

# 河流水环境容量一维计算方法

于 雷<sup>1</sup>, 吴舜泽<sup>1</sup>, 范丽丽<sup>2</sup>, 徐 毅<sup>1</sup>

(1. 国家环境保护总局环境规划院, 北京 100012; 2. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要** 河流水环境容量传统一维计算方法, 存在初始假定条件下计算河段全程水质超标和排污口断面污染物混合浓度超标幅度过大的问题。针对此问题, 提出考虑设计河段水质达标比例、设计断面水质超标幅度和设计河段计算单元长度的计算方法。以计算河段沿程污染物平均浓度达标为条件确定设计河段水质达标比例, 借用稀释度理论方法确定设计断面水质超标幅度和设计河段计算单元长度。作为实例, 对广西左江的某河段进行计算分析, 容量计算安全性得以提高。

**关键词** 水环境容量; 一维计算; 水质; 河流

中图分类号: X143 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2008)01-0039-03

## One-dimensional calculation method for river water environmental capacity

YU Lei<sup>1</sup>, WU Shun-ze<sup>1</sup>, FAN Li-li<sup>2</sup>, XU Yi<sup>1</sup>

(1. Academy for Environmental Planning of State Environmental Protection Administration, Beijing 100012, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract** There are two problems in one-dimensional calculation of water environmental capacity under initial hypothesis condition by traditional methods, that is, the water quality along the entire reach and mixed concentration of pollutants at the pollution outlet cross section are much beyond the standard. A calculation method was established on the basis of the designed percentage of the river reaches of which the water quality achieved the standard, designed excess extent of the pollutants of the sections beyond water quality standard and designed length limit of calculation river segment. The designed percentage was calculated under the condition that the average pollutant concentration along the reach achieved the standard. The designed excess extent of the pollutants of the sections and designed calculation length limit of calculation segment are resolved on basis of the concept of dilution ability. The capacity of some reaches of Zuojiang River in Guangxi Province was analyzed and calculated, and the safety of assimilation capacity calculation was enhanced.

**Key words** water assimilation capacity; one-dimensional calculation; water quality; river

### 1 传统计算方法及缺陷

在均匀河段进行一级衰减反应的单一水质组分的稳态方程为

$$C_s = C_0 e^{-Kx/86.4u} \quad (1)$$

考虑稀释及自净作用, 排污口断面与控制断面之间水域的水环境容量(以下简称容量)为

$$W = cq = C_s e^{Kx/86.4u} (Q + q) - CQ \approx Q(C_s e^{Kx/86.4u} - C) \quad (q \text{ 远小于 } Q) \quad (2)$$

式(1)(2)中:  $W$  为水环境容量, g/s;  $c$  为污水污染

物质量浓度, mg/L;  $q$  为污水流量, m<sup>3</sup>/s;  $C$  为河流污染物浓度, mg/L;  $Q$  为河流设计流量, m<sup>3</sup>/s;  $C_s$  为控制断面水质目标, mg/L;  $C_0$  为排污口断面污染物混合后的质量浓度, mg/L;  $K$  为一级综合衰减系数, 1/d;  $x$  为排污口与控制断面间距离, km;  $u$  为河流设计流速, m/s。

传统算法以控制断面水质达标为条件, 反推排污口断面污染物混合浓度, 将混合浓度与来水浓度之差作为可利用容量资源的计算方式, 只是水质模拟的简单应用, 存在计算河段全程水质超标和排污口断面污染物混合浓度超标幅度可能过大的问题。

实际上容量计算是为水环境管理服务的,它应该是以水质模拟的客观规律为基础并充分考虑水环境管理的主观需求,求解界定条件下的允许容量。考虑以上因素,本文将设计河段水质达标比例、设计断面水质超标幅度和设计河段计算单元长度3参数引入计算过程,改进传统算法。

## 2 设计河段水质达标比例

设计河段水质达标比例,是计算河段水质达标河段长度与总河段长度之比需满足的最低限值。

### 2.1 典型情景河段水质达标分析

如图1,假定达标控制断面位于计算河段首、末断面间的任一断面,且首、末断面水质目标一致。为充分利用容量资源,可在首、末断面分别虚拟一排排污口,则河段水质部分达标:

$$W = Q((C_S e^{K(1-\alpha)x/86.4u}) - C_S) + (C_S - C_S e^{-K\alpha x/86.4u}) \quad (3)$$

式中: $\alpha$ 为河段水质达标比例,且 $0 \leq \alpha \leq 1$ 。

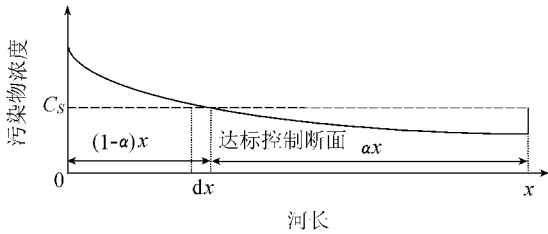


图1 计算河段污染物浓度分布示意

当 $\alpha = 0$ 时,达标控制断面位于末断面,仅余首断面排污口,河段水质零达标:

$$W = Q(C_S e^{Kx/86.4u} - C_S) \quad (4)$$

当 $\alpha = 1$ 时,达标控制断面位于首断面,仅余末断面排污口,河段水质全达标:

$$W = Q(C_S - C_S e^{-Kx/86.4u}) \quad (5)$$

不难看出,传统算法假定情景即为 $\alpha = 0$ 情景。该情景下河段水质零达标,相应的容量值也最为不安全,若应用于水环境管理,极易导致大比例的河段水质超标和跨界纠纷,以设计河段水质达标比例约束容量计算可有效避免问题发生。

### 2.2 设计河段水质达标比例确定

以计算河段沿程污染物平均浓度达标为标准,反推设计河段水质达标比例。

如图1,易得计算河段目标浓度直线以下面积为 $C_S x$ ,将计算河段划分为无数个相同的微段,在河段内任选一微段,长为 $dx$ ,坐标为 $x$ ,则此微段对应沿程浓度曲线以下面积为 $C_x dx$ ,则计算河段沿程浓度曲线以下面积为

$$\int_0^x C_x dx = \int_0^{(1-\alpha)x} C_x dx + \int_{(1-\alpha)x}^{\alpha x} C_x dx =$$

$$\int_0^{(1-\alpha)x} C_S e^{Kx/86.4u} dx + \int_0^{\alpha x} C_S e^{-Kx/86.4u} dx$$

河段沿程污染物平均浓度达标,相当于目标浓度直线以下面积与沿程浓度曲线以下面积相等,即

$$\int_0^{(1-\alpha)x} C_S e^{Kx/86.4u} dx + \int_0^{\alpha x} C_S e^{-Kx/86.4u} dx = C_S x \quad (6)$$

解(6)式,得

$$\alpha = \log_{\exp(Kx/86.4u)} \frac{\exp(Kx/86.4u) - 1}{Kx/86.4u}$$

以我国最常见的污染物COD为例,取 $K$ 值在 $0.20 \sim 0.25 d^{-1}$ ,取 $x$ 值为 $1 \sim 50 km$ , $u$ 值为 $0.1 \sim 2 m/s$ ,计算得 $\alpha$ 值在 $0.50 \sim 0.56$ 之间。

综合以上,为简便起见,一般情形下设计河段水质达标比例 $\alpha_S$ 以0.5为宜。

## 3 设计断面水质超标幅度和设计河段计算单元长度

设计断面水质超标幅度,是指排污口断面污染物混合浓度超出计算河段水质目标的最高限度。设计河段计算单元长度,是指将计算河段划分为若干计算单元时,单个计算单元长度的最高限值。

现实中,水环境功能区河段往往长达数十公里乃至上百公里,若不分段计算,以末断面水质达标为条件反推首断面污染物混合浓度,必会导致混合浓度超标幅度过大,以设计断面水质超标幅度和设计河段计算单元长度约束容量计算可避免此问题发生。

借用稀释度相关理论方法,确定设计断面水质超标幅度和设计河段计算单元长度。

### 3.1 稀释度和设计初始稀释度

由文献[1]稀释度是指排污水体在纳污水域稀释后的水体总体积与该体积中所包含的污水体积之比。水体中某个位置的当地稀释度为

$$S = \frac{c - C_a}{C_x - C_a} \quad (7)$$

式中: $C_x$ 为水体中某位置的污染物浓度; $C_a$ 为背景浓度。

除当地稀释度外,也常用断面平均稀释度或垂线平均稀释度作为指标,若以 $\bar{C}_x$ 表示排污口断面的污染物平均浓度,则计算河段排污口断面平均稀释度为

$$\bar{S} = \frac{c - C_a}{\bar{C}_x - C_a} \quad (8)$$

设计初始稀释度,即在时空尺度都很小的初始稀释阶段必须完成的高稀释倍数的低限,以 $S_S$ 表示。由于容量计算初始假定污水在排污口断面与河水混合均匀,因而本文中设计初始稀释度 $S_S$ 即为排污口断面设计平均稀释度 $\bar{S}_S$ ,排污口断面的污染物

平均浓度  $\bar{C}_x$  即排污口断面污染物混合浓度  $C_0$  ;求解容量为管理环境容量 ,因而背景浓度  $C_a$  即计算河段所在功能区的水质目标  $C_S$  ,则式(8)变为

$$\bar{S}_S = \frac{c - C_S}{C_0 - C_S} \tag{9}$$

不少国家和地区对排污的设计初始稀释度都有规定 ,如美国要求最小初始稀释度为 100 ,英国为 50 ,香港一般为 85<sup>[1]</sup>。我国目前只在 GB 18486—2001《污水海洋处置工程污染控制标准》<sup>[2]</sup>中对排往河口水域的污水海洋处置排放点对应的的设计初始稀释度作了相关规定。参考以上规定并根据我国实际情况 ,得出一般地表河流排污口断面平均稀释度要求 ,Ⅲ类水为 50 ,Ⅳ类水为 40 ,Ⅴ类水为 30。

3.2 设计断面水质超标幅度和设计河段计算单元长度确定

以 COD 为例 ,由于反向计算是虚拟排污口 ,排污口不针对具体行业企业 ,因而只需知道各类水域污染物最高允许排放浓度。由 GB 8978—1996《污水综合排放标准》<sup>[3]</sup>知 ,排入Ⅲ类地表水域的污水中 COD 最高允许排放质量浓度是 100 mg/L ,排入Ⅳ类和Ⅴ类地表水域的污水中 COD 最高允许排放质量浓度是 300 mg/L。

已知排污口断面平均稀释度  $\bar{S}_S$ 、水质目标  $C_S$ 、污水中污染物浓度  $c$  ,由式(9)求得排污口断面污染物混合浓度  $C_0$  ,从而确定设计断面水质超标幅度为

$$\beta_S = \frac{C_0 - C_S}{C_S} = \frac{c - C_S}{\bar{S}_S C_S} \tag{10}$$

结合一维衰减方程式(1) ,考虑设计河段水质达

(上接第 页)

方案三在 2010 年和 2020 年的工业产值均高出方案一和方案二。方案一比其他两个方案缺水程度严重 ,受缺水程度的影响 ,该方案下的工业产值偏低 ;方案二和方案三虽然回用量不同 ,但城市缺水状况均得到缓解 ,这两个方案的工业产值相差不大 ,三个方案的工业产值到 2010 年分别为 218 亿元、236 亿元和 232 亿元 ,2020 年分别为 707 亿元、877 亿元和 870 亿元。

4 结 论

通过城市水资源再生回用系统 SD 模型在西宁实例研究的应用 ,预测了西宁城市在不同方案下污水再生回用的发展趋势以及污水回用对城市经济发展的影响。结果表明模型应用效果较好 ,说明模型具有实用性 ,能为决策者提供可靠的理论依据。决策者可根据当地的实际情况和经济条件 ,选择合适

标比例  $\alpha_S$  ,可求得设计河段计算单元长度  $L_S$  为

$$L_S = \frac{1}{(1 - \alpha_S)} \ln \left( \frac{c + (\bar{S}_S - 1)C_S}{\bar{S}_S C_S} \right) \frac{86.4u}{K} \tag{11}$$

确定  $L_S$  后 ,分段计算容量 ,求其和即得总容量 :

$$W = Q[(C_S e^{K(1-\alpha_S)L_S(86.4u)} - C) + (C_S - C_S e^{-K\alpha_S L_S(86.4u)})] \tag{12}$$

4 算 例

选取广西左江某河段作实例 ,该河段长 73 km ,设计流量 84 m<sup>3</sup>/s ,设计流速为 0.1 m/s ,COD 上断面来水水质和下断面目标水质皆为 20 mg/L ,COD 综合降解系数为 0.2/d。

采用传统容量算法 ,得该河段容量值为 23.41 万 t/a。

采用本文推荐容量算法 ,设计河段水质达标比例取推荐值 0.5 ,计算得设计河段计算单元长度为 15.3 km ,据此将该河段分成 5 段计算 ,得该河段容量值为 8.98 万 t/a ,仅为传统算法容量值的 38.36%。

可以看出 ,采用本文推荐算法 ,容量计算安全性得以提高 ,对提高水环境管理水平有一定意义。

参考文献 :

[1] 张永良 ,李玉樑 .排污混合区分析计算指南 [M]. 北京 :海洋出版社 ,1993 52-53.  
[2] GB 18486—2001 污水海洋处置工程污染控制标准 [S].  
[3] GB 8978—1996 污水综合排放标准 [S].

(收稿日期 2006-11-16 编辑 :傅伟群)

的方案。

参考文献 :

[1] 刘昌明 .我国西部大开发中有关水资源的若干问题 [J]. 中国水利 2000(8) 23-25.  
[2] 西宁市统计局 .西宁统计年鉴 [M]. 北京 :中国统计出版社 2000 53-72.  
[3] 王其藩 .系统动力学 [M]. 北京 :清华大学出版社 ,1994 :1-5.  
[4] TAKASHI A. Planning and implementation of water reuse projec [J]. Water Science and Technology ,1991 ,24(9) :24-26.  
[5] SLOBODAN P S. World water dynamics :global modeling of water resources [J]. Journal of Environmental Management , 2002 66(3) 249-267.  
[6] 李梅 .城市污水再生回用系统分析及模拟预测 [D]. 西安 :西安建筑科技大学 2003.

(收稿日期 2007-02-28 编辑 :傅伟群)