



文章栏目：“我国典型突发环境事件的应急处置案例解析”特邀专稿

DOI 10.12030/j.cjee.202102029 中图分类号 X522 文献标识码 A

黄大伟, 贾滨洋, 谢红玉, 等. 流域突发性水环境风险的评估方法[J]. 环境工程学报, 2021, 15(9): 2868-2874.
HUANG Dawei, JIA Binyang, XIE Hongyu, et al. Method of watershed-scale environmental risk assessment for accidental water pollution incidents[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(9): 2868-2874.

流域突发性水环境风险的评估方法

黄大伟¹, 贾滨洋², 谢红玉², 郑文丽¹, 冯立师¹, 邴永鑫¹, 虢清伟^{1,*}

1. 生态环境部华南环境科学研究所(生态环境部生态环境应急研究所), 广州 510530
2. 成都市环境应急指挥保障中心, 成都 610066

第一作者: 黄大伟(1985—), 男, 博士, 副研究员。研究方向: 突发环境事件风险评估、应急处置及技术开发。E-mail: huangdawei@scies.org

*通信作者: 虢清伟(1974—), 男, 博士, 正高级工程师。研究方向: 环境应急处置技术、环境风险管理、水污染治理。E-mail: guoqingwei@scies.org

摘要 针对突发性水环境风险, 提出了以环境敏感受体保护为基础的流域突发性水环境风险评估技术方法。该技术方法充分考虑我国现行突发环境事件分级标准, 从我国环境风险管理重点关注的环境敏感受体(如集中式饮用水水源地、行政边界及重要生态保护区边界)着手, 以环境敏感受体保护为最终目的, 综合分析流域水环境风险水平, 并通过环境风险地图进行表征。本方法统一了固定源和移动源的流域性突发环境风险评估, 可用以对流域内存在的固定源和移动源进行全面识别与分级, 是我国现有环境风险评估体系的补充, 并可为提升我国流域水环境风险管理水平提供参考。

关键词 流域水环境风险评估; 突发水环境事件; 水环境敏感受体

2009—2019年, 全国共发生突发环境事件3 643起。其中生态环境部(包括原环境保护部)直接调度指导处置的突发环境事件有1 225起, 包括水污染事件1 060起, 占比约87%^[1-2]。由于河流水系是一个有机联系的整体, 故一旦发生突发性污染事件, 极易对事故点下游流域产生影响和危害, 造成巨大经济损失并引起公众恐慌。如2018年湘赣涪江铊污染事件, 其污染范围跨越江西、湖南2省; 2017年嘉陵江铊污染事件, 污染范围波及陕西、四川2省; 2016年新疆额尔齐斯河汞污染事件及同年新疆伊犁河柴油泄漏事件, 均险些造成跨国界污染。在我国经济社会的持续高速发展、突发性环境污染事件频发的背景下, 我国的环境风险管理体系仍有待完善, 存在重应急轻防范、重突发污染事件轻长期慢性影响等问题, 尚未完全实现向以风险控制为目标导向的环境风险管理模式转变。在“十四五”以及未来很长一段时期内, 流域性水环境风险将是我国环境风险管理的重要内容, 严防流域性突发水环境事件发生、提高流域水环境风险管理水平、开展流域水环境风险评估技术体系研究等迫在眉睫。

突发环境事件风险评估结果的可靠性与代表性是环境风险管理的关键。现阶段, 我国流域环境风险评估工作主要偏重于特定污染物的生态风险评价^[3-4]、健康风险评价^[5-6]及累积性环境风险评

收稿日期: 2021-02-04; 录用日期: 2021-06-13

基金项目: 广东省省级科技计划项目(2016B020240007); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(PM-zx703-202002-079)

价^[7-8]等方面。针对突发性水污染事件环境风险评估方法的研究甚少。如指数评价法^[9-11]、贝叶斯网格法^[12-13]、相对风险评估法^[14-15]等都较少关注流域级水环境风险因子的释放规律及环境敏感受体受损害的途径和程度等^[16]，尚不能准确描述和评估流域尺度环境风险的传递性、累积性或削减性影响，其风险表征也不够具体，可操作性有待提高。我国已发布了《企业突发环境事件风险评估指南(试行)》(环办〔2014〕34号)^[17]、《尾矿库环境风险评估技术导则(试行)》(HJ 740-2015)^[18]以及《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法》(环办应急〔2018〕9号)^[19]。以上指南、导则及推荐方法解决了风险评估中存在的诸多问题，但仍存在不能完全反映流域突发环境事件特征，以及与环境风险管理脱节等问题。

本文以水环境敏感受体为评估基础，在对流域内固定风险源、移动风险源进行水环境风险分类、分级及表征的基础上，提出流域级环境风险分级及表征的技术方法。根据环境风险评估结果与流域风险特征，确定流域环境风险重点和优先管理对象，并有针对性地提出防范对策，以期实现与环境风险管理的有效衔接，补充我国流域环境风险评估体系。

1 总体思路

本技术方法以《国家突发环境事件应急预案》(国办函〔2014〕119号)中“附件1突发环境事件分级标准”为基础，着重关注突发环境事件分级标准中所涉及的重要环境敏感受体，如集中式饮用水源地、跨界(国界、省界、市界、县界)以及重要生态功能区等。依据突发环境事件分级标准的“特别重大、重大、较大、一般”4级，将环境敏感受体分为3级，即一级、二级和三级，涉及特别重大和重大突发环境事件的统一为一级环境敏感受体。以流域内环境敏感受体保护为目的，在全面收集流域水文水系、地形地貌、社会经济，以及现有环境风险源(固定源和移动源)、环境敏感受体情况等资料的基础上，开展流域内固定源和移动源的风险识别、评估与分级。

主要技术思路为：1)对流域内“一废一库一品”企业，如采选冶炼、尾矿库、石油、化工、钢铁、医药、危化品水陆运输等风险源逐一调查(现场调查风险源的位置、生产情况、危险废物和污水处置情况、排水情况、环境保护情况等)并补充收集相关资料(如风险源布局图、厂区平面图、雨污管网图等图件，以及环境应急预案、环境风险评估、环境影响评价、环境应急资源调查等报告)，以识别重点环境风险源，建立环境风险源清单，并对清单内企业逐一进行突发环境事件风险评估；2)根据环境风险源评估结果，结合流域内跨界断面、集中式饮用水源地、国家级自然保护区、重要湿地、特殊生态系统等环境敏感受体特征分析，对流域水环境突发性环境风险进行综合评估，并通过环境风险源地图、环境敏感受体图等对评估结果进行表征；3)根据流域突发性水环境风险评估结果，结合流域现有风险防控措施及应急救援能力差距，提出流域水环境风险防控策略及建议，为全面提升流域水环境风险管理水平，科学施策提供理论依据和技术支撑。

2 流域水环境敏感受体识别与分级

2.1 流域水环境敏感受体识别

在开展流域水环境风险评估工作前，需详细调查流域内所有水环境敏感受体，制作出流域水环境敏感受体清单，绘制流域水环境敏感受体分布图。典型的水环境敏感受体包括集中式饮用水水源地保护区、涉水自然保护区、重要湿地、重要水生生物栖息地、水产种质资源保护区、跨界(国、省、市、县界)断面等。

2.2 流域水环境敏感受体敏感性等级划分

参考《国家突发环境事件应急预案》(国办函〔2014〕119号)中规定的突发环境事件分级标准，将环境敏感受体敏感性划分为以下3级：1)一级环境敏感受体——跨国界水体，或跨省界，或县级以上城市集中式生活饮用水水源地，或珍稀濒危野生动植物天然集中分布区，或重要水生

生物的自然产卵场及索饵场、越冬场和洄游通道；2) 二级环境敏感受体——跨设区的市界，或乡镇集中式生活饮用水水源地，或国家级自然保护区，或国家级风景名胜区，或世界文化和自然遗产地，或国家级森林公园，或国家级地质公园，或国家级湿地，或国家级文物保护单位；3) 三级环境敏感受体——跨县界，或其他未达到二级的环境敏感受体。

3 选择污染物在水环境中的扩散模型

根据评估地区特征与污染物特征，选择水环境中风险因子的扩散模型，包括零维水质模型、一维稳态模型及一维动态混合模型。资料充分时也可采用二维、三维水质模型。

1) 零维水质模型适用于持久性污染物，河流为恒定流。假设污染物进入河道瞬间完全混合均匀(溶解或分散)，并整体分散(稀释作用)，即将污染物泄漏点至环境敏感受体间的河道作为一个整体。污染物在其中均匀混合。

2) 非持久性污染物稳态采用一维稳态模型，即一维稳态稀释、降解综合模式，忽略污染物的纵向弥散系数(在稳态条件下，纵向弥散系数对结果影响小)。该模型适用于非持久性污染物，河流为恒定流。当污染物在河流断面上达到完全混合后，分析污染物在水流方向输移、转化的变化情况时采用此模型。

3) 一维动态混合模型适用于非持久性污染物，非恒定流，可用于预测任何时刻的水质状况。

4 流域水环境风险源识别与评估

4.1 流域固定型水环境风险源识别与评估

1) 固定型水环境风险源识别。收集并分析相关资料，包括企业基本信息、周边环境敏感受体、涉及环境风险物质和数量、生产工艺、安全生产管理、环境风险单元及现有环境风险防控与应急措施，以及现有环境应急资源等。按照《企业突发环境事件风险评估指南(试行)》(国办发〔2013〕101号)的要求，综合企业信息、环境风险传播途径及环境敏感受体，识别固定型水环境风险源(以下简称固定源)。

2) 流域固定源水环境风险评估。按突发环境事件事发点下游受影响水环境敏感受体最高等级来划分固定源环境风险等级。当一级环境敏感受体受到影响时确定为重大环境风险源；当二级环境敏感受体受到影响时确定为较大环境风险源；当三级环境敏感受体受到影响时确定为一般环境风险源。

以环境敏感受体水质安全为核心，通过估算环境污染物泄漏进入河流后的影响范围，及核算受影响范围内所有环境敏感受体的最高级别，以最高级别确定此环境风险源的风险等级。突发性环境污染事件的应急处置，关注的主要问题是污染物在河道中的浓度与污染扩散的水平距离。因此，首先在对流域固定源进行水环境风险评估时，采用合适的污染物扩散模型进行演算，得出的污染物可能影响的污染范围；随后根据此结果，结合影响范围内环境敏感受体等级划分环境风险源的风险等级。

4.2 流域移动型水环境风险源识别与评估

1) 移动性水环境风险源识别。移动型水环境风险源(以下简称移动源)主要关注流域内危险化学品(以下简称危化品)道路运输以及船舶运输。调研流域内沿河道路路段、船舶运输路线及危化品种类等情况时，一是制作流域内陆路、水路运输路线与水系分布图，重点关注临近河流及水系联通沟渠的路段；二是掌握危化品在流域内的运输情况，包括危化品运输路线、种类、理化性质、单次运输量、运输工具类型、泄漏可能造成的环境风险类型等情况。

2) 流域移动源水环境风险评估。流域移动源水环境风险评估包括环境风险路段识别和环境风险评估参数选择。环境风险路段识别即对流域内所有危化品运输线路进行统计分析，识别水环境

敏感受体风险路段(路线),即流域内各干支流的沿河公路、桥梁、水路等,危化品一旦泄漏将可能对下游水环境敏感受体产生影响。

环境风险评估参数选择包括4个方面。一是危化品主要化学成分及表征指标分析。二是危化品泄漏量。建议采用危化品最小运输单元的运输量为危化品水陆两类运输最大泄漏量。根据对以往案例的统计结果,陆路运输中液体类危化品基本都发生在道路路沿与河岸堤顶间距在200 m范围内,路河间距越小,泄漏入河量总体越大;桥梁或翻车直接入河(水库、湖泊)可以按100%泄漏入河处理。水路运输的泄漏量按泄漏全部入河处理。液体类危化品泄漏入河量按图1测算。针对固体类危化品泄漏入河仅考虑离河岸堤10 m范围内的路段及跨河桥梁,泄漏量按最不利条件泄漏,即全部泄漏计算。三是危化品泄漏时间。当发生液体类危化品泄漏事件,其泄漏时间长短将影响危化品进入河流的初始浓度大小。首先利用伯努利方程计算出危化品(液体)泄漏速率,随后根据危化品运输量与泄漏速率的比值得出泄漏时间。四是环境风险路段的环境风险分析与分级。针对所有危化品对识别的所有环境风险路段(即评估路段)逐一进行环境风险分析与评估。结合受影响的环境敏感受体的级别确定该路段环境风险等级。当一级环境敏感受体受到影响时为重大环境风险路段(路线);当二级环境敏感受体受到影响时为较大环境风险路段(路线);当三级环境敏感受体受到影响为一般环境风险路段(路线)。

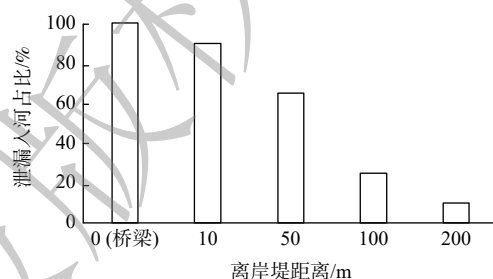


图1 液体类危化品泄漏入河量

Fig. 1 Leakage of liquid hazardous chemicals into the river

其中,液体类危化品泄漏速率根据式(1)计算。固体类危险化学品释放时间与污染物在水中的饱和溶解度、污染物总量以及河流流量等因素有关,具体计算见式(2)。

$$Q_L = C_d \times A \times \rho \times \sqrt{\frac{2(P - P_0) + 2\rho gh}{\rho}} \quad (1)$$

式中: Q_L 为危化品泄漏速度, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$; C_d 为危化品泄漏系数,此值常用0.6~0.64; A 为裂开面积, m^2 ; P 为容器内介质压力, Pa ; P_0 为环境压力, Pa ; g 为重力加速度; h 为裂口之上液位高度, m ; ρ 为危化品密度, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

$$T = S / (K \times Q) \quad (2)$$

式中: T 为污染物释放时间, s ; S 为固体类危险化学品所含污染物总量, g ; K 为污染物在水中的饱和溶解度, $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; Q 为河流流量, $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 。

4.3 典型情景分析

环境风险路段长度计算以环境敏感受体为基准点,通过水质模型对污染物影响距离予以计算。在此影响距离内寻找环境敏感受体,如无环境敏感受体,则该路段为无风险路段。如有环境敏感受体,则以此环境敏感受体为基础并向上游反推(若有多个环境敏感受体,则从环境敏感受体等级从高到低依次进行),即得到临界点。若污染物在临界点处泄漏,则下游环境敏感受体处污染物的浓度刚好达到GB3838-2002相关指标限值要求,该临界点设为Z点。Z点以上为无风险路段,Z点以下为有风险路段,即环境敏感受体和Z点内的危化品运输路线为有风险的路段。环境敏感受体与临界点Z点间的距离即为环境风险路段长度。具体分为以下3个情景,如图2所示。

1) 情景一。对于某一环境敏感受体以及某一评估路段,当临界点Z落在评估路段中,该评估路段Z点以上环境风险等级为无风险,即污染物在Z点以上泄漏后的环境风险小。Z点以下为有

风险路段。

2) 情景二。对于某一环境敏感受体以及某一评估路段,当临界点Z落在评估路段上游某处,则该评估路段环境风险等级为有风险。

3) 情景三。对于某一环境敏感受体以及某一评估路段,污染物泄漏扩散影响范围内无环境敏感受体,即当临界点Z落在评估路段下游某处,则该评估路段环境风险等级为无风险。

4.4 风险评估结果的地图表征

流域水环境风险评估结果以一张图予以表征,即在流域水系图上,结合流域水环境敏感受体(红色△表示一级水环境敏感受体、黄色△表示二级水环境敏感受体、蓝色△表示三级水环境敏感受体),将评估出的固定源和移动源按照水环境风险等级不同以红、黄、蓝全部标识出来,其中,红色表示重大环境风险源(重大环境风险路段)、黄色表示较大环境风险源(较大环境风险路段)、蓝色表示一般环境风险源(一般环境风险路段)。同时,用绿色表示无环境风险路段。

5 结语

关注环境风险源强度与环境敏感受体敏感性之间的交互关系,可直观有效地评估环境风险源对流域内环境敏感受体的影响程度,有效保护环境敏感受体,适应环境应急管理需求。提出流域环境风险评估方法统一了固定源和移动源的流域性突发环境风险评估,可用以对流域内存在的固定源和移动源进行全面识别与分级,是我国现有环境风险评估体系的补充,并可为提升我国流域水环境风险管理水平提供参考。

参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 中国环境状况公报(2009-2016)[S/OL]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/>.
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 中国生态环境状况公报(2017-2019)[S/OL]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/>.
- [3] 吕书丛,张洪,单保庆,等. 海河流域主要河口区域沉积物中重金属空间分异及生态风险评估[J]. 环境科学, 2013, 34(13): 4204-4210.
- [4] 邹华,王靖国,朱荣,等. 太湖贡湖湾主要河流表层沉积物重金属污染及其生态风险评估[J]. 环境工程学报, 2016, 10(3): 1546-1552.
- [5] 程鹏,李叙勇. 洋河流域不同时空水体重金属污染及健康风险评估[J]. 环境工程学报, 2017, 11(8): 4513-4519.
- [6] WANG Weihua, ZHANG Wanfeng, LIANG Hong, et al. Seasonal distribution characteristics and health risk assessment of typical antibiotics in the Harbin section of the Songhua River basin[J]. Environmental technology, 2018, 40(20): 1-17.
- [7] 袁鹏,李文秀,彭剑峰,等. 国内外累积性环境风险评估研究进展[J]. 环境工程技术学报, 2015, 5(5): 393-400.
- [8] 王炳权,钱新. 流域累积性环境风险评估研究进展[J]. 环境保护科学, 2013, 39(2): 88-92.
- [9] 张珂,刘仁志,张志娇,等. 流域突发性水污染事故风险评估方法及其应用[J]. 应用基础与工程科学学报, 2014, 22(4):

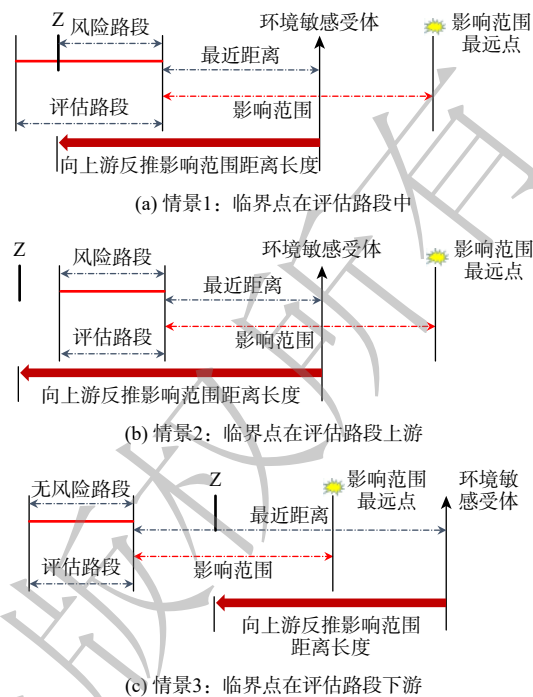


图2 环境敏感受体及环境风险路段关系的典型情景

Fig. 2 Typical scenarios with different the relationships between environmental risk receptor and road section for assessment

675-684.

- [10] SCOTT A. Environmental-accident index: Validation of a model[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 1998, 61: 305-312.
- [11] 王漫漫, 陆昊, 李慧明, 等. 太湖流域典型河流重金属污染和生态风险评估[J]. *环境化学*, 2016, 35(10): 2025-2035.
- [12] 孙鹏程, 陈吉宁. 基于贝叶斯网络的河流突发性水质污染事故风险评估[J]. *环境科学*, 2009, 30(1): 47-51.
- [13] 王运鑫. 基于模糊贝叶斯网络的突发水污染事故风险评价研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2018.
- [14] LANDIS W G, WIEGERS J A. Design considerations and a suggested approach for regional and comparative ecological risk assessment[J]. *Human and Ecological Risk Assessment*, 1997, 3(3): 287-297.
- [15] CHEN Qiuying, LIU Jingling, HO K C, et al. Development of a relative risk model for evaluating ecological risk of water environment in the Haihe River basin estuary area[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 420(4): 79-89.
- [16] 邢永健, 王旭, 可欣, 等. 基于风险场的区域突发性环境风险评估方法研究[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(4): 1268-1274.
- [17] 中华人民共和国生态环境部. 《企业突发环境事件风险评估指南(试行)》(环办〔2014〕34号)[S/OL]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201506/t20150629_304483.htm.
- [18] 中华人民共和国生态环境部. 《尾矿库环境风险评估技术导则(试行)》(HJ 740-2015)[S/OL]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/pjjstdz/201504/t20150407_298648.shtml
- [19] 中华人民共和国生态环境部. 《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法》(环办应急〔2018〕9号)[S/OL]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201802/t20180206_430931.htm

(责任编辑: 靳炜)

Method of watershed-scale environmental risk assessment for accidental water pollution incidents

HUANG Dawei¹, JIA Binyang², XIE Hongyu², ZHENG Wenli¹, FENG Lishi¹, BING Yongxin¹, GUO Qingwei^{1,*}

1. South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment(Research Institute of Eco-environmental Emergency, Ministry of Ecology and Environment), Guangzhou 510530, China

2. Environmental Emergency Response Command and Support Center of Chengdu, Chengdu 610066

*Corresponding author, E-mail: guoqingwei@scies.org

Abstract A watershed-scale environmental risk assessment technology method based on environmental risk receptor protection is proposed in this paper. The technical method fully considers two main parts: 1) China's current grading standards for environmental incidents, and 2) the accurate identification of water environment risk receptors such as centralized drinking water sources, administrative boundaries, important ecological protection areas and environmental risk sources. The level of environmental risk sources is determined by the level of environmentally sensitive receptors. This technical method unifies the watershed emergency environmental risk assessment of fixed risk sources and mobile risk sources. The technical method starts with the environmental risk receptors and focuses on environmental risk management, comprehensively analyzes the water environment risk level of the river basin and characterizes it through the risk map. Using this technical method, it is possible to comprehensively identify and classify the fixed and mobile risk sources in the watershed. This technical method is a powerful complement to China's existing environmental risk assessment system which can provide technical support for improving the water environment risk management level in China.

Keywords watershed-scale environmental risk assessment; accidental water pollution incidents; water

environment risk receptor

环境工程学报版权所有