

水源地水质可达性及保护对策研究

——以柳州为例

颜润润, 逢 勇

(河海大学环境科学与工程学院, 南京 210098)

摘 要: 水质模型能够模拟、预测污染物在水体中的迁移扩散规律, 是研究和解决水体污染的一种常用方式, 已大量应用于工程可行性研究中, 并取得一定的成效。通过建立柳江柳州段二维水流水质耦合模型模拟柳江柳州段的水流水质状况, 计算出概化污染源在设计条件下的污染带分布状况, 确定该市五个水源地上需要重点研究的两个水源地; 建立排污量与混合带范围关系曲线, 进行污染源对各水源地水质影响分析, 并计算污染源的排污控制量。根据计算结果, 柳州市要保证供水水质达标必须采取削减入河污染量或者另设取水口等措施。

关键词: 供水水源地; 水质模型; 柳江柳州段; 水质达标分析

中图分类号: P341; P342

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0303-03

Reaching Function Analysis of Water Quality and Protecting Measure in Water Supply Sources

——Taking Liuzhou City as an Example

YAN Run-run, PANG Yong

(College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Water quality model can simulate and predict the moving and diffusing law of the pollutant in water body. It is a common method to study and settle the problem of polluted water. A 2-D FVM and Riemann approximate solution model for water quality of the Liujiang River are developed and applied to simulate the flux and quality condition of the water. The main pollutant mixed belts in designed condition are computed, so as to ascertain the two water sources for stressed study. The relationship between the area of the belts and the discharged pollutants are computed. The water quality situation in the water supply place is analyzed and the control discharged pollutants of each influencing pollutant sources are given. In order to ensure that the water quality in water supply sources in Liuzhou city can achieve water standard, pollutants discharged into water must be reduced or the water supply places must be changed.

Key words: supply water sources; water quality model; the Liujiang River in Liuzhou city; reaching function analysis of water quality

一个城市水源地水质状况直接影响到城镇生活的各个方面, 利用水质模型计算各个水源地附近水质污染状况, 建立排污量与混合带范围关系曲线, 进行污染源对各水源地水质影响分析, 最后确定解决方案, 为水源地保护措施的实施提供有力的依据。

近些年来, 柳江水质受工业污染逐年恶化, 对水源地的水质已造成严重威胁。目前柳州市共有 5 个自来水厂, 其取水口均设在柳江, 这 5 个水厂分别为柳北、柳西、城中、柳南和柳东水厂, 其中柳北、柳西、城中水厂位于排污口上游, 污染源排污对其影响较小, 而柳南水厂和柳东水厂位于排污口下游, 受污染源影响较大。本文采用二维水环境模型即平面水流-水质有限体积法及黎曼近似解模型^[1], 对柳南水厂和柳东水厂的水质达标性进行了详细分析。使用二维水环境模型模拟研究区域河段污染物输运扩散过程及重要排污口的污染浓度和污染带的范围、大小。在此基础上, 进行柳州

市供水水源地的水质可达性研究, 并提出为保证供水水源地水质达标的应对措施。

1 二维水环境数学模型建立

1.1 二维水流水质耦合数值模拟原理

(1) 控制方程

二维浅水水流方程和对流-扩散方程的守恒形式可表达为

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

其中 $q = [h, hu, hv, hC]^T$

$$f(q) = [hu, hu^2 + gh^2/2, huv, huC]^T$$

$$g(q) = [hv, huv, hv^2 + gh^2/2, hvC]^T$$

$$b(q) = [0, gh(S_{0x} - S_{fx}), gh(S_{0y} - S_{fy}), \rho g(D_i \nabla^2 (hC)) + S/A - KhC]^T$$

式中: q ——守恒物理量; $f(q)$ —— x 向通量; $g(q)$ —— y 向

* 收稿日期: 2006-06-01

基金项目: 国家自然科学基金资助, 编号: 50579015

作者简介: 颜润润(1982-), 女, 江苏涟水人, 博士研究生, 从事水环境评价及规划的研究工作。

通量; $b(q)$ ——源(或汇)项; h ——水深; u, v —— x 向和 y 向垂线平均水平流速分量; C ——污染物(COD 等)质量浓度。

(2) 方程离散

定义矩阵 $F(q) = [f(q), g(q)]^T$, 在任意形状的单元 Ω 上对式(1)积分, 利用散度定理, 可得到有限体积公式

$$\iint_{\Omega} q_i d\omega = \int_{\partial\Omega} F(q) \cdot n dL + \iint_{\Omega} b(q) d\omega \quad (2)$$

式中: $F(q)n$ ——法向数值通量; $d\omega, dL$ ——面元积分和线元积分; $F(q) \cdot n$ ——法向数值通量。

离散方程(2)并利用 $f(q)$ 和 $g(q)$ 的旋转不变性^[3], 得有限体积分法的基本方程为

$$A = \frac{dq}{dt} = - \sum_{j=1}^m T(\varphi)^{-1} f(\bar{q}) L_j + A b(q) \quad (3)$$

式中: $f(\bar{q})$ —— $f(q)$ 的推广矩阵; L_j ——单元第 j 边的长度; A ——单元 Ω 的面积; m ——单元的边数。在单元各边两侧 q (或 \bar{q}) 值可能不同, 当单元界面上 q (或 \bar{q}) 值不连续时, 可通过解局部一维黎曼问题求得 $f(\bar{q})$ ^[2]。

1.2 计算条件的选取

(1) 网格划分。选取的城中水厂至柳东水厂的河段长约 5.5 km。为了较好地拟合边界及水下地形, 采用无结构网格对该柳江该河段进行网格剖分, 共 2 193 个单元, 2 390 个节点。

(2) 计算边界条件。上游给定流量边界条件, 下游给定水位边界条件, 流量为 90% 保证率下的最小月平均流量, 水位则由实测资料提供; 同时输入计算区域内各概化污染源点实测的排污浓度和排污流量。各计算域内单元初始水位取为下边界相应水位, 单元内水体流速初始值设为均匀的较低流速, 各单元内初始污染物浓度取河段的背景浓度。

根据柳州市的水环境功能区划, 该河段为 Ⅲ 类水体。计算时, 取水水质边界条件 COD_{Mn} 为 4.0 mg/L。

(3) 参数率定。考虑计算稳定性及精度, 取时间步长 Δt 为 1s; 综合考虑地形、水生植物等因素的影响, 取单元初始糙率为 0.020。水质参数主要考虑扩散系数和降解系数, 采用污染源与水质的同步观测资料对模型参数进行率定^[4], 率定结果为: COD 水质降解系数值为 0.25 d^{-1} ; 水质纵向及横向扩散系数根据实际情况分别取为 5 m^2/s 和 0.01 m^2/s 。

2 模型计算结果及分析

2.1 流速场数值模拟

柳江为单向流, 采用该模型对柳江河段进行水流模拟, 流速场的模拟结果见图 1。从图中可看出, 流场空间分布基本合理, 主航道流速大于浅滩流速。

2.2 排污混合带计算结果

采用该模型模拟柳江河段在各概化排污口现状排污量 P_0 下的水质状况, 将各水源地水质计算值和现状监测值比

较, 发现基本一致。由各排污口现状排污混合带(图 2) 的分布情况, 得知城中水厂基本不受污染源的影响, 水质良好; 柳南水厂、柳东水厂水质较差, 重要影响污染源为竹鹅溪、华丰湾和东门干渠等。

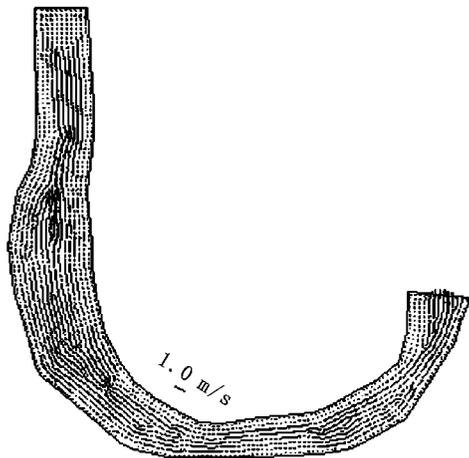
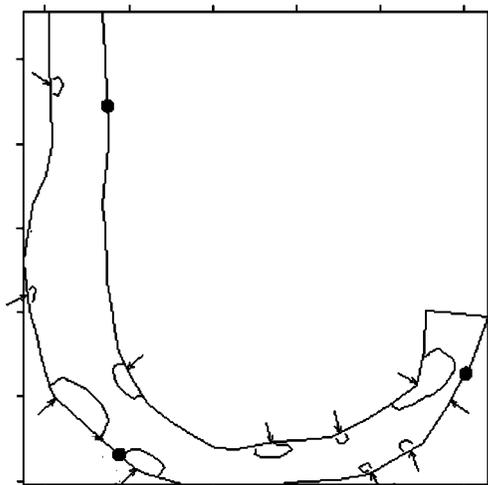


图 1 4.1-1 柳江河段流速场



1. 河西渠; 2. 水电段; 3. 竹鹅溪; 4. 华丰湾; 5. 烟厂沟; 6. 麦乳精厂沟; 7. 冶炼厂沟; 8. 雅儒沟; 9. 柳新干渠; 10. 文忠干渠; 11. 东门干渠

图 2 现状排污混合带范围

2.3 关系曲线建立

排污混合带的范围(长、宽等)与排污口污染物的排放量、水文条件等都有关系。当水文条件取设计保证率条件时, 混合带范围主要与排污量有关^[5]。分别计算 0.5 P_0 、1.0 P_0 、1.5 P_0 、2.0 P_0 、2.5 P_0 条件下竹鹅溪、华丰湾和东门干渠的排污混合带, 建立排污口混合带长(宽)度与 COD_{Cr} 排污量的关系曲线(图 3~5)。

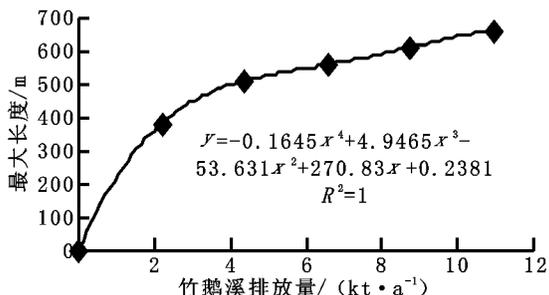


图 3 竹鹅溪排污量与混合带长度关联图

(1) 影响柳南水厂水质的主要排污口是竹鹅溪和华丰湾, 竹鹅溪的污染带长度为 500~550 m, 华丰湾的污染带长

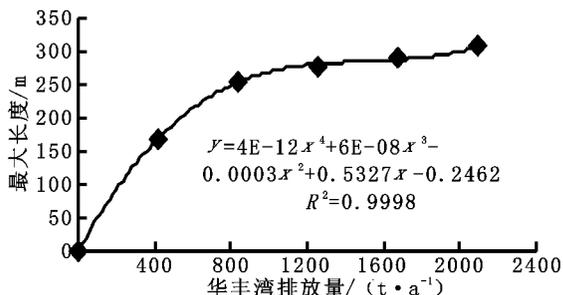


图 4 华丰湾排污量与混合带长度关联图

度约为 250~300 m; (2) 影响柳东水厂水质的主要排污口是东门干渠, 东门

干渠位于柳东水厂对岸,其混合区宽度为 190~ 220 m;

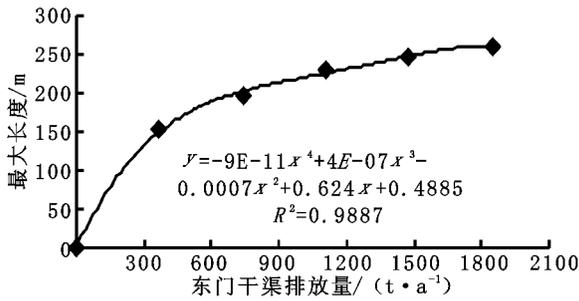


图 5 东门干渠排污与混合带宽度关联图

3 水源地保护对策

3.1 削减入河污染物量

要保证柳南、柳东水厂水质达标,必须对上述 3 个排污口的排放量加以限制。根据现状排污状况、上述建立的关系曲线以及混合区的限制范围^[6],计算得这 3 个排污口排污控制量见表 1。

表 1 各主要影响污染源的排污控制量

水源地	主要影响污染源	排污控制量(t/a)
柳南水厂	竹鹅溪	4000
	华丰湾	800
柳东水厂	东门干渠	300

(1) 削减排放量。主要是要加大对柳州市工业和生产污染源的治理,尤其是要控制竹鹅溪、华丰湾和东门干渠等的入河污染物量。

(2) 兴建截污工程。修建污水截流管道,截走重要影响

参考文献:

[1] 谭维炎,胡四一.二维浅水流动的一种普适的高性能格式—有限体积 Osher 格式[J].水科学进展,1991,2(3):154-161.
 [2] 赵棣华.平面二维水流—水质有限体积法及黎曼近似解模型[J].水科学进展,2000,11(4):368-373.
 [3] Spekijse S P. Multigrid solution of steady Euler equations[M]. Amsterdam: CW I Y race 46,1988. 10-60.
 [4] 龚若愚,周源岗.柳州柳江段水环境容量研究[J].水资源保护,2001,(1):31-32.
 [5] 逢勇,赵棣华,等.长江江苏段区域供水水源地水质可达性研究[J].水科学进展,2003,14(2):184-188.
 [6] 孙卫红,姚国金,等.基于不均匀系数的水环境容量计算方法探讨[J].水资源保护,2001,(2),24-26.

(上接第 302 页)

参考文献:

[1] 芮孝芳.流域水文模型研究中的若干问题[J].水科学进展,1997,8(1):94-98.
 [2] 李道峰,吴悦颖,刘昌明.分布式流域水文模型水量过程模拟——以黄河河源区为例[J].地理科学,2005,25(3):299-304.
 [3] 杨大文,李翀,倪广恒,等.分布式水文模型在黄河流域的应用[J].地理学报,2004,59(1):143-154.
 [4] 刘昌明,夏军,郭生练,等.黄河流域分布式水文模型初步研究与进展[J].水科学进展,2004,15(4):495-500.
 [5] 熊立华,郭生练,田向荣.基于 DEM 的分布式流域水文模型及应用[J].水科学进展,2004,15(4):517-520.
 [6] 王中根,郑红星,刘昌明,等.基于 GIS/RS 的流域水文过程分布式模拟——模型的原理与结构[J].水科学进展,2004,15(4):501-505.
 [7] 郑红星,王中根,刘昌明,赵为民.基于 GIS/RS 的流域水文过程分布式模拟——模型的校验与应用[J].水科学进展,2004,15(4):506-510.
 [8] 中国科学院成都分院土壤研究室.中国紫色土(上)[M].北京:科学出版社,1991.1-3.
 [9] 刘刚才,林三益,刘淑珍.四川丘陵区常规耕作制下紫色土径流发生特征及其表面径流数值模拟[J].水利学报,2002,(12):101-108.
 [10] 刘刚才,高美荣,林三益,等.紫色土两种耕作制的产流产沙过程与水土流失观测准确性分析[J].水土保持学报,2002,16(4):108-111.
 [11] 董先勇.水文流域模型在水沙过程研究中的应用[D].成都:四川大学水电学院,2005.41-46.

污染源的污水,由污水处理厂(图 6)处理后从下游排出,以减少排入该河段的污染物质,保证水源地水质达标。



图 6 规划水源地及污水处理厂位置图

3.2 另设取水口

柳州市是广西的工业中心,近年经济发展迅猛,各行业需水量增加的同时,污水排放量也在增加。削减入江污染物量可以减轻水源地水质污染状况,但城中、柳南和柳东水厂取水口位于城区河段,水源水质危机性依然隐存。

《柳州市城市总体规划,2004-2020》中提出:逐步取消这 3 个水厂,仅保留水源位于城市上游的柳西水厂和柳北水厂。但是柳北水厂存在众多不利因素,因而对现状柳北水厂进行土地置换,水厂另择新址建设。柳西水厂厂区内布置较拥挤,周围用地已占满,扩建不可行。故保留柳西水厂,在柳江河左、右岸分别新建水厂即柳北新水厂和柳西新水厂(图 6)。

从上述研究可以证明该规划提出的方案是合理可行的。