

基于基尼系数优化熵权-TOPSIS 法的 排水权初始分配研究

沈菊琴^{1,2,3}, 杨佳佳^{2,3,4}, 王丽娟⁵, 孙付华^{1,2,3}

(1. 河海大学农业科学与工程学院, 江苏 南京 211100; 2. 长江保护与绿色发展研究院, 江苏 南京 210098;
3. 河海大学环境会计与资产经营管理研究所, 江苏 南京 211100; 4. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100;
5. 江苏汇智工程技术有限公司, 江苏 南京 210036)

摘要:借鉴现有稀缺资源的研究方法,对流域内区域间初始排水权配置的基本原则及影响因素进行分析,构建排水权初始配置的指标体系,采用熵权-TOPSIS 法对流域内区域间的排水权进行初次分配,结合基尼系数法,对排水权的初次分配结果进行优化。应用本文方法对苏南运河排水权初始分配进行算例分析,结果表明:未经基尼系数约束优化前,基于人口、GDP、区域内水域面积和年降雨量 4 个指标的基尼系数除了年降水量指标外均接近 0.4,处于不公平的区间附近,经基尼系数约束优化后,各指标基尼系数值均小于或等于 0.3,处于相对公平区间内,且年降雨量指标也由优化前的 0.2 降低至 0.08,处于绝对公平区间内。

关键词:排水权; 初始分配; 基尼系数; 熵权-TOPSIS 法

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-9511(2022)02-0046-05

排水权是在暴雨等极端天气发生时,保障区域主体不受洪涝灾害侵害为目的的区域涝水排放权利^[1]。在雨水旺季,降雨量超出河道及防洪工程行蓄洪及滞洪能力时,流域上下游、左右岸、干支流之间由于不能从流域整体的防洪除涝角度去考虑,只考虑到减轻自身的防洪压力,难以实现错峰排水,从而导致洪涝灾害的发生与加剧。仅 2020 年,由于受复杂多变气候的影响,截至 7 月 3 日,我国洪涝灾害先后造成贵州、四川、湖南等 26 省(区、市)1938 万人次受灾,121 人死亡或失踪,农作物受灾面积 1.56 万 hm²,直接经济损失 416.4 亿元^[2]。

目前,我国对于洪水管治的途径一般是采用行政指令对洪水进行强制性调度,即由政府通过观察预测并决定洪水调度的水量与方向,此方法虽然在一定程度上减轻了洪涝灾害的恶劣影响,但是上级政府对某些地方政府自己出资建设的水库、闸口没有绝对的控制权,在暴雨等特殊时期,部分地方性政府考虑到自身利益仍会出现无序排水的现象。引入排水权机制,基于排水权初始分配的基础,流域内各

区域可以在上级政府的引导下通过准市场对排水权进行交易调配,使得滞纳涝水可以适时排放至涝水淹没边际损失较小的区域,从而降低洪涝水带来的损失,同时避免无序排水造成的不必要损失,实现流域整体利益最大化和可持续发展。

排水权概念的提出给洪涝水管治带来了新的思路,而排水权的初始配置是后续排水权交易的基础。综上,本文主要研究排水权初始配置问题,尝试提出可行的初始排水权分配方案,为未来排水权的相关研究提供参考。

国内最早提出排水权的是于凤存等^[3],认为排水权是由暴雨洪水造成的涝水排放权利;张凯泽等^[4]基于演化博弈视角,提出了准市场条件下的排水权交易制度框架及运行机制;江苏省水利厅张劲松等^[5]对江苏省排水权的配置及交易进行了分析,结果表明江苏省具备排水权配置及交易的必要性及可行性;赖秀萍等^[6]构建了排水权分配的 WSR 分析框架,分析了多种影响排水权分配的因素。在排水权初始配置领域,仅有少数学者运用不同模型进

基金项目:江苏省社会科学基金(19GLD002);江苏省水利科技项目(2019013)

作者简介:沈菊琴(1962—),女,教授,博士,主要从事水资源技术经济及管理、环境资源会计等研究。E-mail:jqshen@hhu.com

通信作者:杨佳佳(1995—),女,硕士研究生,主要从事环境资源会计研究。E-mail:1324408960@qq.com

• 46 •

水利经济,2022,40(2) E-mail:jj@hhu.edu.cn http://jour.hhu.edu.cn 电话:025-83786376

行了尝试,沈菊琴等^[1]构建了基于混沌优化-投影寻踪技术的排水权初始分配模型,并以淮河流域江苏段为例进行试算,验证了模型的可行性;Zhang等^[7]从公平和效率的角度出发,建立了一个二级多目标规划模型对初始排水权进行分配;吴芳等^[8]借鉴环境基尼系数,得到各区域排水权分配的优化结果,但是该研究仅对防洪包围地区现有的排水量进行了分配优化,只考虑到基尼系数调节下的分配公平性。以上几种排水权初始分配模型都尝试了对排水权进行合理的分配,且得到了较好的分配结果,但是总体来看,排水权初始配置研究还处于探索阶段,未能形成完善的配置体系,研究成果较少,研究方法较为单一,亟待完善。

虽然排水权配置方法的相关研究还很少,但目前对于水权、排污权等稀缺资源初始配置的研究繁多。在主观赋权法下,李铁男等^[9]利用层次分析法对五常市初始水权进行了分配。此方法步骤简单,但是主观性过强,分配结果受到专家主观看法影响。在客观赋权法下,朱强等^[10]以流域内国家数量、面积占比等因素为考量标准对国际河流水权进行分配;王笑梅等^[11]通过熵权和TOPSIS确定了滬史杭灌区的初始水权分配量。以上客观赋权法进行分配时依赖于指标数据的数学逻辑计算,具有客观性,但是往往考虑因素太单一且容易忽略最终分配结果和指标之间的机理联系。随着研究的不断深入,许多学者逐渐将其他学科的运算模型和理论引入稀缺资源配置过程中,如张雷等^[12]在物元可拓理论的基础上,建立了水库初始水权的分配模型;李晓等^[13]将波尔兹曼模型应用于安徽省SO₂的初始分配中;赵文会等^[14]采用双层规划模型来解决初始排污权配置问题。以上方法的成功应用,丰富了稀缺资源配置研究的内容,具有一定的创新性。除此之外,部分学者为了使分配结果更优,进行了一些优化的尝试,靳玉莹等^[15]在承德市初始水权分配中应用了多目标优化模型;王艳艳等^[16]提出了基于和谐目标优化的初始排污权分配方法。以上优化方法对分配结果进行了不同层面的优化,让分配结果更加合理。总体来看,较多学者从多方面对稀缺资源初始配置进行了尝试,为排水权初始配置提供大量的借鉴。

基尼系数作为经济学领域中的一个概念,已经广泛应用在稀缺资源分配评价及优化的研究中。章恒全等^[17]、吴兆丹等^[18]利用基尼系数分别对湖北省用水公平性及江苏省水资源分配公平性进行了深入研究。田平等^[19]以张家港平原水网区为例,基于综合环境基尼系数最小化模型,对污染物分配优化

求解;吴文俊等^[20]将基尼系数引入松花江流域水污染物负荷分配优化过程;张卢娇等^[21]采用基尼系数法对黑龙江省排污权现状分配是否合理进行评价和优化。上述研究成果表明基尼系数法在优化求解上,具有适用性及合理性,且基尼系数法可以克服多指标综合评价方法在分配量和指标之间缺乏机理和逻辑上定量联系的问题,建立起最终分配量和各区域经济、社会、自然环境等因素的定量联系,起到对分配结果进行平衡调节的作用^[22]。

综上所述,本文在分析初始排水权配置应遵循的分配原则的基础上,考虑相应的影响因素和描述指标,建立排水权初始分配指标体系,采用熵权-TOPSIS法对流域内各区域排水权进行初次配置,并引入基尼系数,对排水权初次分配结果进行优化,使得分配结果更加公平合理。

1 初始排水权配置的指标体系

1.1 初始排水权分配的原则

借鉴其他稀缺资源研究的基础,结合排水权自身特点,得出流域内区域间初始排水权配置应遵循如下基本原则:

a. 公平性原则。流域内各区域间的排水权配置应该做到各区域之间的平等,公平是初始排水权分配的最基本原则。只有分配公平,才能得到各行政区域的支持与配合,也便于后续管理工作的进行。

b. 效率性原则。排水权分配的最终目的是为了追求区域整体防洪效益最大化,故配置过程需考虑效率性。适当将稀缺资源从社会经济贡献度低的区域流向社会经济贡献度高的区域,再对社会经济贡献度低的区域合理补偿,使得各个区域都能达到区域发展目标,从而提高排水权配置的效率性。

c. 可持续性原则。在洪涝水时期要尽可能减少对流域生态环境的破坏,所以在排水权分配过程中,还需要注重各区域的生态环境保护,实现各区域的可持续发展目标。

d. 政府引导原则。排水权初始配置需要上级政府进行引导。上级政府应根据不同区域的各项指标进行综合评估,从宏观层面上对各区域进行一定程度的协调。针对各区域的实际情况,如经济发展、技术水平等,对流域排水权分配进行合理的宏观引导。

1.2 初始排水权分配的影响因素

依据上述排水权分配原则,并结合现相关研究,得出影响排水权分配的因素如下:

a. 自然条件因素。考虑自然条件因素是排水权分配是否公平的最基本条件,自然条件因素反映

了一个区域的自然概况,也揭示了区域以往的受灾情况等。本文中对自然条件因素的描述指标选取了由洪涝灾害造成的农作物受灾面积、直接经济损失,区域年降水量、区域内排水范围面积。

b. 社会经济因素。社会经济因素体现了一个区域的社会经济发展情况,人民生活水平,灾后复建成本以及区域对流域整体的社会贡献情况等,是体现排水权分配效率的一个重要因素。本文中对社会经济因素的描述指标选取了区域人均 GDP、居民人均可支配收入、恩格尔系数、就业率。

c. 水利工程因素。水利工程作为防洪减灾的重要基础设施,在考虑排水权初始配置时必不可少,只有各个区域积极主动建设水利工程,才能使得流域整体防洪减灾能力得到提升。本文对水利工程因素的描述性指标选取了水利建设投资额及建成区排水管道密度。

d. 生态环境因素。各区域的生态环境将影响各区域可持续发展目标的实现,保护好流域内各区域的生态环境,是流域未来健康快速发展的根基。本文中对各区域生态环境因素的描述指标选取了各区域的污水处理率、水土流失面积、绿化覆盖率。

e. 政策因素。政策因素是政府引导原则的体现,政府对不同区域的开发政策是否有倾斜,也将影响到排水权初始配置的最终结果。本文对此因素选取的描述指标为地区开发政策倾斜度指数。这一指标值的确定将由相关领域专家根据各区域主体往年的洪涝灾害情况及各区域主体的经济社会可持续发展情况进行综合打分,以期达到流域整体利益最大化的分配结果。

1.3 指标体系

依据上述排水权分配原则及影响因素,选取相应的描述性指标,建立流域内各个行政区域之间的排水权初始分配指标体系,如图 1 所示。

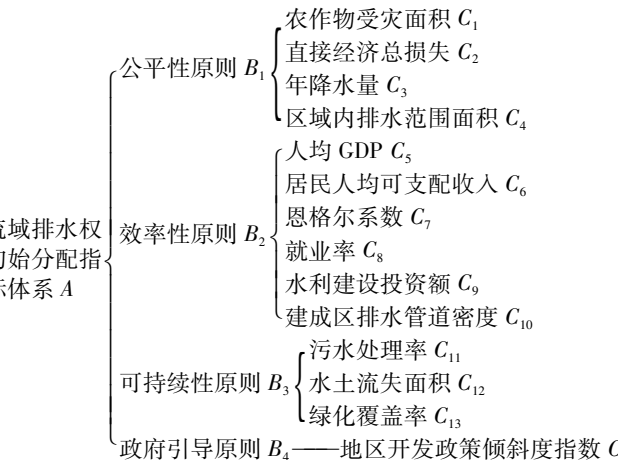


图 1 排水权初始分配指标体系

2 排水权初次分配及优化模型

2.1 构建排水权初次分配模型

2.1.1 指标值的归一化处理

设流域内共有 j 个区域参与初始排水权分配,每个区域均有 i 个指标,构成一个初始排水权分配的判定矩阵 R_{ij} ,为了使矩阵内各指标特征值 r_{ij} 能够进行合理、科学的决策,采用模糊优选法对各区域指标特征值进行归一化处理。越大越优型指标和越小越优型指标归一化公式分别为

$$b_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij\max j} + r_{ij\min j}} \tag{1}$$

$$b_{ij} = 1 - \frac{r_{ij}}{r_{ij\max j} + r_{ij\min j}} \tag{2}$$

式中: b_{ij} 为区域 j 的第 i 项指标归一化处理后的特征值; $r_{ij\max j}$ 、 $r_{ij\min j}$ 分别为区域 j 各指标特征值中的最大值和最小值。

2.1.2 基于信息熵的权重计算

某项指标值变异程度越大,它的信息熵就越小,这个指标提供的信息量也越大,则这个指标的权重也对应越大;反之则权重对应越小^[23]。依据信息熵原理计算各项指标的权重 w_i ,然后计算各区域的加权指标特征值 e_{ij} 。

$$e_{ij} = w_i b_{ij} \tag{3}$$

2.1.3 基于 TOPSIS 的排水权初次分配比例计算

TOPSIS 方法是通过检测评价对象与最优解、最劣解的距离来进行排序评价的方法,最优解的各指标值都达到各评价指标的最优值,最劣解的各指标值都达到各评价指标的最劣值^[24]。各区域的加权指标值与最优(劣)方案的距离为

$$\begin{cases} S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (e_{ij} - e_i^+)^2} \\ S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (e_{ij} - e_i^-)^2} \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \tag{4}$$

$$\begin{cases} E^+ = \{e_i^+ \mid i = 1, 2, \dots, m\} = \\ \{(\max_j e_{ij} \mid i \in I_1), (\min_j e_{ij} \mid i \in I_2)\} \\ E^- = \{e_i^- \mid i = 1, 2, \dots, m\} = \\ \{(\min_j e_{ij} \mid i \in I_1), (\max_j e_{ij} \mid i \in I_2)\} \end{cases} \tag{5}$$

式中: S_j^+ 为区域 j 的加权指标特征值与最优解之间的距离; S_j^- 为区域 j 的加权指标特征值与最劣解之间的距离; E^+ 为最优解,指所有最好指标值的集合; E^- 为最劣解,指所有最劣指标值的集合; I_1 为越大越优型指标集合; I_2 为越小越优型指标集合。计

算出每个区域与最优(劣)解的距离 $S_j^+(S_j^-)$ 后,确定各区域加权指标特征值的相对权值 C_j 及未经优化前的初次分配比例 R_j^* 。

$$C_j = S_j^- / (S_j^+ + S_j^-) \tag{6}$$

$$R_j^* = C_j / \sum_{j=1}^n C_j \tag{7}$$

2.2 基于基尼系数法的优化分配模型

基尼系数法的基本思想是在全面了解流域内各区域间自然属性及社会属性差异,并承认其差异的前提下,利用基尼系数法来对排水权分配进行优化,以使分配方案更加公平合理^[25]。国际上认为,基尼系数越小表示收入分配越平均,反之差距越悬殊,其取值范围为 $[0,1]$,小于0.2表示收入分配为绝对公平,在0.2~0.3区间内表示比较公平,0.3~0.4区间内表示相对合理,0.4~0.5区间内表示差距较大,大于0.5则表示差距悬殊。

通过综合考虑各区域的经济、社会、自然等客观因素,选择各区域的人口、GDP、区域内水域面积作为具有代表性的3个控制指标,分别代表区域的社会、经济、自然环境3个方面,另考虑到洪涝水主要由降雨造成,故将年降水量作为第4个控制指标。利用基尼系数法,算出各指标的基尼系数和各指标的基尼系数之和,在各指标的基尼系数保持在较为公平的范围内并使各指标的基尼系数之和最小化,以此对排水权分配比例进行优化。

$$\min G = \sum_{i=1}^m G_i \tag{8}$$

$$\begin{cases} G_i \leq \gamma_i \\ \sum_{j=1}^n R_j = R_0 \\ \varepsilon_{\min} \frac{C_j}{C_k} \leq \frac{R_j}{R_k} \leq \varepsilon_{\max} \frac{C_j}{C_k} \\ j, k = 1, 2, \dots, n \text{ 且 } j \neq k \end{cases} \tag{9}$$

其中 $G_i = 1 - \sum_{j=1}^n (X_{ij} - X_{i(j-1)}) (Y_{ij} + Y_{i(j-1)})$

$$\begin{cases} X_{ij} = X_{i(j-1)} + M_{ij} / \sum_{j=1}^n M_{ij} \\ Y_{ij} = Y_{i(j-1)} + R_j / \sum_{j=1}^n R_j \end{cases}$$

式中: G 为各项控制指标基尼系数之和; G_i 为基于指标 i (即人口、GDP、区域内水域面积、年降水量) 的基尼系数值; γ_i 为各指标基尼系数的阈值; R_j 为区域 j 经过基尼系数优化后的排水权初始分配比例; R_0 为流域内可分配的初始排水权分配比例总和; $\varepsilon_{\min}$ 为相对权数比例的下限系数; $\varepsilon_{\max}$ 为相对权数比例的上限系数; X_{ij} 为基于指标 i 的累积百分比; Y_{ij} 为指标 i 的初始排水权分配比例累积百分比; M_{ij} 为区域 j 指标 i 的值。当 $i = 1$ 时, $X_{i(j-1)}$ 、 $Y_{i(j-1)}$ 视为 $(0,0)$ 。其中, $\varepsilon_{\min}$ 、 $\varepsilon_{\max}$ 是为了引进基尼系数约束,体现各区域之间实际排水权分配比例与其指标体系反应的区域社会、经济、可持续发展等综合情况保持一定程度的正相关关系而设置的相对权数比例系数,可结合流域社会、经济、可持续发展规划及特点,通过咨询专家予以确定。

综上,在保障各控制指标基尼系及其之和最小的情况下,得到流域内各行政区域经过优化后的排水权初始分配比例 R_j 。

3 案例分析

苏南运河位于长江下游的太湖水网平原,总长约212 km,贯穿苏州、无锡、常州、镇江4市,受气候影响,降雨量多且集中于6月和7月。苏南运河各区域政府不断投资水利建设后,在防洪减灾方面取得了一定成果,但暴雨时期,流域内仍存在无序排水的情况,常年造成较多的洪涝损失。2018年受台风“温比亚”影响,苏南运河流域普降暴雨,各站点水位均超警戒水位,研究此年度的排水权初始配置具有一定的典型性和代表性。故从《江苏统计年鉴》《江苏水利年鉴》《水土流失公报》《水资源公报》中选取苏南运河各区域在2018年的相关指标数据,部分定性指标通过查阅相关数据和咨询专家后得出。各区域指标样本值见表1。

由于本文不研究苏南运河流域的初始排水权总量(可根据流域内常年设计水位均值信息等进行推算),故假定苏南运河流域可进行初始分配的排水权总量为 R 。考虑到流域内各区域间自然属性及社会属性差异,文中将 γ_i 值设置为0.3,即处于比较公

表1 苏南运河流域内各区域指标样本值

城市	C_1/km^2	$C_2/\text{亿元}$	C_3/mm	C_4/km^2	$C_5/\text{元}$	$C_6/\text{元}$	$C_7/\%$	$C_8/\%$	$C_9/\text{万元}$	$C_{10}/(\text{km} \cdot \text{km}^{-2})$	$C_{11}/\%$	C_{12}/km^2	$C_{13}/\%$	C_{14}
苏州	89.07	2.72	1523	1811.9	173 765	55 476	14.97	64.93	32.0	16.6	95.1	15.68	42.0	6.9
无锡	145.40	5.41	1494	824.0	174 270	50 373	17.54	59.27	20.0	24.6	98.1	134.39	43.0	7.0
常州	268.60	38.90	1622	622.9	149 277	45 933	16.25	59.77	55.0	17.5	97.2	184.00	43.1	6.9
镇江	255.40	10.86	1534	678.7	126 906	40 883	21.41	61.08	12.9	10.4	95.9	165.82	42.9	3.8

注:地区开发政策倾斜度指数系采用十进制打分法,查阅相关数据及咨询相关专家后得出。

平的区间范围内,利用 Lingo17 等计算软件,经计算可得到优化前后的 4 个区域排水权分配量结果见表 2,优化前后 4 个控制指标的基尼系数值见表 3。

表 2 优化前后各区域排水权分配量

城市	排水权分配量	
	优化前	优化后
苏州	0.14 <i>R</i>	0.26 <i>R</i>
无锡	0.24 <i>R</i>	0.20 <i>R</i>
常州	0.34 <i>R</i>	0.28 <i>R</i>
镇江	0.28 <i>R</i>	0.26 <i>R</i>

表 3 优化前后各控制指标的基尼系数值

控制指标	基尼系数	
	优化前	优化后
人口	0.37	0.25
GDP	0.43	0.30
区域内水域面积	0.48	0.30
年降水量	0.20	0.08

由表 2 可知,在没有基尼系数优化的情况下,苏州、无锡、常州、镇江的区域排水权分配量除年降水量指标外均接近 0.4 或大于 0.4,处于差距较大区间附近。

由表 3 可知,经过基尼系数优化后,苏州、无锡、常州、镇江的 4 个控制指标的基尼系数值均处于较为公平的区间范围内,且年降水量指标降低至绝对公平区间内。通过对比优化前后的基尼系数值可知,经过基尼系数对初次分配结果优化,各指标的基尼系数显著下降,很好地对初始分配结果起到了平衡调节作用,使得分配结果更加公平合理,也更能为流域内各行政区域所接受。

4 结 论

a. 通过熵权-TOPSIS 法对排水权进行初次分配,客观地对各项指标进行赋权,较好地刻画了多个影响指标的综合影响力度,得到的初次分配结果具有一定的客观性。但是考虑到此分配结果在机理和逻辑上与指标之间缺乏定量联系,引入了基尼系数法对结果进行优化。

b. 通过引入基尼系数法,建立了最终区域排水权分配量和区域经济、社会、自然环境、降雨情况 4 个方面控制指标之间符合一定逻辑关系的定量联系,且案例试算结果表明了优化的必要性。优化前除年降水量指标外,各指标的基尼系数值均处于不平等的区间内,而优化后各控制指标的基尼系数值均下降至较为公平的区间内。年降水量作为直接造成洪涝灾害发生的重要因素,此指标值在优化前后也有明显下降。

c. 本文分配模型不仅体现了分配的公平性原则,也兼顾了排水权分配的效率性、可持续性以及政府的调节作用,易于被各分配主体接受。排水权的

相关研究还亟待深入,以期洪涝水管治提供更加公平、合理、高效的方法。

参考文献:

[1] 沈菊琴,李琳,张凯泽,等. 基于混沌优化-投影寻踪的排水权初始配置研究[J]. 资源与产业,2019,21(6): 39-47.

[2] 刘朝晖. 暴雨倾“缸”的中国,防汛形势严峻[J]. 新民周刊,2020(25):20-23.

[3] 于凤存,王友贞,袁先江,等. 排水权概念的提出及基本特征初探[J]. 灌溉排水学报,2014,33(2):134-137.

[4] 张凯泽,沈菊琴. 准市场下我国排水权交易管理研究: 基于演化博弈视角[J]. 河南大学学报(社会科学版), 2019,59(4):21-29.

[5] 张劲松,张春松,刘丽君,等. 江苏省排水权配置及交易的必要性及可行性[J]. 水资源保护,2019,35(6):25-28,130.

[6] 赖秀萍,孙付华,沈菊琴,等. 基于 WSR 的区域排水权分配影响因素研究[J]. 水利经济,2020,38(4):74-80,84.

[7] ZHANG Dandan, SHEN Juqin, LIU Pengfei, et al. Use of fuzzy analytic hierarchy pocess and environmental gini coefficient for allocation of regional flood drainage rights [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2020,17(6):2063.

[8] 吴芳,曹秋迪,张丹丹,等. 基于环境基尼系数的苏南运河排水权分配[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020,48(4):314-319.

[9] 李铁男,董鹤,徐柳娟,等. 基于层次分析法的五常市水权分配模型研究[J]. 节水灌溉,2017(12):81-84,93.

[10] 朱强,曹政. 国际河流水权分配方法与适用:以中东两河为例[J]. 水利经济,2020,38(2):68-73,84.

[11] 王笑梅,黄润,刘桂建,等. 基于熵权 TOPSIS 模型的溧史杭灌区初始水权分配研究[J]. 水利水电技术,2015, 46(10):7-11.

[12] 张雷,仕玉治,刘海娇,等. 基于物元可拓理论的水库初始水权分配研究[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29 (3):110-117.

[13] 李晓,陈红枫,李湘凌,等. 基于波尔兹曼的安徽省 SO₂ 初始排污权分配研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013,23(增刊2):317-320.

[14] 赵文会,谭忠富,高岩,等. 基于双层规划的排污权优化配置策略研究[J]. 工业工程与管理,2016,21(1):72-78.

[15] 靳玉莹,赵勇,张金萍,等. 基于多目标优化模型的承德市初始水权分配[J]. 水电能源科学,2017,35(1): 156-159.

[16] 王艳艳,窦明,李桂秋,等. 基于和谐目标优化的流域初始排污权分配方法[J]. 水利水电科技进展,2015,35 (2):12-16,51.

(下转第 56 页)