

河流和海洋污染物总量分配研究述评

赵 骞 王卫平 杨永俊 韩成伟

(国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

摘要 水污染物总量控制是改善水环境质量, 实现经济、社会与环境可持续发展的根本途径之一。制定科学的总量分配方案, 是实施水污染物总量控制的关键技术。本文从水污染物总量控制和分配的定义出发, 对总量分配原则和环境容量的最新概念做了介绍, 把河流和海洋领域的总量分配方法作了概述和比较。最后提出了开展总量分配分级体系研究, 加强重点河段和海域环境容量季节变化研究的建议。本文对深入开展水环境领域污染物总量分配的研究, 推动陆海统筹的总量控制制度具有积极意义。

关键词 环境容量; 允许排放量; 总量分配; 水污染物

中图分类号 X32

文献标识码 A

文章编号 1002-2104(2014)03-0082-05

水污染物总量控制是改善水环境质量, 实现经济、社会与环境可持续发展的根本途径之一, 而制定科学的总量分配方案则是实施水污染物总量控制的关键技术^[1]。污染物总量分配科学、合理、公正, 对促进技术进步、资源节约和产业结构优化, 推动经济增长方式转变, 实现环境资源的合理配置具有极其重大的意义。

水环境包括河流、湖泊、海洋和地下水等流体环境, 相应的污染物总量分配方法也有所不同。本文从水污染物总量控制和分配的定义出发, 对总量分配原则和环境容量的最新概念做了介绍, 对河流和海洋领域的总量分配方法作了概述和比较, 最后针对我国污染物总量分配现状中存在的问题提出了建议。本文对深入开展水环境领域污染物总量分配研究, 推动陆海统筹的总量控制制度具有积极意义。

1 相关概念

污染物总量控制是促进水环境质量改善, 实现水体生态环境良性循环的有效手段。根据控制标准的不同, 可分为目标总量控制、容量总量控制和行业总量控制三类^[2]: 目标总量控制是基于源排放的污染物总量不超过人为规定的管理上能达到的允许限额; 容量总量控制是把允许排放的污染物总量控制在受纳水体给定功能所确定的水质标准范围内; 行业总量控制从行业生产工艺着手, 通过控制生产过程中的资源和能源投入以及控制污染物的产生, 使排放的污染物总量限制在管理目标所规定的限额之内。

污染物总量分配是指根据研究区域内污染源的地理位置、排放量、排放方式、排放污染物种类、污染源管理、技术和经济承受能力以及区域其他因素制定污染负荷优化分配方案, 其实质是确定各排污者利用环境资源的权利和削减污染物的义务, 即利益的分配和矛盾的协调。总量分配的对象可分为海域、流域、区域和排污源, 其中区域应具备完整的社会、经济、人口、环境、资源等相关资料, 并存在相应的管理部门, 可以对分配值指定总量控制方案, 是具有可观实体的对象^[3]。

根据立足点和侧重点的不同, 分配方法的选择一般要基于公平原则、效率原则、可行性原则、可持续发展原则等主要原则。其中, 公平原则是指各污染源承担平等的削减污染物量的义务和享用环境容量的权利, 不应受到任何歧视和优待; 效率原则即费用最小或效益最大原则, 前者以区域污染治理费用最小为目标来进行总量分配, 后者则以区域经济效益最大为目标进行总量分配; 可行性原则是指在污染物总量分配过程中要充分考虑区域现有的技术条件、经济条件和管理条件是否满足预定的污染物削减目标; 可持续发展原则是指在总量分配过程中, 要充分考虑环境、经济、资源的协调与统一, 并有利于经济、环境与资源三者之间的可持续发展^[4]。当前在分配过程中考虑较多的是公平和效率原则, 但单纯考虑经济最优性或片面强调公平性都存在一定的弊端, 只有将两者统一起来, 才可能得到更为科学、合理的分配方案。

环境容量是污染物总量控制和分配的一个关键的技

收稿日期: 2013-01-23

作者简介: 赵骞, 博士, 副研究员, 主要研究方向为海洋环境动力学。

基金项目: 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室开放基金(编号: 201207), 海洋公益性行业科研专项经费项目(编号: 200805069)。



术参数,也是容量总量控制的理论基础。国内学者传统上^[5-6]把水环境容量定义为“水体环境在规定的目标下所能容纳的污染量”,指在保证某一水体水质符合规定标准的前提下,单位时间内能够容纳的某种污染物的最大允许负荷量。它的大小取决于水体的自然特性、要求的水质标准及污染物本身的特性等。欧美国家的学者较少使用水环境容量这一术语,而是用同化容量、最大容许排污量和水体容许排污水平等概念。

传统环境容量的定义被赋予的内涵较多,近年来,相关学者对其进行了分解细化,进一步提出了管理环境容量和污染物允许排放量等概念^[7-8],形成了环境容量概念体系:人类为了充分利用水域的环境功能,规定了特定水域的水质、沉积物的环境质量标准,使得环境所能容纳的污染物的量被限制在一定的限度之内,这个限值称之为管理环境容量;已利用环境容量是由污染物的现状浓度所决定的污染物含量;剩余环境容量或可利用环境容量管理环境容量与已利用环境容量的差值;允许排放量或分配容量是指在水体中污染物浓度不超过水域功能区划所规定的环境质量标准限值条件下,一段时间内向水体中排放的污染量;自净能力是海水的自然禀赋,分物理、化学和生物自净能力三类,它通过改变海水的现状浓度进而影响海水的剩余环境容量和允许排放量。

2 水污染物总量分配方法

2.1 河流污染物的总量分配方法

河流污染物总量分配技术发展较早,至今已形成比较完善的方法体系。根据在分配过程中所处的不同阶段,分配方法可分为初次分配方法与评估和再分配方法两类。

2.1.1 初次分配方法

初次总量分配的主要意义是为各分配对象赋予排污权利,可分为等比例分配法、按贡献率分配法、系统优化法和层次分析法几类。等比例分配法是以污染源排污现状为基础,将允许排污总量等比例地分配到污染源,各污染源分担等比例排放责任。等比例分配并不是对每个污染源不加区别的分配允许排放量,而是按照一定的权值进行分配,这个权值的获得可以依据污染源的现状排放量状况,可以依据各污染源所属的行业标准,也可以依据各污染源所在区域的环境目标要求等^[9-10]。该方法是被广泛应用的总量分配方法,并被美国环保局(EPA)采用,其特点是高效、直观、易执行^[11-12]。但是,等比例分配方法在实际应用中由于没有考虑各污染源的历史责任、污染治理边际效益和社会经济效益的差异,实际上是一种鼓励落后的分配方法^[13]。各污染源等比例削减污染物,使得污染治理不力或不佳者可以获得较多的允许排放量^[13]。而另

一方面,等比例方法会强迫排污浓度低的排污者采用更为昂贵的污染治理技术,导致经济上很难实行。

按贡献率削减排放量分配方法是按各个污染源对总量控制区域内水质影响程度的大小来分配污染负荷,对水质影响大的污染源要少分配,反之则多分配。袁辉等^[14]根据污染物排放量及污染带面积对重庆库区2010年污染物允许排放量进行了分配。包存宽等^[15]提出了根据污染源对河流控制断面水质影响系数确定各污染源允许排放量的方法。按贡献率削减排放量分配方法体现每个排污者平等共享水环境容量资源的权力和平等承担超过其允许负荷量的责任,对排污者来说是一种公平的分配方法。但是,该方法并不涉及污染治理费用或区域经济效益,因而在区域经济优化方面存在一定不公平性^[16]。

系统优化法从系统论观点出发,以污染物排放负荷量最大、污染治理费用最小或经济效益最大为目标函数,以水环境质量目标为约束条件,建立最优化模型,并通过计算最优解得到总量分配方案。利用该方法进行总量分配的研究非常多,根据研究问题中决策变量、目标函数和约束条件的不同形式,最优化方法可分为线性规划^[16-17]、非线性规划^[18-20]、动态规划^[21]、多目标规划^[22-25]和遗传算法^[26-27]等。排放负荷量最大法是水环境领域常用的一种分配方法,但没有考虑到经济效益,因此实际使用具有一定的局限性,主要用于流域污染物总量分配。费用最小或效益最大分配法根据污染源的空间格局和排放强度,以及污染治理的技术经济水平,求出整体优化的具有环境和经济效益的排污负荷分配方案,适用于行政区层面的总量分配,这是当前最广泛使用的方法。

水污染物总量分配问题涉及分配区域的自然、社会、经济和技术等各种因素,每种因素都包含若干定量与定性因子,属于定量与定性相结合的问题,而层次分析法(AHP)正是解决定量与定性相结合问题的一个有效方法。该方法可以将总量分配涉及的各种因素进行梳理,筛选出影响总量分配的主要评价指标,并构建评价指标的层次化结构模型;然后,通过专家咨询和数学计算方法确定各项评价指标权重,并结合系统水环境容量和环境质量目标最终给出总量分配方案。李如忠等^[28]将层次分析法应用于合肥市区域水污染物排放总量的分配中,求得各分区允许排污量之比,然后按此比例在各分区间进行排污总量分摊。幸娅等^[29]在太湖流域典型区域构造水污染物排放总量分配的层次结构模型,求得各分区允许排污量之比,然后按此比例在各分区间进行排污总量分配。范平等^[30]建立了多指标决策的排污总量分配层次结构模型,并以南方某市COD总量控制为例说明这种模型的具体运用。层次分析法可以把总量分配涉及的各种因素通过划分相互联



系的有序层次使之条理化,并通过定性和定量的分析最终确定各分配区域占允许排放污染物总量的份额,但该方法数据获取过程非常繁琐,权重受主观因素影响较大,并且会导致最优方案的不确定性,很难使各分配区域信服,进而影响分配方案的实施。

2.1.2 评估和再分配方法

总量初次分配结果是否公平,应进行评估和咨询,如果不公平,则需对分配结果进行调整。现在通常使用的评估方法有基尼系数法和熵值法。

基尼系数(Gini Coefficient)的概念来源于经济学。将其引入到环境领域,可以反映流域^[51]或行政区^[52-53]等分配对象的污染物排放量相对于其他资源,如人口、GDP、水资源或环境容量等拥有量的公平性,因此常被用作总量分配方案是否可行的评估方法。如果初始分配存在公平问题,则可通过基尼系数的调整进行再分配从而体现公平的思想。

熵(Entropy)的概念起源于热力学。将信息熵的概念应用于水污染物总量分配中,首先可以利用其评价系统均衡性的功能度量单位指标所负荷污染物的区域差异程度:信息熵越大,单位指标所负荷污染物的区域差异性越小,分配越公平;其次可以利用信息熵确定不同指标之间的重要程度,某类指标信息熵越小,该类指标在评价中的作用越突出,应给与较大的权重。所以,采用熵值法进行水污染物总量分配的重点是调整信息熵较小的单位指标所负荷污染量,使其信息熵增加,缩小区域差异,体现公平准则^[56-57]。

基尼系数法和熵值法可以反映各个分配区域的单位经济、社会或环境资源指标所负荷污染物排放强度的平等程度,保证分配的排污权和人口、经济和环境容量规模相匹配,体现了总量分配的公平性原则。运用此类方法对基于效率原则获得的初始分配方案进行调整,可以获得较为合理的分配效果。

2.2 入海污染物的总量分配方法

入海污染物的总量分配首先要求出污染物允许排放量:在掌握污染物入海负荷量的前提下,基于成熟的海洋环境数值模型,计算分配海域的水体输移和自净过程,按海洋功能区划确定水质控制点,计算控制点的响应系数矩阵;以海洋环境容量或海水水质标准为约束,确定入海污染物的允许排放量^[5];在此基础上,结合污染物现状排放量,给出污染物总量控制方案。当前,入海污染物允许排放量的计算方法主要有分担率法^[58-60]、系统优化法^[41-46]和箱式模型法^[47-49]几类,这些方法在我国近岸典型海域得到了广泛应用。由于所计算的污染源允许排放量往往是陆地多个排污源共同排污的结果,因此需要将海

域允许排放量的计算结果进一步分配到涉海流域或行政区域,这里所采用的分配方法主要是系统优化法^[4]和层次分析法^[49];最后,利用基尼系数法^[50]对分配方案进行合理性评估和调整。由于海洋和涉海陆域分属不同行政部门管理,当前入海污染物的总量分配更多集中在计算允许排放量方面,针对涉海流域和区域的二次分配工作则开展较少。

3 存在问题与研究展望

综上所述,针对河流和海洋领域的污染物总量分配都已开展了大量研究工作,但是将两者视为一个整体开展综合研究则较少进行;在计算水环境污染物允许排放量时,缺乏对环境容量季节变化的研究。

针对上述问题,需加强以下几方面的研究工作:

(1) 完善总量控制相关的配套法规制度,形成跨部门的总量分配工作机制或模式,开展海域——流域——区域——排污源的总量分配分级体系研究。

(2) 加强重点河段和海域环境容量季节变化研究:开展该区域生态过程的研究,完善生态系统动力学模型;开展定量化预测,研究主要污染物水环境容量的季节变化特征;按季节给出主要污染物的允许排放量。

(编辑:王爱萍)

参考文献

- [1] 董战峰. 国家水污染物排放总量分配方法研究 [J]. 南京: 南京大学, 2010.
- [2] 郭希利, 李文岐. 总量控制方法类型及分配原则 [J]. 中国环境管理, 1997, (5): 47-48.
- [3] 孟伟. 流域水污染物总量控制技术与示范 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [4] 崔正国. 环渤海13城市主要化学污染物排海容量计算及总量控制方案研究 [J]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [5] 张永良, 洪继华, 夏青, 刘培哲. 我国水环境容量研究与展望 [J]. 环境科学研究, 1988, 1(1): 73-81.
- [6] 张永良. 水环境容量基本概念的发展 [J]. 环境科学研究, 1992, 5(3): 59-61.
- [7] 关道明. 我国近岸典型海域环境质量评价和环境容量研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 2011: 1-2.
- [8] 王修林. 渤海主要化学污染物海洋环境容量 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 143-182.
- [9] 王媛, 姚立英, 牛志广, 等. 水污染物总量初始分配方法 [J]. 城市环境与城市生态, 2008, 21(5): 42-44.
- [10] 农家, 王金坑, 陈克亮, 等. 入海污染物总量分配技术研究初探 [J]. 环境保护科学, 2009, 35(5): 45-48.
- [11] Vogeler I, Scotter D R, Clothier B E, et al. An Evaluation of Eight Waste Load Allocation Methods [J]. Journal of the American Water Resources Association, 1985, 21(5): 833-839.



- [12] EPA. Technical Support Document for Water Quality-Based Toxics Control [R]. 1991:69.
- [13] Chadderton R A, Miller A C, McDonnell A J. Analysis of Waste Load Allocation Procedures [J]. Journal of the American Water Resources Association, 1981, 17(5):760-766.
- [14] 袁辉, 王里奥, 胡刚, 等. 三峡重庆库区水污染总量的分配 [J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2004, 7(2):136-139.
- [15] 包存宽, 张敏, 尚金城. 流域水污染物排放总量控制研究:以吉林省松花江流域为例 [J]. 地理科学, 2000, 20(1):61-64.
- [16] 荀方飞, 葛亚军, 马靖一. 线性规划法在水环境容量计算中的应用 [J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5):180-182.
- [17] 王涛, 张萌, 张柱, 陈宏文. 基于控制单元的流域水环境容量总量分配研究:以锦江流域 COD 分配为例 [J]. 人民长江, 2011, 42(23):39-42.
- [18] 毛战坡, 李怀恩. 总量控制中削减污染物合理分摊问题的求解方法 [J]. 西北水资源与水工程, 1999, 10(1):25-30.
- [19] 夏军, 张祥伟. 河流水质灰色非线性规划的理论与应用 [J]. 水利学报, 1993, 24(12):1-9.
- [20] 曹瑞钰, 顾国维. 水环境治理工程费用优化模型 [J]. 同济大学学报:自然科学版, 1997, 25(5):548-552.
- [21] Cardwell H, Ellis H. Stochastic Dynamic Programming Models for Water Quality Management [J]. Water Resources Research, 1993, 29(40):803-813.
- [22] 王亮, 张宏伟, 岳琳. 水污染物总量行业优化分配模型研究 [J]. 天津大学学报:社会科学版, 2006, 8(1):59-63.
- [23] 王有乐. 区域水污染控制多目标组合规划模型研究 [J]. 环境科学学报, 2002, 22(1):107-110.
- [24] Tung Y K, Hathhorn W E. Multiple-objective Waste Load Allocation [J]. Water Resources Management, 1989, 3(2):129-140.
- [25] Chen H W, Chang N B. Decision Support for Allocation of Watershed Pollution Load Using Grey Fuzzy Multiobjective Programming [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2006, 42(3):725-745.
- [26] Burn D H, Yu L T. Waste-load Allocation Using Genetic Algorithms [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2001, 127(2):121-129.
- [27] Yandamuri S R, Srinivasan K, Murty B S. Multiobjective Optimal Waste Load Allocation Models for Rivers Using Nondominated Sorting Genetic Algorithm-II. Journal of Water Resources Planning and Management, 2006, 132(3):133-143.
- [28] 李如忠, 钱家忠, 汪家权. 水污染物允许排放总量分配方法研究 [J]. 水利学报, 2003, 34(5):112-115.
- [29] 幸娅, 张万顺, 王燕, 等. 层次分析法在太湖典型区域污染物总量分配中的应用 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011, 9(2):155-160.
- [30] 范平, 吴纯德, 张帆, 等. 南方某城市水污染物总量控制分配研究 [J]. 水资源保护, 2009, 25(4):20-22.
- [31] 吴悦颖, 李云生, 刘伟江. 基于公平性的水污染物总量分配评估方法研究 [J]. 环境科学研究, 2006, 19(2):66-70.
- [32] 孟祥明, 张宏伟, 孙韬, 等. 基尼系数法在水污染物总量分配中的应用 [J]. 中国给水排水, 2008, 24(23):105-108.
- [33] 王媛, 牛志广, 王伟. 基尼系数法在水污染物总量区域分配中的应用 [J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(3):177-180.
- [34] Sun T, Zhang H, Wang Y, Meng X, et al. The Application of Environmental Gini Coefficient (EGC) in Allocating Wastewater Discharge Permit: The Case Study of Watershed Total Mass Control in Tianjin, China [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(9):601-608.
- [35] 蔺照兰, 王汝南, 王春梅. 基于基尼系数的乌梁素海流域污染负荷分配 [J]. 环境污染与防治, 2011, 33(9):19-24.
- [36] Sun T, Zhang H, Wang Y. The Application of Information Entropy in Basin Level Water Waste Permits Allocation in China [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2012, 70:50-54.
- [37] 王媛, 张宏伟, 杨会民, 等. 信息熵在水污染物总量区域公平分配中的应用 [J]. 水利学报, 2009, 40(9):1103-1107.
- [38] 张存智, 韩康, 张砚峰, 等. 大连湾污染排放总量控制研究:海湾纳污能力计算模型 [J]. 海洋环境科学, 1998, 17(3):1-5.
- [39] 余静, 孙英兰, 张越美, 等. 宁波-舟山海域入海污染物环境容量研究 [J]. 环境污染与防治, 2006, 28(1):21-24.
- [40] 张学庆, 孙英兰. 胶州湾入海污染物总量控制研究 [J]. 海洋环境科学, 2007, 26(4):347-350.
- [41] 李适宇, 李耀初, 陈炳禄, 等. 分区达标控制法求解海域环境容量 [J]. 环境科学, 1999, 20(4):97-100.
- [42] 郭良波, 江文胜, 李凤岐, 等. 渤海 COD 与石油烃环境容量计算 [J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(2):310-316.
- [43] 邓义祥, 孟伟, 郑丙辉, 等. 基于响应场的线性规划方法在长江口总量分配计算中的应用 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(9):995-1000.
- [44] 夏华永, 李绪录, 韩康. 大鹏湾环境容量研究 II:环境容量规划 [J]. 中国环境科学, 2011, 31(12):2039-2045.
- [45] Han H Y, Li K Q, Wang X L, et al. Environmental Capacity of Nitrogen and Phosphorus Pollutions in Jiaozhou Bay, China: Modeling and Assessing [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 63(5):262-266.
- [46] Hathhorn W, Tung Y K. Bi-objective Analysis of Waste Load Allocation Using Fuzzy Linear Programming [J]. Water Resources Management, 1989, 3(4):243-257.
- [47] 乔璐璐, 刘容子, 鲍献文, 等. 经济增长下的渤海环境容量预测 [J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(2):76-81.
- [48] 王长友. 东海 Cu、Pb、Zn、Cd 重金属环境生态效应评价及环境容量估算研究 [D]. 青岛:中国海洋大学, 2008.
- [49] 陈慧敏, 仵彦卿. 乐清湾水污染物总量控制分配方法 [J]. 水资源保护, 2011, 27(3):49-53.
- [50] 农家. 入海污染物总量分配技术与方法研究 [D]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所, 2011.
- [51] 陆建明. 环保投资优化法确定水污染总量控制目标的研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2001.
- [52] 冯金鹏, 吴洪寿, 赵帆. 水环境污染总量控制回顾, 现状及发展



- 探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(1): 45-48.
- [53] 刘兴盛, 张防修, 陈丹枫. 太湖流域污染物总量控制研究[J]. 中国水利, 2004, 15: 54-56.
- [54] 岳勇, 程红光, 杨胜天, 等. 松花江流域非点源污染负荷估算与评价[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 231-236.
- [55] 陈丁江, 吕军, 金树权, 等. 河流水环境容量的估算和分配研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 123-127.
- [56] 刘文琨, 肖伟华, 黄介生, 等. 水污染物总量控制研究进展及问题分析[J]. 中国农村水利水电, 2011(8): 9-12.
- [57] 雷振宇, 邓春光, 周勤, 等. 嘉陵江支流梁滩河水环境容量及总量控制规划[J]. 水资源保护, 2011, 27(6): 1-4.

Review of Study on Total Amount Allocation of Water Pollutants in River and Marine

ZHAO Qian WANG Wei-ping YANG Yong-jun HAN Cheng-wei
(Nation Marine Environmental Monitoring Center, Dalian Liaoning 116023, China)

Abstract Total amount control of water pollutants is the foundation to improve water environmental quality and realize sustainable development of economics, society and environment. The scientific method of total amount allocation is the key technology for the total amount control of water wastes. In this paper, based on the concept of total amount control and allocation, the principles of waste load allocation and the concepts about environment capacity are introduced. After that, the appointment methods of total amount in river and sea area are summarized and compared. Finally, the suggestions are proposed, which include developing the research of classification system of total amount appointment, strengthening research of seasonal variation of water environment capacity in key rivers and sea areas. This paper will promote the deeply study of total amount allocation in water environment and total amount control system of land-ocean plan as a whole.

Key words environmental capacity; allowable discharge amount; total amount allocation; water pollutant