

DOI:10. 3969/j. issn. 1004 - 6933. 2013. 02. 006

常州市水源地水污染风险等级判定

尹 亮¹, 逢 勇^{1,2}, 潘 晨³, 朱心悦¹, 李 金³

(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;
3. 常州市环境监测中心 江苏 常州 213001)

摘要:以常州新北区为研究区域,在水文、水质及污染源调查资料的基础上,建立二维水动力水质模型,并以常州魏村水厂取水口为研究对象,建立了水源地风险等级判定模型。模型的建立主要考虑企业风险等级,以及风险发生后对水源地的影响,包括水源地水质超标倍数、水质超标持续时间以及污染团到达时间等因子,模型阈值参数根据调查及分析得到。通过模型计算得到魏村水厂取水口的风险等级,为该区域进行环境风险管理提供技术支持。

关键词:水污染; 风险等级; 水源地; 常州市

中图分类号: X522 文献标志码: A 文章编号: 1004 - 6933 (2013) 02 - 0028 - 05

Water pollution risk discrimination in water source area of Changzhou City

YIN Liang¹, PANG Yong^{1, 2}, PAN Chen³, ZHU Xinyue¹, LI Jin³

(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;
3. Changzhou Environmental Monitoring Center, Changzhou 213001, China)

Abstract: Based on hydrological, water quality, and pollution source data, a two-dimensional hydrodynamic and water quality model was established in the study area, the Xinbei District in Changzhou City. A risk discrimination model was developed for the water source area at Weicun Waterworks in Changzhou City. Factors including the risk levels of the waterworks, the water quality standard exceeding rate, the duration of non-compliance, and the pollutant arriving time were incorporated into the modeling process with parameters obtained from a field survey. The risk level of Weicun Waterworks was determined using this model, which provided technical support for the management of environmental risks in this district.

Key words: water pollution; risk level; water source area; Changzhou City

随着经济的快速发展,人口的日益增加,我国饮用水水源地的安全面临巨大的挑战。近 20 年来,饮用水水源地突发性水污染事件频繁发生,带来了巨大的经济损失。常州是长江中下游地区的重要城市,而长江作为常州市饮用水源地,其潜在水质下降及突发水污染事故的影响将严重威胁到常州市乃至更广范围人们的生活安全、经济发展和社会稳定。

开展常州市饮用水源地风险等级判定研究,对常州市饮用水安全及环境保护规划具有重要的意义。

目前国内外一些专家对水污染风险进行了研究。徐峰等^[1]在各种水质模型的基础上,推导出一系列适用于水环境风险评价的定量估算公式,以用于危险源识别、特征等浓度线确定、事故特征危害区与危害时间估算等方面;祝慧娜等^[2]在考虑河流水

基金项目:国家自然科学基金(51179053);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07506-001,2012ZX07506-002)
作者简介:尹亮(1987—),男,硕士研究生,研究方向为水资源规划与保护。E-mail: yinlang07@163.com

环境脆弱性及污染水体对人类健康危害性两个因素的基础上,建立了对河流水环境污染风险的模糊综合评价模型;李如忠等^[3]在定义三角模糊参数的基础上,通过将一维稳态水质模型参数模糊化,建立了模糊水质模拟模型,并根据模拟结果,对控制断面水质状况进行风险分析;杨柳俊^[4]针对阳鸿石油码头突发性水污染事故进行风险评价,主要研究了油污污染事故的风险;文献[5-12]通过建立水环境健康风险评价,定量地描述环境污染对公众健康的危害程度;胡二邦等^[13]概括了突发性水污染事件的概念,并对河流突发性污染事件的风险评价理论作了一定的梳理和归纳,提出了对突发性水污染事件进行风险评价的设想,所建议的评价内容和体系基本参考化工、工程类风险评价,即包含危害识别、事故频率和后果估算、风险计算以及风险减缓4个阶段;Jenkins^[14]提出对历史数据中几个信息量记录丰富的突发性事故进行深度分析,从中找出所有潜在可能发生的事故都可能具有的相似信息指标,以其中某几次典型的溢油事故为标准,对所有可能发生事故进行评估,从而达到对事故造成的损失程度进行评估的目的;Socitt^[15]提出“环境事故指数”法,该评估模型主要是针对事故突发性化学污染,先将决定事故影响后果的各因素进行分级,再运用评价模型,对由事故引起的地表水环境、土壤环境以及地下水

的影响后果进行识别和半定量分级,达到风险评估的目的。

1 研究区域概况

常州地处江苏省南部,沪宁线中段,属长江三角洲沿海经济开放区。北倚长江天堑,南与宜兴市交界,东濒太湖与无锡市相连,西与镇江市接壤。

常州市属太湖流域上游地区,京杭大运河自西北向东南经市区穿越过境,由诸多北、南支流通长江以及太湖、滆湖、洮湖等主要湖泊,构成纵横交错的水网地区。

常州市新北区水网密布,水系发达,长江在新北区北部通过,境内主要南北向河道有浦河、新孟河、剩银河、德胜河、小龙港、澡港河、桃花港等。澡港河向南又衍生出老澡港河东支。其中德胜河和澡港河肩负非汛期从长江引水、汛期向长江排水的任务,所以德胜河和澡港河均为双向流河道。研究区域河流水系概况见图1。

2 水量水质模型建立

2.1 二维非稳态水量模型方程及求解方法

二维浅水水流方程和对流-扩散方程的守恒形式可表达为

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial f(q)}{\partial x} + \frac{\partial g(q)}{\partial y} = b(q) \tag{1}$$

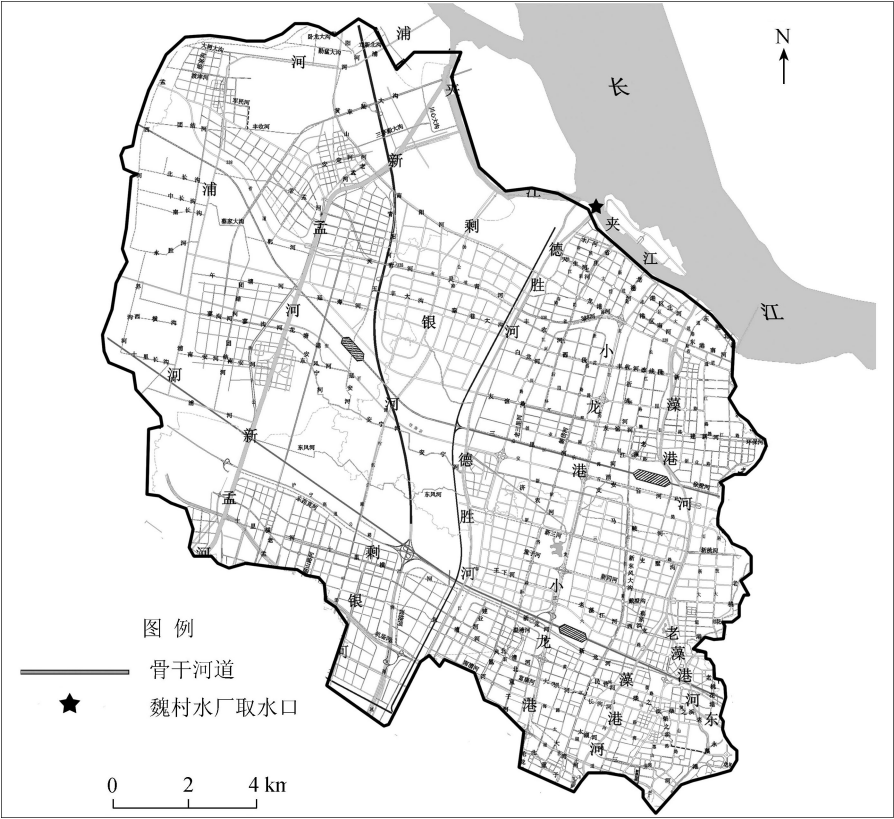


图1 研究区域水系

其中, $\mathbf{q} = [h, hu, hv, hp]^T$, 为守恒物理量,

$$f(\mathbf{q}) = \left[hu, hu^2 + \frac{gh^2}{2}, huw, hup \right]^T, \text{ 为 } x \text{ 向通量,}$$

$$g(\mathbf{q}) = \left[hv, huv, hv^2 + \frac{gh^2}{2}, hvp \right]^T, \text{ 为 } y \text{ 向通量.}$$

式中: h 为水深; u 和 v 分别为 x 和 y 向垂线平均水平流速分量; ρ 为污染物垂线平均质量浓度; g 为重力加速度。

源(或汇)项 $b(\mathbf{q})$ 为:

$$b(\mathbf{q}) = [b_1, b_2, b_3, b_4]^T \tag{2}$$

其中

$$\begin{aligned} b_1 &= 0 \\ b_2 &= gh(S_{0x} - S_{fx}) \\ b_3 &= gh(S_{0y} - S_{fy}) \\ b_4 &= \nabla(D_i \nabla(h\rho)) \end{aligned} \tag{3}$$

式中: S_{0x} 和 S_{fx} 分别是 x 向的水底底坡和摩阻底坡; S_{0y} 和 S_{fy} 分别是 y 向的水底底坡和摩阻底坡, D_i 为扩散系数, ∇ 为梯度算子, $\nabla \cdot \nabla = \nabla^2$ 是 Laplace 算子。

研究模型应用有限体积法及黎曼近似解对方程组逐时段、逐单元进行数值求解,从而模拟出长江的水流过程和相应的污染物输运扩散过程。模拟过程为:首先根据计算区域的天然地形及排污口的位置,用无结构网格使计算区域离散化;然后逐时段地用有限体积法对每一单元建立水量、动量和浓度平衡,确保其守恒性,用黎曼近似解计算跨单元的水量、动量和浓度的法向数值通量,保证计算精度。

2.2 模型参数选取及率定

参数选取及率定根据以往对长江江段模型的研究^[16],长江常州段水量水质模型参数值见表 1。

表 1 二维水量水质模型参数

江段名称	初始糙率	扩散系数/(m ² ·s ⁻¹)		降解系数/(d ⁻¹)	
	n_0	纵向 E_x	横向 E_y	K_{COD}	$K_{\text{NH}_3\text{-N}}$
长江常州段	0.020~0.08	60.0	0.6	0.20	0.15

3 水源地水污染风险等级判定

3.1 风险等级判别公式

对于某个固定的风险源,其风险值由多个风险指标值确定^[17],计算公式如下:

$$\delta_i = \sum_{j=1}^k \omega_j \delta_{ij} \quad (j = 1, 2, \cdots, k) \tag{4}$$

式中: δ_{ij} 为第 i 个风险源的第 j 个风险指标值; ω_j 为第 i 个风险源第 j 个风险指标的权重。

3.2 风险指标选取

风险事故作用于风险受体的危害性,体现在风险事件向风险受体输送的污染物类型,以及作用于风险受体后对受体环境质量的影响和破坏程度;风险事件发生后对风险受体构成威胁在时间上的紧迫

性,即自风险事件发生后污染物输移至风险受体处、引起受体损害之前,可采取应急措施的时间间隔;风险事件发生后对风险受体影响的持久性。基于此考虑,选取最大水质超标类别、水质超标持续时间、污染团到达时间这 3 项指标为风险事故危害指标的指标,分别对风险事件作用于敏感受体的危害性、紧迫性及持久性进行描述。

3.3 风险事故指标阈值确定

①最大水质超标倍数的确定主要通过通过对常州地区污水处理厂处理能力的调查后得到。污水处理厂对污染物质的去除率均大于 80%^[18],换算后得到,若水质的最大超标倍数在 2~3 倍左右时自来水厂能够处理达标,故将 3 倍以下的超标倍数定义为低风险;②超标持续时间主要是通过对污水处理厂的应急供水能力的调查得到,对突发性风险的处置与各水厂应急供水能力与水厂设计规模和处理池大小有关。调查了解到常州还有 2 个备用水源地,分别为小河水厂和西石桥水厂,风险事故能在一定时间内得到良好的应对,故将 2 h 的超标持续时间定义为低风险;③污染团到达时间的阈值与事故应急响应能力有关,通过建立应急响应机制在 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低风险。

根据提供的排污工业企业资料,本研究中企业风险等级主要考虑企业的行业类别以及废水排放量。风险较大的行业主要为化工行业。

对于极低风险、中风险和高风险指标则在低风险指标选取原则上参考文献以及结合专家小组法得出,常州滨江地区风险事故危害程度指标的阈值划分见表 2。

表 2 风险事故危害程度指标的阈值划分

风险等级	企业风险等级	最大水质超标倍数	超标持续时间/h	污染团到达时间/h
极低风险	极低	≤1	≤2	>1
低风险	低	(1,3]	(2,6]	(0.5,1]
中风险	中	(3,6]	(6,12]	(0.1,0.5]
高风险	高	>6	>12	≤0.1

3.4 风险源识别

魏村水厂水源地的主要风险源为 3 个,分别是德胜河排口、澡港河排口以及污水处理厂排口。详见表 3。

表 3 风险源强信息

风险源	距离取水口距离/m	直排入河企业数量/个	直排入河高风险化工企业数量/个
德胜河排污口	1 300	11	5
澡港河排污口	5 300	53	26
污水处理厂排污口	5 500	135	27

在非汛期,德胜河主要流向为由北向南,主要功能为从长江引水;在汛期,德胜河主要流向为由南向北,主要功能为向长江排水。根据常州市内河段的污染源调查,德胜河周边有 11 家工业企业的工业废水直接进入德胜河水体中。又根据内河段的水质评价,在汛期,德胜河水质有超标的现象发生,若此时开闸排水,会对魏村水厂取水口的水质产生不利影响。

澡港河位于魏村水厂取水口下游,经过污染源调查,有 53 家企业的废水是直接排入澡港河中,又因为澡港河与老澡港河相连,常州深水城北污水处理有限公司的废水排入老澡港河,所以在澡港河周边的直排企业和常州深水城北污水处理有限公司的废水超标排放的情况下,澡港河会对魏村水厂的取水口水质产生不利影响。澡港河周边还有风险较高的 26 家化工企业。

污水处理厂直排入长江的主要包括 4 个污水处理厂,分别是常州新区自来水排水公司、常州市深水江边污水处理有限公司、常州市百丈污水处理有限公司、常州西源污水处理有限公司。当污水处理厂出现事故排放时,会对长江水质产生一定的不利影响,在长江受潮汐影响倒流时,会对魏村水厂取水口的水质安全造成一定的威胁。在排入这些污水处理厂中的企业包括 27 家风险较高的化工企业。

3.5 水厂取水口风险等级判定

根据调查得到的风险源最大可信事故排放量及污染因子(COD、NH₃-N),通过设计水文条件下的二维非稳态水量水质模型的计算,根据计算结果结合建立起的风险判别模型,对各风险源对于取水口的风险影响进行风险等级判别(对 COD 和 NH₃-N 风险等级最高的情况进行判别)。水质标准参照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》。根据风险等级综合分级(表 4)得到各风险源对取水口的风险等级判定(表 5)。

表 4 风险等级综合分级

级别	极低风险	低风险	中风险	高风险
风险等级判定指标	1	2	3	4
水源地风险等级指标	1. 0<δ≤1. 75	1. 75<δ≤2. 5	2. 5<δ≤3. 25	3. 25<δ≤4

表 5 各风险源对取水口风险等级判定

风险受体	风险源	企业风险等级	最大水质超标倍数	超标持续时间	污染团到达时间	综合风险指标值
魏村水厂取水口	澡港河	中	极低	低	极低	低
	污水处理厂	中	极低	低	极低	低
	德胜河	低	低	极低	中	低

4 判定结果分析

根据建立的风险判定模型得到 3 个概化的风险

源对魏村水厂取水口的综合风险为低等级。从各个风险源的各项指标的判定中可以看到,澡港河和污水处理厂的企业风险等级较高,为中等风险,主要由于这两个风险源中工业企业较多,而德胜河风险源的污染团到达时间指标为中等风险,主要因为德胜河入长江口处距离魏村水厂取水口距离较近,一旦德胜河水质出现恶化情况,将会在较短时间内影响魏村水厂取水口的水质安全。

5 结 语

从常州长江段水源地安全角度出发,通过建立长江常州段水量水质数学模型,并结合研究区域的污染物分布及水文情势状况,以常州长江水源地为风险受体,建立起风险源与风险受体紧密联系的风险判别体系。判别体系主要考虑风险源进入水体后的迁移扩散等对风险受体构成风险威胁的影响程度,运用风险指标对影响程度进行量化分析,从而进行对风险源以及风险受体的综合风险判定。这种风险判别的方法由于对有毒的特异物质以及迁移转化研究进展的限制,故针对特异有毒物质的风险判定有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] 徐峰,石剑荣,胡欣. 水环境突发事件危害后果定量估算模式研究[J]. 上海环境科学,2003,22(增刊 2):64-71. (XU Feng, SHI jianrong, HU xing. Study on quantitative estimation model of accident effect happen in water environment[J]. Shanghai Environmental Sciences, 2003,22(Sup2):64-71. (in Chinese))

[2] 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))

[3] 李如忠,洪天求,金菊良. 河流水质模糊风险评价模型研究[J]. 武汉理工大学学报,2007,29(2):43-46. (LI Ruzhong, HONG Tianqiu, JIN Juliang. Research on fuzzy risk assessment model for river water quality[J]. Journal of Wuhan University of Technology,2007,29(2):43-46. (in Chinese))

[4] 杨柳俊. 阳鸿石油码头水环境风险事故影响评价[J]. 水资源保护,2005,21(5):46-48. (YANG LiuJun. Risk assessment of the influence of Yanghong petrol wharf on water environment [J]. Water Resources Protection, 2005,21(5):46-48. (in Chinese))

[5] 黄奕龙,王仰麟,谭启宇,等. 城市饮用水源地水环境健

康风险评价及风险管理[J]. 地学前缘,2006,13(3): 162-167. (HUANG Yilong,WANG Yanglin,TAN Qiyu, et al. Environmental health risk assessment and management for urban water supply sources [J]. Earth Science Frontiers, 2006,13(3):162-167. (in Chinese))

[6] 苏伟,刘景双,王洋. 第二松花江干流水环境健康风险评价[J]. 自然资源学报,2007,22(1):79-84. (SU Wei, LIU Jingshuang, WANG Yang. Water environmental health risk assessment of the second Songhua River[J]. Journal of Natural Resources, 2007,22(1):79-84. (in Chinese))

[7] 李如忠,石勇,王玉锋. 淮河蚌埠段水环境健康风险评价[J]. 水电能源科学,2008,26(2):37-40. (LI Ruzhong,SHI Yong,WANG Yufeng. Water environmental health risk assessment for Bengbu reach in Huaihe River [J]. Water Resources and Power, 2008,26(2):37-40. (in Chinese))

[8] 胡国华,孙树青,郭飞燕,等. 黄河干流水环境健康风险评价[J]. 应用基础与工程科学学报,2006,14(增刊): 63-68. (HU Guohua,SUN Shuqing, GUO Feiyan, et al. Water Environmental health risk assessment for Yellow River[J]. Journal of Basic Science And Engineering, 2006,14(Sup1):63-68. (in Chinese))

[9] 秦雯雯,杨忠芳,侯青叶,等. 江西省鄱阳地区饮用水健康风险评价[J]. 现代地质,2011,25(1):182-188. (QIN Wenwen,YANG Zhongfang, HOU Qingye, et al. Health risk assessment of drinking water in Poyang Lake region in Jiangxi Province [J]. Geoscience, 2011,25(1):182-188. (in Chinese))

[10] 王秋莲,张震,刘伟. 天津市饮用水源地水环境健康风险评价[J]. 环境科学与技术,2009,32(5):187-190. (WANG Qiulian,ZHANG Zhen,LIU Wei. Environmental Health Risk Assessment of Drinking Water Source in Tianjin[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32(5):187-190. (in Chinese))

[11] 王勇泽,李诚,孙树青,等. 黄河三门峡段水环境健康风险评价[J]. 水资源保护,2007,23(1):28-30. (WANG Yongze, LI Cheng, SUN Shuqing, et al. Water environmental health risk assessment for the Sanmenxia Reach of the Yellow River [J]. Water Resources Protection, 2007,23(1):28-30. (in Chinese))

[12] 周晓铁,王嘉,孙世群,等. 饮用水水源地健康风险研究和实例分析[J]. 四川环境,2010,29(4):24-28. (ZHOU Xiaotie, WANG Jia, SUN Shiqun, et al. Health risk assessm entresearch for drinkingwater supply sources and case analysis[J]. Sichuan Environment, 2010,29(4): 24-28. (in Chinese))

[13] 胡二邦,环境风险评价实用技术和方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2000:260-264.

[14] JENKINS L. Selecting scenarios for environmental disaster planning[J]. European Journal of Operational Research, 2000,121:275-286.

[15] SCOTT A. Environment-accident index: validation of a model[J]. Journal of Hazardous Materials,1998,61:305-312.

[16] 逢勇,崔广柏,姚琪,等. 长江江苏段区域供水水源地利利用江段研究[J]. 南京大学学报:自然科学版,2003,39(3):397-403. (PANG Yong, CUI Guangbo, YAO Qi, et al. The selection of uti lizable water supply of Yangtze River in Jiangsu Province, Eastern China[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2003,39(3):397-403. (in Chinese))

[17] 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))

[18] 葛维龙,陈毅忠,王振兴,等. 常州西源污水处理厂提标改造及运行[J]. 现代农业科技,2011(16):257-258. (GE Weilong, CHEN Yizhong, WANG Zhenxing, et al. Upgrading reconstruction and operation condition of Changzhou Xiyuan wastewater treatment plant [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(16): 257-258. (in Chinese))

(收稿日期:2012-05-22 编辑:高渭文)

• 简讯 •

河海大学一项成果入选 2012 年全国水利信息化十件大事

水利部组织开展的 2012 年全国水利信息化十件大事评选结果近日揭晓,河海大学主持完成的“基于云计算的防汛防旱信息集成平台的研究”荣获 2012 年度大禹水利科学技术奖一等奖。

由许峰、朱跃龙教授主持完成的“基于云计算的防汛防旱信息集成平台的研究”,依托国家 863 计划、国家自然科学基金、江苏省水利科技计划等多个重点项目,结合当前最先进的云计算技术和 3C 技术,研制了全国第一个水利云平台,实现了一个平台下的多个业务系统的有效整合和灾情旱情远程监控及信息报送,有效地支撑水资源配置和防汛防旱等多目标、多任务、多层次的应用,成果总体达到国际先进水平、部分达到国际领先水平,并已在江苏、福建等省和黄河水利委员会推广应用,产生了重大的经济效益和社会效益。

(本刊编辑部供稿)