

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.02.004

泰州市第三自来水厂饮用水水源地水环境风险评价

罗慧萍¹, 逢 勇^{1,2}, 罗 缙^{1,2}, 谢蓉蓉¹, 王 欢¹

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了加强风险源管理,保障饮用水水源地取水安全,以泰州市第三自来水厂饮用水水源地为研究对象,构建了包括风险源主体危险度、风险源控制机制、风险事故危害程度在内的风险源(直接排污企业、污水处理厂、码头)风险识别体系,在此基础上,结合水源地环境监管能力、水源地环境应急能力完善饮用水水源地综合风险评价体系。根据调查分析、专家小组法得到风险评价体系各指标分级标准、权重,以及风险源、水源地风险等级划分标准。依据评价体系,得到评价结果:(a)泰州市第三自来水厂周边有 8 个中风险源,无高风险源;(b)泰州市第三自来水厂水源地风险等级为低风险。

关键词: 水环境风险评价;饮用水水源地;风险源;泰州市第三自来水厂

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2015)02-0114-07

Water environmental risk assessment of drinking water source area of Taizhou Third Waterworks

LUO Huiping¹, PANG Yong^{1,2}, LUO Jin^{1,2}, XIE Rongrong¹, WANG Huan¹

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resources Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to strengthen the management of risk sources and guarantee the security of drinking water source areas, the drinking water source area of the Taizhou Third Waterworks was used as a case study. A risk identification system for risk sources (such as plants discharging wastewater without treatment, sewage treatment plants, and wharfs) was developed considering factors including the hazard degree of risk sources themselves, the control mechanisms of risk sources, and the hazards caused by risk accidents. Furthermore, the water environmental integrated risk assessment system for drinking water source areas was improved by enhancing the environmental regulation ability and emergency response capability. Grading standards and weights of indices, as well as risk grade dividing standards of risk sources and drinking water source areas, were obtained from surveys and expert panel acts. On the basis of evaluation systems, the evaluation results were obtained: (a) there are eight middle-risk sources and no high-risk source around the Taizhou Third Waterworks, and (b) the risk level of the water source area of the Taizhou Third Waterworks is low.

Key words: water environmental risk assessment; drinking water source area; risk source; Taizhou Third Waterworks

近年来,随着我国水陆经济的快速发展,企业、污水厂、码头等可能产生水环境危害的风险源与日俱增。风险源本身的危害性和管理控制不当等原因造成的突发性水污染事件,在带来巨大经济损失的同时,也给水源地取水安全构成严重威胁。泰州市第三自来水厂位于泰州市高港区,从长江取水,供水能力 40 万 t/d,为泰州市海陵区、高港区、泰兴市和姜堰市共计 250 多万人提供饮用水。泰州市第三自来水厂饮用水水源地作

为泰州市主要水源地,开展其周边风险源及水源地水环境风险等级判别,对泰州市加强风险源管理、保障饮用水水源地取水安全具有重要指导意义。

目前,国内外水环境风险评价的理论研究及实际应用已有一定进展。张维新等^[1]引入模糊优选理论,提出了工厂环境污染事故风险模糊评价方法;杨帆等^[2]在环境风险因子识别的基础上采用层次分析法对南水北调中线工程施工阶段的环境风险进行评价;巫志鹏^[3]和张洪波^[4]采用风险矩阵法进行码头风险评估;刘国东等^[5]通过二维水质模拟和风险度计算,得到公路交通污染事故对河流水质影响的风险评价方法;陈晓飞等^[6]、祝慧娜等^[7]以层次分析法、模糊逻辑法为基础,构建了河流水环境风险评价指标体系;李如忠等^[8]、郑文瑞等^[9]建立了包含灰性、未确知性的水环境参量盲数水质风险分析方法;逢勇等^[10]、尹亮等^[11]建立了基于企业风险等级及风险事故对水源地危害定量描述的水源地风险等级判别模型;张羽^[12]构建了水源地突发性水污染事件风险评价的“时序风险评价体系”;程斌等^[13]引入熵权法,提出了应用于水源地水环境健康风险评价的决策树综合评价模型。美国科学院和环境保护局^[14-15]研发出了“四步走”的健康风险评估框架;Salvi 等^[16]提出了意外风险评估方法;Jenkins^[17]介绍了“多瑙河突发性事故应急预警系统”;Scott^[18]提出了“环境事故指数”法。

由于资料限制,目前水环境风险评价大多数只研究单一风险源,未结合具体受体,且评价体系考虑指标不全面,对受体的影响评价缺乏全面的定量分析。本文以泰州市第三自来水厂饮用水水源地为例,综合直接排污企业、污水处理厂和码头等多种风险源进行风险源识别研究,在此基础上建立风险源-风险受体响应的水源地综合风险评价体系。

1 研究方法

1.1 风险源风险识别体系

1.1.1 指标体系

在现有风险源风险识别技术基础上^[19-21],考虑风险源主体危险度、风险源控制机制、风险事故危害程度三层指标,构建风险源风险识别体系,在充分考虑指标的可比性和数据的可获取性的基础上,对直接排污企业、污水处理厂和码头分别构建指标体系,见表1。

表1 风险源风险识别体系

Table 1 Risk identification system for risk sources		
a 层	b 层	c 层
风险源风险识别体系	直接排污企业、污水处理厂行业类别 A ₁	风险源主体危险度 B ₁ 直接排污企业或污水处理厂行业类别 C₁ 行业工艺水平 C₂ 污水排放量 (m³/d) C₃ 污水水质复杂程度 C₄
		风险源控制机制 B ₂ 企业管理制度 C₅ 设备保养维护状态 C₆ 企业环境风险防范体系 C₇ 企业环境不良记录 C₈
		风险事故危害程度 B ₃ 最大水质超标倍数 C₉ 水质超标持续时间 (h) C₁₀ 污染团到达时间 (h) C₁₁
	码头 A ₂	风险源主体危险度 B ₄ 码头类别 C₁₂ 码头运输危险品能力 (t/次) C₁₃
		风险源控制机制 B ₅ 码头管理制度 C₁₄ 码头装备 C₁₅ 码头环境风险防范体系 C₁₆ 码头历史水污染事故 C₁₇
		风险事故危害程度 B ₆ 最大水质超标倍数 C₁₈ 水质超标持续时间 (h) C₁₉ 污染团到达时间 (h) C₂₀

- 各指标分级标准确定原则如下:
- a. 风险源主体危险度、风险源控制机制。各指标分级标准在参考相关文献以及结合专家小组法^[22]的基础上得到。

b. 风险事故危害程度。风险事故危害程度考虑最大水质超标倍数、水质超标持续时间、污染团到达时

间共3项指标,体现了风险事件作用于敏感受体(泰州市第三自来水厂)的危害性、紧迫性及持久性。最大水质超标倍数通过对泰州地区污水处理厂处理能力调查,得到污染物质去除率均大于80%^[23],换算得到水厂能够处理达标的最大水质超标倍数为2~3倍,故将3倍以下的超标倍数定义为Ⅲ级。水质超标持续时间的阈值与各水厂应急供水能力、水厂设计规模和处理池大小有关,基本上平均能应急供水2 h,故将2 h的超标持续时间定义为Ⅲ级。污染团到达时间的阈值与事故应急反应能力有关,通过建立应急反应机制,在0.5 h内能够反馈污染信息并对污染事故采取相应措施,故将0.5 h的污染物到达时间定义为Ⅲ级。Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅳ级风险指标则在Ⅲ级指标选取原则上参考相关文献及结合专家小组法^[22]得出。

风险源风险识别体系各指标分级标准确定结果见表2。

表2 风险源风险识别体系指标分级标准

Table 2 Grading standards of risk identification system for risk sources

风险等级	定性指标描述									
	C ₁	C ₂	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₁₂	C ₁₄	C ₁₅
Ⅰ级	化工、石化	国内落后	复杂	不全面	无保养	应急预案和环境风险评价专题报告皆无	违法排污、事故排放不良记录均有	化学品、油类	不全面	设备不全,自动化程度不高
Ⅱ级	电镀、医药工业、金属冶炼	国内平均	中等	全面但不切实际	有不定期保养	仅有环境风险评价专题报告	有违法排污、无事故排放不良记录	散(件)杂货、电厂配套、煤灰	全面但不切实际	设备一般,自动化程度一般
Ⅲ级	机械制造、危险品储存、交通运输	国内先进	简单	全面合理但没有认真执行	有定期保养	仅有应急预案	无违法排污、有事故排放不良记录	集装箱、舢装、材料	全面合理但没有认真执行	设备较齐全,自动化程度较高
Ⅳ级	其他	国际先进	不排放	全面合理有效且实施效果好		应急预案和环境风险评价专题报告均有	违法排污、事故排放不良记录均无	其他	全面合理有效且实施效果好	设备齐全,自动化程度高

风险等级	定性指标描述		定量指标阈值							
	C ₁₆	C ₁₇	C ₃ /(m ³ ·d ⁻¹)	C ₉	C ₁₀ /h	C ₁₁ /h	C ₁₃ /(t·次 ⁻¹)	C ₁₈	C ₁₉ /h	C ₂₀ /h
Ⅰ级	应急预案和防污染设备均无	重大事故或2次以上一般事故	>2 000	>6	>12	≤0.1	>50 000	>6	>12	≤0.1
Ⅱ级	仅有应急预案,无防污染设备	2次一般事故,无重大事故	(1 000,2 000]	(3,6]	(6,12]	(0.1,0.5]	(20 000,50 000]	(3,6]	(6,12]	(0.1,0.5]
Ⅲ级	仅有防污染设备,无应急预案	1次一般事故,无重大事故	(200,1 000]	(1,3]	(2,6]	(0.5,1]	(5 000,20 000]	(1,3]	(2,6]	(0.5,1]
Ⅳ级	同时有应急预案和防污染设备	无环境事故	≤200	≤1	≤2	>1	≤5 000	≤1	≤2	>1

1.1.2 指标权重

采用专家评分法^[22]与1~9标度的层次分析法(AHP)^[24]确定风险源风险识别体系指标权重,见表3。

1.1.3 分级标准

首先对各评价指标进行分级评分,然后通过加权叠加求出风险源(或水源地)风险指数:

$$\delta = \sum_{j=1}^k w_j \delta_j \quad (j = 1, 2, \cdots, k)$$

式中:δ——风险源(或水源地)风险指数;δ_j——风险源(或水源地)第j个评价指标对应的评分;w_j——第j个评价指标的权重。

最后对风险指数进行分级,确定风险源风险等级,见表4。

1.2 水源地综合风险评价体系

1.2.1 指标体系

水源地综合风险评价是对其取水安全造成潜在威胁的多个风险源(直接排污企业、污水处理厂、码头)和水源地环境监管能力、水源地环境应急能力综合作用结果的评价。各指标在参考相关文献以及结合专家

小组法^[22]的基础上得到,见表 5。

表 3 风险源风险识别体系指标权重

a-b 层		b-c 层		a-c 层	
代号	权重	代号	权重	代号	权重
A_1-B_1	0.428	B_1-C_1	0.314	A_1-C_1	0.134
		B_1-C_2	0.207	A_1-C_2	0.089
		B_1-C_3	0.207	A_1-C_3	0.089
		B_1-C_4	0.272	A_1-C_4	0.116
A_1-B_2	0.247	B_2-C_5	0.250	A_1-C_5	0.062
		B_2-C_6	0.250	A_1-C_6	0.062
		B_2-C_7	0.250	A_1-C_7	0.062
		B_2-C_8	0.250	A_1-C_8	0.062
A_1-B_3	0.325	B_3-C_9	0.428	A_1-C_9	0.139
		B_3-C_{10}	0.325	A_1-C_{10}	0.106
		B_3-C_{11}	0.247	A_1-C_{11}	0.080
A_2-B_4	0.428	B_4-C_{12}	0.432	A_2-C_{12}	0.185
		B_4-C_{13}	0.568	A_2-C_{13}	0.243
A_2-B_5	0.247	B_5-C_{14}	0.256	A_2-C_{14}	0.063
		B_5-C_{15}	0.223	A_2-C_{15}	0.055
		B_5-C_{16}	0.298	A_2-C_{16}	0.074
		B_5-C_{17}	0.223	A_2-C_{17}	0.055
		B_6-C_{18}	0.428	A_2-C_{18}	0.139
A_2-B_6	0.325	B_6-C_{19}	0.325	A_2-C_{19}	0.106
		B_6-C_{20}	0.247	A_2-C_{20}	0.080

表 4 风险源风险等级划分标准

δ	风险源风险等级
(3,4]	高风险
(2,3]	中风险
(1.5,2]	低风险
≤ 1.5	极低风险

表 5 水源地综合风险评价体系

Table 4 Risk grade dividing standards of risk sources		Table 5 Integrated risk assessment system for water source areas	
水源地区域综合风险等级 E_1	水源地区域环境监管能力 E_2	水源地区域环境应急能力 E_3	综合管理能力 F_1
			监察能力 F_2
			控制断面监测能力 F_3
			应急防范体系 F_4
水源地区域环境应急能力 E_3	水源地区域环境应急能力 E_3	水源地区域环境应急能力 E_3	应急反应能力 F_5
			历史水污染事故 F_6

指标量化采用 4 分制,其中Ⅰ级评分为 4,Ⅱ级评分为 3,Ⅲ级评分为 2,Ⅳ级评分为 1,评分越小说明风险程度越低。

1.2.1.1 风险源综合风险等级

对于某个具体的敏感风险受体,它的风险受周围多个风险源的影响,所以风险源综合风险等级是对它有影响的多个风险源的综合评价^[10]。风险源综合风险指数为

$$\delta_{\text{综}} = \max \delta_i + \Delta \quad (i = 1, 2, \cdots, K)$$

(2)

式中: $\delta_{\text{综}}$ ——风险源综合风险指数; δ_i ——对受体有影响的第 i 个风险源的风险指数; Δ ——基于叠加效果的风险增量值, $\Delta>0$ 。

对风险源综合风险指数进行分级,分级方法同表 4,确定风险源综合风险等级。

1.2.1.2 水源地环境监管能力

水源地环境监管能力考虑综合管理能力、监察能力以及控制断面监测能力。综合管理能力从管理人员素质、权责分配等方面综合考核;监察能力从管理机构完善程度和监察执法情况 2 个方面综合考核,控制断面监测能力从监测能力建设、监测频次以及布点的合理性等 3 个方面综合考虑。

1.2.1.3 水源地环境应急能力

水源地环境应急能力考虑应急防范体系、应急反应能力以及历史水污染事故。应急防范体系从应急预案、备用水源、应急防范工程配备情况考核;应急反应能力指事故发生后相关机构处理反应能力,主要从机构协调

性、机动性、信息流通、反应速度、是否进行过应急演练等方面考核;历史水污染事故包括重大事故和一般事故,主要从事事故类型和事故次数两方面考核。水源地综合风险评价体系各指标分级标准确定结果见表6。

表6 水源地综合风险评价体系指标分级标准

Table 6 Grading standards of integrated risk assessment system for water source areas							
风险等级	分级标准						
	E_1	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
I级	高风险	权责、任务混乱,管理人员未达到要求	监察设备、监察人员不满足要求,对污染源监管及执法效力不达标	监测分析规范度、设备数量、监测布点、项数、频次不满足需求	应急预案、备用水源、应急防范工程均无	未设立应急通讯保障机制,部门协调性和机动性一般,没有应急演练	重大事故或2次以上一般事故
II级	中风险	管理人员、权力和义务分配仅基本达到要求	监察设备、人员仅基本满足要求,对污染源监管及执法效力仅基本达标	监测分析规范度、设备数量、监测布点、项数、频次仅基本满足需求	应急预案、备用水源、应急防范工程3项中仅有1项	应急通讯保障机制、部门协调性和机动性、应急演练仅有一项符合要求	2次一般事故,无重大事故
III级	低风险	管理人员、权力和义务分配达到中等要求	监察设备、人员较满足要求、对污染源监管及执法效力较达标	监测分析规范度、设备数量、监测布点、项数、频次大部分满足需求	应急预案、备用水源、应急防范工程3项中有2项	应急通讯保障机制、部门协调性和机动性、应急演练有2项符合要求	1次一般事故,无重大事故
IV级	极低风险	权责明确,任务清晰,管理人员、设备充足	监察设备、人员充足,对污染源监管到位,执法有效	监测分析规范度、设备数量、监测布点、项数、频次均满足需求	应急预案、备用水源、应急防范工程均有	机构协调性和机动性较好,信息通畅,反应有序迅速,进行过应急演练	无环境事故

1.2.2 指标权重

水源地综合风险评价体系指标权重确定方法同风险源风险识别体系,指标权重确定结果见表7。

表7 水源地综合风险评价体系指标权重

Table 7 Index weights of integrated risk assessment system for water source areas					
d-e 层		e-f 层		d-f 层	
代号	权重	代号	权重	代号	权重
$D-E_1$	0.428	E_2-F_1	0.4	$D-F_1$	0.099
$D-E_2$	0.247	E_2-F_2	0.3	$D-F_2$	0.074
		E_2-F_3	0.3	$D-F_3$	0.074
		E_3-F_4	0.325	$D-F_4$	0.106
$D-E_3$	0.325	E_3-F_5	0.428	$D-F_5$	0.139
		E_3-F_6	0.247	$D-F_6$	0.080

1.2.3 分级标准

水源地风险指数计算方法同风险源风险指数(式(1)),水源地风险分级方法见表8,得到水源地风险等级。

表8 水源地风险等级划分标准

Table 8 Risk grade dividing standards of water source areas

水源地风险指数 $\delta_{\text{水}}$	水源地风险等级
(3.25,4]	高风险
(2.5,4]	中风险
(1.75,2.5]	低风险
≤ 1.75	极低风险

2 研究结果

2.1 研究区域风险源识别结果

根据江苏省环境保护厅提供的污染源普查资料、江苏省海事厅提供的港口码头资料,并实地调研核实后,确定泰州市第三自来水厂周边直接排污企业46家、污水处理厂1家、码头5座。

根据风险源风险识别体系,进行泰州市第三自来水厂周边风险源风险评价。根据风险源相关资料,确定风险源主体危险度、风险源控制机制中各指标风险评价价值;采用等标污染负荷法,求得风险源主要污染因子,选取风险源等标污染负荷较大的污染物作为风险评价的计算因子,实地调查得到风险源最可能发生的事故排放量及排放时间,通过90%保证率设计水文条件下的二维非稳态水量水质模型,计算得到风险事故危害程度中最大水质超标倍数、水质超标持续时间、污染团到达时间等指标的风险评价价值。通过风险源风险指数计算分级,得到泰州市第三自来水厂周边无高风险源,中风险源8个,其中中风险企业6个,中风险码头

2 个,见表 9。

表 9 泰州市第三自来水厂周边主要风险源风险评价结果

Table 9 Risk assessment results of main risk sources around Taizhou Third Waterworks						
序号	风险源	B_1	B_2	B_3	综合评分	风险等级
1	中海油气(泰州)石化有限公司	3.379	2.250	2.428	2.791	中风险
2	海泰油品码头	2.864	2.223	2.675	2.644	中风险
3	泰州三福船舶有限公司	2.272	2.000	2.753	2.361	中风险
4	泰州市口岸船舶有限公司	2.042	2.000	2.675	2.237	中风险
5	扬子江药业集团江苏制药股份公司	2.107	2.000	2.428	2.185	中风险
6	泰州市东方印刷版材有限公司	2.107	2.250	2.000	2.108	中风险
7	泰州港高港区公用液体化工码头	3.432	2.000	2.572	2.799	中风险
8	江苏海企化工仓储有限公司	3.172	2.250	2.325	2.669	中风险

2.2 水源地综合风险评价结果

对照水源地综合风险评价体系,评价得到泰州市第三自来水厂风险源综合风险等级评分为 2.82,水源地环境监管能力中综合管理能力、监察能力、监测能力评分分别为 2.85、2.23、1.15,水源地环境应急能力中应急防范体系、应急响应能力、历史污染事故评分分别为 1、2.35、3.00,加权叠加得到泰州市第三自来水厂水源地风险评价值为 2.41,风险等级为低风险。

3 结 论

- a. 综合考虑指标的可比性和数据的可获取性,构建了包括风险源主体危险度、风险源控制机制、风险事故危害程度在内的风险源(直接排污企业、污水处理厂、码头)风险识别体系。评价得到泰州市第三自来水厂周边无高风险源,中风险源有 8 个,其中中风险企业 6 个,中风险码头 2 个,对中风险源应采取相应措施降低其风险。
- b. 在风险源风险识别评价的基础上,结合水源地环境监管能力、水源地环境应急能力完善饮用水水源地综合风险评价体系。评价得到泰州市第三自来水厂水源地风险等级为低风险。
- c. 研究饮用水水源地水环境风险评价,旨在为风险源管理和饮用水水源地安全保障提供技术支持。

参考文献:

[1] 张维新,熊德琪. 工厂环境污染事故风险模糊评价[J]. 大连理工大学学报,1994,34(1): 38-44. (ZHANG Weixin, XIONG Deqi. Risk fuzzy evaluation of factory environment pollution accident [J]. Journal of Dalian University of Technology,1994,34(1): 38-44. (in Chinese))

[2] 杨帆,余建星. 南水北调中线工程施工阶段环境风险评价方法探讨[J]. 中国水利,2004(14):30-32. (YANG Fan, YU Jianxing. Discussion on environment risk assessment methods in construction phase of the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project[J]. China Water Resources,2004(14):30-32. (in Chinese))

[3] 巫志鹏. 油码头、液体化学品码头安全风险问题的探讨[J]. 中国安全生产科学技术,2009,5(5):169-172. (WU Zhipeng. Discussion on problems of safety risk for oil and liquid chemicals terminals[J]. Journal of Safety Science and Technology,2009,5(5):169-172. (in Chinese))

[4] 张洪波. 锦州湾 301#十二万吨原油码头污染风险分析与应急对策研究[D]. 大连:大连海事大学,2012.

[5] 刘国东,宋国平,丁晶. 高速公路交通污染事故对河流水质影响的风险评价方法探讨[J]. 环境科学学报,1999,19(5): 572-575. (LIU Guodong, SONG Guoping, DING Jing. An investigation to the risk assessment of water quality in river affected by traffic pollution accidents on an expressway[J]. Journal of Environmental Sciences, 1999,19(5):572-575. (in Chinese))

[6] 陈晓飞,姜世英,韩鹏. 基于 AHP 的老灌河流域环境风险评价[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 87-91. (CHEN Xiaofei, JIANG Shiyong, HAN Peng. Environment risk assessment for the Laoguan River using analytic hierarchy process approach[J]. South-to-North Water Diversion and Water Science Technology,2012, 10(3): 87-91. (in Chinese))

[7] 祝慧娜,袁兴中,梁婕,等. 河流水环境污染风险模糊综合评价模型[J]. 中国环境科学,2011,31(3): 516-521. (ZHU Huina, YUAN Xingzhong, LIANG Jie, et al. An integrated model for assessing the risk of water environmental pollution based on fuzziness[J]. China Environmental Science, 2011,31(3): 516-521. (in Chinese))

[8] 李如忠,钱家钟. 基于盲数理论的河流水质未确知风险分析初探[J]. 水电能源科学,2003,21(1):18-21. (LI Ruzhong, QIAN Jiazhong. A preliminary study of uncertained risk analysis of river water quality based on blind number theory [J]. Water

Resources and Power, 2003, 21(1):18-21. (in Chinese))

- [9] 郑文瑞,王新代,纪昆,等. 非确定数学方法在水污染状况风险评价中的应用[J]. 吉林大学学报, 2003, 33(1):59-62. (ZHENG Wenrui, WANG Xindai, JI Kun, et al. Application of non-deterministic mathematical methods in the evaluation of the risk of water pollution situation [J]. Journal of Jilin University, 2003, 33(1):59-62. (in Chinese))
- [10] 逢勇,徐秋霞. 水源地水污染风险等级判别方法及应用[J]. 环境监控与预警, 2009, 1(2):1-4. (PANG Yong, XU Qiuxia. Source water pollution risk discrimination technique and its application[J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2009, 1(2):1-4. (in Chinese))
- [11] 尹亮, 逢勇, 潘晨, 等. 常州市水源地水污染风险等级判定[J]. 水资源保护, 2013, 29(2):28-32. (YIN Liang, PANG Yong, PAN Chen, et al. Water pollution risk discrimination in water source area of Changzhou City[J]. Water Resources Protection, 2013, 29(2):28-32. (in Chinese))
- [12] 张羽. 城市水源地突发性水污染事件风险评价体系及方法的实证研究[D]. 上海:上海华东师范大学, 2006.
- [13] 程斌,王菲凤,张江山. 改进决策树模型支持下的饮用水水源地健康风险评价[J]. 水资源保护, 2013, 29(1):27-31. (CHENG Bin, WANG Feifeng, ZHANG Jiangshan. An improved decision tree model for health risk assessment of drinking water source[J]. Water Resources Protection, 2013, 29(1):27-31. (in Chinese))
- [14] US NAS. Risk assessment in the federal government: managing the process[M]. Washington DC: National Academy Press, 1983.
- [15] US EPA. Risk assessment guidance and tools [EB/OL]. [2013-12-22]. <http://www.epa.gov/risk/assessment/guidance.htm>
- [16] SALVI O, DEBRAY B. A global view on ARAMIS, a risk assessment methodology for industries in the framework of the SEVESO II directive [J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 130(3):187-199.
- [17] JENKINS L. Selecting scenarios for environmental disaster planning[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 121:275-286.
- [18] SCOTT A. Environment-accident index: validation of a model[J]. Journal of Hazardous Materials, 1998, 61:305-312.
- [19] 谢蓉蓉,逢勇,张倩,等. 嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定[J]. 环境科学, 2012, 33(7):2244-2250. (XIE Rongrong, PANG Yong, ZHANG Qian, et al. Weight parameters of water quality impact and risk grade determination of water environmental sensitive spots in Jiashan [J]. Environmental Science, 2012, 33(7):2244-2250. (in Chinese))
- [20] 毕军,杨洁,张炳,等. 一种工业园区环境风险识别的方法:中国, ZL200710132672.8[P]. 2008-03-05.
- [21] 陈晓南. 大连新港溢油应急能力评估[D]. 大连:大连海事大学, 2011.
- [22] 王凯全,李亚丽,康美华,等. 化工重大危险源区域风险因素的评价与控制[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(6):72-75. (WANG Kaiquan, LI Yali, KANG Meihua, et al. Regional risk factors assessment and control of chemical industry[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 5(6):72-75. (in Chinese))
- [23] 潘松龄. 改良型 A²/O 工艺在泰州市城南污水处理厂的应用研究[D]. 南京:南京理工大学, 2012.
- [24] 庄巍. 基于 GIS 的长江下游地区水环境容量计算、风险判别及预警:以江苏南京为例[D]. 南京:河海大学, 2009.