

基于和谐目标优化的流域初始排污权分配方法

王艳艳, 窦明, 李桂秋, 于璐

(郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘要:为解决区域间因初始排污权分配不合理而引起的矛盾,将和谐论量化方法引入到流域初始排污权分配研究中,提出了基于和谐目标优化的流域初始排污权分配方法。该方法在确定和谐分配原则的基础上,选取具体表征指标构建了流域排污权和谐评价指标体系,应用层次分析法对流域初始排污权进行初次分配,并运用和谐方程对其进行和谐评估,以流域和谐度最大为目标建立优化调控模型,采用 Matlab fmincon 函数实现对初始排污权的优化分配。将该方法应用于沙颍河流域行政区间的初始排污权分配,从区域和谐的角度得到了初始排污权分配优化方案,经对比分析,优化方案更符合各个区域的水功能区纳污能力和排污现状,表明基于和谐目标优化的初始排污权分配方法具有较好的合理性和科学性。

关键词:流域;初始排污权;和谐论;和谐目标优化;排污权和谐分配;沙颍河

中图分类号:TV213.4;F407.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2015)02-0012-05

The allocation methods of watershed initial emissions permits based on harmonious objectives optimization//
WANG Yanyan, DOU Ming, LI Guiqiu, YU Lu (College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to solve the contradiction caused by the unreasonable allocation of initial emissions permits among different regions, the quantitative methods of harmony theory were introduced to the research, and the allocation methods of watershed initial emissions permits based on harmonious objectives optimization were put forward. On the basis of harmonious distribution principles, harmony evaluation index system of watershed emissions permits was built with the specific characterization indicators. And the method of analytic hierarchy process was applied to get the first allocation weight, then harmony equation for each index was established to assess the harmony condition of watershed initial emissions allocation combing with the weight. Finally, the optimization control model was established with the goal of the maximum of harmonious degree, and with Matlab fmincon function, authors realized the optimization allocation of initial emission permits. Also, authors took the Shaying River as an example, applied the above methods to the process of initial emission permits allocation, and got the optimization scheme from the perspective of regional harmony. Through comparison and analysis, it is concluded that the optimization scheme is more conform to the present emissions situation and pollutant carrying capacity in regional water function areas, which means the methods applied in the paper are more rational and scientific.

Key words: watershed; initial emissions permits; harmony theory; harmonious objectives optimization; the harmonious allocation of emissions permits; Shaying River

近年来的排污权交易实践表明,排污权的合理分配会对排污权交易制度的有效运行及纳污负荷总量控制目标的实现产生重大影响,故流域初始排污权分配是限制纳污总量控制制度建设的首要问题。近年来,国内学者对初始排污权分配开展了广泛的研究,邹伟进等^[1-3]对流域初始排污权分配的内涵进行了界定;张颖等^[4]总结了国内外排污权初始分

配的模式,并基于免费分配和有偿分配相组合的模式对我国初始排污权进行了新的设计;吴亚琼等^[5]从现存信息的不完全性和不对称性角度,采用博弈论方法研究了初始排污权分配的协商仲裁机制,并对结果的经济效率和公平性进行了讨论;张志耀等^[6]提出了基于经济最优、合理公平、经济发展连续性原则的污染物排污权分配方案,研究了以这些

基金项目:国家社会科学基金(12&ZD215);国家自然科学基金(U1304509);河南省高校科技创新团队支持计划(13IRTSTHN030)

作者简介:王艳艳(1990—),女,河南驻马店人,硕士研究生,主要从事水文及水资源研究。E-mail:yanyan20090520122@163.com

通信作者:窦明(1975—),男,山东桓台人,教授,博士,主要从事水资源与水环境研究。E-mail:dou_ming@163.com

方案为基础的群体决策方法,并给出了污染物总量分配的群体决策分配模型;赵云峰等^[7]运用层次分析法,在保证公平性的基础上,确定了辽河流域化学需氧量和氨氮排污权的初始分配值;尚静石^[8]在考虑处理费用最小的条件下,建立了动态规划数学模型,给出了初始排污权分配的方案;王媛等^[9]建立了以基尼系数最小化为目标的规划模型,制定了基于公平性的水污染物总量的区域初始分配方案。以上方法的提出,为流域初始排污权的分配开辟了新的思路,但很少有从区域间和谐共处的视角对流域初始排污权分配进行的研究,而运用和谐论方法能有效解读初始分配中的各种不和谐因素,为区域间的排污权分配提供新的思路和方法。为此,本文提出一种基于和谐目标优化的流域初始排污权分配方法,并将其应用于沙颍河流域,得到了沙颍河流域8个行政区的初始排污权优化分配方案,可供该流域有效合理分配水体纳污能力、缓解水环境压力提供参考。

本文研究基于水生态文明建设和流域自然资源产权理论,结合左其亭教授《和谐论:理论·方法·应用》^[10]中的和谐理论和量化方法,给出了流域初始排污权优化分配的步骤,即在确定流域初始排污权和谐分配原则的基础上,选取具体指标以描述各原则下的和谐状态;应用层次分析法对流域初始排污权进行初次分配,并运用和谐方程、加权法、准则集成法对其进行和谐评估;以流域和谐度最大为目标建立优化调控模型,采用 Matlab fmincon 函数实现对初始排污权的优化分配(即二次分配),最终优选出流域和谐度最大的排污权分配方案。

1 基于和谐分配理念的流域排污权分配原则

对于一个流域来说,由于其上下游之间的不均衡发展和水资源禀赋差异较大,会引起排污和用水行为的不协调,进而引起流域实际排污负荷量超过纳污能力的情况发生。在寻求解决水污染问题的途径时,合理分配流域不同地区的排污权、有效控制污染物入河总量是行之有效的办法。我国目前尚未建立规范的排污权交易制度,致使初始排污权界定不明确,各地区因排污权使用问题而引发的纠纷事件也呈上升趋势,流域经济、社会、环境发展呈现不和谐状态。流域初始排污权的和谐分配就是在严格水功能区排污限制的基础上,协调平衡各种不和谐因素,改善水环境质量,提高资源的配置效率,保障区域经济、社会、环境协调发展,使流域呈现总体和谐的状态。

排污权初始分配是一个涉及人与自然多方面关

系协调的问题,有必要从人水和谐的角度来对其进行和谐分配。依据人水和谐的理念,综合考虑流域的社会、经济、环境等多种因素,选取公平性原则、尊重现状原则、高效性原则和可持续性原则作为流域初始排污权和谐分配的原则,以此来衡量区域间初始排污权分配的和谐关系。其中,公平性原则从资源的本身属性和人们的需求角度诠释了资源与人类的和谐关系;尊重现状原则从河流的纳污能力和排污总量的角度诠释了排污和纳污的和谐关系;高效性原则从经济发展水平和资源利用效率的角度诠释了经济和排污的和谐关系;可持续原则从污水处理能力的角度诠释了当代与未来的和谐关系,归根结底反映的是人与人之间的和谐,当代人与当代人之间的和谐,当代人与未来人之间的和谐。只有人与人之间和谐相处,人与自然才能和谐发展,才能实现水资源的优化配置,提高水资源的利用效率,保证水资源的可持续利用。

2 流域初始排污权分配的和谐评价指标

为确保流域初始排污权分配具备可操作性,需要选取相应的指标来描述各分配原则的和谐状态。

a. 公平性原则。选取人口密度、土地面积、水资源总量3个具体指标进行衡量,以反映分配的公平性。人口密度能反映当地生活排污情况,直接影响流域的排污量;土地面积能在一定程度上反映人类的活动情况和污染负荷的排放情况;水资源总量能反映当地水资源的分布情况和水体纳污能力,体现了排污权分配的天然公平性。

b. 尊重现状原则。选取水功能区纳污能力、排污总量、水功能区达标率3个具体指标进行衡量。水功能区纳污能力体现了水功能区容纳某种污染物的水平,排污总量反映了流域排污现状,水功能区达标率则侧面反映了排污现状。由于排污现状已被排污企业和用户接受,不切实际的排污权分配会导致初始排污权分配的失败,不利于资源的优化配置,因此在排污权的初始分配过程中要尊重排污现状,避免排污权分配的随意性。

c. 高效性原则。选取国内生产总值、万元产值排污量两个指标进行衡量。国内生产总值反映了当地的经济水平,而万元产值排污量反映了资源的利用效率。

d. 可持续原则。选取工业废水达标排放率、污水处理能力指标进行衡量,体现了当地的治污水平。基于我国严重的水污染现状,须在加大水处理力度的基础上保证水环境的健康持续发展。

根据和谐目标、和谐原则以及选取的具体表征

指标,建立流域初始排污权分配的和谐评价指标体系如图1所示,其中流域初始排污权分配总和谐度即为和谐目标,4项分配原则即为和谐规则,具体的评价指标即为和谐因素,流域内参与排污权分配的各个行政区即为和谐参与者,和谐论五要素贯穿于流域初始排污权分配的过程中,诠释了排污权分配所蕴含的和谐本质。

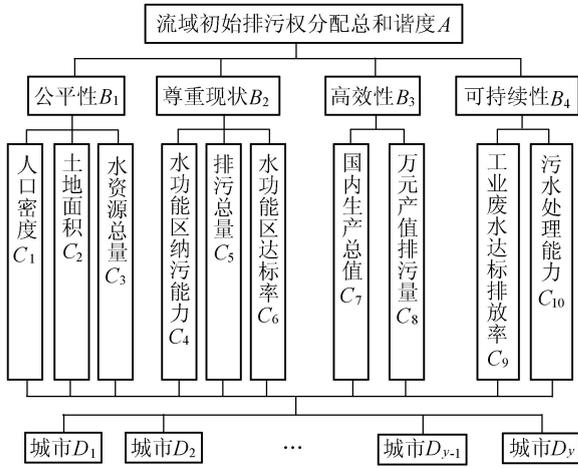


图1 流域初始排污权和谐评价指标体系

3 排污权分配和谐度计算

在对各具体表征指标进行定量化描述时,采用和谐论中的和谐度计算方程^[11]来进行量化:

$$H = a\beta - b\gamma \quad (1)$$

式中: H 为单因素和谐度, H 越接近1,表明该指标和谐度越大; a 为统一度; b 为分歧度(一般认为 $a+b=1$,即不存在既不统一也不分歧的情况); β 、 γ 分别为和谐系数和不和谐系数(取值范围均为 $[0, 1]$),具体的计算方法见文献^[12])。

流域初始排污权和谐分配问题需要考虑多方面的因素,因此可以按照加权法以及多准则集成方法进行计算。将初始排污权分配的总和谐度记为 $H_{\text{总}}$,计算公式为

$$H_{\text{总}} = \sum_{j=1}^y W_j H_{D_j} = \sum_{j=1}^y W_j (W_F H_{F_j} + W_R H_{R_j} + W_E H_{E_j} + W_S H_{S_j}) \quad (j = 1, 2, \dots, y) \quad (2)$$

其中

$$H_{F_j} = \sum_{m=1}^3 W_m H_{mj}$$

$$H_{R_j} = \sum_{n=1}^3 W_n H_{nj}$$

$$H_{E_j} = \sum_{p=1}^2 W_p H_{pj}$$

$$H_{S_j} = \sum_{q=1}^2 W_q H_{qj}$$

式中: H_{D_j} 为第 j 个排污权分配主体的和谐度; H_{F_j} 、

H_{R_j} 、 H_{E_j} 、 H_{S_j} 分别为第 j 个排污权分配主体对应各原则下的和谐度; H_{mj} 、 H_{nj} 、 H_{pj} 、 H_{qj} 分别为第 j 个排污权分配主体对应的各个原则下各个具体指标的和谐度; W_F 、 W_R 、 W_E 、 W_S 及 W_m 、 W_n 、 W_p 、 W_q 分别为公平性原则、尊重现状原则、高效性原则、可持续性原则对应的权重及各个原则下各个具体指标的权重; W_j 为第 j 个排污权分配主体的分配权重; y 为排污权分配主体数量。如果计算得到的 $H > 1$,则取 $H = 1$,若计算得到的 $H < 0$,则取 $H = 0$ 。

根据和谐度的大小,将和谐程度分为7个等级^[10],如表1所示。

表1 和谐等级划分

和谐度取值范围	和谐等级	和谐度取值范围	和谐等级
0	完全不和谐	$[0.6, 0.8)$	较和谐
$(0, 0.2)$	基本不和谐	$[0.8, 1)$	基本和谐
$[0.2, 0.4)$	较不和谐	1	完全和谐
$[0.4, 0.6)$	接近不和谐		

4 基于 Matlab fmincon 函数的和谐目标优化模型

由于运用层次分析法计算出来的权重可能与当地的实际情况不太相符,和谐评估的结果不尽如人意,为整体提高各个区域的和谐度,有必要对初始分配方案进行微调,以使流域的总体和谐度得到提升,使经济、社会和环境协调发展。下面通过优化模型的构建,采用 Matlab fmincon 函数识别出优化方案,保证初始排污权的分配更加合理。

将流域初始排污权分配总体和谐度最大(即目标函数值 $H_{\text{总}}$ 达到最大值)作为和谐目标,建立如下优化模型:

$$\begin{cases} \max H_{\text{总}} \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^y \rho_j \leq \rho_0 \\ 0.8Q_j \leq \rho_j \leq 1.2Q_j \\ W_F + W_R + W_E + W_S = 1 \\ \sum_{m=1}^3 W_m = 1 & \sum_{n=1}^3 W_n = 1 \\ \sum_{p=1}^2 W_p = 1 & \sum_{q=1}^2 W_q = 1 \\ \sum_{j=1}^y W_j = 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中: ρ_j 为每个排污权主体分配的某种污染物的限制排放量; ρ_0 为流域某种污染物的限制排放总量; Q_j 为每个排污权分配主体的水功能区纳污能力。为保障水体的可持续利用,需保证分配给各个排污主体的污染物排放总量不高于流域污染物的限制排

放量。在通常情况下将所有分配主体的污染物排放量均削减到水功能区纳污能力以下是不现实的,因此认为污染物排放量不大于当地水功能区纳污能力时,污染物排放是和谐的,当污染物排放量大于水功能区纳污能力时,和谐度降低,当污染物排放量达到或超过 $1.2Q_j$ 时,认为此时污染物的排放不和谐。

考虑到该优化模型的求解属于非线性约束优化问题,可以采用 Matlab 优化工具箱中的 `fmincon` 函数求解。`fmincon` 函数具有简洁的表达方式,易于编程,可以直接调用 Matlab 工具箱中的函数对非常复杂的问题进行优化计算。虽然 `fmincon` 函数具备简单、稳定性好的特点,但初值的选取对优化结果的影响比较大,因此给定的合理初值对最优解的识别就起到至关重要的作用。本优化模型的初值是依据层次分析法,在综合考虑社会、经济和环境方面影响的基础上计算出来的,具有一定的合理性,比较接近较优解,故采用 `fmincon` 函数能在其附近寻找出目标函数的局部较优解,并将该局部较优解近似作为优化模型的较优解。

5 实例应用

沙颍河流域是我国淮河最大的一条支流,发源于河南省伏牛山区,流经豫、皖两省的平顶山、漯河、许昌、周口、阜阳等 8 市,全长 620 km,流域面积 39 880 km²,约为淮河流域面积的 1/7。沙颍河在为淮河干流带来充沛水量的同时,也带来了 60% 以上的污染物。从 20 世纪 80 年代开始,源源不断的生活污水和工业废水将原本鱼虾肥美的沙颍河变得面目全非,水质越来越差。

5.1 沙颍河流域排污权的确定

根据淮河流域的水功能区规划成果,运用淮河流域水资源三级分区套行政区的分区结果,将作为主要支流的沙颍河流域的洛阳市、郑州市、开封市、许昌市、平顶山市、漯河市、周口市、阜阳市 8 个地级行政区作为排污权分配的主体,选取污染物中较易获取资料的 COD 作为排污权分配的客体。由于排污权比较抽象,采用限制排污总量进行衡量,以使分配具有可操作性。根据《淮河流域纳污能力及限制排污总量研究》^[13] 的成果:沙颍河流域的排污权(即限制排污总量)为 82 810 t/a(COD)。限制排污总量计算时的水文数据采用 90% 保证率下的最枯月平均流量,为保持水文数据的一致性,在对水资源总量、水功能区达标率等其他评价指标取值时,所选用的水文数据也采用近似频率下枯水年的来水条件。

5.2 基于和谐方程的排污权初次分配

运用层次分析法,通过构造比较矩阵,采用

Matlab 编程,由上至下计算出相邻两层之间的排序值,再计算 B、C 和 D 层对目标 A 层(其中,A、B、C、D 层分别表示图 1 自上而下的 4 层)的总排序权值如下: $W_B = (0.3021, 0.6325, 0.0653, 0.1414)$; $W_C = (0.2020, 0.0266, 0.0734, 0.1789, 0.4070, 0.0467, 0.0163, 0.049, 0.1061, 0.0354)$; $W_D = (0.0802, 0.1835, 0.103, 0.083, 0.1204, 0.1218, 0.1518, 0.1564)$ 。将决策层 D 的总排序权值乘以流域的限制排污总量即得各个排污权分配主体的排污权分配方案,即流域洛阳、郑州、开封、许昌、平顶山、漯河、周口、阜阳 8 个行政区的初始排污权分别为 6 639 t/a、15 194 t/a、8 532 t/a、6 869 t/a、9 968 t/a、10 085 t/a、12 573 t/a、12 950 t/a。然后运用单指标和谐方程、加权以及多准则集成的方法,由下至上计算各个排污主体各原则下具体指标的单指标和谐度,再由加权法和多准则集成法计算各个排污主体的和谐度(表 2),最后应用加权法计算流域总和谐度为 0.6340,达到较和谐的状态。

表 2 沙颍河流域和谐评估结果

分配主体	和谐度		和谐等级	
	初次分配	二次分配	初次分配	二次分配
洛 阳	0.3722	0.7791	较不和谐	较和谐
郑 州	0.8241	0.8241	基本和谐	基本和谐
开 封	0.1852	0.5921	基本不和谐	接近不和谐
许 昌	0.5625	0.5625	接近不和谐	接近不和谐
平顶山	0.6794	0.6794	较和谐	较和谐
漯 河	0.6611	0.6611	较和谐	较和谐
周 口	0.6941	0.6941	较和谐	较和谐
阜 阳	0.7640	0.7640	较和谐	较和谐
沙颍河流域	0.6340	0.7085	较和谐	较和谐

从分配原则上看,尊重现状原则的排序权值最大,为 0.6325,其次是公平性原则,权重为 0.3021。这应该与沙颍河流域严重的污染现状有关,尽管削减排污量、还河流水环境容量空间很重要,但是考虑到经济发展的重要性和当地产业结构的不合理性、污水处理效率低等原因,流域初始排污权分配首要考虑的问题还应该是各个排污权主体的排污现状。从具体指标上看,人口密度所占的比重最大,为 0.2020,这表明人口密度分布集中的区域对水体的排污较多,是合理的。从分配方案来看,郑州市的排污权分配权重最大,占 0.1835,这和郑州市是河南省省会有很大的关系,人口密度大,需兼顾经济、社会的发展,因此需要支配较多的排污权以协调经济、社会、环境的发展。

虽然排污权的初次分配使流域的总和谐度达到了 0.6325,但是计算结果不尽合理,如洛阳市的现状排污量是 2 434 t/a,水功能区的纳污能力为 2 434 t/a,但是流域初始分配的排污量却为 6 639 t/a,不切合

实际,因此需要对流域初始排污权的分配进行微调,以使流域的排污权分配方案更加合理。

5.3 基于和谐目标优化的排污权二次分配

经分析,沙颍河流域污染严重,考虑到经济、社会的发展需要,将流域总排污权全部分配到各个排污主体,以保证经济、社会、环境的协调发展,即 $\sum_{j=1}^8 W_j = W_0$ 。运用本文优化模型,通过 Matlab 编程,将目标函数的负数 (fmincon 函数求的是目标函数的最小值) 作为 fmincon 函数的目标函数,得到各个排污主体的和谐度 (表 2) 和排污权分配的优化分配方案,即优化后 8 个行政区的排污权分别为 2 222 t/a、18 207 t/a、5 139 t/a、7 721 t/a、9 468 t/a、9 868 t/a、13 847 t/a、16 338 t/a。

由表 2 可以看出:经过优化分配,流域的总和谐度由 0.6340 提升到 0.7085,仅仅是有了稍微的提高,并没有显著的提高,但是洛阳市、开封市排污权分配的和谐度有了较大的提升,本质上是将原先分配给洛阳市、开封市的排污权部分调整到其他区域,使得这两个地级行政区的排污分配更加合理,区域的和谐度均增加。

表 3 为流域各个排污主体的排污总量、水功能区纳污能力、初次排污权分配以及二次排污权分配结果。

表 3 沙颍河流域排污总量、纳污能力与排污权分配结果对比 t/a

分配主体	排污总量	水功能区纳污能力	排污权	
			初次分配	二次分配
洛 阳	2434	2434	6639	2222
郑 州	59238	17910	15194	18207
开 封	38051	5265	8532	5139
许 昌	23730	6807	6869	7721
平顶山	21060	9580	9968	9468
漯 河	41321	10473	10085	9868
周 口	55818	13570	12573	13847
阜 阳	50244	16771	12950	16338

由表 3 可以看出:就各个地级行政单元的排污总量和水功能区纳污能力相比较,除洛阳市的现状排污量与水体纳污能力相适应外,其余地级行政区的现状排污量都远远高于当地的水功能区的纳污能力,其中开封市的现状排污超过水功能区纳污能力的 7 倍,严重影响当地水环境的健康,周口市的污染情况也比较严重,现状排污超过水功能区纳污能力的 4 倍;综合考虑各个因素,排污权分配调整比较大的是洛阳市,其次是开封市和阜阳市,郑州市的调整幅度也比较大,其余行政区的排污权分配调整很小,均处在水功能区纳污能力附近,这与当地严重的污染现状有关系。洛阳市的初次分配不尽合理,达

6639 t/a,而当地的排污现状仅有 2434 t/a,而二次分配的排污权为 2222 t/a,考虑到了当地的排污现状以及水功能区纳污能力,在可接受范围内适当降低排污权分配的指标是比较合理的;郑州市作为河南省省会,人口密集,经济发展较快,在大量排污的情况下需要给予额外的排污权以满足经济发展的需要,进而带动周边城市的发展。经分析可以发现:排污权二次分配的结果更加合理,这主要是因为二次分配着重考虑了各个行政区的水功能区纳污能力情况。

综上所述,运用 fmincon 函数求解优化模型得出的局部较优解可以作为该优化模型的较优解,相对于初始分配,考虑了当地的排污现状和水功能区的纳污能力,更具有可操作性,更加符合实际需求。

6 结 语

流域排污权初始分配是我国推行自然资源产权交易制度的一个重要环节。本文提出了一套流域初始排污权和谐评价指标体系,并构建了基于 Matlab fmincon 函数的和谐目标优化模型,以沙颍河流域为例对辖区内各行政区分配的初始排污权进行计算和优化。计算结果表明,基于和谐目标优化的流域初始排污权分配方法能提高流域内排污权分配的合理性和科学性,提升流域整体和谐度,促使流域和谐发展。但是本次计算的排污权分配方案是静态的,可能会造成丰水年水资源的浪费,因此有必要在以后的研究中采用不确定性理论对初始排污权分配进行深入研究。

参考文献:

[1] 邹伟进,朱冬元,龚佳勇. 排污权初始分配的一种改进模式[J]. 经济理论与经济管理,2009(7):39-44. (ZUO Weijin, ZHU Dongyuan, GONG Jiayong. One improved model of emission rights initial allocation[J]. Economic Theory and Business Management, 2009(7):39-44. (in Chinese))

[2] 赵文会. 初始排污权分配的若干问题研究[D]. 上海: 上海理工大学,2006.

[3] 吴丹,吴芳. 流域初始排污权配置机制及方法研究[J]. 水利水电科技进展,2011,31(6):85-90. (WU Dan, WU Fang. Advances in allocation mechanism and methods of initial emission permits in basins[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011,31(6):85-90. (in Chinese))

[4] 张颖,王勇. 我国排污权初始分配的研究[J]. 绿色经济,2005(8):50-52. (ZHANG Ying, WANG Yong. A study on the initial emission permits allocation in China [J]. Green Economy, 2005(8):50-52. (in Chinese))

(下转第 51 页)

- simulation study on site selection evaluation of marine ranching zone in Xiangshan Bay: effects of thermal water discharged from coastal power plants [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21 (5): 816-824. (in Chinese)
- [4] 陈春亮, 梁春林, 卢仕严, 等. 电厂温排水对湛江湾海水温升的数值模拟及生态影响评价[J]. 台湾海峡, 2012, 31(4): 530-539. (CHEN Chunliang, LIANG Chunli, LU Shiyang, et al. Numerical simulation of seawater temperature rising and the ecological evaluation of the effect of thermal discharge from a power plant in Zhanjiang Bay [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2012, 31(4): 530-539. (in Chinese))
- [5] 贺益英. 对大水电电厂群温排水环境热影响研究的认识[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(4): 27-29. (HE Yiyang. A pondering over research on environment thermal impact of cooling water discharged from groups of power plants [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(4): 27-29. (in Chinese))
- [6] 刘成, 李行伟, 韦鹤平, 等. 长江口水动力及污水稀释扩散模拟[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(5): 474-483. (LIU Cheng, LI Xingwei, WEI Heping, et al. Numerical simulation of the hydrodynamics and sewage diffusion in the ChangJiang River Estuary [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34(5): 474-483. (in Chinese))
- [7] 栗苏文, 李红艳, 夏建新. 基于 Delft3D 模型的大鹏湾水环境容量分析[J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 91-95. (LI Suwen, LI Hongyan, XIA Jianxin. Dapeng Bay water environment capacity analysis on the base of Delft3D model [J]. Research of Environmental Sciences, 2005, 18(5): 91-95. (in Chinese))
- [8] 张继民, 张新周, 汤红亮, 等. Delft3D 在海湾电厂温排水数值模拟中的应用[J]. 人民长江, 2009, 40(1): 59-62. (ZHANG Jimin, ZHANG Xinzhou, TANG Hongliang, et al. Application of Delft3D in numerical simulating of thermal discharge from power plant in the bay [J]. Yangtze River, 2009, 40(1): 59-62. (in Chinese))
- [9] 陆仁强, 何璐珂. 基于 Delft3D 模型的近海水环境质量数值模拟研究[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(6): 878-880. (LU Renqiang, HE Luke. Study on numerical simulation of environmental quality in coastal water based on Delft3D model [J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(6): 878-880. (in Chinese))
- [10] 陈琴. 基于 Delft3D 的洪水污染物输移过程研究: 以钱塘江典型洪水过程为例[J]. 人民长江, 2013, 44(3): 67-74. (CHEN Qin. Study on transport of pollutant in flood by Delft3D: the case of typical flood process of Qiantang River [J]. Yangtze River, 2013, 44(3): 67-74. (in Chinese))

(收稿日期: 2013-12-26 编辑: 熊水斌)

(上接第 16 页)

- [5] 吴亚琼, 赵勇, 吴相林, 等. 初始排污权分配的协商仲裁机制[J]. 系统工程, 2003, 21(5): 70-73. (WU Yaqiong, ZHAO Yong, WU Xianglin, et al. The bargaining and arbitration mechanisms of the allocation of the initial emission permits [J]. Systems Engineering, 2003, 21(5): 70-73. (in Chinese))
- [6] 张志耀, 张海明. 污染物排放总量分配的群体决策方法研究[J]. 系统科学与数学, 2001, 21(4): 473-479. (ZHANG Zhiyao, Zhang Haiming. Study on group decision method in allocation of pollutant discharge total [J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2001, 21(4): 473-479. (in Chinese))
- [7] 赵云峰, 徐大伟, 候铁珊, 等. 基于 AHP 的辽河流域排污权初始分配值测算[J]. 统计与决策, 2013(2): 50-53. (ZHAO Yunfeng, XU Dawei, HOU Tieshan, et al. The calculation of liaohu watershed emissions permits initial allocation based on AHP method [J]. Statistics & Decision, 2013(2): 50-53. (in Chinese))
- [8] 尚静石. 动态规划在河流初始排污权分配中的应用[J]. 东北水利水电, 2006(5): 9-10. (SHANG Jingshi. Application of dynamic planning in river primary below down right allocation [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2006, (5): 9-10. (in Chinese))
- [9] 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. (WANG Yuan, NIU Zhiguang, WANG Wei. Application of gini coefficient in total waste load district allocation for surface water [J]. China Population, Resources and Environment, 2008, 18(3): 177-180. (in Chinese))
- [10] 左其亭. 和谐论: 理论·方法·应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [11] 左其亭. 人水关系的和谐论研究[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(4): 469-477. (ZUO Qiting. Research on the harmony theory method of human-water relationship [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2012, 27(4): 469-477. (in Chinese))
- [12] 左其亭. 和谐论及其应用的关键问题讨论[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(5): 101-104. (ZUO Qiting. Key problems and its application of harmony theory [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(5): 101-104. (in Chinese))
- [13] 汪斌. 淮河流域纳污能力及限制排污总量研究[R]. 蚌埠: 淮河水利委员会, 2006.

(收稿日期: 2013-12-18 编辑: 熊水斌)