ICS 编号
CCS 编号

团 体 标 准

T/CHES XXX—XXXX

水功能区限制排污安全余量计算方法

Code of practice for computation on margin of safety of the total pollutant load allocation of water bodies

（报批稿）

20XX-XX-XX 发布　　20XX-XX-XX 实施

中国水利学会　发 布

目　　次

前言 ……III
引言 ……IV
1　范围 ……1
2　规范性引用文件 ……1
3　术语 ……1
4　总体要求 ……2
5　计算程序 ……2
6　污染物入河量的调查与估算 ……3
6.1 污染源调查 ……3
6.2 点源污染物入河量估算 ……3
6.3 面源污染物入河量估算 ……3
7　纳污能力的确定 ……3
7.1 一般规定 ……3
7.2 基本程序 ……4
7.3 设计水文条件 ……4
7.4 计算方法 ……5
8　安全余量的计算 ……5
8.1 设计条件 ……5
8.2 计算方法 ……5
附录 A（规范性）水功能区纳污能力参考计算方法 ……8
A.1　水功能区纳污能力计算方法 ……8
A.2 水功能区纳污能力主要计算参数 ……13
参考文献 ……16

前　言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件共分为 8 章和 2 个附录，主要内容包括污染物入河量的调查与估算、纳污能力的确定、安全余量的计算等。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条 16 号，邮编 100053），以便今后修订时参考。

本文件主编单位：中国水利水电科学研究院。

本文件参编单位：水利部水利水电规划设计总院、中山大学、长江水资源保护科学研究所、河北农业大学。

本文件主要起草人：蒋艳、骆辉煌、樊皓、陈晓宏、赵铜铁钢、张建永、惠军、邓志民、黄智华、余晓、李昂、王刚、曹天正、李姗泽、苏伟、霍炜洁、冯顺新、杨青瑞、黄钰铃、莫晶。

引　言

2012年国务院发布了《关于实行最严格水资源管理制度的意见》（国发[2012]3号）（以下简称《意见》）明确提出水资源管理“三条红线”的主要目标，确立水功能区限制纳污红线，明确“到2030年主要污染物入河湖总量控制在水功能区限制排污总量范围之内，水功能区水质达标率提高到95%以上”。

根据国务院批复的《全国重要江河湖泊水功能区划（2011-2030年）》（国函〔2011〕167号），水利部发布了《水功能区监督管理办法》（水资源〔2017〕101号），要求“加强水功能区限制纳污红线管理，严格控制对其水量水质产生重大影响的开发行为，严格控制入河湖排污口设置和污染物排放总量，保障水功能区水质达标和水生态安全，维护水域功能和生态服务功能”。

在水功能区限制排污总量方案制定过程中，来水条件不均匀性、污染源动态变化，以及多数区域未考虑面源污染的问题，均会造成水功能区水质不达标的风险。为了实现《意见》提出的水功能区水质达标率，严格控制入河湖污染物排放总量，阐明水功能区水质与对应陆域范围及其污染负荷响应关系的不确定性，应预留部分水域纳污能力做为水功能区限制排污安全余量，提高水环境安全保障程度，为水行政主管部门和环境保护主管部门的水功能区监督管理提供技术依据。

水功能区限制排污安全余量计算方法

1 范围

本标准规定了水功能区限制排污安全余量计算的基本要求、设计条件和计算方法。

本标准适用于水功能区限排总量中安全余量的确定和核算。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 25173 水域纳污能力计算规程

SL 278 水利水电工程水文计算规范

SL 662 入河排污量统计技术规程

3 术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

安全余量 margin of safety

为保障水功能区水质达标，提高水环境安全保障程度，而预留的部分水域纳污能力。

注：水功能区水质与对应陆域范围及其污染负荷响应关系存在不确定性。

3.2

安全余量的计算系数 coefficient of margin of safety

安全余量与水域纳污能力的比值，反映预留水域纳污能力的比例。

3.3

点源污染物入河量的变化率 change rate of point source pollution discharge

规定时间内由于污染物排放的动态变化而引起入河量变化的比率。

注：通常规定时间为一年内。

3.4

面源污染物入河量的贡献率 contribution rate of non-point source pollution discharge

规定时间内污染物入河量总量（点源污染物入河量和面源污染物入河量）中面源污染物入河量所占的比重。

注：通常规定时间为一年内。

4 总体要求

4.1 水功能区限制排污总量为年总量。

注：年内各水期来水条件的不均匀、污染源排放的动态变化，以及多数区域未考虑面源污染的问题，均会造成水功能区水质不达标的风险。

4.2 对于目标水质为地表水Ⅰ~Ⅲ类、现阶段水质达标率不低于 80%、以及规划水平年有水质稳定达标要求的水功能区应进行安全余量计算。

4.3 现状水质已达标的水功能区应要求维持现状水质不退化，污染物入河量削减量不超过污染物入河总量的 20%、现阶段制定了限排总量控制方案的水功能区，可考虑不同设计条件下安全余量的计算。

4.4 对于水质现状为Ⅳ~Ⅴ类、污染物入河量大于水域纳污能力、分阶段实施限制排污总量控制方案的水功能区，现阶段可不考虑安全余量的计算。

4.5 应综合考虑来水条件不均匀性、点源污染物排放动态变化、面源污染物贡献率，以水域纳污能力的 3%~10%作为安全余量计算系数。

5 计算流程

水功能区基本资料的调查、收集和分析整理要求如下：

a) 根据规划和管理需求，分析水域污染特性、入河排污口状况，确定计算水域纳污能力的污染物种类；

b) 根据水域扩散特性，确定水质模型及参数，计算水功能区纳污能力；

c) 调查点源产生量、面源污染源强及其排放量，估算污染物入河量，分析计算时段内点源污染物的动态变化情况和面源污染物的贡献率；

d) 确定不同设计条件下的安全余量计算系数，并进行安全余量的计算与分析。计算流程如图 1 所示。

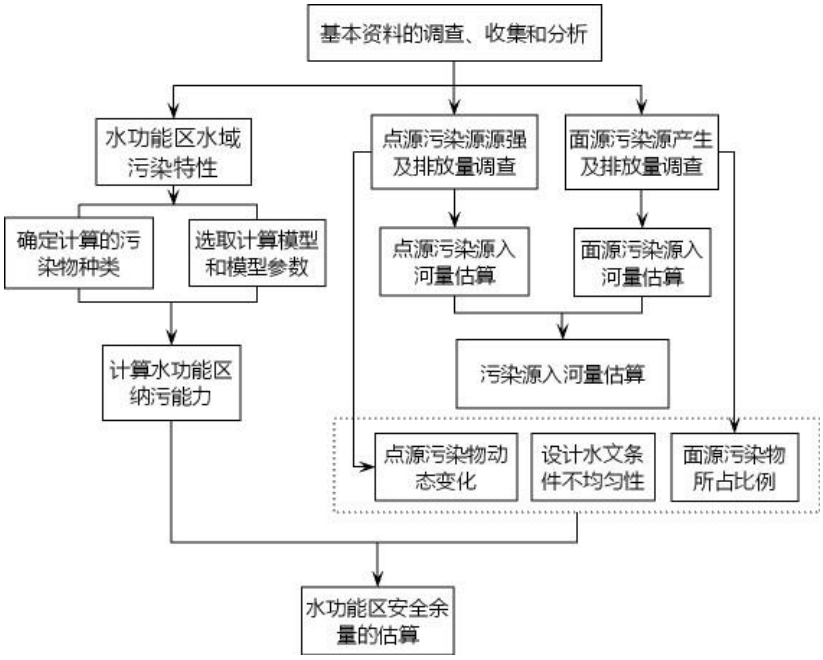

图 1 计算流程图

6 污染物入河量的调查与估算

6.1 污染源调查

6.1.1 点源调查内容包括入河（湖、库）排污口的分布、位置、类型、入河（湖、库）方式、排放规律、对应的污染物来源及名称、污染源距入河排污口的距离等，主要针对直接排污水域的排污口和支流口进行的。

6.1.2 面源调查包括农村生活污水、化肥农药、畜禽养殖、水土流失和城镇地表径流过程中污染物的产生量、流失量（或排放量）和入河量。

6.2 点源污染物入河量估算

6.2.1 污染物排放量计算方法可参照相关规定。

注：《纳入排污许可管理的火电等17个行业污染物排放量计算方法（含排污系数、物料衡算方法）（试行）》和《未纳入排污许可管理行业适用的排污系数、物料衡算方法（试行）》（生态环境部2017年第81号公告）等对污染物排放量计算方法有相应的规定。

6.2.2 污染物入河量计算方法和合理性检验方法执行SL 662。

6.3 面源污染物入河量估算

6.3.1 面源污染物估算分为面源源强、流失量（或排放量）和入河量估算。可采用产污系数法估算污染物源强，排污系数法或流失系数法估算面源污染物排放量或流失量，计算方法和选取系数可参照相关规定。

注：《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（生态环境部2021年第24号公告）规定了利用排污系数法和流失系数法，估算面源污染物排放量或流失量。

6.3.2 面源污染物入河量可根据调查流域的特点及资料状况，采用相对成熟的流域面源数学模型和经验公式进行估算。数学模型的参数可通过面源径流小区实验数据及流域出口站水文及水质监测数据进行率定验证，基于源强、流失量和入河量之间的关系，采用经验公式进行面源估算。根据评价流域的地形地貌、土壤类型、植被类型、耕作管理制度、水文水资源、水系特征等，采用典型断面监测调查与类比分析相结合的方法，估算面源污染物的入河系数与入河量。

6.3.3 有水质水量同步监测资料，且每月同步监测次数不少于1次的流域，宜通过流域出口水文断面的基流分割法估算污染物入河量。也可根据国家有关水文分析的规定进行基流分割，再根据水质水量同步监测数据进行计算分析。用全年污染物通量扣除基流污染物通量估算流域面源入河量。

6.3.4 面源污染物入河量计算方法可参照的相关规定。

注：《全国水资源综合规划地表水水质评价及污染物排放量调查估算工作补充技术细则》规定了面源污染物入河量计算方法。

7 纳污能力的确定

7.1 一般规定

7.1.1 水功能区纳污能力计算方法可执行GB/T 25173。

7.1.2 保护区、保留区纳污能力宜采用污染负荷计算法确定。保护区、保留区的水质目标至少维持现状水质，其纳污能力可采用其现状污染物入河量。对于需要改善水质的保护

区，需提出污染物入河量及污染源排放量的削减量，其纳污能力需要通过模型计算求得，具体方法同开发利用区纳污能力计算。

7.1.3 缓冲区纳污能力的计算分两种情况处理：水质较好（主要控制指标浓度值低于水功能区水质目标浓度值）、用水矛盾不突出（上下游、左右岸地区之间或用水部门之间不存在争议）的缓冲区，可采用其现状污染物入河量作为纳污能力；水质较差（主要控制指标浓度远远高于水功能区水质目标浓度值）或存在水功能区水质不满足水功能要求的缓冲区，按开发利用区纳污能力计算方法进行纳污能力计算。

7.1.4 开发利用区纳污能力宜采用数学模型法进行计算。

7.2 基本程序

7.2.1 采用数学模型法计算纳污能力，宜按下列程序进行：

a）调查收集和分析整理水功能区基本资料；

b）根据规划和管理要求，分析水域污染特性、入河排污口状况，确定计算水域纳污能力的污染物种类；

c）确定设计水文条件；

d）根据水域扩散特性，选择计算模型；

e）确定模型参数；

f）计算水域纳污能力；

d）合理性分析和检验。

7.2.2 污染负荷计算法可分为实测法、调查统计法和估算法，计算程序分别为：

a）实测法，宜按下列程序进行：

1）根据规划和管理要求，确定污染物；

2）根据入河排污口的排放方式，拟定入河排污口监测方案；

3）实测入河排污口水量和污染物浓度；

4）计算污染物入河量，确定水域纳污能力；

5）合理性分析和检验。

b）调查统计法，宜按下列程序进行：

1）根据规划和管理要求，确定污染物；

2）调查统计污染源及其排放量；

3）分析确定污染物入河系数；

4）计算污染物入河量，确定水域纳污能力；

5）合理性分析和检验。

c）估算法，宜按下列程序进行：

1）根据规划和管理要求，确定污染物；

2）调查影响水功能区水质的陆域社会经济指标；

3）调查分析生产、生活污染物排放系数；

4）估算污染物排放量；

5）分析确定污染物入河系数；

6）计算污染物入河量，确定水域纳污能力；

7）合理性分析和检验。

7.3 设计水文条件

7.3.1 计算河流水域纳污能力，应采用90%保证率最枯月平均流量或近10年最枯月平均流量作为设计流量。

7.3.2 季节性河流、冰封河流，宜选取不为零的最小月平均流量作为样本，按 **7.3.1** 的规定计算设计流量。

7.3.3 流向不定的水网地区和潮汐河段，宜采用 90%保证率流速为零是的低水位相应水量作为设计水量。

7.3.4 有水利水电工程控制的河段，可采用最小下泄流量或河道生态基流作为设计流量。

7.3.5 以岸边划分水功能区的河段，计算纳污能力时，应根据水功能区宽度，计算岸边水域的设计流量。

7.3.6 湖（库）的设计水量宜采用近 10 年最低月平均水位或 90%保证率最枯月平均水位相应的蓄水量。根据湖（库）水位资料，求出设计枯水位，其所对应的湖泊（水库）蓄水量即为湖（库）设计水量。

7.3.7 设计水文条件计算执行 SL/T 278 的规定。

7.4 计算方法

7.4.1 小型湖泊和水库可视为功能区内污染物均匀混合，可采用零维水质模型计算纳污能力；宽深比小于 100 的中小河流，污染物在横向上达到均匀混合，污染物的输移、转化只沿流程变化，可采用一维水质模型计算纳污能力；对于大型河流（流量大于 150m^3/s）及大型或、水库，宜采用二维水质模型或污染带模型计算纳污能力。水域纳污能力计算数学模型方法执行附录 A。

7.4.2 应对所采用的水质模型进行检验，模型参数可采用经验法和实验法确定，计算结果需进行合理性分析。

7.4.3 根据上一个水功能区的水质目标值来确定初始浓度值 C_0，即上一个水功能区的水质目标值就是下一个功能区的初始浓度值 C_0。水质目标 Cs 为本功能区的水质目标值。

7.4.4 在水质模型中，将污染物在水环境中的物理降解、化学降解和生物降解概化为综合衰减系数，所确定的污染物综合衰减系数应进行检验。

8 安全余量的计算

8.1 设计条件

8.1.1 按不同设计条件选取安全余量的计算系数，安全余量总量不宜超过水域纳污能力 10%，并以此确定合理的污染物限排排污总量。

注：设计条件一般指来水条件不均匀性、点源污染物排放动态变化、面源污染物贡献率等。

8.1.2 根据不同典型年的来水条件，特别是枯水年全年偏枯、年内连续最枯四个月来水条件低于 90%保证率的来水条件下，应预留 3~10%的水域纳污能力作为安全余量，以降低上游来水保证率不足的风险。

8.1.3 根据点源污染入河量调查和估算成果，分析点源污染物排放的动态变化程度及其对水功能区水质的影响程度。根据计算时段内点源污染物排放变化率，预留水域纳污能力作为安全余量，以减少污染负荷动态变化引起水体水质变化的不确定性。

8.1.4 根据面源污染入河量调查和估算成果，分析面源污染入河量贡献率及其对水功能区水质的影响程度。根据面源污染贡献率，预留水域纳污能力作为安全余量，以降低面源污染物对水功能区水质达标造成的风险。

8.2 计算方法

8.2.1 不同来水条件的安全余量，按公式（1）进行计算：

$$MOS_1 = W \times R_d \quad \text{.....（1）}$$

式中：

MOS_1——来水条件不均匀条件下的的安全余量，t；

W ——不同时间段的水域纳污能力，t；

R_d ——安全余量的计算系数。取值可参考表 1。

表 1 来水条件不均匀条件下的安全余量计算系数

变差系数	0.10～0.30	0.30～0.50	> 0.50
R_d（%）	3～5	5～7	7～8
注：变差系数越大，安全余量计算系数取值越大，反之取值越小。			

8.2.2 在点源污染物排放动态变化时，按公式（2）计算点源污染物入河量变化率。根据点源污染物入河量变化率的不同，安全余量的计算系数取值可参考表 2，安全余量按公式（3）进行计算：

$$r = \frac{P_{max} - P_{min}}{\bar{P}} \quad (2)$$

$$MOS_2 = W \times R_p \quad (3)$$

式中：

r ——点源污染物入河量的变化率；

P_{max} ——计算时段内点源污染物入河量的最大值，t；

P_{min} ——计算时段内点源污染物入河量的最小值，t；

$\bar{P}$ ——计算时段内点源污染物入河量的平均值，t；

MOS_2——点源污染物排放动态变化条件下的安全余量，t；

W ——不同时间段的水功能区纳污能力，t；

R_p ——安全余量的计算系数。

表 2 点源污染物排放动态变化条件下的安全余量计算系数

入河量变化率	>4.0	2.0～4.0	<2.0
R_p（%）	8～10	5～8	3～5
注：点源污染物入河量变化程度越强，安全余量计算系数取值越大，反之取值越小。			

8.2.3 面源污染物贡献率不同时，安全余量按公式（4）进行计算：

$$MOS_3 = W \times R_{np} \quad (4)$$

式中：

MOS_3——考虑面源污染物贡献率条件下的安全余量，t；

W ——不同时间段的水功能区纳污能力；

R_{np} ——安全余量的计算系数，取值如表所示。

表 3 考虑面源污染物贡献率的安全余量计算系数

面源污染贡献率（%）	<30	30～60	>60
R_{np}（%）	3～4	4～7	7～10
注：面源污染物贡献率越大，安全余量计算系数取值越大，反之取值越小。			

8.2.4 综合考虑不同设计条件下安全余量的计算，水功能区的安全余量可采用公式（5）

进行计算：

$$\mathrm{MOS} = \max(MOS_1, MOS_2, MOS_3) \quad \text{（5）}$$

式中：

MOS——水功能区安全余量，t。

8.2.5 限排总量方案的制定可参考相关规定。各流域和省（自治区、直辖市）可根据实际情况选取相应的技术方法。考虑安全余量的限排总量$_{\mathrm{MOS}}$可采用公式（6）进行计算：

$$\text{限排总量}_{MOS} = \text{限排总量} - \mathrm{MOS} \quad \text{（6）}$$

注：《全国水资源综合规划地表水资源保护规划技术细则》对限排总量方案的制定有相应的规定。

附录 A

规范性

水功能区纳污能力参考计算方法

A.1 水功能区纳污能力计算方法

A.1.1 河流零维模型规定如下：

对于流量小于 15m³/s 的小型河流，当满足河水流量与污水流量之比大于 20 或不需要考虑污水进入水体的混合距离时，可概化为零维模型。零维模型污染物浓度按公式（A.1）计算。对应的水域纳污能力按公式（A.2）计算：

$$\mathbf{C} = (\boldsymbol{C_0}\mathbf{Q} + \boldsymbol{C_p}\boldsymbol{Q_p})/(\mathbf{Q}+\boldsymbol{Q_p} + \boldsymbol{KV}) \quad (A.1)$$

$$\mathbf{M} = (\boldsymbol{C_s} - \mathbf{C})(\mathbf{Q} + \boldsymbol{Q_p}) \quad (A.2)$$

式中：

C ——污染物浓度，mg/L；

C_P ——排放的废污水污染物浓度，mg/L；

C_0 ——初始断面的污染物浓度，mg/L；

Q_P ——废污水排放量，m^3/s；

Q ——初始断面的入流流量，m^3/s；

K ——污染物综合衰减系数，1/s；

V ——均匀混合段水体容量，m^3；

M ——水域纳污能力，g/s；

Cs ——水功能区水质管理目标。

注：“零维”是一种理想状态，把所研究的水体看成一个完整的体系，假设污染物进入水体后，立即达到完全均匀混合的状态。

A.1.2 河流一维模型规定如下：

a）河流一维模型适用于稳态、均匀，且污染物在横断面上均匀混合的中、小型河段。同时，忽略弥散作用，只考虑污染物的降解。

b）污染物浓度按计算公式（A.3）计算：

$$\mathbf{C}_{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{C_0}\mathbf{exp}(-\boldsymbol{K}\frac{\boldsymbol{x}}{\boldsymbol{u}}) \quad (A.3)$$

式中：

C_x ——流经 x 距离后的污染物浓度，mg/L；

X ——沿河段的纵向距离，m；

U ——设计流量下河道的平均流速，m/s；

c）在稳态条件下，且不考虑纵向离散作用，当概化后的排污口位置距离上端面为 x 时，其对应的水域纳污能力按公式（A.4）计算：

$$\mathbf{M} = \left(\boldsymbol{C_S} - \frac{\boldsymbol{Q}}{\boldsymbol{Q}+\boldsymbol{Q_p}}\boldsymbol{C_0}\mathbf{exp}\left(-\frac{\boldsymbol{KL}}{\boldsymbol{u}}\right)\right)\mathbf{exp}\left(\frac{\boldsymbol{K}(\boldsymbol{L}-\boldsymbol{x})}{\boldsymbol{u}}\right)(\boldsymbol{Q} + \boldsymbol{Q_p}) \quad (A.4)$$

d）当入河排污口位于（或概化至）计算河段的中部时，即 x=L/2 时，水功能区下断面的污染物浓度按公式（A.5）计算：

$$\mathbf{C}_{x=L}=\frac{Q}{Q+Q_p}C_0\exp\left(-\frac{KL}{u}\right)+\frac{m}{Q+Q_p}\exp\left(-\frac{KL}{2u}\right) \quad (A.5)$$

式中：

M ——污染物入河速率，g/s；

$\mathbf{C}_{x=L}$——水功能区下断面污染物浓度，mg/L。

相应的水域纳污能力按公式（A.6）计算：

$$\mathbf{M}=\left(C_S-\frac{Q}{Q+Q_p}C_0\exp\left(-\frac{KL}{u}\right)\right)\exp\left(\frac{KL}{2u}\right)(Q+Q_p) \quad (A.6)$$

Q_p相比于Q可忽略不计时，公式（A.6）可写为：

$$\mathbf{M}=\left(C_S-C_0\exp\left(-\frac{KL}{u}\right)\right)\exp\left(\frac{KL}{2u}\right)(Q+Q_p) \quad (A.7)$$

A.1.3 河流二维模型规定如下：

a） 污染物在河段断面上非均匀混合，可采用河流二维模型计算水域纳污能力。主要适用于 Q≥150m^3/s 的大型河段。

b） 对于顺直河段，忽略横向流速及纵向离散作用，且污染物排放不随时间变化时，二维对流扩散方程（A.8）如下：

$$u\frac{\partial C}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial y}\left(E_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)-KC \quad (A.8)$$

式中：

E_y——污染物的横向扩散系数，m^2/s；

Y ——计算点到岸边的横向距离，m；

c）对于顺直均匀河段，污染物岸边连续恒定排放，假定排污口位于上端面，则下游距离上端面 x 处污染物浓度的解析式（A.9）如下：

$$\mathbf{C(x,y)}=[\mathbf{C_0}+\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{h}\sqrt{\pi E_y x v}}\exp(-\frac{v}{4x}\cdot\frac{y^2}{E_y})]\exp(-\mathbf{K}\frac{\mathbf{x}}{v}) \quad (A.9)$$

式中：

C(x,y)——计算水域代表点的污染物平均浓度，mg/L；

H ——设计流量下计算水域的平均水深，m；

V ——设计流量下计算水域的平均流速，m/s。

d）当以岸边污染物浓度作为下游控制断面的控制浓度时，即 y=0，则岸边污染物浓度计算公式（A.10）如下：

$$\mathbf{C(x,0)}=[\mathbf{C_0}+\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{h}\sqrt{\pi E_y x v}}]\exp(-\mathbf{K}\frac{\mathbf{x}}{v}) \quad (A.10)$$

假定水功能区长度为 L，排污口距离上端面为 x，以岸边污染物浓度作为下游控制断面的浓度时，即 y=0，此时的排污口下游任意一点污染物浓度的数学表达式为（A.11）如下：

$$(x,y)=\left(C_0\exp\left(-\frac{KL}{u}\right)+\frac{m}{hu\sqrt{\pi E_y\frac{L-x}{u}}}\right)\exp\left(-\frac{K(L-x)}{u}\right) \quad (A.11)$$

据此反推得出纳污能力计算公式（A.12）：

$$\mathbf{M}=\left[\frac{C_S-C_0\exp\left(-K\frac{L}{u}\right)}{\exp\left(-K\frac{L-x}{u}\right)}\right]\cdot h\sqrt{\pi E_y u(L-x)} \quad (A.12)$$

当$x=\frac{L}{2}$时，公式（A.12）可变为变为公式（A.13）：

$$\mathbf{M}=\left[\frac{C_S-C_0\exp\left(-K\frac{L}{u}\right)}{\exp\left(-K\frac{L}{2u}\right)}\right]\cdot h\sqrt{\pi E_y uL/2} \qquad (A.13)$$

当污染物为非恒定排放，也可按差分法推求数值解。

用数值法求得计算水域代表点的污染物平均浓度$\mathbf{C(x,y)}$，按公式（A.12）计算水域纳污能力。

A.1.3 河口一维模型规定如下：

a）对于受潮汐影响的河口水域，可采用河口一维非稳态水质模型计算水域纳污能力，其计算方程为（A.14）：

$$\frac{\partial C}{\partial t}+u_x\frac{\partial C}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}\left(E_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)-KC \qquad (A.14)$$

式中：

u ——为水流纵向流速，m/s；

Ex——纵向离散系数，单位为 m^2/s。

b）潮汐河段的水力参数可按高潮平均和低潮平均两种情况简化成恒定流进行计算，得到计算公式。

1）涨潮（x<0，污染物自 x=0 处排入），按公式（A.15）和公式（A.16）计算：

$$C(x)_{上}=\frac{C_pQ_p}{(Q+Q_p)N}\exp\left[\frac{u_x x}{2E_x}(1+N)\right]+C_0 \qquad (A.15)$$

$$N=\sqrt{1+4KE_x/u_x^2} \qquad (A.16)$$

式中：

N ——中间变量

$C(x)_{上}$——涨潮的污染物浓度，mg/L。

2）落潮（x>0），按公式（A.17）和公式（A.16），计算：

$$C(x)_{下}=\frac{C_pQ_p}{(Q+Q_p)N}\exp\left[\frac{u_x x}{2E_x}(1-N)\right]+C_0 \qquad (A.17)$$

式中：

$C(x)_{下}$——落潮的污染物浓度，mg/L。

相应的水域纳污能力按公式（A.18）计算：

$$\mathbf{M}=\begin{cases}(C_S-C_0)\ \exp\left[-\frac{u_x x}{2E_x}(1+N)\right]\cdot N\cdot(Q+Q_p) & C_S=C(x)_{上},\ x<0\\ (C_S-C_0)\ \exp\left[-\frac{u_x x}{2E_x}(1-N)\right]\cdot N\cdot(Q+Q_p) & C_S=C(x)_{下},\ x>0\end{cases} \qquad (A.18)$$

A.1.4 湖（库）纳污能力数学模型规定如下：

a）湖（库）均匀混合模型：当污染物在湖（库）中均匀混合时，可采用均匀混合模型计算水域纳污能力，主要适用于小型湖（库）。此时，污染物平均浓度按公式（A.19）计算：

$$C(\mathbf{t})=\frac{m+m_0}{K_hV}+(C_h-\frac{m+m_0}{K_hV})\exp(-K_ht) \qquad (A.19)$$

$$\mathbf{K}_h=\frac{Q_L}{V}+K,\ \mathbf{m_0}=C_0Q_L \qquad (A.20)$$

式中：

$\boldsymbol{C(t)}$——计算时段 *t* 内的污染物浓度，mg/L；

$\boldsymbol{m}$ ——污染物入湖（库）速率，g/s；

$\boldsymbol{m_0}$ ——污染物湖（库）现有污染物排放速率，g/s；

$\boldsymbol{V}$ ——湖（库）容积，m^3；

$\boldsymbol{K_h}$ ——中间变量，1/s；

$\boldsymbol{C_h}$ ——湖（库）现状污染物浓度，mg/L；

$\boldsymbol{Q_L}$ ——湖（库）出流量，m^3/s；

$\boldsymbol{t}$ ——计算时段长，s；

当流入和流出湖（库）的水量平衡时，小型湖（库）的水域纳污能力按公式（A.21）计算：

$$\mathbf{M} = \boldsymbol{C_S K_h V - m_0 = C_S K V + C_S Q_L - m_0} \quad \text{（A.20）}$$

b）湖（库）非均匀混合模型：当污染物在湖（库）中非均匀混合时，可采用湖（库）非均匀混合模型计算纳污能力，宜适用于大中型湖（库）。可按公式（A.22）计算：

$$\mathbf{M} = \boldsymbol{(C_s - C_0)}\mathbf{exp}\left(\frac{\boldsymbol{K\Phi h_L r^2}}{\boldsymbol{2Q_p}}\right)\boldsymbol{Q_p} \quad \text{（A- 21）}$$

式中：

Φ ——扩散角，由排污口附近地形决定。排放口在开阔的岸边垂直排放时，Φ= π；湖（库）中排放时，Φ=2 π；

h_L ——扩散区湖（库）平均水深，m；

r ——计算水域外边界到入河排污口的距离，m。

c）湖（库）富营养化模型 ：按照狄龙模型，氮、磷污染物浓度按公式（A.23）、公式（A.24）、公式（A.25）计算：

$$\boldsymbol{P} = \frac{\boldsymbol{L_p(1-R_p)}}{\boldsymbol{\beta h_p}} \quad \text{（A.23）}$$

$$\boldsymbol{R_p} = \mathbf{1} - \frac{\boldsymbol{W_{出}}}{\boldsymbol{W_{入}}} \quad \text{（A. 22）}$$

$$\boldsymbol{\beta = Q_a / V} \quad \text{（A.23）}$$

式中：

P ——湖（库）中氮、磷的平均浓度，g/m^3；

L_P ——年湖（库）氮、磷单位面积负荷，$g/m^2 \cdot a$；

β ——水力冲刷系数，1/a；

Q_a ——湖（库）出流水量，m^3/a；

R_p ——氮、磷在湖（库）中的滞留系数，1/a；

$\boldsymbol{h_p}$ ——湖（库）平均水深，m；

$W_{出}$——年出湖（库）的氮、磷量，t/a；

$W_{入}$——年入湖（库）的氮、磷量，t/a。

对应的水域纳污能力按公式（A.26）和公式（A.27）计算：

$$\mathbf{M_N} = \mathbf{L_s} \cdot \boldsymbol{A} \quad \text{（A- 24）}$$

$$\mathbf{L_s} = \frac{\mathbf{P_s} h \boldsymbol{Q_a}}{\boldsymbol{(1-R_p)V}} \quad \text{（A- 25）}$$

式中：

M_N——氮或磷的水域纳污能力，t/a；

L_s——单位面积湖（库）氮或磷的水域纳污能力，mg/m²·a；

A——湖（库）水面积，m²；

P_s——湖（库）中氮或磷的年平均控制浓度，g/m³。

对于湖（库）湾的水域纳污能力计算，可采用合田健模公式（A.28）：

$$\mathbf{M_N = 2.7 \times 10^{-6} C_s \cdot H(\frac{Q_a}{V} + \frac{10}{Z}) \cdot S} \quad （A.26）$$

式中：

M_N——氮或磷的水域纳污能力，t/a；

C_s ——水质目标值，mg/L；

H ——湖（库）平均水深，m；

10/Z——沉降系数，1/a；

S ——不同年型平均水位相应的计算水域面积，km²。

d）湖（库）分层模型：适用于温度分层的湖（库），其污染物浓度按公式（A.29）～公式（A.35）计算：

1）分层期（0<t/86400<t1）：

$$\mathbf{C_{E(l)} = \frac{C_{PE}Q_{PE}/V_E}{K_{hE}} - \frac{(\frac{C_{PE}Q_{PE}}{V_E} - K_{hE}C_{M(l-1)})}{K_{hE}} \exp(-K_{hE}t)} \quad （A.27）$$

$$\mathbf{C_{H(l)} = \frac{C_{PH}Q_{PH}/V_E}{K_{hE}} - \frac{(\frac{C_{PH}Q_{PH}}{V_E} - K_{hE}C_{M(l-1)})}{K_{hE}} \exp(-K_{hH}t)} \quad （A.30）$$

$$\mathbf{K_{hE} = \frac{Q_{PE}}{V_E} + K} \quad （A. 28）$$

$$\mathbf{K_{hH} = \frac{Q_{PH}}{V_H} + K} \quad （A.29）$$

2）非分层期（t1<t/86400<t2）

$$\mathbf{C_{M(l)} = \frac{C_P Q_P/V}{K_P} - \frac{(\frac{C_P Q_P}{V} - K_P C_{T(l)})}{K_P} \exp(-K_P t)} \quad （A.33）$$

$$\mathbf{C_{M(0)} = C_h} \quad （A.34）$$

$$\mathbf{K_P = \frac{Q_P}{V} + K} \quad （A.35）$$

式中：

C_E ——分层湖（库）上层污染物的平均浓度，mg/L；

C_{PE} ——向分层湖（库）上层排放的污染物浓度，mg/L；

Q_{PE} ——排入分层湖（库）上层的废水量，m3/s；

V_E ——分层湖（库）上层体积，m3；

K_{hE}、K_{hH}——中间变量，1/s；

C_M ——分层湖（库）非分层期污染物平均浓度，mg/L；

$\boldsymbol{t_1}$ ——分层期天数，d；

$\boldsymbol{t_2}$ ——分层期起始时间到非分层器结束的天数，d；

C_H ——分层湖（库）下层污染物的平均浓度，mg/L；

C_{PH}——向分层湖（库）下层排放的污染物浓度，mg/L；

Q_{PH}——排入分层湖（库）下层的废水量，m³/s；

V_H ——分层湖（库）下层体积，m³；

K_P ——中间变量，1/s；

C_T ——分层湖（库）上、下层混合后污染物的平均浓度，mg/L；

下标($\boldsymbol{l}$)——时间序列号。

相应水域纳污能力按公式（A.36）计算式：

$$\boldsymbol{M}=\begin{cases}(\boldsymbol{C_{E(l)}}+\boldsymbol{C_{H(l)}})\boldsymbol{V} & \text{分层期}\\ \boldsymbol{C_{M(l)}}\boldsymbol{V} & \text{非分层期}\end{cases} \qquad \text{（A.36）}$$

A.2 水功能区纳污能力主要计算参数

A.2.1 综合衰减系数规定如下：

a）分析借用。对于以前在环评、环保规划、环保科研等工作中可供利用的有关资料经过分析检验后采用；无资料时，可借用水力特性、污染状况、及地理、气象条件相似的邻近河流的资料。

b）实测法。选取一个河道顺直、水流稳定、中间无支流汇入、无排污口的河段，分别在河段上游（A 点）和下游（B 点）布设采样点，监测污染物浓度值，并同时测验水文参数以确定断面平均流速。综合衰减系数（K）按公式（A.37）计算：

$$K=\frac{V}{X}\ln\frac{C_A}{C_B} \qquad \text{(A. 37)}$$

式中：

V ——断面平均流速；

X ——上下断面之间距离；

C_A——上断面污染物浓度；C_B为下断面污染物浓度。

对于湖库，选取一个排污口，在距排污口一定距离处分别布设 2 个采样点（近距离处：A 点，远距离处：B 点），监测污染物浓度值，并同时监测污水排放流量。布设采样点时应注意以下内容：

1） 采样点附近只能有一个排污口，且附近无河流汇入，近距离采样点不宜离排污口过近以免所采水样不具备代表性；

2） 远距离采样点也不宜离排污口过远，以免超出排污口影响区。

综合衰减系数（K）采用实测数据，宜监测多组数据取其平均值，利用公式（A.38）进行估值：

$$K=\frac{2Q_p}{\Phi H(r_B^2-r_A^2)}\ln\frac{C_A}{C_B} \qquad \text{(A. 38)}$$

式中：

r_A、r_B——远、近两测点距排放点的距离（m）。

c） 经验公式法。可以根据各种经验公式推求综合衰减系数。

示例：

怀特根据美国 23 个河系，36 个河段资料进行多元回归分析，得到：

$$K_1=10.3Q^{-0.49}$$

$$K_1=39.6P-0.34$$

式中：

Q——河流流量，m^3/s；

P——河床湿周，m。

此外，各地还可根据本地实际情况采用其他方法拟定综合衰减系数。

A.2.2 横向扩散系数 E_y 规定如下：

a）现场示踪剂实验法。选择相对顺直河段，向河流投放示踪剂，跟踪或者定位监测示踪剂浓度，计算其横向扩散系数，基本步骤如下：

1）选择示踪剂物质。常用罗丹明 B 或氯化物；

2）投放示踪剂物质。可采用瞬时投放或连续投放，因罗丹明 B 遇水为红色，可采用瞬时投放，氯化物溶于水后为无色，可采用连续投放；

3）监测示踪物质浓度。在投放点下游布设两个以上断面，在时间和空间上同步监测；

4）同步观测水文水动力项目。包括流速、水深等水动力参数；

5）计算扩散系数。建议采用拟合曲线法。

b）经验公式估计可采用以下公式法：

1） 费休公式。横向扩散系数借用泰勒扩散理论公式（A.39）

$$E_y = \alpha_y u_* h \qquad (A.39)$$

式中：

α_y——无量纲横向扩散系数；

u_*——摩阻流速。

注 1：对于矩形断面顺直明渠的扩散系数，费休曾收集了大约 70 次以上的试验资料，该资料表明，无量纲横向扩散系数 α_y 除了在灌溉渠道上其值为 0.24~0.25 之外，几乎所有情况下均在 0.1~0.2 范围，故顺直河段横向扩散系数 $E_y = (0.1 \sim 0.2)hu_*$；

注 2：对于弯曲型明渠河段扩散系数，哈里和阿布拉汗在室内所做的丁坝试验研究得出了边壁不规则对扩散系数的影响，得出 α_y 在 0.3~0.7 范围内变化，可惜没有足够的试验来确定扩散系怎么样随着渠道的不规则度而发生变化，因此研究成果只能说明：不规则度越大，横向扩散越快。费休建议弯曲河段的扩散系数 $E_y = (0.4 \sim 0.8)hu_*$。

2）泰勒公式。适用于宽深比小于等于 100 的河流。按公式（A.40）计算：

$$E_y = （0.05\mathrm{H} + 0.0065\mathrm{B}）\sqrt{g\mathrm{HJ}} \qquad (A.40)$$

式中：

B ——河流平均宽度，m。

注：由于横向扩散的复杂性，它不同于垂向扩散系数和纵向离散系数，横向扩散系数的变动很大，

误差可达±50%，因此实地观测是很有必要的。

A.2.3 纵向扩散系数 Ex 规定如下：

a）纵向离散系数的率定方法主要有实测法、水力因素法和经验公式法，规定如下：

注：由紊动引起的纵向扩散大约和横向扩散具有同样的级别，在一般情况下，由紊动漩涡产生的纵向扩散都不具有重要意义。因为流速梯度引起的纵向离散系数比紊动扩散系数大得多，此处将两者合并统称纵向离散系数。

1）实测河口盐度法。通过实测河口盐度，通过公式（A.41）计算纵向离散系数。

$$E_x = \frac{u\sum x_i^2}{\ln S_0 \sum x_i \ln S_i} \tag{A.30}$$

式中：

u——河口上游断面平均流速，m/s；

x_i——i 点距离河口的距离，m；

S_0——海水的盐度，mg/L；

S_i——距离河口 x_i 处的盐度，mg/L。

2）水力因素法。纵向离散按公式（A.42）计算：

$$E_x = -\frac{1}{A}\int_0^B q'(y)\int_0^y \frac{1}{E_y H(y)}\int_0^y q'(y)dydydy \tag{A.42}$$

根据实测断面流速分布，按公式（A.43）计算纵向离散系数：

$$E_x = -\frac{1}{A}\sum_0^n q_i \Delta Z\left[\sum_0^Z \frac{\Delta Z}{E_y h_i}\left(\sum_0^Z q_i \Delta Z\right)\right] \tag{A.43}$$

式中：

ΔZ——分带宽度，可分成等宽，m；

h_i ——分带 i 平均水深，m；

q_i ——分带 i 偏差流量，$q_i = h_i \cdot \Delta Z \cdot u_i$，$m^3/s$；

u_i ——分带 i 偏差流速，$\overline{u_i} = u_i - u$，m/s；

$\overline{u_i}$——分带 i 的平均流速，m/s。

3）经验公式估值法。规定如下 ：

——尔德公式，适用于河流，公式（A.44）：

$$E_x = 5.93hu_* \tag{A.31}$$

——费休公式，适用于河流，公式（A.45）：

$$E_x = 0.01u^2B^2/(hu_*) \tag{A.45}$$

——鲍登公式，适用于河口，公式（A.46）：

$$E_x = 0.295uh \tag{A.32}$$

——迪奇逊公式，适用河口，公式（A.47）：

$$E_x = 1.23U_{\max}^2 \tag{A.47}$$

式中：

$U_{\max}$——河口最大潮速，m/s。

参考文献

[1] GB/T 50594 水功能区划分标准

[2] GB 3838 地表水环境质量标准

[3] SL 219 水环境监测规范

[4] HJ 2.3 环境影响评价技术导则 地表水环境

[5] HJ 130 规划环境影响评价技术导则总纲

[6]《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（生态环境部 2021 年第 24 号公告）

[7]《纳入排污许可管理的火电等 17 个行业污染物排放量计算方法（含排污系数、物料衡算方法）（试行）》（生态环境部 2017 年第 81 号公告）

[8]《未纳入排污许可管理行业适用的排污系数、物料衡算方法（试行）》（生态环境部 2017 年第 81 号公告）

[9]《主要水污染物总量分配指导意见》（生态环境部环发〔2006〕189 号）

[10] 《全国水资源综合规划技术细则》（水利部，2002）

[11] 《全国水资源综合规划地表水资源保护补充技术细则》（水利部，2003）