

文世勇, 孙田力, 王涛, 等. 基于历史记录的赤潮灾害危险性区划方法的构建与应用[J]. 灾害学, 2022, 37(1): 72–76.
[WEN Shiyong, SUN Tianli, WANG Tao, et al. Establishment and Application of the Method for Hazard Zoning of Red Tide Disaster Based on Historical Records [J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(1): 72–76. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.01.013.]

基于历史记录的赤潮灾害危险性区划方法的构建与应用*

文世勇^{1,2}, 孙田力³, 王 涛^{1,2}, 李荣茂⁴, 李 飞^{1,2}, 刘 娜^{1,2}

(1. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023; 2. 生态环境部国家环境保护近岸海域生态环境重点实验室, 辽宁 大连 116023; 3. 自然资源部海洋减灾中心, 北京 100194; 4. 福建省渔业资源监测中心, 福建 福州 350003)

摘 要: 利用福建省近岸海域 1959—2018 年的赤潮历史记录数据资料, 在地理信息系统 (Geographical Information System, GIS) 平台下采用核密度估计函数 (kernel density estimation) 对赤潮历史记录数据中的赤潮发生频次、赤潮发生持续时间、赤潮面积和赤潮藻类毒性等参数进行了空间评估分析并根据赤潮灾害危险度区划方法得到未来 5 a 福建省近岸海域赤潮灾害危险性空间分布情况, 同时创新性地提出赤潮危险性区划结果的验证方法。危险性区划结果表明未来 5 a 福建省近岸海域处于极高危险性区的海域主要有霞浦县近岸海域、连江县近岸海域、平潭县近岸东部海域及厦门市同安湾近岸海域。处于高危险性区的海域主要有福鼎市—霞浦县近岸海域、罗源县—连江县近岸海域、平潭县周边近岸海域东部海域、福清市南部—莆田东北部近岸海域、石狮市周边近岸海域及厦门市近岸海域, 其余海域处于中危险性区和低危险性区。验证结果表明构建的区划方法和区划结果具有较好的合理性和可信性, 区划结果将为福建省近岸海域赤潮灾害应急处置、纳污海域污染总量控制制定有效的管理措施提供科学依据, 从而达到防灾减灾的目的, 而且对指导海洋水产养殖、滨海旅游业规划等具有重要的科学意义。

关键词: 赤潮灾害; 赤潮灾害历史记录; 危险性区划; 核密度估算; 福建近岸海域

中图分类号: P735; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2022)01–0072–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2022.01.013

中国是海洋大国, 赤潮灾害的频频发生已成为制约沿海省市海洋经济快速发展的因素之一。《国务院关于进一步加强对海洋管理工作若干问题的通知(国发[2004]24号)》要求“做好赤潮的防治和减灾工作”, 最大限度减轻赤潮灾害对渔业和旅游业等造成的损失, 严格控制受赤潮毒素污染的水产品进入市场, 科技部门要加强对赤潮发生机制、预防及治理的研究, 加快科技攻关进程, 研究提出治本措施。开展灾害风险评估与区划是实现灾害科学管理的重要研究内容, 是各级政府减少灾害影响的一个很重要的工具。

灾害危险性区划是开展灾害风险区划的一种思路, 通过开展灾害危险性区划得到灾害发生可能性分布为评估区域科学地开展灾害管理及合理开发布局等提供科学依据。目前, 国内外学者对自然灾害风险区划的研究主要集中在单一灾种的研究, 如地震^[1–2]、滑坡^[3–4]、泥石流^[5–6]、洪涝^[7–8]等灾害风险区划。海洋灾害尤其是赤潮灾害风险区划(灾损区划或灾害危险性区划)的研究几

乎属于空白。

本文研究的目的是在已有的相关研究的基础上, 从灾害危险性评估和区划视角, 构建赤潮灾害危险性空间区划方法和区划结果的验证方法, 同时以福建省近岸海域为例进行应用, 应用结果表明本文构建的区划方法和区划结果具有较好的合理性和可信性, 区划结果将为福建省近岸海域赤潮灾害应急处置、纳污海域污染总量控制制定有效的管理措施提供科学依据, 从而达到防灾减灾的目的, 而且对指导海洋水产养殖、滨海旅游业规划等具有重要的科学意义。

1 研究区域及数据来源

1.1 研究区域介绍

福建地处我国东南沿海, 台湾海峡西岸, 北起福鼎市沙埕港, 与浙江海域相接, 南至诏安湾,

* 收稿日期: 2021–07–17 修回日期: 2021–10–12

基金项目: 国家重点研发计划“海洋环境安全保障”重点专项(2017YFC1404304); 国家自然科学基金项目(41371494)

第一作者简介: 文世勇(1977–), 男, 汉族, 海南东方人, 博士, 副研究员, 主要从事赤潮藻类生理生态学、海洋灾害风险与损失评估及应用方面的研究. E-mail: sywen03@163.com

通讯作者: 刘娜(1977–), 女, 汉族, 黑龙江鸡西人, 高级工程师, 主要从事海洋污染监测与防治、海洋污损灾害风险与评估研究. E-mail: 15075000@qq.com

与广东海域相连^[9]。福建省是我国的海洋大省, 海域面积 $13.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 海岸线曲折漫长, 海湾众多, 沿海岛屿星罗密布, 包括岛屿在内的海岸线长达 3 752 km。由于其特殊的海湾环境、气候条件及沿海海洋环境污染的加剧, 福建省已成为全国赤潮灾害多发省份之一, 严重威胁着福建省的渔业生产、滨海旅游甚至公众健康^[10]。

1.2 数据来源与数据处理

数据来源: 赤潮灾害历史记录数据来源于国家海洋环境监测中心赤潮数据库。该数据收集了有记录以来中国近岸海域赤潮发生的情况。根据数据显示, 1959—2018 年期间, 福建省近岸海域共发生了 264 次赤潮, 其中有毒赤潮 61 次, 有害赤潮 55 次, 无毒无害赤潮 148 次。累计赤潮发生面积 $16\,379.41 \text{ km}^2$, 最大的一次发生面积为 $1\,100 \text{ km}^2$ 。

数据处理: 根据赤潮灾害历史记录数据, 以福建省近岸海域为研究区域, 选取 1959—2018 年期间福建省近岸海域的赤潮灾害历史记录, 利用赤潮发生开始时间和结束时间获取赤潮发生持续时间; 根据经纬度记录情况进行统一转换为度的形式便于在 ArcGIS 平台进行输入; 根据记录的赤潮藻类优势种进行分析是否为有毒、有害还是无毒藻类, 并进行赋值 (有毒藻类赋值 3, 有害赤潮赋值 2, 无毒藻类赋值 1), 便于后续的计算。

2 赤潮灾害危险性区划方法的构建

2.1 赤潮灾害危险性评估指标选取

赤潮灾害危险性区划是指某海域有可能发生的赤潮灾害的概率或超越某一概率。赤潮灾害历史记录的一条赤潮事件记录包括赤潮发生开始时间、结束时间 (赤潮发生持续时间)、发生位置经纬度信息 (赤潮发生频次)、赤潮发生海区、省份、赤潮发生面积、赤潮发生位置描述、赤潮藻类及毒素等等相关信息。

赤潮发生持续时间越长表明赤潮的破坏性越大; 赤潮发生持续时间较短表明赤潮的破坏性较小。

赤潮发生频次越高的海域表明该海域易发生赤潮, 是赤潮高发区; 反之赤潮发生频次越低的海域表明该海域难以发生赤潮, 属于赤潮低发区。

赤潮发生面积越大表明赤潮的破坏性也越大; 赤潮发生面积较小表明赤潮的破坏性也较小。

若引发赤潮的藻类属于有毒藻类 (能够产生毒素, 并可能引起人类中毒、甚至死亡的赤潮藻类), 表明该赤潮的破坏性越大; 若引发赤潮的藻类属于有害藻类 (对人类健康没有直接危害, 但有记录显示赤潮生物可通过物理或化学 (产生鱼毒素等) 途径对海洋生物产生危害的藻类), 表明赤潮的破坏性较大; 若引发赤潮的藻类属于无毒藻类 (不产生毒素, 且尚未有造成海洋生物或工业生产危害记录但对海洋生态系统产生影响的藻类), 表明该赤潮的破坏性较小。

通过上述分析, 选取赤潮发生持续时间、赤潮发生频次、赤潮发生面积和赤潮藻类毒性作为赤潮灾害危险性区划评估指标。

2.2 赤潮灾害危险性区划方法构建

赤潮灾害危险性区划方法采用公式 (1) 进行计算。

$$H = \sum_{i=1}^4 \alpha_i \times H_i \quad (1)$$

式中: H 表示赤潮灾害危险性, 取值 $0 \sim 1$, 无量纲, 越接近 1, 表明赤潮发生的概率越大, 反之亦然; α_i 表示各评估指标的权重; H_i 表示不同区划指标造成的赤潮灾害危险性。从公式 (1) 中可以看出, 如何确定 α_i 和 H_i 是实现赤潮灾害危险性区划的关键。

权重 α_i 的确定方法: 《赤潮灾害应急预案》中根据赤潮灾害的影响范围、性质和危害程度将赤潮灾害划分为三个应急响应等级, 因此, 设定赤潮发生频次、赤潮发生持续时间、赤潮发生面积和赤潮藻类毒性的权重分别为 0.1, 0.3, 0.3 和 0.3。

H_i 的确定方法: 利用核密度估计方法, 结合赤潮灾害历史记录事件, 在 ArcGIS 软件平台的空间分析模块功能中的 Kernel Density Estimation 模块, 对历史记录数据的赤潮发生频次、赤潮发生持续时间、赤潮发生面积和赤潮藻类毒性进行核密度估算模型空间分析, 分别得到赤潮发生频次、赤潮发生持续时间、赤潮发生面积和赤潮藻类毒性的赤潮灾害危险性空间分布结果, 采用自然断点分级法 (Natural Breaks Jenks) 将各结果按表 1 进行重分类和赋值, 为后续开展赤潮灾害危险性区划提供数据支撑。

表 1 基于核密度估算模型的各项指标空间分布结果重分类和赋值

分类等级	重分类方法	赋值
1	自然断点分级法 (Natural Breaks Jenks)	25
2		50
3		75
4		100

2.3 赤潮灾害危险性区划等级划分标准

根据公式 (1) 得到赤潮灾害危险性空间分布结果, 将赤潮灾害危险性按照表 2 进行划分为极高危险性区、高危险性区、中危险性区和低危险性区 4 个等级。

表 2 赤潮灾害危险性区划等级划分标准

等级标准	危险性值区间	区划等级	图例色彩 (R, G, B)
H_1	(100, 75)	极高危险性区	(255, 85, 0)
H_2	(75, 50)	高危险性区	(255, 150, 40)
H_3	(50, 25)	中危险性区	(255, 200, 110)
H_4	(25, 0)	低危险性区	(255, 235, 205)

2.4 区划结果验证方法构建

根据上述构建的区划方法, 首先利用 1959—2013 年数据获取未来 5 a 福建省近岸海域赤潮灾害危险性空间分布情况, 然后利用 2014 年、2015 年、2016 年、2017 年和 2018 年的赤潮历史记录数据, 采用公式 (2) 来检验区划结果的合理性和可信度。

$$A = \frac{C_m + C_m}{C} \times 100\% \quad (2)$$

式中： A 表示当年度赤潮发生情况对区划结果的可信度，可信度 A 等级高低划分由表 3 来完成； C_{m1} 表示当年度处于极高危险性区的赤潮发生次数， C_{m2} 表示当年度处于高危险性区的赤潮发生次数， C 表示当年度的赤潮发生次数。

表 3 可信度 A 等级划分

当年度发生次数 n	可信度低	可信度高
$n = 0, 1$	不评价	
$n = 2$	$A < 50\%$	$A \geq 50\%$
$n \geq 3$	$A < 65\%$	$A \geq 65\%$

3 结果与分析

3.1 福建省近岸海域赤潮危险性区划空间分布

根据上述构建的赤潮灾害危险性区划方法，结合 1959—2018 年间赤潮历史记录数据，在 ArcGIS 平台下得到福建省近岸海域赤潮灾害危险性区划结果(图 1)。

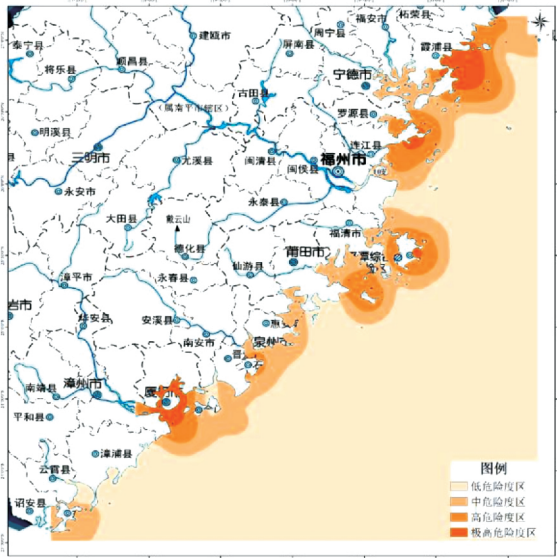


图 1 未来 5 a 福建省近岸海域赤潮灾害危险性区划结果的空间分布状况(基于 1959—2018 年历史记录数据)(审图号: 闽 S[2021]第 24 号, 底图无修改。下同)

从图 1 上可以看出,福建省近岸海域处于极高危险性区的海域主要有霞浦县近岸海域、连江县近岸海域、平潭县近岸东部海域及厦门市同安湾近岸海域。处于高危险性区的海域主要有福鼎市—霞浦县近岸海域、罗源县—连江县近岸海域、平潭县周边近岸海域东部海域、福清市南部—莆田东北部近

岸海域、石狮市周边近岸海域及厦门市近岸海域,其余海域处于中危险性区和低危险性区。

近年来,随着习近平生态文明思想不断深入贯彻落实,美丽中国和美丽海湾建设的不断推进,近岸海域生态环境质量不断提升,赤潮灾害危险性也在变化,即赤潮灾害危险性空间分布是一个动态变化而不是一成不变,因此,设定本次得到的福建省近岸海域赤潮危险性区划空间分布结果的有效期限为未来 5 a。

3.2 区划结果的验证

根据上述构建的区划方法,首先利用 1959—2013 年数据获取未来 5 a 福建省近岸海域赤潮灾害危险性空间分布情况(图 2 中的危险性区划结果),然后根据 2014—2018 年的赤潮历史记录数据,在 ArcGIS 平台分别得到了 2014 年、2015 年、2016 年、2017 年和 2018 年的基于 1959—2013 年历史记录的福建省近岸海域赤潮灾害危险性区划结果的空间分布状况(图 2 所示),同时根据公式(2)和表 3 分别得到了 2014 年、2015 年、2016 年、2017 年和 2018 年的可信度(表 4 所示)。

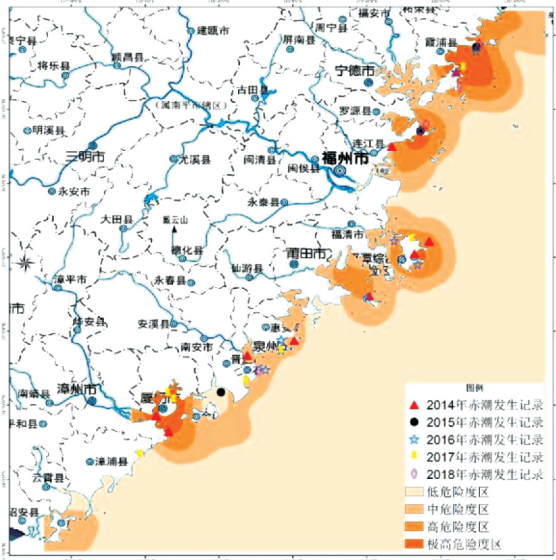


图 2 2014—2018 年福建省近岸海域赤潮记录在基于 1959—2013 年历史记录的赤潮灾害危险性区划结果的空间分布情况

从表 4 中可知,2014 年、2015 年和 2018 年的可信度 A 均大于 65%,2016 年和 2017 年的可信度 A 分别文 62.50% 和 57.14%,均稍微小于 65%,区划结果的验证方法及验证结果表明本文得到的未来 5 a 福建省近岸海域赤潮灾害危险性区划结果的空间分布结果具有较好的合理性和可信性。

表 4 2014—2018 年的可信度 A 的计算结果

年度	发生次数	各年度发生次数的空间分布情况/次				可信度 A 结果	
		极高危险性区	高危险性区	中危险性区	低危险性区	计算结果/%	等级划分
2014	9	4	3	2	0	77.78	高
2015	3	2	0	0	1	66.67	高
2016	8	2	3	3	0	62.50	低
2017	7	3	1	2	1	57.14	低
2018	5	2	2	1	0	80.00	高

另外, 赤潮的发生往往是海域中营养盐及其比率、水温、盐度、光照等多个影响因素在适宜条件下导致赤潮藻类暴发性增殖的综合结果^[11-14]。赤潮历史记录表明赤潮历史事件发生的区域, 赤潮发生频次越多的区域(图1中点的密集度), 该区域的海洋环境因子适宜赤潮藻类暴发性增殖, 赤潮易于发生。赤潮发生频次越少的区域(图1中点的密集度), 该区域的海洋环境因子不利于赤潮藻类暴发性增殖, 赤潮难以发生。许珠华等^[15]的研究结果表明附件近岸海域赤潮易发区主要分布在宁德市沿岸海域、厦门西海域和平潭沿岸海域。李雪丁^[10]研究结果表明2001—2010年间福建近岸海域赤潮主要发生在宁德市沿海、福州市沿海和厦门市沿海海域。黄春秀等^[16]研究表明2000—2018年间宁德、福州、平潭、厦门、泉州海域是赤潮高发区。这些结论与本文得到区划结果基本相一致。

4 结论

本文利用赤潮历史记录数据, 选取赤潮发生频次、赤潮发生持续天数、赤潮发生面积和赤潮藻类毒性四项因子作为评估指标, 采用核密度估算模型, 在GIS平台下对赤潮历史记录数据中的四项评估指标参数进行了空间评估分析, 最后根据赤潮灾害危险度区划方法得到福建省近岸海域赤潮灾害危险性空间分布情况, 结果表明未来5a福建省近岸海域处于极高危险性区的海域主要有霞浦县近岸海域、连江县近岸海域、平潭县近岸东部海域及厦门市同安湾近岸海域。处于高危险性区的海域主要有福鼎市—霞浦县近岸海域、罗源县—连江县近岸海域、平潭县周边近岸海域东部海域、福清市南部—莆田东北部近岸海域、石狮市周边近岸海域及厦门市近岸海域, 其余海域处于中危险性区和低危险性区。验证结果表明构建的区划方法和区划结果具有较好的合理性和可信性, 区划结果将为福建省近岸海域赤潮灾害应急

处置、纳污海域污染总量控制制定有效的管理措施提供科学依据, 从而达到防灾减灾的目的, 而且对指导海洋水产养殖、滨海旅游业规划等具有重要的科学意义。

参考文献:

- [1] 王志涛, 苏经宇, 马东辉, 等. 城市地震灾害风险区划的研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(9): 5-10.
- [2] 张俊香. 新一代自然灾害风险区划原理与方法研究——以地震灾害为例[D]. 北京: 北京师范大学, 2005.
- [3] 高华喜. 滑坡灾害风险区划与预测研究综述[J]. 灾害学, 2010, 26(2): 124-128.
- [4] 乔建平. 汶川地震扰动区小流域滑坡泥石流风险区划[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 1-5.
- [5] 王一鸣, 殷坤龙, 龚新法, 等. 台风暴雨型泥石流风险区划方法研究——以温州山区泥石流为例[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 80-86.
- [6] 付少杰. 甘肃舟曲峰迭新城泥石流灾害风险区划[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- [7] 张婧, 郝立生, 许晓光. 基于GIS技术的河北省洪涝灾害风险区划与分析[J]. 灾害学, 2009, 25(2): 51-56.
- [8] 郭永芳, 查良松. 安徽省洪涝灾害风险区划及成灾面积变化趋势分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(1): 130-136.
- [9] 邹建铭. 福建港口建设现状及发展目标[J]. 发展研究, 2003(12): 44-46.
- [10] 李雪丁. 福建沿海近10a赤潮基本特征分析[J]. 环境科学, 2012, 33(7): 2210-2216.
- [11] STEELE J H. Environmental control of photosynthesis in the sea[J]. Limnology and Oceanography, 1962, 7(2): 137-150.
- [12] MAHONER J B, MCLAUGHLIN J J A. Salinity influence on the ecology of phytoflagellate blooms in lower New York Bay and adjacent waters[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1979, 37(3): 213-223.
- [13] RAVEN J A, GEIDER R J. Temperature and algal growth[J]. New Phytologist, 1988, 110(4): 441-461.
- [14] YANG Z B, HODGKISS I J. Hong Kong's worst "red tide" - causative factors reflected in a phytoplankton study at Port Shelter station in 1998[J]. Harmful Algae, 2004, 3(2): 149-161.
- [15] 许珠华, 侯建军. 福建沿岸海域赤潮发生特点及防治措施[J]. 台湾海峡, 2006, 25(1): 143-150.
- [16] 黄春秀, 陈火荣, 李聪. 2000—2018年福建近岸海域赤潮分布特征[J]. 应用海洋学学报, 2020, 39(4): 94-102.

Establishment and Application of the Method for Hazard Zoning of Red Tide Disaster based on Historical Records

WEN Shiyong^{1,2}, SUN Tianli³, WANG Tao^{1,2}, LI Rongmao⁴, LI Fei^{1,2} and LIU Na^{1,2}

(1. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Coastal Ecosystem, Dalian 116023, China; 3. National Marine Hazard Mitigation Service, Beijing 100194, China; 4. Fujian Fisheries Resources Monitoring Center, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Red tide disaster is one of the three major marine disasters in China. Red tide has become one of the factors restricting the rapid development of China's marine economy. Disaster risk zoning is a necessary measure for effective red tide disaster prevention and mitigation and emergency management. Firstly, data was collected from harmful algal bloom (HAB) outbreaks in the Fujian Province coastal waters during 1959-2018. Secondly, the geostatistical tools and Kernel density estimation function in Geographic information system (GIS) were used to analyze the spatial distributions of the frequency of red tide disasters, the duration of the red tide disasters, area of red tide disasters, and the algae toxicity of red tide disasters. Thirdly, the spatial distribution of hazard zoning of red tide disaster in the coastal waters of Fujian Province is obtained according to the hazard zoning method of red

tide disaster. Finally, the zoning results were verified by using the historical record data. The results show that: (1) four sea – areas in the very – high hazard degree zone: coastal waters of Xiapu County, coastal waters of Lianjiang County, Eastern waters of Pingtan County, Tongan bay waters of Xiamen City. (2) Six sea – areas in the high hazard degree zone: coastal waters of Fuding City – Xiapu County, coastal waters of Luoyuan County – Lianjiang County, Eastern waters of Pingtan County, coastal waters of Fuqing City – the northeast coastal waters of Putian, coastal waters of Shishi City, and coastal waters of Xiamen City. The rest of the sea areas are in the medium hazard degree zone and the low hazard degree zone. The verification results show that the constructed zoning method and zoning results have good rationality and credibility. The zoning results will provide scientific basis for the emergency disposal of red tide disasters in the coastal waters of Fujian Province and the formulation of effective management measures for the control of the total pollution in the polluted sea areas, so as to achieve the goal of disaster prevention and mitigation, and it is of great scientific significance for guiding marine aquaculture and coastal tourism planning.

Key words: red tide disaster; historical records; hazard degree zoning; Kernel density estimation; Fujian Province coastal waters

(上接第 71 页)

- [15] 杨硕, 李颖, 刘大刚, 等. 基于平板 – 高斯烟羽模型的海上重气泄漏事故研究[J]. 大连海事大学学报, 2019, 45(4): 153 – 160.
- [16] AQ/T3046—2013 化工企业定量风险评价导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [17] 张网, 吕东, 王婕. 蒸气云爆炸后果预测模型的比较研究[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(4): 48 – 49, 52.
- [18] PIERORAZIO ADRIAN J, THOMAS J K, BAKER QUENTIN A, et al. An up – date to the Baker – Strehlow – Tang vapor cloud explosion prediction methodology flame speed table [J]. Process Safety Progress, 2005, 24(1): 1305 – 1309.
- [19] NAKAJIMA Keigo, YAMANAKA Toru, OOKA Ryoza, et al. Observational Assessment of Applicability of Pasquill Stability Class in Urban Areas for Detection of Neutrally Stratified Wind Profiles[J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2020, 206(2): 1 – 5.
- [20] 杨凌鹏, 杜胜男, 王卫强, 等. 关于 LNG 储罐连续型泄漏的动态风险分析[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(4): 109 – 116, 122.
- [21] 姜峰, 胥朝波. 基于事件树和 ALOHA 软件的 CNG 加气站储气井泄漏燃烧爆炸事故后果分析[J]. 安全与环境工程, 2018, 25(3): 141 – 144.

Analysis of Gas Storage Safety Hazards under the Influence of Lightning and Static Electricity

LUO Zhengshan, LIU lu, ZHANG Xinsheng and WANG Xiaowan

(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: It is important to ensure the security of energy storage and educe the loss caused by gas storage leakage. According to the theory of lightning and static accumulation, model of lightning static probability for gas storage is established. The impact of lightning static on gas storage leakage is evaluated by using this model. The Gaussian plume diffusion model is selected to predict the gas diffusion range, and then combined with the flash fire criteria to predict the flash fire hazard range. The CCPS – BST model is built to predict the explosion range. Finally, the effects of wind speed and atmospheric stability on gas diffusion range, flash fire and explosion hazard radius are analyzed and compared. The research results show that lightning static electricity will increase the probability of flash fire and explosion after gas storage leaking. The gas diffusion range and the consequences of flash fire are shuttle – shaped along the dominant wind direction; the explosion of the vapor cloud spreads from the center to the surroundings decreases with the increase of atmospheric stability. The range of the three leakage consequences is opposite to the change of atmospheric stability and wind speed. The results of the study can provide a reference for the leakage consequences analysis of gas storage under multiple factors and a new idea for gas storage research.

Key words: gas storage; flash fire; vapor cloud explosion; lightning; static electricity