

# 突发性水污染事故应急监测及预案评估应用实证

——基于模糊层次综合评判法

雷霄<sup>1,2</sup>, 李冬<sup>3</sup>, 寇蓉蓉<sup>3</sup>, 王明良<sup>4</sup>, 魏东洋<sup>3</sup>, 刘雪瑜<sup>2</sup>, 黎佳茜<sup>2</sup>

1. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070;
2. 中国环境科学研究院水生态环境研究所, 北京 100020;
3. 生态环境部环境发展中心, 北京 100029;
4. 中国交通建设股份有限公司, 北京 100088)

**摘要:** 近年来突发性水污染事故频繁发生, 及时准确地开展水污染事故应急监测、评估和水污染治理的需求越来越迫切。该研究以某江突发性水污染事故为例, 结合现场水质检测结果, 提出基于模糊综合评判法和层次分析法的应急监测以及预案评估, 量化水质状态, 分析水质影响的主要污染源; 同时结合层次分析法制定针对性的水污染应急预案。结果表明: 该评估方法准确量化了不同监测位置的多种重金属污染的水环境状态, 明确了造成应急期间水质恶化的主要原因为镉超标; 基于制定的应急预案, 综合评估了管控措施的总分为72.7, 应急能力属于一般; 后期应在仪器配置、文件系统等储备能力、监测能力以及迅捷方面改善以进一步提升总体应急能力。

**关键词:** 突发性水污染事故; 模糊综合评判法; 层次分析法; 应急监测; 应急预案评估

中图分类号: X83

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022080014

## Application of emergency monitoring and plan evaluation for sudden water pollution accidents

——Based on fuzzy hierarchical comprehensive evaluation method

LEI Xiao<sup>1,2</sup>, LI Dong<sup>3</sup>, KOU Rongrong<sup>3</sup>, WANG Mingliang<sup>4</sup>, WEI Dongyang<sup>3</sup>, LIU Xueyu<sup>2</sup>, LI Jiaxi<sup>2</sup>

1. College of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;
2. Institute of water ecological environment, Chinese Academy of Environmental Sciences, Beijing 100020, China;
3. Environmental development center of the Ministry of ecology and environment, Beijing 100029, China;
4. China Communications Construction Company Limited, Beijing 100088, China)

**Abstract:** In recent years, sudden water pollution accidents have occurred frequently, and the need for timely and accurate emergency monitoring, evaluation, and treatment of water pollution accidents is becoming increasingly urgent. Taking a sudden water pollution accident in a certain river as an example, combined with on-site water quality testing results, this study proposed an emergency monitoring and plan evaluation based on fuzzy comprehensive evaluation and analytic hierarchy process, quantifying water quality status and analyzing the main pollution sources affected by water quality. At the same time, targeted emergency plans were formulated for water pollution based on the analytic hierarchy process. The results showed that the assessment method accurately quantified the water environment status of various heavy metal pollution at different monitoring locations, and identified the main cause of water quality deterioration during the emergency period as cadmium exceeding the standard. Based on the developed emergency plan, the total score of the comprehensive evaluation of the control measures was 72.7, indicating that the emergency capacity was average. In the later stage, improvements should be made in the instrument configuration, file system, and

收稿日期: 2022-08-09 录用日期: 2022-09-19

基金项目: 国家“水体污染控制与治理”科技重大专项(2018ZX07110-007)

作者简介: 雷霄(1994—), 女, 硕士研究生。研究方向: 流域水污染控制及环境管理。E-mail: 1002059890@qq.com

通信作者: 寇蓉蓉(1978—), 女, 硕士、高级工程师。研究方向: 生态环境技术评估与工业园区环境管理研究。E-mail: 15165127@qq.com;

黎佳茜(1990—), 女, 硕士、助理研究员。研究方向: 固体废物处理与资源化研究。E-mail: 1098385737@qq.com

引用格式: 雷霄, 李冬, 寇蓉蓉, 等. 突发性水污染事故应急监测及预案评估应用实证——基于模糊层次综合评判法[J]. 环境保护科学, 2023, 49(5): 76-82.

other reserve capabilities, monitoring capabilities, and agility to further enhance the overall emergency response capability.

**Keywords:** sudden water pollution accident; fuzzy comprehensive evaluation method; analytic hierarchy process; emergency monitoring; emergency plan assessment

**CLC number:** X83

近年来,国内外突发性水污染事故频发,对水环境质量造成严重危害,已经成为当前流域水环境保护亟须解决的问题<sup>[1]</sup>。突发性水污染事故不同于一般的水环境污染事件,具有随机性、复杂性以及重大危害性等特点<sup>[2]</sup>。重金属及有毒有害化学品的泄漏,使得水质恶化,对社会、经济和环境的影响极其严重。因此,开展突发性水污染事故的应急监测以及预案评估研究,实时掌握水污染事故动态演变对于制定针对性的应急管理预案是必不可少的;同时,综合评定应急预案的合理性亦是水污染控制的重中之重<sup>[3]</sup>。

应对突发性水污染事故重在针对实况快速有效地做出反应,因此水质状态的监测以及完善有效的应急预案是应对突发事件的有效方法。2008年,环境保护部发布了《环境污染事故应急预案编制技术指南(征求意见稿)》<sup>[4]</sup>,以指导各单位制定应急预案;20世纪末,国外发布了不同类型的应急预案编制指南与应急预案评估标准,主要包括应急预案的内容、使用等<sup>[5-6]</sup>。考虑应急预案的完整性、可操作性、有效性、处置的快速性以及费用的合理性等定性指标,采用基于模糊层次综合评判法对水质状态进行监测,并对应急预案进行评估<sup>[7]</sup>。模糊综合评判法基于模糊数学原理,能够解决传统方法无法解决的多种评价指标之间的模糊性问题。层次分析法则是一种定性和定量相结合的多指标、多层次的决策分析方法。模糊层次综合评判法准确性高,应用于风险评估、政策评估等领域。GYRGY et al<sup>[8]</sup>研究指出多瑙河突发性污染事故应急预警系统应该主要侧重于突发性污染事故发生的跨界影响;RASEKH et al<sup>[9]</sup>开发了饮用水污染事件应急处理系统,用以处理不同阶段的饮用水污染事件,使用自适应模型进行模拟确定最佳应急响应方案;王敏等<sup>[10]</sup>、杨国洪<sup>[11]</sup>采用层次分析-模糊综合评价法,分别对制浆造纸的水污染控制技术和节水减排措施进行了综合评估和优选。

本文通过引入模糊综合评判法和层次分析法,并参考国内外应急评估标准和应急预案编制指南,尝试构建了突发性水污染事故应急预案评估指标

体系;以某江突发性水污染事故为具体案例,开展了突发性水污染事故的应急监测以及预案评估研究。通过应急监测及评估,找出现有水污染事故应急预案的缺点与不足,为后续的事故预防、管理以及事故处理提供参考。

## 1 模糊层次综合评判法

### 1.1 模糊综合评判法

采用模糊综合对水环境安全状态进行评价,其中模糊综合评判法的基本思想是利用模糊数学原理和最大隶属度原则,以模糊推理为主的定性与定量相结合、精确与非精确相统一的分析评价方法<sup>[12-14]</sup>。其具体步骤如下。

(1)建立信息因素集 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 和评判等级集 $V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ 。

(2)确定模糊权向量 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ 。权重就是各信息因素对总体污染物影响强度的贡献及对人类身体健康影响效应的比重。其可通过每种污染物各级标准值的算术平均值归一化确定。

(3)建立模糊判断矩阵。信息因素集中的 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 作为单因素评价,从信息因素集合 $x_i$ 中选择落实评判等级 $(j=1, 2, 3, 4, 5)$ 的隶属程度 $r_{ij} = \{r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4}, r_{i5}\}$ ,进而,用 $n$ 类信息因素集合的评价创建出总的模糊判断矩阵 $R$ 。

(4)进行模糊综合评判。根据模糊综合评判原理,将模糊权向量 $W$ 和模糊判断矩阵 $R$ 代入模糊综合评判模型中进行计算,得到模糊综合评判结果,见式(1):

$$B = W \times R \quad (1)$$

### 1.2 层次分析法

针对水环境安全的模糊综合评判结果,采用层次分析法作出应急预案的处置程序,构建突发性水污染事故应急预案的评估指标结构与各指标的权重,并利用线性加权评估模型计算应急评估结果<sup>[15-17]</sup>。

(1)构建多层次的要素评估指标体系。基于层次分析法,将评估指标体系分成几个层次,主要包括4个基本层次结构,其中最高一层为目标层,依次为主因素层、因素层和要素层。目标层为

评估的总目标,主因素层是最高层次的主要评估指标,因素层是主要评估指标下面的若干因素,要素层作为指标体系的最基层,用于检测的指标。

(2)构造判断矩阵。通过引入 1~9 标度法,将每一层次中各因素的重要性进行对比并给出具体判断,得到判断矩阵,见式(2):

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \cdots & C_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,矩阵中 $C$ 的元素 $C_{mn}$ 表示元素 $C_m$ 相对于 $C_n$ 的重要程度,即所在位置的“行元素”与“列元素”之间的重要性比较。

(3)计算复合权重。

计算判断矩阵的特征向量,即评估指标的权重 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ ,见式(3):

$$W_i = \frac{\overline{W}_i}{\sum_{j=1}^n \overline{W}_j} \quad (3)$$

式中, $\overline{W}_i = \sqrt{M_i}$ , $M_i$ 为判断矩阵每一行元素的乘积。

计算平均权重。根据专家打分法,对于 $k$ 个专家,每个指标就有 $k$ 个权重值,第 $j$ 个专家对指标 $i$ 的权重值为 $W_{ij}$ ,对 $k$ 个权重值取算术平均可得到各个指标的平均权重,见式(4):

$$W_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k W_{ij} \quad (4)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$ 。

计算复合权重。由上述计算可得各个指标针对上一层次的权重值,通过逐层相乘可得到各个指标对最终评估对象的合权重集合 $W^* = \{W_1^*, W_2^*, \dots, W_n^*\}$ 。

(4)判断矩阵的一致性检验。为了保证采用层次分析法得到的结果基本合理,必须对构造的判断矩阵进行一致性检验,用一致性指标 $CI$ 来判断结果是否具有满意的一致性。见式(5):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n-1)\lambda_{\max}} \quad (5)$$

式中, $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(CW)_i}{nW_i}$ 。

当 $CI$ 为 0 时,判断矩阵 $C$ 为一致矩阵列; $CI$ 越小,一致性越高。

(5)计算评估结果。利用线性加权评估模型计

算出综合得分并进行等级划分,可得到应急预案的综合评估结果 $T$ ,见式(6):

$$T = 10^2 \text{权} \sum_{i=1}^n W_i^* P_i T = 10^2 \text{权} \sum_{i=1}^n W_i^* P_i \quad (6)$$

式中, $P_i$ 为各个指标的标准化值。

## 2 应用实证

以我国广西贺州市某江流域水质污染情况为研究对象,基于上述突发性水污染事故应急监测以及预案评估方法,采用 matlab 平台实现模糊综合评判法和层次分析法在水质状态监测和应急预案评估中的应用<sup>[18-20]</sup>。

### 2.1 某江镉污染事故概况

2013 年 7 月,广西贺州市某江流域发生突发性水污染事故,在贺州市与广东省交界断面扶隆监测点检测出有害物质,其中水质镉超标 1.9 倍。经调查,此次突发性水污染事故是由某江上游马尾河一带的矿企偷排未经处理的废水引起的,造成约为 110 km 的河流被污染,对流域生态系统与水环境安全造成了严重威胁<sup>[21-22]</sup>。

### 2.2 水污染事故的应急监测

为了验证本文建立的模糊综合评判法的适用性,结合某江污染事故应急期间(2013 年 7 月 9 日至 20 日)不同监测断面的监测数据,采用模糊综合评判法对某江流域的水环境安全进行定量综合评价,从某江流域上游龟石水库至某江与西江交汇口的下游河段共设置 5 个监测点(编号为 $S_1 \sim S_5$ ),监测点位依次为龟石水库、马尾河口、贺街大桥、扶隆浮桥以及西江交汇口下游。某江流域水系概化,见图 1<sup>[23]</sup>。

(1)基于监测数据建立信息集 $U = \{Cd, As, Pb, Cr, Hg\}$ 和评价等级集 $V = \{I, II, III, IV, V\}$ 不同监测断面的监测数据见表 1,根据《地表水环境质量标准:GB 3838—2002》,确定 5 种评价指标的水质评价标准。

(2)权重计算。根据模糊综合评判法确定某江污染事故应急期间的模糊权向量,并将每种污染物各级标准值的算术平均值进行归一化处理,得到模糊权向量 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ ,见表 2。

(3)采用模糊综合评判模型进行运算,根据最大隶属度原则来确定不同监测断面的水质级别,将模糊权向量 $W$ 和模糊判断矩阵 $R$ 代入模糊综合评判

模型中进行计算,通过  $B = W \times R$  运算,可得到各断面的模糊综合评判,见表 3。

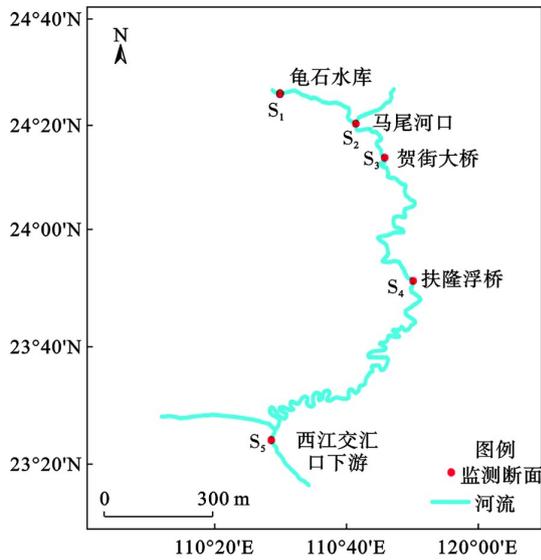


图 1 某江流域水系概化图

Fig. 1 Schematic diagram of water system of a river basin

表 3 可知,  $S_1$  监测断面对 I 类水的隶属度为 0.392 8, 对 II 类水的隶属度为 0.242 9, 对 III 类水的

隶属度为 0.364 3, 对 IV、V 类水的隶属度均为 0, 根据隶属度最大原则, 整个监测断面对 I 类水的隶属度最大, 因此,  $S_1$  监测断面的水质级别属于国家标准 I 类, 根据水域功能的划分可知  $S_1$  监测断面水质状态不存在安全风险; 同理,  $S_5$  监测断面的水质级别属于国家标准 III 类, 而  $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  监测断面的水质级别均属于国家标准 V 类, 水环境质量较差, 由于 3 个监测断面的镉的监测值均严重超过了 GB 3838—2002 中 V 类标准, 各评价指标中镉的权重值分别为 0.859 4、0.859 8、0.618 3, 因此, 导致某江污染事故应急期间水质恶化的主要原因为镉超标。对 5 个监测断面的水质由差到好的排序依次为扶隆浮桥、贺街大桥、马尾河口、西江交汇口下游、龟石水库。可见, 各断面所判断的水质类别与实际情况相符, 说明模糊综合评判法在水环境质量评价中取得良好的效果。综上所述, 在某江污染事故发生时, 应该主要对  $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  监测断面所在的水域加强管理, 并制定水污染事故应急响应预案, 进而改善该区域内水质环境质量。

表 1 某江污染事故应急期间的监测结果

Table 1 Monitoring results during the emergency period of a river pollution accident

编号	监测断面	Cd	As	Pb	Cr	Hg
$S_1$	龟石水库	0.000 15	0.000 99	0.002 37	0.001 08	0.000 08
$S_2$	马尾河口	0.037 99	0.035 65	0.020 17	0.001 18	0.000 09
$S_3$	贺街大桥	0.017 86	0.018 06	0.009 42	0.001 04	0.000 03
$S_4$	扶隆浮桥	0.013 00	0.020 52	0.001 17	0.003 37	0.000 51
$S_5$	西江交汇口下游	0.000 43	0.005 91	0.003 66	0.002 25	0.000 19

表 2 某江污染事故应急期间评估指标权重的归一化结果

Table 2 Normalized results of assessment index weights in the emergency response period of a river pollution accident

编号	监测断面	Cd	As	Pb	Cr	Hg
$S_1$	龟石水库	0.096 3	0.047 2	0.179 9	0.069 4	0.607 2
$S_2$	马尾河口	0.859 4	0.059 9	0.053 9	0.002 7	0.024 1
$S_3$	贺街大桥	0.859 8	0.064 6	0.053 6	0.005 0	0.017 1
$S_4$	扶隆浮桥	0.618 3	0.072 5	0.006 6	0.016 0	0.286 6
$S_5$	西江交汇口下游	0.114 0	0.116 4	0.114 7	0.059 6	0.595 3

### 2.3 应急预案评估

由于区域性水质污染事故时有发生, 当水环境遭遇突发性事故时, 首先基于模糊综合评判法定量获取区域水质状态指标, 进而准确合理地制定水污

染应急状态紧急预案。有效地进行水污染应急预案评估对于水污染应急预警和水污染物控制是行之有效的方法。

应急预案在水污染事故中暴露出内容不全、操

作性差、指导性不强等问题,因此,有必要建立专家评审制度,以通过专家打分来指导突发性水污染事故提高应急预案的有效性<sup>[24]</sup>。针对某江镉污染事故,首先假设安排 5 名专家,其研究领域分别为污染防治、环境影响评价、生态保护、环境监测以及环境管理等领域,采用专家打分法将各种影响因素

指标列出并确定评分标准,对每个指标的重要性进行评估。在突发性水污染事故的应急预案评估过程中,综合考虑应急物资储备、样品采集、样品分析、后勤协调等各应急预案,构建突发性水污染事故应急预案评估体系<sup>[25]</sup>,见图 2。

表 3 某江污染事故应急期间模糊综合评判结果

Table 3 Fuzzy comprehensive evaluation results of a river pollution accident during the emergency period

编号	监测断面	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	水质类别
S <sub>1</sub>	龟石水库	0.392 8	0.242 9	0.364 3	0	0	I
S <sub>2</sub>	马尾河口	0.062 6	0.045 0	0.033 0	0	0.859 4	V
S <sub>3</sub>	贺街大桥	0.140 2	0	0	0	0.859 8	V
S <sub>4</sub>	扶隆浮桥	0.095 1	0	0.156 1	0.130 6	0.618 3	V
S <sub>5</sub>	西江交汇口下游	0.404 7	0	0.535 8	0.059 5	0	III

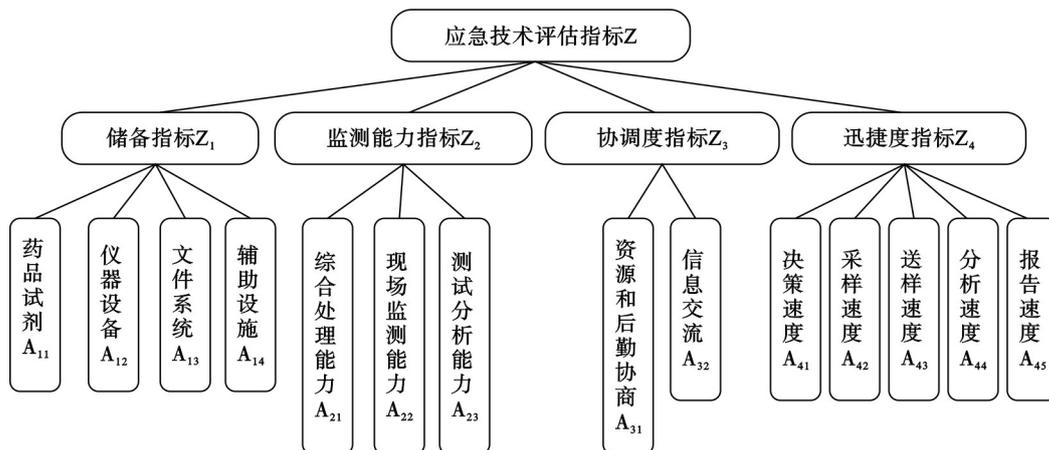


图 2 突发性水污染事故应急预案评估体系

Fig. 2 Evaluation system of emergency plan for sudden water pollution accidents

(1)通过对 5 名专家进行打分,依据每一层次中各因素的重要性,逐层建立判断矩阵,进而确定各级评估指标的权重值,根据计算得出的权重和线性加权模型可得到应急预案的综合评估结果,见表 4。

(2)利用线性加权模型计算出综合得分,将评估结果根据等级划分为 I ~ V 级,分别为:90 ~ 100(优秀)、75 ~ 90(良好)、50 ~ 75(一般)、25 ~ 50(较差)、0 ~ 25(很差),其中,对于水体应急预案的改进对策分别为:保持、适当加强、加强、急需加强以及迫切需要加强。

根据评估结果等级划分(I ~ V 级)的应急评估结果显示,本次提出的水体污染应急预案的评估总分为 72.7 分,评估结果等级属于 III 级,结果属于

一般,对于水体的应急监测总体能力还需加强。一级指标的分值分别为: $Z_1$  为 56.3 分, $Z_2$  为 67.7 分, $Z_3$  为 85.2 分, $Z_4$  为 66.1 分,根据评估结果等级划分(I ~ V 级)得出协调度指标  $Z_3$  评估结果为良好, $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_4$  指标评估结果均属于一般,因此应主要提升仪器配置、文件系统等储备能力、监测能力以及迅捷能力等方面的应急监测能力。

由于本文建立的应急预案评估方法是根据评估指标体系对突发性水污染事故应急预案进行打分,评估过程中存在较大的主观性,会出现不同的人对应急预案评分不同的情况。在突发性水污染事故应急预案的评估实践中可采用多人评分取平均值或专家小组讨论后共同打分的方法来降低打分过程中的主观性。

表 4 各级评估指标的权重值、应急预案的综合评估结果

Table 4 Weight values of evaluation indicators and comprehensive evaluation of emergency plan

一级指标	一级权重	二级指标	二级权重	三级指标	三级权重	三级指标 标准化值	二级指标 分值	一级指标 分值
储备指 标Z <sub>1</sub>	0.143 9	药品试剂A <sub>11</sub>	0.175 6	采样固定剂B <sub>111</sub>	0.122 0	1	100	56.3
				实验室测试试剂B <sub>112</sub>	0.319 6	1		
				质控样B <sub>113</sub>	0.558 4	1		
		仪器设备A <sub>12</sub>	0.453 7	采样瓶数B <sub>121</sub>	0.065 1	0.5	32.9	
				采样工具B <sub>122</sub>	0.058 2	0.2		
				现场分析仪器及试剂包B <sub>123</sub>	0.461 2	0.2		
				玻璃器具B <sub>124</sub>	0.115 1	0.5		
				分析仪器B <sub>125</sub>	0.300 5	0.2		
		文件系统A <sub>13</sub>	0.266 2	应急预案B <sub>131</sub>	0.162 7	0.5	77.6	
				应急监测方案模板及报送 模板B <sub>132</sub>	0.440 3	1		
				采样记录模板B <sub>133</sub>	0.153 0	0.5		
				分析记录模板B <sub>134</sub>	0.111 1	1		
		辅助设施A <sub>14</sub>	0.104 5	交接记录模板B <sub>135</sub>	0.133 0	0.5	30	
				应急专用手机B <sub>141</sub>	0.666 7	0.2		
监测 能力 指标Z <sub>2</sub>	0.416 4	综合处理能力A <sub>21</sub>	0.093 6	防护用具B <sub>142</sub>	0.333 3	0.5	42.6	67.7
				应急方案B <sub>211</sub>	0.622 3	0.5		
				应急快报B <sub>212</sub>	0.130 7	0.5		
		现场监测能力A <sub>22</sub>	0.279 7	应急报告B <sub>213</sub>	0.247 0	0.2	71	
				采样布点B <sub>221</sub>	0.034 9	1		
				采样规范B <sub>222</sub>	0.043 7	1		
				采样记录B <sub>223</sub>	0.083 8	1		
				样品标签B <sub>224</sub>	0.079 1	0.5		
				仪器校准B <sub>225</sub>	0.106 3	0.2		
				采样质控措施B <sub>226</sub>	0.203 1	0.5		
				分析监测能力B <sub>227</sub>	0.321 2	1		
		测试分析能力A <sub>23</sub>	0.626 7	防护用具使用情况B <sub>228</sub>	0.128 0	0.5	69.9	
				分析规范性B <sub>231</sub>	0.096 2	0.5		
				质控措施情况B <sub>232</sub>	0.066 9	0.2		
分析仪器校准情况B <sub>233</sub>	0.151 9			0.5				
分析结果准确性B <sub>234</sub>	0.438 8			1				
资源和后勤协调A <sub>31</sub>	0.800 0	原始记录准确性B <sub>235</sub>	0.246 2	0.5	81.5			
		应急人力B <sub>311</sub>	0.151 5	0.5				
		资源配备情况B <sub>231</sub>	0.218 4	0.5				
		应急小组指挥情况B <sub>313</sub>	0.630 1	1				
信息交流A <sub>32</sub>	0.200 0	信息传达情况B <sub>321</sub>	0.333 3	1	100			
		信息交接情况B <sub>322</sub>	0.666 7	1				
迅捷度 指标Z <sub>4</sub>	0.055 0	决策速度A <sub>41</sub>	0.078 3	应急方案报送速度B <sub>411</sub>	0.250 0	0.5	65	66.1
		采样速度A <sub>42</sub>	0.176 8	采样效率B <sub>421</sub>	1.000 0	0.5		
		送样速度A <sub>43</sub>	0.221 0	送样效率B <sub>431</sub>	1.000 0	0.7	70	
		分析速度A <sub>44</sub>	0.454 9	分析效率B <sub>441</sub>	1.000 0	0.7		
		报告速度A <sub>45</sub>	0.068 9	应急评估结果报送效率B <sub>451</sub>	1.000 0	0.7	70	

### 3 结论

(1) 本文参考国内外应急评估标准和应急预案编制指南, 构建了基于模糊综合评判法和层次分析法的突发性水污染应急监测及预案综合评估方法, 以某江突发性水污染事故为具体案例, 开展突发性水污染事故的应急监测以及预案评估研究, 通过应急监测及评估, 为后续的事故预防、管理以及事故处理提供参考, 使得水污染事故处理更为有效可靠。

(2) 采用模糊综合评判法进行突发性水污染事故应急监测, 通过量化水质环境中镉、砷、铅、铬、汞等 5 项评价指标, 某江污染事故应急期间水质恶化的主要原因为镉超标。

(3) 采用层次分析法定量评估应急预案在突发性水污染事故控制中的效应, 应急预案评估总分为 72.7, 结果属于一般, 符合 I ~ V 级等级划分; 应急预案合理可靠, 但还需在仪器配置、文件系统等储备能力、监测能力以及迅捷等方面进行加强。

### 参考文献

- [1] 王永桂, 张潇, 张万顺. 流域突发性水污染事故快速模拟与预警系统[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(7): 164 - 171.
- [2] 曲建华, 孟宪林, 尤宏. 地表水源突发污染应急处置技术筛选评估体系[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2015, 47(8): 54 - 58.
- [3] 刘仁涛, 郭亮, 姜继平, 等. 环境污染应急处置技术的 CBR-MADM 两步筛选法模型[J]. 中国环境科学, 2015, 35(3): 943 - 952.
- [4] 中国环境保护部. 环境污染事故应急预案编制技术指南(征求意见稿)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [5] 李慧. 基于国际比较的企业环境污染事故应急预案评估体系研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [6] BERG M, PALMEN N, JOHANSON G. Discrepancy among acute guideline levels for emergency response[J]. *Journal of hazardous materials*, 2010, 184(1-3): 439 - 447.
- [7] LI R R, ZOU Z H, AN Y. Water quality assessment in Qu River based on fuzzy water pollution index method[J]. *Journal of environmental sciences*, 2016, 50(12): 87 - 92.
- [8] GYRGY G, PINTER. The Danube Accident Emergency Warning System[J]. *Water science and technology*, 1999, 40(10): 27 - 33.
- [9] RASEKH A, BRUMBELOW K, LINDELL M K. Water as Warning Medium: Food-Grade Dye Injection for Drinking Water Contamination Emergency Response[J]. *Journal of water resources planning and management*, 2014, 1(1): 12 - 21.
- [10] 王敏, 尹崇鑫, 程金兰, 等. 层次分析-模糊综合评价法在制浆造纸水污染控制技术评估中的应用[J]. 林业工程学报, 2021, 6(4): 107 - 113.
- [11] 杨国洪. 造纸行业清洁生产节水减排评估方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
- [12] 孙博, 肖汝诚. 基于层次分析-模糊综合评价法的桥梁火灾风险评估体系[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015, 43(11): 1619 - 1625.
- [13] LIANG S, HONG W, LI H, et al. Assessment of the spatial and temporal water eutrophication for lake baiyangdian based on integrated fuzzy method[J]. *Journal of environmental protection*, 2014, 4.
- [14] 杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 等. 基于模糊综合评判法的洮河水环境质量评价[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(增 1): 380 - 386.
- [15] 张艳, 刘永, 雷波, 等. 基于多层次集对分析的退役铀尾矿库区浅层地下水污染风险评价[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(2): 778 - 783.
- [16] 徐丹, 王双银, 甘治国, 等. 基于改进层次分析法的突发水污染事故风险分析[J]. 水利水电技术, 2020, 51(10): 159 - 166.
- [17] LI D. Research on legal risk assessment in high-tech SMEs based on AHP-FCE model[C]//2019 IEEE 6th International conference on industrial engineering and applications (ICIEA). Tokyo: Japan. IEEE, 2019: 828 - 831.
- [18] 罗秋香. 广西重金属污染监测与防治初探——以龙江、贺江水污染事件为例[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2014, 31(1): 101 - 104.
- [19] 苟婷. 贺江浮游藻类群落结构特征与水华研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2015.
- [20] 梁永津, 党永锋, 赵彦龙等. 贺江水系沉积物重金属污染特征及生态风险评价[C]//《环境工程》编委会, 工业建筑杂志社有限公司. 《环境工程》2018 年全国学术年会论文集(下册). 北京: 《工业建筑》杂志社, 2018: 175 - 181.
- [21] 宁增平, 蓝小龙, 黄正玉, 等. 某江水系沉积物重金属空间分布特征、来源及潜在生态风险[J]. 中国环境科学, 2017, 37(8): 3036 - 3047.
- [22] 姚文婷, 蔡德所, 林金城, 等. 某江重金属污染对硅藻群落组成的影响[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(3): 21 - 25.
- [23] 蓝郁, 梁荣昌, 赵学敏, 等. 突发镉、铊环境污染事件及应急处置对某江生态风险的影响[J]. 环境科学学报, 2017, 37(8): 3602 - 3612.
- [24] 李慧, 赵艳博, 林逢春. 企业突发环境污染事故应急预案评估研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(3): 175 - 179.
- [25] 黎大端, 何松立, 王丹彤, 等. 环境水污染事件应急监测演练评估模型构建研究[J]. 环境科学与管理, 2018, 43(7): 123 - 128.