

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.01.030

东风西沙水库突发性溢油事故风险等级判定

常 进¹,管 桐²

(1. 上海勘测设计研究院有限公司,上海 200434; 2. 华东师范大学生态与环境科学学院,上海 200241)

摘要:以崇明岛重要原水工程东风西沙水库为研究对象,基于 PSR 模型建立风险源、风险受体及风险响应的溢油风险指标体系,压力层选取访问概率、泄漏总量、油品种类 3 个指标,状态层选取库内水量可供水天数、泵闸联动补水时间 2 个指标,响应层选取应急预案应对能力、应急响应时间 2 个指标,运用 AHP 法确定不同指标的权重,划分溢油事故风险等级,为崇明县正常供水及水库风险防范提供依据。

关键词:风险等级;溢油事故;压力-状态-响应模型;指标体系;东风西沙水库

中图分类号:TV697 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2016)01-0172-04

Risk level discrimination of sudden oil spill in Dongfengxisha Reservoir

CHANG Jin¹,GUAN Tong²

(1. Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200434, China;
2. School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: Dongfengxisha reservoir, the important water source project in Chongming Island, is taken as the study case. An oil spill risk indicator system containing risk source, risk receptor and risk response is established based on PSR model. Pressure layer selects 3 indicators of access probability, total leakage and oil types. State level selects 2 indicators of water supply days and water replenishment time. Response layer selects 2 indicators of ability to respond to emergency plans and emergency response time. By applying AHP model, the weights of different indicators are determined and sudden oil spill risk levels are discriminated, to provide the reference for daily water supply on Chongming Island and risk prevention for the Dongfengxisha reservoir.

Key words: risk level discrimination; sudden oil spill; pressure-state-response model; indicator system; Dongfengxisha Reservoir

风险(risk)一词最早由 19 世纪末西方学者在经济领域提出。风险等级判定是指对不利的事件发生的可能性、导致的损失等方面进行测定^[1]。国内在风险判别的研究已经取得了一定成绩,杨帆等^[2]将风险综合评价分析法应用于南水北调的实际工作中;潘向忠等^[3]建立了危险废物安全填埋模糊综合评价模型,确定风险发生的可能性和危害后果的综合效应;逢勇等^[4]建立了风险源和风险受体之间的数理联系,针对水体特征和污染物迁移扩散过程进行定量分析。但前人的研究成果缺少风险源、风险受体和风险响应之间的综合联系,缺乏对整个风险

事件过程的完整考察。笔者以崇明岛重要原水工程东风西沙水库为研究对象,基于 PSR(压力-状态-响应)模型建立关于风险源、风险受体及风险响应的整个突发性溢油事件综合风险指标体系,并判定溢油风险对取水口影响威胁程度,为东风西沙水源地应急响应及防控对策研究提供依据。

1 研究区域

东风西沙水库属避咸蓄淡水库,位于长江口南支上段的北侧、崇明岛西南部。水库设计总有效库容 890.24 万 m³,近期供水规模为 21.5 万 m³/d。水

作者简介:常进(1988—),男,助理工程师,硕士,主要从事水利规划工作。E-mail:825855653@qq.com

库采用泵闸联动取水,在非咸潮期主要是自流引水入库,在咸潮期通过水库的调蓄水量来满足崇明岛原水供应。

根据上海海事局所提供的数据,2004—2013 年的 10 年间,上海港(包括长江口)共发生突发性船舶污染事故 102 起,平均每年 10 起左右,泄漏污染物共计约 2 053.82 t,平均每年近 205.4 t。从船舶污染发生的空间分布上看,近十年来在长江口附近水域共发生了 13 起溢油事故,共计泄露污染物 751.816 t,可见东风西沙取水口水域环境不可避免地面临船舶突发性溢油事故的风险,而事故的发生将直接关系到崇明供水安全和城市经济社会系统的正常运行。

2 指标体系构建及等级判定

2.1 指标筛选

2.1.1 PSR 模型简介

PSR 模型即“压力-状态-响应”(pressure-state-response, PSR)模型,最初由加拿大统计学家 Rapport 和 Friend(1979 年)提出,后由经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)于 20 世纪八九十年代共同发展起来的用于研究环境问题的框架体系。PSR 框架具有一套比较清晰的逻辑思路,这套思路可表述为人类活动或某种事件施加的压力(P)引起了环境及对应的人类活动的状态变化(S),通过一些变化信息,采取环境、经济和社会政策等响应措施(R),实现环境改善的目的。该框架试图以这样一种简单明了的方式来说明人与环境的因果关系^[56]。

2.1.2 指标体系构建

在 PSR 模型框架下选取有代表性的指标构成风险评价指标体系,评价指标的选择遵循全面性、代表性、可定性分析、可定量计算、可操作性的原则,尽可能选取包含信息最多的代表性指标,建立具有“目标层—准则层—指标层”层次结构的东风西沙水源地溢油风险评价指标体系(表 1)。

压力层:从风险源提出 3 个压力指标,分别为访问概率、泄漏总量、油品种类。

状态层:突发性船舶溢油泄漏事件引发的压力

引起了取水口对应的状态变化,从风险受体提出 2 个状态指标,分别为库内水量可供水天数、泵闸联动补水时间。

响应层:通过各种措施或政策对上述变化做出反应或补救,找出风险响应对策,从风险响应角度提出 2 个响应指标,分别为应急预案应对能力、应急响应时间。

2.2 指标等级划分

2.2.1 访问概率

访问概率的分级应用美国应用科学协会(ASA)开发的 OILMAP 模型, OILMAP 的轨迹和归宿计算模型用于快速、第一时间估计溢油的运动情况。计算使用长江口常用油品和近几年事故中主要泄漏的燃料油作为模拟污染物,以长江口水动力计算的流量文件作为水动力条件,以 1999—2009 年的 NCEP 气象卫星数据作为风场条件,对 1 月、5 月、8 月水情分别进行模拟计算,说明枯水期、平水期和丰水期溢油风险影响。方案均以最长应急反应时间 3d 作为模拟时间,每组方案计算 1 000 次,最终形成区域等值线范围图,说明东风西沙水源地周边发生溢油事故可能对取水口影响的概率及其分布范围。根据模拟结果,将访问概率分为 4 个等级,分别对应 I 级、II 级、III 级和 IV 级,具体划分见表 2。

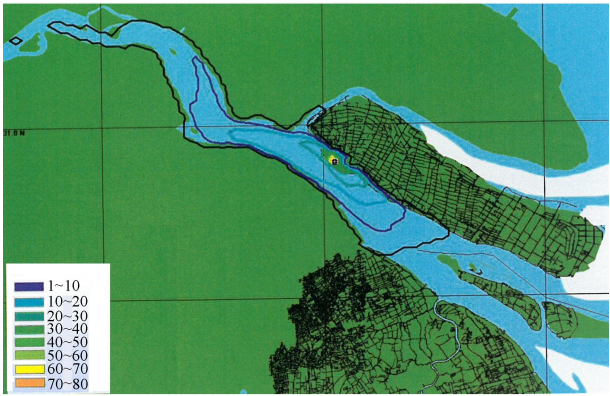


图 1 溢油访问概率分析等值线

2.2.2 泄漏总量

参照《上海市海域船舶污染事故专项预案》中预警级别的分类,根据船舶溢油量多少将污染严重程度分为 4 个等级,即特别重大、重大、较大、一般,分

表 1 溢油风险评估指标体系

目标层	准则层	指标层	指标意义
溢油风险评估	压力层	访问概率	溢油发生后,油污能够达到取水口的概率
		泄漏总量	油品泄漏总量,对油膜的长度和面积产生影响,与影响时长有关
		油品种类	油品的毒性、持久性、易燃性等理化性质,对取水口危害程度产生影响
	状态层	库内水量可供水天数	溢油事故发生时刻,库内水量可满足的供水天数
		泵闸联动补水时间	发现船舶污染事故或掌握海上污染事故信息后,闸泵联动补水,油污到达停止补水
	响应层	应急预案应对能力	以应急预案最适于应对溢油吨数来计
		应急响应时间	以溢油应急反应力量在抵达事故现场,进行抢险作业前的这段时间来计

别对应Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级,具体划分见表2。

表2 综合权重计算结果

等级	访问 概率/%	泄漏 总量/t	油品 种类	库内水 量可供水 天数/d	泵闸联动 补水 时间/h	应急预 案应对 能力/t	应急响 应时间/ h
等级划分							
Ⅰ级	≥50	≥100	A级	≤7	≤6.2	<200	>24
Ⅱ级	20~50	50~100	B级	7~15	6.2~14.1	200~500	12~24
Ⅲ级	1~20	10~50	C级	15~30	14.1~27	500~1000	3~12
Ⅳ级	<1	≤10	D级	≥30	27~79	1000~1500	<3
指标权重	0.3	0.12	0.1	0.21	0.1	0.1	0.1

2.3 油品种类

油品对水源地的危害特性主要包括毒性、持久性、流动性和扩散性。对于油品危害度进行划分,可参考EPA(美国环保署)根据原有的毒性、物理状态以及随时间天气的变化情况等信息的分级原则,将油品分为A、B、C、D 4个等级,分别对应Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级,具体划分见表2。

2.4 库内水量可供水天数

根据东风西沙水库可行性研究报告,水库设计最低水位为1.0 m,咸潮期水库最高蓄水位为5.65 m。为保证非咸潮期水库的生态需水和突发事件期间的正常供水,水库运行蓄水位维持在2.5~4.0 m,以近期供水规模21.5万m³/d考虑,水库可供水天数为6.9~18.7 d。根据计算结果(表3)将可供水天数分为4个等级,分别对应即Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级,具体划分见表2。

表3 库内水量可供水天数计算结果

水位/m	对应库容/万 m ³	可供水天数/d
1.00	86.00	0
2.50	235.00	6.9
3.00	293.10	9.6
3.50	364.90	13.0
4.00	488.39	18.7
5.65	976.20	41.4

2.5 泵闸联动补水时间

选取汛期97%对应低潮位过程,以最低潮位为起算时间点,这样水库通过取水闸补水的能力受到限制,而泵站取水能力有限。基于这种极端情况算出来的水库补水时间应该是最长的,而选择的这种极端工况对于水库面临突发性溢油事故的应急响应也应该是最为不利的情况。

通过水库水量调节计算,在这种极端不利情况下,水库通过泵闸联动补水,以2.50 m为计算起始水位,具体计算见表4。由表4可以看出由2.50 m蓄至正常水位上限4.00 m需要27 h,由2.50 m蓄至最高蓄水位5.65 m需要79 h。根据表4将泵闸联动补水时间分为4个等级,分别对应Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级,具体划分见表2。

表4 泵闸联动补水时间计算

水位/m	库容/万 m ³	补水时间/h
3.00	293.10	6.2
3.50	364.90	14.1
4.00	488.39	27.0
5.65	976.20	79.0

2.6 应急预案应对能力

根据上海水域近年溢油事故油类泄漏数量、IMO统计溢油事故吨数分级和国内外溢油事故等级划分以及溢油应急能力评价标准等^[7],参考2007年4月通过的《国家水上交通安全监管和救助系统布局规划》,将上海水域溢油应急能力评价等级分为4级,Ⅰ级可以应对一次溢油量为小于200 t的污染事故;Ⅱ级可以应对一次溢油量为200~500 t污染事故;Ⅲ级可以应对一次溢油量为500~1000 t的污染事故;Ⅳ级可以应对一次溢油量为1000~1500 t的污染事故。具体划分见表2。

2.7 应急响应时间

应急响应时间由事故报警及核实时间、应急力量出发时间和应急力量到达时间组成^[7]。参考《上海港船舶溢油污染评估与防治研究》,将应急响应时间分为4个等级,具体划分见表2。

2.8 权重确定

本次指标权重的确定使用层次分析法(AHP)。AHP是将与决策有关的各种元素分解成为目标层、准则层和指标层,在此基础上进行定性和定量分析相结合的一种决策方法。这种方法的特点在于深入分析复杂决策问题的本质和各影响因素的内在关系,用较少的定量信息进行数字化决策。可为多准则、多目标或无结构特性的复杂决策性问题提供一种简便有效的决策方法。在进行定量信息的数字化过程中,AHP采用主观判断的方法对评价目标、子目标和指标的相对重要性进行比较判断,构成判断矩阵,再计算指标权重值,实现定性分析和定量计算相结合的评价^[8-9]。准则层分为压力层、状态层和响应层,准则层权重判定矩阵见表5。

表5 准则层权重判定矩阵

C_i	C_j		
	压力层	状态层	响应层
压力层	1	2	2
状态层	1/2	1	2
响应层	1/2	1/2	1

根据计算,该矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}=3.0537$,一致性检验 $CR=0.0463<0.1$,通过一致性检验,对应于压力层、状态层、响应层的准则层权重分别为0.49、0.31、0.20。

指标层权重的计算使用相同的方法,因篇幅原因省去中间计算过程,综合权重计算结果见表2。

风险分值 10、7、4、1 对应的风险等级分别为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级。

2.9 等级判定

溢油风险等级判定计算公式如下：

δ = ∑_{i=1}^k ω_i δ_i (i = 1, 2, …, k) (1)

式中:δ 为第 i 个风险指标值;ω_i 为第 i 个风险指标的权重。

根据以上溢油风险等级判定公式,得出综合评价价值 10~7、7~4、4~1、≤1 对应于不同风险等级分别为威胁极大、威胁较大、威胁一般、基本无威胁。

3 案例分析

2012 年 12 月 30 日 18:40 时,某轮船载 400 t 重油在长江常熟段白茆沙水道 13 号浮标附近沉没。12 月 31 日 11:00 时在崇明新建水闸河口附近水域发现 3 块约长 100 m、宽 50 m 的油污带。增派的最后两艘清污船于 1 月 1 日 14:30 到达现场。

根据表 2,并结合本次溢油事故,由式(1)计算出综合风险值(表 6)。事故发生的位置在取水口上游 13 km,在高于 50% 访问概率范围内,且从案例描述中,油污已飘至取水口上游 3 km 新建水闸附近。事件发生时,水库仍处于在建状态,仍未投入运行。偏不利角度出发,假设溢油发生时水库水位处于常水位下限 2.5 m。发现油污时间较晚,且发现油污时,已至新建水闸附近,泵闸联动补水时间很短,补水时间小于 6.2 h,且响应时间大于 24 h。

表 6 综合风险计算结果

指标	风险计算值	风险值	风险权重
访问概率	>50%	10	0.30
泄漏总量	400 t	10	0.12
油品分级	A 级	10	0.07
库内水量可供水天数	13 d	7	0.21
泵闸联动补水时间	<6.2 d	10	0.10
应急预案应对能力	Ⅱ级	4	0.10
应急响应时间	Ⅳ级	10	0.10
综合风险值	δ=8.77		
影响程度	对取水口威胁极大		

由式(1)计算得出近期供水规模下 δ=8.77,远远大于高风险下限 δ=7,说明此次突发性溢油事件对于取水口威胁极大,即应急措施难以处理,环保、海事等所有相关部门按照应急行动的最高等级要求联合采取行动,取水口应立即实施保护和抵御措施,并做好关闭准备。

4 结 语

从风险源、风险受体和风险响应 3 方面构建了基于 PSR 模型的水源地风险评价指标体系框架,建立了突发性溢油事件指标体系,选取了 7 项指标对

取水口的威胁程度进行等级划分,运用了 AHP 法确定不同指标的权重,划分溢油事故风险等级。

鉴于白茆沙北水道有可能发生的船舶泄漏事故对东风西沙水源地存在重大威胁隐患,应加强白茆沙北水道的通航管理,建议根据东风西沙水源地保护要求,对白茆沙北水道航线进行优化,增加白茆沙北水道与东风西沙水源地的距离,降低白茆沙船舶航运的突发性船舶事故对东风西沙水源地的影响。

致谢:本论文撰写过程中得到上海市环境科学研究院卢士强博士的指导和帮助,特此致谢!

参考文献:

[1] 陈数云. 风险评级统计方法论研究[J]. 统计与决策, 2003(4):8-10. (CHEN Shuyun. Risk rating methodology statistical research[J]. Statistics & Decision, 2003(4):8-10. (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 Jianxin. Research of the environmental risk assessment methods on the South to North Water Transfer Project construction phase[J]. China Water Resources, 2004(14):30-32. (in Chinese))

[3] 潘向忠,翁仕龙,余世清. 模糊综合评价法在环境风险评价中的应用[C]//中国环境科学学会. 中国环境保护优秀论文精选. 北京:中国大地出版社,2006:378-383.

[4] 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. Water source pollution level of risk identification method and its application[J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2009, 1(2):1-4. (in Chinese))

[5] 李向辉,笪可宁. 基于 PSR 框架的小城镇可持续发展相关策略[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2005(1):48-51. (LI Xianghui, DA Kening. Tactics of sustainable development of little-size town based on the conceptual frame of PSR[J]. Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering Institute (Social Science), 2005(1):48-51. (in Chinese))

[6] 郭旭东,邱扬,连纲,等. 基于 PSR 框架的土地质量指标体系研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2003(5):479-489. (GUO Xudong, QIU Yang, LIAN Gang, et al. The progress and prospect of land quality indicators based on “press-state-response” framework[J]. Progress in Geography, 2003(5):479-489. (in Chinese))

[7] 张晓雷. 上海水域溢油应急能力评价研究[D]. 大连:大连海事大学,2013.

[8] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

[9] 杜栋,庞庆华,吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京:清华大学出版社,2008.

(收稿日期:2015-02-28 编辑:徐 娟)