

# 西江有机污染水质模拟预测

潘剑中<sup>1</sup>, 张 俐<sup>2</sup>, 王 欣<sup>2</sup>, 谢绍平<sup>1</sup>

(1. 广东省水文局肇庆分局, 广东 肇庆 526060; 2. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

**摘 要:**针对西江下游水质问题建立了有机污染预报模型, 采用数学物理反问题方法识别水质模型参数, 对西江广东段进行了水质与污染源同步监测, 取得建立水质预报的第一手资料, 并进行了模拟验证。

**关键词:**有机污染; 水质预报; 数学物理反问题

**中图分类号:**X832 **文献标识码:**B

## 0 前 言

自1925年Streeter及Phelps第一次建立河流水质数学模型以来已有60多年的历史。从生物化学需要量BOD及溶解氧DO含量的双线性系统模型开始, 一直发展到现今有毒物质的相互作用和三维空间尺度模型。随着模型的复杂化, 要准确描述模型的性质和资料的收集都是比较困难的。

我国水质预报中河流量、水质与污染源资料的同步是当前最大的问题。自从我国开展水质监测资料以来, 主要是针对水环境评价和水质规划部署水质资料监测, 河流水质预报至目前尚未开展业务工作。广东省水文局与武汉大学合作选择西江广东段率先开发建设数字西江水质预警预报系统, 本文内容是其中的一部分工作。

## 1 水质数学物理反问题模型与求解

利用对流扩散方程定解问题进行动态水质模拟、预测是水环境工作中最为常见的任务之一, 而水质模拟、预测的准确性在很大程度上又依赖于对参数的准确识别。实际水体中的水质参数通常是呈分布式的, 但是现有的水质参数确定对于分布式参数的确定却显得束手无策, 如最优化方法通常只能推求一些集总参数问题; 虽然利用经验公式可以获得某种意义上的参数的分布形式, 但是由于这种经验关系通常又依赖于一些实验方法的分析归纳得到, 而这个过程本身又因为比尺等一系列复杂的问题, 因此利用经验公式也很难准确地描述参数的分布特征。

微分方程参数反演技术中的FR方法为分布式参数的识别提供了新的思路, 从而为深入把握水质变化机理, 认识水质变化规律提供了科学依据。本文着重论述用一维对流扩散方程描述的微分方程分布参数反问题。

一维对流扩散方程离散系数反问题数学模型为:

$$\text{控制方程} \quad \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - K_1 C + S \quad (1)$$

$$\text{初始条件} \quad C(x, 0) = 0 \quad (2)$$

$$\text{边界条件} \quad C(x, t) \big|_{x=0} = C_0, \quad \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \bigg|_{x=L} = 0 \quad (3)$$

$$\text{附加条件} \quad C(L, t) = g(t) \quad (4)$$

式中  $C$ —— $x = x_i$  时的河水 COD 的浓度, mg/L;

$x$ ——监测断面离排污口 ( $x=0$ ) 的河水流动距离, m;

$u$ ——河水的平均流速, m/s;

$k_1$ ——COD的衰减系数, L/s;

$E_x$ ——水质纵向弥散系数, m<sup>2</sup>/s;

$S$ ——其他源汇项, mg/(L·s)。

其中纵向弥散系数  $E_x$  待求。由于纵向弥散系数  $E_x$  为未知函数, 这样由式(1)~(4)就构成了一维对流扩散方程离散系数反问题。

根据专业知识、前人的研究和实际工作经验, 我们所提供的纵向弥散系数的初值总可以在参数的精确解邻近的一个有效范围内设定, 依据上述FR方法的原理, 应用泰勒展开理论, 对  $C(x, t)$  关于纵向弥散系数  $E_x$  在  $E_x^0(x)$  附近进行泰勒展开, 略去高阶小量可以得到  $\Delta C(L, t)$  与  $\Delta E_x(x)$  的关系。

$$C(x, t) = C^0(x, t) + \int_0^L \frac{\partial C(x, t)}{\partial E_x(x)} \Delta E_x(x) dx \quad (5)$$

求解的基本思想是: 将反问题的补充条件对未知参数的Frechet导数与解不适定问题的正则化方法相结合。因此根据纵向弥散系数反演模型中提供的附加条件, 可以进一步将上式中写成具有实际求解意义的方程:

$$C(L, t) = C^0(L, t) + \int_0^L \frac{\partial C(L, t)}{\partial E_x(x)} \Delta E_x(x) dx \quad (6)$$

特别地, 当  $C(L, t)$  取下游监测断面的实测值时, 有:

$$C^*(L, t) = C^0(L, t) + \int_0^L \frac{\partial C(L, t)}{\partial E_x(x)} \Delta E_x(x) dx \quad (7)$$

收稿日期: 2004-08-23

作者简介: 潘剑中(1951-), 男, 高级工程师。

将反问题的补充条件对未知参数的 Frechlet 导数与解不定问题的正则化方法相结合,它不受空间维数与边界条件的限制,不仅适用于双曲型方程如波动方程的反问题,也适用于抛物型方程如对流扩散方程反问题。

2 水量水质测验方案

水量水质实测资料的合理性、可靠性、代表性是模型参数和预警预报成功与否的关键。因此,合理布局水量水质同步监测断面和获取相应时间资料是十分重要的。

由于我国目前开展水质预警预报工作还没有提到议事日程,实测的水质资料常常是为水环境评价和水资源保护规划服务的,加上水质监测工作费人、费力、费财,因此,西江广东段已有的常规水质资料只有 6 个监测断面、且隔月一次的监测资料,各上下断面监测时间不是相应时间,有排污口河段的上断面缺乏控制断面和监测资料,还存在排污口监测资料不足等问题。

为了合理解决西江广东段水质模型资料不足的问题,我们开展了大量的水量水质同步的、相应的、可靠的监测工作。

由于历史资料的数据不足,而且大都不是在同时间监测,为了更好的率定参数和建立模型,2003 年对西江在枯水期(1 月)、中水期(6 月)、丰水期(9 月)分别进行了 3 次水量水质同步相应监测。因为 2003 年西江广东段洪水偏枯,没有测到大洪水资料。

水量水质监测方案包括以下两部分。

(1)封开省界、贺江口、封开下断面、都城、都城鹅公涌、德庆水厂、德庆大桥下、罗定江口、云浮六都水厂、六都下、悦城镇西江大断面、西江三榕水厂、西江高要站、新兴江口、羚羊峡口上、鼎湖坑口、马口站等 17 个监测断面。

(2)氨氮,总磷,CODMn,BOD<sub>5</sub>,DO,汞,六价铬,镉,铅,砷,挥发酚,氰化物共 12 个预警预报因子。

其中,封开省界、德庆水厂、云浮六都水厂、三榕水厂上游 100 m,高要,马口是常规监测断面;贺江口、封开下断面、都城、都城鹅公涌、德庆大桥下、罗定江口、六都下、悦城镇西江大断

面、西江三榕水厂、新兴江口、鼎湖坑口等十一个断面是新增补的监测断面。

3 模型在西江水质中的应用

3 次同步监测资料中一次用来反演有机污染指标 COD 模型的分布参数,另两次用于模型验证,水质模型模拟和验证合格率见表 1;合格率为相对误差小于等于 30%的断面数除以总断面数。3 次总平均合格率为 97.44%。

表 1 一维稳态水质模型模拟和验证合格率统计表

时间	精度指标	COD
1 月模拟期	合格断面数/个	13.00
	合格率/%	100.00
6 月验证期	合格断面数/个	12.00
	合格率/%	92.31
9 月验证期	合格断面数/个	13.00
	合格率/%	100.00

4 结 语

本文重点介绍了西江枯水期(1 月)、中水期(6 月)、丰水期(9 月)分别进行的三次水量水质同步相应监测情况。并建立了一维水质模型反演算法以及在西江水质模拟预报中的应用,并与实测资料进行了对比分析,给出了平均相对误差和合格率统计结果。为进一步开展实际水质预报业务打下了基础。 □

参 考 文 献

- [1] 李 兰. 河流水质纵向弥散系数的频域反演[J]. 水利学报, 1998,(8).
- [2] 李 兰. 水质多参数辨识与反演算法[J]. 水利学报, 1998,(6).
- [3] 李 兰. 水质模型中三个分布参数的同时反演[J]. 中国学术期刊文摘, 1998,(6).
- [4] 李 兰. 二维水质分布式模型和混合系数反演[J]. 中国学术期刊文摘, 1998,(7).

(上接第 50 页)6.3 亿 m<sup>3</sup> 水(包括因冲淡污水而弃掉的水),为减少损耗,应尽量保持输水河的衬砌完好;没有护底河段,在安排护底时尽量采用整体性好的现浇混凝土;边坡衬砌返修时,不要破坏底部的防渗塑膜,需要更换塑膜时,搭接处采用焊接技术,减少水的渗漏;运行期间,坚决杜绝沿途污染,减少弃水;搞好闸门维修,渠道保温期间,保持水位,减少补水,并尽量减少保温时间,减少水量消耗;运行结束后,减少渠道存水量,能送入水库的水尽最大可能送入。

(2)保证棘洪滩水库高水位蓄水。棘洪滩水库必须加强观测,搞好科学研究,及时维护,减少渗漏,保证大坝安全,保证高水位蓄水,做到多年调节,以丰补歉。

(3)尽量延长沉沙条渠的使用寿命。在沉沙条渠的使用上,一是要搞好沉沙条渠的清淤,为清出的泥沙找出出路,延长现有沉沙条渠使用年限;二是尽量减少不必要的沉沙,本着以经济效益为中心的原则,在保证青岛用水的基础上,除选择黄河水含沙量最少的季节引水外,还应合理减少工程沿线用水,

沉沙池年平均沉沙量越少越好。引黄济青工程建成 15 年来,从黄河引进水量总数近 25 亿 m<sup>3</sup>,而送入棘洪滩水库的水量只有 11 亿 m<sup>3</sup>,博兴用水近 11 亿 m<sup>3</sup>,沿线其他地市用水 3 亿 m<sup>3</sup>。沿线地市用水量超过青岛市用水量;送入棘洪滩水库的水量只占渠首引水量的 40%左右。由于沉沙池清淤费用很高,而沿线用水水价偏低,因此,提高入棘洪滩水库水量占渠首引水量的比重,效益是很高的。三是在现有沉沙条渠不能使用时,多方力争征用土地,建设新的沉沙条渠。

(4)灵活地引用黄河水。原设计的引水时间可以提前,在黄河含沙量较少的情况下,黄河来水,就开闸引水。这就要求工程设施随时处于临战状态,随时准备投入使用。

(5)充分利用工程沿线水源。在充分利用好黄河水资源的同时,引用工程沿线一切可以利用的水源,作为黄河水的补充。这样既免用沉沙池沉沙,又缩短了输水距离,降低送水成本。多一个水源,就多一份保证。 □