

DOI:10.7524/AJE.1673-5897.20181030004

武江越, 王斌, 任翔宇, 等. 危险化学品泄漏入海区域风险评估方法研究[J]. 生态毒理学报, 2019, 14(1): 189-198

Wu J Y, Wang B, Ren X Y, et al. Study on risk assessment methods of hazardous chemicals leaking into seas [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2019, 14(1): 189-198 (in Chinese)

危险化学品泄漏入海区域风险评估方法研究

武江越¹, 王斌¹, 任翔宇², 周荃³, 谢恬⁴, 陈新平¹, 林雨霏^{1,*}

1. 自然资源部海洋减灾中心, 北京 100194
2. 浙江省环境科技有限公司, 杭州 310000
3. 环境保护部固体废物与化学品管理技术中心, 北京 100029
4. 海口市湾长办公室, 海口 570135

收稿日期: 2018-10-30 录用日期: 2019-02-14

摘要: 我国的危险化学品区域风险评估研究工作起步较晚, 针对危险化学品泄漏入海的方法研究较少。现有区域风险评估方法中评估对象多为单一风险因素, 存在着未全面考虑研究区域内其他风险源和敏感资源等综合影响的不足。在结合国内外研究进展现状的基础上, 强化与相关技术方法的衔接, 建立了综合考虑危险化学品危险性和区域风险承受力等因素的危险化学品泄漏入海区域风险评估方法工作, 并选择天津市 XX 企业开展方法案例应用。本研究能够为科学合理划分危险化学品泄漏区域海洋环境风险等级提供技术支撑, 为开展危险化学品泄漏入海风险防范和修复评估等工作提供决策依据。

关键词: 危险化学品; 泄漏入海; 区域风险评估

文章编号: 1673-5897(2019)1-189-10 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Study on Risk Assessment Methods of Hazardous Chemicals Leaking into Seas

Wu Jiangyue¹, Wang Bin¹, Ren Xiangyu², Zhou Quan³, Xie Tian⁴, Chen Xinping¹, Lin Yufei^{1,*}

1. National Marine Hazard Mitigation Service, Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, Beijing 100194, China
2. Zhejiang Environment Technology Co., Ltd, Hangzhou 310000, China
3. Solid Waste and Chemicals Management Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100029, China
4. Haikou Gulf Cheifs Office, Haikou 570135, China

Received 30 October 2018 accepted 14 February 2019

Abstract: In China, studies on regional risk assessment of hazardous chemicals have been carried out for only few years, and there are only few studies on hazardous chemicals leaking into seas. For previous regional risk assessment methods, one single risk factor is considered for most assessment targets, while comprehensive considerations of risk sources and sensitive resources for a study area are not sufficiently included. Based on previous studies, this study established a regional risk assessment method for hazardous chemicals leaking into seas. This method considered hazards of hazardous chemicals and tolerance ability of regional environment, by means of a case study of XX company in Tianjin. This method can provide technical supports for scientifically assessing marine environmental

基金项目: 国家自然科学基金“南海极端水位季节、年际和长期变化及其影响机制研究”(41506042)

作者简介: 武江越(1987—), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为海洋生态预警监测, E-mail: wujiangyue2005@126.com;

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: yflin@nmhms.org.cn

risk levels for hazardous chemicals leakage areas, and support decision-making for carrying out risk prevention and restoration assessment of hazardous chemicals leaking into seas.

Keywords: hazardous chemicals; leak into seas; risk assessment methods

当前,化工行业逐渐成为我国的主导产业。众多化学品的使用在提高改善人民生活生活质量的同时,其固有危险属性也对人体健康和自然环境构成着极大威胁^[1]。与此同时,海岸带地区大型危险化学品生产、储运企业等一大批化工园区沿岸线布局,也使得危险化学品泄漏入海风险加剧。危险化学品原料进出口运输途径以港口和航道为主^[2],随着港口吞吐量扩大和船舶运输频度增加,海上危险化学品泄漏等事故发生可能性增大^[3]。2018年3月20日,中共中央印发《深化党和国家机构改革方案》^[4],明确新组建的自然资源部主要职责为“统一行使全民所有自然资源资产所有者职责,统一行使所有国土空间用途管制和生态保护修复职责”。因此,开展危险化学品泄漏入海区域风险评估工作,对于推进海洋减灾在国土空间规划与用途管制的应用,提升海洋环境灾害应对和资源保护能力,具有十分重要的意义。

1 研究进展 (Research progress)

1.1 国外危险化学品风险评估研究现状

20世纪六七十年代,发达国家就制定了有关化学物质管理的法律,这促使联合国相关机构也逐步建立并实施了相关的国际公约^[5]。最初发达国家主要对化学品的危害性进行鉴别进而实现安全管理^[6]。20世纪九十年代风险评估技术逐渐发展起来,发达国家的化学品管理开始转变为综合考虑化学品固有危害性及其暴露的风险管理^[7],即采用科学的程序进行风险评估后,再进一步分析化学品给社会带来的效益、对社会经济发展的影响以及替代技术等因素做出风险管理决策。在化学品风险管理过程中,化学品风险评估技术是化学品管理的核心技术手段。为配合化学品管理,国际组织和发达国家都先后出台了指导风险评估工作的指南或规范^[8]。

国外对危险化学品事故的风险评估与预测方面的研究起步较早,无论是从理论上还是方法上都比较系统。其中,在政策上,许多发达国家已经将环境风险评价纳入到了环境管理的范畴,如1985年世界银行环境和科学部颁发了关于“控制影响厂内外人员和环境重大危害事故”导则和指南;1987年欧盟

立法规定:对有可能发生化学事故危险的工厂必须进行环境风险评估;1988年联合国环境部署(UNEP)制订了阿佩尔计划(APELL),用以应对难以防范又有可能对人类健康和生态环境造成严重危害的环境污染事故^[9]。这些有关环境风险的理论对实际操作都有一定的借鉴和指导作用。

1996年,欧盟发布了适用于各种化学品的《风险评估技术指南》第一版(TGDI)^[10],对化学品风险评估的技术要素做了详细规定。总体来说,欧盟的化学品风险评估注重化学品的综合管理,其化学品风险管理方法处于全球领先水平。美国化学品管理和风险评估技术源于1976年由美国环境保护局污染预防和有毒物质办公室负责实施的《污染防治法》,目前美国针对化学品风险评估的相关模型工具有:评价化学品理化性质和环境归趋模型,预测危害和毒性模型,排放、暴露和风险模型。

英国著名的跨国企业BP国际(BP International)吸收了多国石油公司的重大事故风险管理的方法体系,形成了一套包括人和环境定量风险评估、灾害和运作性研究在内的重大事故风险管理过程MAR^[11]。Marhavilas等^[12]在传统的风险评估框架的基础上,按定性评估和定量评估的分类分别针对确定性方法和不确定的方法建立了评估框架。美国环保署(EPA)国家环境暴露研究室提出了基于多介质、多通路和多受体的环境风险分析与评估框架(FRAMES-3MRA)^[13]。诸如Romer等^[14]提出对危险化学品水路运输事故采用最自然的事故后果描述方法(如被污染的海岸范围、死亡的鸟和鱼的数量等)来建立相应的风险评价模型,而且模型中创新性的增加了对活生物的后果的评价。Wessberg等^[15]通过构建活动和过程模型,分析事故的发生的概率和后果矩阵,进而对风险进行估计。Matthiessen等^[16]从一个独特的角度研究危险化学品的环境危害,即通过观察生物的激素干扰来衡量危险化学品对环境的影响,以此作为依据进行相应的风险评估。Zhang等^[17]用GIS技术评估化学品事故对人和环境的威胁,建立风险指数模型,在化学品特性和环境资源信息数据库的支持下,研究化学品事故对人的健康、地下水、地表水、土壤资源4个方面的局部污染特征进行分

析,为管理者提供相关决策支持。

1.2 国内危险化学品风险评估方法研究进展

我国危险化学品风险评估技术研究现状可分为以下几个方面:

(1)危险化学品风险评估理论研究方面。目前的危险化学品重大危险源风险评估研究主要集中于多目标模糊理论^[18]、灰色理论^[19-20]、多米诺效应^[21]、可变模糊集^[22]理论 4 个方面。

(2)危险化学品定性风险评估技术。2013 年 3 月环境保护部发布《重点环境管理危险化学品环境风险评估报告编制指南(试行)》^[23],2014 年 4 月,环境保护部发布《企业突发环境事件风险评估指南(试行)》^[24],2 项规范分别以危险化学品和重点企业为出发点,建立了环境风险等级评估的具体方法,分别为危险化学品环境风险评估和突发环境事件风险评估。此外,刘志国等^[25]在对沿海化学品风险源风险特征分析的基础上,构建了基于风险源、控制机制和风险受体的化学品风险源环境风险综合评价指标体系,并建立了相应的风险评价模型,提出了 3 级风险管理体系;王守云^[26]采用的风险评估方法是首先对可能发生危险品泄漏事故的海域进行确定,评估事故发生的频率,其次对不同的地理区域的风险进行

管理,确认适合的管理策略,最后通过一些预防和准备工作降低区域风险。

(3)危险化学品定量风险评估技术。李求进等^[27]对氯气泄漏会引发一系列事故进行了研究,根据给定的事故情境定量风险评价程序分析出可能发生的事故情境,再分别对每种事故情境进行讨论分析,最后重点分析风险最大的情境。赵文芳和武志峰^[28]研究确定了需进行了设备单元选择方法和环境信息数据统计范围,提出了事故频率、事故后果、个人风险、社会风险等的计算方法和实施途径,建立了实用性较强的危险化学品重大危险源定量风险评估技术方案;邓奇根等^[29]基于马尔可夫事故概率假设模型的基础上分析了化工企业事故概率数学模型;陈国华等^[30]基于定量风险评价的基本原理,提出一种区域风险评价方法,并应用叠加原理得到了描述该区域整体风险状况的定量评价结果。

(4)计算机技术在危险化学品重大危险源风险评估中的创新应用。在石化企业重大危险源风险评估方面,梁成浩和吕东^[31]使用程序设计语言(Visual Basic),通过调用与控制甲骨文数据库(Oracle Database),建立了可用于石化企业风险评估的石化企业火灾爆炸风险评估系统。

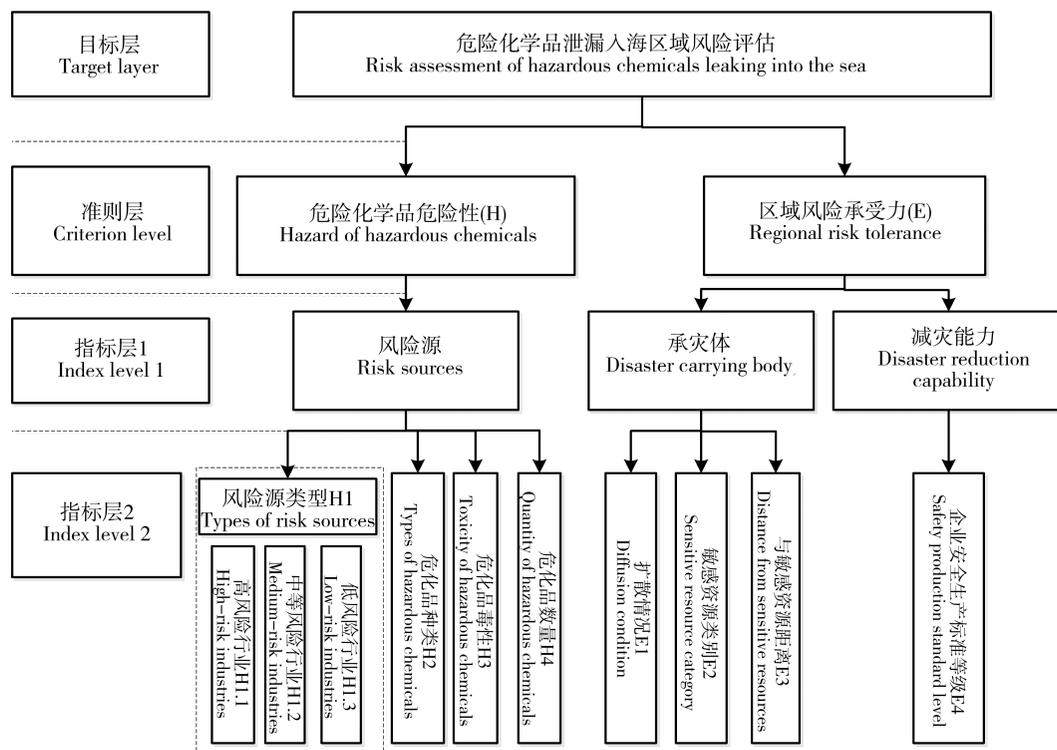


图 1 危险化学品泄漏入海区域风险评估指标

Fig. 1 Risk assessment indicators for hazardous chemicals leaking into the sea

综上,我国的危险化学品区域风险评估研究工作起步较晚,针对危险化学品泄漏入海的方法研究较少。现有区域风险评估方法中评估对象多为单一风险因素,存在着未全面考虑研究区域内其他风险源和敏感资源等综合影响的不足。

2 风险评估方法 (Risk assessment methods)

由于我国环境领域风险数据积累不足,对各评价指标在风险水平上难以做出科学界定。因此,本研究在综合借鉴国内外已有研究分级方法的基础上,立足自然资源部职责,初步建立了包括2个准则层(危险化学品的危险性和区域风险承受力)8个具体指标的风险分级指标体系(如图1所示),通过文献查阅、资料搜集、专家咨询等方式,运用定级评分法确定各指标风险水平。

2.1 风险评估方法

考虑到环境风险可能由风险系统中任一环节的

缺陷而发生,风险区划综合评价采用加权求和与加权相乘联用算法。在由具体指标计算准则层的过程中,不同具体指标代表同一风险因素的不同方面,采用加权求和法求算准则层,如式(1)。另外,采用层次分析法(AHP)以及德尔菲法(Delphi)相结合确定权重,分别确定准则层和各具体指标之间的权重系数,在确定具体指标之间的权重时,系数之和保持为1。

$$R = \sum_{i=1}^n C_i S_i$$

式中: R 为区域风险评估分值, C_i 为第*i*个具体指标的权重值, S_i 为第*i*个指标的评分。

2.2 指标体系

2.2.1 危险化学品危险性(H)

危险化学品危险性评估应综合考虑涉及危险化学品风险源类型、危险化学品种类、危险化学品数量。具体如下:

H1 风险源类型:各种不同行业类型的企业发生

表1 GESAMP 危险化学品生态毒性分级标准

Table 1 Grading standard for ecological toxicity of dangerous chemicals of GESAMP

分级 Grading	生物累积性 Bioaccumulation			稳定性 Stability	水生生物毒性/(mg·L ⁻¹) Aquatic toxicity/(mg·L ⁻¹)			
	LogK _{ow}	BCF	描述 Description		急性毒性 Acute toxicity		慢性毒性 Chronic toxicity	
					LC/EC ₅₀	描述 Description	NOEC	描述 Description
1	<1	无有效数值 Not available	无 No	十分稳定 Totally stability	>1 000	无毒 Non-toxic	>1	无 Not
2	1 ≤ -<2	1 ≤ -<10	极低 Extremely low	稳定 Stable	100 <- ≤ 1 000	基本无毒 Basic non-toxic	0.1 <- ≤ 1	极低 Extremely low
3	2 ≤ -<3	10 ≤ -<100	低度 Low	低度不稳定 Low instability	10 <- ≤ 100	低毒 Low toxicity	0.01 <- ≤ 0.1	低度 Low
4	3 ≤ -<4	100 ≤ -<500	中度 Moderate	中度不稳定 Moderate instability	1 <- ≤ 10	中毒 Moderate toxicity	0.001 <- ≤ 0.01	中度 Moderate
5	4 ≤ -<5	500 ≤ -<4 000	高度 High	高度不稳定 High instability	0.01 <- ≤ 1	高毒 High toxicity	≤ 0.001	高度 High
6	5 ≤	4 000 ≤	极高 Extremely high	极不稳定 Extreme instability	0.01 <	极高 Extremely high toxicity		极高 Extremely high

注:GESAMP为海洋污染科学问题联合专家组;LogK_{ow}为正辛醇/水分配系数;BCF为生物富集系数;LC₅₀为半数致死浓度;EC₅₀为半数效应浓度;NOEC为无效应浓度。

Note: GESAMP stands for the Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Environmental Protection; LogK_{ow} stands for octanol-water partition coefficient; BCF stands for bioconcentration factor; LC₅₀ stands for median lethal concentration; EC₅₀ stands for median effect concentration; NOEC stands for no observed effect concentration.

表 2 危险化学品泄漏入海区域风险评估分级权重表

Table 2 Classification values for risk assessment of hazardous chemicals leaking into the sea

准则层 Criterion level	指标层 1 Index level 1	指标层 2 Index level 2	指标细化 Index refinement	赋值 Values		
危险化学品危险性 Hazard of hazardous chemicals H (0.5)	风险源 Risk sources	风险源类型 Types of risk sources H1 (0.25)	重大环境风险 High environmental risks	3		
			较大环境风险 Moderate environmental risk	2		
				一般环境风险 Low environmental risk	1	
				高 High	5	
			中 Moderate	3		
			低 Low	1		
			危险化学品毒性 Toxicity of hazardous chemicals H3 (0.25)	高 High	9	
				中 Moderate	6	
				低 Low	3	
			危险化学品数量 Quantity of hazardous chemicals H4 (0.25)	>80%	9	
				40% ~ 80%	6	
				<40%	3	
区域风险承受力 Regional risk tolerance E (0.5)	承灾体 Disaster carrying body (0.75)	扩散条件 Diffusion condition E1 (0.25)	开阔海域 Open sea area	3		
					半封闭海湾 Semi-enclosed bay area	2
					港池 Harbor basin	1
					海洋渔业水域,海上自然保护区 和珍稀濒危海洋生物保护区 Marine fishery waters, marine nature reserves and rare and endangered marine life reserves	9
				水产养殖区,海水浴场,人体直接接触海水的海上运动 或娱乐区,以及人类食用直接有关的工业用水区 Aquaculture areas, bathing beaches, marine sports or recreational areas where the human body is in direct contact with sea water, and industrial water areas directly related to human consumption	5	
				一般工业用水区,滨海风景旅游区 General industrial water area, coastal scenic tourist area	3	
				海洋港口水域,海洋开发作业区 Harbor basin, marine development operation area	1	
				与敏感资源距离 Distance from sensitive resources E3 (0.25)	<3 km	5
					3 ~ 10 km	3
					≥10 km	1
				企业安全生产标准等级 Safety production standard level E4 (0.25)	差 Poor	9
					一般 Ordinary	6
			优秀 Good	3		

环境事故概率不同,高风险行业类型包括化学品原料及化学品制造业、原油加工及石油制品制造;中等风险行业类型包括医药、印染、涂料、金属表面处理及热加工;低风险行业类型为炼钢及钢延压。

H2 危险化学品种类:不同类型的危险化学品会对环境造成不同程度的影响,目前国际上一般采用欧洲标准行为分类系统(The Standard European Behavior Classification, SEBC code, Bonn Agreement, 1991)对化学品入海后的物理行为进行分类^[32],将危险化学品分为漂浮挥发(FE)、快速溶解挥发(DE)、快速溶解(D)、漂浮(F)、漂浮溶解(FD)、漂浮挥发溶解(FED)、沉降(S)、沉降溶解(SD)八大类。考虑到不同类别危险化学品泄漏入海后危险性不同,分为高(D、F、FD)、中(S、SD)、低(FE、DE、FED)3个等级。

H3 危险化学品毒性:海洋污染科学问题联合专家组(GESAMP)综合考虑了危险化学品的生物累积性、稳定性和水生生物毒性,将危险化学品生态毒性分为1~6级^[33](见表1)。我们在借鉴参考的同时,为提高方法的可操作性和适用性,分为高(5~6级)、中(3~4级)、低(1~2级)3个等级。

H4 危险化学品数量:指区域内使用、储存、生产的危险化学品数量。以环境保护部《企业突发环境事件风险评估指南(试行)》中“突发环境事件风险物质及临界量清单”划分依据,考虑区域内危险化学品占比临界量情况,分为高、中、低3个等级。

2.2.2 区域风险承受力(E)

区域风险承受力分为承灾体和减灾能力2个因素,其中承灾体综合考虑海洋环境中特征污染物本底值、地形地貌影响、与海洋连通情况、敏感资源类别以及与敏感资源距离。减灾能力应综合考虑区域风险控制能力。具体说明如下:

E1 扩散情况:是指危险化学品入海后漂移扩散情况,扩散范围越广,其对海洋环境的影响程度越大。将扩散情况分为开阔海域、半封闭海湾、港池,其对海洋环境的影响程度为开阔海域>半封闭海湾>港池。

E2 敏感资源类别:参考海水水质标准^[34],敏感资源分为四类,第一类为海洋渔业水域,海上自然保护区和珍稀濒危海洋生物保护区;第二类为水产养殖区,海水浴场,人体直接接触海水的海上运动或娱乐区,以及与人类食用直接有关的工业用水区;第三类为一般工业用水区,滨海风景旅游区;第四类为海洋港口水域,海洋开发作业区。

E3 与敏感资源距离:与敏感资源的距离反映了

环境敏感点受到环境事故的影响程度,通过GIS进行环境风险源与周边敏感点进行空间分析后,根据风险源以最直接途径泄漏入海点至最近环境敏感点的距离按照<3 km、3~10 km、≥10 km的距离分为3级。

E4 企业安全生产标准化等级:按照《企业安全生产标准化评审工作管理办法(试行)》^[35]的规定,将危险化学品企业安全生产标准化分为一级、二级、三级。其中,一级企业由国家安全生产监督管理总局审核公告;二级企业由企业所在地省(自治区、直辖市)及新疆生产建设兵团安全生产监督管理部门审核公告;三级企业由所在地设区的市(州、盟)安全生产监督管理部门审核公告。

2.3 分级权重

为使确定的权重更具有代表性,尽量增加样本数量,特邀请国家海洋局第一海洋研究所、厦门大学、北京师范大学、北京化工大学、大连海事大学、中海油安全技术服务公司、国家海洋局北海环境监测中心等单位相关专家评分,并综合专家评分构造判断矩阵,确定每层指标的相对重要性权重(见表2)。

2.3.1 危险化学品危险性分级

根据危险化学品危险性分值,将危险化学品危险性分为四级(见表3)。

2.3.2 区域风险承受力分级

根据区域风险承受力分值,将区域风险承受力分为四级(见表4)。

表3 危险化学品危险性分级

Table 3 Hazardous classification of hazardous chemicals

危险化学品危险性分值(H) Hazard scores of hazardous chemicals (H)	分级 Classification
$21 \leq H \leq 26$	I
$16 \leq H < 21$	II
$12 \leq H < 16$	III
$8 \leq H < 12$	IV

表4 区域风险承受力分级

Table 4 Classification of regional risk tolerance

区域风险承受力分值(E) Scores of regional risk tolerance (E)	分级 Classification
$21 \leq E \leq 26$	I
$16 \leq E < 21$	II
$11 \leq E < 16$	III
$6 \leq E < 11$	IV

2.4 分级方法

根据我国现行行政管理体制,以县(区)为单元,开展区域风险评估,评估范围为海岸线向海一侧 10 km,向陆一侧至最大高潮线;重点关注存在危险化

学品泄漏入海隐患的风险源,如位于海岸线向陆一侧 1 km 内或邻近入海河流的危险化学品企业。危险化学品泄漏入海区域风险评估等级关系如下表所示(见表 5)。

表 5 危险化学品泄漏入海区域风险评估等级关系表

Table 5 Risk assessment level relationship of dangerous chemicals leaking into the sea area

		区域风险承受力 Regional risk tolerance			
		低(IV) Extremely low	较低(III) Low	较高(II) High	高(I) Extremely high
危险化学品 危险性 Hazard of hazardous chemicals	低(IV) Extremely low	低风险(IV) Extremely low	低风险(IV) Extremely low	较低风险(III) Low	较低风险(III) Low
	较低(III) Low	低风险(IV) Extremely low	较低风险(III) Low	较高风险(II) High	较高风险(II) High
	较高(II) High	较低风险(III) Low	较高风险(II) High	较高风险(II) High	高风险(I) Extremely high
	高(I) Extremely high	较低风险(III) Low	较高风险(II) High	高风险(I) Extremely high	高风险(I) Extremely high

表 6 天津 XX 公司风险等级结果

Table 6 Risk assessment level of XX company in Tianjin

准则层 Criterion level	指标层 1 Index level 1	指标层 2 Index level 2	指标细化 Index refinement	赋值 Values		
危险化学品危险性 Hazard of hazardous chemicals H (0.5)	风险源 Risk sources	风险源类型 Types of risk sources H1 (0.25)		重大环境风险 High environmental risk	3	
		危险化学品种类 Types of hazardous chemicals H2 (0.25)		高 High	5	
		危险化学品毒性 Toxicity of hazardous chemicals H3 (0.25)		高 High	9	
		危险化学品数量 Quantity of hazardous chemicals H4 (0.25)		>80%	9	
		合计 Total				26
区域风险承受力 Regional risk tolerance E (0.5)	承灾体 Disaster carrying body (0.25)	扩散条件 Diffusion condition E1 (0.25)		半封闭海湾 Semi-enclosed bay area	2	
		敏感资源类别 Sensitive resource category E2 (0.25)		海洋港口水域,海洋开发作业区 Harbor basin, marine development operation area	1	
		与敏感资源距离 Distance from sensitive resources E3 (0.25)		<3 km	5	
		减灾能力 Disaster reduction capability (0.25)		企业安全生产标准等级 Safety production standard level E4 (0.25)	差 Poor	9
		合计 Total				17
风险等级 Risk level				I		

3 方法案例应用 (Case application)

为检验风险源评估指标体系的可应用性,选取了天津滨海新区某典型企业作为研究案例进行风险源等级评估。首先,搜集整理了该企业地理位置坐标、涉及的危险化学品种类、数量和企业安全生产标准等级等基本信息;其次,根据《天津市海洋功能区划》(2011—2020年),掌握了该企业可能泄漏入海扩散条件、邻近敏感资源类型及其与敏感资源距离;最后,依据所建立的危险化学品泄漏入海区域风险评估方法进行各风险要素分值计算(见表6)。该企业危险化学品危险性为26分(I级),区域风险承受力为17分(II级)。结果显示,该企业风险等级为I级,属高风险的危险化学品风险源。

4 结语 (Conclusion)

在结合国内外研究进展现状的基础上,本研究在综合考虑危险化学品危险性和区域风险承受力的基础上,建立了包括风险源类型、危险化学品种类、危险化学品数量、危险化学品毒性、扩散条件、敏感资源类型、与敏感资源距离和企业安全生产标准等级等8个具体指标的危险化学品泄漏入海区域风险评估指标体系。同时,运用层次分析法和德尔菲法相结合确定指标权重,综合专家打分进行指标赋值。既兼顾了指标设定和权重赋值的科学合理性,又考虑了开展危险化学品泄漏入海区域风险评估业务化工作的适用性。当然,危险化学品泄漏入海区域风险评估尚有不足之处,指标体系有待进一步调整筛选,权重赋值尚需进一步优化完善,危险化学品数量、企业安全生产标准等级等部分指标获取尚存在难度。

下一步我们将选取渤海区域,实际开展危险化学品泄漏入海区域风险评估方法应用,进一步完善评估方法及指标体系,为渤海综合治理攻坚战打下做好技术支撑。

致谢:感谢厦门大学王新红教授在文章修改中给予的帮助。

通讯作者简介:林雨霏(1981-),女,海洋化学博士,高级工程师,长期从事海洋环境保护管理工作。

参考文献 (References):

- [1] 任星星. 危险化学品事故环境风险的定量评估及动态演化[D]. 上海: 华东理工大学, 2014: 55-59
Ren X X. Hazardous chemicals accidents environment risk

of evaluation and dynamic evolvement [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2014: 55-59 (in Chinese)

- [2] 王颢. 集装箱船载危险化学品泄漏污染事故海洋环境应急监测与思考:以“达飞巴莱里”触礁事故为例[J]. 海洋开发与管理, 2014, 31(6): 81-87
Wang H. Emergency monitoring and consideration of marine environment in container ship hazardous chemicals leakage pollution accident: A case study of "dafaibalaili" reef-striking accident [J]. Marine Development and Management, 2014, 31(6): 81-87 (in Chinese)
- [3] 王鑫. 危险化学品安全管理现状及对策探讨[J]. 安全, 2016(8): 52-53
Wang X. Current situation and countermeasure to safety management of hazardous chemicals [J]. Safety, 2016(8): 52-53 (in Chinese)
- [4] 中共中央. 中共中央印发深化党和国家机构改革方案[N]. 人民日报, 2018-03-22(001版)
- [5] Mackee J E, Wolf H W. Water Quality Criteria [R]. New York, USA: State Water Quality Control Board, 1963
- [6] US EPA. Guidelines for Deriving Numerical National Water Quality Criteria for the Protection of Aquatic Organisms and Their Uses [R]. Minnesota, U.S.: US Environmental Protection Agency, 1985
- [7] Solomon K R, Baker D B, Richards R P, et al. Ecological risk assessment of atrazine in North American surface waters [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1996, 15(1): 31-76
- [8] Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Introduction [R]. Winnipeg Manitoba, Canada: Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999
- [9] Erickson R J, Stephan C E. Calculation of the final acute value for water quality criteria for aquatic organisms [R]. Springfield, USA: National Technical Information Service, 1988
- [10] Harrison R M, Smith D, Luhana L. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK [J]. Environmental Science & Technology, 1996, 30(3): 825-832
- [11] Considine M, Hall S M. The major accident risk (MAR) process-developing the profile of major accident risk for a large multi national oil company [J]. Process Safety & Environmental Protection, 2009, 87(1): 59-63
- [12] Marhavalas P K, Koulouriotis D E. Developing a new alternative risk assessment framework in the work sites by including a stochastic and a deterministic process: A case

- study for the Greek Public Electric Power Provider [J]. Safety Science, 2012, 50(3): 448-462
- [13] Furtaw E J Jr. An overview of human exposure modeling activities at the USEPA's National Exposure Research Laboratory [J]. Toxicology and Industrial Health, 2001, 17(5-10): 302-314
- [14] Rømer H, Haastrup P, Styhr Petersen H J. Exploring environmental effects of accidents during marine transport of dangerous goods by use of accident descriptions [J]. Environmental Management, 1996, 20(5): 753-766
- [15] Wessberg N, Molarius R, Seppälä J, et al. Environmental risk analysis for accidental emissions [J]. Journal of Chemical Health and Safety, 2008, 15(1): 24-31
- [16] Matthiessen P, Johnson I. Implications of research on endocrine disruption for the environmental risk assessment, regulation and monitoring of chemicals in the European Union [J]. Environmental Pollution, 2007, 146: 9-18
- [17] Zhang W, Govorov A O, Bryant G W. Semiconductor-metal nanoparticle molecules: Hybrid excitons and the nonlinear fano effect [J]. Physical Review Letters, 2006, 97(14): 146804
- [18] 张源雪. 基于多目标模糊理论的重大危险源区域消防规划研究[D]. 天津: 天津大学, 2007: 41-46
Zhang Y X. Research on fire programming for disastrous hazard source zone based on multi-objective fuzzy theory [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007: 41-46 (in Chinese)
- [19] 张胜文, 孙飞. 基于灰关联度理论的重大危险源风险评估技术的研究[J]. 江苏科技大学学报: 自然科学版, 2008, 22(5): 42-47
Zhang S W, Sun F. Research on the technology of risk evaluation in major hazard installations based on grey association degree theory [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2008, 22(5): 42-47 (in Chinese)
- [20] 张国友, 孙飞. 基于灰色理论的重大危险源风险评估模型及应用[J]. 矿山机械, 2008, 36(24): 46-51
Zhang G Y, Sun F. Risk evaluation model and application of significant danger based on grey theory [J]. Mining Machinery, 2008, 36(24): 46-51 (in Chinese)
- [21] 李树谦. 基于多米诺效应的化工园区整体风险评估研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2008: 63-68
Li S Q. Study on whole risk evaluation of chemical industrial park based on Domino effect [D]. Nanchang: Nanchang University, 2008: 63-68 (in Chinese)
- [22] 刘岩. 基于可变模糊集理论的危险化学品重大危险源风险评估的研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2010: 9
Liu Y. Risk assessment about major hazards of chemicals based on variable fuzzy sets theory [D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2010: 9 (in Chinese)
- [23] 环境保护部. 重点环境管理危险化学品环境风险评估报告编制指南[EB/OL]. (2013-03-18) [2013-03-29]. http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201303/t20130329_250125.htm.
- [24] 环境保护部. 企业突发环境事件风险评估指南(试行)[EB/OL]. (2013-08-21) [2014-04-15]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201404/t20140415_270575.html
- [25] 刘志国, 徐韧, 蔡芑, 等. 沿岸化学品风险源环境风险评估与分级方法研究——以上海市为例[J]. 海洋通报, 2015(4): 475-480
Liu Z G, Xu R, Cai P, et al. Research on environmental risk assessment and classification technology for coastal chemicals: A case study of Shanghai [J]. Marine Science Bulletin, 2015(4): 475-480 (in Chinese)
- [26] 王守云. 杭州湾北岸水域水运污染风险评估[D]. 上海: 上海海事大学, 2006: 35-41
Wang S Y. Risk assessment of water transportation pollution in the North Coast of Hangzhou Bay [D]. Shanghai: Shanghai Maritime University, 2006: 35-41 (in Chinese)
- [27] 李求进, 刘骥, 高建明, 等. 基于事故情景分析的液氯泄漏定量风险评估[J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4(2): 18-21
Li Q J, Liu J, Gao J M, et al. Quantitative risk assessment on liquefied chlorine leak by accident scenarios analysis [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4(2): 18-21 (in Chinese)
- [28] 赵文芳, 武志峰. 重大危险源定量风险评估技术研究[J]. 安全、健康和环境, 2012, 12(2): 1-5
Zhao W F, Wu Z F. Research on quantitative risk assessment technology for major hazard sources [J]. Safety, Health and the Environment, 2012, 12(2): 1-5 (in Chinese)
- [29] 邓奇根, 王燕, 曹庆贵. 重大危险源风险评估研究[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(11): 59-61
Deng Q G, Wang Y, Cao Q G. Risk assessment study on major hazard sources [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2006, 32(11): 59-61 (in Chinese)
- [30] 陈国华, 张静, 张晖, 等. 区域风险评估方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(6): 112-117
Chen G H, Zhang J, Zhang H, et al. Study on regional risk assessment methodology [J]. China Safety Science Journal, 2006, 16(6): 112-117 (in Chinese)
- [31] 梁成浩, 吕东. 石化企业火灾爆炸风险评估系统[J]. 石油化工安全技术, 2006, 22(5): 27-30
Liang C H, Lv D. Fire and explosion risk assessment system for petrochemical enterprises [J]. Petrochemical Safety Technology, 2006, 22(5): 27-30 (in Chinese)

- [32] Wagner C, Løkke H. Estimation of ecotoxicological protection levels from NOEC toxicity data [J]. *Water Research*, 1991, 25(10): 1237-1242
- [33] GESAMP. GESAMP/GHS 51 Composite List. GHPs for new substances submitted for evaluation to GESAMP/GHS 51. ANNEX 4. [R]. London: GESAMP, 2014
- [34] 国家环境保护局. GB3097—1997 海水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997
- [35] 国家安全生产监督管理总局. 企业安全生产标准化评审工作管理办法(试行)[EB/OL]. (2014-12-11) [2018-10-30]. http://www.chinasafety.gov.cn/zjnsjg/ajes/gggw_403/201106/t20110609_206791.shtml ◆