

城市安全风险综合评估方法研究及应用

谢振华¹, 幸贞雄², 窦培谦¹, 徐明智²

¹中国劳动关系学院安全工程学院, 北京

²贵州省应急管理科学研究院, 贵州 遵义

收稿日期: 2022年1月28日; 录用日期: 2022年2月28日; 发布日期: 2022年3月9日

摘要

针对城市安全风险的特点, 建立城市安全风险评估单元体系, 提出了城市安全风险评估方法并进行了应用。城市安全风险评估单元体系由4个一级评估单元、12个二级评估单元、49个三级评估单元组成。城市安全风险综合评估方法由安全生产经营单位风险评估、行业风险评估、区域综合风险评估三层次组成, 采用层次分析法(AHP)和专家咨询法(Delphi)相结合的方法确定各层次评估单元的权重。安全风险综合评估方法在贵州省某城市的应用表明, 该方法能全面、客观、便捷地得到城市区域的安全风险状况。

关键词

安全风险, 城市安全, 风险评估, 综合评估方法

Research and Application of Urban Safety Risk Comprehensive Assessment Method

Zhenhua Xie¹, Zhenxiong Xing², Peiqian Dou¹, Mingzhi Xu²

¹School of Safety Engineering, China University of Labor Relations, Beijing

²Guizhou Academy of Emergency Management Science, Zunyi Guizhou

Received: Jan. 28th, 2022; accepted: Feb. 28th, 2022; published: Mar. 9th, 2022

Abstract

According to the characteristics of urban safety risk, this paper establishes an urban safety risk assessment unit system, an urban safety risk assessment method is presented and applied. The urban safety risk assessment unit system consists of 4 first-level assessment units, 12 second-level assessment units and 49 third-level assessment units. The comprehensive assessment method of urban safety risk is composed of three levels of risk assessment of work safety operation units, industry risk assessment and regional comprehensive risk assessment. Analytic Hierarchy Process

(AHP) and expert consultation method (Delphi) were used to determine the weight of each level assessment unit. The application of the safety risk comprehensive assessment method in a city of Guizhou Province shows that the method can obtain the safety risk status of urban area comprehensively, objectively and conveniently.

Keywords

Safety Risk, Urban Safety, Risk Assessment, Comprehensive Assessment Method

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国当前正处于工业社会快速发展时期,城市化进程明显加快,城市人口、功能和规模不断扩大,发展方式、产业结构和区域布局发生着深刻变化,城市运行系统日益复杂,城市安全发展面临新形势、新的风险。近年来,一些城市发生重特大生产安全事故,造成了重大的经济损失与人员伤亡,影响城市的和谐、安全、稳定发展。例如,2015年8月12日,天津市滨海新区瑞海公司危险品仓库发生火灾爆炸事故,造成165人遇难,直接经济损失68.66亿元。2015年12月20日,深圳市光明新区红坳渣土受纳场发生滑坡事故,造成73人死亡,4人下落不明,直接经济损失为8.81亿元。2019年3月21日,江苏省响水县天嘉宜化工有限公司发生特别重大爆炸事故,造成78人死亡、76人重伤,直接经济损失19.86亿元。

中共中央办公厅、国务院办公厅于2018年1月印发了《关于推进城市安全发展的意见》,国务院安委会于2019年11月印发了《国家安全发展示范城市评价与管理办法》,要求健全城市安全防控机制,对城市安全风险进行全面辨识和评估。目前,我国多个城市已经开展了城市安全风险评估工作,如北京、上海、深圳、广州、天津等,很多城市正在或即将积极开展城市安全风险评估工作。但是,我国还没有统一的城市安全风险评估体系和标准,尤其缺乏安全风险综合评估方法。

国内外学者对城市安全风险评估开展了比较多的研究,主要集中在自然灾害和城市公共安全方面。Birkmann等从通过调查统计提出了自然灾害风险评估指标体系,建立了世界风险指数量化计算函数模型,在100多个国家得到运用[1]。陈长坤等提出了雨洪灾害情境下城市韧性KL-TOPSIS综合评估计算模型[2];王思成等构建雨洪安全风险QDF评价体系并优化风险测度函数[3];张飞燕等利用CIM-AHP模型与组合赋权方法,进行地铁施工安全风险评价[4];刘福泽等建立轨道交通延误时长预测和风险评估的贝叶斯网络模型,以北京市轨道交通为例,对城市交通系统安全运营状态进行风险评估[5]。上述研究集中在城市安全风险的某一个方面。

杨国梁,魏利军等提出城市安全风险评估的基本原则与流程,由企业“点”和行业“线”辨识风险,再由“点”及区域“面”进行城市安全风险评估[6][7]。王国栋等提出从城市政府、行业监管部门、企业3个层面开展城市安全风险评估,采用层次分析法和模糊综合评价法进行城市安全风险评估[8]。孙华丽等从人口状况、能力指标和脆弱性指标3个方面,建立了超大城市公共安全评估指标体系[9]。郭汝等根据城市规划理论,建立了小城镇城市安全性评价指标体系[10]。杜静等基于孕灾环境理论建立了沿海城市安全生产风险评价指标体系,包括自然因素、技术因素、人类因素3个方面[11]。陈国华等提出了点位、

行业、区域的城市安全风险评估方法及关键技术[12]。汪婷,刘璐等提出了城市安全风险评估模型,并进行了成功应用[13][14]。上述研究成果对开展城市安全风险评估提供了指导,但适用性并不强,也缺乏对城市安全风险的综合评估。

本文针对城市安全生产的特点,建立城市安全风险综合评估指标体系,提出了科学、实用的风险评估方法,并在某城市进行了应用,获得该城市风险等级和主要风险,为城市安全风险防控提供了科学指导。

2. 城市安全风险评估单元体系

城市安全风险涵盖城市生产生活的各个方面。根据《突发事件应对法》,突发事件包括自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件四大类,城市安全生产风险仅考虑事故灾难和因自然灾害引发的安全生产事故。导致事故灾难的城市安全风险从大类上可以分为:工业危险源带来的城市安全风险、人员密集场所存在的城市安全风险、城市公共设施带来的城市安全风险。导致自然灾害的城市安全风险主要包括:暴雨、风灾、干旱等气象灾害,滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害,地震,森林火灾等。

城市安全风险评估应按照一定的原则将城市分成若干有限、确定范围的单元分别进行评估,然后再进行整个城市安全风险综合评估。根据城市安全风险的类型,城市安全风险评估单元可以划分为城市工业安全风险评估单元、城市人员密集场所安全风险评估单元、城市公共设施安全风险评估单元、城市自然灾害安全风险评估单元,每个单元再进一步划分为子单元。

城市安全风险评估单元体系的划分如图1所示。城市安全风险评估水平由4个一级评估单元、12个二级评估单元、49个三级评估单元组成。由于每个城市的安全风险类型和重点有所不同,城市安全风险评估单元可以根据实际情况进行增减。

3. 城市安全风险综合评估方法

城市的各生产经营单位、行业、城市区域(区县、乡镇街道)应根据评估对象的范围、性质、资源占有情况,以及评估人员的水平、评估方法的适用性等,选择合适的安全风险评估方法,再进行综合评估。城市安全风险评估工作的基础是生产经营单位落实主体责任,切实做好安全风险评估工作;行业(领域)监管部门应严格履行安全监管责任,掌握整个行业的安全生产风险状况,有针对性地监管重大安全风险;城市区域管理者应着力防范化解重大安全风险,提升城市安全水平。

3.1. 生产经营单位安全风险评估方法

生产经营单位应成立安全风险评估小组,或者与安全风险评估中介机构签订服务协议,开展风险评估工作。安全风险的辨识可采用安全检查表法、预先危险性分析法、危险与可操作性分析法等方法,城市各行业主管部门应结合实际情况制定安全风险评估规范,编制生产经营单位安全风险源辨识建议清单。安全风险评估方法可采用风险矩阵法、概率风险评价法等方法、道化学火灾爆炸危险指数评价法,确定安全风险等级,安全风险等级应统一为重大风险、较大风险、一般风险、低风险4个等级。各单位在风险评估完成后,应形成本单位安全风险清单,各行业主管部门进行汇总。

不同生产经营单位或行业要采用与之相适应的安全风险评估方法,例如对建筑施工项目,可采用直接判定法,依据《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》(建质(2009)87号),对危险源进行直接判定。根据风险评估理论和目前安全风险评估的开展情况,推荐使用风险矩阵法。

风险矩阵法能够客观地把风险发生的可能性和风险发生后的严重性综合起来评估风险大小,并且可以将定性和定量评估有机结合,具有简便实用、结果准确的特点。风险发生的可能性可根据评估前制定

的分级标准确定可能性等级(一般分为 5 级), 风险发生后的严重性根据风险对人、经济、社会、保障等方面的影响, 按照评价标准确定等级(可分为 4 个或 5 个等级), 最后根据风险矩阵确定风险等级, 如图 2 所示。

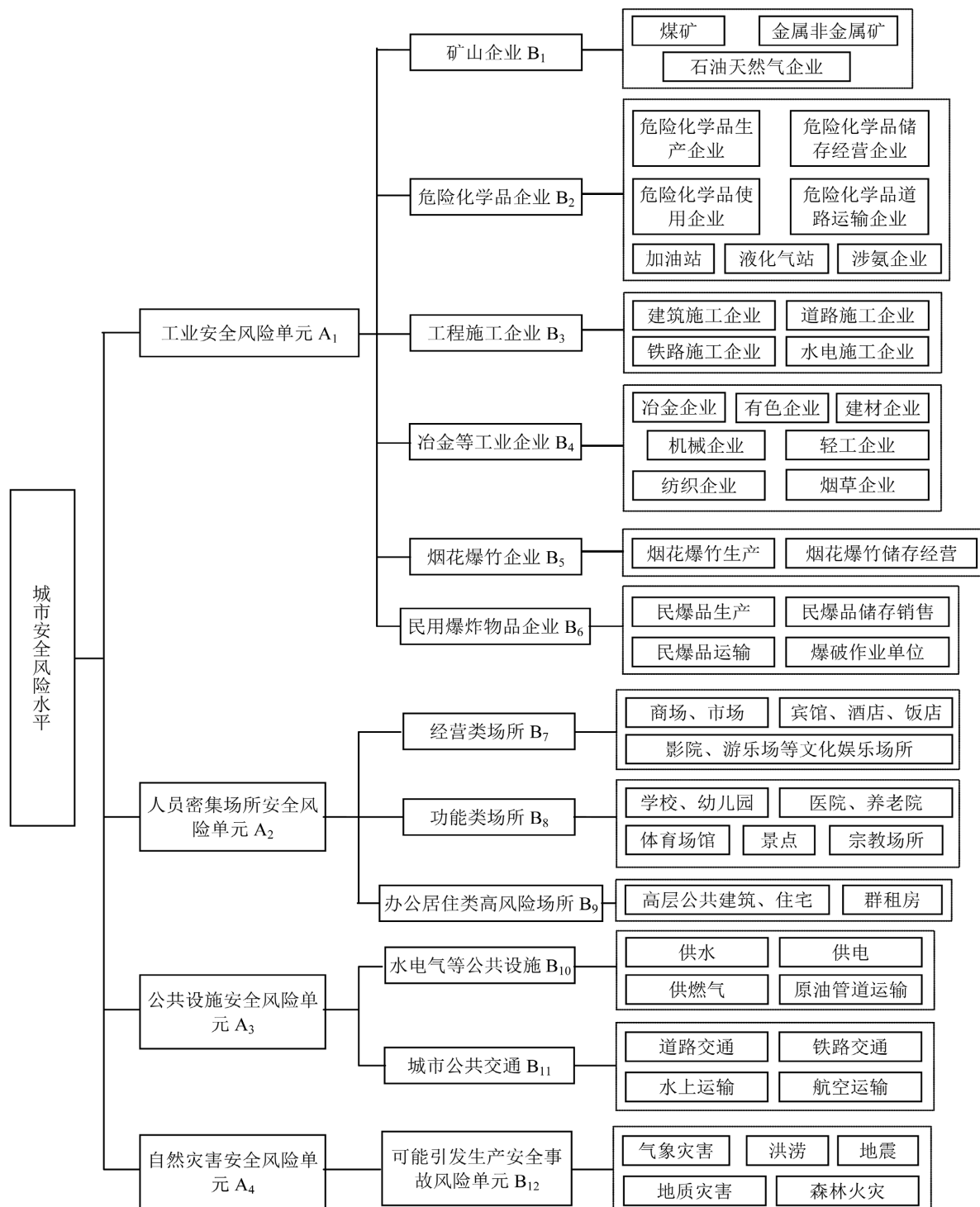


Figure 1. Division of urban safety risk assessment units

图 1. 城市安全风险评估单位的划分

风险等级		后果严重性				
		很小 A	小 B	一般 C	大 D	很大 E
发生可能性	基本不可能 1	低	低	低	一般	一般
	较不可能 2	低	低	一般	一般	较大
	可能 3	低	一般	一般	较大	重大
	较可能 4	一般	一般	较大	较大	重大
	很可能 5	一般	较大	较大	重大	重大

Figure 2. Matrix of urban safety risk grading

图 2. 城市安全风险分级矩阵图

3.2. 行业安全风险评估方法

第三层次单元的安全风险称为行业安全风险。行业安全风险评估应该体现整个行业的安全风险状况，可采用加权求和的方法确定整个行业的风险大小，能充分综合考虑专家意见，解决难以量化评价的问题，其计算公式如下：

$$R_h = \sum_{i=1}^4 w_i \times q(i) \quad (1)$$

式中， R_h ——某一行业安全风险指数；

i ——安全风险的等级，取 1~4，分别为重大风险、较大风险、一般风险、低风险；

w_i ——各风险等级的权重，可采取专家评分法确定；

$q(i)$ ——某一行业各等级安全风险的数量。

根据各个行业的安全风险指数，可对各行业的安全风险水平进行排序，实现政府主管部门对城市安全风险的精准把握和科学施策。

3.3. 区域安全风险综合评估方法

将城市划分为不同的区域开展安全风险评估，区域的范围一般是区(县)、乡镇(街道)。城市区域安全风险评估应对某个区域内存在的各类风险进行叠加，综合得出区域的整体风险水平，确定各区域的安全风险水平排序，并按照安全风险分级标准确定各区域的安全风险等级，在区域地图上标注红、橙、黄、蓝的颜色，直观显示重点监管区域。

区域安全风险的大小同样采用加权求和的方法确定，计算公式如下：

$$R_h = \sum_{i=1}^4 \left(a_i \sum_{j=1}^m \left(b_j \sum_{k=1}^n c_k \times R_{hk} \right) \right) \quad (2)$$

式中， R ——区域安全风险指数；

m, n ——区域安全风险评估第二和第三层次的单元数量；

a_i, b_j, c_k ——分别为区域安全风险评估三个层次单元的权重系数；

R_{hk} ——某一行业安全风险指数；

区域安全风险评估单元的权重系数采用层次分析法(AHP)和专家咨询法(Delphi)相结合的方法确定，逐层加权求和得到区域的安全风险指数，也可以累加得到整个城市的安全风险指数。层次分析法通过两两比较同一层级评估指标的重要程度来构造判断矩阵，构造判断矩阵一般根据 1~9 标度法，如表 1 所示。

Table 1. Judgment scale and meaning
表 1. 判断标度及含义

标度(矩阵元素 r_{ij})	标度含义
1	指标 X_i 与指标 X_j 具有同样重要
3	指标 X_i 比指标 X_j 稍微重要
5	指标 X_i 比指标 X_j 重要
7	指标 X_i 比指标 X_j 明显重要
9	指标 X_i 比指标 X_j 绝对重要
2, 4, 6, 8	对应以上两两相邻指标判断的中间情况

AHP 和 Delphi 相结合是指在构造判断矩阵时, 不是简单按照判断标度确定矩阵元素值, 而是选择 N 个专家对两两指标的重要程度进行判断, 对所有专家的评定结果进行综合得到判断矩阵元素 r_{ij} 。可能的标度 k 共有 17 个, 其对应的值 a_k 为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 1/2, 1/3, ..., 1/9。 r_{ij} 的计算公式如下:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^{17} \frac{M_k}{N} a_k \tag{3}$$

式中, M_k 为选择第 k 个标度值的专家人数, $\sum_{k=1}^{17} M_k = N$ 。

以一级评估指标 $A_1 \sim A_4$ 为例说明权重的确定过程。选择 12 位专家对 $A_1 \sim A_4$ 中两两指标的重要性进行判定, 比如 A_1 和 A_3 , 有 8 位专家认为 A_1 比 A_3 明显重要, 有 3 位专家认为 A_1 比 A_3 重要, 有 1 位专家认为 A_1 比 A_3 稍微重要, 则判断矩阵 R 的元素 r_{13} 为: $r_{13} = \frac{8}{12} \times 7 + \frac{3}{12} \times 5 + \frac{1}{12} \times 3 = 6.17$, 而 $r_{31} = 1/r_{13} = 0.16$ 。

同理可确定矩阵的其他元素, 得到的一级指标判断矩阵如表 2。

Table 2. Judgment matrix of first-class indexes

表 2. 一级指标的判断矩阵

	工业安全风险 A_1	人员密集场所安全风险 A_2	公共设施安全风险 A_3	自然灾害安全风险 A_4
A_1	1	5.17	7.33	6.17
A_2	0.19	1	5.33	5.22
A_3	0.14	0.19	1	0.30
A_4	0.16	0.20	3.33	1

由表 3 可得一级风险单元的权重为 $A = (0.46, 0.28, 0.12, 0.14)$, 并通过一致性检验合格。同理, 可得二级指标的权重为 $B_1 = (0.24, 0.21, 0.18, 0.10, 0.13, 0.14)$, $B_2 = (0.47, 0.35, 0.18)$, $B_3 = (0.38, 0.62)$, 三级指标的权重为 $C_1 = (0.51, 0.35, 0.14)$, $C_2 = (0.28, 0.14, 0.13, 0.21, 0.08, 0.06, 0.10)$, $C_3 = (0.47, 0.21, 0.18, 0.14)$, $C_4 = (0.28, 0.24, 0.15, 0.13, 0.08, 0.05, 0.04, 0.03)$, $C_5 = (0.62, 0.38)$, $C_6 = (0.35, 0.28, 0.21, 0.16)$, $C_7 = (0.38, 0.32, 0.30)$, $C_8 = (0.21, 0.23, 0.16, 0.15, 0.25)$, $C_9 = (0.46, 0.54)$, $C_{10} = (0.18, 0.21, 0.35, 0.26)$, $C_{11} = (0.44, 0.18, 0.27, 0.11)$, $C_{12} = (0.33, 0.32, 0.21, 0.14)$ 。

4. 评估方法的应用

4.1. 贵州省 A 市城市概况

贵州省 A 市下辖 3 个区、7 个县、2 个民族自治县、2 个代管市和 1 个新区, 常住人口 600 多万人。

A 市规模以上工业中, 煤炭开采和洗选业, 电力、热力生产和供应业, 烟草制品业, 酒、饮料和精制茶制造业为四大传统行业, 占规模以上工业增加值的比重为 83.0%。A 市工业安全生产形势总体较好, 自然灾害严重, 灾害种类多, 发生频率高, 造成损失严重。

4.2. 城市安全风险评估

选择 A 市 B 区开展区域风险评估, 先评估所有生产经营单位的安全风险, 再由(1)式得到 49 个三级评估单元(即行业)的安全风险, 最后由(2)式得到 B 区的综合安全风险。

以危险化学品企业为例进行说明。B 区共有危险化学品企业 98 家, 其中危险化学品生产企业 6 家, 危险化学品储存经营企业 12 家, 危险化学品使用企业 15 家, 危险化学品道路运输企业 4 家, 加油站 52 家, 液化气站 5 家, 涉氨企业 4 家。每一家企业按照风险矩阵法进行安全风险评估, 可得到所有危险化学品企业的安全风险等级数量, 如表 3 所示。

Table 3. Safety risks of hazardous chemical enterprises

表 3. 危险化学品企业安全风险

	重大风险	较大风险	一般风险	低风险	安全风险指数
危险化学品生产企业	0	1	5	0	1.78
危险化学品储存经营企业	1	1	10	0	3.665
危险化学品使用企业	0	0	12	3	0.765
危险化学品道路运输企业	0	0	4	0	1.20
加油站	0	18	34	0	14.44
液化气站	0	0	4	1	1.335
涉氨企业	0	1	3	0	1.18

采用专家评分法, 可以得到各风险等级的权重系数为 $w = (0.385, 0.28, 0.30, 0.135)$ 。由式(1)可得到各行业的**安全风险指数, 例如危险化学品生产行业的安全风险指数为:

$$R_1 = \sum_{i=1}^4 w_i \times q(i) = 0.28 \times 1 + 0.30 \times 5 = 1.78。$$

同理, 可计算出危险化学品储存经营企业、危险化学品使用企业等其他 6 种类型企业的安全风险指数, 如表 3 所示, 也可以分析得到各类型危险化学品企业的风险分布, 如图 3 所示。

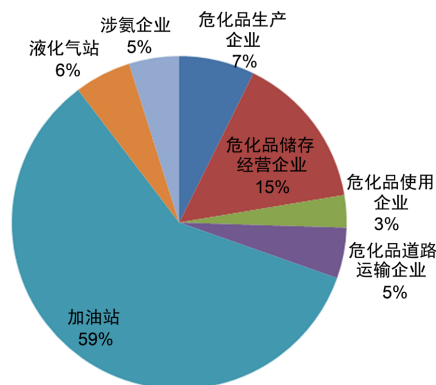


Figure 3. Risk distribution of hazardous chemical enterprises

图 3. 危险化学品企业的风险分布

根据式(2),可计算第二层次评估单元危险化学品企业的综合安全风险,对应的权重系数为 $C_2 = (0.28, 0.14, 0.13, 0.21, 0.08, 0.06, 0.10)$, 即

$$R_{B2} = \sum_{k=1}^7 C_i \times R_{hk} = 0.28 \times 1.78 + 0.14 \times 3.665 + \dots + 0.10 \times 1.18 = 2.716。$$

同理,可以得到一级评估单元的安全风险指数。经过三层加权求和,最终得到 A 城市 B 区的综合安全风险。风险评估结果准确地反映了 A 城市 B 区危险化学品企业的安全风险状况,与实际情况一致,同时也定量地得到了各类危险品企业的安全风险大小,可以据此采取有针对性的防控措施,提高安全生产水平。

5. 结论

1) 山地城市安全风险评估单元体系由工业安全风险、人员密集场所安全风险、公共设施安全风险、自然灾害安全风险 4 个一级评估单元, 12 个二级评估单元, 49 个三级评估单元组成。

2) 采用层次分析法(AHP)和专家咨询法(Dlphi)相结合的方法,可以准确、客观地确定了各评估指标的权重,风险矩阵评估法和多层次加权求和评估法可以便捷、综合地开展城市安全风险评估,解决评估结果难以量化的问题。

3) 城市安全风险综合评估方法的应用表明,该方法能全面、客观、准确地获得城市区域的安全风险状况,可为城市安全风险管控提供精准的科学指导。

基金项目

贵州省科技支撑项目(黔科合支撑[2021]一般 526), 中国劳动关系学院校级科研项目(21XYJS013)。

参考文献

- [1] Birkmann, J. and Welle, T. (2015) Assessing the Risk of Loss and Damage: Exposure, Vulnerability and Risk to Climate-Related Hazards for Different Country Classifications. *International Journal of Global Warming*, 8, 191-212. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2015.071963>
- [2] 陈长坤, 陈以琴, 施波, 等. 雨洪灾害情境下城市韧性评估模型[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(4): 1-6.
- [3] 王思成, 运迎霞, 李道勇. 城市雨洪安全风险测度与防灾规划管理响应研究[J]. 现代城市研究, 2019, 34(11): 125-131.
- [4] 张飞燕, 张特曼, 王泽武. 城市地铁施工安全风险评价与控制研究[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(8): 443-448.
- [5] 刘福泽, 李娟, 范博松, 等. 城市交通系统安全运营状态风险评估——以北京市轨道交通为例[J]. 管理评论, 2020, 32(7): 217-225.
- [6] 杨国梁, 多英全, 王如君, 等. 事故灾难类城市安全风险评估基本原则与流程[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(10): 160-165.
- [7] 魏利军. 城市安全生产风险评估体系构建[J]. 安全, 2018, 39(11): 12-13, 16.
- [8] 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]. 安全生产科学技术, 2019, 15(7): 46-50.
- [9] 孙华丽, 项美康, 薛耀锋. 超大城市公共安全风险评估、归因与防范[J]. 安全生产科学技术, 2018, 14(8): 74-79.
- [10] 郭汝, 刘常胜, 赵玉凤. 我国小城镇城市安全性评价探讨——以湖北 A 镇、河南 B 乡和安徽 C 乡为例[J]. 城市, 2018(5): 35-49.
- [11] 杜静, 张礼敬, 陶刚. 基于孕灾环境的沿海城市安全生产风险评价指标体系研究[J]. 安全生产科学技术, 2017, 13(5): 116-121.
- [12] 陈国华, 杨琴, 李小峰, 等. 基于风险修正的城市安全风险评估方法及应用[J]. 安全生产科学技术, 2020, 16(9): 5-10.
- [13] 汪婷. 城市安全风险评估区域评估模型应用研究[J]. 安全, 2019, 40(4): 37-41.
- [14] 刘璐. 城市安全风险指数模型与应用[J]. 中国安全生产, 2020(1): 42-44.