

水质有机污染损失的经济计量模型

张江山¹, 孔健健²

(1. 福建师范大学环境科学研究所, 福建 福州 350007; 2. 沈阳师范大学化学与生命学院, 辽宁 沈阳 110034)

摘要 运用污染损失率函数和有机污染物衰减方程建立数学模型, 把污染损失与污染物浓度、污染物降解时间联系在一起, 突出了污染损失随着有机物衰减而发生的变化, 并用福州市的工业废水有机污染物排放情况验证模型。

关键词 有机污染物; 损失率; 污染物衰减; 计量模型

中图分类号 X502 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2006)01-0023-03

Econometric model for organic pollution loss of water quality

ZHANG Jiang-shan¹, KONG Jian-jian²

(1. Institute of Environmental Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. College of Chemistry and Bionomy, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China)

Abstract: The function of pollution loss ratio and the decay equation of organic pollutants were combined into a mathematic model. In the model, pollution loss was connected with pollutant concentration and the degradation time of pollutants, and variation of pollution loss with the degradation of organic pollutants was showed especially. The case of organic pollution loss caused by industrial wastewater discharge in Fuzhou City was used for the validation of the model.

Key words organic pollutant; loss ratio; degradation of pollutant; metrology model

随着工业生产和城市建设的不断发展, 我国工业废水和生活污水量与日俱增, 近年来废水排放量每年以 8% 的速度递增, 每年约有 4 000 亿 m³ 的污水直接排入江河湖泊, 全球高达 1% 的河流已受到不同程度的污染, 14% 以上的水体因污染严重而无法使用^[1-2]。有机物在分解过程中需要消耗大量的氧, 水体中有机污染物多时, 会导致水体严重缺氧, 造成水质污染, 从而严重影响人民的生产和生活, 造成的经济损失非常巨大^[3]。因此对水体有机污染造成的损失进行定量计算是十分必要的, 这不仅能够预测污染造成的经济损失, 起到警示作用, 还可为环境决策的制定提供依据, 使其与国民核算系统挂钩, 有助于绿色 GDP 的统计和计算^[4-5]。

根据资料^[6], 我国目前已有的水污染损失计算主要是进行污染物的综合损失计算, 只计算了某一时刻某一浓度造成的损失, 以此来代表该种污染物

长期对环境的影响, 但是计算时没有考虑到有机污染物自身衰减过程中造成经济损失的变化, 因而所求结果容易夸大或缩小实际污染造成的损失。

为了计算有机污染物在降解过程中对水资源造成的经济损失, 本文依据有机污染物的衰减方程和詹姆斯曾研究水污染造成的经济损失与污染物浓度的关系^[7], 建立水质有机污染损失计量模型。根据此模型可计算出从污染物产生至其恢复到环境允许浓度期间对环境造成的经济损失值。该模型的建立可为水质有机污染损失的计算提供一种更加贴近实际的计算方法, 同时也为绿色 GDP 的核算作出一定的贡献。

1 模型组成部分简介

1.1 水质有机污染损失影响因素

一般来说, 影响水质有机污染经济损失的因素包括: 有机污染物浓度, 水资源使用量, 废水排放量,

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(F0210005)

作者简介: 张江山(1946—)男, 福建泉州人, 研究员, 主要从事环境生态数学模型研究。E-mail: jszhang@fjnu.edu.cn

有机污染物降解速度的快慢以及当地的发展水平等。有机污染物浓度与水污染损失的关系,可用詹姆斯的污染损失浓度曲线来表示,表现为污染物浓度与经济损失间呈“S”型曲线^[7]。水资源使用量与废水排放量对损失的影响,则表现为用水量和排放量越大,造成的经济损失越严重,同时还受到当地水资源价格机制的影响。水中有机污染物降解速度越快,即恢复到环境允许浓度以下的速度越快,其造成经济损失值就越小。

1.2 有机污染物的衰减过程^[8-10]

有机污染物被排入到水体中,不仅会发生迁移、混合、扩散稀释、沉降、悬浮、吸附、解吸、挥发等,进入水体后,这些污染物会在其中各类细菌的作用下产生一系列生物化学反应,通常可以使一些有机污染物被氧化分解,其浓度发生了衰减,另一方面也会消耗水体中的溶解氧。

生化反应常常包括一系列的中间反应,而有机污染物的成分不确定,因此一般仍假定某一成分的有机污染物的降解是近似于一级动力学反应。某一成分有机物随时间的变化率可表示为

$$\frac{dc}{dt} = -kc \quad (1)$$

其解析解为 $c = c_0 \exp(-kt)$ (2)

式中: c 为 t 时刻的可生化降解的有机物浓度; c_0 为初始时刻排放的废水中有机污染物浓度; k 为有机污染物的降解速度常数; t 为降解时间。

k 值的确定,主要采用实验室测定法、两点法、多点法、kol法。本文则是采用实验室测定法来确定 k 值的大小。

根据式(2),可计算出在不同降解时刻废水中有机污染物的浓度。

1.3 水资源价值与水质间的函数关系

水资源在被开发利用过程中,其物理的、化学的、生物的性质都可能发生变化,即遭到不同程度的污染和折损,水资源的质量会因之下降,功能因之减退。这实质上是水资源的价值降低,即水资源作为资源在功能方面的损失。当不考虑其他因素或忽略其他因素时,可以把水资源的某一功能作为其质量的函数。在水资源数量一定的情况下,资源的价值与质量之间的关系如图1所示。一般而言,水资源的质量变坏,价值降低。当质量为 C_m 时,对应的资源功能为 F_m 。在这一点上的切线 S_m ,即可认为是 (C_m, F_m) 状态下的资源价值

$$S = \frac{b}{Q} \left(-\frac{dF}{dC} \right) \quad (3)$$

式中: S 为资源的功能价值; F 为资源的功能; C 为

资源的质量; b 为资源的功能参数; Q 为资源数量。

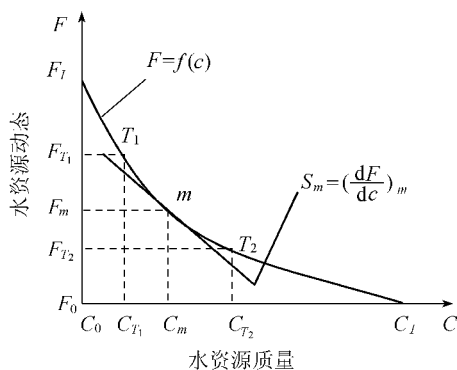


图1 水资源质量-功能关系曲线

当资源从状态 T_1 变化到 T_2 时,资源的功能降低值或功能损失为

$$\Delta F = - \int_{T_1}^{T_2} \frac{Q}{b} K dc \quad (4)$$

式中: ΔF 为资源的功能降低值或功能损失值; F_{T_1} 为资源在状态 T_1 时的价值; F_{T_2} 为资源在状态 T_2 时的价值; b 是由特定的资源功能和质量确定的转化系数,且有确定的转化量纲。

在实际中, b 和 S 的确定所需数据有限。通过对有限的 $F=f(c)$ 曲线的外推,可以求得水资源的价值。

水资源的功能损失与污染物浓度间的关系,可用詹姆斯提出的水体中污染物引起的经济损失与污染物浓度模型^[9],即污染损失率

$$R = \frac{1}{1 + A \exp(-BC)} \quad (5)$$

式中: A 和 B 为污染物的价值损失参数。

根据式(2)与式(5),可构造出水体有机污染经济损失值计算模型。把式(5)中的 C 用式(2)来代替,能够得出一个水质有机污染损失随有机污染物降解时间变化的数学模型:

$$R = \frac{1}{1 + A \exp(-Bc_0 \exp(-kt))} \quad (6)$$

1.4 水质经济价值损失量计算

根据水体中有机污染物造成的污染损失率以及水资源本身的值,可计算出水质有机污染造成的经济价值损失量

$$V = SR = \frac{S}{1 + A \exp(-Bc_0 \exp(-kt))} \quad (7)$$

式中: $S = PQ$ (P 为水资源价格,元/ m^3)。

则式(7)变成

$$V = \frac{PQ}{1 + A \exp(-Bc_0 \exp(-kt))} \quad (8)$$

式(8)为最终建立的水质有机污染损失模型。通过该模型,可计算出从排放污染物到污染物完全

降解这一时段内所造成的经济价值损失量。对于多种有机物污染造成的损失,则需要计算同一时刻各污染物的污染损失率

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (9)$$

式中: n 为有机污染物种类数。

2 案例分析

以福州市 2004 年工业水污染为例,运用水质有机污染损失计量模型来计算福州市工业废水中化学需氧量的衰减变化所造成的水环境资源价值损失。根据福州市环境质量评价报告,福州市 2004 年的工业废水排放量为 5 053 万 t, COD 的排放量为 4 752 t。根据实验推算,当年 COD 衰减常数 k 为 0.29 L/d。执行 GB3838—2002《地表水环境质量标准》,若要求水质达到Ⅲ类标准, COD 质量浓度为 20 mg/L。在充分有利于降解的条件下,废水中 COD 质量浓度由 94.43 mg/L 降解到 20 mg/L 需要 5.35 d。浓度降解曲线见图 2。

式(5)中参数 A 和 B 是与化学需氧量的污染特性有关,这里取 $A = 141.514$, $B = 0.0238$,根据式(6),计算出不同降解时间段的有机污染损失率,见图 3。

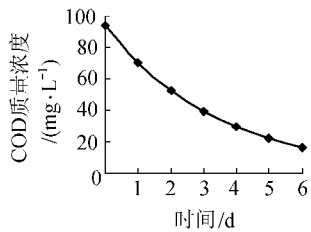


图 2 COD 降解

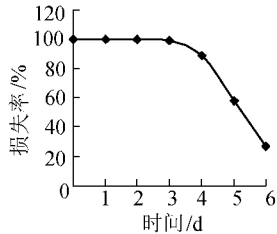


图 3 污染损失率变化

根据废水排放量和福建省工业用水价格(0.95 元/t),利用式(8)可求解出不同降解时段内水质有机污染造成的经济价值损失值,经济价值损失范围在 4 800.40 万元至 2 780.27 万元之间。应用综合方法计算的经济价值损失则是 1 870.56 万元,很显然忽略了有机物降解造成的损失要比将其作为主要考虑对象进行计算的结果要小一些。

图 2 反映有机物降解的变化过程,是随着时间的增加污染物浓度呈指数型减少的。这是水体本身存在自净作用的结果。同时也反映,若排放的污染物量在水环境本身允许容纳的范围内,这样造成的损失会更小。从图 3 中可看出,在有机物刚排放的时候由于污染物浓度较大,造成的损失也是最大的。随着有机物质的降解,有机污染造成的水质价值损失呈逐渐减少的趋势。这个损失值是在充分有利于有机物降解的条件下计算出的,可反映出有机污染物排放对水环境造成的损害。

3 结论

a. 通过将有机污染物衰减方程与詹姆斯的污染损失浓度关系相结合,建立了水质有机污染损失计量模型,从而把污染损失与污染物浓度、污染物降解时间联系在一起。该模型计算出的结果物理意义比较明确。

b. 本文所建立的水质有机污染损失模型,主要是针对我国目前水污染以有机污染为主的特性,使这一特性在实际损失的计算中体现出来,从而使计算结果更具说服力。

c. 通过计算可得到排放一定量和一定浓度的有机污染物在衰减到环境允许浓度时,这段时间所造成的经济价值损失值。通过运用有机污染损失的计量模型与综合方法,对 2004 年福州市排放的工业废水的污染损失进行计算,可看出有机污染对水资源造成的损失是比较严重的,在计算水体污染损失时,应对有机污染物着重加以考虑。

d. 有机污染损失的计量模型是一机理性较强的计算方法。在实际中用其计算有机污染损失时,其可靠性和准确度主要是依赖于参数 k 、 A 与 B 计算的准确性,这些在一定程度上都依赖于实际水环境与所执行的环境质量标准。

参考文献:

- [1] 崔玉川,傅涛.我国水污染及饮用水源中有机污染物的危害[J].城市环境与城市生态,1998,11(3):23-25.
- [2] 陆光华,李玉梅.松花江中有机污染物的生物降解性预测[J].水资源保护,2003(2):17-20.
- [3] BARKER P S, DOLD P L. COD and nitrogen mass balance in activated sludge system[J]. Wat Res, 1995, 29(2): 633-643.
- [4] UNO K, BARTELMUS P. Environmental accounting in theory and practice[M]. Dordrecht Kluwer, 1998: 459.
- [5] YUICHI M. Recycling and waste management from the viewpoint of material flow accounting[J]. Mater Cycles Waste Manag, 1999(1): 2-9.
- [6] 顾金土.环境污染损失计量的一个理论框架[J].中国环境管理,2004(4):18-20.
- [7] 詹姆斯 L D.水资源规划经济学[M].北京:水利电力出版社,1984.
- [8] 郑彤,陈春云.环境系统数学模型[M].北京:化学工业出版社,2003:39-41.
- [9] 宋琳,曾臻. COD 水样保存过程中衰减情况的统计分析[J].贵州环保科技,2004,11(3):35-37.
- [10] 韩言柱,翟素军,孙洪涛,等.由河流流速、COD 浓度估计河流 COD 衰减系数的经验模型[J].中国环境监测,1998(5):40-42.

(收稿日期:2005-07-08 编辑:傅伟群)