

中小型河道纳污能力计算方法研究

韩龙喜¹, 朱党生², 蒋莉华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 在对河段污染源进行概化的基础上提出纳污能力的计算方法及计算公式. 结合水资源保护的
实际需要, 给出不同功能区组合情况下的纳污能力计算方法, 为水资源保护与规划提供了一种简捷
有效的方法.

关键词 中小型河道 纳污能力 污染源概化; 一维水质模型 功能区划

中图分类号 X52 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2002)01-0035-04

对于宽深比不大的中小型河道, 污染物质在排放到水体中后, 在较短纵向距离的河段内基本上能在断面
内达到均匀混合状态, 污染物浓度在断面上横向变化不大, 可用一维水质数学模型模拟污染物沿河流纵向的
迁移转化规律. 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, 以一维水质数学模型^[1]数值解或
解析解为工具, 考虑功能区间相互衔接关系进行计算.

1 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进行叠加得到. 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, 即认为污染物排
放口在同一功能区内沿河长均匀分布, 并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. 据此可推算一维河道的纳污能力.

2 单一功能区纳污能力计算方法

在进行水资源保护规划时, 通常选取某一保证率下的水流条件作为水量设计条件, 因此水力条件为稳态
的. 若假定某一功能区所对应的河段断面形状变化不大, 则可用解析解模拟断面平均浓度的沿程变化. 忽略
不灵敏因子纵向分散的作用, 一维水质数学模型^[2]为

$$C(x) = C_0 \exp\left(-K \frac{x}{u}\right) \tag{1}$$

式中: C_0 ——某基准断面的浓度; x ——计算断面至基准断面的距离; u ——断面平均流速; K ——污染物的
降解系数; $C(x)$ ——计算断面浓度.

下面以方程(1)为依据, 通过数学推演给出单一功能区纳污能力的计算公式. 如图 1 所示, 设某一功能区
长为 L , 设计水位相应的河流断面面积为 A , 设计流量为 Q , 入流断面设计水质为 C_0 , 降解系数为 K , 此功能
区要求水质目标为 C_S , 拟计算其纳污能力 W .

根据概化, 单位河长纳污量应为 W/L , 建图示坐标系, 在河段内选一微段, 长为 dx , 坐标为 x , 则此微段
污染物输运至 $x = L$ 处的剩余质量为

$$dm = \frac{W}{L} \exp(-K \frac{L-x}{u}) dx \tag{2}$$

单位时间,经过 $x = L$ 所在断面的污染物总质量应为上游 L 长河段内排放的各微段的质量降解至本断面剩余质量的叠加,即

$$m = \int_0^L dm = W \frac{u}{KL} (1 - \exp(-K \frac{L}{u})) \tag{3}$$

$x = L$ 所在断面相应的污染物浓度为

$$C = W \frac{u}{QKL} (1 - \exp(-K \frac{L}{u})) \tag{4}$$

根据纳污能力的定义,由式(4)并考虑入流浓度的叠加得到

$$W = \frac{C_S - C_0 \exp(-K \frac{L}{u})}{1 - \exp(-K \frac{L}{u})} (QK \frac{L}{u}) = 0.365 \times 86.4 \times \frac{C_S - C_0 \exp(-K \frac{L}{u})}{1 - \exp(-K \frac{L}{u})} KV \quad (\text{t/a}) \tag{5}$$

式中 : V ——功能区的蓄水量.

例 某河流,若长度 $L = 10 \text{ km}$,流量 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$,过水断面面积 $A = 500 \text{ m}^2$,入流断面浓度 $C_0 = 12 \text{ mg/L}$,功能区相应的水质目标值 $C_S = 15 \text{ mg/L}$, $K = 0.1/\text{d}$,计算 W .

解: $V = AL = 5 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad U = 0.2 \text{ m/s} \quad K = 1.16 \times 10^{-6}/\text{s}$

$$W = 86.4 \times \frac{15 - 12 \times \exp(-1.16 \times 10^{-6} \times \frac{10000}{0.2})}{1 - \exp(-1.16 \times 10^{-6} \times \frac{10000}{0.2})} \times 1.16 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^6 = 32677.2 \quad (\text{kg/d})$$

为验证公式的准确性,根据环境容量的定义计算环境容量:

$$R = 86.4(Q(C_S - C_0) + KVC_S) = 33420 \quad (\text{kg/d})$$

对比两者的结果可知,在污染源均匀分布的假设条件下,纳污能力与环境容量接近.

3 多个功能区纳污能力计算方法

同一条河道根据两岸的经济布局、社会发展等因素的不同,可有诸如饮用水源区、景观娱乐用水区、农业用水区、排污控制区及过渡区等不同的功能区划.不同的水功能区划对水质的要求不一,可用地面水环境质量标准 GB3838—88 控制.对排污控制区,不作水质要求,而过渡区主要起到从低功能区划向高功能区划过渡的作用,因此,过渡区的出流断面水质浓度必须满足下游高功能区的水质标准.

以安徽省一河流开发利用区为例,说明各功能区纳污能力的计算方法.该开发利用区各二级区划地分布情况见图 2.

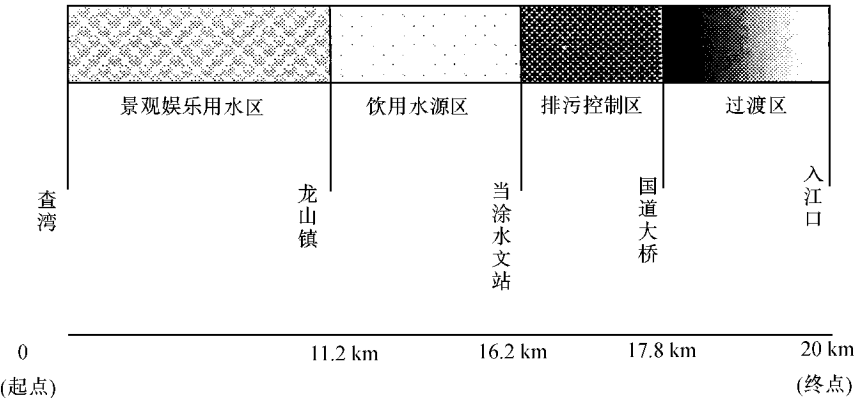


图 2 某河流某开发利用区功能区划图

Fig.2 Functional regions

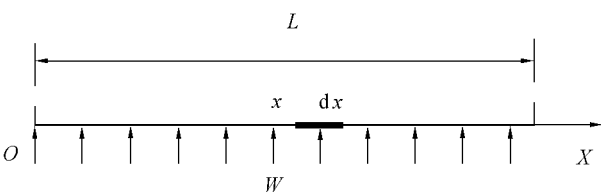


图 1 污染源概化示意图

Fig.1 Generalization of pollution sources

纳污能力计算步骤如下：

a. 确定各二级区划水质标准(见表 1).

表 1 二级功能区划及水质标准

Table 1 The second class functional regionalization and water quality standard

区划性质	起止断面	河长/km	适用水质类别	水质标准取值 C_S
景观娱乐区	查湾—龙山桥镇	11.2	Ⅲ	$C_{S景}$
饮用水源区	龙山桥镇—当涂水文站	5.0	Ⅱ~Ⅲ	$C_{S饮}$
排污控制区	当涂水文站—国道大桥	1.6	无标准	无要求
过渡区	国道大桥—入江口	2.2	出口断面达Ⅲ类	$C_{S入江口}$

b. 过渡区有污染源 S (单位 kg/d),据此及过渡区出水水质目标 $C_{S入江口}$ (此值由入江口以下功能区确定),推求过渡区入口断面(即国道大桥断面)允许的最大浓度 $C_{国道}$ 表示.由

$$C_{\text{国道}}\exp(-K\frac{L_{\text{过}}}{u}) + S\frac{u}{QKL_{\text{过}}}(1 - \exp(-K\frac{L_{\text{过}}}{u})) = C_{S入江口}$$

得到

$$C_{\text{国道}} = \frac{C_{S入江口} - S\frac{u}{QKL_{\text{过}}}(1 - \exp(-K\frac{L_{\text{过}}}{u}))}{\exp(-K\frac{L_{\text{过}}}{u})}$$

特殊的,若过渡区无污染,令 $S = 0$ 即可.

c. 由 $C_{国道}$ 和 $C_{S饮}$ 推求排污控制区的纳污能力 $W_{排}$.

$$W_{\text{排}} = \frac{(C_{\text{国道}} - C_{S饮}\exp(-K\frac{L_{\text{排}}}{u}))KV}{1 - \exp(-K\frac{L_{\text{排}}}{u})} \times 86.4 \times 0.365 \quad (\text{t/a})$$

d. 由 $C_{S饮}$ 、景观区水质标准 $C_{S景}$ 推求饮用水源区纳污能力 $W_{饮}$.

$$W_{\text{饮}} = \frac{(C_{S饮用} - C_{S景}\exp(-K\frac{L_{\text{饮}}}{u}))KV}{1 - \exp(-K\frac{L_{\text{饮}}}{u})} \times 86.4 \times 0.365 \quad (\text{t/a})$$

e. 由 $C_{S饮}$ 、景观区入流断面浓度 $C_{0景}$ 推求景观娱乐区 $W_{景}$.景观娱乐区入流浓度应参照上游区划确定：

$$C_{0景} = \begin{cases} C_{上} & \text{上游功能区严于本功能区} \\ C_{S景} & \text{上游功能区不严于本功能} \end{cases}$$

$$W_{\text{景}} = \frac{(C_{S景} - C_{0景}\exp(-K\frac{L_{\text{景}}}{u}))KV}{1 - \exp(-K\frac{L_{\text{景}}}{u})} \times 86.4 \times 0.365 \quad (\text{t/a})$$

4 算 例

某河流流量 $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$,断面面积 $A = 25 \text{ m}^2$,有景观用水区、农业用水区两种功能区,景观用水区上游与饮用水源区相邻,假设相应的水质目标值 $C_{S饮} = 10 \text{ mg/L}$, $C_{S景} = 15 \text{ mg/L}$, $C_{S农} = 20 \text{ mg/L}$,各功能区长度 $L = 10 \text{ km}$,降解系数 $K = 0.1/\text{d}$.景观用水区和农业用水区各有两个排污口,位置见图 3,景观用水区两个排污口 COD 的排放量比为 1:2,农业用水区两个排污口 COD 的排放量比为 1:1,分别采用考虑排污口位置及排放量比、污染源概化两种方法计算 $W_{景}$ 和 $W_{农}$,结果见表 2.

由表 2 可知,污染源经过概化处理后,计算得到的纳污能力与常规方法的计算结果有一定的差别,但误差较小.然而污染源经概化处理后,计算工作量得到大幅度减小.

表 2 两种方法计算的纳污能力结果比较

Table 2 Comparison of water environment capacities calculated by two methods kg/d

计算方法	$W_{景}$	$W_{农}$
本文方法	2 338.6	2 463.9
常规方法	2 501.3	2 626.6

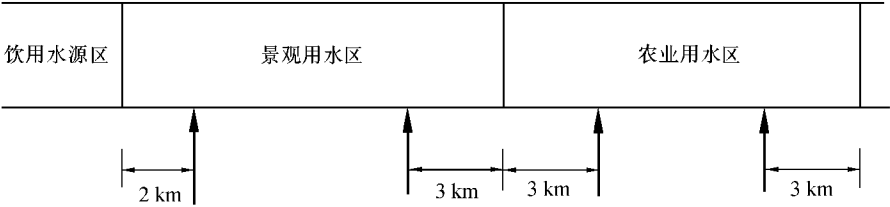


图 3 功能区及排污口分布
Fig.3 Distribution of functional regions and discharge outlets

5 结 论

- a. 对中小型河流,本文结合水资源保护的实际需要提出了纳污能力的计算方法及计算公式,给出不同功能区组合情况下的纳污能力计算方法,可有效应用于水资源保护规划及水环境管理.
- 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,取上游功能区的水质标准.

参考文献：

[1] 韩龙喜.河道一维污染源控制反问题[J].水科学进展,2001,12(1) 39~44.
[2] 张书农.环境水力学[M].南京:河海大学出版社,1998.86~87.

Methods for Calculation of Water Environment Capacity of
Small and Medium River Channels

HAN Long-xi¹, ZHU Dang-sheng², JIANG Li-hua¹

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

Abstract: Based on the generalization of river pollution sources, a method and a formula for calculation of water environment capacity are proposed. In consideration of the practical demand for water resources protection, a formula for calculation of water environment capacity under different combinations of functional regions is presented, providing a simple and effective method for water resources management and planning.

Key words: small and medium river channel ; water environment capacity ; generalization of pollution sources ; 1-D water quality model ; functional regions