

宽浅型河道纳污能力计算方法

韩龙喜¹ 朱党生² 姚 琪¹

(1. 河海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 水利部水利水电规划设计总院, 北京 100001)

摘要 对于宽浅型河道, 排放到水体中的污染物质在功能区相应的距离内不能达到横向均匀混合, 常用的环境容量计算方法不再适用. 针对这一情况, 从水资源保护规划出发, 对进入河段的污染源沿河长进行了概化. 在此基础上, 提出了纳污能力的计算方法及公式, 并给出宽浅河道不同功能区组合情况下纳污能力的计算方法, 为大范围水资源保护规划提供了一种简单、实用的工具.

关键词 功能区划; 宽浅型河道; 污染源概化; 纳污能力

中图分类号 X522 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2001)04-0072-04

对于宽浅型河道, 污染物质在排放到水体中后, 因宽深比较大, 污染物沿流程在很长距离的河段内不能达到断面内均匀混合, 污染物浓度在断面上沿横向变化较大, 常用的环境容量计算公式不再适用. 为考虑浓度在平面上的变化情况, 可用二维水质数学模型模拟污染物沿河流纵向、横向的迁移转化规律. 因此, 不同功能区的纳污能力应以功能区相应的水质目标为依据, 以二维水质数学模型数值解或解析解为工具, 考虑功能区间的相互衔接关系进行计算. 本文采用水质平面二维解析解, 求得纳污能力的计算公式.

1 宽浅河道二维水质解析解

对宽浅型河道, 若水深沿纵向、横向变化较小, 在水流恒定的情况下, 河道内水流可近似地看成均匀流, 若排入河道的污染源源强为恒定, 则在下流形成恒定的浓度场. 设某宽浅河道污染源岸边排放, 强度为 S , 因河道较宽, 可不考虑对岸反射的影响, 在下流位置 (x, z) 处产生的浓度为^[1]

$$C(x, z) = \frac{S/H}{\sqrt{4\pi E_z u x}} \exp\left[-\frac{uz^2}{4E_z x} - K\frac{x}{u}\right] \quad (1)$$

式中: x ——纵向坐标, 代表计算点至排放口的纵向距离; z ——横向坐标, 代表计算点至排放口的横向距离; H ——断面平均水深; u ——断面平均流速; K ——污染物的自净系数; E_z ——横向紊动扩散系数, 可用下式求解:

$$E_z = \alpha_z H U_* \quad (2)$$

式中: α_z ——经验系数; U_* ——摩阻流速.

2 宽浅河道纳污能力计算方法

2.1 宽浅河道纳污能力定义

对宽浅河道, 在一定的水量条件下, 在保障河道水质满足功能区要求的水质标准情况下, 排污口所能容纳的污染物的最大数量称为纳污能力. 据此定义可知, 在水流条件及水域环境功能确定的情况下, 纳污能力与排污口位置有关. 由于假定污染物从某一空间点排入水体, 即使排污量很小, 在排污口的下游水域也存在着一定范围的污染带. 因此, 与排污口相应的纳污能力允许存在污染带. 但污染带范围大小与排污源强有关. 因此, 要确定纳污能力, 必须首先确定允许的污染带的范围. 排污口位置、污染带范围一旦给定, 纳污能力也就唯一确定.

设宽阔水域纳污能力为 W , 从理论上讲水域中任一点的水质浓度应为两岸排污的叠加. 对宽深比足够

大的河道,因 B/H 很大,一侧岸边的排污对对岸水质影响很小,功能分区及纳污能力计算可分两岸分别独立进行。

2.2 污染源概化

通常情况下,对同一个水功能区划相应的河段而言,污染物排放口不规则地分布于河流的不同断面。功能区控制断面的断面平均浓度将由所有排污口污染源在控制断面产生的浓度叠加得到。而纳污能力应是控制断面在满足水质目标的条件下,在规划准则的引导下,各排污口所能排放的污染物的最大数量。但考虑到此项工作的复杂性及水环境规划本身的要求,可将排污口在功能区内的分布加以概化,即认为污染源源强在同一功能区内沿河长均匀分布。此概化实际上体现了污染物分布的一种平均状况,对某一河段也许存在一定偏差,但从统计、规划的特点来看,却综合反映了若干河段污染物排放的一种平均状态。

2.3 纳污能力计算

如图 1 所示,某功能区宽浅河道长度为 L ,断面平均流速为 u ,其纳污能力用 W 表示。假定污染物沿河岸均匀分布,此功能区的水质标准为 C_s ,可近似地用出口断面浓度来控制功能区水质。

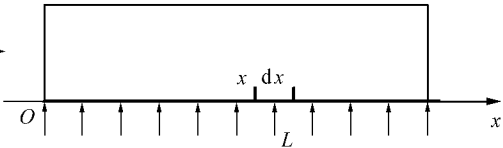


图 1 宽浅河道污染源概化示意图
Fig.1 Generalization of Pollutant sources

由二维解析解知,连续源 dm 在出口断面产生的浓度:

$$dC = \frac{2dm}{\sqrt{4\pi E_z u(L-x)}} \exp\left[-\frac{uz^2}{4E_z(L-x)} - K\frac{L-x}{u}\right] \tag{3}$$

由假设得 $dm = \frac{W}{LH}dx$,令 $z = 0$,可得岸边浓度在纵向的变化

$$dC = \frac{W}{HL\sqrt{\pi E_z u(L-x)}} \exp\left(-K\frac{L-x}{u}\right) \cdot dx \tag{4}$$

沿岸均匀排放的所有污染物在出口断面产生的浓度应为各微元产生的浓度的累加,数学表示为

$$C = \frac{W}{HL} \int_0^L \frac{\exp\left(-K\frac{L-x}{u}\right)}{\sqrt{\pi E_z u(L-x)}} dx \tag{5}$$

该式难以求解积分,有两种处理方法:

第一种方法为用有限求和代替积分。将河长 L 分为 N 等份,计算任一子河段排放污染源在出口产生的浓度,再进行叠加,计算公式为

$$\Delta x = \frac{L}{N} \qquad C = \frac{W}{HL} \sum_{i=1}^N \frac{\exp\left[-K\frac{L-i\Delta x}{u}\right]}{\sqrt{\pi E_z u(L-i\Delta x)}} \Delta x \tag{6}$$

令 $C + C_0 \exp\left(-K\frac{L}{u}\right) = C_s$,有

$$W = \frac{[C_s - C_0 \exp\left(-K\frac{L}{u}\right)]HL}{\sum_{i=1}^N \frac{\exp\left[-K\frac{L-i\Delta x}{u}\right]}{\sqrt{\pi E_z u(L-i\Delta x)}} \Delta x} \times 86.4 \times 0.365 \quad (\text{t/a}) \tag{7}$$

式中 C_0 为入口断面浓度,取值根据上游功能区划确定。

第二种方法是将污染源简化处理,为此近似地认为均匀排放的污染物在出流断面产生的浓度效应与同样的排污量在河段中部岸边排放产生的效应相当,即将区划内各排污口产生的浓度用河段中部集中排放产生的浓度代替,以此计算纳污能力:

$$C_0 \cdot \exp\left(-K\frac{L}{u}\right) + \frac{W}{H\sqrt{\pi E_z uL/2}} \exp\left[-K\frac{L/2}{u}\right] = C_s \tag{8}$$

$$W = \frac{C_S - C_0 \cdot \exp(-K \frac{L}{u})}{\exp[-K \frac{L/2}{u}]} H \sqrt{\pi E_z u L / 2} \times 86.4 \times 0.365 \quad (\text{t/a}) \tag{9}$$

2.4 计算方法及步骤

图 2 所示为某宽浅型微弯天然河道功能区分布情况，该河道设计流量为 Q ，设计水位为 Z 。下面给出纳污能力的计算流程及计算方法。

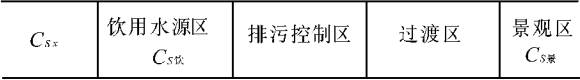


图 2 某宽浅河道功能区分布示意图

Fig.2 Distribution of functional regions

各功能区中，饮用水源区、景观区有明确的定义，排污控制区指没有明确水环境功能、水质目标的水域，而过渡区通常设立在低功能区向高功能区过渡段之间，在过渡区内，上游的低功能水体完成向下游高功能水体的过渡，在过渡区的出口断面，水质达到下游高功能区的水质目标。纳污能力的计算流程如图 3。

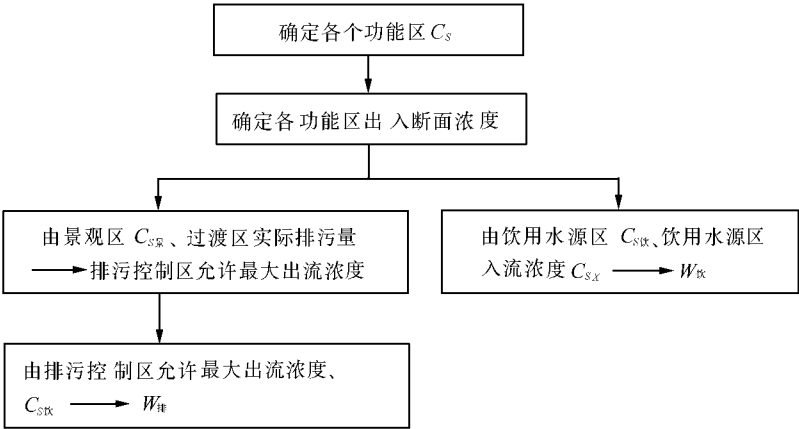


图 3 纳污能力的计算流程

Fig.3 Flow chart of calculation of water environment capacity

以第二种算法为例，计算步骤如下：

- a. 确定水力参数 Q 和 Z ，推求断面面积 A ， u ， E_z ；
- b. 由 $C_{S, \text{景}}$ 、过渡区实际排污 $S_{\text{过}}$ 推求排污控制区允许最大出流浓度 $C_{\text{排max}}$ 。

因 $C_{\text{排max}} \exp(-K \frac{L_{\text{过}}}{u}) + \frac{S_{\text{过}}}{H \sqrt{\pi E_z u L_{\text{过}} / 2}} \exp(-K \frac{L_{\text{过}}}{2u}) = C_{S, \text{景}}$ ，故

$$C_{\text{排max}} = \frac{C_{S, \text{景}} - \frac{S_{\text{过}}}{H \sqrt{\pi E_z u L_{\text{过}} / 2}} \exp(-K \frac{L_{\text{过}}}{2u})}{\exp(-K \frac{L_{\text{过}}}{u})} \tag{10}$$

特别地，若过渡区无排污，则令 $S_{\text{过}} = 0$ 。

- c. 由 $C_{S, \text{饮}}$ 和 $C_{\text{排max}}$ 推求排污控制区纳污能力 $W_{\text{排}}$ 。

排污控制区入流浓度即饮用水源区的水质标准，因

$$C_{S, \text{饮}} \exp(-K \frac{L_{\text{排}}}{u}) + \frac{W_{\text{排}}}{H \sqrt{\pi E_z u L_{\text{排}} / 2}} \exp(-K \frac{L_{\text{排}}}{2u}) = C_{\text{排max}}$$

有

$$W_{\text{排}} = \frac{C_{\text{排max}} - C_{S, \text{饮}} \exp(-K \frac{L_{\text{排}}}{u})}{\exp(-K \frac{L_{\text{排}}}{2u})} H \sqrt{\pi E_z u L_{\text{排}} / 2} \times 86.4 \times 0.365 \quad (\text{t/a}) \tag{11}$$

- d. 由饮用水源区入流浓度 $C_{\text{饮入}}$ 和 $C_{S, \text{饮}}$ 推求饮用水源区纳污能力 $W_{\text{饮}}$ 。

$C_{\text{饮入}}$ 取值由上游功能区、饮用水源区水质目标的相互关系确定，对 COD 类的污染因子，有 $C_{\text{饮入}} =$

$\min(C_{SX}, C_{S\text{饮}})$ 则

$$W_{\text{饮}} = \frac{C_{S\text{饮}} - C_{\text{饮入}} \exp(-K \frac{L_{\text{饮}}}{u})}{\exp(-K \frac{L_{\text{饮}}}{2u})} H \sqrt{\pi E_z u L_{\text{饮}} / 2} \times 86.4 \times 0.365 \quad (\text{t/a})$$

(12)

若采用第一种方法计算纳污能力 ,可利用公式(7) ,采用相同的思路进行求解.

2 算 例

某宽浅型河段长 2 000 m ,水面宽 400 m ,水深 1 m ,流量为 20 m³/s ,功能区划为Ⅲ类水 ,相应的 COD 水质标准为 8 mg/L ,上游为饮用水功能区 ,相应的 COD 水质标准为 6 mg/L ,下游为农业用水区 ,COD 的自净系数为 0.1d⁻¹ ,分别用污染源均匀分布、集中分布两种方法计算纳污能力 .污染源概化为均匀分布计算时 ,河段分为 10 个子河段 .横向分散系数由谢才公式求得水力坡度 ,再求得摩阻流速 ,最后由经验公式得到 .两种方法所得纳污能力见表 1 .由表可知 ,两者结果相当 .由此可知 ,污染源集中分布虽对污染源分布进行了简化处理 ,但却基本反映了原分布对环境水体的影响 .

表 1 纳污能力计算值

Table 1 Calculated water environment capacity

污染源分布	纳污能力/(t·a ⁻¹)
均匀分布	32.3
集中分布	35.3

3 结 论

- a. 对宽浅型河流 ,本文提出了纳污能力的两种计算方法及计算公式 ,并给出不同功能区组合情况下的纳污能力计算方法 ,可用于水资源保护规划、水环境管理 .
- b. 对不同功能区相互衔接的情况 ,计算纳污能力时关键在于入、出流断面浓度的取值 .对一般功能区 ,出流断面浓度即本功能区水质标准 ;对过渡区 ,出流断面浓度应满足下游功能区水质标准 ;对排污控制区 ,无出水水质标准 ,但其纳污能力通过其下游的过渡区而间接受到过渡区下游功能区的制约 .入流断面浓度 ,受制于本功能区与上游功能区的相互关系 ,取上游功能区出水水质浓度 .

参考文献 :

[1] 张书农 .环境水力学[M].南京 :河海大学出版社 ,1998.86 ~ 87 .

Water Environment Capacity Calculating Method
for Shallow-Broad Rivers

HAN Long-xi¹ ,ZHU Dang-shen² ,YAO Qi¹

(1. College of Water Resources and Environment ,Hohai Univ . ,Nanjing 210098 ,China ;
2. Water Power Planning and Design Institute of the Ministry of Water Resources ,Beijing 100011 ,China)

Abstract :When waste water is discharged into a shallow-broad river ,pollutants cannot be mixed uniformly in the lateral direction ,and only the 2D water quality model can be used to calculate pollutant concentration .In this paper ,based on the 2D theoretical solution ,a formula for the calculation of water environment capacity of shallow-broad rivers is proposed .

Key words :functional regionalization ;shallow-broad river ;generalization of pollution sources ;water environment capacity