第29卷第2期
2018年 4月

水资源与水工程学报
Journal of Water Resources & Water Engineering

Vol. 29 No. 2
Apr. ,2018

DOI:10.11705/j. issn. 1672 – 643X. 2018. 02. 03

基于纳污控制的流域初始排污权配置模式研究

张丽娜[1]，沈俊源[2]，于倩雯[2]

（1. 湖北经济学院 经济与环境资源学院，湖北 武汉 430205；2. 河海大学 商学院，江苏 南京 211100）

摘　要：面向纳污红线控制要求，结合我国流域纳污总量分解实践，以“纳污总量控制、兼顾公平和效益、尊重区域水环境容量差异、保障社会经济发展连续性”为配置原则，构建流域初始排污权多因素混合配置模式，并从配置模式的侧重点和功能角度，与现时经济活动量配置模式、非经济因子配置模式和排污绩效配置模式进行对比分析。以太湖流域为例研究结果表明：多因素混合配置模式集聚多种配置模式的优点，与水环境容量配置模式的配置方案比较接近，实现流域水环境纳污总量控制的有效分解，但适度提高了江苏省和上海市的COD、NH_3—N和TP的初始排污权量，有利于促进经济的持续增长和社会公平。同时该配置模式操作简便，易于推广。

关键词：纳污控制；流域初始排污权；模式；多因素混合配置；太湖流域

中图分类号：X321　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672-643X(2018)02-0013-06

The model of basin initial emission rights allocation under the total emission control of water pollutants

ZHANG Lina[1], SHEN Junyuan[2], YU Qianwen[2]

(1. *School of Economics and Environmental Resources*, *Hubei University of Economics*, *Wuhan* 430205, *China*;
2. *School of Business*, *Hohai University*, *Nanjing* 211100, *China.*)

Abstract: According to the red line of emission control of water pollutants, and the basin total emission quantity control allocation practice in China, this paper established a combined multi – factor allocation model for initial basin emission rights allocation in the principle of total emission control of water pollutants, the balance of fairness and benefits, respect for the difference of regional water environment, and guarantee of the continuous development of society and economic. From the perspective of the configuration model's focus and function, a comparison analysis was made with the current economic activity allocation model, non – economic factor allocation model and the discharge performance allocation model. The research results taking Taihu Basin as an example showed that multiple hybrid allocation mode aggregated the advantages of the variety of configuration patterns, and it is closed to the water – environmental – capacity allocation mode, It has realized the effective decomposition of the total emission control of basin water pollutants. At the same time, it is beneficial to promote economic growth and social justice with moderately increasing the amount of the initial emission permits of COD and NH_3—N and TP in Jiangsu province and Shanghai city. Meanwhile, this allocation mode is convenient to operate and spread.

Key words: the total emission control of water pollutants; basin initial emission rights allocation; model; multifarious allocation model; Taihu basin

1　研究背景

在全球气候变化和人类活动的双重影响下，水环境恶化、水生态退化等问题日益复杂[1-2]。流域内区域间排污冲突不断爆发，流域初始排污权配置是解决该矛盾的有效途径，也是排污权交易中争议最大和最困难的问题[3]。开展流域水功能区限制纳污红线管理，严格控制污染物入河湖总量，是落实

收稿日期:2017-09-22；　**修回日期**:2017-12-05

基金项目:国家自然科学基金青年项目(41701610、71603004)；教育部人文社科项目(17YJC790194)；湖北省水事研究中心2017年度研究项目(2017B009)

作者简介:张丽娜(1986-)，女，河南商丘人，博士，副教授，主要从事水资源管理研究。

最严格水资源管理制度的核心环节[4]。基于纳污红线控制约束，选择合适的流域初始排污权配置模式，将入河湖污染物总量配置给流域内各区域，化解区域排污冲突，是一个值得研究的课题。继 1988 年我国发布《水污染物排放许可证管理暂行办法》，流域初始排污权配置研究也全面开展起来，如太湖流域分别在 2008 和 2013 年编制《太湖流域水环境综合治理总体方案》，明确水污染物排放总量控制目标。2011 年以来，各流域相继开展纳污总量分解实践。Hahn[5]指出在不完全竞争的市场中，选择合适的初始排污权配置模式对排污权交易体系的构建至关重要。近年来，许多学者从不同角度对流域初始排污权配置模式开展研究，主要成果如下：(1)现时经济活动量或非经济因子配置模式。黄玲花等[6]以单位土地面积探索初始排污权配置模式。完善等[7]分别构建基于经济最优性和公平性的流域初始排污权配置模型。Wang 等[8]提出了分两阶段实现公平和效率的排污权配置方法。(2)多指标混合配置模式。仇蕾等[9]兼顾效率和公平，基于 AHP 法确定淮河流域排污权初始分配方案。Sun 等[10]兼顾公平效率，提出基于信息熵的排污权配置模式。(3)排污绩效配置模式。张丽娜等[11]以纳污控制为约束，利用区间两阶段随机规划(ITSP)方法构建省区初始排污权配置模型。王艳艳[12]构建基于限排总量逐层分解的流域两层排污权分配模型。Nikoo 等[13]分用户合作和非合作两种情景提出排污权博弈配置模式。Mahjouri 等[14]从多利益相关者合作的角度，提出基于退回讨价还价法(FB)的排污权配置模式。王洁方[15]利用竞争性配置方法构建基于自身排污配比最大化的排污权配置模式。

国内外学者对流域初始排污权的研究集中在从兼顾经济性或公平性出发，考虑流域内各区域的政策、水环境容量等条件约束，构建符合区域特性的配置模式，实现初始排污权的合理配置，但适应纳污红线控制要求的流域初始排污权配置模式研究尚处于起步阶段，方法的可操作性低。因此，面向纳污红线控制要求，结合我国流域水污染的实际情况，通过对现时经济活动量配置模式、非经济因子配置模式和排污绩效配置模式的基本原理解析，比较 3 种模式的侧重点、功能及不足，构建操作简单、实用、易于推广的流域初始排污权配置模式，为我国 53 条跨省流域初始排污权的纳污总量分解政策的制定提供决策参考。

2 流域初始排污权配置模式的比较分析

2.1 流域初始排污权配置模式的原理分析

2.1.1 现时经济活动量配置模式 又称改进现状配置模式，初始排污权配置以达标排放基础上的现状排放量为依据[16]，配置模型为：

$$WP_{idt} = (1 - (WP_{idt})_0 / WP_{idt_0}) \cdot WP_{idt_0} \quad (1)$$

式中：WP_{idt} 和 $(WP_{idt})_0$ 表示规划年 t 区域 i 关于水污染物 d 的初始排污权量和纳污控制总量，t/a；WP_{idt_0} 表示基准年 t_0 区域 i 关于水污染物 d 的达标排放量，t/a。

2.1.2 非经济因子配置模式 非经济因子配置模式包括水环境容量配置模式、人口配置模式和面积配置模式。三者配置原理基本相同，以水环境容量配置模式为例进行解析，该模式配置模型为：

$$WP_{idt} = (WEC_{idt} / \sum_{i=1}^{m} WEC_{idt}) \cdot (WP_{dt})_0 \quad (2)$$

式中：WEC_{idt} 表示规划年 t 区域 i 关于水污染物 d 的水环境容量，t/a；$(WP_{dt})_0$ 表示规划年 t 关于水污染物 d 的流域入河湖限制排污总量，t/a。

2.1.3 排污绩效配置模式 传统排污绩效是指污染物排放量与利税或者产值的比值，排污绩效法是指将排污绩效与各排污单位的基准年产值相乘得到的初始排污权配置量[16]。但是该方法难以全面考虑区域的真实利税或者产值的污染物排放强度，具有片面性。针对该问题，借鉴相关研究成果[7,17]，给出如下排污绩效配置模式：设规划年 t 区域 i 的经济发展指标为 $Q_{it}(WP_{it})$，用 GDP、经济利税贡献等指标表征经济发展水平，区域 i 关于水污染物 d 的排污绩效函数为 $V_{idt}(WP_{idt}) = V_{idt}(Q_{it}(WP_{it})/WP_{idt})$，对历年区域 i 的排放单位污染物的经济收益 $Q_{it}(WP_{it})/WP_{idt}$ 通过指数拟合法进行拟合，BWP_{idt} 由 $\partial V_{idt}(WP_{idt})/\partial WP_{idt}$ 的幂指数系数表示，则配置模型为：

$$WP_{idt} = (BWP_{idt} / \sum_{i=1}^{m} BWP_{idt}) \cdot (WP_{dt})_0 \quad (3)$$

式中：BWP_{idt} 表示规划年 t 区域 i 关于水污染物 d 的排污绩效，10^4 元/t。

在该配置模式中，经济绩效指标的选取会对配置结果产生显著影响，可结合区域具体情况选择 GDP、经济利税贡献、经济发展规模贡献、对劳动就业贡献等测算指标中的一种或几种。

2.1.4 多因素混合配置模式 流域初始排污权配置是由水环境现状、社会经济技术发展水平、水环境

资源禀赋差异等多种因素共同作用的结果，应充分考虑其产生的各种影响[18]。本文以"纳污总量控制、兼顾公平和效益、尊重区域水环境容量差异、保障社会经济发展连续性"为配置原则，对现时经济活动量配置模式、非经济因子配置模式和排污绩效配置模式的配置结果进行加权综合，从而构建多因素混合配置模式，确定各区域初始排污权量，其配置模型为：

$$WP_{idt} = \sum_{j=1}^{n} \omega_j \cdot WP_{ijdt} \quad (4)$$

式中：ω_j（$\sum_{j=1}^{n} \omega_j = 1$）表示 j 种配置模式的加权值。权重确定的关键是合理融合各个配置模式所蕴含的信息。

由于 AHP 法[19]以定性与定量相结合的方式融合决策者对多因素重要性的经验和判断，简单实用，尤其在处理涉及意愿、偏好等难以量化的影响因素权重确定方面，优势显著。因此，本文采用 AHP 法确定各种配置模式的权重。

2.2　配置模式侧重点及功能比较分析

现时经济活动量配置模式、非经济因子配置模式、排污绩效配置模式和多因素混合配置模式各具有其侧重点及不足。具体比较分析内容见表 1。

表 1　4 类流域初始排污权配置模式的比较分析

配置模式		侧重点及功能	不　足
改进现状配置模式		能较好的衔接现行的排污收费制度，易于被各区域所接受	配置结果倾向于既得利益，缺乏公平和正义
非经济因子配置模式	人口配置模式	保障流域内各区域人民均享有同等的排污权，体现配置的公平性	配置结果更加倾斜于以劳动力密集型产业为主的区域
	面积配置模式	保障河岸优先权，具有自然、公平、合理的特征	区域面积与其他生产要素分布并非简单的比例关系，配置结果片面
	水环境容量配置模式	考虑各区域的水环境纳污能力，符合自然环境特征，有利于实现人水和谐	没有考虑到上游水污染对下游水质的影响，对下游来讲欠缺公平
排污绩效配置模式		体现排污权配置效率，可淘汰高污染企业，促进区域产业结构优化	不利于弱势群体保护，可能会损害欠发达区域的基本用水需求。
多因素混合配置模式		综合各个方面的因素和意见，能反映决策者的谈判能力和偏好，配置结果较易被各区域所接受	改进现状配置、非经济因子配置和排污绩效配置 3 种模式的权重确定难度大

3　实例研究

3.1　数据选取与处理

太湖流域是我国水资源相对丰富的地区之一，然而该流域"蓝藻病"久治不愈[20]，水质型缺水严重。为落实纳污红线控制制度，太湖流域亟需加强纳污总量控制管理，开展流域初始排污权配置研究。COD、NH_3—N 和 TP 为太湖流域纳污控制的关键控制指标。通过太湖流域各区域《2000－2012 年统计年鉴》、《2003－2012 年太湖流域及东南诸河水资源公报》、太湖流域各区域《环境状况公报》、《太湖流域水环境综合治理总体方案（2013 年）》以及实地调研等方式，得 2000－2012 年太湖流域各区域人口、面积、GDP、环境容量和主要污染物入河湖量的数据。由于太湖流域各个规划方案采用的纳污能力预测方法和基准年选取不同，导致规划年 2020 年流域主要污染物入湖控制总量存在差异，但为严格落实纳污红线控制制度，选取 COD、NH_3—N 和 TP 入河湖控制总量的最小值为纳污控制总量，分别为 393573.05、36918.00 和 5233.16 t/a。2000－2012 年流域内区域 i 的 GDP 与 COD、NH_3—N 和 TP 入河湖量的比值 $Q_i(WP_{id})/WP_{id}$，$d = 1,2,3$，$i = 1,2,3$ 分别代表江苏省、浙江省和上海市，数值见表 2。

运用指数拟合法对 2000－2012 年江苏省、浙江省和上海市 GDP 与污染物入河湖量的比值进行拟合，得到 3 个区域关于 COD、NH_3—N 和 TP 的排污绩效函数，鉴于篇幅有限，仅列出 3 个区域关于 COD 的排污绩效函数及拟合曲线图，见图 1。通过对 9 个入河湖排放绩效函数求导，得幂指数系数 $BW_{ij} = \partial V_{id}(W_{id})/\partial W_{id}$，即 $BW_{11} = 7.48$；$BW_{12} = 71.75$；$BW_{13} = 471.39$；$BW_{21} =$

4.01;BW_{22} = 36.33;BW_{23} = 226.43;BW_{31} = 9.94;　BW_{32} = 131.56;BW_{33} =725.4。

表 2　2000－2012 年太湖流域各区域 GDP 与污染物控制指标入河湖量的比值　　10^4 元/t

年份	江苏省			浙江省			上海市		
	$\frac{Q_1(WP_{11})}{WP_{11}}$	$\frac{Q_1(WP_{12})}{WP_{12}}$	$\frac{Q_1(WP_{13})}{WP_{13}}$	$\frac{Q_2(WP_{21})}{WP_{21}}$	$\frac{Q_2(WP_{22})}{WP_{22}}$	$\frac{Q_2(WP_{23})}{WP_{23}}$	$\frac{Q_3(WP_{31})}{WP_{31}}$	$\frac{Q_3(WP_{32})}{WP_{32}}$	$\frac{Q_3(WP_{33})}{WP_{33}}$
2000	85.27	714.01	5782.38	69.89	606.82	3617.57	201.44	2237.09	10475.93
2001	89.36	776.98	6353.03	62.86	667.80	3739.88	205.86	2258.07	11427.44
2002	94.95	847.45	6856.69	67.04	702.22	3928.74	219.11	2416.62	13164.34
2003	95.53	990.82	7568.65	68.99	766.03	4310.59	230.09	2618.31	14925.24
2004	102.97	1089.50	8738.45	66.36	781.63	4860.81	238.43	2717.43	16485.03
2005	96.88	904.18	9226.61	80.24	873.64	4903.82	249.07	3116.49	18904.87
2006	129.54	1209.78	9696.29	74.57	804.88	5001.65	257.61	3106.62	17793.80
2007	151.12	1597.51	10190.88	86.45	925.12	5405.94	271.09	3149.37	19261.73
2008	174.26	1872.19	11501.47	105.68	1013.54	5863.79	296.05	3302.39	20297.96
2009	207.25	2117.56	12422.33	113.30	1080.38	5733.43	329.07	3731.38	20813.45
2010	291.07	2224.61	14257.22	119.07	1127.41	6785.94	380.63	4253.13	21863.25
2011	307.06	2773.47	15334.79	136.03	1300.41	7948.72	347.15	4544.87	24620.37
2012	344.60	3125.29	17331.32	145.90	1284.75	8327.70	348.47	4721.80	25997.51

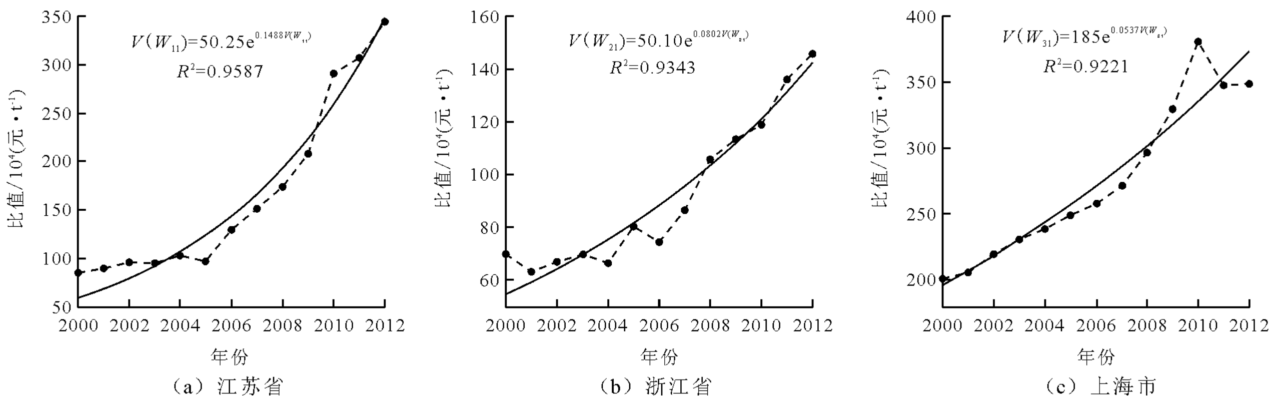

图 1　江苏省、浙江省和上海市 COD 入河湖排放绩效函数及拟合曲线

3.2　太湖流域初始排污权的配置结果

按照现时经济活动量配置模式、人口配置模式、面积配置模式、水环境容量配置模式和排污绩效配置模式,将相关数据代入公式(1)、(2)和(3),依次获得规划年 2020 年 3 个区域关于 COD、NH_3—N 和 TP 的初始排污权量。利用 AHP 法融合决策者对现时经济活动量配置、人口配置、面积配置、水环境容量配置和排污绩效配置 5 种排污权配置模式重要性的经验与判断,确定 5 种排污权配置模式的权重分别为 0.30、0.18、0.18、0.15 和 0.22,将相关数据代入公式(4),得基于多因素混合配置模式的配置方案。具体结果见表 3。

3.3　太湖流域初始排污权配置方案的合理性分析

绘制不同配置模式下 COD、NH_3—N 和 TP 的初始排污权配置结果图,见图 2,探讨太湖流域初始排污权的合理配置模式。

根据表 3,绘制不同配置模式下 COD、NH_3—N 和 TP 的初始排污权配置方案。不同配置模式下,太湖流域 3 种水污染物的配置原理是一样的,因此本文仅以 COD 为例,对比分析不同配置模式下太湖流域江苏省、浙江省和上海市的 COD 配置结果。由图 2 可知,按照现时经济活动量配置模式,浙江省占较大优势,但难以体现经济效益;按照面积配置模式,江苏省占较大优势,上海市处于劣势,这与太湖

流域经济产业发展布局不匹配；如果按照排污绩效配置模式，上海市占绝对优势，主要体现效率，难以兼顾公平，保障浙江省基本生活用水需求和基本农业用水需求；人口配置模式与水环境容量配置模式相差不大，相比于浙江省，上海市常住人口多，略占优势，主要体现社会公平；多因素配置模式与水环境容量配置模式的配置方案比较接近，严格实施区域水环境纳污控制制度，并保持经济的持续增长，适当提高江苏省和上海市的 COD 排污权量，致力实现经济社会发展与水环境保护双赢，实现人水和谐共生。综上分析，多因素混合配置模式集聚了多种配置模式的优点，配置结果合理，相比于基于区间两阶段随机规划模型的配置模式[7,11]，数据易于搜集，简单实用，可推广性强。因此，本文将基于多因素混合配置模式的配置结果，作为 2020 年太湖流域初始排污权的配置推荐方案。

表 3　不同配置模式下的太湖流域初始排污权配置方案　　t/a

配置模式	行政区划	COD 排污权量	NH_3—N 排污权量	TP 排污权量
改进现状配置模式	江苏省	140993.06	14405.54	2163.29
	浙江省	142204.79	14964.39	1926.10
	上海市	110375.20	7548.07	1143.77
人口配置模式	江苏省	145703.05	13667.26	1937.35
	浙江省	105210.38	9868.96	1398.93
	上海市	142659.61	13381.78	1896.88
面积配置模式	江苏省	208206.26	19530.20	2768.42
	浙江省	129792.17	12174.79	1725.79
	上海市	55574.62	5213.02	738.95
水环境容量配置模式	江苏省	143939.19	16623.00	2248.20
	浙江省	104553.00	10704.60	1814.40
	上海市	133463.86	9225.05	1108.00
排污绩效配置模式	江苏省	150626.44	10863.85	1723.04
	浙江省	25749.88	1743.31	260.71
	上海市	195403.24	20656.42	2710.75
多因素混合配置模式	江苏省	151802.05	14049.34	2068.43
	浙江省	94035.52	9234.57	1299.24
	上海市	139236.95	12446.42	1689.12

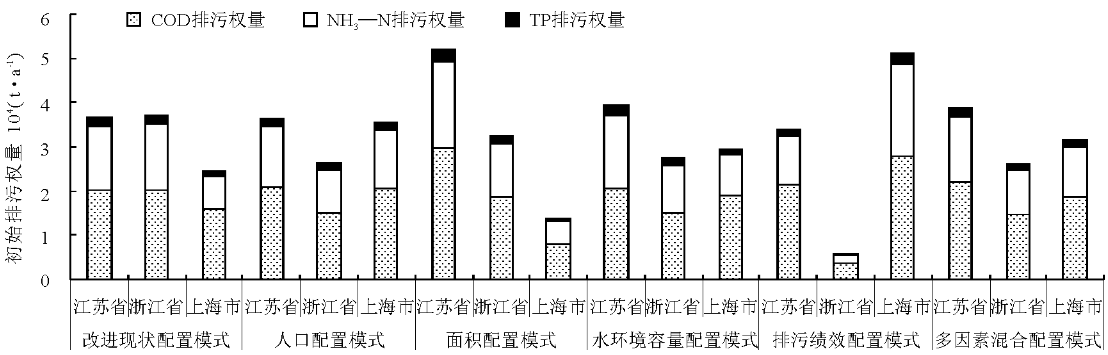

图 2　不同配置模式下 COD、NH_3—N 和 TP 的初始排污权配置方案

4　结论与讨论

（1）对比分析现时经济活动量配置模式、非经济因子配置模式、排污绩效配置模式和多因素混合配置模式的配置侧重点及功能，结果表明：多因素混合配置模式全面考虑了历史排污达标情况、社会经

济发展连续性、水环境资源禀赋差异、社会公平性、经济效益性等多种因素,兼顾公平和效率,能较好地体现“纳污总量控制、兼顾公平和效益、尊重区域水环境容量差异、保障社会经济发展连续性”的初始排污权配置原则。但合理融合各个配置模式所蕴含信息的权重确定方法的选取,是确定最终配置方案的关键,值得进一步研究。

(2)对比分析不同配置模式下,太湖流域 COD、NH_3—N 和 TP 的初始排污权的配置方案,结果表明,多因素配置模式集聚了多种配置模式的优点,并与水环境容量配置模式的配置方案比较接近,实现流域水环境纳污总量控制的有效分解,但适度提高了江苏省和上海市的 COD、NH_3—N 和 TP 的初始排污权量,有利于促进经济的持续增长和社会公平,致力实现经济社会发展与水环境保护双赢,同时,操作简便,易于推广,以其该模式在我国 53 条跨省流域得到借鉴推广。

(3)目前,流域初始排污权配置是政府主导下的水污染物免费配置模式,是政策性较强的行为。因此,在流域初始排污权配置过程中应该充分发挥政府宏观调控作用。一是建议太湖流域管理机构建立排污奖惩制度,考核结果作为区域政府领导综合考核评估的重要依据;二是建议太湖流域管理机构制定和执行严格的环境标准,两省一市要发挥市场在初始排污权配置中的决定性作用,助推落后产能的限制与淘汰,进行产业结构调整;三是建议两省一市完善产业结构布局,尽快建立治污设施跨区域共享机制,更好地发挥治污设施的功能。

参考文献:

[1] ELIASSON J. The rising pressure of global water shortages[J]. Nature,2015,517(7532):6.

[2] BURROWS W, DOHERTY J. Gradient - based model calibration with proxy - model assistance[J]. Journal of Hydrology,2016,533:114 - 127.

[3] 刘 钢,王慧敏,仇 蕾. 湖域工业初始排污权合作配置体系构建——以太湖流域为例[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(10):1223 - 1229.

[4] 黄彬彬,王先甲,胡振鹏,等. 基于纳污红线的河流排污权优化分配模型[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(12):1508 - 1513.

[5] HAHN R W. Market power and transferable property rights[J]. Quarterly Journal of Economics,1984,99(4):753 - 765.

[6] 黄玲花,刘宁杰,农卓恩,等. 以单位土地面积探索排污权初始指标分配模式[J]. 桂林理工大学学报,2016,36(2):361 - 367.

[7] 完 善,李寿德,马琳杰. 流域初始排污权分配方式[J]. 系统管理学报,2013,22(2):278 - 281.

[8] WANG Sufeng, YANG Shanlin. Carbon permits allocation based on two - stage optimization for equity and efficiency: a case study within China[J]. Advanced Materials Research,2012,518/523:1117 - 1122.

[9] 仇 蕾,陈 曦. 淮河流域水污染物的初始排污权分配研究[J]. 生态经济,2014,30(5):169 - 172.

[10] 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,2013,70:50 - 54.

[11] 张丽娜,吴凤平,王 丹. 基于纳污能力控制的省区初始排污权 ITSP 配置模型[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(8):88 - 96.

[12] 王艳艳. 基于纳污控制的流域排污权分配及交易研究[D]. 郑州:郑州大学, 2016.

[13] NIKOO M R, BEIGLOU P H B, MAHJOURI N. Optimizing multiple - pollutant waste load allocation in rivers: an interval parameter game theoretic model[J]. Water Resources Management,2015,30(12):1 - 20.

[14] MAHJOURI N, BIZHANI - MANZAR M. Waste load allocation in rivers using fallback bargaining[J]. Water Resources Management,2013,27(7):2125 - 2136.

[15] 王洁方. 总量控制下流域初始排污权分配的竞争性混合决策方法[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(5):88 - 92.

[16] 于术桐,黄贤金,程绪水,等. 流域排污权初始分配模式选择[J]. 资源科学,2009,31(7):1175 - 1180.

[17] 宋春花. 主要污染物初始排污权分配方法研究[D]. 长春:吉林大学,2014.

[18] 于术桐,黄贤金,程绪水,等. 流域排污权初始分配模型构建及应用研究——以淮河流域为例[J]. 资源开发与市场,2010,26(5):400 - 404.

[19] 吴凤平,陈艳萍. 流域初始水权和谐配置方法研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.

[20] 李魏武,陶 涛,邹 鹰. 太湖流域水资源可持续利用评价研究[J]. 环境科学与管理,2012,37(1):85 - 89.