

两江汇流口污染混合区变化规律分析

周富春^{1,2}, 陈培帅², 刘国东¹

(1. 四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610044; 2. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

摘要: 三峡水库蓄水后,重庆主城两江汇流河段水质发生较大变化,为研究两江汇流口污染混合区变化规律,采用二维水质模型,基于概化的数值区域,对污染混合区进行数值模拟,分析汇流口污染混合区范围特性. 分别从不同保证率、不同排污负荷、不同排污口等方面进行组合分析,以揭示污染混合区的变化特性. 结果显示:河道流量越大,污染混合区越长;两江汇流口顺直河段污染混合区相对较长,弯曲河段污染混合区相对较宽,污染混合区范围基本与排污负荷成正比.

关键词: 两江汇流; 污染混合区; 保证率

中图分类号: X143; X522

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2013)03-0060-05

长江和嘉陵江交汇于重庆市主城区内,河段地形复杂多变,来水量大,再加上有嘉陵江支流的注入,长江干流的连续性遭到破坏,水流和水质也均发生变化. 三峡水库蓄水后,库区上游流速变缓,污染物在水库内的滞留时间延长,其稀释、扩散规律也发生变化^[1]. 根据重庆市水质监测部门的资料显示,整个主城区长江段的水质良好,但局部岸边水域污染较为严重,出现了大小不等的岸边污染带^[2],尤其是在两江汇流处更为明显. 因此,有必要进一步研究两江交汇处污染物混合区的变化规律,为未来的两江环境保护提供一定的依据.

1 数学模型及模拟区域概化

1.1 水质数学模型方程

两江段汇流处污染物混合区的变化规律计算比较复杂,选择适当的计算模型非常重要. 本文采用平面二维数学模型^[3],对三峡水库蓄水后主城区两江汇流处岸边污染带混合区的范围进行模拟分析,为以后计算河流的水环境容量提供基础材料. 平面二维水流的基本运动方程^[4-5]如下:

水流连续方程:
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

水流运动方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \Omega q - fVV_x &= 0 \\ \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \Omega p - fVV_y &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

河流二维移流浓度扩散方程:
$$u \frac{\partial C_0}{\partial x} = E_x \frac{\partial^2 C_0}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 C_0}{\partial y^2} \quad (3)$$

式中: h 为水深(m); ζ 为自由水面水位(m); p, q 为 x, y 方向的单宽流量($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$); u, v 为 x, y 方向平均水

收稿日期: 2012-10-15

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07104-001)

作者简介: 周富春(1972-),男,四川犍为人,博士,主要从事水环境、水文等相关方面的研究.

E-mail: a330596947@163.com

流流速(m/s); C 为阻力系数($\text{m}^{1/2}/\text{s}$); g 为重力加速度(m/s^2); f 为风摩擦因素; Ω 为柯氏力; V, V_x, V_y 分别为风速及其在 x, y 方向分量; t 为时间(s); C_0 为坐标点(x, y)处污染物浓度(mg/L); E_x, E_y 为纵、横向扩散系数。

1.2 模拟区域

本次模拟区域为重庆两江交汇河段,分别在嘉陵江上选取黄花园到朝天门汇流口(2.3 km),长江上选取龙门浩到弹子石(3.8 km)组成本次模拟的计算区域。利用长江重庆段河道水下地形图,根据上述确定的模拟范围,选取模型计算边界数据,读取相应的水深,作为模型计算的输入数据。选取三角网格尺寸(30 m, 30 m),模拟软件自动划分网格。模拟区域概化如图1。

模型参数主要有涡黏性系数取0.5,河道糙率取0.03,初始条件为长江寸滩水文站平均流量 $3\,203\text{ m}^3/\text{s}$,朱沱水文站平均流量 $2\,721\text{ m}^3/\text{s}$,嘉陵江北碕水文站平均流量 $412\text{ m}^3/\text{s}$,模型出口寸滩站采用175 m水位。

1.3 模型验证

数学模型的验证采用2008年12月22日各时间点长江监测断面的实测流速及水位值,并采用同步监测的流量。2008年12月22日长江寸滩流量为 $3\,830\text{ m}^3/\text{s}$ 。模拟的断面流速、水位与实测值比较见图2。可见模拟值与实测值基本吻合,所选模型满足模拟要求。

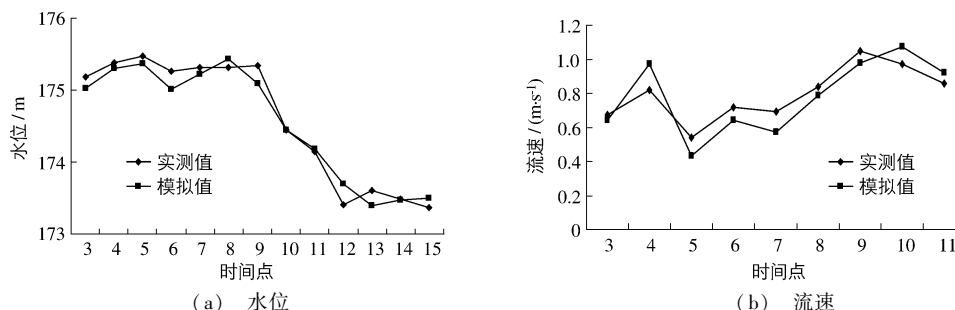


图2 水位、流速实测值与模拟值比较

Fig. 2 Comparison between the measured and simulated values of water level and velocity

1.4 设计水文条件及典型排污口的确定

污染混合区的大小不仅仅取决于排污口的负荷,河道本身的水位条件也是决定其大小的关键因素。因此,根据该河道的特点,从实际情况出发,对该河道3个主要水文站的实测长系列(1951—2009年)资料进行分析,通过对实测资料的分析与筛选,利用P-III曲线多次配线,各站点最枯月设计流量计算结果见表1。

表1 最枯月年设计流量

Tab. 1 Annual designed discharges of the driest month

水文站	C_v	C_s/C_v	设计流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)			
			$P=10\%$	$P=50\%$	$P=90\%$	均值
北碕	0.20	2	486.43	412.36	324.46	411.87
寸滩	0.14	3	3 635.63	3 039.24	2 738.85	3 203.37
朱沱	0.11	3	2 989.14	2 718.87	2 412.35	2 721.43

两江交汇处水流复杂多变,典型排污口的选取地点尤为重要,根据1987年J. L. Best提出的汇流口水流

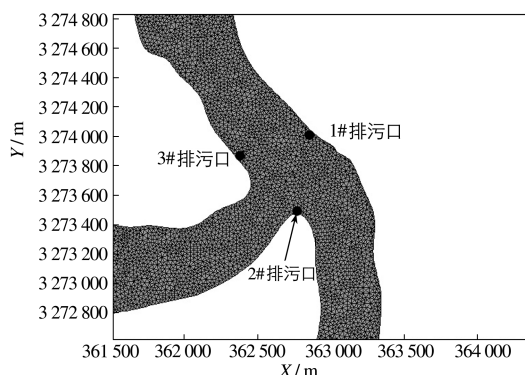


图1 模拟区域概化及典型排污口分布

Fig. 1 Simulation of regional generalization and typical outfalls distribution

分区二维概化模型及汇流口水流运动规律^[6],选取了 3 个典型排污口:位于两江交汇口的 2#排污口以及交汇口左右岸的 1#和 3#排污口(图 1)。

2 污染混合区的模拟分析

三峡水库蓄水后,水位上升到 175 m 左右,主城区两江汇流处水面宽度增加,水流流速明显减小,污染物滞留时间增加,对于污染物的扩散输移十分不利^[7]。所以,本次模拟是在 175 m 水位条件下,针对 3 个排污口在不同流量及不同排污负荷情况下污染混合区的变化特性,本文选用 COD_{Cr} 作为模拟的参考因子,选取 10%、50%、90% 保证率下各水文站的最枯流量作为初始条件(表 1)。

2.1 不同保证率情况下污染混合区分析

按照国家关于城市饮用水源的规定,以超过地面水质标准 II 类水水质标准为污染混合区边界^[8],以 3 个保证率情况下的最枯流量为初始流量,模拟不同保证率时污染混合区的变化特性以及在不同排污负荷下的关系曲线(见图 3)^[9]。

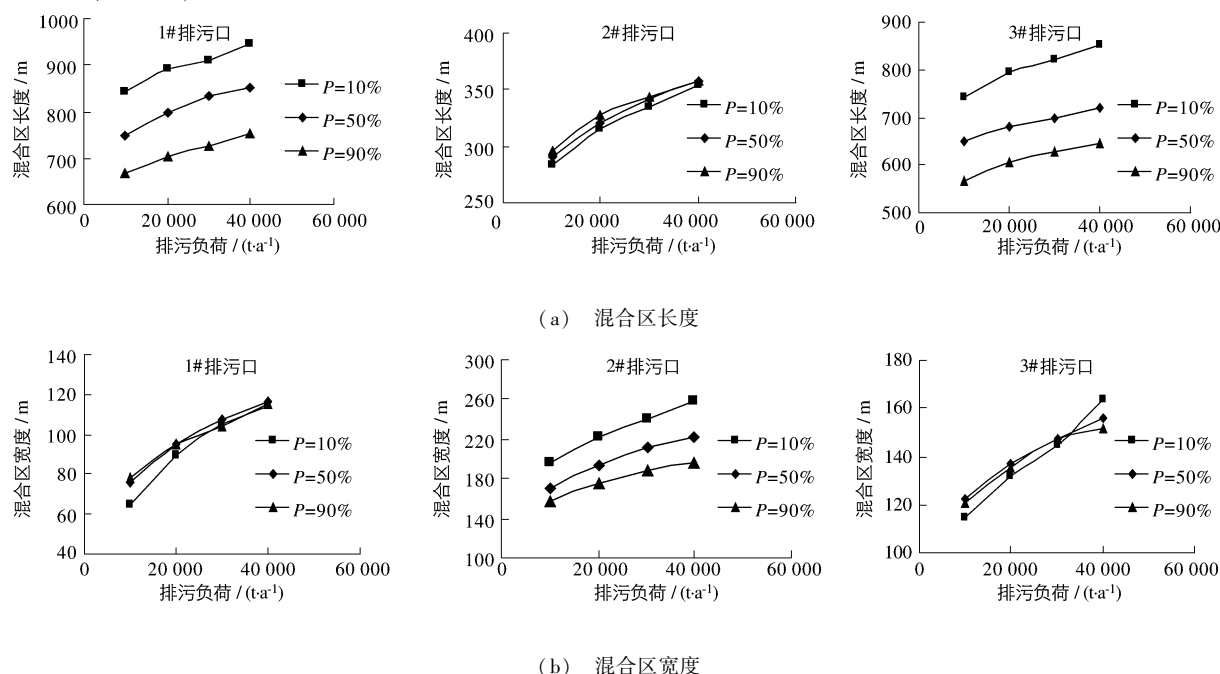


图 3 不同保证率时污染混合区长度、宽度与排污负荷

Fig. 3 The relation of pollution mixing zone width and pollution load under different guarantee rates

3 个排污口所处河段不一样,1#和 3#排污口属于顺直河段,2#排污口为弯曲河段,由此引起的混合区变化也就不同。如图 4 所示,10% 保证率时污染混合区长度最长,90% 保证率时污染混合区长度最短,混合区长度随流量增大而增加,受各排污口地理条件影响不大;1#和 3#排污口为顺直河段,污染混合区宽度和保证率成反比,2#排污口处在弯曲河段,污染混合区宽度变化不明显。

污染混合区长度与排污负荷基本成正比;污染混合区宽度也随着排污负荷的增加而增大,但与排污负荷并不是成正比关系。这是由于排污口受地理条件的影响,处于两江回流口顺直河段的排污口流速多变,污染混合区宽度特性也受到一定影响。

2.2 不同排污口相同保证率时污染混合区分析

两江汇流处流速多变,且两江流量差别大^[10],所以岸边各污染排污口混合区特性也复杂多变。1#和 3#排污口处于顺直河段,流速大、变化快;2#排污口处于河道弯曲处,流速小,流速变化也小。这 3 个排污口在

90% 保证率时污染混合区长、宽度随排污负荷变化情况见图 4。

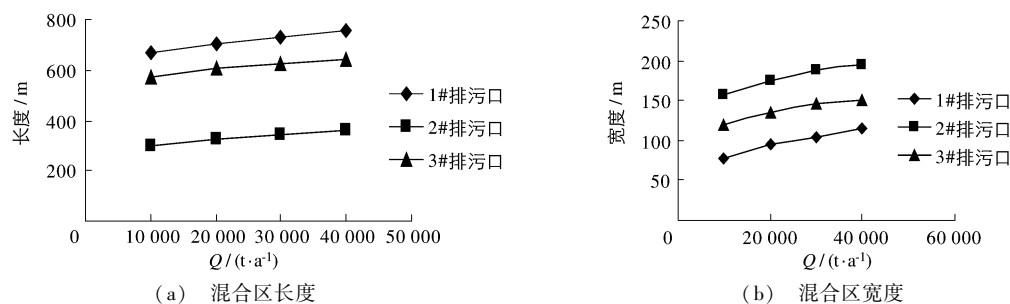


图 4 $P=90\%$ 时各排污口污染混合区大小随排污负荷变化

Fig. 4 Changes in pollution mixing zone width and length of sewage outfalls with pollution load under $P=90\%$

由图 4 可见,污染混合区长度 1#排污口最长,2#排污口最短;污染混合区宽度为 2#排污口最宽,1#排污口最窄。1#排污口处于两江汇流口下游右岸,属于河道最大流速区^[11],流速快,有利于污染物扩散,污染混合区长,宽度窄,且随着排污负荷的增加,混合区范围向瘦长型发展;2#排污口处于两江汇流弯曲段,属于河道滞留区,流速慢,污染物扩散范围小,扩散时间长,污染混合区呈矩形,易发生污染事件,属于重点检测区;3#排污口处于两江汇流口下游左岸,由于嘉陵江支流流量小,受到干流的顶冲作用,下游左岸有一定范围的滞留区,流速变小,污染混合区范围也相应减小。

3 结 语

(1) 不同保证率对污染混合区的影响在于河道流量变化引起的河段特征变化,流量越大,污染混合区范围越大。从偏于安全方面考虑,一般采用 90% 保证率的枯水期流量作为模拟初始流量。

(2) 两江汇流处,顺直河段的污染混合区要比弯曲河段的长,更有利于污染物扩散;弯曲河段污染混合区相对顺直河段更宽,不利于污染物扩散,易发生污染事件,应该重点监测。

(3) 污染混合区随着排污负荷增加而逐渐增大,排污负荷与污染混合区长度基本呈正比;污染混合区宽度在弯曲河段与排污负荷也呈正比,顺直河段流速多变,污染混合区宽度与排污负荷有相同的增长趋势。

参 考 文 献:

- [1] 吕平毓,米武娟. 三峡水库蓄水前后重庆段整体水质变化分析[J]. 人民长江, 2011, 42(7): 28-33. (LV Ping-yu, MI Wu-juan. Analysis on general variation of water quality in Chongqing reach after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. Yangtze River, 2011, 42(7): 28-33. (in Chinese))
- [2] 重庆市环境保护局. 长江重庆三峡库区水污染防治及生态保护规划[R]. 重庆: 重庆市环境保护局, 2001. (Chongqing Yangtze River water pollution prevention and ecological protection planning in the Three Gorges Reservoir[R]. Chongqing: Chongqing Environmental Protection Agency, 2001. (in Chinese))
- [3] 陈永灿,刘昭伟,李闯. 三峡库区岸边污染混合区数值模拟与分析[C]//中国水力学 2000. 成都: 四川大学出版社, 2000. (CHEN Yong-can, LIU Zhao-wei, LI Chuang. The numerical simulation and analysis of pollutant mixing zone in the Three Gorges Reservoir[C]//China Hydraulics 2000. Chengdu: Sichuan University Press, 2000. (in Chinese))
- [4] 王领元. 应用 MIKE 对河流一、二维的数值模拟[D]. 大连: 大连理工大学, 2007. (WANG Ling-yuan. The numerical simulation of 1-D and 2-D river on MIKE[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007. (in Chinese))
- [5] 武周虎,武文,路成刚. 河流混合污染物浓度二维移流扩散方程的解析计算及其简化计算的条件[J]. 水利学报, 2009, 40(8): 976-982. (WU Zhou-hu, WU Wen, LU Cheng-gang. Analytical calculation of the two-dimensional advection-diffusion equation for pollutant mixing in river and conditions for simplification[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(8): 976-982. (in Chinese))

- [6] BIRON P, BEST J L, ROY A G. Effects of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(12): 676-682.
- [7] 黄真理, 李玉, 陈永灿. 三峡水库水质预测和环境容量计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (HUANG Zhen-li, LI Yu, CHEN Yong-can. Water quality prediction and water environmental carrying capacity calculation for Three Gorges Reservoir[M]. Beijing: China Water Power Press, 2006. (in Chinese))
- [8] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S]. (GB 3838-2002, Environmental quality standard for surface water[S]. (in Chinese))
- [9] 陈永灿, 申满斌, 刘昭伟. 三峡库区城市排污口附近污染混合区的特性[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2004, 44(9): 1223-1226. (CHEN Yong-can, SHEN Man-bin, LIU Zhao-wei. Characteristics of pollutant mixing zone near city outfalls in the Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2004, 44(9): 1223-1226. (in Chinese))
- [10] 陈景秋, 赵万星, 季振刚. 重庆两江汇流水动力模型[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 2005, 20(增刊1): 829-835. (CHEN Jing-qiu, ZHAO Wan-xing, JI Zhen-gang. The hydrodynamic numerical model of the confluence of Yangtze River and Jialing River in Chongqing[J]. Journal of Hydrodynamics(SerA), 2005, 20(Suppl1): 829-835. (in Chinese))
- [11] 王晓刚. 汇流口水流水力特性研究综述[J]. 中国农村水利水电, 2007(10): 82-86. (WANG Xiao-gang. Summary of study on hydraulic characteristics of channel confluences[J]. China Rural Water and Hydropower, 2007(10): 82-86. (in Chinese))

Analysis of variation in the pollution mixing zone at the confluence of two rivers

ZHOU Fu-chun^{1,2}, CHEN Pei-shuai², LIU Guo-dong¹

(1. Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Sichuan University, Chengdu 610044, China;
2. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: After impoundment of the Three Gorges reservoir, there is a great variation in the water quality in two rivers (the Yangtze River and the Jialing River) at the confluence nearby the main urban areas of Chongqing city. In order to study the change law of the pollution mixing zone, a two-dimensional water quality model is used. Based on the generalized numerical area, the pollution mixing zone is simulated numerically and the boundary features are analyzed. Then a comprehensive analysis considering different guarantee rates, different sewage loads and different outfalls is made in order to reveal the characteristic of the pollution mixing zone. The research results show that the larger the reach flow, the longer the pollution mixing zone is, so the straight reach is relatively long and the curved reach is relatively wide in the pollution mixing zone. And the scope of the zone is proportional to the sewage load.

Key words: confluence of two rivers; pollution mixing zone; guarantee rate