

河流一维水质数值模型在入河排污口设置中的应用研究

毛小英

(南宁水文水资源局, 广西南宁 530031)

【摘要】以广西某县污水处理厂为例, 在全面了解项目区取用水和污水排放情况的基础上, 采用河流一维水质数值模型, 分析了污水处理厂正常排放和事故排放下对所在河段水质变化情况和影响范围, 从而论证排污口设置的可行性, 并提出合理化建议。

【关键词】水质; 数值模型; 排污口设置; 河流

【DOI 编码】10.3969/j.issn.1008-1305.2013.05.006

【中图分类号】X832 【文献标识码】B 【文章编号】1008-1305(2013)05-0019-04

开展建设项目入河排污口设置及环境影响的技术研究, 既是水资源保护的一项基础工作, 又是强化水功能区管理、科学审批入河排污口设置、保护饮用水水源地以及水环境质量等水资源保护工作的重要环节, 对保障饮用水水源地安全、水环境安全, 推进生态文明建设, 保障水资源的可持续利用起到极大的促进作用。

入河排污口设置根据受纳水体的水环境状况、水域纳污能力、第三者相关权益等情况, 分析排污口设置的影响, 以提出水资源保护措施, 保障城市生活、生产和生态用水安全。本文以广西某县污水处理厂入河排污口设置论证项目为例, 利用河流一维水质数值模型, 开展排污口设置及环境影响的技术研究。为各级水行政主管部门审批入河排污口设置方案以及建设单位合理设置入河排污口提供科学依据。

1 模型选择

处理厂的污水受纳水体为广西境一条小河流, 预测范围内河段常年平均流量小于 $15\text{m}^3/\text{s}$, 属于小型河流, 根据《水域纳污能力计算规程》(SL

348-2006), 可假定污染物在河段横断面上均匀混合, 采用河流一维模型预测污染物浓度变化。^[1]

2 模型预测

2.1 不同工况下河流一维水质模型的计算方法

天然河流一维水质模型基本方程为:^[2]

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_x \frac{\partial c}{\partial x} = M_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - Kc$$

(1) 当污水处理厂退水达标正常排放时, 可以看作稳定恒态排放。如果浓度已达稳态平衡, 不再随时间变化, 可得:

$$c = c_0 \exp \left[\frac{u_x x}{2M_x} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4KM_x}{u_x^2}} \right) \right]$$

当如果不考虑弥散作用, 则简化为:

$$c_x = c_0 \exp \left(-k \frac{x}{86.4u} \right)$$

C_x ——流经 x 距离后的污染物浓度, mg/L ;

x ——沿河段的纵向距离, km ;

u ——设计流量下河道断面的平均流速, m/s ;

作者简介: 毛小英 (1975年-), 女, 广西富川, 工程师。

K ——污染物综合衰减系数, $1/d$;

C_0 ——初始断面的污染物浓度, mg/L 。

其中 C_0 用完全混合公式求取:

$$C_0 = (C_p Q_p + C_h Q_h) / (Q_p + Q_h)$$

C_0 ——混合断面的污染物浓度, mg/L ;

C_p ——入河污染源的污染物浓度, mg/L ;

C_h ——入河污染源未汇入前河流的污染物浓度, mg/L ;

Q_p ——入河污染源流量, m^3/s ;

Q_h ——河流流量, m^3/s 。

(2) 当污水处理厂出现退水事故排放时, 可以看作非稳态排放。采用一维河流水质模型基本方程的数值解。具体方法如下: 一维方程通常将空间分成 n 段, 用 i 标记 ($i=1, 2, \dots, n$), 将时间分成 m 层, 用 j 标记 ($j=1, 2, \dots, m$)。

对一维方程的简化式:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_x \frac{\partial c}{\partial x} = M_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - Kc$$

使用向后差分式:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial x} &\approx \frac{c_i^j - c_{i-1}^j}{\Delta x} \\ \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} &\approx \frac{c_i^j - 2c_{i-1}^j + c_{i-2}^j}{\Delta x^2} \\ \frac{\partial c}{\partial t} &\approx \frac{c_i^{j+1} - c_i^j}{\Delta t} \\ c &\approx c_{i-1}^j \end{aligned}$$

将向后差分式代入一维方程, 经整理得:

$$c_i^{j+1} = c_{i-2}^j \cdot \alpha + c_{i-1}^j \cdot \beta + c_i^j \cdot \gamma$$

($i=1, 2, \dots, n$)

可认为, $c_{-1}^j = c_0^j$ 。

式中:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{M_x \Delta t}{\Delta x^2} \\ \beta &= \frac{u \Delta t}{\Delta x} - \frac{2M_x \Delta t}{\Delta x^2} - K \Delta t \\ \gamma &= 1 - \frac{u \Delta t}{\Delta x} + \frac{M_x \Delta t}{\Delta x^2} \end{aligned}$$

稳定条件 (同是也是收敛的条件) 为:

$$\begin{cases} \frac{u \Delta t}{\Delta x} \leq 1 \\ \frac{M_x \Delta t}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2} \end{cases}$$

初始条件为:

$$\begin{cases} c(x_i, 0) = c_i^0 \\ c(0, t_j) = c_0^j \end{cases}$$

上式中:

Δx ——河段长度, m ;

Δt ——时间间隔长度, s ;

u_x ——河流流速, m/s ;

M_x ——河流纵向混合 (弥散) 系数, m^2/s ;

K ——河流中污染物降解速率, $1/d$ 。

2.2 模型的参数确定

(1) 污染物衰减系数 k 的估值。在沿污染物流向上设置 n ($n \geq 3$) 个不同的测点, 测定其浓度, 则可以最小二乘法直接估算出该段水体在当时的环境条件下对该污染物的降解系数 K 。^[3]

$$K_1 = \frac{u(n \sum_{i=1}^n x_i \ln c_i - \sum_{i=1}^n \ln c_i \sum_{i=1}^n x_i)}{(\sum_{i=1}^n x_i)^2 - n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

x_i ——河段长度, m ;

c_i ——时间间隔长度, mg/L ;

u ——河流流速, m/d ;

n ——测定点数;

K ——河流中污染物降解速率, $1/d$ 。

根据监测数据, 按上式计算得到: $K_{COD}=0.10d^{-1}$, $K_{NH3-N}=0.15d^{-1}$ 。

(2) 河流污染物背景浓度。项目退水口位于县城区下游, 现状水质受城区排污影响, 项目建成后, 城区绝大部分生活污水和工业废水将由污水处理厂集中处理, 因此选用县城区上游监测断面的实测水质检测成果, COD 为 $8.4mg/L$, 氨氮为 $0.12mg/L$ 。

(3) 污水处理厂正常工况下污染物排放浓度执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002) 的 I 级 B 标准, COD 为 $60 mg/L$; NH_3-N 为 $15 mg/L$ 。污水处理厂事故工况下污染物排放浓度为进厂设计浓度标准, COD 为 $250 mg/L$; NH_3-N 为 $25 mg/L$ 。

(4) 按照污水处理厂的远期设计规模, 污水排放量为 $Q=0.15m^3/s$ 。

2.3 设计水文条件

由于纳污河流没有实测流量资料, 但该河流汇入主流后 $23.5km$ 有一个水文站, 所以采用该水文站资料用面积比拟分析推求纳污河流的流量。该水文站控制集雨面积 $1826km^2$, 1978 年起至今有 34

年完整的水文资料记录,资料系列包含了丰、平、枯年份,具有较好的代表性。选取 90%保证率最枯月的设计水文条件预测排污口设置对水质影响,设计参数见表 1。

2.4 预测结果

(1) 退水正常达标排放时的影响预测结果。

分析预测结果见表 2 和图 1,图 2。

(2) 退水事故排放时的影响预测结果。当污水处理厂出现非正常情况时,就造成废水事故排放,未处理的污水连续排放 24 小时,然后设备维修正常,按污水达标处理后排放。分析预测结果见表 3 和图 3~8。

表 1 设计水文参数表

站点	集水面积 (km^2)	90%保证率下最枯月 平均流量 (m^3/s)	断面面积 (m^2)	流速 (m/s)	河宽 (m)	平均水深 (m)
干流水文站	1826	5.86	—	—	—	—
纳污河流项目排污口入口处	539	1.72	97.1	0.02	51	1.9

表 2 达标排放时的影响预测结果 (单位: mg/L)

序号	断面名称	COD	氨氮	评价类别	功能区水质目标	是否超标
1	污水处理厂废水进入水体处	12.5	0.75	III	IV	达标
2	纳污河流汇入干流处 (4.9km)	9.4	0.49	II	IV	达标

表 3 事故排放时的影响预测结果 (单位: mg/L)

事故发生时间 (h)	最大值所在 位置	COD 最大值	氨氮最大值	评价类别	功能区 水质目标	超 IV 类水河长 (km)	是否超标
24	退水口下游 100m	27.6	2.09	劣 V	IV	1.7	氨氮 _{max} 超标 0.39 倍
48	退水口下游 2200m	24.3	1.73	V	IV	1.2	氨氮 _{max} 超标 0.13 倍
72	退水口下游 4100m	21.7	1.46	IV	IV	0	达标

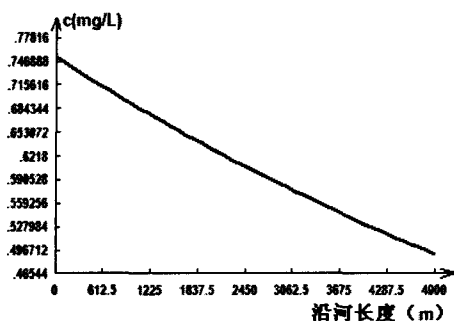


图 1 正常达标排放时氨氮沿河浓度变化图

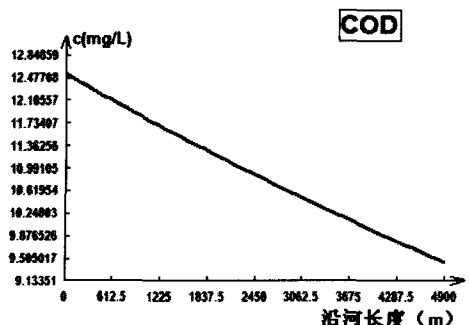


图 2 正常达标排放时 COD 沿河浓度变化图

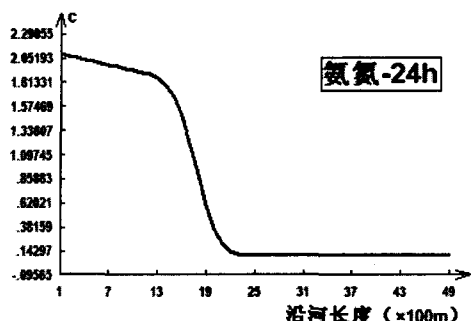


图 3 事故排放 24h 后氨氮沿程浓度变化图

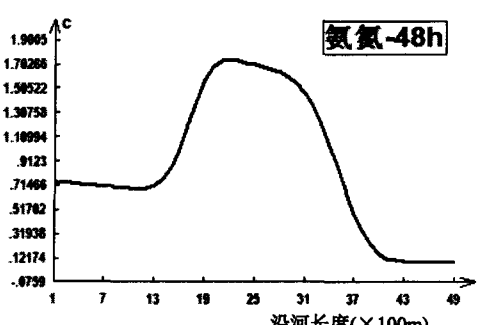


图 4 事故排放 48h 后氨氮沿程浓度变化图

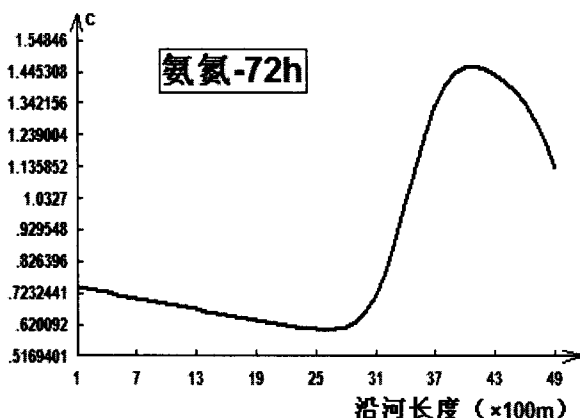


图5 事故排放 72h 后氨氮沿程浓度变化图

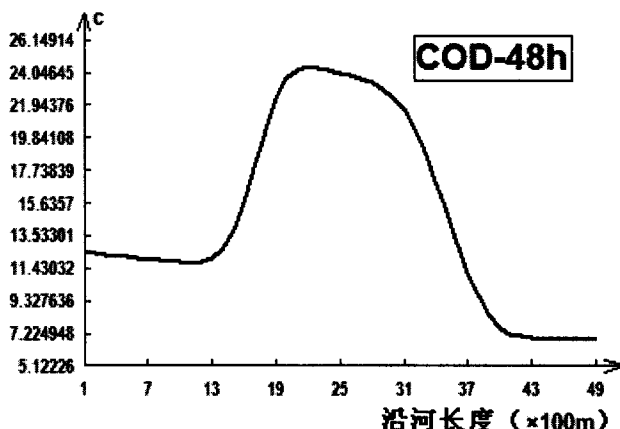


图7 事故排放 48h 后 COD 沿程浓度变化图

3 预测结果分析

根据影响预测结果,在 90%保证率的最枯月流量下,项目工程正常运行状况下,污水处理厂退水对纳污河流下游影响不大,COD 的浓度在 9.4~12.5mg/L,氨氮的浓度在 0.49~0.75mg/L,为Ⅲ类水水质,达到水功能区目标水质。

根据事故预测结果,污水处理厂发生连续 24h 排放未处理废水事故时,退水对纳污河流下游有一定影响,在事故当天,在排污口下游 100m 出现氨氮和 COD 最大值分别为 2.09mg/L 和 27.6mg/L,为劣 V 类水,超过功能区水质目标河段长度为 1.7km。事故后 48h 后,在排污口下游 2200m,出现氨氮和 COD 最大值分别为 1.73mg/L 和 24.3mg/L,为 V 类水,超过功能区水质目标河段长度为 1.2km。事故后 72h 后,在排污口下游 4100m,出现氨氮和 COD 最大值分别为 1.46mg/L 和 21.7mg/L,为 IV 类水,达到功能区水质目标。

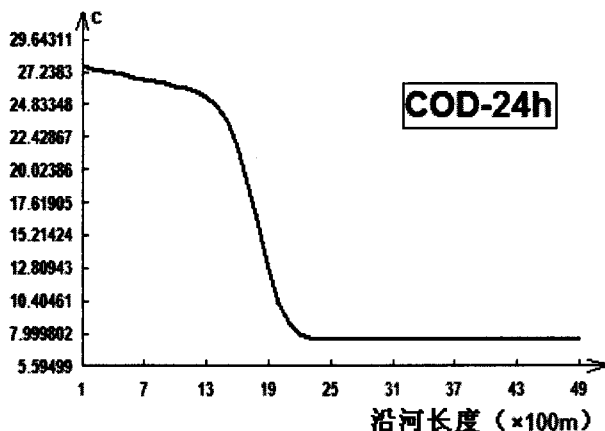


图6 事故排放 24h 后 COD 沿程浓度变化图

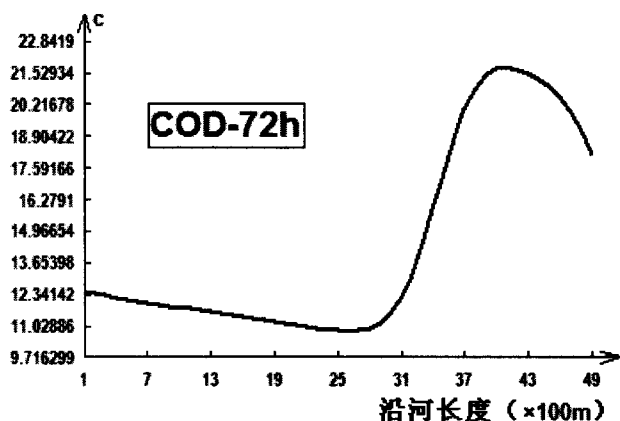


图8 事故排放 72h 后 COD 沿程浓度变化图

4 总结

一维水质模型的稳态解可以很好的模拟入河排污口连续排放对河流水质的影响。在入河排污口事故排放计算中,运用有限差分法对一维水质微分方程组进行数值求解,能够清晰地模拟事故发生后数天内下游河段水质变化情况,为发生事故排污时能以最快的速度发挥最大的效能处理污染事故,控制污染源及事态发展提供科学依据。在中小河流中合理运用一维水质模型稳态方程和数值方程对排污口影响进行分析,具有简洁、高效和准确的优点。

参考文献

- [1] SL348-2006, 水域纳污能力计算规程[S]
- [2] 逢勇, 陆桂华. 水环境容量计算理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010 年, 73-74 页
- [3] 汪峰, 陈芳. 河流一维模型在安庆市马窝污水处理厂排污口设置中的应用. 地下水[J]. 2011, 33(4): 53-54