2 数据描述与研究方法

根据风险熵和风险特异度的定义,对一个城市的多家企业数据进行分析,以确定每个行业的风险混乱程度以及不同行业之间的风险差异性。

2.1 数据描述

本案例的数据来自某市数万多家企业填报的危险源信息。根据《统计上大中小微型企业划分标准》(国统字[2017]213号)和《GB/T 4754—2017国民经济行业分类》,将企业按照经营范围划分为15个行业领域,即城市管理、建筑、交通、教育、旅游、绿化、民政、农业、商务、市政、水务、体育、危化工业、文化、医疗,其中每个领域包括若干行业。表1列举了15种行业领域的具体行业分类,可以根据每个行业的特点将其具体风险再列举出来。

表1 行业领域的分类

行业领域	具体类别
城市管理	电网企业、发电企业、焚烧厂、供热企业、管道天然气企业、加油站、橇装LNG加气站、填埋场、液化石油气瓶、供应站、转运站
建筑	房屋建筑和市政基础设施工程施工、在建工程
交通	出租车运营企业、道路施工企业、公交运营企业、机动车维修企业、旅游客运企业、普通货物运输企业、汽车租赁企业
教育	教育机构
旅游	社会旅馆、星级饭店、星级酒店
绿化	A级景区、公园、园林绿化工程
民政	殡葬服务企业、福利彩票经营企业、养老院
农业	农业企业
商务	便利店、餐饮企业、房地产中介、家政、美容美发、其他生活服务类、商业零售企业、洗染企业
市政	户外广告设施
水务	供水运行、排水和污水处理运行
体育	高危险性体育项目运动场所、旅行社、体育运动场馆
危化工业	纺织行业企业、化工企业、机械行业企业、建材行业企业、其他带储存经营危险化学品企业、轻工行业企业、水利水电工程施工、危险化学品生产企业、冶金行业企业
文化	文化娱乐场所
医疗	医疗卫生机构、医药企业

危险源是安全生产风险的致因,在生产经营中如果危险源管理不到位,可能导致一种或几种安全生产事故。由于该地区不存在煤矿领域企业,该数据仅涉及15类风险,即火灾、触电、车辆伤害、高处坠落、锅炉爆炸、机械伤害、起重伤害、容器爆炸、坍塌、物体打击、淹溺、中毒和窒息、灼烫、其他爆炸、其他伤害。本研究所指的安全风险类型即为各类事故风险类型^[26]。针对本案例,以行业领域分类分别统计各领域潜在的15种风险的数量和百分比。图2给出了各类风险在全部危险源中存在的比例,其中火灾的潜在风险最高(41.40%),其次是触电风险(27.99%),远高于其他类型的风险,说明这2类是城市安全生产中需要重点防范和管控的风险。

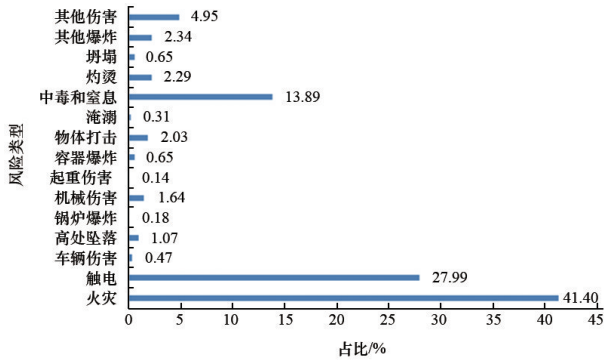


图2 各类安全生产风险的比例

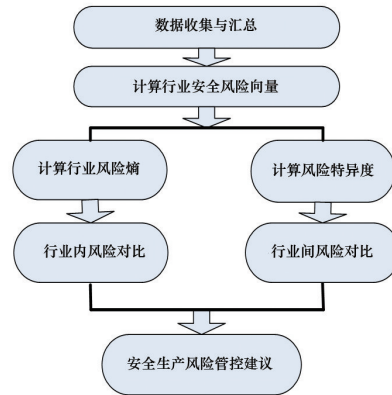


图3 行业安全风险差异性研究方法

2.2 研究方法

行业安全风险差异性研究方法如图3所示,首先对收集的数据进行整理和汇总,计算各行业领域的风险向量;然后,从行业领域维度计算各类行业的风险熵,讨论行业内的风险差异,同时从风险类型维度计算各类风险的特异度,讨论行业间的风险差异;最后提出风险管控的建议。

对比结果。其中,横坐标表示风险类型,纵坐标表示风险向量。由图4可知,火灾和触电风险在绝大多数行业领域(建筑、水务除外)中比例最高,而淹溺风险在水务领域的风险中比例最高,高处坠落风险在建筑行业中比例最高,机械伤害风险在绿化行业中的比例最高,坍塌风险在建筑行业中比例最高。相比其他行业,商务领域包括大量的餐饮企业,因此中毒窒息风险的比例最高。

3 结果与分析

3.1 行业安全风险向量

图4给出了各行业领域的安全生产风险向量

由风险向量的组成可知,各行业领域的风险分布并不均衡。例如,火灾在各行业中所占比例波动较小,从15.3%(建筑行业)到49.1%(医疗行业)不等;而淹溺风险在各行业中占比的波动程度较大,

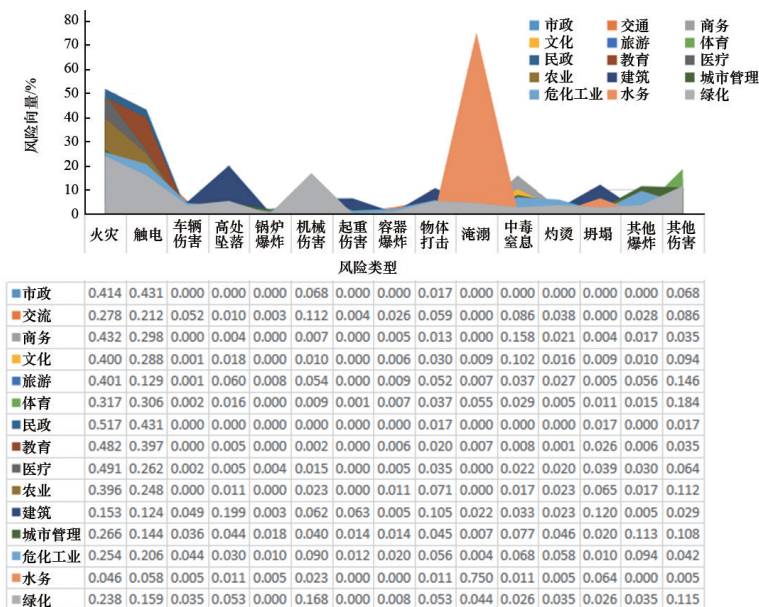


图4 各行业领域的安全生产风险向量对比

除了在水务行业占比很高(75%)以外,在其他行业中占比都很低,甚至在市政、民政、农业等领域中比例为0。

3.2 行业风险熵分析

图5给出了各行业的风险熵,其中民政行业风险熵最低为0.212,其次为市政(0.295)、教育(0.315)、水务(0.340),说明这几个行业的频发风险类型较少。风险熵最高的行业领域依次为建筑(0.751)、城市管理(0.721)、危化工业(0.700),说明这些行业的频发风险种类较多,因此风险管控的难度更高,需要制定更全面的措施。

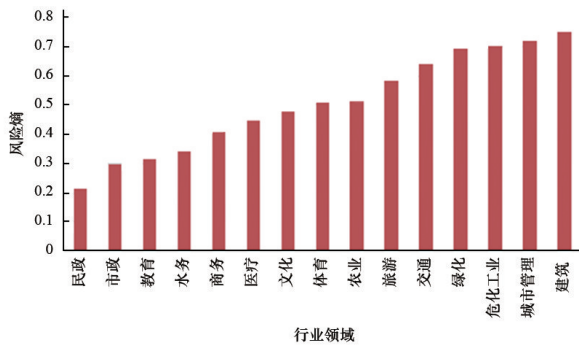


图5 行业领域风险熵

根据风险向量的相似性对15个行业领域进行层次聚类(图6),可以将其分成4类:(1)水务;(2)市政、商务、文化、旅游、体育、民政、教育、医疗、农业;(3)交通、危化、城管、绿化;(4)建筑。分组结果显示:前2组行业领域的风险种类较少(即风险熵较低),其中水务领域的风险结构明显与其他领域不同;后2组行业领域的风险种类较多(即风险

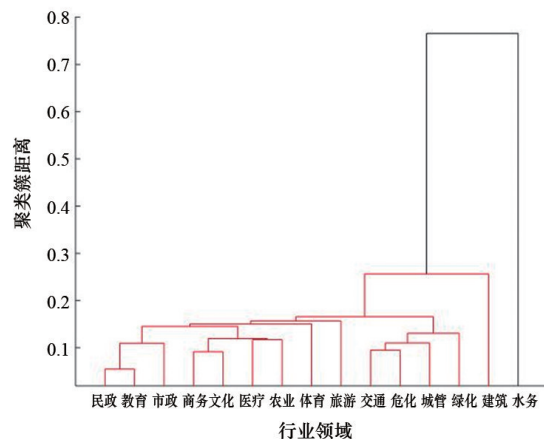


图6 行业领域的层次聚类树状图

熵较高),其中建筑领域的风险结构与其他领域差别较大。

本案例数据中的商务领域包括商业零售企业、餐饮企业、便利店、房地产中介、家政、美容美发、其他生活服务类、洗染企业,出现频率最高的风险类型为火灾(43.2%)、触电(29.8%)、中毒和窒息(15.8%),这3类风险总共占88.8%。行业管理部门在风险管控中,可以从生产经营过程中涉及的人、机、料、法、环这5方面,对可能存在的火灾、触电、中毒和窒息风险进行重点辨识,包括生产设备设施(特别是电气设备、大功率电器、燃气设备、制冷设备、绞肉机、压面机)、存储和使用物料(食用油、酒类、纺织品等可燃物品)、作业环境(有限空间、燃气间、变配电室、冷库)等存在的风险源,评估其风险等级,按照消除、替代、隔离、防护的原则,从工程技术、管理及应急准备方面,分类分级制定管控措施。例如,餐饮企业厨房燃气设施(液化石油气罐/汇流排、天然气入户阀门/用气计量等)这一风险源可能导致的安全事故类型有火灾、爆炸、中毒和窒息。在制定管控措施时,工程技术措施应考虑设置独立间室将风险源隔离,并配备相应的防爆电气设备、燃气泄漏报警装置、机械通风/事故排风装置;管理措施应制定安全责任制及管理制度,责任落实到人,加强设备设施的日常巡检、定期检修维修;加强岗位操作人员的专业技术及安全培训;应急准备应制定应急预案及现场处置方案,配置相应的应急救援装备及物资(干粉/二氧化碳灭火器、灭火毯、消防栓、防毒面具),定期组织应急演练,及时修订应急预案,加强岗位人员应急处置实操培训,提高现场处置能力。

3.3 风险特异度分析

根据图4的数据,计算15类风险的特异度,并按照从低到高的顺序排列。从图7可以看出,火灾的特异度最低,为0.009;其次是触电,为0.011。由此可见,火灾和触电是各行业普遍存在的风险,各行业领域中都普遍存在插板、电器设备、变压器、配电柜、电缆这类常规风险源。

相反,淹溺的特异度最高(0.204),其次是起重伤害(0.169)、锅炉爆炸(0.095)。这些风险类型大多依附于特定的危险源,因此与行业领域关系密

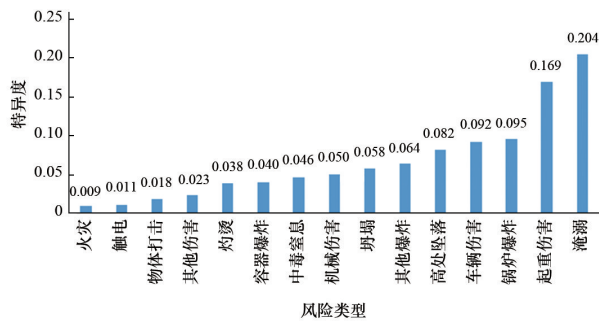


图7 风险特异度

切。例如,水务、绿化等行业中的淹溺风险远远大于其他行业。排水管网是排水和污水处理行业的主要危险源,如果在施工和管理上存在漏洞,就可能导致淹溺事故的发生。2019年8月9日,广州市黄埔区宝丰路排水管网应急清疏养护服务中,由于作业人员违反操作规程及安全防护设备配备不规范,导致一起人员淹溺事故。2021年5月25日,安徽省淮北市相山区人民西路一处市政处工程施工工地,因污水管道爆裂导致4名工人在工作井中溺水。

起重伤害的风险特异度较高的原因主要来自于建筑行业,由于在结构和安装拆卸工程中使用大量的起重机械(起重吊装、物料提升机等),一旦存在违规操作或者设备故障等问题,就可能导致起重伤害事故。2012年9月13日,武汉市东湖景园施工工地因升降机搭建架不牢和严重超载,导致升降机坠落事故,造成19人死亡。2016年4月13日,东莞市一家预制构件厂发生起重机倾覆事故,造成51人伤亡。起重机械的不安全状态、作业人员的不安全行为、环境和管理因素的综合作用是导致起重伤害的主要原因^[27]。

锅炉在城市管理、商务、旅游、危化工业、建筑等领域都有使用,尤其在城市管理(供热企业、焚烧厂等)中大量使用,如果存在锅炉缺水、水垢过多、压力过大等问题就可能造成锅炉爆炸。因此,城市管理行业领域的锅炉爆炸风险较高,锅炉爆炸的特异度也较高。2017年6月14日,承德市某公司发生爆炸锅炉,造成1人死亡,直接经济损失约为120万元人民币,事故原因是工人在锅炉发生严重缺水时,向锅炉内注水,造成瞬时气化,锅炉内压力急剧升高,引起锅炉爆炸。

利用层次聚类方法对风险类型进行分组,结果如图8所示。在15种风险类型中,淹溺(风险特异度最高的风险)单独构成一组,火灾和触电(风险特异度最低的2类风险)构成一组,其他12种风险构成另一组,从侧面反映了风险特异度的合理性。

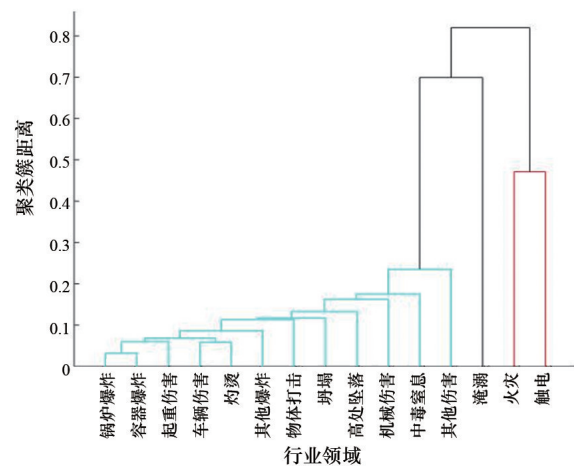


图8 风险的层次聚类

根据分析结果,各行业中潜在的安全生产风险既有共性,也有特性。首先,从所占百分比来看,火灾和触电是高发风险;而从特异度来看,这2类是各行业普遍存在的风险。在风险防治上,应将这2类风险列入常规管控风险类,定期对风险源进行监测,制定应对预案,开展统一的模拟演练和培训,增强员工的风险防控意识。其次,针对总体出现频率不高但特异度较高的风险类型,即某些行业特有的高风险(如淹溺、起重伤害、锅炉爆炸等),需要进行行业内重点防范,将危险源列入重大风险源清单,加强定期监测和重点监管,严格审批、监检、登记、使用和维护,杜绝和减少生产事故的发生。同时,加强对行业相关人员的应急培训,开展针对性的预案演练,提高应急处置能力。例如,对锅炉这类特殊的危险源,一方面在管理上严格把控产品质量,避免制造、修理和改造的不合理工艺,在生产过程中采取防止超压、过热、腐蚀、槽裂、水击等措施,避免爆炸事故的发生;另一方面,加强特殊工种从业人员的岗位培训和安全意识,严格遵守安全生产规范,杜绝不安全操作。其他非常规和非特异风险可以列入一般风险,对其实施监控。

4 结论

城市安全生产是城市安全的重要组成部分,涉及到各种行业领域,而不同行业的风险类型有较大的差别,了解城市各行业的风险结构有助于政府部门和管理者有针对性地开展安全防治工作。本研究提出的风险向量、风险熵、风险特异度的概念对风险的分类管控和应急资源分配具有实际的参考和指导意义。行业部门应明确监管企业存在的重点监管风险类型,制定行业管控措施,加强行业安全生产监管力度,制定行业应急响应预案,加强属地、企业及应急救援力量的应急响应联动,落实行业安全生产责任。

本研究提出的风险向量、风险熵和特异度等指标可以应用于其他区域的生产安全风险数据,在风险数据标准化的基础上,实现不同区域的安全风险结构对比;所定义的风险向量建立在风险比例的基础上,而未考虑风险等级,在未来的研究中将对风险等级进行量化,引入风险向量模型,更准确地反映行业的风险特征。本研究以经典风险理论为基础,假设风险相互独立,但在实际中某些风险之间可能存在关联关系,因此导致这些指标存在一定局限性。

参考文献(References)

- [1] 王国栋, 颜爱华, 侯蕊芳, 等. 城市安全风险评估方法体系研究及实践[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(7): 46-50.
- [2] 安全科学技术词典编委会. 安全科学技术词典[M]. 北京: 中国劳动出版社, 1991.
- [3] 徐锐. 中小企业安全生产管制研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2009.
- [4] 曹海林, 童星. “十一五”期间江苏安全生产面临的潜在风险、主要特征及其防范对策[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2006, 8(3): 13-18.
- [5] 谢红利. 上海城市安全生产风险指数评价及治理研究[D]. 上海: 华东理工大学商学院, 2013.
- [6] 张瓷. 北京市S区城市安全风险评估研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2020.
- [7] 刘娜, 雷鸣. 基于SOM-PNN神经网络的城市环境风险预测算法研究[J]. 计算机科学, 2019, 46(增刊1): 66-70.
- [8] 杨舟. 基于神经网络的电气火灾时间序列预测模型研究[C]//消防科技与工程学术会议论文集. 北京: 化学工业出版社, 2015: 15-18.
- [9] 王祎, 田一梅, 单金林, 等. 供水管网系统爆管预测[J]. 天津大学学报, 2010, 43(9): 840-843.
- [10] 李金玲. 基于关联规则的地铁基坑工程施工风险监测研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2011.
- [11] Xu C, Bao J, Wang C, et al. Association rule analysis of factors contributing to extraordinarily severe traffic crashes in China[J]. Journal of Safety Research, 2018, 67: 65-75.
- [12] Castro Y, Kim Y. Data mining on road safety: Factor assessment on vehicle accidents using classification models [J]. International Journal of Crashworthiness, 2016, 21(2): 104-111.
- [13] 鲁钰雯, 翟国方. 人工智能技术在城市灾害风险管理中的应用与探索[J]. 国际城市规划, 2021, 36(2): 22-31.
- [14] Kang H W, Kang H B. Urban safety prediction using context and object information via double-column convolutional neural network[C]//13th IEEE Conference on Computer and Robot Vision (CRV). Victoria, British Columbia: IEEE, 2016: 399-405.
- [15] Kdm A, Aav A, Dn A. Urban events prediction via convolutional neural networks and Instagram data-science direct[J]. Procedia Computer Science, 2019, 156(C): 176-184.
- [16] 裴喜华, 王恺, 陈勇, 等. 基于固有风险初筛的城市安全风险评估方法及应用[J]. 工业安全与环保, 2021, 47(10): 27-30.
- [17] 秦挺鑫, 徐凤娇, 王皖, 等. 城市公共安全风险识别标准研究[J]. 标准科学, 2020(6): 13-18.
- [18] 张超, 徐凤娇, 王皖, 等. 城市安全风险识别标准中的关键问题研究[J]. 标准科学, 2021(7): 54-60.
- [19] 王宇航, 杨乃莲, 任智刚, 等. 风电行业安全生产风险特征与对策[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(8): 156-160.
- [20] 王轶苏. 关于建立汽车维修行业安全生产风险分级管控体系工作初探[J]. 汽车维护与修理, 2021(23): 10-15.
- [21] 张栋, 周晨静, 林建新. 交通运输行业安全运营风险影响谱系研究[J]. 交通工程, 2021, 21(4): 14-20.
- [22] 赵浩, 李佳育. 我国煤炭行业安全风险分析[J]. 煤炭经济研究, 2021, 41(5): 65-70.
- [23] 周小兴. 风险结构问题研究[D]. 兰州: 兰州理工大学理学院, 2008.
- [24] Wang M, Li D, Li T. A lung image classification method: A classifier constructed by combining improved vgg16 and gradient boosting decision tree[J]. Journal of

- Mechanics in Medicine and Biology, 2021, 21(4): 2150042.
- [25] Liu Z, Jiang Z, Xu C, et al. Assessment of provincial waterlogging risk based on entropy weight TOPSIS-PCA method[J]. Natural Hazards, 2021: 1-23.
- [26] 陈宁, 王尧. 基于关联规则的企业安全风险并存分析研究[J]. 安全, 2021, 42(6): 41-45.
- [27] 宗关忠, 程建荣, 吕光清. 1998—2015年国内外60起起重机械事故[J]. 工程机械与维修, 2016, 3(256): 80-83.

On structure and difference of urban safety production risk based on industries

CHEN Ning¹, TANG Junmei¹, WANG Yao¹, CHEN An²

1. Institute of Urban Safety and Environmental Science, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100054, China
2. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract Risk prevention and hidden danger identification are important to urban safety. According to current laws and regulations on safety production and emergency management in China, the responsible subjects of safety management are those departments that are directly involved in risks and hidden dangers. In a comprehensive city there are great differences in the types and distributions of potential risks among industries. These differences should be taken into account so that targeted risk prevention and control measures can be formulated accordingly. This paper studies the distribution differences of potential safety risks in industries, proposes a concept of industry safety risk structure, defines an industry safety risk vector, and gives the quantification indexes of industry risk entropy and risk specificity by means of information entropy theory. Based on the analysis results of tens of thousands of cases it is found that determination of safety risk vector, industry risk entropy, and risk specificity is conducive to the comparative study of safety risks within and between industries and provides a basis for the classified monitoring of industrial safety risks.

Keywords safety production risk; industry safety risk vector; industry risk entropy; risk specificity ●



(责任编辑 王丽娜)