

问题讨论

论有机污染物的水环境容量

叶 常 明

(中国科学院生态环境研究中心)

环境容量是七十年代以来提出的环境科学基本理论问题之一。日本学者西村肇^[1]根据总量控制的基本原则,提出了环境容量的定义表达式如下

$$x = k \cdot y \quad (1)$$

式中, x 表示排放负荷; y 表示污染物的环境浓度; k 称为环境容量, 表示排放的污染物总量与污染物在环境中浓度之间的关系。这一概念克服了浓度控制的缺点。

八十年代初, 我国的环境科学工作者在水质规划研究中, 引进了环境容量的概念, 并引起激烈的争论。这种争论在一定程度上, 推动了我国环境界对环境容量的研究。

一、环境容量基本概念的修订

前面提及西村肇关于环境容量的定义, 虽已克服了浓度控制的缺点, 但是作为容量因子, 在概念上并不确切。他简单地把环境容量规定为, 环境中污染物浓度每增加一个单位相应增加的污染物排放量。这种定义没有突出容量因子所共有的特点。为此, 中国科学院生态环境研究中心汤鸿霄提出环境容量函数的概念, 其表达式是

$$Y = F \cdot x \quad (2)$$

式中, F 称为环境容量函数。比较(1)和(2)两式发现, F 和 k 互为倒数。环境容量函数的提出, 使环境容量在水质数学模式的计算中得到应用。但仍未从根本上克服(1)式中

关于环境容量定义所存在的问题。

根据热力学第二定律, 在自然界总熵是在增加的。如果没有外力的作用, 宇宙中所发生的过程是不可能恢复原状的, 是不可逆的。据此, 笔者认为: 在一个开放的生态环境系统中, 只有在外力的作用下, 才能在一定限度内使被扰动了的生态环境恢复原状。根据这个思想, 笔者在这里提出关于环境容量的新定义表达式

$$w = v \cdot p \quad (3)$$

式中, w 是环境容量, 质量单位; v 是环境体积; p 可定义为环境比容。其单位是质量/体积。

环境比容 p 是与污染物的性质、环境介质和环境状态等因素有关的函数。比较(2)和(3)两式发现, p 和 F 虽然在形式上相同, 但实际内容却完全不同。在(3)式中, 环境比容 p 表示, 在单位体积的环境介质中, 可去除(或净化)污染物的数量。在(2)式中, F 只表示环境中污染物浓度随排放负荷量的变化率。(3)式中的 w 具有更明确的容量因子特征。

有了上述关于环境容量的一般概念之后, 不难规定有机污染物的水环境容量, 即系指水环境对有机污染物的承受量。有机污染物与其它污染物相比, 其水环境容量的不同, 集中反映在(3)式中的环境比容 p 的表达式中。

二、有机污染物水环境容量的几个术语

根据有机污染物在水环境中的行为,将有机污染物分为两大类:一类是可衰变有机污染物,一类是不可衰变的有机污染物。从有机污染物的水生生态效应出发,其中不可衰变、有毒的有机污染物,其水环境容量是很小的,原则上是应该实行零排放的。本文主要是研究可衰变有机污染物的水环境容量。根据可衰变有机污染物水环境容量的定义,我们提出如下的几个术语。

1. 污导 k

对于水环境中可衰变的有机污染物,可认为其衰变过程是遵守一级反应动力学规律。假定反应速率常数为 k , 则反应速率 R 可表示为

$$R = -kc \quad (4)$$

这里, c 是有机污染物在水环境中的平衡浓度,我们将反应速率常数 k 定义为污导,其单位是时间的倒数。它的大小反映了有机污染物在水环境中被去除的能力。

2. 污阻 τ

污导 k 的倒数称为污阻,用 τ 表示,具有时间的单位。若某一有机污染物在水环境中同时发生了 j 种过程,其初始浓度为 c_0 ,则在时间 t 时,有机污染物的浓度为 c , c 可用下式表示。

$$\begin{aligned} c &= c_0 \cdot e^{-k_1 t} \cdot e^{-k_2 t} \cdot \dots \cdot e^{-k_j t} \\ &= c_0 e^{-(\sum k_j) t} \quad j = 1, 2, \dots, \end{aligned}$$

若水环境中有机污染物总的消失速率常数为 k , 则有

$$k = \sum_i k_i$$

如果有机污染物的总污阻为 τ , 则有

$$1/\tau = k = \sum_i k_i = \sum_i (1/\tau_i), \text{ 即}$$

$$1/\tau = \sum_i (1/\tau_i) \quad (5)$$

上式中 τ_i 为有机污染物在水环境中对第 j 种过程所表现出的阻抗。式(5)与并联电阻

的计算公式在形式上完全相同。 τ 值越大, 污染物在水环境中停留时间越长, 水环境对它的容量越小。

3. 污流 R

(4) 式中的衰变速率 R 称之为污流, 它表示在水环境中单位时间内有机污染物浓度的减少量。 R 的值越大, 体系能量的传递越大, 有机污染物的自净量也就越大。

4. 污压 c

将水环境中有机污染物的浓度 c 称为污压。它表示污染负荷, 从(4)式推导出如下的关系式

$$R = -(1/\tau)c \text{ 或 } c = -R\tau \quad (6)$$

观察上式发现, 除了有个负号之外, 其形式与电压、电阻和电流之间的关系式十分相似。式(6)表明, 若污压 c 不变, 污阻越大, 污流越小。

5. 环境比容 p

在(3)式中, 我们规定了环境比容 p 。这里将讨论 p 在一级动力学中的具体表达式。众所周知, 准一级动力学的表达式为

$$c = c_0 e^{-kt} \text{ 或 } c = c_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

根据环境比容的定义, p 应该是在时间 t 内, 水环境累积去除的有机污染浓度, 即有

$$p = c_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (7)$$

将上式代入(3)式, 有

$$w = v \cdot c_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (8)$$

从(8)式看出, 本文所提出的关于环境容量概念与(1)和(2)式有明显的不同。体积 v 在水环境容量研究中, 一般可以用体积流速 Q 代替。因此, 水环境容量的表达式(8)亦可写成

$$w = Qc_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (9)$$

式中, Q 的单位是米³/时间。如果研究的水环境是河流, 则时间 t 可以变换为流动距离 x 与河水流速 u 的商, 即

$$w = Qc_0(1 - e^{-\frac{x}{u\tau}}) \quad (10)$$

假定 t 为定数, c_0 也不变, 那么图 1 和

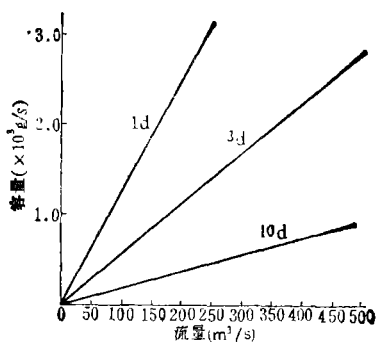


图 1 水环境容量与流量的关系

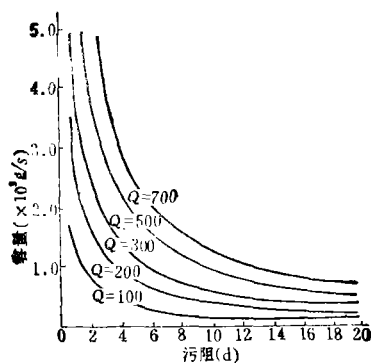
 $c_0 = 20 \text{ mg/l}$ $t = 1 \text{ d}$ 

图 2 水环境容量与污阻的关系

 $c_0 = 20 \text{ mg/l}$ $t = 1 \text{ d}$

图 2 分别表示有机污染物水环境容量与流量 Q 及污阻 τ 的关系。

从图 1 看出,污阻 τ 越大,水环境容量 w 与流量 Q 直线的斜率越小,而且在不同 τ 值下,所得直线都通过坐标原点。从图 2 发现,当流量 Q 固定时,污阻越大,水环境容量越小,其变化率也越小。

三、有机污染物水环境容量的特征

有机污染物水环境容量的特征与该污染物在水环境中的性质相关。从有机污染物在水环境所表现的特性以及它的水环境容量的定义出发,将有机污染物水环境容量的特征归纳如下:

1. 需氧性

大部分有机污染物在水环境中,会发生

化学的或生物的氧化过程,并消耗水中的溶解氧。水环境对这类有机污染物的容量,不仅取决于这些有机污染物的性质,而且还取决于水环境从外界摄取氧气的能力。目前一般都用综合耗氧指标 BOD、COD、TOD (总需氧量)表示耗氧有机物。在计算耗氧有机物的水环境容量时,可用 BOD-DO 综合水质数学模式。

2. 多样性

世界上已知的化学物中,有机物的种类比无机物多得多。除了耗氧有机污染物外,还有一大类是难降解有机污染物。这类有机污染物一般在水环境中的污阻大,且多有毒性,在水环境中含量低、组成复杂。它们的水环境容量表现出多样性。例如,在考虑一个有机污染物的水环境容量时,如果该有机物在水环境中由原来有毒的形式转化成另外一种有毒的形式,这时虽对母体化合物来说是被净化了,但还不能认为这种有机污染物的水环境容量是由母体化合物的消失体现的。这一基本特性,在确定有机污染物的水环境容量时,应予以重视。

3. 缓冲性

有许多有机污染物,容易被吸附在固体颗粒物或附着在生物体上,最后由于沉降作用和生物的死亡而聚积在水体底部的沉积物中。对上部的水体而言,有机物被暂时净化了。我们将这种作用对有机污染物所产生暂时的水环境容量称为缓冲性水环境容量。由于降解(特别是彻底降解)所产生的水环境容量称为永久性水环境容量。

缓冲性水环境容量,在一定条件下会失掉的。如当水力学或 pH 等水环境条件发生较大的变化时,水环境的稳定平衡状态受到强烈的扰动,存在于底部沉积物的有机污染物会重新进入水体,恢复了水体原来的污染负荷状态。这种容量对于水体只起到了一种缓冲作用。

有机污染物水环境容量的这种缓冲性,

在一定的条件下,还是具有利用价值的。例如,对于地质结构上透水性很差的池塘,湖泊等水体,这种缓冲性会减缓有机污染物对水体的冲击。

4. 易变性

有机污染物的水环境容量不象经典的容量因子那样,是具有严格定量关系的。由于有机污染物在水环境中,物质循环和能量流动的随机性和动态性,决定了有机污染物水环境容量的易变性,或者叫做不确定性。例如,同一个有机污染物,在不同的水环境中会表现出不同的水环境容量。即使是同一个有机污染物在相同的水环境中,由于外界条件的不同,其水环境容量也不完全相同,实际上是呈现动态变化的。

5. 不可迭加性

由于有机污染物在水环境中会表现出协同和拮抗效应等原因,它的水环境容量往往是不可迭加的,即是说,水环境对若干有机污染物的总环境容量、不等于各个有机污染物水环境容量的加和。

了解有机污染物水环境容量不可迭加性,在实际工作中具有重要意义。在进行水环境的影响评价和制订水污染物区域性排放标准时,应特别地注意有机污染物水环境容量的这种不可迭加性。

四、有机污染水环境容量的确定步骤

1. 确定目标

在着手有机污染水环境容量研究时,首先应该明确目标。有机污染水环境容量作为一种生态环境资源,有多方面的开发利用价值。由于目的不同,其方法步骤各异。

2. 水环境的水力学与地理特征的研究

水环境的水力学与地理特征是有机污染物水环境容量的重要影响因素。显而易见,没有足够的水量,就谈不到水环境对污染物的容量。因此,水量是有机污染物水环境容量的第一重要因素。弄清水环境的水力学与

地理特征是研究有机污染物水环境容量必不可少的步骤。这里主要是指:所研究水环境能够可靠地提供水量的估计;水环境流场和流动规律的研究;水环境周围气象条件的研究等。

3. 有机污染物特征的评价

有机污染物水环境容量与有机污染物的性质关系十分密切。因此,研究有机污染物的水环境容量,必须评价有机污染物在水环境中表现的各种特性。这里主要是指:有机污染物在水环境中,所有可能发生过程机制的研究;各种过程动力学行为的研究;有机污染物对水环境产生危害的研究等。

4. 有机污染物水环境比容的确定

在对有机污染物特征评价的基础上,通过现场和实验室模拟实验,测定有机污染物在水环境中的污压、污导、污阻和污流等有关参数。在有些情况下,也可以通过有机污染物的化学结构参数^[2],估算某些参数。在此基础上,确定有机污染物水环境比容的数学表达式。这是将有机污染物的性质与该污染物水环境容量相联系的重要步骤。

5. 有机污染物环境容量的估算

在完成上述四个步骤的基础上,将水环境比容放在一定的水质数学模式中,估算有机污染物的水环境容量。下面以BOD为例,说明有机污染物水环境容量的求算。

(1) 完全混合水体单元

在完全混合的水体单元中,其质量平衡方程是

$$v \frac{dc}{dt} = w_0 - c_c v - kvc \quad (11)$$

式中, w_0 是BOD是外部污染源输入量(kg/d), c_c 是BOD的水环境标准(kg/m³); c 是水体中时间 t 时BOD的浓度(kg/m³); v 是单元水体的总体积(m³); k 是BOD的污导(1/d); t 是时间(d)。在稳态条件下,

$$dc/dt = 0,$$

(11)式变成

$$o = \frac{1}{v} (w_0 - c_0 v) - k c \quad (12)$$

令 $w = w_0 - c_0 v = k v c$, w 是 BOD 的水环境容量, 其环境比容 $p = k c_0$ 。

(2) 水体流动沿程只有衰减, 没有混合稀释的柱塞流体系

对于这样的体系, 在稳态条件下, 其平衡方程是

$$w = Q c_0 (1 - e^{-\frac{x}{v u}}) \quad (13)$$

式中, c_0 是 BOD 进入水体后的混合浓度; Q 是体积流速, 或流量; u 是流速; w 是环境容量, 环境比容

$$p = c_0 (1 - e^{-\frac{x}{v u}})。$$

(3) 沿程有湍流扩散的体系

在这种体系中, 其稳态条件下的质量平衡方程是

$$w = Q c_0 (1 - e^{[\frac{u x}{D} - x (\frac{u}{D^2} + \frac{k}{D})^{\frac{1}{2}}]}) \quad (14)$$

式中, 环境比容

$$p = c_0 (1 - e^{[\frac{u x}{D} - x (\frac{u}{D^2} + \frac{k}{D})^{\frac{1}{2}}]});$$

D 是扩散系数。

五、有机污染物水环境容量的应用

1. 制订地区水污染物排放标准

实施合理的地区水污染物排放标准, 是进行环境的科学管理和控制水环境污染行之有效的措施。通过该标准的实行控制水环境污染, 是在合理利用污染物水环境容量前提下, 实行总量控制的方法。

2. 在环境规划中的应用

有机污染物水环境容量的研究是进行水环境规划的基础工作。只有弄清了污染物的水环境容量, 才能使所制订的环境规划真正体现出生态环境效益和经济效益, 使工厂的布局合理, 污水处理设施经济有效。

3. 水资源综合开发、利用规划

水环境容量是水资源综合开发、利用规划中必须考虑的内容之一。众所周知, 水资源是社会发展的资源之一。对水资源的综合开发利用, 不仅要考虑它所提供合格水质的足够水量, 而且还应考虑接纳污染物的能力。因此, 在进行水资源的综合开发、利用时, 应该弄清该区域水环境对污染物的容量。

参 考 文 献

- [1] 西村肇, 海洋科学(日) 9(1), 45(1977)。
- [2] 叶常明, 环境化学, 6(1), 14—23(1987)。

(上接第76页)

补充。混合修建不仅将单体建筑设计成完整的独立的建筑空间, 而且要使它在居住区内与其他建筑相互发生关系, 成为居住区的有机组成部分。单体建筑好像土地上生长出来的植物一样^[5], 彼此协调, 成为建筑群体的一员, 而居住区的建筑景观就是由这些建筑群体所构成的。任何一幢建筑的类型、色彩、质感不仅是属于某一幢建筑的, 而是属于整个居住区的。通过形式、体量、尺度、韵律、材料

和色彩的变化和对比, 将赋予居住区的建筑景观具有鲜明的个性特征和亲切感。

参 考 文 献

- [1] 姜象鲤, 环境工程, (2), (1984)。
- [2] (英) F. 吉伯德等著(程里尧译), 市镇设计, 中国建筑工业出版社, 1983 年。
- [3] 郭治, 环境, (3), (1987)。
- [4] 曲建翹, “不可忽视厨房空气污染”, 北京晚报, 1986 年 11 月 26 日。
- [5] (美) 伊利尔·沙里宁著(顾启源译), 城市 它的发展、衰败与未来, 中国建筑工业出版社, 1986 年。