

基于 PSR 模型海湾风险源识别指标量化及评价 * Quantitative Calculation and Evaluation of Identifying the Indicators for Gulf Risk Source Based on PSR Model

刘静西^{1,2}, 邓超冰^{1,3**}, 刘幽燕¹, 陈洋³, 潘圣^{1,3}

LIU Jing-xi^{1,2}, DENG Chao-bing^{1,3}, LIU You-yan¹, CHEN Yang³, PAN Sheng^{1,3}

(1. 广西大学, 广西南宁 530004; 2. 广西壮族自治区辐射环境监督管理站, 广西南宁 530022; 3. 广西壮族自治区环境监测中心站, 广西南宁 530028)

(1. Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Radiation Environmental Monitoring Station of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning, Guangxi, 530022, China; 3. Environmental Monitoring Center Station of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning, Guangxi, 530028, China)

摘要:【目的】我国水环境污染事件频繁发生, 对水环境、生态环境及社会安全产生严重影响。因此, 构建直观、有效的海湾风险源识别方法以积极应对污染事件非常重要。【方法】基于 PSR(Pressure-State-Response) 分析的模型, 利用层次分析(analytic hierarchy process, AHP)方法, 从风险源特征、环境风险源受体、风险源应急响应能力等方面, 构建海湾风险源识别指标体系, 将矩阵的特征向量作为海湾风险源评价的权重, 在此基础上, 用模糊数学方法进行海湾风险源识别评价。【结果】该方法通过定性和定量方式量化各项指标, 减少人为因素的影响, 综合分析环境风险源各因素造成的影响, 可应用在海湾地区的工业园区环境风险源评价。【结论】该方法可直观地在 GIS 系统标注环境风险源等级, 为日常风险源管理、应急监测等提供可视化应急指挥平台。

关键词: PSR 模型 层次分析 模糊数学 海湾风险源识别

中图分类号: X820.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2015)03-0288-06

Abstract: 【Objective】Water environmental pollution incident occurred frequently in our country, which had serious influence on water environment, ecological environment and social security. Therefore, constructs the intuitive and effective gulf risk source identification method to actively cope with pollution accidents is very important. 【Methods】Based on PSR analysis model with AHP, the identification system of gulf risk source was built, dealing with the aspects of risk source characteristics, environmental risk source receptors, and the emergency response capability of risk source. The feature vectors of the matrix were used as the weighted value of the gulf risk source assessment, based on which, the fuzzy mathematical method was used to estimate the gulf risk source identification. 【Results】By means of qualitative and quantitative indicators, the method reduces the impact of human factors. The comprehensive analyses of environmental risk sources on various factors can be applied to the industrial park in the Gulf of environmental risk assessment. 【Conclusion】This method can label environmental risk rating in GIS system, and provide visual emergency command platform for the daily risk source management and emergency monitoring.

Key words: PSR model, AHP, fuzzy, gulf risk source identification

收稿日期: 2014-11-08

修回日期: 2015-01-05

作者简介: 刘静西(1982-), 女, 工程师, 主要从事环境风险源识别研究。

* 北部湾区域重大环境突发性污染事件应急技术开发与示范项目(2009AA06A416)和广西突发污染事故应急技术研究特聘专家资金项目资助。

** 通讯作者: 邓超冰(1962-), 男, 教授, 主要从事环境污染监测技术研究, E-mail: dcb715@sina.com。

0 引言

【研究意义】随着工业化进程的推进,我国水环境污染事件频繁发生,对水环境、生态环境及社会安全产生严重影响。因此,如何减少和积极应对污染事件的发生非常重要,风险源管理是污染事故预防和控制的前期工作,风险源识别工作是风险源管理的重要环节,近年来我国环境污染事故发生呈上升趋势,所以风险源识别研究是近 10 年的研究热点。**【前人研究进展】**目前,国内外对风险源识别研究以河流、湖库居多,如刘杨华^[1]利用层次分析法对松花江流域开展风险源识别;魏科技^[2]利用指数评价法开展南京化学工业园区风险源识别;李国伟^[3]利用地理信息系统(GIS)技术对三峡库区的风险源进行识别评估,对海湾工业园区环境风险源识别研究尚处于起步阶段。近几年的研究中,断水和危险源的毒性作为社会影响中的一个重点因子来分析,如马越等^[4]对饮用水源地的环境风险源识别,林长喜^[5]对松花江流域内的吉化双苯厂和哈尔滨某石化公司的甲乙酮生产场所的风险源识别,唐行鹏等^[6]构建的流域突发性水污染事故模型等。毒性物质一旦进入饮用水体,如中国石油吉林石化公司爆炸事故导致含苯类污水经过排水系统流入松花江中,将对社会造成极大影响,所以毒性指标是流域风险源识别体系常见指标。在发表的成果中,风险源识别评价指标中从人的健康^[7]作为出发点建立指标体系居多,从环境受体为出发点建模研究得少;以单个危险源^[8]代表整个风险源进行评价居多,从风险源各方面因素综合评价研究得少,评价指标中专家评分的定性结果没有量化标准,人为因素影响较大,容易造成整个评价结果失准。**【本研究切入点】**环境污染事故危害指数法是目前应用较广的环境风险源评价分级方法^[9],与指数法相比,本方法具有细化定性指标和量化评分细则以减少人的主观意识影响、考虑因素覆盖面广、区域针对性较强等特点。**【拟解决的关键问题】**在以往研究基础上,针对海湾工业园区特殊的地理环境,重点考虑环境受体影响和风险源管理制度管理等方面,基于 PSR (Pressure - State - Response) 模型采用层次分析法 (Analytic hierarchy process, AHP) 提出海湾风险源识别指标体系,制定体系指标量化计算模型,利用模糊综合分析法对钦州石化工业园区的环境风险源识别开展实例分析,为风险源管理和环境事故应急处理提供科学依据。

1 体系构建及评价方法

PSR 模型是国家经济合作与发展组织(OECD)广西科学 2015 年 6 月 第 22 卷第 3 期

在 20 世纪 70 年代提出的用于系统的 Pressure(压力)-State(状态)-Response(响应)分析的模型,目前许多部门和组织认为 PSR 模型是适用于环境指标和现状分析最有效的模型分析^[10],近年来开始应用于流域环境风险源模型的建立。

1.1 识别指标选取

目前,国内外风险源识别指标主要按照环境(或健康)的危害程度 R 来选取,既事故发生概率 P 与事故造成的环境(或健康)后果 C 的乘积($R=P \times C$)来表征,重点从职业安全方面考虑人体伤害程度,本文重点从对环境造成的影响和后果考虑。

本文研究的对象为海湾,环境水体不作为日常供水的水源地,因此社会影响重点从海湾特有的红树林自然保护区、滩涂养殖、海域跨界影响和海湾渔业经济方面考虑。

海湾的环境风险体系包含风险源本身和环境受体两部分,本文在以往研究的基础上充分考虑风险源自身软硬件设施、企业的管理、应急应对措施、污染事件发生对周边环境产生的影响和事故应急响应等方面考虑,利用 PSR 模型,从风险源特征、环境受体和风险源应急响应能力 3 个方面综合考虑环境风险源评价因子。

1.2 海湾风险源识别指标体系框架构建

参照邵磊^[11]构建大气环境风险源的模型,采用层次分析法构建海湾风险源识别指标体系,该体系按目标大小分为 4 个层次,分别是目标层 T、准则层 G、主题层 S 和指标层 I,压力用于描述风险源特征因子 S_1 ,状态用于描述环境风险源受体因子 S_2 ,响应用于描述风险源应急响应因子 S_3 。依据海湾特殊地理环境,考虑前期研究的成果,指标层选取 10 个分析因子(包括风险发生概率 I_1 ,工艺装备水平 I_2 ,风险源临界系数 I_3 ,跨界社会影响 I_4 ,生态影响度 I_5 ,水环境影响度 I_6 ,经济损失 I_7 ,事故应急预案 I_8 ,企业管理制度 I_9 和环境监控情况 I_{10})来构建海湾风险源识别指标体系,详见图 1。

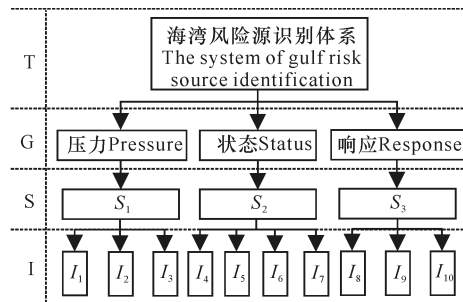


图 1 海湾风险源识别体系

Fig. 1 Identification system of gulf risk source

1.3 识别指标体系权重的确定

通过咨询 10 位专家得到各层指标的因子,按照 Saaty 等^[12]的 1-9 刻度法构建判断矩阵^[13]。只有满足一定条件的矩阵才认为其权重能真实反映评价的对象,所以对于判断矩阵要进行一致性检验。

$$CR=CI/RI,$$

$$CI=(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)。$$

其中: λ_{\max} 为最大特征根; n 为矩阵阶数;RI 为平均随机一致性指标,具体详见表 1;CI 为一一致性检验指标。只有当 $CR < 0.1$ 时,才认为判断矩阵具有满意的一致性,否则需要调整判断矩阵。

表 1 平均随机一致性指标明细表

Table 1 Values of the random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.89	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

目标层对主题层的判断矩阵为

$$T-S = \begin{Bmatrix} 1 & 0.5 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{Bmatrix}。$$

主题层对指标层的判断矩阵为

$$S_1 - I_{1-3} = \begin{Bmatrix} 1 & 1 & 0.5 \\ 1 & 1 & 0.333 \\ 2 & 3 & 1 \end{Bmatrix}, S_3 - I_{8-10} =$$

$$\begin{Bmatrix} 1 & 0.5 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{Bmatrix}, S_2 - I_{4-7} = \begin{Bmatrix} 1 & 0.333 & 1 & 1 \\ 3 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \end{Bmatrix}。$$

各判断矩阵的一致性检验值 CR 分别为 0.046, 0.025, 0.044 和 0.046, 均小于 0.1, 说明各判断矩阵均具有满意的一致性。

汇总各层权重得出海湾风险源识别指标下层因子对上层的权重,详见表 2。由 PSR 模型采用层次分析法计算出各因子权重大小可见,环境风险源受体

表 2 PSR 模型海湾风险源识别指标体系权重值

Table 2 The weighted value of gulf environmental risk source by the application of PSR model

S	I	T-S	S-I	T-I
S ₁	I ₁	0.2599	0.2373	0.0617
	I ₂		0.2001	0.0520
	I ₃		0.5626	0.1462
S ₂	I ₄	0.4126	0.1799	0.0742
	I ₅		0.3708	0.1530
	I ₆		0.1675	0.0691
	I ₇		0.2817	0.1162
S ₃	I ₈	0.3275	0.2599	0.0851
	I ₉		0.4126	0.1351
	I ₁₀		0.3275	0.1072

因子的权重高于风险源特征因子和风险源应急响应因子,指标层的因素中排在前三名的分别是生态影响度、风险源临界系数和企业管理制度,由此可见海湾地区要根据实际情况制定建设项目准入原则,重点做好海湾生态环境的实时监测,同时企业需严格按照规范流程开展生产活动。

2 体系指标量化

参照我国《国家突发环境事故应急预案》^[14],将环境风险源分为四级,分别为特别重大环境风险源(I级)、重大环境风险源(II级)、较大环境风险源(III级)和一般环境风险源(IV级)。

2.1 定性指标量化

该指标可通过制定各级评分标准,由 10 位专家对照标准细则根据各级环境风险源实际情况打分取均值获得,详见表 3。

2.2 定量指标量化

2.2.1 风险发生概率 I₁

将 1×10^{-6} 作为人一生可接受的风险参考值,本文参照这个值进行事故发生概率等级的划分。

2.2.2 风险源临界系数 I₃

采用风险源的危险物实际存储量与《危险化学品重大危险源辨识》(GB 18218-2009)^[15]中规定的危险物质的临界量之比作为该因子的量化值,计算公式如下:

$$I_3 = \frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots + \frac{q_n}{Q_N}。$$

式中: q_n 为每种风险物质实际存在或者以后将要存在的量,且数量超过各风险物质相对应临界量的 2%(t); Q_N 为与各危险物质相对应的生产或储存场所的临界量(t)。

2.2.3 生态影响度 I₅

通过对风险源进行调查,按照张治华等^[16]研究的分级标准和权重值计算得出(表 4)。

$$I_{ij} = \sum_{m=1}^n I_{ijw} W_m。$$

其中, I_{ij} 为生态敏感区评价得分; W_m 为相对应的权重。

2.2.4 水环境影响度 I₆

用事故特征因子在排污口的实际浓度值与该点标准值的比值来确定,标准值参照《海水水质标准》(GB3097-1997)^[17]执行:

$$I_6 = C_i / C_0。$$

其中: C_i 为特征污染物的实际浓度值(mg/L); C_0 为特征污染物的标准浓度值(mg/L)。

2.2.5 经济损失 I_7

经济损失是环境污染事故对环境造成的经济损失,其分级标准参考《国家突发环境事件应急预案》

案》^[14]中突发环境事件的分级内容进行分级。

基于上述指标获取方式,汇总各定量指标分级标准,详见表 5。

表 3 定性指标分级标准

Table 3 Grading standards of qualitative indicators

Standard values	I_2	I_4	I_8	I_9	I_{10}
I = 10	Backward level in China, with a simple examination, maintenance and repair of the equipments, simple explosion-suppression explosion-proof, leak-proof devices.	The range of the pollution accidents is transnational or trans-regional.	Noemergency plans, having a simple emergency, monitoring, transportation, communication, self-protection configuration and other equipment and supplies, and reserves.	Simple environmental management system with occasional safety inspection. Safety regulations and agency personnel settings are not perfect.	No environmental monitoring.
II = 5	Ordinary level in China, with examination, maintenance and repair of the equipments, explosion suppression explosion-proof, leak-proof devices, simple accidental discharge and processing devices.	The range of the pollution accidents is trans-provinces or trans-autonomous region.	There are emergency plans, having a more complete emergency response, monitoring, transportation, communication, self-protection configuration and other equipment and supplies, and reserves.	Developing a good environmental management system. Original records and statistics are complete and valid. There are regular safety inspection and implementation of safe production responsibility system. There are safety regulations and agency personnel settings.	Manual monitoring.
III = 3	Advanced level in China, with the plan in strict for examination, maintenance and repair of the equipments, explosion suppression explosion-proof, leak-proof devices, simple accidental discharge and processing devices.	The range of the pollution accidents is trans-city.	There are emergency plans, having a fully equipped emergency response, monitoring, transportation, communication, self-protection configuration and other equipment and supplies, stock; a comprehensive emergency command information system, emergency response system, equipped with the necessary communications equipment.	Established and operated under ISO14000 environmental management system certification or ISO9000 quality management system certification; environmental management system is well set. There are complete and valid original records and statistics. There are regular safety inspection and implementation of safe production responsibility system. There are safety regulations and agency staffing.	Automatic online monitoring (conventional indicators).
IV = 1	Advanced level in international, with the plan in strict for examination, maintenance and repair of the equipments, explosion suppression explosion-proof, leak-proof devices, perfect accidental discharge and processing devices.	The range of the pollution accidents is trans-village or trans-town.	A detailed emergency plan, having advanced emergency response, monitoring, transportation, communication, self-protection configuration and other equipment and supplies, stock; a comprehensive emergency command information system, emergency response system, equipped with the necessary communications equipment; regularly training emergency management personnel and related professional and technical personnel, from time to time to carry out combat training.	Established and operated under ISO14000 environmental management system certification or ISO9000 quality management system certification, with regular safety inspection and strictly implement of the safety production responsibility system; safety regulations and agency personnel system settings; periodically conduct hazard evaluation and rectification.	Automatic online monitoring (conventional index + industry characteristics indicators).

表 4 生态敏感区评价得分-权重值对应表

Table 4 Weighted values of ecologically sensitive areas

名称 Name	各级标准值 Standard values of esch grade				权重 Weighted value
	I = 10	II = 5	III = 3	IV = 1	
自然保护区 The area of nature reserve	核心区 Core area	缓冲区 Buffer area	边缘区 Fringe area	其他 Others	0.3602
红树林生长区 The area of mangroves forest	核心区 Core area	缓冲区 Buffer area	边缘区 Fringe area	其他 Others	0.3602
湿地 Wet land	核心区 Core area	缓冲区 Buffer area	边缘区 Fringe area	其他 Others	0.3602
海洋功能区 Marine function zone	生态控制区 Ecological control area	渔业区 Fishing area	工程用海区 Engineering sea area	垃圾排放区 Waste discharge area	0.1560

表 5 定量指标分级标准

Table 5 Grading standards of quantitative indicators

指标名称 The name of index	I_1 (a^{-1})	I_3	I_5	I_6	I_7 (千万元 Ten million yuan)
I	1×10^{-3}	30000	>12	>10	>1000
II	1×10^{-4}	3000	6	5	100
III	1×10^{-5}	300	3.5	3	5
IV	1×10^{-6}	30	<1.2	<1	<0.5

2.3 评价方法

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$ 由于海湾风险源识别指标体系是由多个因素决定的,每个因素影响大小都不同,如果采用传统的指标系统法来评价,不能准确的作出客观评价。本文参照相关文献,确定好各指标的等级划分,采用模糊综合评价法的隶属度来确定单因子在等级间的隶属值,从而得出该评价矩阵中最大隶属值来确定评价等级。模糊综合评价法解决了因子间单位、数据跨度不统一等问题,客观的反映多因子间相互影响的最终结果,具有客观、准确、合理的特点,具体步骤如下:

(1) 建立模糊综合评价集 $U: A = \{a_1, a_2, \dots, a_s\}$ 。

(2) 建立 U 集各因素的权重,该权重值由层次分析法计算值确定,详见表 2。

$$R = \begin{Bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1k} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{s1} & b_{s2} & \dots & b_{sk} \end{Bmatrix}。$$

(3) 建立因素 u_i 关于评价等级标准的隶属函数 $f(x)$, 用 B_i 作为它的单因素评判,可构成单因素评判矩阵 R [18]。

(4) 各项目的权重 A 与隶属函数 R 的乘积可得到一个因素集函数 $B = A \cdot R$ 。

(5) 在各因素集 B 中找出最大隶属值,其对应的评价等级即是其多级模糊综合评价结果。

3 实例分析

钦州石化工业园区位于钦州湾,该湾是一个半封闭的天然海湾,园区内排查出的环境风险源共 11 家,分别用字母 A~K 表示。以 A 厂为例,该厂主要进行原油加工及石油制品制造,调查得知,其储罐库区、生产场所和转运场所分别贮存原油、汽油、烃类化合物和苯,其各项指标值详见表 6。

根据表 6 数据进行隶属度计算并对结果进行识别。

$$B = A \cdot R = A \cdot \begin{bmatrix} 0.131 & 0.869 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.761 & 0.239 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.053 & 0.947 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

(0.146 0.116 0.110 0.135)。

表 6 A 厂指标值汇总表

Table 6 Summary table of index value of A factory

I	指标值 Index of value	I	指标值 Index of value
I_1	1.18×10^{-4}	I_6	0.004
I_2	1	I_7	10
I_3	114034	I_8	1
I_4	3	I_9	1
I_5	5.403	I_{10}	1

根据最大隶属度原则,得到 A 厂为特别重大环境风险源(I 级)。以此类推,该园区 11 家企业的环境风险等级详见表 7,即一般环境风险源 1 家,较大环境风险源 7 家,重大环境风险源 1 家,特别重大环境风险源 2 家。

表 7 11 家企业水环境风险源识别分级表

Table 7 Grading sheet of the water environmental risk source identification of 11 factories

名称 Name	隶属度 Degree of membership				等级 Class
	I	II	III	IV	
A	0.146	0.116	0.110	0.135	I
B	0.116	0.117	0.110	0.107	II
C	0.146	0.116	0.112	0.094	I
D	0	0.107	0.125	0.107	III
E	0	0.107	0.125	0.069	III
F	0	0.028	0.125	0.069	III
G	0	0.124	0.125	0.107	III
H	0	0.071	0.122	0.116	III
I	0	0.016	0.122	0.116	III
J	0	0.021	0.107	0.133	IV
K	0	0.097	0.125	0.116	III

4 结论

基于 PSR 分析的模型,利用层次分析方法,构建海湾风险源识别指标体系,将矩阵的特征向量作为海湾风险源评价的权重,在此基础上,用模糊数学方法

进行海湾风险源识别评价,避免单一就企业中的某种危险源评价确定等级,而从环境管理、行业风险概率、海湾生态环境和危险源大小等各方面进行综合评价,根据实际情况不考虑以往文献中常用的人体健康评价因子,客观真实的反映环境风险源,是一种新的海湾风险源识别评价方法。采用层次分析法确定指标因子权重,可减少人的主观意识影响,提高权重的可信度,应用层次分析法结合模糊综合评价法分析评价集,科学解决了评价指标单位不统一,不用数值归一化也能准确量化不同数值范围的问题。明确定性量化模型各级评分细则,避免打分跨度不一影响量化结果,依据实际调查数据量化定量模型结果,真实评价海湾环境风险源。研究结果表明,该方法可应用在海湾地区的工业园区环境风险源评价,直接在 GIS 系统标注环境风险源等级,为日常风险源管理、应急监测等提供直观的可视化应急指挥平台。

参考文献:

[1] 刘杨华. 基于安全理论的突发性水污染事故环境风险识别研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
Liu Y H. Research on Environmental Risk Source Identification of Sudden Water Pollution Accident Based on Safety Theory[D]. Harbin: Harbin Institute University, 2011.

[2] 魏科技. 南京化学工业园区重大环境风险源识别研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.
Wei K J. Study on Identification of Major Environmental Risk Source in Nanjing Chemical Industry Park[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.

[3] 李国伟. 基于 GIS 的三峡库区事故型水环境污染风险评估与水污染扩散模拟研究[D]. 重庆:西南大学,2014.
Li G W. Study on Risk Assessment of Water Environment Pollution of the Accident Type and Simulation of the Water Pollution Diffusion in the Three Gorges Reservoir Area Based on GIS[D]. Chongqing: Xinan University, 2014.

[4] 马越,彭剑峰,宋永会,等. 饮用水源地突发事故环境风险分级方法研究[J]. 环境科学学报,2012,32(5):1211-1218.
Ma Y, Peng J F, Song Y H, et al. Study on the classification method of environmental risk for sudden accidents in drinking water sources[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(5): 1211-1218.

[5] 林长喜. 跨界重点水污染事故风险识别技术体系的研究及应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
Lin C X. Research and Application of Trans Boundary Risk Source Identification of Hazardous Water Pollution Accidents[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology,

2009.

[6] 唐行鹏,刘宝玲,尤宏,等. 流域突发性水污染事故风险分区方法研究[J]. 安全与环境学报,2013,13(1):276-280.
Tang X P, Liu B L, You H, et al. New approach to attacking the unexpected water environmental pollution hazards-zone-division[J]. Journal of Safety and Environment, 2013, 13(1): 276-280.

[7] 李跃宇,卢彬,宋永会,等. 基于公众健康的大气环境风险源定量分级方法[J]. 环境科学研究,2012,25(1):83-88.
Li Y Y, Lu B, Song Y H, et al. Hierarchy method for source quantification of atmospheric environmental risk based on public health[J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(1): 83-88.

[8] 成西娟,孟晓杰,舒俭民. 化工石化行业环境风险评价[J]. 环境工程,2010,28(5):98-106.
Cheng X J, Meng X J, Shu J M. Environmental risk assessment on chemical and petrochemical industries[J]. Environmental Engineer, 2010, 28(5): 98-106.

[9] 郭振仁,张剑鸣,李文禧. 突发性环境污染事故方法与应急[M]. 北京:中国环境科学出版社,2009.
Guo Z R, Zhang J M, Li W X. Management of Environment Pollution Accidents[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2009.

[10] 许林玉,刘贵有. 区域环境风险评价方法的研究[J]. 环境管理,2009,90(1):3290-3296.
Xu L Y, Liu G Y. The study of a method of regional environmental risk assessment[J]. Environ Manage, 2009, 90(1): 3290-3296.

[11] 邵磊. 跨界突发性大气环境风险源分级评价研究[D]. 大连:大连理工大学,2009.
Shao L. Study on the Classification and Assessment of Cross-border Emergent Atmospheric Environment Risk Sources[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009.

[12] Saaty T L, Bennett J P. A theory of analytical hierarchies applied to political candidacy[J]. Behavioral Science, 1977, 22: 237-245.

[13] 张明广,蒋军成. 基于层次分析法的重大危险源模糊综合评价[J]. 南京工业大学学报:自然科学版,2006,28(2):31-34.
Zhang M G, Jiang J C. Application of analytical hierarchy process in hazard degree assessment of major hazard installations[J]. Journal of Nanjing University of Technology(Natural Science Edition), 2006, 28(2): 31-34.

(下转第 307 页 Continue on page 307)

- radar altimeters: Consistency with electromagnetic modeling [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2005, 22(6): 771-781.
- [12] Tran N, Zanife O Z, Chapron B, et al. Absolute calibration of Jason-1 and Envisat altimeter Ku-band radar cross sections from cross comparison with TRMM precipitation radar measurements [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2005, 22(9): 1389-1402.
- [13] Liao L, Meneghini R. Changes in the TRMM version-5 and version-6 precipitation radar products due to orbit boost [J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2009, 87: 93-107.
- [14] Liao L, Meneghini R. Validation of TRMM precipitation radar through comparison of its multiyear measurements with ground-based radar [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2009, 48(4): 804-817.
- [15] Cox C, Munk W. Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the suns glitter [J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1954, 44(11): 838-850.
- [16] Cox C, Munk W. Statistics of the sea surface derived from sun glitter [J]. *Journal of Marine Research*, 1954, 13(2): 198-227.
- [17] Cox C, Munk W. Slopes of the sea surface deduced from photographs of sun glitter [J]. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 1956, 6(9): 401-488.
- [18] Klein L A, Swift C T. Improved model for dielectric-constant of sea-water at microwave-frequencies [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1977, 25(1): 104-111.
- [19] Karaev V, Kanevsky M, Meshkov E. The effect of sea surface slicks on the Doppler spectrum width of a backscattered microwave signal [J]. *Sensors*, 2008, 8(6): 3780-3801.
- [20] Hasselmann K, Barnett T, Bouws E, et al. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP) [J]. *Dtsch Hydrogr Z Suppl A*, 1973, 8(12): 289-300.

(责任编辑:尹 闯)

(上接第 293 页 Continue from page 293)

- [14] 环境保护部环境应急指挥领导小组办公室. 环境应急管理概论 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
Environmental Emergency Command Leading Group Office, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Introduction to Environmental Emergency Management [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011.
- [15] 国家质量技术监督局. GB18218—2009 危险化学品重大危险源识别 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
State Bureau of Quality Technical Supervision. GB18218—2009 Hazardous Chemicals Major Hazard Identification [S]. Beijing: China Standard Press, 2009.
- [16] 张治华, 徐建华, 韩贵锋. 生态敏感区划分指标体系研究——以北部湾(广西)经济区为例 [J]. *中国东西部合作研究*, 2007, 4: 89-96.
Zhang Z H, Xu J H, Han G F. Study on index system ecologically sensitive zoning: Beibu Gulf Economic Zone (Guangxi) for example [J]. *The Working Papers of RCEWCC*, 2007, 4: 89-96.
- [17] 国家环境保护总局. GB3097—1997 海水水质标准 [S]. 北京: 环境科学出版社, 1998.
State Environmental Protection Administration. GB3097—1997 Sea Water Quality Standard [S]. Beijing: Environmental Science Press, 1998.
- [18] 吕康. 重点危险源环境风险评价及分级方法研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
Lv K. Study on the Environment Risk Assessment and Grade Method for Major Hazard Installations [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008.

(责任编辑:陆 雁)