

• 研究报告 •

应用有限体积法分析污染源排放对饮用水源的影响

袁洁¹, 韩龙喜²

(1 南京市环境监测中心站, 江苏 南京 210013 2 河海大学环境水利研究所, 江苏 南京 210013)

摘要: 根据南京市 5 家市政水厂水源保护区的污染源调查结果建立了长江南京段水动力和有限体积法水质数学模型, 并结合各污染源的污染强度和排放规律, 分析了枯水期在不同水文情况下, 污染源排放对饮用水源地水质的影响。有限体积法的模拟结果与常规分析的监测结果均表明, 水厂受污染程度为: 上元门水厂 > 北河口水厂 > 城北水厂 > 浦口水厂 > 城南水厂。主要污染源为水量较大, 且有一定污染的入江河流。

关键词: 饮用水源地; 污染源; 污染强度; 有限体积法

中图分类号: X 820. 3 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2007) 04- 0015- 03

Analysis of Pollutants Discharge Influence on Source Drinking Water by Finite Volume Method

YUAN Jie¹, HAN Long-xi²

(1 Nanjing Environmental Monitoring Central Station, Nanjing, Jiangsu 210013 China;

2 Hehai University Environmental Water Conservation Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210013, China)

Abstract The hydrodynamic water quality mathematical model was established from the results of pollution source investigation in water protective areas of 5 municipal water plants on Nanjing section of Yangtze River. The reason of coordination influence on water quality of the drinking water source areas by different hydrologic condition and pollution discharges was analyzed according to polluting intensity and discharge situation of pollution sources. The results from mathematical model analogue and the routine monitoring indicated that pollution level of the water plants was Shang-yun-men water plant > Bei-he-kou water plant > north city water plant > Pukou water plant > South city water plant. The main pollution sources are small polluted rivers which flow into Yangtze River.

Key words Source drinking water area; Source of pollution; Pollution intensity; Finite Volume Method

南京市的主要饮用水源地为长江, 随着该市经济、社会的发展, 对饮用水源的保护也在逐步加强。为加强城镇供水资源管理, 保障人民群众用水安全, 南京市环境监测中心站对该市主要水厂水源保护区的污染源排放状况作了调查, 并利用有限体积法水质数学模型分析了污染物排放对水源地水质的影响, 为保护饮用水源地和环境整治提供科学依据。

1 水源保护区的污染源状况

南京市城南水厂、北河口水厂、上元门水厂、城北水厂和浦口水厂等 5 家市政水厂, 分布在长约 25 km 的长江两岸, 5 家水厂供水量占全市供水总

量的 85% 以上。经调查, 在一、二级保护区内, 5 家水厂共有主要污染源 17 个 (城北水厂无污染源), 其中包括 13 个 (市政、企业) 排水机站、3 个工业污染源排污口、1 条入江河流, 长江南京段水源保护区的污染源分布状况见表 1。

2 污染源排放对饮用水源水质的影响

由于污染源特别是机站排水时, 存在污染物排放浓度不稳定、排放间断性等现象, 致使污染源排

收稿日期: 2006-06-07 修订日期: 2007-04-13

作者简介: 袁洁 (1969-), 女, 江苏南京人, 高级工程师, 学士, 从事环境管理和监测工作。

表 1 长江南京段水源保护区的污染源分布状况

序号	名称	污染源	距离取水口 L/m	COD	NH ₃ -N
				排放量 Q/(kg·d ⁻¹)	排放量 Q/(kg·d ⁻¹)
1	城南水厂	红旗机站	下游 1 200	176	14.7
2		黑桥机站	上游 3 000	384	23.2
3		徽州机站	上游 2 000	198	62.6
4	北河口水厂	下圩沟机站	上游 1 650	515	142
5		解放闸机站	上游 700	193	41.9
6		龙涡机站	下游 1 100	909	232
7		南京肉联厂	上游 2 500	200	23.3
8		金川河支流	上游 2 300	19 500	3 660
9		大桥管理处机站	上游 1 600	1.74	0.231
10	上元门水厂	金陵船厂 1 号机站	上游 1 500	7.50	1.31
11		金陵船厂 2 号机站	上游 950	1.33	0.293
12		金陵船厂 3 号机站	上游 750	1.19	0.270
13		银通物资机站	上游 100	19.9	5.26
14		港务局机站	下游 550	8.16	2.54
15	浦口水厂	定向河机站	上游 1 850	884	107
16		南京港机配件公司	上游 250	6.05	0.977
17		港务二公司	下游 950	11.4	3.90

放对长江水质的影响难以确切掌握, 此次调查对长江南京段的水动力和水质特征也作了分析, 利用建立的有限体积法水质数学模型, 模拟污染物迁移扩散规律, 以分析枯水期 (污染影响最重) 在不同水

表 3 长江南京段大通站年平均流量分配

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
流量 $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	10 700	11 400	15 800	22 900	33 100	40 700	50 500	46 000	41 800	35 000	24 100	14 400
占全年百分率 %	3.09	3.29	4.56	6.61	9.56	11.8	14.6	13.3	12.1	10.1	6.96	4.16

表 2 表明, 长江南京段为感潮河段, 潮汐每日两次涨落, 涨潮历时约 3 h, 落潮历时约 9 h。在丰水期, 江水受潮位顶托作用, 水位有一定雍高, 没有倒流, 枯水期有涨潮现象, 水流呈往复流。

表 3 表明, 长江南京段水流量分布不均, 丰水期 (一般为 7 月、8 月、9 月) 占全年流量的 39.9%, 枯水期 (一般为 12 月、1 月、2 月) 占全年流量的 10.5%, 约为丰水期的 1/4。

2.3 水质数学模型

2.3.1 二维水动力控制方程^[4]

首先引入静压假定或浅水假定, 将雷诺平均的连续性方程和水平方向运动方程沿水深积分, 得到沿水深积分的连续性方程和运动方程:

$$h_t + (uh)_x + (vh)_y = 0$$

文情况下, 污染源排放对饮用水源地水质的影响。

2.1 研究方法

水质数学模型采用的有限体积法 (FVM)^[1] 是近 20 年来发展且正被广泛应用的一种数值模拟方法, 该方法将计算区域划分成若干规则或不规则形状的单元或控制体, 计算通过每个控制体边界沿法向输入 (出) 的流量和通量, 再对每个控制体进行水量和动量平衡计算, 以得出计算时段末各控制体的水深、流速、物质浓度等物理量。

由于长江南京段水面宽阔, 流量大^[2], 污染物在垂直向混合均匀后, 浓度差异可以忽略, 故该江段采用平面二维模式模拟水动力特征和污染物输运^[3]。

2.2 长江南京段水文情况

长江南京段枯水期涨落潮情况见表 2, 长江南京段大通站年平均流量分配见表 3。

表 2 长江南京段枯水期涨落潮情况

水文特征	上游流量 ^① $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	下游水位 L/m
大潮涨潮	- 5 662.46	2.91
大潮落潮	10 855.06	2.52
小潮涨潮	- 3 801.41	2.71
小潮落潮	10 220.08	2.36

① “-”表示水体逆向流。

$$u_t + (uu)_x + (uw)_y + gh(h + z_y)_x - fv + gn^2 \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} u = \varepsilon \nabla u$$

$$v_t + (vu)_x + (vv)_y + gh(h + z_y)_y - fu + gn^2 \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} v = \varepsilon \nabla v$$

式中: t ——时间坐标;

x, y ——纵向、横向坐标;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

f ——柯氏系数;

z_y ——床面高程, m ;

h ——垂线水深, m ;

u, v —— x, y 方向的垂线平均流速, m/s ;

n ——河床糙率, 取经验值为 0.02

ε ——紊动粘性系数。

2.3.2 二维水质控制方程^[4]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (E_y \frac{\partial C}{\partial y}) -$$

$K C + S$

式中: C ——污染物质量浓度, mg/L ;

t ——时间坐标;

u, v ——纵向、横向流速, m/s ;

E_x ——纵向分散系数;

E_y ——横向分散系数;

K ——自净系数, 取 0

S ——污染源强。

2.3.3 水源地水动力特征^[5]

2.3.3.1 大潮涨潮期水动力特征

大潮涨潮过程水流流速统计特征值为:

城南水厂: $V_{MN} = -0.062 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.13 \text{ m/s}$

北河口水厂: $V_{MN} = -0.09 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.12 \text{ m/s}$

上元门水厂: $V_{MN} = -0.062 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.11 \text{ m/s}$

城北水厂: $V_{MN} = -0.14 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.2 \text{ m/s}$

浦口水厂: $V_{MN} = -0.041 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.13 \text{ m/s}$

2.3.3.2 大潮落潮期水动力特征

大潮落潮过程水流流速统计特征值为:

城南水厂: $V_{MN} = -0.072 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.21 \text{ m/s}$

北河口水厂: $V_{MN} = -0.14 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.2 \text{ m/s}$

上元门水厂: $V_{MN} = -0.09 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.15 \text{ m/s}$

城北水厂: $V_{MN} = -0.11 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.28 \text{ m/s}$

浦口水厂: $V_{MN} = -0.1 \text{ m/s}$ $V_{MAX} = -0.22 \text{ m/s}$

2.4 模拟结果

2.4.1 涨潮时污染影响小, 落潮时污染影响大

通过模拟分析, 了解了枯水期在大潮涨潮、大潮落潮、小潮涨潮、小潮落潮 4 种水文情况下, 污染源排放对各水厂饮用源水 COD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 质量浓度增量的协同影响见表 4。

表 4 各水厂 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的质量浓度增量 (协同影响)

mg/L

水文特征	城南水厂		北河口水厂		上元门水厂		城北水厂		浦口水厂	
	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$
大潮涨潮	0.05	0.004	0.20	0.050	0.02	0.008	0	0	0.001	0.001
大潮落潮	0	0	0.42	0.132	1.64	0.405	0.34	0.084	0.045	0.007
小潮涨潮	0.08	0.006	0.29	0.067	0.04	0.012	0	0	0.002	0.001
小潮落潮	0	0	0.51	0.121	1.80	0.411	0.38	0.081	0.064	0.010

经计算, 涨潮时, 下游污染源排放的污染物上溯距离约为 1 500 m, 对水厂影响较小; 落潮时, 所有排污口对下游水厂均产生影响, 有协同作用, 表明枯水期落潮对水厂影响很大。根据协同作用, 受影响最大的为上元门水厂, 其次为北河口水厂、城北水厂、浦口水厂和城南水厂, 水质数学模型的模拟结果与水厂饮用水源地水质的监测结果一致。

2.4.2 金川河支流水量大, 产生的污染也大

大潮落潮时, 污染源 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 质量浓度增量见表 5。

由表 5 可见, 在所有污染源中, 金川河支流对水厂污染最大。大潮落潮时, 金川河支流在上元门水厂近岸水域产生的 COD 质量浓度增量达 1.4 mg/L , $\text{NH}_3 - \text{N}$ 质量浓度增量达 0.34 mg/L , 分别占有污染源产生污染总增量的 85% 和 84%。

3 结论

南京市主要集中式饮用水源地为长江, 长江南京段为感潮河段。丰水期, 上游来水流量较大, 水体稀释作用较强, 受岸边污染影响较小; 枯水期, 上游来水流量较小, 水位低、流速缓慢, 对污染物稀释能力较弱, 岸边污染带浓度高。

枯水期, 长江南京段有涨潮现象, 水流呈现往复流, 但涨潮时下游污染源排放的污染物随涨潮流上溯距离较近, 影响值较小。枯水期落潮对水厂不利, 所有排污口对下游水厂均产生影响。有限体积法的模拟结果与常规分析的监测结果均表明, 水厂受污染程度为: 上元门水厂 > 北河口水厂 > 城北水厂 > 浦口水厂 > 城南水厂, 主要污染源为水量较大, 且有一定污染的入江河流。排水机站虽然水量小, 但枯水期时对水源的影响不容忽视。

(下转第 39 页)

- 氯乙烯 [J]. 微波学报, 2003, 19(1): 85-90
- [10] 夏立新, 李坤兰, 庞军, 等. 微波辐射技术在聚乙烯醇降解反应中的应用 [J]. 环境化学, 2000, 19(6): 556-560.
- [11] SATOSH I H, HISAO H, NIKE S. Environmental remediation by an Integrated Microwave/UV - Illumination Method [J]. Environmental Science and Technology, 2002, 36(6): 1357-1366
- [12] 张耀斌, 薛大明, 杨凤林, 等. 流动态微波催化反应器处理染料废水的工艺稳定性 [J]. 中国环境科学, 2002, 22(3): 235-238
- [13] LIU Y, LIU Y, LIU P, et al. Effect of microwave in selective oxidation of toluene to benzoic acid over a V2O5/TiO2 system [J]. Applied Catalysis A: General, 1998, 170: 207-214.
- [14] 傅大放, 蔡明远. 污水厂污泥微波处理试验研究 [J]. 中国给水排水, 1998, 15(6): 56-57.
- [15] CHIH G, HUA T. Application of activated carbon in a microwave radiation field to treat trichloroethylene [J]. Carbon, 1998, 36(11): 1643-1648.
- [16] HAMER A, PIIS FUSCHNER P A. Direkt zum Ziel (Description dutch m k row ellen) [J]. Chemie Umwelt Technik, 1998, 99: 16-17.
- [17] TAI H S, JIU C J. Application of granular activated carbon packed-bed reactor in microwave radiation field to treat phenol [J]. Chemosphere, 1999(11): 2667-2680
- [18] TAI H S, JIU C J. Application of granular activated carbon packed-bed reactor in microwave radiation field to treat BTX [J]. Chemosphere, 1997, 33(3): 151-157
- [19] 邹宗柏, 傅大放. 用微波辐照消除磺基水杨酸污染物 [J]. 环境污染与防治, 1999, 21(1): 22-24.
- [20] 古昌红, 傅敏, 余艳丽, 等. 在微波辐射下用 ACF 处理吡啶溶液的实验研究 [J]. 重庆环境科学, 2003, 25(3): 29-31
- [21] 张国宇, 王鹏, 姜思朋, 等. 微波辐射处理酯化废水的工艺技术研究 [J]. 给水排水, 2004, 30(8): 61-64.
- [22] 冯建敏, 邓宇, 李兰青子. 微波辐射法处理酸性黄染料废水的研究 [J]. 印染助剂, 2005, 12(6): 25-26
- [23] 王金成, 薛大明, 熊力, 等. 微波辐射处理活性艳蓝 KNR 染料溶液的研究 [J]. 环境科学学报, 2001, 21(5): 628-630.
- [24] 杨良玉, 曾庆福, 杨俊, 等. 微波再生铁屑-活性炭处理染料废水 [J]. 武汉科技学院学报, 2003, 16(10): 37-41
- [25] 李济吾, 朱利中. 微波协同有机膨润土处理有机废水方法: 中国, CN03116256.8[P]. 2003-10-08.
- [26] 李济吾, 朱利中, 蔡伟建. 微波合成有机膨润土及其吸附水中有机物的性能 [J]. 中国环境科学, 2004, 24(6): 665-669.
- [27] 孙宪彬, 徐有生. 微波污水处理专用添加剂: 中国, CN02123696.8[P]. 2004-01-14.

本栏目责任编辑 李文峻

(上接第 17 页)

表 5 大潮落潮时, 各水厂污染物 COD、NH₃-N 质量浓度增量

mg/L

污染源	$\rho(\text{COD})$					$\rho(\text{NH}_3 - \text{N})$				
	城南	北河口	上元门	城北	浦口	城南	北河口	上元门	城北	浦口
红旗机站	0	0.005	0.002	0.002	0	0	0.000	0.000	0.000	0
黑桥机站	0	0.070	0.013	0.009	0	0	0.047	0.009	0.001	0
徽州机站	0	0.097	0.014	0.010	0	0	0.032	0.005	0.003	0
下圩沟机站	0	0.200	0.029	0.019	0	0	0.040	0.006	0.004	0
解放闸机站	0	0.043	0.004	0.003	0	0	0.010	0.001	0.001	0
龙涡机站	0	0	0.019	0.013	0	0	0	0.005	0.004	0
南京肉联厂	0	0	0.009	0.003	0	0	0	0.001	0.000	0
金川河支流	0	0	1.400	0.280	0	0	0	0.340	0.070	0
桥管处机站	0	0	0.003	0.000	0	0	0	0.000	0.000	0
船厂 1 号机站	0	0	0.022	0.001	0	0	0	0.004	0.000	0
船厂 2 号机站	0	0	0.005	0.000	0	0	0	0.001	0.000	0
船厂 3 号机站	0	0	0.004	0.000	0	0	0	0.001	0.000	0
银通物资机站	0	0	0.120	0.002	0	0	0	0.032	0.001	0
港务局机站	0	0	0	0.000	0	0	0	0	0.000	0
定向河机站	0	0	0	0	0.040	0	0	0	0	0.006
港机配件公司	0	0	0	0	0.005	0	0	0	0	0.001
港务二公司	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
协同影响值	0	0.415	1.64	0.341	0.045	0	0.130	0.405	0.084	0.007

[参考文献]

- [1] 谭维炎. 计算浅水动力学 - 有限体积法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [2] 沈敏, 于红霞, 邓西海. 长江下游沉积物中重金属污染现状与特征 [J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(5): 15-18.
- [3] 白玉川, 顾元琰, 邢焕政. 水流泥沙水质数学模型理论及应用 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2005
- [4] 付国伟. 河流水质数学模型及其模拟计算 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987
- [5] 赵人俊. 流域水文模拟 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1984