

基于水功能区的 纳污能力计算 理论方法及应用

罗小勇 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

基于水功能区的 纳污能力计算 理论方法及应用

罗小勇 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书由水域纳污能力计算理论与方法、水域纳污能力计算案例两部分组成。首先阐明了水功能区水域纳污能力的概念与内涵,对水功能区污染源、水质监测与评价的基础理论与方法进行了详细阐述,展望了水域纳污能力计算的发展方向。分河流、湖(库)两种水域类型,系统阐述了纳污能力数学模型计算的流程与方法;探讨了实测法、调查统计法、估算法等3种污染负荷计算方法的工作程序与内容。本书还介绍了“三峡水域纳污能力计算”“长江干流水域纳污能力计算”“武汉江段多指标和动态纳污能力计算”3个典型的研究案例,具有较强的实际指导意义。

本书适合从事水资源保护行业的广大工作者和致力于水域纳污能力研究的科研人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

基于水功能区的纳污能力计算理论方法及应用 / 罗小勇主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5170-5013-1

I. ①基… II. ①罗… III. ①水污染—允许排放量—计算方法—研究 IV. ①X52

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第311034号

书 名	基于水功能区的纳污能力计算理论方法及应用 JIYU SHUIGONGNENGQU DE NAWU NENGLI JISUAN LILUN FANGFA JI YINGYONG
作 者	罗小勇 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京九州迅驰传媒文化有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15.25印张 362千字
版 次	2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷
定 价	55.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

水是维系自然生态系统稳定、健康运行的基石，也是支撑国民经济可持续发展的重要战略资源。水的自然、社会二元属性决定了其资源数量有限、易于发生污染的特点。随着经济社会的迅猛发展与人口的增长，我国水污染逐渐呈现问题多样化、局部严重化的态势。在严格的水环境管理要求下，天然水域所能容纳的污染物是有限的，超过一定的限度就无法实现水环境保护目标，甚至会造成水环境的严重破坏。因此，要改善当前水环境面临的严峻形势，实现“江河万古、碧水长流”的远大目标，必须依据水功能区水域纳污能力计算，实施科学的污染物限制排放总量控制，以水资源、水环境的可持续管理支撑流域（区域）的经济社会可持续发展。

污染物限制放污总量的关键是确定水域纳污能力，这是一项十分重要的基础性工作。“水域纳污能力”是由国外“环境容量”“环境纳污能力”等概念发展而来的。1988年，全国水资源保护规划中首次提出“最大允许纳污量”的概念，是水域纳污能力的雏形。1998年，国务院制定的《水利部职能配置、内设机构和人员编制规定》明确指出，审定“水域纳污能力”是水利部的主要职责之一，这是我国首次提出“水域纳污能力”的概念。2000年，水利部印发《关于在全国开展水资源保护规划编制工作的通知》（水资源〔2000〕58号），提出根据水功能区水质水量要求与江河湖库的水文特性，推求水域允许纳污能力的要求。2002年，《中华人民共和国水法》在法律上明确了县级以上人民政府水行政主管部门或者流域管理机构应当按照水功能区对水质的要求和水体的自然净化能力，核定水域纳污能力。至此，水域纳污能力与污染物限制排放总量一起构成我国水资源保护工作的重要基础。2004年，长江流域水资源保护局编制完成《三峡库区水域纳污能力及限制排污总量意见》，是国内运用水域纳污能力开展污染物限排总量控制的首个案例。

在水域纳污能力的研究与推广应用过程中，长江流域水资源保护局（简称“长江水保局”）发挥了至关重要作用。为积极贯彻《中华人民共和国水法》要求，实施最严格水资源管理制度，强化水资源保护的服务功能，长江水保局经过十余年的积极探索，在总结以往水域纳污能力理论研究与工作实践的基础上，根据新时期水资源保护的要求，组织编制了《水域纳污能力计算规程》，2006年水利部以SL 348—2006行业标准发布。为规范全国水域纳污能力计算技术要求、基本程序和方法，在SL 348—2006的基础上，长江水保局进一步完善了《水域纳污能力计算规程》，2010

年上升为国家技术标准《水域纳污能力计算规程》(GB/T 25173—2010)(以下简称《规程》)。

《规程》系统地规定了江河、湖(库)等水域纳污能力计算的要求、程序和方法,是目前开展水域纳污能力计算的首要依据。但是由于气象、水文、地形、污染源等外部因素的区域差异以及水质模型的不确定性,《规程》中的方法体系尚不能适用于所有情景的水域纳污能力计算,故在实际应用中存在一些争议。在当前的水资源保护与管理中,水功能区划是重要基础,但由于水域纳污能力与限制排污总量方法不够成熟,造成水功能区管理与污染物排放控制不协调,水环境保护目标难以实现。近年来,随着经济社会发展,水资源保护与水环境管理的要求不断提高,对水域纳污能力计算方法也提出了新的要求。

面临新形势、新挑战和新要求,在水利部行业公益专项——“长江中下游干流纳污总量控制研究”(201001006)研究成果基础上,为系统梳理水域纳污能力的基础理论与应用实践,加快完善水域纳污能力计算方法体系,编者结合长期的工作积累与相关课题研究成果,开展了本书的编撰工作。本书共9章,第1~第6章为水域纳污能力理论与方法,第7~第9章为水域纳污能力计算案例。第1章为水域纳污能力概述,回顾了水域纳污能力的由来与发展历程,阐明了水功能区水域纳污能力的概念与内涵,系统总结了国内外水域纳污能力的研究进展。第2章为水功能区水环境调查、监测与评价,对水功能区污染源调查与评价、水质监测与评价涉及的基础理论与方法进行了详细阐述。第3章为水域纳污能力计算理论与发展,在介绍《规程》主要内容、水域纳污能力计算总体程序的基础上,针对《规程》中方法体系的不确定性与局限性,展望了水域纳污能力计算的发展方向。第4、第5章为河流、湖(库)纳污能力数学模型计算法,分河流、湖(库)两种水域类型,从资料收集、污染物确定、设计水文条件、计算模型选择、参数确定、合理性分析检验等方面系统阐述了纳污能力数学模型计算的流程与方法。第6章为水域纳污能力污染负荷计算法,围绕《规程》推荐的实测法、调查统计法、估算法等3种污染负荷计算方法,进一步探讨了水域纳污能力计算的工作程序与内容。第7~第9章分别介绍了“三峡水域纳污能力计算”(2004年)、“长江干流水域纳污能力计算”(2008年)、“武汉江段多指标和动态纳污能力计算”(2010年)3个典型的研究成果。其中,计算区域涉及湖库、河流等不同水域类型;计算指标包括化学需氧量(COD)、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、总磷(TP)、总氮(TN)、重金属、有毒有机物等不同污染物;计算水文条件有最枯月恒定流量、不同来水频率下设计流量、不同蓄水位设计水量等多种工况;计算模型涵盖河流一维、河流二维、湖(库)富营养化等类型。3个典型案例基本覆盖了水域纳污能力计算的各方面,对工作中可能面临的问题给出了相应的解决方法,具有较强的实际指导意义。

本书由长江流域水资源保护局组织编写,全书由罗小勇任主编。各章撰稿分工如下:第1~第3章由罗小勇、刘扬扬编写,第4~第6章由樊皓、傅慧源编写,第7~第9章由罗小勇、刘扬扬、樊皓、傅慧源整理编写。本书在编写过程中

得到长江流域水资源保护局、长江水资源保护科学研究所有关领导和专家的大力支持，特此感谢！

本书是编者长期从事水资源保护专业学习、工作、科研、交流与讨论的总结。水域纳污能力计算是水资源保护工作的基础，随着人们对自然认知水平的不断提高，水域纳污能力计算理论与方法也将在不断探索、研究和创新中逐步完善、成熟。

限于作者水平，书中难免存在疏漏和不尽完善之处，敬请读者批评指正。

编者

2016年11月

目 录

前言

第 1 章 水域纳污能力概述	1
1.1 水域纳污能力基本概念	1
1.1.1 水域纳污能力概念由来	1
1.1.2 水域纳污能力的组成与分类	2
1.1.3 水功能区水域纳污能力概念	5
1.2 水域纳污能力研究进展	6
1.2.1 国内外水域纳污能力研究进展	6
1.2.2 水质模型研究进展	9
第 2 章 水功能区水环境调查、监测与评价	15
2.1 污染源调查与评价	15
2.1.1 污染源分类	15
2.1.2 污染源调查	16
2.1.3 污染源评价	31
2.2 水功能区水质监测与评价	36
2.2.1 水质监测	36
2.2.2 水质评价	43
第 3 章 水域纳污能力计算理论与发展	50
3.1 水域纳污能力计算规程	50
3.1.1 水域纳污能力计算规程由来	50
3.1.2 水域纳污能力计算规程主要内容	50
3.2 水域纳污能力计算程序	52
3.2.1 数学模型法计算程序	52
3.2.2 污染负荷法计算程序	53
3.3 水域纳污能力计算规程存在的局限性	54
3.3.1 设计水文条件的局限性	55
3.3.2 计算方法的不完善	57
3.3.3 模型参数取值的不确定性	59

3.3.4	污染源调查分析的不确定性	61
3.3.5	其他方面的局限性	62
3.4	水域纳污能力计算的发展与拓展	62
3.4.1	设计水文条件的发展方向	62
3.4.2	计算方法的发展方向	64
3.4.3	计算范围的拓展研究	65
3.4.4	计算指标的拓展研究	66
3.4.5	河流纳污能力数学模型的发展方向	67
3.4.6	湖(库)纳污能力数学模型的发展方向	68
3.4.7	生态纳污能力的拓展研究	69
第4章	河流纳污能力数学模型算法	70
4.1	基本资料收集	70
4.1.1	自然环境资料	70
4.1.2	社会环境资料	71
4.1.3	水环境现状调查	72
4.1.4	河流水功能区划成果	72
4.2	污染物的确定	73
4.2.1	水污染物分类	73
4.2.2	污染物指标的确定程序	73
4.3	设计水文条件	75
4.3.1	概述	75
4.3.2	设计水文条件的确定	77
4.4	水质模型选择	80
4.4.1	概述	81
4.4.2	一般河流水质模型分类介绍	82
4.4.3	重金属水质模型	91
4.4.4	有毒有机物模型	93
4.5	模型参数确定	97
4.5.1	水力参数	97
4.5.2	耗氧系数	102
4.5.3	复氧系数	104
4.6	纳污能力计算模型推求	106
4.6.1	零维计算模型	106
4.6.2	一维计算模型	107
4.6.3	二维计算模型	110
4.6.4	河网地区纳污能力计算模型	113
4.6.5	重金属纳污能力计算模型	115

4.7	计算结果合理性分析与检验	115
4.7.1	基本资料的合理性分析	115
4.7.2	计算条件简化和假定的合理性分析	116
4.7.3	数学模型选用、参数确定的合理性分析与检验	117
4.7.4	水域纳污能力计算成果的合理性分析与检验	117
第5章	湖(库)纳污能力数学模型算法	119
5.1	基本资料收集	119
5.1.1	水文资料	119
5.1.2	水环境现状调查	119
5.1.3	湖(库)水功能区划成果	120
5.2	污染物的确定	120
5.3	设计水文条件	120
5.3.1	概述	120
5.3.2	由径流资料推求设计时段入湖径流	121
5.3.3	利用水量平衡法推求设计时段入湖流量	123
5.3.4	水库设计水文条件的确定	123
5.4	水质模型选择	124
5.4.1	湖(库)均匀混合模型	125
5.4.2	湖(库)非均匀混合模型	127
5.4.3	湖(库)富营养化模型	133
5.4.4	湖(库)分层模型	135
5.4.5	重金属水质模型	137
5.4.6	有毒有机物水质模型	137
5.4.7	水质数值模拟软件简介	137
5.5	模型参数确定	143
5.5.1	耗氧系数	143
5.5.2	氮氧系数	144
5.5.3	其他	144
5.6	纳污能力计算模型推求	144
5.6.1	湖(库)均匀混合模型	144
5.6.2	湖(库)非均匀混合模型	146
5.6.3	湖(库)富营养化模型	147
5.6.4	湖(库)分层模型	148
5.7	计算结果合理性分析与检验	150
第6章	水域纳污能力污染负荷算法	151
6.1	基本资料收集	151
6.1.1	资料收集范围	151

6.1.2	资料收集内容	151
6.2	污染物的确定	152
6.3	实测法	152
6.3.1	工作程序	152
6.3.2	工作内容	153
6.4	调查统计方法	154
6.4.1	工作程序	154
6.4.2	工作内容	155
6.5	估算法	155
6.5.1	工作程序	155
6.5.2	工作内容	156
6.6	合理性分析与检验	156
第7章	三峡库区水域纳污能力计算	157
7.1	三峡水库概况	157
7.2	水功能区划	158
7.3	库区水环境现状	160
7.3.1	库区污染源	160
7.3.2	干流水质	163
7.3.3	主要支流水质	168
7.4	纳污能力分析范围	170
7.5	计算方案	171
7.6	设计水量拟定	171
7.6.1	拟定原则	171
7.6.2	设计水量确定	171
7.7	计算方法及参数拟定	174
7.7.1	水功能区纳污能力计算模型	174
7.7.2	初始断面背景浓度确定	178
7.7.3	二维模型不同求解方式比较	178
7.8	库区纳污能力分析	179
7.8.1	蓄水前	179
7.8.2	135m 蓄水位方案	180
7.8.3	156m 蓄水位方案	181
7.8.4	175m 蓄水位方案	182
7.9	库湾纳污能力分析	182
7.9.1	设计水量拟定	182
7.9.2	计算方法	183
7.9.3	计算结果	184

7.10 成果分析	184
7.10.1 总体纳污能力分析	184
7.10.2 岸边纳污能力分析	185
7.10.3 小结	186
第8章 长江干流水域纳污能力计算	187
8.1 水功能区	187
8.1.1 一级水功能区划	187
8.1.2 二级水功能区划	188
8.2 纳污能力计算原则	189
8.3 纳污能力研究范围	189
8.4 设计水量拟定	189
8.4.1 干流主要控制断面设计水量	189
8.4.2 主要支流控制断面设计水量	190
8.4.3 水功能区边界宽度	191
8.4.4 岸边流速、流量	193
8.5 纳污能力计算方法及有关参数确定	195
8.5.1 水质目标值的确定	195
8.5.2 水质模型	195
8.5.3 综合自净系数	196
8.5.4 横向扩散系数	199
8.5.5 纵向离散系数	201
8.5.6 初始断面背景浓度确定	201
8.6 纳污能力计算结果	203
8.6.1 省级行政区纳污能力	203
8.6.2 水资源分区纳污能力	204
8.6.3 水功能区纳污能力	205
第9章 武汉江段多指标和动态纳污能力计算	208
9.1 武汉江段概况	208
9.2 武汉江段水功能区划	208
9.3 水文条件	210
9.4 水质条件	217
9.5 模型率定与验证	218
9.6 计算结果	223
参考文献	228

第1章 水域纳污能力概述

1.1 水域纳污能力基本概念

1.1.1 水域纳污能力概念由来

“水域纳污能力”一词最早是由“环境容量”“环境纳污能力”等概念发展而来的。

Park 和 Bugress 于 1921 年在有关研究中应用了“容量”概念。1953 年, Odum 在《生态学原理》(Fundamentals of Ecology)中, 赋予“容量”概念较精确的数学形式。“容量”一词也总是与环境退化、生态破坏、人口增加、资源减少、经济发展相联系在一起, 其外延也不断发生着相应的变化。最初环境污染控制的思想是浓度控制, 这会助长排污者低浓度大量排污的行为, 为此日本学者于 20 世纪 60 年代首先提出“环境容量”的概念, 即把一定区域内的大气或水体中的污染物总量控制在一定的允许限度内。

20 世纪 80 年代, 在全球许多地区, 淡水压力越来越大, 不少地区甚至缺乏足够的饮用水供应, 其他资源如矿产资源、渔业资源都在不断减少。在人类面临资源短缺的同时, 大气、水体、土壤、固体废弃物的污染对人类生存构成了严重威胁。于是, 人们在充分认识环境系统与人类社会经济活动关系的基础上, 提出了“环境纳污能力”的概念。

“环境纳污能力”的概念被提出后, 受到了世界各国的普遍重视, 并将其应用到实际环境管理与规划之中。1988 年, 在我国水资源保护规划中提出并使用了“最大允许纳污量”的概念。1998 年, 依据《国务院关于机构设置的通知》(国发〔1998〕5 号)制定的《水利部职能配置、内设机构和人员编制规定》中明确指出, “按照国家资源与环境保护的有关法律法规和标准, 拟定水资源保护规划, 组织水功能区划分, 监测江河湖库的水质, 审定水域纳污能力, 提出限制排污总量的意见”, 这是我国首次正式提出“水域纳污能力”的概念。

2000 年 2 月, 水利部以水资源〔2000〕58 号文印发的《关于在全国开展水资源保护规划编制工作的通知》中明确指出, “根据水功能区水质水量要求与江河湖库的水文特性, 推求水域的允许纳污能力……”, 并在其附件《全国水资源保护规划技术大纲》中提出开展规划水域纳污能力分析与制定纳污总量控制方案的要求。2002 年, 《中华人民共和国水法》第三十二条明确了有关水域纳污能力的内容: “县级以上人民政府水行政主管部门或者流域管理机构应当按照水功能区对水质的要求和水体的自然净化能力, 核定该水域的纳污能力, 向环境保护行政主管部门提出该水域的限制排污总量意见。”

2004年,《中国水利百科全书》环境水利分册中提出了水域纳污能力的定义。同年,长江流域水资源保护局编制的《三峡库区水域纳污能力及限制排污总量意见》(以下简称《意见》),提出了三峡水库在135m、156m、175m蓄水位时,主要污染物的纳污能力及限制排污总量意见,成为国内开展水功能区水域纳污能力计算及污染物限排总量控制的首个案例。水利部以水函〔2004〕155号文批复了该项成果,《意见》成为开展三峡库区水资源保护规划和监督管理的科学依据。经过10余年的积极探索,长江流域水资源保护局组织编制了《水域纳污能力计算规程》(SL 348—2006),2010年上升为国家技术标准《水域纳污能力计算规程》(GB/T 25173—2010)。《水域纳污能力计算规程》(GB/T 25173—2010)(以下简称《规程》)术语中明确给出水域纳污能力的定义。

1.1.2 水域纳污能力的组成与分类

1. 水域纳污能力的组成

水域纳污能力主要由稀释能力、自净能力和存储能力三部分组成。

(1) 稀释能力。即污水与天然水体混合过程中,由于天然水体对污染物的物理稀释作用,使得污染物浓度由高变低,当污染物浓度达到规定的水质标准时,水体所能容纳的污染物质称为稀释纳污能力。显然污径比越小,稀释纳污能力越强。稀释能力主要反映水体的物理作用,由污染浓度差和稀释水量所决定。

(2) 自净能力。即水体通过化学、生物作用等对污染物所具有的降解或无害化自净能力。若污染物主要为易降解有机物,则自净纳污能力又称同化容量。自净能力是水域纳污能力中最重要的组成部分,与污染物自身特性、水动力条件等因素密切相关。目前通常用“综合自净系数”来表征水体降解污染物的速率。自净能力主要反映水体的生物化学作用,由生物化学作用使污染物浓度降低程度所决定。

(3) 存储能力。由于沉积作用,污染物逐渐分布于底泥中,当水体中污染物浓度达到基准值或标准值时所能容纳的污染物质。这部分沉积的污染物实际上是底泥允许的纳污容量,但由于底泥赋存于水体中,也作为水域纳污能力的一部分。水动力条件的变化可能使底泥中的污染物重新进入水体,造成二次污染,因此底泥存储污染物的能力也是随机变化的。

2. 水域纳污能力的分类

关于水域纳污能力概念的分类,国内外许多学者进行了探讨,根据不同的应用目的,提出了多种分类体系。

(1) 按径污条件分类。依据径污条件的不同,水域纳污能力又分为定常纳污能力和动态纳污能力。

1) 定常纳污能力。即在径污条件(包括水体流量、污水排放量及排放浓度等)恒定的情况下,水体稀释降解污染物具有的纳污能力,可认为是设计条件下的一个定值。通常考虑偏安全的需要,水域纳污能力计算的水文条件一般选择典型枯水流量。

2) 动态纳污能力。即考虑水体流量、污水排放量及排放浓度非恒定情况下, 水体稀释降解污染物具有的动态纳污能力。动态纳污能力比较真实地反映水文条件及污染源排放的变化情况, 比较科学地给出不同设计条件下的水域纳污能力和允许排放量。动态纳污能力是一个过程, 可以用一系列连续数值表示, 其优点是克服了用一个(或有限个)定值来表示纳污能力的弊端, 真实地反映出纳污能力的时空不均匀特征。

(2) 按可更新性分类。按纳污能力的可更新性(可更新性系指水域对污染物的同化能力, 并非水域对污染物的稀释、迁移、扩散能力), 可将水域纳污能力分为以下两类。

1) 可更新纳污能力。表征为水域对污染物的可降解自净能力或无害化能力, 主要是针对可降解物质的纳污能力。例如, 耗氧有机物的水域纳污能力即是可更新纳污能力, 即能被水中的氧、氧化剂或微生物氧化分解变成简单无毒物质而净化的耗氧污染物的纳污能力, 其数值较大, 一般采用耗氧有机物在水中稀释或转化降解水质模型计算, 用水质目标及控制范围作为约束条件即可求得。耗氧有机物的水域纳污能力如果控制利用得当, 是可以永续利用的水域纳污能力。可更新纳污能力是最具有实际开发利用价值的允许纳污能力, 但可更新纳污能力的超负荷开发利用同样会造成水环境污染, 因此要合理利用这一部分水域纳污能力。

2) 不可更新纳污能力。在自然条件下水域对不可降解或长时间只能微量降解的污染物所具有的容纳能力。不可降解或难降解污染物入水后, 在水生态系统内的数量和性质不发生变化, 只能通过输移、吸附、沉积作用和相的转移减少污染物在水体中的数量, 这部分纳污能力即为不可更新纳污能力。例如, 重金属、有机氯农药、苯酚以及很多人工合成有毒有机物, 其水域纳污能力均可称为不可更新纳污能力。有毒有机物水域纳污能力, 即人工合成的毒性大、难降解有机物的纳污能力, 其值很小, 自净能力甚微, 一般只考虑水域稀释能力。重金属水域纳污能力, 即重金属被水体稀释到阈值以下而具有的能力, 由于重金属是保守性污染物, 只存在形态变化与相的转移, 不能被分解, 因此也没有自净能力。对这部分纳污能力应立足于保护, 严格限制不可更新纳污能力的开发利用, 禁止或严格控制污染源进入水体。

(3) 按水环境目标分类。对某一水域而言, 水体中污染物浓度的概念分为以下几种。

- 污染物天然背景值 C_n 。反映水体化学组分的天然低背景含量, 一般以未受人类活动干扰的、河流湖泊源头水质情况作为参考。

- 污染物初始背景值 C_0 。反映上游水体来水水质情况, 可以通过水质监测获取, 一般情况下 $C_0 > C_n$ 。

- 污染物水质标准值 C_s 。反映为满足水环境管理需要设定的水质目标, 一般情况下 $C_s \geq C_0$, 当 $C_s < C_0$ 时, 表示该水域的水质超标。

- 污染物浓度允许最大值 C_m 。反映水体以不造成水生生态破坏和人体健康威胁前提下所允许的污染物最大浓度值, C_m 代表水体中污染物浓度的最大上限值, 一般 $C_m > C_s$, 对于经济发展需求较大的开发利用水域, 由于 C_s 值设置较大, 可能超过 C_m 。

按水环境目标的不同, 可将纳污能力分为以下 3 类。

1) 初始水域纳污能力。对某一水域而言, 水质的初始背景值代表了上游水体的来水水质情况, 相对于水体污染物的天然低背景值来说, 也占用了部分的水域纳污能力。水体

的初始背景值受上游来水影响,一般是无法改变的,因而其所占用的水域纳污能力也就不可再分配使用。以污染物在水体中的初始背景值为水质目标,这部分纳污量称为初始水域纳污能力,其概念模型为

$$[m] = \int_v K(C_0 - C_n)dV \quad (1.1)$$

式中 $[m]$ ——水域纳污能力;

K ——表征水体对污染物稀释和降解能力的自然规律参数;

C_0 ——污染物在水体中的初始背景值;

C_n ——污染物在水体中的天然背景值;

V ——水域体积。

2) 管理水域纳污能力。以污染物在水体中的标准值为水质目标,则水域的允许纳污量称为管理水域纳污能力,其概念模型为

$$[m] = \int_v K(C_s - C_0)dV \quad (1.2)$$

式中 C_s ——污染物在水体中的标准值,反映为满足水环境管理需要设定的水质目标;

其他符号意义同前。

管理水域纳污能力以满足人为规定的水质标准为约束条件,它不仅与自然属性有关,而且与技术上能达到的治理水平及经济上能承受的支付能力有关,是水环境的自然规律参数与社会效益参数的多变量函数。管理水域纳污能力即污染物浓度在初始背景值和水质管理目标之间的纳污能力,相当于不超过某一水质目标的允许污染负荷。

对某一水域而言,其现状已接纳的点污染源、面污染源、内污染源都要占用相应的水域纳污能力,这部分被占用的纳污能力是管理纳污能力的一部分。当水域接纳的污染物负荷量小于管理纳污能力时,其差值即为剩余纳污能力,这部分纳污能力还可以被开发利用。当水域接纳的污染物负荷量大于管理纳污能力时,表示已无剩余纳污能力可以利用,需要对污染物负荷量进行削减以满足水环境管理需求,或者通过降低功能要求、采取工程措施等手段来加大管理纳污能力。

3) 自然水域纳污能力。以污染物在水体中的允许最大值为水质目标,则水域的允许纳污量称为自然水域纳污能力,其概念模型为

$$[m] = \int_v K(C_m - C_0)dV \quad (1.3)$$

式中 C_m ——污染物在水体中的允许最大值,反映以不造成水生生态破坏和人体健康威胁前提下所允许的污染物最大浓度值;

其他符号意义同前。

自然水域纳污能力反映水体和污染物的客观性质,即反映水体以不造成水生生态破坏和人体健康不良影响为前提的污染物容纳能力,水质目标的取值与人们的意愿无关,不受人为社会因素影响,反映着水域纳污能力的客观性。实际上,由于 C_m 的值不易判断与量化,所以实际工作中管理水域纳污能力的应用范围要更广。

根据上述概念,水域的初始纳污能力、管理纳污能力、自然纳污能力以及剩余纳污能力的示意图如图 1.1 所示。

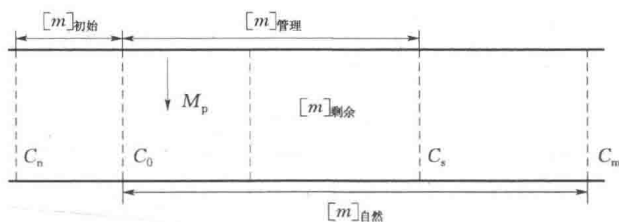


图 1.1 按水环境目标分类的纳污能力示意图

$[m]_{\text{初始}}$ —水域的初始纳污能力； $[m]_{\text{管理}}$ —水域的管理纳污能力；
 $[m]_{\text{自然}}$ —水域的自然纳污能力； $[m]_{\text{剩余}}$ —水域管理纳污能力中
 可开发利用的剩余纳污能力； M_p —水域接纳的污染物负荷
 （包括点源、面源和内源等）； C_n 、 C_0 、 C_s 、 C_m —水体中
 污染物天然背景值、初始背景值、管理目标值、允许最大值

1.1.3 水功能区水域纳污能力概念

1. 水功能区基本概念

水功能区是指为满足水资源合理开发、利用、节约和保护的需求，根据水资源的自然条件和开发利用现状，按照流域综合规划、水资源保护规划和经济社会发展要求，依其主导功能划定并执行相应水环境质量标准的水域。

依据《水功能区划分标准》（GB/T 50594—2010），水功能区采用一、二两级区划的分级分类系统。

一级水功能区分为保护区、保留区、缓冲区和开发利用区四类。

二级水功能区在开发利用区中划分为饮用水源区、工业用水区、农业用水区、渔业用水区、景观娱乐用水区、过渡区和排污控制区 7 类。

根据水功能区水质现状、排污状况、不同水功能区的特点、水资源配置对水功能区的要求以及技术经济条件，拟定水功能区现状条件和规划条件下的水质保护目标。

2. 《中国水利百科全书》对水功能区水域纳污能力的定义

根据 2004 年《中国水利百科全书》环境水利分册中对水域纳污能力的定义，水域纳污能力（allowable pollutant assimilate capacity of water body）是指水域能持续发挥给定的功能，而接纳的最大污染物负荷量。根据规定的水文概率或经调节的河道流量，确定在自净作用下，保证达到功能区水质要求所允许的污染物排放量。

目前在世界的一些地区，人们还没有足够的资金和适当的技术手段彻底治理水污染。但人类可以充分利用水域的自净能力消纳生产、生活过程中产生的废弃物。为了保证人类的足量用水和良好水质，在不同水域，根据用水功能的不同，容纳的污染物被限定在一定的数量内。

水域纳污能力的大小与水功能区的类型和范围、水环境要素的特性和水体净化能力、污染物的理化性质等因素有关。在同等条件下，用水功能要求越低（如排污控制区），则水域纳污能力越大；水功能区范围越大，则稀释容量与自净容量越大，水域纳污能力也越大；现状水质越好，则水域纳污能力越大；水域中主要为易降解污染物的，水域纳污能力则越大。

3. 《规程》对水功能区水域纳污能力的定义

2010年,《规程》明确水域纳污能力是指针对江河、湖泊、水库、运河、渠道等已划定水功能区的地表水域,在设计水文条件下,某种污染物满足水功能区水质目标要求所能容纳的该污染物的最大数量。

水功能区水质目标、水文条件、污染物特性是水域纳污能力的三大影响因素,同时纳污能力还与污染物的排放方式及排放的时空分布有密切的关系。水域纳污能力不仅和自然因素有关,而且考虑了各种社会和经济因素,这是一个非常重要的特征,也决定了其本质上属于管理纳污能力的特性。水域纳污能力是相应于一定规划设计条件下的最大允许纳污量,并随条件变化而变化,水功能区的水质目标不同,设计水文条件不同,纳污能力显然也就不同。通过改变水域的功能要求来提高或降低水质要求,通过工程措施或变更规划设计标准来改变水文条件,都可以改变水域纳污能力。

1.2 水域纳污能力研究进展

1.2.1 国内外水域纳污能力研究进展

1. 国外研究进展

国外学者常用“环境容量”“最大容许纳污量”和“水体容许排污水平”等概念来描述水域纳污能力,并将其融合在总量控制研究中,较少开展单独的相关研究。最早衡量水体容许污染物负荷量的是日本学者在20世纪60年代提出的环境容量概念,在海洋和河流等天然水体的治理中,估算环境容量对污染物的总量进行控制。随后,欧美国家开始环境容量方面的研究,并取得一定的成果。

国外一般采用系统理论和随机理论对水环境最大容许纳污量进行计算,便于根据河流水文地理参数和气象参数的时空分布特点实时分析污染物入河量并加以控制。例如,Edward将水质作为随机变量,采用非确定性分析计算污染物排放量;Duka等应用环境模拟方法对天然水体中有机物的自净容量进行计算;Fujiwarra等用流量概率约束模型对水体中的污染物质的量进行估算。

在环境管理方面,美国自1972年开始实施针对工业行业及其子行业以最佳专业判断法和颁发排放限值准则方法为依据的排污许可证制,部分地区还推出以实测的水体同化能力来变更容许排污量的变量总量控制方法,能够更为有效地对点源及面源污染进行合理分配(简称TMDL管理技术)。美国把纳污能力估算视为TMDL的中心环节,以研究水体的水环境功能区水质目标和相应的设计水量(7Q₁₀或30Q₁₀)为基础,借助水质模型进行不同季节条件下最大容许排污量计算。近年来,美国国家环保局(EPA)不断对TMDL计划进行调整,使美国水资源保护由过去的单纯污染源控制转变为根据生态健康和生态功能来决定控制污染。多年的实践表明,TMDL计划在恢复美国地表水体功能、改善水体水质方面起到了重要的作用。