



移动扫码阅读

周夏飞,曹国志,於方,等.基于风险场的化工园区累积性大气环境风险评估方法研究[J].能源环境保护, 2021, 35(4):96-102.

ZHOU Xiafei, CAO Guozhi, YU Fang, et al. Study on cumulative atmospheric environmental risk assessment method for chemical industrial park based on risk field[J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(4):96-102.

基于风险场的化工园区累积性大气环境风险评估方法研究

周夏飞,曹国志*,於方,徐泽升,周颖,杨威杉,藏楠

(生态环境部环境规划院生态环境风险损害鉴定评估研究中心,北京 100012)

摘要:为量化评估化工园区内部及周边大气环境风险并且更有效地实施风险管理,基于环境风险场评价法的技术思路优化风险场强和受体易损性的计算方法。以 100 m×100 m 为评估单元,构建了一套园区累积性大气环境风险评估方法。以某化工园区开展实例分析,将评估区域大气环境风险划分为 4 个等级,采用环保举报数据对结果进行验证。结果表明,以该方法评价的园区大气环境风险与实际相符,可为园区环境风险防控提供参考。

关键词:化工园区;大气;环境风险;方法

中图分类号:X820.4

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)04-0096-07

Study on cumulative atmospheric environmental risk assessment method for chemical industrial park based on risk field

ZHOU Xiafei, CAO Guozhi*, YU Fang, XU Zesheng, ZHOU Ying, YANG Weishan, ZANG Nan

(Center for Ecological and Environmental Risk and Damage Assessment, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to quantitatively evaluate the atmospheric environmental risk inside and around the chemical industrial park and implement risk management more effectively, the calculation methods of risk field strength and receptor vulnerability were optimized based on the technical idea of environmental risk field evaluation method. A set of cumulative atmospheric environmental risk assessment method was established based on the assessment unit of 100 m×100 m. Taking a chemical industry park as an example, the atmospheric environmental risk in this area was divided into four levels, and the results were verified by the environmental protection report data. The results showed that the atmospheric environmental risk of the park evaluated by the established method was consistent with the actual situation. Thus the method could provide reference for environmental risk prevention and control of the park.

Key Words: Chemical industrial park; Atmosphere; Environmental risk; Method

0 引言

21 世纪以来,在全球经济一体化发展的带动

下,我国化工园区蓬勃发展^[1]。根据中国石化联合会调查数据统计,截至 2018 年底,全国重点化工园区或以石油和化工为主导产业的工业园区共

收稿日期:2021-05-09;责任编辑:蒋雯婷

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC0214104)

第一作者简介:周夏飞(1991-),湖南衡阳人,助理研究员,主要从事环境风险评估与管理方面的研究。E-mail:zhouxf@caep.org.cn

通讯作者简介:曹国志(1982-),男,山东济宁人,博士,副研究员,主要从事环境风险评估与管理、环境规划与政策方面的研究。

E-mail:caogz@caep.org.cn

有 676 家^[2]。与单个建设项目或企业的环境风险相比,该类园区具有多源、多物质和多敏感目标的特点^[3-4],各类有毒有害物质通过大气传播,对周边人群和自然环境带来严重威胁^[5-8]。因此,如何系统科学的评估并精准有效的实施大气环境风险管理,降低园区大气环境风险水平迫在眉梢。

大气环境风险评估是园区大气环境风险管理的重要手段,是管理者决策的基础依据^[9-11],国内外许多学者对区域环境风险评估进行了相关研究。目前,环境风险评估常用的方法有层次分析法^[12-13]、突变级数法^[14-15]、模糊数学法^[16-17]、环境风险场评价法^[5-8,18]。其中,层次分析法和模糊数学法过于主观,突变级数法克服了专家的主观,但未考虑环境风险受体的影响^[2],而环境风险场评价法充分考虑了风险源和风险受体的空间位置关系,对区域进行网格化,并利用 GIS 在地图上可视化环境风险,应用最为广泛^[5-8,18]。2016 年,邢永健等^[6]探索应用区域环境风险系统理论中的环境风险场理论,并对其进行了实际应用的可操作性进行了优化;2019 年,Cao 等^[7]利用环境风险场评价方法,首次对全国开展突发性环境风险评估,识别出了全国高风险热点区域;2020 年,周夏飞等^[8]基于环境风险场评价方法,对长江经济带开展突发水污染风险分区研究,并利用突发环境事件验证了方法的可行性。综上,环境风险场评价方法应用广泛,但多应用于行政区域且多为突发性环境风险评估,园区层面累积性风险评估鲜有案例。环境风险管理的研究内容不仅包括突发性事故的环境风险,也包含低浓度污染物长期排放的累积效应^[19-21],而后者也是目前关注的重点,是环境风险评估的重要方面,也是环境管理和决策的科学基础。

基于此,本研究在借鉴环境风险场评价法的技术思路的基础上,综合考虑化工园区的累积性环境风险特征,以 100 m×100 m 为评估单元,拟建立园区累积性大气环境风险评估方法,并以某化工园区为例,进行案例分析,以期对园区环境风险管理提供决策支持。

1 方法构建

1.1 概念模型构建

根据环境风险系统理论,环境风险系统包括环境风险源、受体以及影响途径三种基本要素。风险源危害的释放和对受体影响的方式、大小可

以通过风险场进行表征,风险受体对来自风险源危害的承受能力可以通过受体易损性进行表征^[2,5,7,8,22]。空间中质点 (x,y) 处的风险与该处可能出现的风险场强和风险受体易损性共同决定,计算模型为:

$$R_{x,y} = f(E_{x,y}, V_{x,y}) \quad (1)$$

式中: $R_{x,y}$ 为 (x,y) 处的环境风险指数; $E_{x,y}$ 为 (x,y) 处的环境风险场强; $V_{x,y}$ 为 (x,y) 处的环境风险受体易损性指数。

1.2 数学模型构建

本文借鉴环境风险场评价法的技术思路,并结合已有环境风险评估方法^[2,7,8,23],同时考虑累积性环境风险特点,将风险源追溯到大气污染物排放口,考虑不同污染物的复合影响,基于人群年龄构成和人群日常行为模式综合表征受体脆弱性,以 100 m×100 m 为评估单元,构建一套园区环境风险评估方法。相较于传统环境风险场评价方法在园区的应用,分析尺度更为精细。

1.2.1 网格划分

利用 ArcGIS 的 create fishnet 功能将化工园区及周边区域划分为 100 m×100 m 的网格,并对其进行编号,然后计算园区及周边区域网格的环境风险指数。

1.2.2 网格环境风险场强

累积性环境风险场强度与排放的污染物的性质、排放量以及与风险源的距离有关^[7,22,24]。园区内某一个网格的大气污染环境风险场强度可表示为:

$$E_{x,y} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i \times (\mu_i + 1)}{2} \times P \quad (2)$$

$$D_i = \sum_{j=1}^m \frac{OA_{ij}}{OP_{ij}} \quad (3)$$

$$\mu_i = \begin{cases} 1+0k_1+0k_2+0j, & l_i \leq s_1 \\ \frac{s_2-l_i}{s_2-s_1} + \frac{l_i-s_1}{s_2-s_1} k_1 + 0k_2 + 0j, & s_1 < l_i \leq s_2 \\ 0 + \frac{s_3-l_i}{s_3-s_2} k_1 + \frac{s_i-s_2}{s_3-s_2} k_2 + 0j, & s_2 < l_i \leq s_3 \\ 0 + 0k_1 + \frac{s_4-l_i}{s_4-s_3} k_2 + \frac{l_i-s_3}{s_4-s_3} j, & s_3 < l_i \leq s_4 \\ 0 + 0k_1 + 0k_2 + 1j, & l_i > s_4 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $E_{x,y}$ 为某一个网格的大气环境风险场强度; μ_i 为第 i 个大气排污口与某一个网格的联系度; D_i 为第 i 个大气排污口大气污染物排放当量,污染当量是指根据各种污染物或污染排放活动对环境

的有害程度、生物体的毒性以及处理的技术经济型而规定的有关污染物或污染排放活动的一种相对数量关系^[25],可用各大气污染物量与临界量的比值之和进行表征,各大气污染物临界量参考《环境保护税法》各风险物质的污染当量值^[24,26]; OA_{ij} 为第 i 个大气排污口第 j 种大气污染物排放量; OP_{ij} 为第 i 个大气排污口第 j 种大气污染物的临界量; P 为污染物扩散概率,可用区域年风向频率进行表征; n 为大气排污口的个数; l_i 为网格中心点与大气排污口的距离, km; k_1 、 k_2 分别为差异系数、对立系数,地势平坦开阔的地区取 $k_1 = 0.5$ 、 $k_2 = -0.5$ 、 $j = -1$; s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 分别取 1、3、5、10 km。

为了便于各个网格的大气环境风险场强度的比较,本方法对各个网格大气环境风险场强度进行标准化处理,公式如下:

$$E_{x,y} = \frac{E_{x,y} - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} \times 100 \quad (5)$$

式中: $E_{x,y}$ 为某一个网格的大气环境风险场强度; E_{\max} 为整个区域的最大大气环境风险场强度; E_{\min} 为整个区域的最小大气环境风险场强度。

1.2.3 网格环境风险受体易损性指数

大气环境风险关注的对象主要是人,考虑到不同年龄的人身体素质各不相同,不同的人暴露于污染物释放的持续时间也各不相同,本研究充分考虑年龄构成和人群年龄构成和人群日常行为模式^[27-29],构建环境风险受体易损性指数,公式如下:

$$V_{x,y} = \frac{1}{3} (P_1 + P_2 + P_3) \times \partial \quad (6)$$

$$P_1 = \frac{pop_{x,y(<14)} - pop_{\min(<14)}}{pop_{\max(<14)} - pop_{\min(<14)}} \times 100 \quad (7)$$

$$P_2 = \frac{pop_{x,y(14-65)} - pop_{\min(14-65)}}{pop_{\max(14-65)} - pop_{\min(14-65)}} \times 100 \quad (8)$$

$$P_3 = \frac{pop_{x,y(>65)} - pop_{\min(>65)}}{pop_{\max(>65)} - pop_{\min(>65)}} \times 100 \quad (9)$$

式中: $V_{x,y}$ 为某一个网格的大气环境风险受体易损性指数; P_1 为某一个网格的小于 14 岁的环境风险受体易损性指数; P_2 为某一个网格的 14-65 岁的环境风险受体易损性指数; P_3 为某一个网格的大于 65 岁的环境风险受体易损性指数; ∂ 为人群暴露污染物的持续时间,如为 0-4 小时,取值 0.6,如为 4-8 小时,取值 0.8,如为 8-16 小时,取值 1.0,如为 16-24 小时,取值为 1.2; $pop_{x,y}$ 为某一个网格的某年龄段的人口数量; pop_{\max} 为区域内网格的某

年龄段的人口数量最大值; pop_{\min} 为区域内网格的某年龄段人口数量最小值。

为了便于各个网格的大气环境风险受体易损性指数的比较,本方法对各个网格大气环境风险受体易损性指数进行标准化处理,同公式(5)。

1.2.4 网格环境风险指数计算模型

网格环境风险指数计算公式如下:

$$R_{x,y} = \sqrt{E_{x,y} \times V_{x,y}} \quad (10)$$

根据网格环境风险值的大小,将环境风险划分为四个等级:高风险($R > 80$)、较高风险($60 < R \leq 80$)、中风险($30 < R \leq 60$)、低风险($R \leq 30$)^[7-8]。

2 案例分析

某化工园区规划面积 21 km²,是以精细化工及生物医药等行业为主的综合性化工园,园区涉气排放企业共 103 家,排放污染物种类多且排放量大,园区内及外围分布若干居民区,潜在环境风险较大,该化工园区风险源及周边主要风险受体情况详见图 1。

2.1 环境风险场强计算

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169—2018)^[30]的相关要求,大气污染物影响范围一般为 5 km。本研究基于园区矢量边界,采用 ArcGIS 的缓冲区空间分析功能,构建园区边界 5 km 缓冲区作为研究范围;利用 ArcGIS 的 create fishnet 功能将研究区划分为 100 m × 100 m 的网格,并对其进行编号。

基于识别的涉气排放风险企业、大气排污口和年均风频等数据(表 1、表 2),利用公式(2)-(4)计算研究区的环境风险场强空间分布。

表 1 大气排污口各风险物质排放量

Table 1 Emissions of various risk substances at atmospheric outfall

序号	大气排污口	物质名称	排放量
1	F1-D1	氮氧化物	4.58 t
		二氧化硫	4.68 t
		颗粒物	11.67 t
		氮氧化物	30.98 t
		二氧化硫	28.29 t
		颗粒物	1.33 t
2	F1-D2	镉	0.11 kg
		铬	0.41 kg
		汞	0.21 kg
		铅	0.22 kg
		砷	0.06 kg
3

注:F 代表企业;D 代表排污口

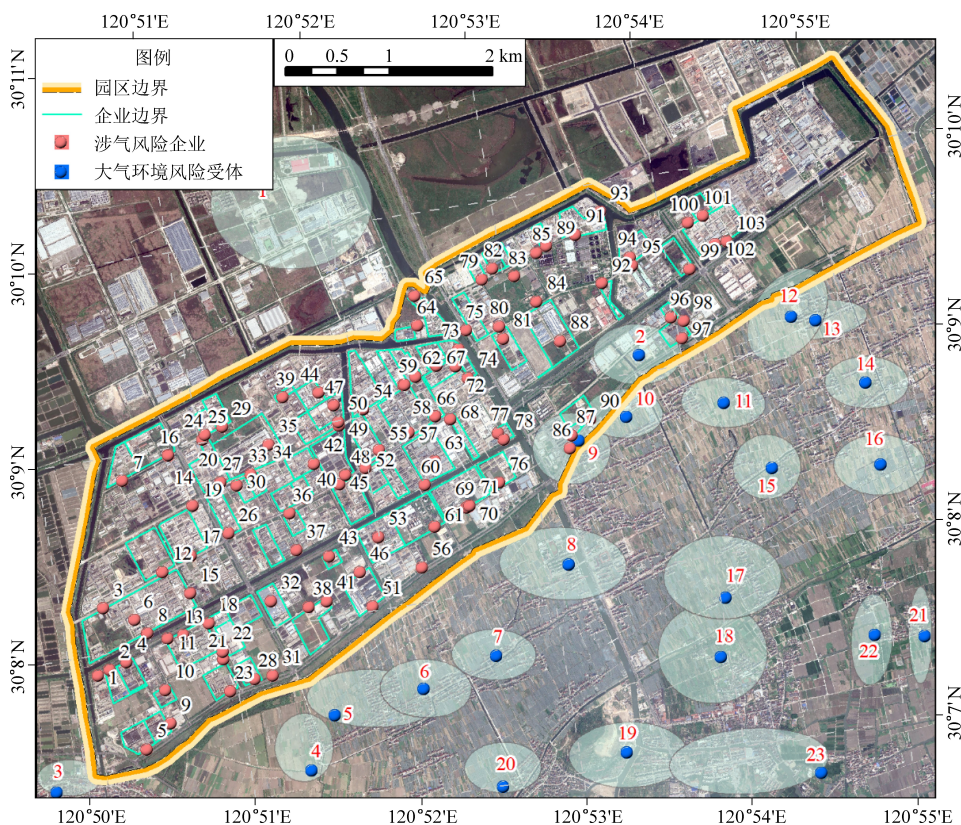


图1 某化工园区风险源及周边主要风险受体情况

Fig.1 Risk sources and main surrounding risk receptors of a chemical industry park

表2 某化工园区近20年年均风频统计

Table 2 Statistics of annual average wind frequency of a chemical industry park in recent 20 years %

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
年平均风频	15.6	49.3	0.5	1.9	2.7	5.5	3.8	1.6
风向	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
年平均风频	5.8	3.8	1.6	3.6	0.5	0.8	1.4	1.4

2.2 环境风险受体易损性指数计算

基于调查的环境风险受体数据(表3),结合Google Earth影像,矢量化各村居民用地边界,将各村人口数据按照矢量边界所包含的网格进行均分;假定园区内工作人员为8小时且不住园区外

周边5 km范围内,园区外5 km范围居民不在园区工作,下班后即返回家中,在家时间处于12-16小时之间,根据污染物暴露时间指标进行量化;利用公式(6)-(9)计算研究区的环境风险受体易损性指数空间分布。

表3 研究区环境风险受体数据

Table 3 Data of environmental risk receptor in the study area

序号	人口集中区	人口数	<14岁	14-65岁	>65岁
1	C1	3 513	457	2529	527
2	C2	2 200	330	1606	264
3

注:C代表村

2.3 环境风险指数计算

利用公式(10)计算研究区的环境风险指数空间分布,高风险区主要分布在F35、F39、F48、F49、F52、F92、F95、C5、C10附近等(图2、图3),其中,F35、F39、F48、F49、F52、F95附近环境风险较高,

主要是由于其大气排放量较大所致,C5和C10环境风险较高,主要是由于C5、C10位于园区下风向,人口数较多且距离园区较近所致。

2.4 结果验证

大气污染物的排放与周边居民息息相关,公众

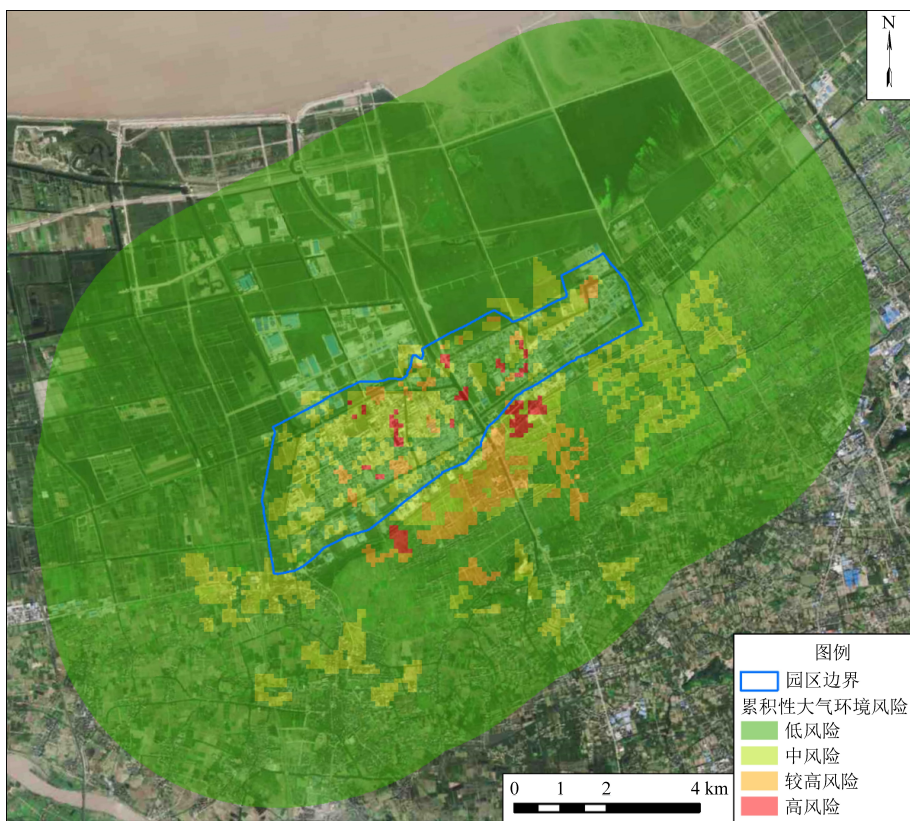


图 2 研究区累积性大气环境风险分区图

Fig.2 Zones of cumulative atmospheric environmental risk in the study area

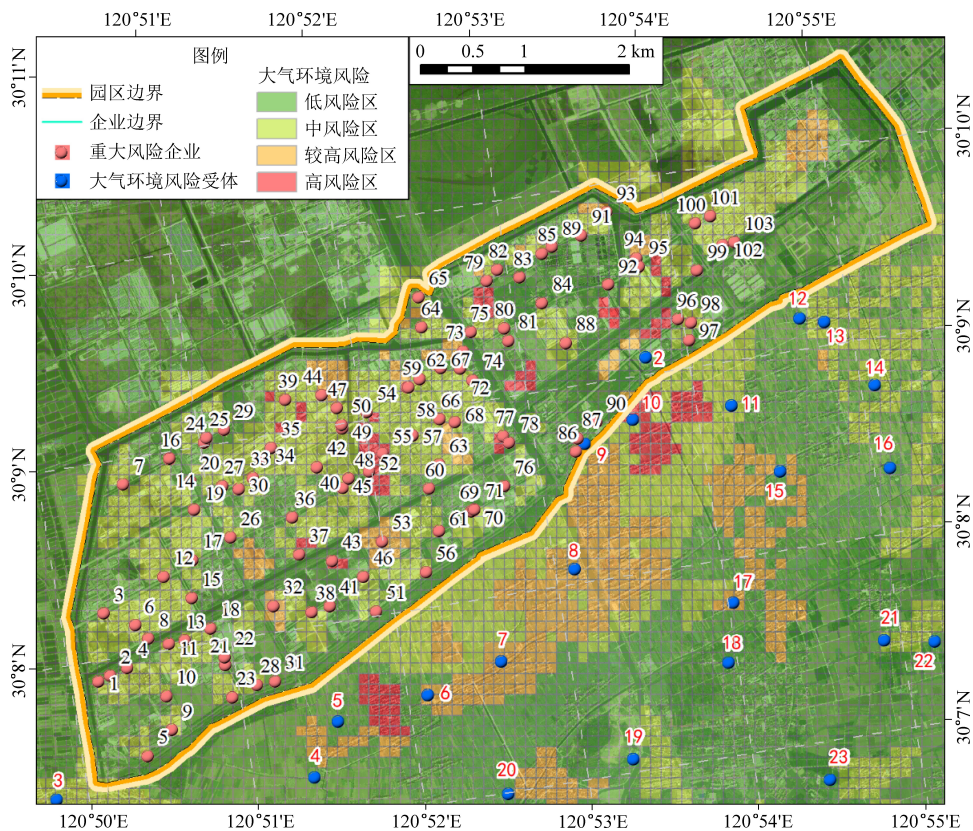


图 3 研究区大气环境风险分区与主要人口集中区叠加图

Fig.3 Superimposed map of atmospheric environmental risk zones and main population concentration areas in the study area

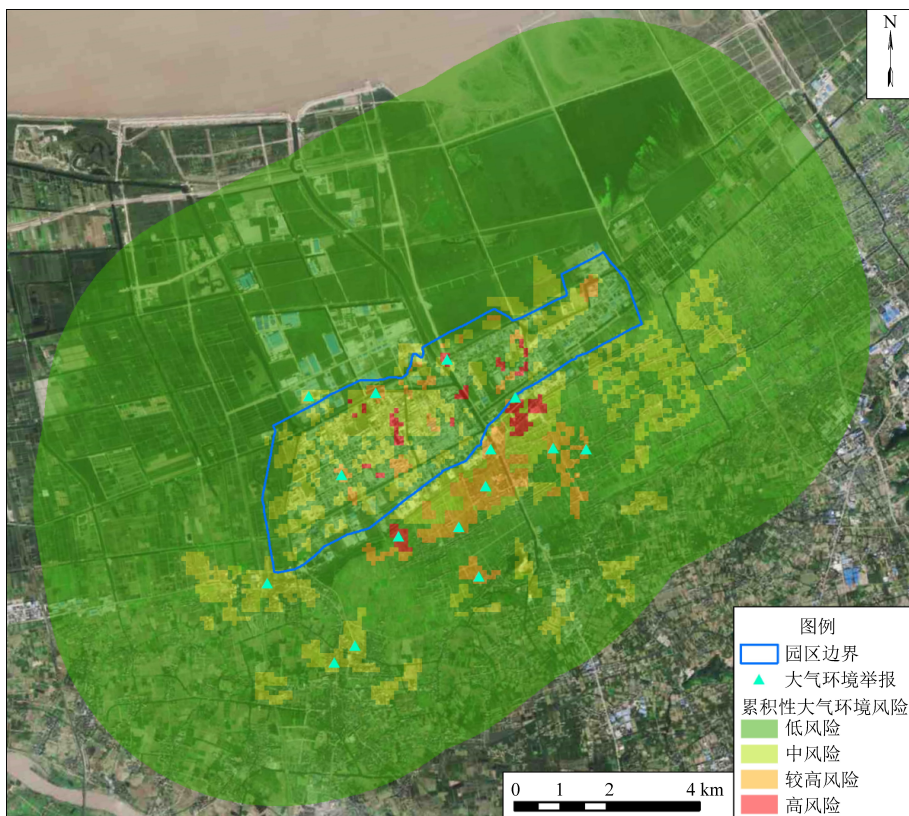


图4 研究区大气环境风险分区与大气环境污染举报数叠加图

Fig.4 Superimposed map of atmospheric environmental risk zones and the number of atmospheric environmental pollution reports in the study area

环保举报能间接反映区域环境风险^[31-33]。本文统计了2017-2019年近三年的园区及周边区域大气环境污染举报数据,其空间分布如图4所示,2017-2019年评估区共发生15起大气环境污染举报,约有10起分布在高风险区和较高风险区附近,这表明园区风险评估结果具有一定的可靠性。

2.5 环境风险管理建议

根据评估结果,F35、F39、F48、F49、F52、F92、F95等企业周边风险相对较高,大气污染物排放量较大,建议加强源头防控、监测和预警;C5、C10等区域风险相对较高,该地区人口密集,且位于化工园区盛行风向的下风向,建议做好环境监测和健康状况跟踪,根据实际风险状况必要时调整高风险区人口布局;园区和地方政府加强开展环境风险排查、评估、治理,建立覆盖园区及周边敏感区域的污染监控、预警、溯源体系及大气环境风险管控长效机制,及时响应并解决周边公众反映的大气污染问题。

3 结论与讨论

(1)本文基于环境风险场相关理论和方法,针对化工园区累积性大气环境风险多源、多物质和

多敏感目标的复合性特征,以100 m×100 m为评估单元,构建了一套园区累积性大气环境风险定量评估方法,其评价结果有助于识别园区大气环境风险的空间分布特征,为园区环境风险管控提供决策参考。

(2)通过将风险源追溯到大气污染物排放口,并考虑不同污染物的复合影响,以人群年龄构成和人群日常行为模式综合表征受体脆弱性,提高了评估方法的精度和可靠性。以某化工园区为案例开展园区累积性环境风险评估,并利用园区大气污染举报数据做验证,结果显示,大气污染举报主要集中分布在高风险区及较高风险区,验证了方法的可行性和可靠性。

(3)环境风险是一个多重复合因子相互作用的复杂系统,由于环境风险控制机制相关指标难以量化到每个网格,本评估方法暂未考虑环境风险防控与管理对风险的抑制和消减作用。另外,风险受体部分虽考虑了人群年龄构成和人群日常行为模式,但未考虑园区周边人群自身的身体健康状况。后续研究中,将通过引入风险防控和管理能力、人群健康状况等因子优化评估方法。

参考文献

- [1] 李筱翠. 吉林省某化工园区空气挥发性有机物污染对人群健康影响及肝毒性作用研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2020: 10-16.
- [2] Ding G Y, Li X, Guo Q, et al. Environmental risk assessment approaches for industry park and their applications [J]. Resources Conservation and Recycling, 2020, 159: 104844.
- [3] 张以飞, 付丽洋, 毕军, 等. 江苏工业园区突发环境事件风险评估体系研究 [J]. 环境污染与防治, 2020, 42 (11): 1430-1435.
- [4] 杨宇. 行政区域环境风险评估与管理——以平潭综合实验区为例 [J]. 能源与环境, 2019, 4: 72-74.
- [5] 邢永健, 王旭, 杜航. 集对分析在区域大气环境风险评价中的应用研究 [J]. 中国环境科学, 2016, 36 (2): 634-640.
- [6] 邢永健, 王旭, 可欣, 等. 基于风险场的区域突发性环境风险评价方法研究 [J]. 中国环境科学, 2016, 36 (4): 1268-1274.
- [7] Cao G Z, Cao Y, Wang J N, et al. Spatially resolved risk assessment of environmental incidents in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 219 (5): 856-864.
- [8] 周夏飞, 曹国志, 於方, 等. 长江经济带突发水污染风险分区研究 [J]. 环境科学学报, 2020, 40 (1): 334-342.
- [9] Elisa G, Alex Z, Andrea C, et al. A risk-based methodology for ranking environmental chemical stressors at the regional scale [J]. Environment International, 2014, 65 (2): 41-53.
- [10] Zabeo A, Pizzol L, Agostini P, et al. Regional risk assessment for contaminated sites Part 1: Vulnerability assessment by multicriteria decision analysis [J]. Environment International, 2011, 37 (8): 1295-1306.
- [11] Albanese S, De Vivo B, Lima A, et al. Prioritising environmental risk at the regional scale by a GIS aided technique: The Zambian Copperbelt Province case study [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014, 144: 433-442.
- [12] 李艳萍, 乔琦, 柴发合, 等. 基于层次分析法的工业园区环境风险评价指标权重分析 [J]. 环境科学研究, 2014, 27 (3): 334-340.
- [13] 黄泳锋. 工业园区环境风险管理自查工具开发与应用 [D]. 北京: 清华大学, 2015: 7-8.
- [14] 刘珮勋, 刘成林, 韦倩柳. 基于突变级数法的工业园区环境风险评价多参数集成指标体系 [J]. 南昌大学学报 (工科版), 2018, 40 (1): 23-26.
- [15] Zhou W, Ma T T, Chen L, et al. Application of catastrophe theory in comprehensive ecological security assessment of plastic greenhouse soil contaminated by phthalate esters [J]. Plos One, 2018, 13 (10): 1-16.
- [16] Han L, Song Y H, Duan L, et al. Risk assessment methodology for Shenyang Chemical Industrial Park based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73 (9): 5185-5192.
- [17] Liu Y H, Fang P P, Bian D D, et al. Fuzzy comprehensive evaluation for the motion performance of autonomous underwater vehicles [J]. Ocean Engineering, 2014, 88: 568-577.
- [18] 周夏飞, 於方, 刘琦, 等. 东江流域突发水污染风险分区研究 [J]. 生态学报, 2020, 40 (14): 4813-4822.
- [19] EPA U. Guidance on cumulative risk assessment of pesticide chemicals that have a common mechanism of toxicity [R]. Washington D. C.: Office of Pesticide Programs, 2002.
- [20] 袁鹏, 李文秀, 彭剑峰, 等. 国内外累积性环境风险评估研究进展 [J]. 环境工程技术学报, 2015, 5 (5): 393-400.
- [21] 胡二邦. 环境风险评价实用技术、方法和案例 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 188-202.
- [22] 毕军, 杨洁, 李其亮. 区域环境风险分析和管理 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 20-35.
- [23] 生态环境部. 《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法》(环办应急〔2018〕9号) [EB/OL]. (2018-1-31) [2021-4-20]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201802/t20180206_430931.htm.
- [24] 陆丛蕊, 刘鸿志, 袁涛, 等. 涂装工业大气污染物排放毒性当量核算模型的研究 [J]. 安全与环境工程, 2018, 25 (5): 110-114.
- [25] 陈新学, 王万宾, 陈海涛, 等. 污染当量数在区域现状污染源评价中的应用 [J]. 环境监测管理与技术, 2005, 17 (3): 41-43.
- [26] 曹宝, 杨占红, 罗宏, 等. 基于PEI的我国环境与经济绩效评价 [J]. 环境科学研究, 2018, 31 (4): 609-615.
- [27] 杨硕. 基于时空数据的中国大气污染时空分布和潜在风险研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2019: 33-38.
- [28] 李洪枚, 伍鹏程, 伯鑫, 等. 临沂市主要大气污染物的污染特征及其对居民健康的影响 [J]. 环境科学学报, 2020, 40 (8): 2919-2934.
- [29] 管贤贤, 齐安安, 雷春妮, 等. 兰州市大气苯系物的化学活性特征与健康风险评价 [J]. 环境科学学报, 2020, 40 (2): 459-468.
- [30] 生态环境部. 建设项目环境风险评价技术导则: HJ 169-2018 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2018: 4-7.
- [31] Yang T, Zhang X. Public participation in environmental enforcement with Chinese characteristics?: A comparative assessment of China's environmental complaint mechanism [J]. Social Science Electronic Publishing, 2011, 11, 325-366.
- [32] 王辰成. 环境投诉与地方政府回应 [D]. 南京: 南京大学, 2018: 1-5.
- [33] 李兵华, 朱德米. 环境保护公共参与的影响因素研究——基于环保举报热线相关数据的分析 [J]. 上海大学学报 (社会科学版), 2020, 37 (1): 118-128.