

基于 MIKE 模型的饮用水水源地 污染风险预测评估 ——以长江南京段为例

詹树新¹, 胡德云²

(1. 南京通瑞水利建设有限公司, 江苏 南京 210017;

2. 江苏恒逸源工程项目管理有限公司, 江苏 南京 210017)

摘要:以长江南京段为例,运用 MIKE 模型,模拟长江南京段常规排污情况对水质的影响,找出南京市饮用水源地存在的潜在危机,进而有针对性地提出应对措施,为饮用水源地的保护提供依据。该研究方法具有一定的通用性,可为其他城市构建饮用水源地风险评估模型提供参考。

关键词:饮用水; 水源地; 风险预测; 长江南京段

中图分类号:X522

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2019)09-0046-05

Prediction and assessment on the pollution risk of drinking water sources based on MIKE model ——take the Nanjing Section of the Yangtze River as an example

ZHAN Shuxin¹, HU Deyun²

(1. *Nanjing Tongrui Hydraulic Engineering Construction Co., Ltd., Nanjing 210001, Jiangsu;*

2. *Jiangsu Hengyiyuan Engineering Project Management Co., Ltd., Nanjing 210017, Jiangsu*)

Abstract: Taking Nanjing section of the Yangtze River as an example, MIKE model was used to simulate the impact of conventional sewage discharge on water quality in Nanjing section of the Yangtze River. The potential crisis of drinking water sources was found out and then put forward targeted countermeasures to provide basis for the protection of drinking water sources. This research method was universal and could also provide reference for other cities to build risk assessment models of drinking water sources.

Key words: drinking water; water source; risk forecast; Nanjing Section of the Yangtze River

1 概述

饮用水是人类生存的基本需求,饮用水水源地是保障我国经济社会可持续发展和人民群众身体健康的重要基础。近年来,饮用水安全保障工作受到高度重视,《中华人民共和国水法》规定:国家建立饮用水水源保护区制度。省、自治区、直辖市人

民政府应当划定饮用水水源保护区,并采取措施,防治水源枯竭和水体污染,保证城乡居民饮用水安全^[1]。《江苏省水利现代化规划》提出:到 2020 年 13 个省辖市及有条件的县市应具备 2 个以上水系相对独立的饮用水源地,并互为备用。2015 年 4 月国务院发布《水污染防治行动计划》(国发[2015]17 号),明确要求保障饮用水水源安全,单一水源供水

收稿日期:2019-02-14

作者简介:詹树新(1985—),男,工程师,主要从事水利工程施工方面的工作。

的地级及以上城市应于 2020 年底前基本完成备用水源或应急水源建设,有条件的地方可以适当提前。随着城市建设规模的扩大、经济的高速发展以及人口的快速增长,工业废水和生活污水排放量大幅度增加,而水环境保护措施落实不到位,特别是污水处理设施滞后于污水排放量的增长,许多未经处理的污水直接或间接排入饮用水源地,造成水污染日益严重,水环境质量下降,制约了经济社会的持续、协调、稳定发展。本次研究以长江南京段为例,运用 MIKE 模型,模拟长江南京段常规排污情况对水质的影响,找出南京市饮用水源地存在的潜在危机,进而有针对性地提出应对措施,为饮用水源地的保护提供依据。

2 长江南京段概况及污染源调查

南京市地处长江下游,境内水网稠密,但饮用水水源单一,主要以长江为主,省政府划定的南京市现状集中式饮用水源地保护区共有 13 个,其中长江水源地 8 个,湖泊水源地 1 个,水库水源地 4 个。8 个长江水源地均为河道型水源地,左岸右岸各有 4 个,分别是位于左岸的桥林备用水源地、江浦浦口水源地、八卦洲(主江段)备用水源地、八卦洲(左汊)上坝水源地;位于右岸的江宁子汇洲水源地、夹江水源地、燕子矶水源地、龙潭水源地。这 8 个水源地呈“一”字形交错布设在长江南京段的左右岸上^[2-3]。

南京市通过多年的水源地治理工作,目前水源地保护区内基本已经不存在工业企业、畜禽养殖场、垃圾中转站、垃圾填埋场之类的集中污染源等点源污染和化学农药使用、分散式畜禽养殖场等面源污染,但是部分化工、石化、钢铁、电力等化学、油料码头排污口及部分农业面源污染仍然存在。据调查,长江南京段码头、水上加油站共计 36 个,规模以上排污口共有 28 个,主要位于江宁河至秦淮新河之间(夹江水源地上游)、燕子矶水源地、八卦洲(左汊)上坝水源地及龙潭水源地。由于南京位于长江流域下游,上游水上交通运输等产生的有毒有害品、易燃易爆品等容易造成水污染。据相关部门调查,1985~2006 年间,长江流域共发生 56 起事故,其中上游 42 起,下游 14 起。由此可见,长江流域上游污染对南京段饮用水源地的影响不容忽视^[4-5]。

3 长江南京段水动力—水质耦合模型构建

本次以长江南京段为研究对象,以移动污染源泄漏、排污口排污为背景,选用 MIKE 模型中的水动力(FlowModel FM)以及水质模块(Oilspill、AD),建立二维水动力—水质耦合预警计算模型,模拟设计水文条件和事故条件下污染物质时空变化情况。

3.1 二维水动力模型建立

以 MIKE21 中的 FlowModel FM 模块为基础建立水动力模型,计算方法是有限元差分(FDM),模型基本方法如下。

质量守恒方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = S \quad (1)$$

X-动量方程:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp}{C^2 h^2} \sqrt{p^2 + q^2} -$$

$$\frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVx + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = S_{ix} \quad (2)$$

Y-动量方程:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq}{C^2 h^2} \sqrt{p^2 + q^2} -$$

$$\frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega p - fVy + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = S_{iy} \quad (3)$$

式中, h 为水深(m); ζ 为自由水面水位(m); p 、 g 为 x 、 y 方向的流量密度,即单宽流量($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$); (u,v) 为 x 、 y 方向平均水流流速; C 为 Chezy 阻力系数($\text{m}^{1/2}/\text{s}$); g 为重力加速度(m/s^2); f 为风摩擦因素; V_x, V_y 为风速及 x 、 y 方向的风速分量(m/s); Ω 为科里奥利系数; x, y 为空间坐标; t 为时间(s)^[6]。

3.2 二维水质模型建立

选用 MIKE21 建立研究区二维水动力—水质耦合模型。在二维水质模型建立时,针对不同的污染物类型,分别采用 Oilspill 模块、Transport 模块对 2 种突发事故进行模拟。

二维输移扩散模型的控制方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t} (hc) + \frac{\partial}{\partial x} (uhc) + \frac{\partial}{\partial y} (vhc) = \frac{\partial}{\partial x} \left(hD, \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hD, \frac{\partial c}{\partial y} \right) - Fhc + s \quad (4)$$

式中, c 为目标污染物浓度; h 为水深(m); (u, v) 为 x, y 方向平均水流流速; x, y 为空间坐标; t 为时间(s); s 为源汇项。

4 长江南京段常规排污水质模拟

按照工业点源排污以及农业面源排污 2 种排污类型, 模拟计算南京长江段常规排污情况对水质的影响。

4.1 模拟设计条件

4.1.1 基本资料

本次计算基本资料为长江南京段水下地形资料、长江南京站水位资料以及长江大通站流量资料。

工业点源排污情况: 本次共收集了 232 个排污企业的年统计排污情况。为了便于计算, 本次研究将以上排污企业按照沿江流域排放进行了分区, 根据流域情况, 分为秦淮河地区、八卦洲地区、板桥河地区、便民河地区、城南河地区、滁河地区、东十里长沟地区、高旺河地区、江宁河地区、九乡河地区、

牧龙河地区、七乡河地区、石碛河地区以及朱家山河地区。模拟计算中, 将 232 个企业对应于各自的小流域进行统计, 作为集中污染源排入长江干流。

农业面源排污情况: 农业面源污染情况比较复杂, 本次研究采用经验概化处理, 假定区域内农业面源污染量为片区企业排污量的 2 倍。

4.1.2 模型概化情况

将基础地形资料、流量资料、水位资料、污染物量概化入模型, 按照地形将模型概化计算为 18785 个网格, 河床糙率取 0.025。将污染物按照收纳水体不同进行统计分类, 模拟的污染物主要为 COD、氨氮、总磷、石油类、酚、氰化物、汞、铬, 统计结果见表 1、表 2。

4.2 模拟工况及计算结果

本次研究考虑 2 种计算工况。

4.2.1 工况一(枯水期仅考虑企业排污)

为考虑较不利情况, 模拟期选择枯水期。其上游流量边界采用长江大通站 2 月多年平均流量 $7800 \text{ m}^3/\text{s}$, 下游水位边界采用长江下关站 2 月多年

表 1 片区污染物统计表(仅企业排污)

受纳水体名称	废水流量 (m^3/s)	COD (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	石油类 (mg/L)	酚 (mg/L)	氰化物 (mg/L)	汞 (mg/L)	铬 (mg/L)
八卦洲	301.81	26.25	1.54	0.06	0.83	0.02	0.01	0.0007	0
板桥河	4.28	56.21	9.48	0	1.78	0	0	0	0.0055
便民河	6.43	166.65	8.85	0.49	21.46	0	0	0	0
城南河	35.18	208.44	13.34	1.97	0	0	0	0	0
滁河	371.09	68.00	2.97	0.03	0.06	0	0	0	0
东十里长沟	81.61	57.04	4.52	0.08	3.89	0	0	0	0
高旺河	1.69	27.46	14.57	0	0.62	0	0	0	0.0271
江宁河	293.11	24.28	1.15	0.03	0.54	0.02	0.01	0	0
九乡河	305.45	64.76	5.77	0.25	4.09	0.90	0.03	0	0.0003
牧龙河	0.79	96.00	7.00	0	0.00	0	0	0	0
七乡河	39.40	73.65	4.22	0.45	0.04	0	0	0	0
秦淮河	355.81	71.86	3.74	0.29	0.57	0	0	0	0
石碛河	2.13	98.51	11.31	0.00	43.90	0	0	0	0
朱家山河	6.65	116.40	8.17	0	4.33	0	0	0	0

表 2 片区污染物统计表(企业排污+农业面源排污)

受纳水体名称	废水流量 (m ³ /s)	COD (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	石油类 (mg/L)	酚 (mg/L)	氰化物 (mg/L)	汞 (mg/L)	铬 (mg/L)
八卦洲	301.81	78.75	4.62	0.18	2.49	0.06	0.03	0.0021	0
板桥河	4.28	168.63	28.44	0	5.34	0	0	0	0.0165
便民河	6.43	499.95	26.55	1.47	64.38	0	0	0	0
城南河	35.18	625.32	40.02	5.91	0	0	0	0	0
滁河	371.09	204	8.91	0.09	0.18	0	0	0	0
东十里长沟	81.61	171.12	13.56	0.24	11.67	0	0	0	0
高旺河	1.69	82.38	43.71	0	1.86	0	0	0	0.0813
江宁河	293.11	72.84	3.45	0.09	1.62	0.06	0.03	0	0
九乡河	305.45	194.28	17.31	0.75	12.27	2.7	0.09	0	0.0009
牧龙河	0.79	288	21	0	0	0	0	0	0
七乡河	39.4	220.95	12.66	1.35	0.12	0	0	0	0
秦淮河	355.81	215.58	11.22	0.87	1.71	0	0	0	0
石碛河	2.13	295.53	33.93	0	131.7	0	0	0	0
朱家山河	6.65	349.2	24.51	0	12.99	0	0	0	0

平均最高、最低水位进行缩放所得。污染物排放量采用各企业分片区统计值。模拟期间长江水质为Ⅲ类水。根据南京地区各企业分布情况以及水系情况,统计各片区年平均流量以及各污染物浓度进行计算。

根据计算结果可知:(1)各企业正常排污情况下,COD 影响范围主要集中在几条支流入江口范围,其中石碛河、牧龙河、江宁河以及板桥河流域对长江水质基本没有影响,秦淮河、城南河、东十里长沟、滁河、九乡河、七乡河影响较为明显。江宁子汇洲水源地以及桥林备用水源地范围内水质 COD 指标均能满足Ⅲ类水标准。江浦浦口水源地部分水域 COD 水质为Ⅳ类标准,位置大约分布于长江左岸垂直距离 300 m,纵向影响范围约为下游 2000 m。其余区域均能满足 COD 指标,即均能满足Ⅲ类水标准。夹江水源地 COD 水质标准均能满足Ⅲ类水标准。八卦洲上坝水源地、八卦洲主干段备用水源地以及燕子矶水源地 COD 水质指标均满足Ⅲ类水标准,龙潭水源地 COD 水质指标基本满足Ⅲ类水标准。(2)各企业正常排污情况下,总氮影响范围与

COD 范围基本吻合。江宁子汇洲水源地以及桥林备用水源地范围内水质总氮指标均能满足Ⅲ类水标准。江浦浦口水源地部分水域总氮水质为Ⅳ类标准,位置大约分布于长江左岸垂直距离 400 m,纵向影响范围约为下游 2400 m。其余区域均能满足总氮指标,即均能满足Ⅲ类水标准。夹江水源地总氮水质标准均能满足Ⅲ类水标准。八卦洲上坝水源地、八卦洲主干段备用水源地以及燕子矶水源地总氮水质指标均满足Ⅲ类水标准。龙潭水源地总氮水质指标为Ⅳ类标准,其水域范围为长江右岸 400 m(垂向),纵向影响范围约为下游 2000 m。所以,在各企业正常排污情况下,长江水源地除龙潭以及浦口水源地外,均能满足Ⅲ类水标准。

4.2.2 工况二(汛期考虑企业排污+农业面源污染量)

在汛期各沿江支流行洪期间,模拟暴雨将各小流域中上游各种面源污染物冲刷至长江的情况,模拟期选择汛期。其上游流量边界采用长江大通站 8 月多年平均流量 30800 m³/s。下游水位边界采用长江下关站 8 月多年平均最高、最低水位进行缩放

所得。由于面源污染量暂无确切资料,考虑点源(企业正常排放)排放量 2 倍进行估算。点源分布情况同工况一。

根据计算结果可知:在汛期行洪期间,由于污染物进入长江量较之于工况一明显较大,其对应的影响范围也随之增大。(1)各企业正常排污情况下,COD 影响范围主要集中在几条支流入江口范围,其中石碛河、牧龙河、江宁河以及板桥河流域对长江水质基本没有影响,秦淮河、城南河、东十里长沟、滁河、九乡河、七乡河影响较为明显。子汇洲水源地以及桥林备用水源地 COD 指标基本能满足Ⅲ类水标准,局部水域接近Ⅲ类水 COD 指标上限。江浦浦口水源地部分水域 COD 水质为Ⅳ类标准,位置大约分布于长江左岸垂直距离 500 m,纵向影响范围约为下游 3000 m,其余区域均能满足 COD 指标,即能满足Ⅲ类水标准。夹江水源地 COD 水质标准均能满足Ⅲ类水标准,由于秦淮新河影响,夹江上游河口段水质接近Ⅲ类水标准上限。八卦洲上坝水源地、八卦洲主干段备用水源地以及燕子矶水源地 COD 水质指标均满足Ⅲ类水标准,龙潭水源地部分水域为Ⅳ类标准,其范围大约为长江右岸垂向 200 m,纵向 500 m 范围内。(2)各企业正常排污情况下,总氮影响范围与 COD 范围基本吻合。江宁子汇洲水源地以及桥林备用水源地范围内水质总氮指标均能满足Ⅲ类水标准。江浦浦口水源地部分水域总氮水质为Ⅳ类标准,位置大约分布于长江左岸垂直距离 500 m,纵向影响范围约为下游 3000 m。其余区域均能满足总氮指标,即能满足Ⅲ类水标准。夹江水源地总氮水质标准均能满足Ⅲ类水标准。八卦洲上坝水源地、八卦洲主干段备用水源地以及燕子矶水源地其总氮水质指标均满足Ⅲ类水标准,龙潭水源地总氮水质指标为Ⅳ类标准,其水

域范围为长江右岸 600 m(垂向),纵向影响范围约为下游 3000 m。

5 结果分析

根据计算结果,在仅仅考虑企业排污的情况下,南京长江水源地基本都能满足Ⅲ类水要求,部分区域水质为Ⅳ类水,其分布基本位于长江边岸。

在考虑了农业面源排放的情况下,龙潭水源地、江浦浦口水源地水质相对较差,相对来说,江宁子汇洲水源地以及夹江水源地其供水可靠性较高。一方面由于受企业排污影响较小,另一方面在于其位置距离水上交通枢纽较远,相对安全可靠。而南京八卦洲段因为企业排污口众多、船舶运输量增加导致八卦洲段 3 个水源地的污染源风险、船舶突发事故风险日益增加。因此,针对上述两类风险,需要事先制定风险管控措施。

参考文献:

- [1] 管桂玲,卢发周,李萍,等.长江南京段饮用水水源地风险评估[J].人民珠江,2018,39(08):20-24.
- [2] 周克梅,陈卫,单国平,等.南京长江水源突发性污染应急水处理技术应用研究[J].给水排水,2007,33(9):13-16.
- [3] 于存凤,方国华,蔡吉娜.南京市饮用水水源地突发事故风险分析与应急水源选择[J].给水排水,2008,12(18):56-58.
- [4] 沈乐.长江南京段六大饮用水水源地水质变化及原因[J].水资源保护,2012,28(1):71-75.
- [5] 蔡文明,刘凌.长江流域生态环境问题及其成因[J].河海大学学报(自然科学版),2006,34(6):610-613.
- [6] 白莹.黄河突发性水污染事故预警及生态风险评价模型研究[D].南京:南京大学,2013.