

· 研究报告 ·

# 水污染物排放总量控制的体系研究

杨龙, 王晓燕

(首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100037)

**摘要:** 回顾了我国水污染物排放总量控制发展的历程, 针对总量控制方法体系中存在的问题, 将非点源污染和不确定性分析纳入总量控制研究, 构建了新的水污染总量控制方法系统, 并对方法体系涉及的管理基础、管理目标、管理模型和管理实施等问题进行了研究。

**关键词:** 总量控制; 非点源污染; 不确定性信息; 水质模型; 最大日负荷总量

**中图分类号:** X323 **文献标识码:** C **文章编号:** 1006-2009(2008)03-0016-04

## Control System for Total Amount of Pollutants in Waste Water

YANG Long, WANG Xiao-yan

(College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

**Abstract:** On the Chinese development of total amount of pollutants control in waste water, the new system was established to lay heavy stress on existing problems for the control. The non-point source pollution and uncertainty analysis were brought into the system research. The problems involved in the management itself, objectives, model and implementation and other issues of the system were discussed.

**Key words:** Total amount of pollutants control; Nonpoint source pollution; Unascertained information; Water quality model; Total maximum daily loads

自 20 世纪 70 年代, 我国相继开展了有关水环境容量、水功能区划、水质数学模型、流域水污染防治综合规划及排污许可证管理制度的研究, 将总量控制技术与水污染防治规划相结合, 逐步形成了以污染物目标总量控制技术为主, 容量总量控制和行业总量控制为辅的水质管理技术体系<sup>[1]</sup>。然而, 我国水污染物总量控制仍处于探索阶段。为总结我国水污染物总量控制发展历程, 对水污染物排放总量控制的方法体系进行分析和探讨。

### 1 我国水污染总量控制发展历程

我国的水环境污染总量控制的概念来自日本的“封闭性水域总量控制”, 技术方法引自美国的水质规划理论<sup>[2]</sup>。我国水污染物总量控制迄今主要经历了以下 4 个阶段。

(1) 总量控制起步研究阶段。“六五”科技水环境容量攻关课题以沱江水污染物总量控制系统分析为特征, 在用数学模型化技术、离散规划方法

分配总量负荷方面有了新的进展, 为我国水污染物总量控制研究的序幕。

(2) 水污染控制政策发展方向调整阶段。在 1988 年的第三次全国环境保护会议上, 原国家环保局提出了实行污染物浓度和总量同时控制的对策, 确定了从浓度控制向总量控制的发展方向。

(3) 总量控制宏观政策制定阶段。20 世纪 90 年代原国家环保局编制的《跨世纪绿色工程计划》及《污染物总量控制方案》等, 提出了落后工艺淘汰指标和产业结构调整方案, 为中国的水环境污染总量控制制定了先按达标排放控制污染总量, 再按水质目标规定允许排污总量的基本模式<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2008-01-08; 修订日期: 2008-03-20

基金项目: 北京市科委基金资助项目(518); 北京市教委科技基金资助项目(KM200510028012); 北京市优秀人才计划基金资助项目(20061D0501600225)

作者简介: 杨龙(1977—), 男, 甘肃环县人, 博士生, 从事城市环境监测和研究。

1996 年,全国人大通过《国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》,把污染物排放总量控制正式定为中国环境保护的一项重大举措,确定对 COD、石油类、氰化物、砷、汞、铅、镉、铬(六价)、SO<sub>2</sub>、烟尘、工业粉尘、工业固废<sup>[3]</sup>实行全国总量控制。

(4)由宏观引导向具体办法方向发展阶段。2006 年,国务院批复了“十一五”期间全国主要污染物排放总量控制计划。原国家环保总局为做好“十一五”期间控制全国主要水污染物(COD)排放总量的工作,制定了《主要水污染物总量分配指导意见》。2007 年,原国家环保总局又制定了《“十一五”期间主要污染物总量减排统计办法》和《主要污染物总量减排监测办法》等。

## 2 水污染物排放总量控制方法体系的不足

水污染物总量控制是污染防治工作中的一项迫切而艰巨的任务。按“总量”的确定方法,我国水污染总量控制划分为目标总量控制、容量总量控制和行业总量控制。总量控制具有多目标性、完整性、不确定性、阶段性和可适应性等。目前的总量控制方法体系不能完全体现其特征。

(1)污染物排放总量控制的基本目标是达到满足水体功能的水质标准。目前采用的方法中水质指标选取单一,以 COD、TP、TN 为主,影响了水环境容量的确定,进而影响污染物总量控制的实施。另外,水体污染的因素是多种多样的,除了污染物造成的水体污染外,有时是非污染物造成水质的变化。单纯控制某一种污染物或水质指标,水体未必能满足功能要求。

(2)没有将非点源污染纳入总量控制中。现行的水污染物总量控制的制度和办法基本针对点源污染,还没有将非点源污染纳入总量控制计划<sup>[4-5]</sup>。国外经验表明,不控制非点源污染就无法实现保护水体的目标。1972 年美国颁布《清洁水法》,并实施基于技术和水质的点源污染物排放控制措施,但由于没有考虑到非点源及多个点源在流域内的累积效应作用,致使大量水体无法满足相应功能要求,严峻的污染状况和沉重的环境治理压力催生了最大日负荷总量(TMDL)计划<sup>[1]</sup>。

(3)分配总量时缺乏不确定性分析。水环境中存在随机性和偶然因素,导致水污染物排放和水质响应的关系存在诸多不确定性。《主要水

污染物总量分配指导意见》第 13 条规定:地方环境保护部门在分配辖区内 COD 总量指标时,可兼顾当地经济发展的需要,预留部分量作为建设项目的发展用量或调节指标备用,但预留指标不得超过区域总量控制指标的 15%<sup>[6]</sup>。这种分配预留指标的规定比较模糊,基于不确定性分析来确定安全预留值是水污染总量控制发展的趋势。

## 3 水污染物总量控制方法体系

国际社会根据日益严重的水污染问题提出了多种先进控制措施,其中以美国 TMDL 计划最具代表性。它一方面将非点源污染纳入管理体系中,另一方面将总量分配的安全临界值建立在不确定性分析的基础上,形成了一套完整的总量控制策略和技术方法体系。我国水污染物总量控制起步较晚,方法体系还不健全。针对我国水污染物总量控制中存在的不足,借鉴国际先进的管理理念和技术体系提出了一种新的方法体系,包括管理基础、管理目标、管理模型和管理实施 4 个关键部分。管理基础是确定研究范围和诊断污染,是确定管理目标和建立管理模型的依据;管理目标指导管理模型的构建,是检验管理方案成效的基准;管理模型是整个研究方法体系的核心,直接影响管理策略和管理实施,见图 1。

### 3.1 管理基础

实施总量控制计划首先要选定一个以流域为单元的研究区,并进行问题诊断,目的是根据流域污染物输入路径,提取水体污染的关键性因素和背景信息,识别优先控制污染物和表述其与总量控制存在的基本关系。它在总量控制中起到导向作用。需要考虑的内容如下<sup>[7-8]</sup>。

(1)识别水体功能及污染物对水体功能产生的相关问题。

(2)基本资料信息整理。水质监测(营养物质、溶解氧的浓度、藻类生物量、pH 值等);水体的尺度,形状信息(容积、深度、面积、长度等),水体的流速和滞留时间等水文资料;河流断面,流量等水文资料及水质状况;生物学方面的信息(鱼、无脊椎动物、滨岸植被);流域的土地利用状况;气温和降雨资料;土壤调查和地质信息;地形信息;人口特征;现有水污染控制管理措施。

(3)识别目前或未来污染负荷的增长趋势是

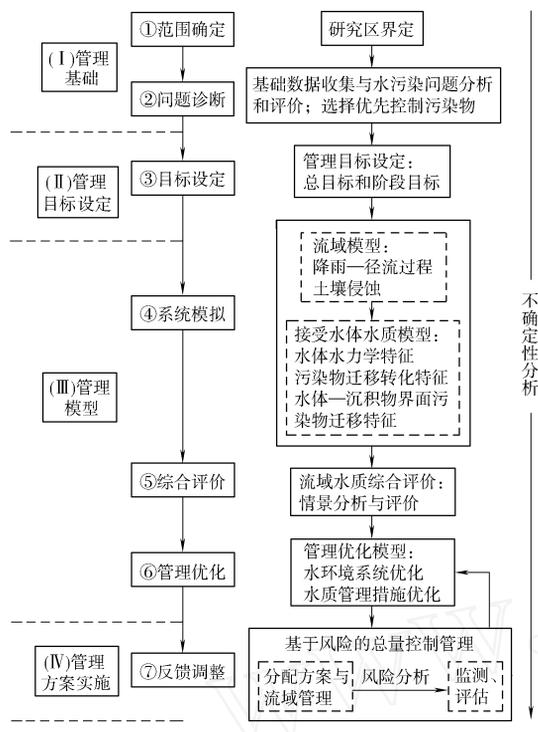


图 1 流域水环境总量控制管理的方法体系

否被考虑在总量控制计划中 (如总量控制应该包括水体处理设备的设计能力)。

### 3.2 设定管理目标

总量控制管理目标的确定是设计和实施管理的前提,属于研究中的薄弱环节。由于总量控制的系统性、不确定性和阶段性等特征,决定了其管理目标具有多样性。总量控制管理目标的确定原则为:前瞻性原则、可操作性原则、动态性原则、适宜性原则和可参与性原则等。根据水污染物排放总量控制的定义和内涵,确定总量控制管理的基本目标。

(1)人群健康目标。总量控制的首要目标是保障人体健康,保障人群饮用水的安全。保护地表水和地下水,并在满足卫生标准后供人饮用;流域人群对鱼类和其他物种的取用,不会因人为污染而受到限制;供休闲的水体应满足景观和人体接触的要求。

(2)水生生态健康目标。水生物种免受人为污染的影响,水体中的有毒和常规污染物浓度要小于设定的阈值;维护水生群落的多样性、可再生性和自我调控能力,尽可能与历史物种群落相一致;不降低现有生态环境的面积,为受胁迫的物种创造新的生态环境;为鱼类提供适宜的繁衍环

境去维系鱼类种群的稳定性和最优分布,以满足社会需求;建立缓冲带和污染削减设施,维护“水-陆”联系;将水生生物的捕猎和水位变化限制在适当的程度,减少进入流域的污染物量。

(3)社会经济可持续目标。社会经济的持续性目标表现在经济、环境、资源、社会 4 个方面。经济方面要优化产业结构,保障在满足水资源承载力、水污染物排放总量和生态保护目标的前提下使产业结构达到最优配置,增强流域或区域经济系统在面临不确定性变化时的恢复能力。环境方面要保障环境保护投资达到国家的最低要求,并要求单位产值的水污染物满足国家、行业 and 地方的标准,城镇和农村的水污染排放量和处理率达到相应的国家规划要求。水资源开发方面要求在核算资源最大开发强度的基础上,以资源承载力为基础制定资源开发计划,水资源的开发不能破坏物种在栖息地生存的最低要求,并尽可能减少污染物总量。社会方面在减少失业率、提高居民平均受教育程度的基础上,体现社会公平。

### 3.3 选择管理模型

污染物总量控制的技术关键是水质目标与污染源之间的响应关系,核心是污染负荷的分配<sup>[3,8]</sup>。自 20 世纪 80 年代始,随着水环境问题研究的不断深入,以流域为水环境管理基本单元的理念在国际上得到广泛的认同。水污染物总量控制管理应采用流域分析方法,模拟流域水质与污染物响应关系,优化流域社会经济-环境系统,提出总量控制方案。模型是模拟预测污染源与水质目标之间的响应关系、优化经济社会-环境系统的有效手段之一,为确定管理方案提供依据。

一个完整的水污染总量控制过程必须包含点源和非点源污染,同时考虑不确定因素,预留一定的安全临界值 (Margin of safety),最大负荷总量要大于点源和非点源负荷之和,水质指标值和污染总量的关系将会随污染物的不同和系统属性响应而变化。因此,在一个严谨的分析中,需要在模型关系中考虑误差范围,建立模型的不确定性和安全临界值<sup>[11]</sup>,其水质对污染负荷的响应关系见图 2。

自 1925 年 Streeter - Phelps 水质模型<sup>[12]</sup>,首次用于模拟 BOD 和 DO 的动态变化以来,出现了许多水质模型并用于河流、水库及湖泊的水质预报和管理。到 20 世纪 70 年代,一些发达国家开始流域非点源污染的研究工作。水质管理模型由单一

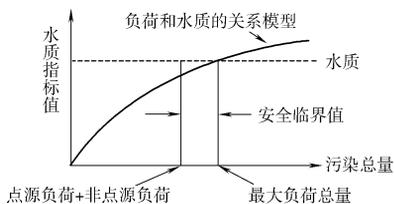


图 2 采用模型估算最大负荷总量

的水质数学模型发展到包含流域水文模型、非点源模型和水质模型的复合模型系统。

20 世纪 80 年代后期，GIS 开始与上述的数学

模型相结合，构成了较完整的流域水质管理系统<sup>[13-14]</sup>。BASNS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) 为美国环保局开发的集水区多目标环境分析系统，是国际上先进的水质管理工具。此系统结合地理信息系统 (GIS)、集水区数据库及多种水质模拟评估工具，能在不同流域范围内应用，适合对环境和生态问题进行流域规划和水质研究，广泛应用到美国 TMDL 计划中，值得我国借鉴和采用<sup>[14]</sup>。图 3 是 BASNS V2.0 系统的总体框架和主要模块。

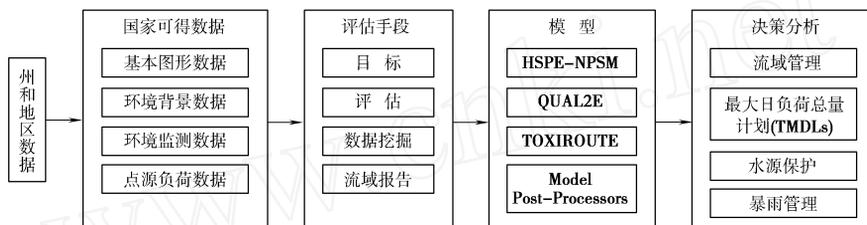


图 3 BASNS V2.0 系统框架

模型构建或应用过程中缺乏不确定性分析是总量控制方法体系的主要问题之一。我国总量控制中的安全预留值应该以不确定性分析和未来社会经济发展规划为基础。目前用于不确定性分析的方法很多，如敏感性分析、一阶误差分析、蒙特卡罗方法、Bootstrap 方法、最大似然方法、贝叶斯法、离散 Bayes 法、区域敏感性分析方法、神经网络法、遗传算法、模糊数学法、傅立叶敏感性检验法等，国内外学者在这方面做了很多研究工作，其中敏感性分析、FOEA、蒙特卡罗方法和 Bootstrap 方法是不确定性分析最常用的方法<sup>[15-16]</sup>。

### 3.4 管理方案实施

通过模型分析，总量控制计划将得到流域管理、总量分配方案、水源保护、暴雨管理等决策方案。完整的总量控制分配方案依据的方法公式应为：

$$TMDL = WLA + LA + BL + MOS \quad (1)$$

式中：TMDL 为最大日负荷总量；WLA 为允许的现存和未来点源的污染负荷；LA 为允许的现存和未来非点源的污染负荷；BL 为水体自然背景负荷；MOS 为安全边际 (Margin of Safety, 简称 MOS)，指关于污染物负荷与接纳水体水质之间的不确定数量关系。

现实中，数据有限和环境不确定性等原因将影

响总量控制方案的制定和实施。因此，总量控制方案实施应借鉴风险管理的思想，根据现实中存在的不确定性，将水污染风险控制在合理限度，同时不断去修正总量控制计划中出现的问题<sup>[17]</sup>。

## 4 结语

总量控制计划作为水环境治理一项重要措施，需采用先进的模型分析手段获得成功的控制方案，以改善流域污染水质。我国总量控制应借鉴国际先进水环境管理理念和方法，从多目标管理出发，采用流域分析方法，将非点源污染和不确定性分析纳入方法体系中，利用水环境管理系统模型，获取管理方案，为流域水质改善做出贡献。

### [参考文献]

- [1] 孟伟, 张楠, 张远, 等. 流域水质目标管理技术研究 (I)——控制单元的总量控制技术 [J]. 环境科学研究, 2007, 20 (4): 1-8
- [2] 宋吉明. 实施流域水污染物总量控制基本方法的研究 [D]. 沈阳: 中国科学院沈阳应用生态研究所, 1998
- [3] 丛春林, 王英. 水污染物排放总量控制编制方法研究 [J]. 环境科学与管理, 2007, 32 (9): 142-144
- [4] 潘世兵, 曹利平, 张建立. 中国水质管理的现状、问题及挑战 [J]. 水资源保护, 2005, 21 (2): 59-62

(下转第 34 页)

## 2.9.3 土壤

称取 0.5 g 土壤样品 (准确至 0.000 1 g) 于 100 mL 烧杯中, 用少量蒸馏水润湿, 加入 10 mL 王水, 待剧烈反应停止后, 滴加 5 mL 30%  $H_2O_2$  溶液, 剧烈反应停止后置电热板上低温加热至微干,

用 1% 硝酸溶液溶解残渣并洗涤烧杯, 转移至 50 mL 容量瓶中定容。移取适量消解液于 10 mL 容量瓶中, 用原子吸收法和该方法测定, 同时作加标回收试验, 结果见表 3。

表 3 土壤样品测定结果 ( $n=6$ )

样品	原吸法测定值	该方法测定值						测定均值	RSD	加标量	回收率
	$w/(mg \cdot kg^{-1})$	$w/(mg \cdot kg^{-1})$						$w/(mg \cdot kg^{-1})$	/%	$m/mg$	/%
土壤 1	36.2	34.2	34.2	34.7	35.1	35.6	35.9	35.0	2.9	5.00	103
土壤 2	38.2	36.2	36.9	37.2	37.6	37.9	38.4	37.4	2.1	5.00	103

## [参考文献]

- [1] 史啸勇, 郁建桥. 微波消解 - 原子吸收光度法测定土壤中铜、锌、铅、镉、铬 [J]. 环境监测管理与技术, 2003, 12(10): 32 - 33.
- [2] 曹杰山. 火焰原子吸收分光光度法测定生活垃圾堆肥中镍 [J]. 中国环境监测, 2006, 22(6): 40 - 41.
- [3] 陈玉静, 王玉宝, 唐清华. 催化动力学光度法测定沉积物中痕量镍 [J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(6): 32 - 33.
- [4] 罗道成, 易平贵, 刘俊峰, 等. 催化 - 分光光度法测定粉煤灰中痕量镍 [J]. 分析化学, 2002, 30(8): 987.
- [5] 李艳辉, 马卫兴, 许友兴, 等. 2-氯-4-溴苯基重氮偶氮苯的合成及其在分光光度测定镍中的应用 [J]. 冶金分析, 2007, 27(5): 20 - 24.
- [6] 张雁宏, 樊月琴, 郭永, 等. 1-(6-羟基-2-咪唑)-3-[4-(苯基偶氮)苯基]-三氮烯分光光度法测定微量镍 [J]. 光谱实验室, 2007, 24(4): 649 - 651.
- [7] 赵书林, 查丹明, 蒋毅民. 5-(2-苯并噻唑偶氮)-8-氨基喹啉作为镍的光度分析试剂及应用研究 [J]. 理化检验 - 化学分册, 2001, 37(1): 17 - 18.
- [8] 陈红, 葛昌华, 赵泼. 新显色剂 BCTZACA 光度法测定镍的研究 [J]. 科学技术与工程, 2006, 21(6): 367 - 368.
- [9] 张小玲, 刘根起, 樊学忠, 等. 显色剂 1-羟基-2-(5- $NO_2$ -2-吡啶偶氮)-8-氨基-3,6-萘二磺酸与镍显色反应的研究 [J]. 理化检验 - 化学分册, 2002, 38(12): 603 - 604.
- [10] 吕艳阳, 张玉霞. 2,5-二(邻羟基基)-1,3,4-噻二唑与镍的显色反应及应用 [J]. 理化检验 - 化学分册, 2007, 43(5): 418 - 419.
- [11] 于京华, 欧庆瑜, 彭世焯, 等. 新型若丹宁试剂光度法测定镍的研究 [J]. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(2): 75 - 76.
- [12] 李在均, 刘忠云, 潘教麦. 二溴对甲偶氮羧用于茶叶中微量钡的研究 [J]. 理化检验 - 化学分册, 2004, 40(1): 40 - 42.
- [5] 曹利平, 王晓燕, 广新菊. 非点源污染控制管理政策的实施及研究进展 [J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(1): 90 - 94.
- [6] 国家环境保护总局. 关于印发《主要水污染物总量分配指导意见》的通知 [P/OL]. [2006-12-01]. [http://www.sepa.gov.cn/info/gw/huangfa/200612/t20061201\\_96796.htm](http://www.sepa.gov.cn/info/gw/huangfa/200612/t20061201_96796.htm)
- [7] US EPA. Protocol for developing nutrient TMDLs[R]. Office of Water 4503F Washington D C 20460, EPA 841-B-99-007, 1999.
- [8] 梁博, 王晓燕, 曹利平. 最大日负荷总量计划在非点源污染控制管理中的应用 [J]. 水资源保护, 2004, 20(4): 37 - 41.
- [9] 陈抗甫. 正确处理四个关系努力完成“一控双达标”任务 [J]. 山东环境, 1999, 9(5): 1 - 2.
- [10] 刘永, 郭怀成, 周丰, 等. 基于流域分析方法的湖泊水污染综合防治研究 [J]. 环境科学学报, 2006, 26(2): 337 - 344.
- [11] DEPNTO J V, FREEDMAN P L, DAV D M D, et al. Models quantify the total maximum daily load process [J]. Journal of Environment Engineering 2004, 130(6): 703 - 713.
- [12] 谢永明. 环境水质模型概论 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [13] 林秋奇, 段舜山, 韩博平. 流域水质管理系统构建的理论、方法和实践 [J]. 生态学杂志, 2001, 20(4): 46 - 51.
- [14] 王晓燕. 非点源污染及其管理 [M]. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [15] 余红, 沈珍瑶. 三峡水库大宁河流域非点源污染参数的不确定性分析 [J]. 中国环境科学, 2007, 27(4): 554 - 558.
- [16] ZHANG H X. The critical flow-storm approach and uncertainty analysis for the TMDL develop process [D]. Charlottesville: University of Virginia, 2001.
- [17] 林丰. 污染防治设施标准化管理探索 [J]. 环境监测管理与技术, 2005, 17(03): 7 - 9.

本栏目责任编辑 李文峻 薛光璞