

焦涛,周雪纯,刘萌斐,等.化工园区环境风险精细化评估方法研究及应用[J].中国环境科学,2025,45(6):3542-3552.

Jiao T, Zhou X C, Liu M F, et al. Research and demonstration of high-precision assessment method for environmental risks in chemical parks [J]. China Environmental Science, 2025,45(6):3542-3552.

化工园区环境风险精细化评估方法研究及应用

焦涛^{1,2},周雪纯¹,刘萌斐²,毕军^{1*},刘苗苗¹(1.南京大学环境学院,江苏南京210023;2.南京大学环境规划设计研究院集团股份有限公司,江苏南京210093)

摘要:为解决传统方法缺乏化工园区内部环境风险刻画、评估指标单一、未考虑风险防控能力因子等问题,在行政区域突发环境事件网格化风险分析法的基础上,通过精细化风险单元网格,优化环境风险场强度模型,完善环境风险受体易损性标准,引入代表环境风险防控水平的修正因子,提出了一种适用于化工园区尺度的突发环境事件风险精细化评估方法.以江苏省某沿江精细化工园区为例,分别采用原评估方法、精细化评估方法开展环境风险评估及对比分析.相对于原评估方法,精细化评估方法更好刻画了园区内部的大气和水环境风险分布情况,研究区域内大气环境较高风险和中风险区域涉及人数共增加了1.70万人,水环境高风险和较高风险区域面积分别增加0.91%和9.45%,能够有效建立化工园区、环境风险企业等不同尺度区域的环境风险评估之间的联系,更精确地识别高风险的企业单元与环境受体,保障区内园区内部人群和重点水体的安全.

关键词: 化工园区; 精细化; 环境风险评估; 环境风险地图; 移动源

中图分类号: X802.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2025)06-3542-11

Research and demonstration of high-precision assessment method for environmental risks in chemical parks. JIAO Tao^{1,2}, ZHOU Xue-chun¹, LIU Meng-fei², BI Jun^{1*}, LIU Miao-miao¹ (1.School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 2.The Group of Nanjing University Academy of Environmental Planning & Design, Nanjing 210093, China). *China Environmental Science*, 2025,45(6): 3542-3552

Abstract: To address the problems of traditional methods lacking the characterization and assessment of internal environmental risks in chemical industrial parks, having single assessment indicators, and not considering the factor of risk prevention and control capabilities, a refined assessment method for sudden environmental incidents at the scale of chemical industrial parks was proposed based on the grid-based risk analysis method for sudden environmental incidents in administrative regions. This method refines the risk unit grid, optimizes the environmental risk field intensity model, improves the vulnerability standards for environmental risk receptors, and introduces a correction factor representing the level of environmental risk prevention and control. Taking a certain fine chemical industrial park along the Yangtze River in Jiangsu Province as an example, environmental risk assessments were conducted and compared using the original assessment method and the refined assessment method. Compared with the original assessment method, the refined assessment method better characterized the distribution of atmospheric and water environmental risks within the park. The number of people involved in the high-risk and medium-risk areas of the atmospheric environment in the study area increased by 17,000, and the areas of high-risk and high-medium-risk areas of the water environment increased by 0.91% and 9.45% respectively. This method can effectively establish the connection between environmental risk assessments at different scales such as chemical industrial parks and environmental risk enterprises, more accurately identify high-risk enterprise units and environmental receptors, and ensure the safety of the internal population and key water bodies in the park.

Key words: chemical industry park; high-precision; environmental risk assessment; environmental risk maps; mobile source

至2024年1月,我国共有643家化工园区^[1].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^[2-3],大量易燃易爆、有毒化学品存在于生产、储存、运输等环节中,一旦通过大气和水等环境介质传播,就会给周边人群和自然环境带来严重威胁^[4-5].因此,需要精准高效地评估化工园区存在的环境风险,建立动态的风险变化反馈机制,推动园区环境风险防控体系

的建设.

环境风险评估是化工园区环境事件风险管理的有效工具,可以帮助政策制定者识别环境风险的关键节点并设定管理重点^[6].现阶段,常见的评估方法有层次分析法^[7-8]、故障树分析法^[9]、贝叶斯网络

收稿日期: 2024-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(72488101)

* 责任作者, 教授, jbi@nju.edu.cn

法^[10-12]、信息扩散法^[13]、驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型法^[14-15]、模糊综合评价法^[16-17]、环境风险指数计算法^[18-19]、客观赋权法^[20]、网格化环境风险分析法^[21-22]等。其中,在信息扩散法^[13]的基础上发展出的网格化环境风险分析法,可以凭借GIS系统在地图上定量呈现环境风险源的空间分布,并显示对人类和环境系统的影响程度与范围,大大降低风险沟通的成本^[23],应用最为广泛,多位学者已经利用该方法对东江^[24]、黄河^[25]、长江干流(重庆段)^[26]等区域开展了突发环境事件风险评估。

2018年,生态环境部出台了《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法》(以下简称《推荐方法》),文件中明确了化工园区、工业聚集区等风险源叠加效应明显的区域,可参考《推荐方法》中的网格化环境风险分析法开展环境风险评估。但在实际应用时,发现该方法存在以下问题:一是环境风险场强度。现有体系中的评估指标未能考虑化工园区的道路和管道移动源带来的环境风险,与全面防控环境风险的最新要求存在差距。二是环境风险受体易损性。未将化工园区内部的人群聚集区纳入大气风险受体的调查范围,难以表征园区内部职工等敏感群体的风险情况;同时未能区分生态保护红线之外的风险受体种类。三是环境风险防控能力。体系构建时未能考虑化工园区及区内环境风险企业的风险防控能力建设对园区环境风险的影响,缺少该方面的专项指标和计算方法。

为此,本文提出一种适用于化工园区尺度的突发环境事件精细化评估方法,并以江苏省某沿江化工园区作为案例,分别采用传统网格化风险分析法、精细化评估方法进行对比研究,以期为推动化工园区环境风险精细评估与防控提供技术支撑。

1 化工园区环境风险精细化评估体系

本文在《推荐方法》的基础上,形成了一套适用于化工园区尺度的突发环境事件精细化评估体系(图1),具体创新点体现在:一是对研究区域进行精细化网格划分,细化到企业内部的风险单元;二是增加对化工园区及内部企业的环境风险防控能力评估,以修正因子的形式改进固定源环境风险场强度计算模型,并增加移动源环境风险场强度计算模型;三是将化工园区内部的办公区等人群聚集区纳入大

气环境受体的调查范围,细化水环境风险受体易损性评估指标;四是利用核密度分析法绘制环境风险场强度热点地图,识别重点风险单元。

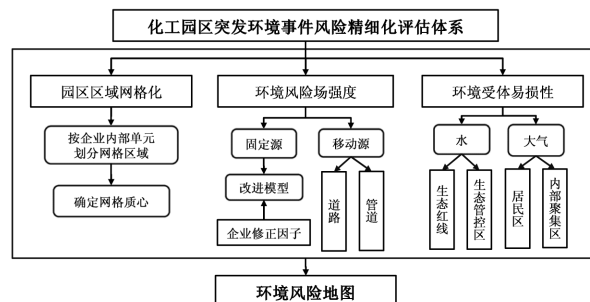


图1 化工园区突发环境事件风险精细化评估体系

Fig.1 High-precision risk assessment system for environmental emergencies in chemical parks

1.1 网格精细化

传统网格化风险分析法中,通常将评估区域划分为固定尺寸的网格。本文结合化工园区的环境风险类别组成和风险分布特征,提出一种新的网格划分方法,其中园区内部环境风险企业部分以各自的风险单元为基础进行网格划分,园区公共区域部分以固定尺寸(原则上可按照100m×100m)的网格进行划分,以此提升环境风险评估的精确度。

1.2 环境风险场强度

1.2.1 水环境风险场强度 水环境风险主要通过水系(或流域)扩散,因此采用线性递减函数构建水环境风险场强度计算模型。某一网格的水环境风险场强度可表示为:

$$E_{x,y} = P_{x,y} \begin{cases} \sum_{i=1}^n e_i & 0 \leq l_i \leq 1 \\ \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{l_i}{10}\right) e_i & 1 < l_i \leq 10 \\ 0 & 10 < l_i \end{cases} \quad (1)$$

式中: $E_{x,y}$ 为某一网格的水环境风险场强度; $P_{x,y}$ 为某一网格水风险场出现的概率,一般可取 $10^{-6}/a$; e_i 为风险场强度影响因子,包括固定源、道路移动源和管道移动源; l_i 为网格中心点与风险源的距离,km; n 为风险源的个数。

1.2.2 大气环境风险场强度 假设评估区域地势平坦开阔,且忽略人工建筑对气体扩散的影响,区域内某一网格的大气环境风险场强度可表示为:

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

$$\mu_i = \begin{cases} 1 + 0k_1 + 0k_2 + 0j & , l_i \leq s_1 \\ \frac{s_2 - l_i}{s_2 - s_1} + \frac{l_i - s_1}{s_2 - s_1} k_1 + 0k_2 + 0j & , s_1 < l_i \leq s_2 \\ 0 + \frac{s_3 - l_i}{s_3 - s_2} k_1 + \frac{l_i - s_2}{s_3 - s_2} k_2 + 0j & , s_2 < l_i \leq s_3 \\ 0 + 0k_1 + \frac{s_4 - l_i}{s_4 - s_3} k_2 + \frac{l_i - s_3}{s_4 - s_3} j & , s_3 < l_i \leq s_4 \\ 0 + 0k_1 + 0k_2 + 1j & , l_i > s_4 \end{cases} \quad (3)$$

式中： $E_{x,y}$ 为某一网格的大气环境风险场强度； μ_i 为第*i*个风险源与某一个网格的联系度； k 、 j 为差异系数和对立系数，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 1,3,5,10km(可根据评估区域地理气象特征适当调整)；其他参数可参见公式(1)的说明。

1.2.3 固定源环境风险场强度 固定源风险场强度的影响因子可表示为：

$$e_i = \gamma_{\text{企业}}(pM_i + qQ_i) \quad (4)$$

式中： e_i 为固定源风险场强度影响因子； $\gamma_{\text{企业}}$ 为企业修正因子，企业的风险管控能力主要体现在企业对其内部固定源风险的控制程度上，对于移动源的影响较小，因此企业修正因子 $\gamma_{\text{企业}}$ 仅对固定源做出修正。修正因子越高，代表环境风险防控能力越低，潜在的环境风险隐患越大。企业修正因子的确定与《企业突发环境事件风险分级方法》^[27]中的环境风险防控措施与突发环境事件发生情况评估表相衔接，具体赋分标准可见表 1。

表 1 修正因子赋值标准

Table 1 Modified factor assignment criteria

企业评估得分	修正因子赋值
0-10	0.2
10-20	0.4
20-30	0.6
30 以上	0.8

M_i 为第*i*个固定源的生产工艺危险性，评分方法可参考《企业突发环境事件风险分级方法》中的企业生产工艺过程评估表，具有多套工艺的单元需要对每套工艺分别评分并求和； Q_i 为第*i*个固定源的环境风险物质危险性，即环境风险物质最大存在量与临界量的比值； p 、 q 为权重系数，可由层次分析法确定，本次研究中取 $p=0.3$ 、 $q=0.7$ 。

为便于各网格环境风险场强度的比较，将评分

指标 M_i 与 Q_i 的得分进行标准化，取值范围为 0~100。

1.2.4 道路移动源环境风险场强度 通常情况下，泄漏、火灾、爆炸等突发环境事件可能发生在道路移动源路线上的任何地点，可以将网格内的危险品运输路段视为风险场强相同的固定风险源^[28]。不同道路风险源可参照固定源环境风险场强度的评估模型，取每个网格内运输路段的中点作为代表点位，从环境风险物质、运输车辆、路况、运输频率这 4 个方面设定评估指标，构建起环境风险场强度的计算模型。

道路移动源风险场强度的影响因子可表示为：

$$e_i = f_i(aQ_i + bT_i + cS_i) \quad (5)$$

式中： e_i 为道路移动源风险场强度影响因子； f_i 为第*i*个道路风险源的危险品运输车辆通过频率，即一年内所有相关危险品运输车辆行驶在该路段上的时间占比，单一运输车辆的通过时间可根据网格中的路线长度和化工园区规定的最高限速确定； Q_i 为第*i*个道路风险源的环境风险物质危险性，即一年内该风险源所运输的环境风险物质的最大存在量与临界量的比值之和，对该指标进行标准化，取值范围为 0~100； T_i 为第*i*个道路风险源的运输车辆危险性，通过问卷调查、数据收集等方式可得到企业风险物质运输车辆的类型比例，根据每种车辆的风险权重可计算出该风险源的运输车辆危险性。本次研究中所确定的车辆类型分别为罐式专用运输车和箱式专用运输车，风险权重分别定为 0.6 和 0.8，该指标取值范围为 0~100； S_i 为第*i*个道路风险源所处路况的复杂性，可通过地图获得常用运输道路的分布情况，并根据不同路况对每条道路移动源进行分级赋值。本次研究所确定的路况分为 3 种，分别是直行路段、弯道路段和交叉路段，分别赋值 30,60,90； a 、 b 、 c 为权重系数，可由层次分析法确定，本次研究中取 $a=0.5$ 、 $b=0.25$ 、 $c=0.25$ 。

1.2.5 管道移动源环境风险场强度 管道风险源与道路移动源类似，可将网格内的管道分段视为风险场强度相同的固定风险源，均可参照固定源环境风险场强度的评估模型。考虑管道运输中环境风险的影响因素，分别从环境风险物质和管道这两个方面设定风险评估指标。管道移动源风险场强度的影响因子可表示为：

$$e_i = jQ_i + kH_i \quad (6)$$

式中: e_i 为管道移动源风险场强度影响因子; Q_i 为第*i*个管道风险源的环境风险物质危险性,即所运输的环境风险物质最大存在量与临界量的比值,需要进行标准化,取值范围为0~100; H_i 为第*i*条管道风险源的危险性,可参考管龄、材质、检修频次、阀门密度等指标对管道危险性进行分级赋值.本次研究中采用管龄为代表性指标.可通过历史影像图、园区资料等方式对公共管道进行年代识别,从而分级赋分.具体赋分标准可见表2.

表2 管道危险性赋值标准
Table 2 Pipeline risk evaluation standard

管龄	修正因子赋值
0~10	20
10~20	40
20~30	60
30以上	80

j, k 为权重系数,可由层次分析法确定,本次研究中取 $j=0.7, k=0.3$.

表3 水环境风险受体易损性评分指标
Table 3 Water environment risk receptor vulnerability index

网格位置	具体描述	分值
网格位于生态保护红线内	在生态空间范围内具有特殊重要生态功能、必须强制性严格保护的区域	100
网格位于生态保护红线外,但位于生态空间管控区域内	以保障生态功能和改善环境质量为目标,实施差异化精准管控的区域	80
I、II类	源头水、国家自然保护区、集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等;	60
网格位于生态保护红线和生态空间管控区域外	集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区;	50
III类	一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区;	40
IV类	农业用水区及一般景观要求水域	30
V类		

1.3.2 大气环境风险受体易损性计算 除了园区外的居民区,考虑将园区内部的办公区等人群聚集区也纳入园区大气环境受体的调查范围.大气环境风险受体易损性计算模型可表示为:

$$V_{x,y} = \frac{\text{pop}_{x,y} - \text{pop}_{\min}}{\text{pop}_{\max} - \text{pop}_{\min}} \times 100 \quad (8)$$

式中: $V_{x,y}$ 为某一网格的大气环境风险受体的易损性指数; $\text{pop}_{x,y}$ 为某一个网格的人口数量; pop_{\max} 为研究区域内所有网格中人口数量的最大值; pop_{\min} 为研究区域内所有网格中人口数量的最小值.

1.4 结果表征

1.4.1 环境风险值及等级划分 参考《推荐方法》,

1.2.6 总环境风险场强度 将固定源的风险场强度依据企业修正因子进行调整后,和道路、管道移动源的水/大气环境风险场强度按权重相加,即可得到各个网格对应的水/大气环境风险场强度:

$$E_{x,y} = lE_{\text{固定源}} + mE_{\text{道路移动源}} + nE_{\text{管道移动源}} \quad (7)$$

式中: l, m, n 为权重系数,可由层次分析法确定,本次研究中取 $l=0.7, m=0.15, n=0.15$.

为便于各个网格环境风险场强度的比较,对各个网格的水/大气环境风险场强度进行标准化处理,取值范围为0~100.

1.3 环境风险受体易损性

1.3.1 水环境风险受体易损性计算 水环境风险受体易损性指数 $V_{x,y}$ 可根据生态保护红线和清水通道维护区、洪水调蓄区等生态空间管控区域涉及的不同区域的敏感性确定.其他区域参考《地表水环境质量标准》^[29]和相关文献^[6]的指标设定方法,对其细化赋值标准.水环境风险受体易损性评分指标如表3所示.

分别计算出水环境风险值和大气环境风险值:

$$R_{x,y} = \sqrt{E_{x,y} V_{x,y}} = \sqrt{(lE_{\text{固定源}} + mE_{\text{道路移动源}} + nE_{\text{管道移动源}}) V_{x,y}} \quad (9)$$

根据环境风险值的大小,将环境风险划分为4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($R\leq 30$).

1.4.2 环境风险地图 风险地图一般包括水/大气环境风险地图、综合环境风险地图、风险源分布图、风险受体分布图等.将网格的环境风险等级在地图上用对应的颜色表示,即可得到水/大气环境风险地图;或者用插值法对网格风险值进行均匀处理,可以

获得相对平滑的风险地图。

为直观展示化工园区内部的环境风险分布特征,提升园区环境管理精细化水平,建议进一步绘制园区环境风险场强度图.考虑到本次网格划分的不规则性,采用插值法可能导致风险场强度结果失真^[30].而核密度分析法^[31](KDE)作为一种非参数估计空间分析方法,能够有效解决采样数据不均匀分布的问题,更加直观反映化工园区内部的环境风险空间分布特性。

2 案例分析

2.1 研究区域风险识别

本文以江苏省某沿江化工园区作为研究对象,该园区占地面积 24.43km²,主导行业为化工、生物医药,涉及 89 家重点环境风险企业(含 920 处风险单元)、5 条常用危险品运输路线、72 条风险物质运输管道.根据前文优化的化工园区突发环境事件的精

细化风险评估体系,对该化工园区进行案例分析.选取其周边 5km 范围作为环境风险研究区域,总面积达 155.83km².园区周边的大气环境风险受体主要是居民区和学校,水环境风险受体为清水通道维护区、湿地和重点河流.本次精细化风险评估同样把园区内各企业的宿舍、办公楼等员工聚集区纳入大气环境风险受体.风险受体识别结果如表 4 所示。

表 4 风险受体识别结果对比

Table 4 Comparison of risk receptor recognition results

项目	大气风险受体	水风险受体
《推荐方法》	涉及人口约 10.22 万人,涉及面积约为 59.15km ²	总面积约为 24.14km ²
精细化方法	涉及人口约 11.93 万人,涉及面积约为 59.40km ²	总面积约为 24.14km ² ,其中生态管控区域面积约为 6.14km ² ,占总水域面积的 25.3%

评估区域内环境风险源与受体的分布如图 2 所示。

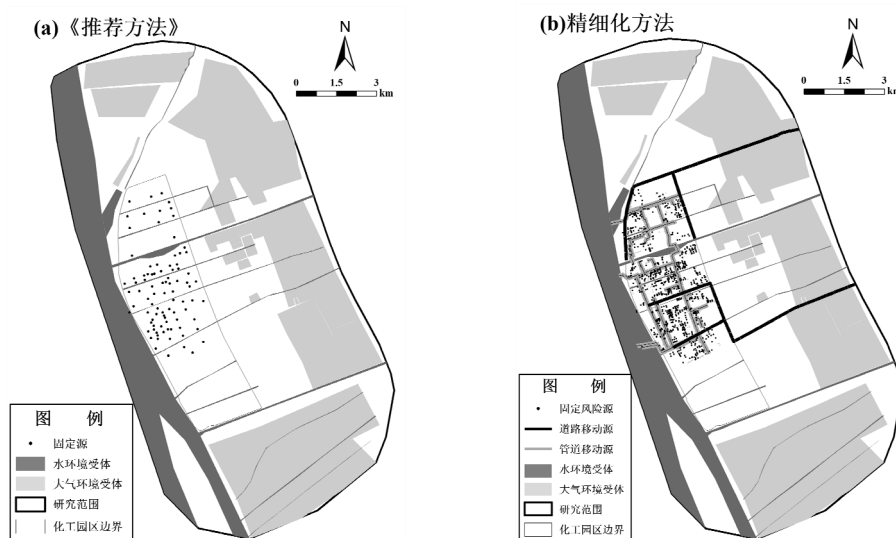


图 2 环境风险源与受体分布示意

Fig.2 Distribution diagram of environmental risk sources and receptors

2.2 精细化划分网格

《推荐方法》:研究区域整体按照 100×100m 划分网格,共形成了 15895 个网格单元.精细化方法:将企业内部区域按照生产、储存、办公等功能单元划分网格,其他区域按照 100m×100m 划分网格,共形成了 18362 个网格单元.两种方法的网格划分结果如图 3 所示。

2.3 环境风险场强度

各种风险源的具体风险信息如表 5~7 所示.使用核密度分析法对 2 种方法下的环境风险场强度作图,结果如图 4 所示。

结果表明,原方法结果下的风险场会呈现出强度自中心向外依次降低的同心圆扩散形态,而精细化评估方法通过密度分析,可以识别出异常的热点区域,并将范围缩小至各企业内部的具体风险单元,有利于化工园区根据核密度分析地图确定风险单

元的优先管控清单,提高企业环境风险管控工作的 针对性.

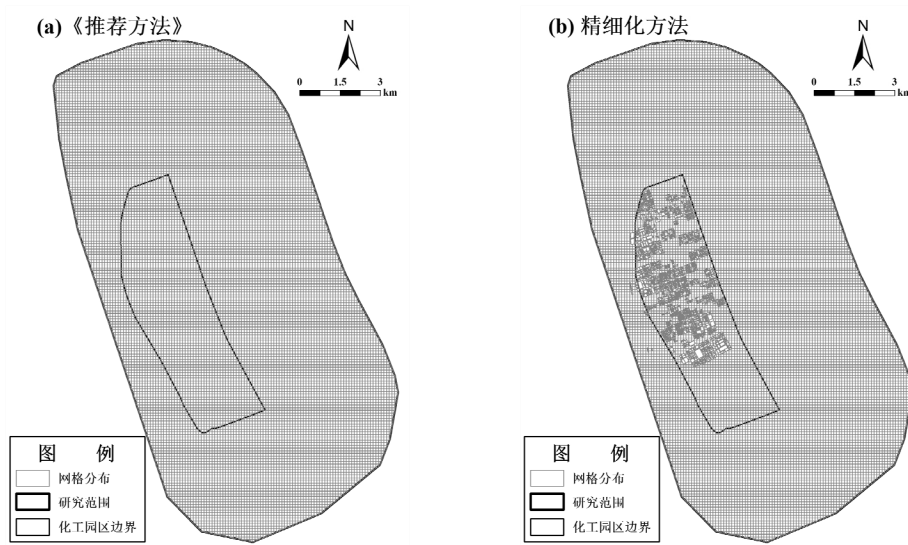


图 3 网格单元划分示意

Fig.3 Grid cell division diagram

表 5 固定源风险信息(部分)

Table 5 Risk information from fixed sources (part)

FID	风险单元	风险物质	物质量(t)	Q(气)	Q(水)	工艺	M	γ(气)	γ(水)
1	储罐	异丙苯	7310	731	731			0.6	0.4
2	储罐	丙烯	9000	900	0			0.6	0.4
3	环氧丙烷装置	氢气、天然气	0.147	0.0147	0	加氢工艺等	30	0.6	0.4
4	储罐	煤焦油	42480	16.992	16.992			0.2	0.4
5	储罐	粗苯、纯苯	16953.8	1695.38	1695.38			0.2	0.4

.....

表 6 道路移动源风险信息(部分)

Table 6 Risk information from road mobility sources (part)

FID	年度入园车辆	道路长度(m)	频率(f)	Q(气)	Q(水)	运输工具(T)	路况(C)
1	19157	106.2037	0.004032	29994.59	6277.89	63	30
2	19157	54.50927	0.00207	29994.59	6277.89	63	30
3	19157	101.1759	0.003841	29994.59	6277.89	63	30
4	8632	105.5966	0.001806	3069.21	2819.643	70	90
5	8632	96.739	0.001655	3069.21	2819.643	70	90

.....

表 7 管道移动源风险信息(部分)

Table 7 Risk information from pipeline moving sources (part)

FID	环境风险物质	长度(m)	Q(气)	Q(水)	管道危险性(H)
1	氢气	81.86188	4.53×10^{-6}		40
2	液氯	50.84358	0.209885	0.209885	40
3	液氯	83.01958	0.342709	0.342709	40
4	氢氧化钠	11.35653	0.000954	0.000954	40
5	醋酸	29.97196	0.063275	0.063275	40

.....

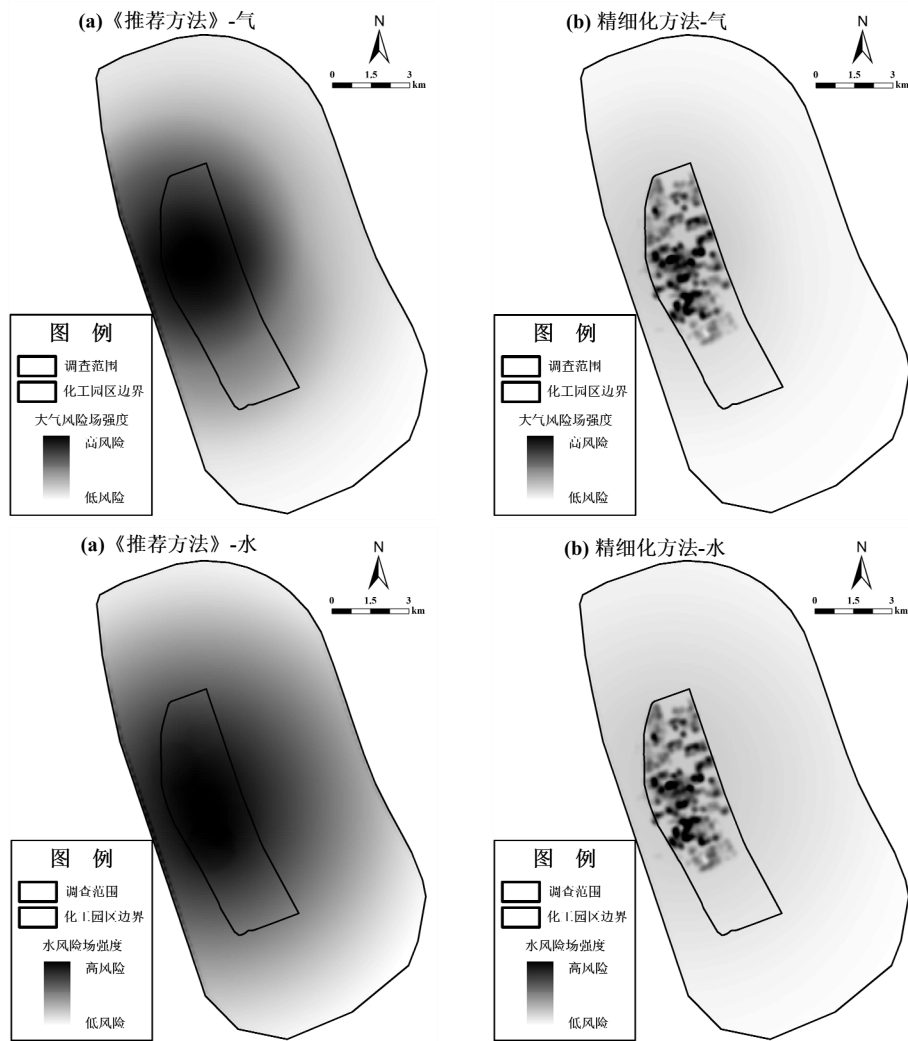


图4 大气和水环境风险场核密度分析

Fig.4 Nuclear density analysis diagram of atmospheric and water environmental risk field

2.4 环境风险受体易损性评价

环境受体易损性得分如图5所示.

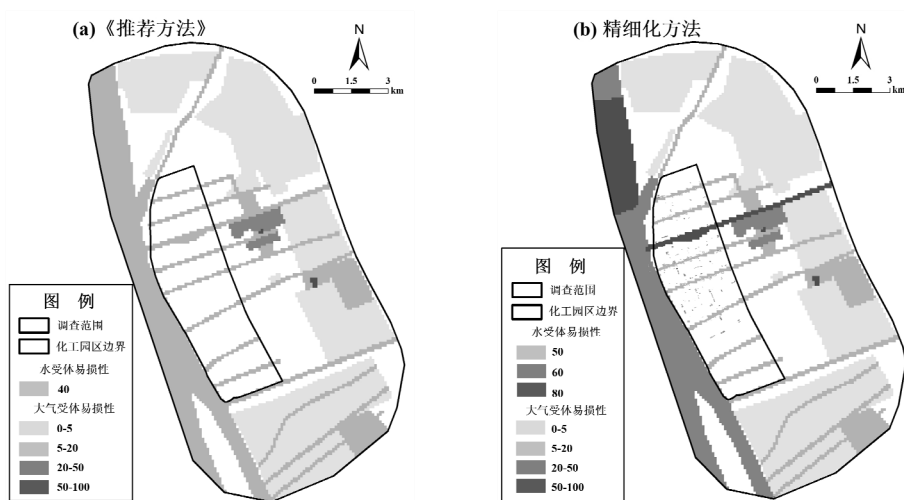


图5 环境受体易损性示意

Fig.5 Schematic diagram of environmental receptor vulnerability

2.5 风险评估结果表征

为清晰显示各企业风险等级信息,将各企业内部的人群聚集区作图范围扩大到对应企业.大气、水环境风险值及等级划分结果分别见表 8,大气和水环境风险地图分别见图 6、图 7.

2.5.1 大气环境风险值 结果表明,该研究区域的大气环境风险值普遍偏低,没有高风险区域.在园区内部,识别出 12 家企业存在较高的大气风险,62 家企业存在中风险,仅有 15 家企业为低风险;在园区外部,较高风险的区域出现在某实验学校,中风险区域涉及社区、公寓、幼儿园等 6 个风险受体,均为人群密集的区域.

两种方法对比,精细化方法体现了园区内部大气环境风险的分布情况,较高风险和高风险区域涉及的人数共增加了 1.70 万人,其中有 37.64%的人集中在化工园区内部,需要企业合理规划风险物质存

储场所,并加强大气环境风险防控措施和突发事件下的应急措施,以保障企业员工和周边人群的安全.

表 8 大气和水环境风险等级比较

Table 8 Comparison of risk levels for atmospheric and water environments

项目	类别	方法	低风险	中风险	较高风险	高风险
大气环境	占总面积比例(%)	《推荐方法》	98.55	1.42	0.03	0.00
		精细化方法	98.37	1.57	0.06	0.00
		差值	-0.18	0.14	0.03	0.00
	涉及人数(人)	《推荐方法》	74792	25903	1500	0
		精细化方法	74841	37412	7074	0
		差值	49	11509	5574	0
水环境	占总面积比例(%)	《推荐方法》	81.06	17.72	1.22	0.00
		精细化方法	79.74	8.68	10.67	0.91
		差值	-1.33	-9.04	9.45	0.91
	占水域面积比例(%)	《推荐方法》	18.21	76.52	5.27	0.00
		精细化方法	11.75	37.81	46.47	3.97
		差值	-6.46	-38.71	41.20	3.97

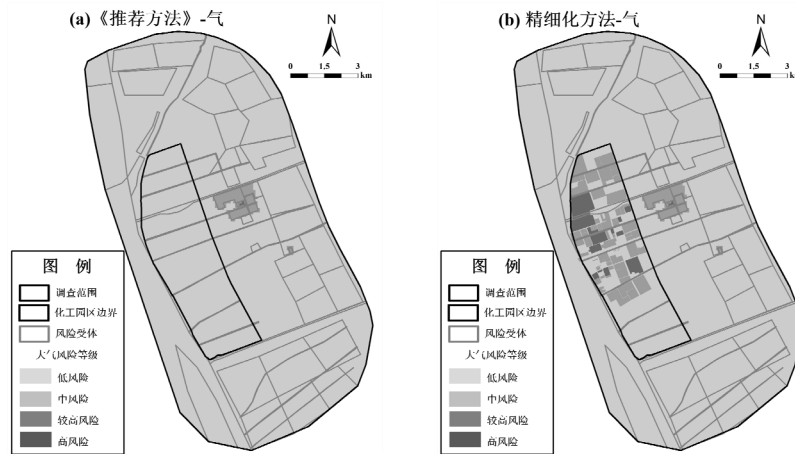


图 6 大气和水环境风险地图
Fig.6 Atmospheric and water environmental risk map

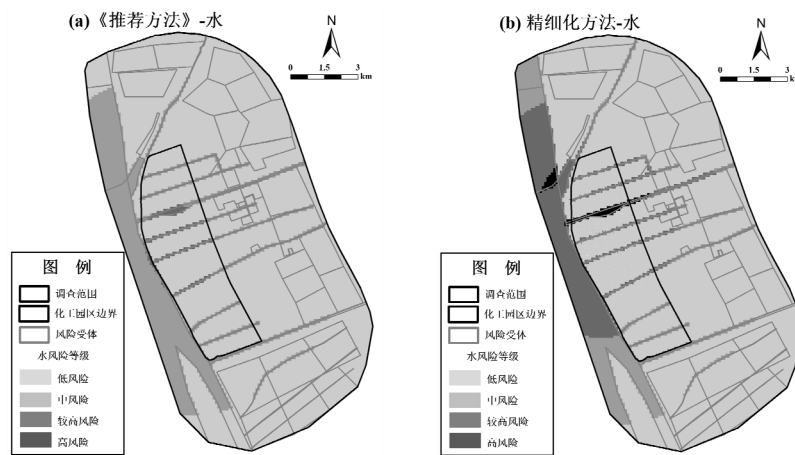


图 7 水环境风险地图
Fig.7 Water environmental risk map

2.5.2 水环境风险值 结果表明,该研究区域存在水环境高风险区域,出现在两处生态管控区域处;较高风险区域出现在经过化工园区的长江干流处、7条通江支流与干流连接处;中风险区域出现在11条通江支流内部。

两种方法对比,精细化方法识别出了两处高风险区域和多处较高风险区域,识别出的面积分别增加了0.91%和9.45%,主要原因在于该结果考虑了原本被忽视的沿河移动源导致的环境风险,并根据最新要求增加了生态空间管控区域的易损性、细化了

其他区域的评估标准,从而使得湿地和清水通道维护区存在的风险得以被识别,不同水环境质量的水体所存在的环境风险得到区分,弥补了原方法对生态保护红线外的区域评估精度不足的问题。

2.6 不确定性分析

将固定源风险场强度模型中的 $\gamma_{\text{企业}}$ 的取值分别调整 $\pm 10\%$,计算风险值并进行风险分级,结果如表9所示,大气和水环境风险地图无变化,各网格的风险数值之间差距很小.这表明该精细化方法的模型稳健性较好。

表9 不确定性分析
Table 9 Uncertainty analysis

参数	大气环境风险值			水环境风险值		
	1.0	0.9	1.1	1.0	0.9	1.1
γ 取值变化						
最大值	76.7351	76.7340	76.7363	89.4427	89.4426	89.4427
平均值	2.9368	2.9371	2.9366	11.4823	11.4807	11.4840
总值	53928.8754	53933.8361	53923.9899	210850.0229	210819.3268	210880.0328

2.7 风险防控措施建议

根据本次突发环境事件风险精细化评估的结果,为帮助化工园区加强风险防控与管理工作,降低周边地区环境风险,从以下方面提出建议:

确定典型事故情景,列出风险源优先管控清单:建议化工园区对位于风险场强度热点区域内的企业进行风险排查,列出风险源优先管控清单,明确相关企业风险物质存储情况和危险工艺情况,结合历史事故和同类企业突发环境事件,列出典型事故情景并进行模拟分析,从源头加强监督和管理。

加强大气预警监控:建议化工园区在识别出的高风险区域加强大气预警,根据企业的危险化学品和危险工艺筛选出重点监控因子,建设大气预警监测监控点。

完善三级防控体系:建议化工园区在较高风险的通江河流上建立闸坝或者临时筑坝,阻止化工园区突发水环境事故时影响长江干流。

优化空间布局和运输路线:建议化工园区针对高风险区域,调整优化企业生产布局,避免高风险的储存、生产单元集中,对于新、改、扩建项目,应结合已有的风险场强度规划合理的空间布局;同时合理规划危化品运输路线,尽量固定行驶路线,避开人口密集区域和水环境敏感区域,切实落地完善园区

内对危化品运输车辆的追踪监控措施。

2.8 讨论

本次研究考虑了园区企业的环境风险防控能力的影响,但未从园区层面进行考虑.可以从环境应急预案编制情况、环境应急队伍建设、环境监测预警能力、环境应急监测能力、应急物资储备情况、环境应急管理指挥平台建设情况、三级防控建设情况等角度设置园区环境风险评价标准,以便指导园区自身的环境防控体系建设,同时也有利于比较不同化工园区之间的风险管控能力水平。

在未来的研究中应继续对风险场强度的计算模型进行优化升级,具体体现在:①环境风险场强度的计算模型参考了已有的推荐方法,在确定指标权重时使用了层次分析法,未能提高模型本身的准确性.为了降低模型的主观性、扩大方法的适用范围,可以考虑与其他方法相结合,如蒙特卡洛法、熵权法、人工神经网络法等,从而为化工园区的风险管理提供更有力的支持.②受限于实际所能收集到的数据,对固定源风险场模型相关影响因子只设置了 Q 、 M 、 γ 和 l ,未来可以引入更多评价指标.③在计算水环境风险时,由于水的流动性,风险源的高程需大于周边网格才能产生风险,可以引入区域生长法^[6]来明确每个水环境风险源对附近网格的影响范围。

3 结论

3.1 相对于原评估方法,精细化评估方法更好刻画了园区内部的大气和水环境风险分布情况.

3.2 研究区域内大气环境较高风险和中等风险区域涉及人数共增加了 1.70 万人,水环境高风险和较高风险区域面积分别增加 0.91%和 9.45%,能够有效建立化工园区、环境风险企业等不同尺度区域的环境风险评估之间的联系,更精确地识别高风险的企业单元与环境受体,保障区内园区内部人群和重点水体的安全.

参考文献:

- [1] 陈吕军,田金平,吕一铮,等.我国化工园区减污降碳技术路径研究 [J]. 中国工程科学, 2024,26(2):160-173.
Chen L J, Tian J P, Lv Y Z, et al. Pathways for reducing pollutants and carbon emissions synergistically targeting chemical industrial parks in China [J]. Strategic Study of CAE, 2024,26(2):160-173.
- [2] 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.
Zhang Y F, Fu L Y, Bi J, et al. Research on the risk assessment system for environmental emergencies in industrial parks of Jiangsu Province [J]. Environmental Pollution & Control, 2020,42(11):1430-1435.
- [3] 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.
Yang Y. Environmental risk assessment and management in administrative regions: A case study of Pingtan comprehensive experimental zone [J]. Energy and Environment, 2019,4:72-74.
- [4] 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 X F, Cao G Z, Yu F, 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.
- [5] Meng X, Zhang Y, Yu X, et al. Regional environmental risk assessment for the Nanjing Chemical Industry Park: an analysis based on information-diffusion theory [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2014,28(8):2217-2233.
- [6] Cao G, Gao Y, Wang J, et al. Spatially resolved risk assessment of environmental incidents in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019,219:856-864.
- [7] 纪 爽.化工企业环境风险评估模型优化 [J]. 辽宁化工, 2020,49(12):1542-1544.
Ji S. Optimization of environmental risk assessment model for chemical enterprises [J]. Liaoning Chemical Industry, 2020,49(12):1542-1544.
- [8] 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估指标权重分析 [J]. 环境科学研究, 2014,27(3):334-340.
Li Y P, Qiao Q, Chai F H, et al. Study on environmental risk assessment index weight of industrial park based on the analytic hierarchy process [J]. Research of Environmental Sciences, 2014,27(3):334-340.
- [9] 王振兴,许振成,黄荣新.龙江河流域水环境突发事件风险识别与预警研究 [C]//2013 中国环境科学学会学术年会, 2013:7.
Wang Z X, Xu Z C, Huang R X. Risk identification and early warning of water environmental emergencies in Longjiang River Basin [C]//2013 Annual Conference of Chinese Society for Environmental Sciences, 2013:7.
- [10] Uusitalo L. Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling [J]. Ecological modelling, 2007,203(3/4):312-318.
- [11] Castelletti A, Soncini-Sessa R. Bayesian networks in water resource modelling and management: Elsevier, 2007:1073-1074.
- [12] 王泽正,张 帅,王利民,等.基于贝叶斯网络拓扑结构的水环境风险溯源——以饮马河流域为例 [J]. 中国环境科学, 2022,42(5):2299-2304.
Wang Z Z, Zhang S, Wang L M, et al. Water environmental risk tracing based on the combination of Bayesian network topology: A case study of Yinma river basin [J]. China Environmental Science, 2022,42(5):2299-2304.
- [13] 刘桂友,徐琳瑜.一种区域环境风险评价方法——信息扩散法 [J]. 环境科学学报, 2007,(9):1549-1556.
Liu G Y, Xu L Y. Information diffusion method for regional environmental risk assessment [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007,(9):1549-1556.
- [14] Zare F, Elsayah S, Bagheri A, et al. Improved integrated water resource modelling by combining DPSIR and system dynamics conceptual modelling techniques [J]. Journal of Environmental Management, 2019,246:27-41.
- [15] 杨 静.基于 DPSIR 的线型输水工程生态环境影响评价及生态环境风险评价研究 [D]. 合肥:合肥工业大学, 2016.
Yang J. Ecological impact and ecological risk assessment of linear water pipe project based on DPSIR [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016.
- [16] Zhang H, Li W, Miao P, et al. Risk grade assessment of sudden water pollution based on analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020,27(1):469-481.
- [17] 李其亮,毕 军,杨 洁,等.工业园区环境风险管理研究 [J]. 安全与环境学报, 2006,(2):75-78.
Li Q L, Bi J, Yang J, et al. Optimization of regional environmental risk control level in industrial parks [J]. Journal of Safety and Environment, 2006,(2):75-78.
- [18] 贾 倩,曹国志,於 方,等.基于环境风险系统理论的长江流域突发水污染事件风险评估研究 [J]. 安全与环境工程, 2017,24(4):84-88,93.
Jia Q, Cao G Z, Yu F, et al. Environmental risk assessment of yangtze river basin emergent water pollution incident based on environmental risk system theory [J]. Safety and Environmental Engineering, 2017, 24(4):84-88,93.
- [19] 黄 蕾,黄雨佳,刘朋辉,等.区域综合环境风险评价方法体系研究 [J]. 中国环境科学, 2020,40(12):5468-5474.
Huang L, Huang Y J, Liu P H, et al. Research on regional comprehensive environmental risk assessment method system [J].

