

ACF32 处理西坝河水 BOD₅ 的一维水质数学模型研究

陈玉松, 胡开林, 邓柳, 王丽风, 党艳, 王浩, 韩冰
(昆明理工大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 在水处理剂 ACF32 应用于西坝河水治理试验中, 建立了其一维水质数学模型, 确定了在治理条件下的 BOD₅ 衰减系数. 验证结果表明, 一维水质数学模型具有较高的模拟精度, 能够用于模拟预测 ACF32 在西坝河水处理过程中不同河段平均水质变化趋势. 通过对比 ACF32 应用前后的西坝河水 BOD₅ 衰减系数, 表明应用该产品使 BOD₅ 处理效率提高 17 倍.

关键词: 水质数学模型; 西坝河; 水处理剂

中图分类号: X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X (2006) 03 - 0054 - 04

Study on One - Dimension Water - Quality Mathematics Model Treating the Water BOD₅ of Xiba River by ACF32

CHEN Yu-song, HU Kai-lin, DENG Liu, WANG Li-feng,

DANG Yan, WANG Hao, HAN Bing

(Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Among the experiments of ACF32 applied in the water treatment of Xiba River, one - dimension water - quality mathematics model is established, and BOD₅ attenuation parameter under the condition of treatment is calculated. The results indicate that the model has the higher simulation accuracy, and can be used to imitate and predict the average water quality trend of different river channels when ACF32 is used to treat the water of Xiba River. Comparing with the BOD₅ attenuation parameter of the Xiba River water before and after applying ACF32, it shows that the treatment efficiency of BOD₅ is raised 17 times after using the product.

Key words: water - quality mathematics model; Xiba River; water treatment agent

0 引言

西坝河位于昆明市区西部, 如图 1 所示, 为进入滇池的昆明市 22 条城市河流中受污染较严重的一条. 西坝河水由源头昆明城市景星片区、以及沿线的城内外市区、市郊 10 余村庄的污水汇入形成. 西坝河部分参数见表 1.

表 1 西坝河部分参数表

Tab 1 Part parameter of Xiba River

西坝河	西坝河	西坝河	西坝河	西坝河日平均	西坝河
长度 /km	宽度 /m	深度 /m	坡度 /‰	流量 / (m ³ · d) ⁻¹	流速 /m · min ⁻¹
4	4 ~ 9	0.5 ~ 1.3	0.13	3.3 万	5



图 1 西坝河位置图
Fig.1 Position of Xiba River

收稿日期: 2005 - 07 - 01.

第一作者简介: 陈玉松 (1953 ~), 男, 教授. 主要研究方向: 水污染控制工程. E-mail: ch_yusog@yahoo.com.cn

在处理西坝河水试验研究中采用的 ACF32(中文译为液可清)由 32 种活菌构成,其中含有好氧菌,厌氧菌及兼性菌,为非毒性、非病原性的活细菌.美国生物实验室对其做了安全成分分析、无毒测试、无危险性测试,并获得了美国环保局,美国卫生部,美国农业部认证.

试验中的处理河段为韩家小村至入滇池口,全长 1.46 km.为了促进 ACF32在河水中停留、微生物繁殖,河道中设置了 510 m 管式生物载体.管式生物载体设置位置、ACF32投加点和水样采取点见图 2 在图 2 中,T1,T2,T3及 T4为投药点,A,B,C,D,E 为采样点.

试验从 2004 年 11 月 21 日开始,至 2005 年 4 月 26 日结束.其间在试验河段水中定时定量投加 ACF32,采样周期为每周一次,通过 5 个月的连续监测,得到了大量的水质及水力数据,其中部分 BOD₅ 监测数据见表 2^[1].

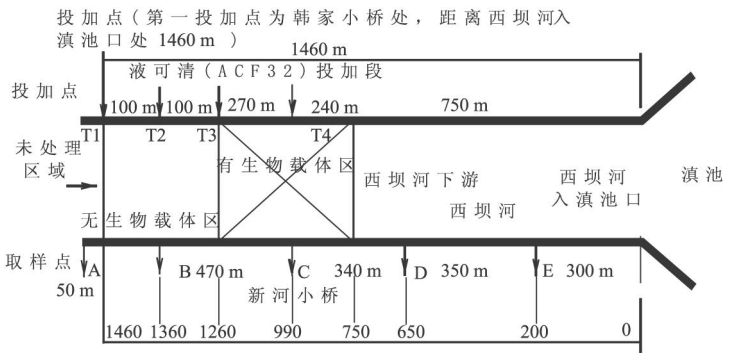


图2 试验现场、投加液可清(ACF32)点、水样取样点示意图
Fig. 2 The schematic graph of the trial, the places spots to dose aqua clean ACF32 and the spots to pick water samples

表 2 西坝河水 BOD₅ 监测部分数据表

Tab 2 Part BOD₅ Monitoring in Xiba River (mg/L)

日期	A	B	C	D	E
2005年 2月 6日	14.30	12.50	7.07	7.67	-
2005年 2月 13日	13.50	11.10	9.00	9.70	-
2005年 2月 20日	19.10	15.70	12.90	9.47	-
2005年 2月 27日	20.90	-	14.80	13.00	8.81

1 西坝河 BOD₅ 的一维水质数学模型建立

根据西坝河试验河段的特点及水力条件,进行如下假设:河道为缓流水体,处于稳定流动状态;河流污染严重,在天然河道中藻类含量比较低,建模河段光合作用产氧量和呼吸耗氧量非常小,可以忽略不计;污染物的反应符合一级反应动力学的衰减规律,即 $r = -K_d C$;生物载体区的生物量并不随水流入生物载体区下游.

通过在水流方向上体积元的质量平衡推导^[2],经整理,其结果见公式(1).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left[-E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right] - \frac{\partial u_x C}{\partial x} - K_d C \tag{1}$$

式中: C ——污染物的浓度,它是时间和空间位置的函数; E_x ——纵向离散系数; u_x ——断面平均流速; K_d ——污染物的衰减系数.

在公式(1)中, $\frac{\partial}{\partial x} \left[-E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right]$ 为纵向离散引起的纵向浓度变化, $\frac{\partial u_x C}{\partial x}$ 为推流作用引起的纵向浓度变化,

$K_d C$ 为发生一级衰减引起的浓度变化.

在均匀流场中, E_x 和 u_x 为常数,得公式(2).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u_x \frac{\partial C}{\partial x} - K_d C \tag{2}$$

稳态条件下,浓度不随时间而变化,公式(2)可以简写成公式(3).

$$E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u_x \frac{\partial C}{\partial x} - K_d C = 0 \tag{3}$$

其解析解为:

$$C = C_0 \exp \left[\frac{u_x x}{2E_x} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4K_d E_x}{u_x^2}} \right) \right] \tag{4}$$

$$\text{如果纵向离散作用可以忽略,则有: } C = C_0 \cdot \exp\left[-\frac{K_d x}{u_x}\right] = C_0 \cdot \exp(-k_a t) \quad (5)$$

2 BOD₅ 的衰减系数

2.1 BOD₅ 的衰减系数影响因素

BOD₅ 的衰减系数反映了沉淀导致的衰减过程及有机污染物复杂的耗氧反应过程. 在 20 世纪 60 年代, DOBB NS, FRANKEL 和 HANSEN 总结了河流中污染物的变化规律, 认为对天然河流 BOD₅ 的变化应考虑生物降解引起的 BOD₅ 减少; 河道中泥砂的沉降和絮凝导致 BOD₅ 的减少; 由于底泥冲刷或底泥中有机物分解所引起河水中 BOD₅ 的增加等方面的因素^[3]. 由于试验阶段在西坝河中加入了 ACF32 生物处理药剂, 所以在西坝河投加 ACF32 生物处理药剂的河道中, BOD₅ 的衰减系数主要受到来自生化降解的影响.

2.2 BOD₅ 衰减系数的计算公式

BOD₅ 衰减系数也常被称作污染物耗氧速率 K_d . 在以往的 BOD₅ 衰减系数估算研究中, 人们常常将 BOD₅ 衰减系数简化表示为温度的函数. 尽管理论分析和一系列室内试验研究发现 BOD₅ 衰减系数受水流条件影响很大. 但在实际工程应用中, 有关水流条件对 BOD₅ 衰减系数影响的研究报道不多^[4]. 根据西坝河河道特点, 通过理论分析和实测资料数值试验分析, 在西坝河水质模型中将 BOD₅ 衰减系数表示为流速、水深和温度的函数:

$$K_d = \left[K_{C_{20}} + \frac{u_x}{h} \right] T^{-20} \quad (6)$$

式中: $K_{C_{20}}$ ——20 温度时在静止环境中的 BOD₅ 衰减系数; $\frac{u_x}{h}$ ——河床的坡度, 在西坝河的试验河段中, $\frac{u_x}{h}$ 取 0.13 % α ——数值为 1.047; T ——水温.

2.3 BOD₅ 衰减系数计算公式系数率定

建立一维河道水质数学模型的关键在于解决模型参数的取值问题. 在实验室中, 不投加 ACF32 的情况下测定生化需氧量和时间并通过公式 (5) 计算得 $K_{C_{20}}$ 为 0.015, 不投加 ACF32 的情况 BOD₅ 衰减系数的计算公式为:

$$K_d = \left[0.015 + 0.059 \frac{u_x}{h} \right] \cdot 1.047^{T-20} \quad (7)$$

在实验室中, 投加 ACF32 的情况下测定生化需氧量和时间并通过公式 (5) 计算得 $K_{C_{20}}$ 为 0.378, 投加 ACF32 的情况 BOD₅ 衰减系数的计算公式为:

$$K_d = \left[0.378 + 0.059 \frac{u_x}{h} \right] \cdot 1.047^{T-20} \quad (8)$$

对比公式 (7) 和公式 (8), 使用 ACF32 的条件下, 在 20 时的静止环境中 BOD₅ 衰减系数 $K_{C_{20}}$ 是未使用条件下的 25 倍; 根据西坝河水文、水质实测资料, 把流速、水深和温度分别代入公式 (7) 和公式 (8) 进行计算, 结果表明, 使用 ACF32 的条件下与未使用条件下相比, 西坝河试验河段中的 K_d 增大了 17 倍.

3 模型验证

据研究表明^[5], 纵向离散系数可以根据水温、耗氧与复氧系数、水中饱和溶解氧浓度、断面平均流速及污染物降解量的大小对比关系, 在不同情况下可以忽略. 本试验中, 氧亏量大, 河道平均流速小、降解量显著, 根据判断规则计算, 可以忽略纵向离散系数导致了浓度变化带来的影响.

在西坝河试验河段上, 根据建立模型的假设, B 采样点前及 D 采样点后受 ACF32 的影响比较小, 应用公式 (7) 进行计算; B, D 点间的河段是 ACF32 重点投加区域, 应用公式 (8) 进行计算.

分析图 3~6,其实测值与模型方程计算值的拟合效果很好.通过数值分析,各图的实测值与模型方程计算值的相关系数分别为: $R_1^2 = 0.7310$, $R_2^2 = 0.9119$, $R_3^2 = 0.9320$, $R_4^2 = 0.9631$,表明拟合具有较高的模拟精度,能够用于模拟预测 ACF32应用于西坝河处理过程中不同河段平均水质变化趋势.

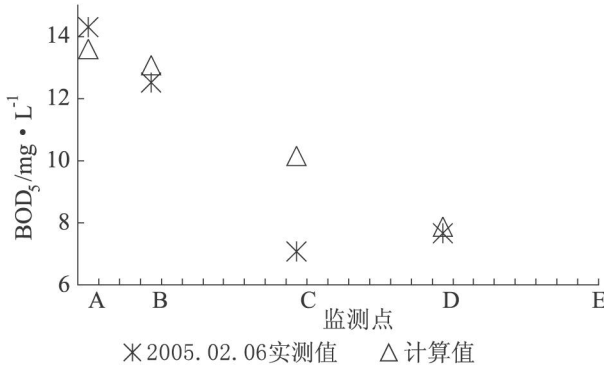


图3 2005.02.06的BOD₅数据模拟
Fig.3 BOD₅ data simulation on 6th Feb,2005

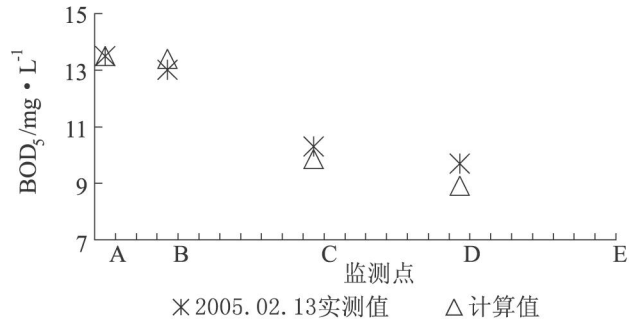


图4 2005.02.13的BOD₅数据模拟
Fig.4 BOD₅ data simulation on 13th Feb, 2005

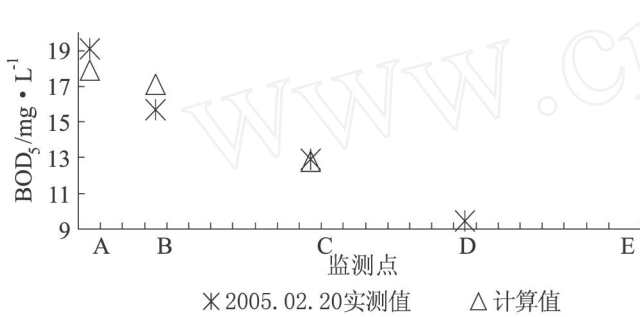


图5 2005.02.20的BOD₅数据模拟
Fig.5 BOD₅ data simulation on 20th Feb, 2005

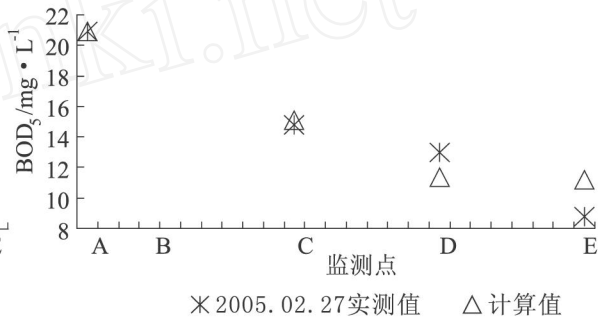


图6 2005.02.27的BOD₅数据模拟
Fig.6 BOD₅ data simulation on 27th Feb, 2005

4 结论

论文以主要水质指标 BOD₅ 为例,介绍在 ACF32应用于西坝河治理过程中一维水质数学模型的研究成果.通过对水质指标 BOD₅ 的主要生化过程及其影响因素进行探讨,针对水质模型参数建立了考虑水流条件变化等多因素影响的经验预测公式.利用西坝河试验期间的水文、水质同步实测资料进行了一维水质模型的验证.结果表明:主要水质指标 BOD₅ 实测值与计算值曲线拟合相关系数 R^2 在 0.731 以上,普遍高于 0.9,一维水质模型具有较高的模拟精度,能够用于模拟预测 ACF32应用于西坝河水处理过程中不同河段平均水质变化趋势.

通过对比研究 ACF32应用前后的西坝河水 BOD₅ 衰减系数,得到 ACF32生物产品使河道水 BOD₅ 处理的效率提高 17 倍,表明该产品具有良好的 BOD₅ 处理效果.

参考文献:

- [1] 胡开林,邓柳,陈玉松,等.液可清 (ACF32)应用于西坝河水处理试验研究报告 [R].昆明:昆明理工大学,2005: 46
- [2] 程声通,陈毓龄.环境系统分析 [M].北京:高等教育出版社,1991: 30 - 31.
- [3] 赵文谦.环境水力学 [M].成都:成都科技大学出版社,1986: 146 - 147.
- [4] 李锦秀,廖文根,黄真理.三峡水库整体一维水质数学模拟研究 [J].水利学报,2002,12(12): 7 - 10
- [5] 史忠科.河流水质模型的逼近方法及误差分析 [J].控制与决策,2002,17(11): 668 - 671.