

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2020.04.004

基于环境基尼系数的苏南运河排水权分配

吴芳¹,曹秋迪¹,张丹丹^{2,3},孙付华^{3,4},沈菊琴^{3,4}

(1. 江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司,江苏 苏州 215128; 2. 河海大学商学院,江苏 南京 211100;
3. 河海大学环境会计与资产管理研究所,江苏 南京 211100; 4. 河海大学农业工程学院,江苏 南京 210098)

摘要: 借鉴环境基尼系数,对苏南运河区域排水权配置进行研究。选择运河沿线防洪包围区域人口、GDP 和土地面积为控制指标,通过绘制洛伦茨曲线计算相应的环境基尼系数。在排水权总量一定的情况下,以控制指标的环境基尼系数之和最小为目标函数,设定合理的约束条件,计算得到各区域排水权的优化分配方案。结果表明:在优化配置后,基于人口、GDP 和土地面积 3 项指标的环境基尼系数分别为 0.000 2、0.144 1 和 0.079 6,均优于现状,环境基尼系数的平均变化幅度为 0.026 3;基于环境基尼系数的分配方式能够兼顾各地区的实际情况,有利于统筹城市防洪与区域防洪之间的关系,在确保城市防洪安全的前提下减轻苏南运河防洪压力。

关键词: 排水权分配;苏南运河;环境基尼系数;优化配置;排水需求;城市防洪工程

中图分类号: X21;F407.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2020)04-0314-06

Allocation of flood drainage rights of Sunan Canal based on environmental Gini coefficient

WU Fang¹, CAO Qiudi¹, ZHANG Dandan^{2,3}, SUN Fuhua^{3,4}, SHEN Juqin^{3,4}

(1. Jiangsu Taihu Planning and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Suzhou 215128, China;
2. Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China;
3. Institute of Environmental Accounting and Assets Management, Hohai University, Nanjing 211100, China;
4. College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the environmental Gini coefficient, this study investigated the allocation of regional flood drainage rights in the Sunan Canal. The population, GDP, and land area of urban flood control regions along the canal are selected as the control indexes, and the environmental Gini coefficient is calculated by drawing the Lorentz curve. In the case of a certain total amount of flood drainage right, the objective function is to minimize the sum of the environmental Gini coefficients of indicators, and reasonable constraints are set. According to the optimal allocation model of flood drainage right, the optimal allocation scheme of each region is calculated. The results show that after the optimal allocation based on population, GDP and land area is better than the current situation, the environmental Gini coefficients, which are 0.000 2, 0.144 1 and 0.079 6 respectively, are better than the current allocation, and the average variation range of environmental Gini coefficient is 0.026 3. The allocation model based on the environmental Gini coefficient can consider the actual situation of each region and is conducive to the overall planning of the relationship between urban flood control and regional flood control. On the premise of ensuring the city safety, the optimal allocation of flood drainage right alleviates the pressure of flood control in the Sunan Canal.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2019B69214,2018B58814);江苏省研究生科研与实践创新计划(SJKY19_0408)

作者简介: 吴芳(1977—),女,高级工程师,主要从事工程经济、水利经济研究。E-mail:525153928@qq.com

通信作者: 张丹丹,博士研究生。E-mail:zhangdandan@hhu.edu.cn

引用本文: 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.
WU Fang, CAO Qiudi, ZHANG Dandan, et al. Allocation of flood drainage rights of Sunan Canal based on environmental Gini coefficient [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2020,48(4):314-319.

Key words: flood drainage right allocation; Sunan Canal; environmental Gini coefficient; optimized allocation; flood drainage demand; urban flood control project

近年来,随着太湖流域城镇化进程的逐步加快,城市范围不断扩张,人口规模急剧上升,社会财富快速积累,推动社会经济发展的同时也加剧了城市洪涝风险。为了提高城市中心区和低洼地区的防洪除涝标准,保障人民财产安全,江苏省太湖流域地区按照流域、城市和区域 3 个层次的规划防洪格局,开展水利工程建设。至 2015 年底,常州、无锡、苏州城市防洪工程全部建成,中心城区防洪标准提升至 200 年一遇^[1]。城市防洪包围工程建设的主要措施是城区骨干河道整治和闸泵建设,河道建闸在一定程度上改变了与苏南运河水量的交换,运河防洪压力增加,为流域和区域防洪带来新的挑战。

苏南运河沿线地区水系纵横交错,在洪涝灾害发生时,涉及流域、区域以及城市防洪排涝等多层面调度。在实际调度中,对于城市防洪包围内河网利用较不充分,加上区域水系复杂,多目标统筹协调难度较大^[2]。2016 年梅雨期太湖流域发生流域性特大洪水,苏南运河主要代表站点突破历史最高水位,沿线及部分周边地区受灾严重。期间常州、无锡、苏州城市大包围进入运河水量 1.356 亿 m³,占总进入运河水量的 17%。如果在强降水集中期间,适时、适度控制城市大包围外排,可实现行洪、蓄洪、滞洪的有效调配,有效解决流域防洪能力的有限性与区域排水需求之间的矛盾,缓解运河防洪压力。近年来,于凤存等^[3-4]对排水权的配置进行初步研究,综合分析排水权分配需考虑的主要因素;张劲松等^[5]提出排水权具有排他性和强制性,排水权配置必须以全局利益为前提,并结合江苏省区域排水存在的矛盾,探讨了江苏省排水权配置的必要性与可行性;张丹丹等^[6]充分考虑社会、经济、生态环境以及排水需求对苏南运河排水权分配的影响,构建排水权分配双层优化模型。由于目前与排水权相关研究囿于理论层面,并较少涉及具体的应用,对于配置的效果亦存在一定的不确定性。

本文结合排水权配置的特点,以公平作为配置的基本原则,将环境基尼系数引入总量控制下的排水权配置过程中。通过对苏南运河排水权的优化配置,有利于统筹城市防洪与区域防洪之间的关系,在确保城市防洪安全的前提下减轻苏南运河防洪压力。

1 环境基尼系数应用与排水权配置的原理

1.1 环境基尼系数

基尼系数是利用洛伦茨曲线来综合反映居民收入分配差异状况、衡量收入分配公平程度的指标。随着研究的深入,基尼系数逐渐被应用于研究资源消耗和污染排放与经济贡献的公平性中^[7-8]。其基本原理为:基于一定比例的资源消耗或污染物排放需要贡献相同比例的 GDP,则资源消耗或污染排放的分配为绝对公平^[9-10]。对于资源环境基尼系数具体的划分等级,可采用国际惯例的基尼系数等级划分标准^[11]。

1.2 排水权配置与流域排污权配置的区别

当前国内外学者对于水权、排污权、碳排放权等方面的配置进行了较深入的研究,对于各类资源配置的研究主要与其各自的特征相结合^[12-14]。由于排水权的概念提出较晚,且排水权配置易与排污权配置相混淆,因此本文对排水权配置与流域排污权配置两者的区别进行分析。

a. 配置目的不同。排污权是指排污者根据环保部门分配的额度,依法向环境排放污染物的权利。在排污权配置时需要将目标总量控制和容量总量控制有机结合,以实现水环境污染控制和改善水质^[15]。排水权是对流域、区域排水权益的划分,当非常规降雨时,需要通过合理调度来减轻洪水灾害损失^[16]。虽然排水权也涉及污水排放,但是由于影响排水工程规模的主要因素是降雨,因而主要以区域涝水排放权利作为配置内容^[6]。排水户在享有排水权利的同时,承担治污和保护生态环境的责任。可见,两者的配置目的在本质上存在较大差异。

b. 配置依据不同。对于排污权的配置主要依据国务院印发的“十三五”生态环境保护规划以及流域和地区的环境保护规划目标中对污染物的总量削减要求^[17];对于排水权配置,依据的是国家防汛抗旱总指挥部颁布的防洪调度方案、流域或行政层面的防洪调度规划的要求。

c. 配置对象不同。为了便于管理和实施,通常情况下以行政分区作为排污权的总量分配对象;而排水权的配置除了将行政分区作为分配对象外,也可以将沿线区域划分片区作为分配对象。

d. 影响因素不同。影响流域排污权和排水权分配的要素均包括人口、资源和经济等方面。污染物来自居民生活污水、工业点源污染和区域种养殖业,同时,污染物的排放与社会经济发展程度、自然禀赋关系较为密切。根据污染物总量削减要求,排污权分配以各行政区水环境容量(纳污能力)作为关键影响因素^[18]。对于排水权的配置,既需要考虑主要堤防的设计洪水位、河道及控制枢纽的泄洪能力等因素,也要考虑排水区的来水情况、受涝程度以及排水需求。在这些因素中,无论是排污权还是排水权的分配均涉及较庞大的指标体系,并且部分指标存在难于统计等问题。

1.3 环境基尼系数与排水权配置公平性

由于不同地区在经济、社会、资源环境方面的差异性以及排水权配置系统的不确定性,排水权配置的预期效果受到影响。在排水权的配置过程中必须以各地区可持续发展为基础,在确保各地区排水权利基本平等的同时,确保经济发展与排水空间权利均等相结合。

基于环境基尼系数的配置方式能避免单一分配方式无法反映不同地区间差异性的现象,也克服了按照层次分析法进行分配时指标权重设置主观性强的缺陷^[19]。从环境角度,环境基尼系数能反映各类指标占用排水权资源的内部公平性,可以将环境基尼系数引入到排水权分配产生环境压力的公平性之中。如果环境基尼系数为0,表示排水权的分配是完全公平的;环境基尼系数为1,表示绝对不公平;在这一区间内部,数值越小,排水权的分配就越趋于公平;反之就表示越不公平。

2 基于环境基尼系数的排水权优化分配函数

2.1 目标函数

影响区域排水权分配的因素很多,可以分为社会、经济、生态环境3个方面,在社会方面可以选择人口因素作为影响排水权的关键指标,对于人口较多的地区,所分配的排水权应该较多。在经济方面,可以选择GDP作为衡量经济发展状况的指标,相比于经济欠发达地区,经济较发达地区可分配更多的排水权。在生态环境方面,区域水环境容量、污染物排放、地表水资源量等指标常常用作评价排污权和水权的关键性指标。由于排水权与流域排污权、水权存在本质差异,主要还是考虑暴雨径流不能及时排出对区域范围的影响,考虑到数据的可获得性,本文选择城市防洪包围地区的土地面积作为代表性指标。

结合社会、经济、生态对排水权分配的影响,本文不再以国际惯例的基尼系数等级划分标准作为衡量排水权分配公平程度的主要依据,而以各指标下环境基尼系数之和最小作为目标函数。假设有 n 个待分配地区, m 个评价指标,形成原始指标数据矩阵 $A=(x_{ij})_{n \times m}$ 。以各地区分配的排水权为决策变量,在排水总量一定的情况下,目标函数为

$$\min G = \sum_{j=1}^m G_j = \sum_{j=1}^m \left[1 - \sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_{(i-1)j})(Y_{ij} - Y_{(i-1)j}) \right] \tag{1}$$

$$X_{ij} = X_{(i-1)j} + \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \tag{2}$$

$$Y_{ij} = Y_{(i-1)j} + \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \tag{3}$$

式中: G_j ——评价指标 j 的环境基尼系数; X_{ij} ——人口等指标的累计百分比; Y_{ij} ——排水权的累计百分比; j ——人口、GDP和土地面积3个指标的编号; $X_{(i-1)j}$ ——第 $i-1$ 个地区人口等评价指标的累计百分比; $Y_{(i-1)j}$ ——第 $i-1$ 个地区排水权的累计百分比; F_i ——第 i 个地区的排水权。

2.2 约束条件

- a. 总量约束。要求各地区分配的排水权之和等于拟分配排水权总量,即 $\sum_{i=1}^n F_i = F$ 。
- b. 排水需求约束。考虑到区域排水的客观需求和排水权配置的高效性,在区域排水权分配时各地区所分配的排水量不得超过其排水需求量,即 $F_i \leq F_{Di}$ (F_{Di} 为第 i 个地区排水需求量)。
- c. 现状环境基尼系数约束。为保证排水权优化配置的效率,在配置后各指标的环境基尼系数不得高于

现状,即 $G_j \leq G_{j_0}$ (G_{j_0} 为第 j 个指标的现状环境基尼系数,即配置前的环境基尼系数)。

d. 环境基尼系数排序约束。依据环境基尼系数的内涵,需要按照单位指标排水权配额占比对各地区排序。本文假设在排水权优化配置中,各地区各指标的排序未发生变化,即 $\frac{F_{(i-1)}}{x_{(i-1)j}} \leq \frac{F_i}{x_{ij}} \leq \frac{F_{(i+1)}}{x_{(i+1)j}}$, F 为流域拟分配的总量目标。

e. 环境基尼系数非负约束。即 $G_j \geq 0$ 。

3 苏南运河排水权优化分配

3.1 城市防洪工程概况

苏南运河沿线城市防洪工程主要是利用运河老河道及沿运河新建闸泵形成城市防洪包围圈。其中,包括常州市城市防洪工程、无锡市城市防洪工程以及苏州市城市防洪工程。防洪工程建成后抽排入运河的涝水是运河主要的洪水来源之一,也是造成汛期运河持续高水位的主要因素。

a. 常州城市防洪工程。常州市城市防洪工程沿运河分为运北、潞横草塘、采菱东南、湖塘共 4 个片区,总面积 416.1 km²。其中,运北片和湖塘片实施了大包围。运北片设计防洪标准为 200 年一遇,沿运河侧设计洪水位采用 5.95 m,外排泵站总规模为 420.96 m³/s(重要节点工程 365 m³/s),其中排入运河的流量为 179 m³/s;湖塘片设计防洪标准为 100 年一遇,沿运河侧设计洪水位采用 5.80 m,外排泵站总规模为 78.1 m³/s,其中排入运河的流量为 57.7 m³/s。常州城市防洪工程外排泵站入运河流量共计 236.7 m³/s。

b. 无锡城市防洪工程。无锡市城区分为运河以东的运东大包围、新区片、锡东片、锡北片、惠北片,以及运河以西的梁溪片、太湖新城片、惠南片和马山片,共 9 片,面积共 1 294 km²。其中,运东和太湖新城实施了大包围。运东大包围面积约 144 km²,设计防洪标准为 200 年一遇,沿运河侧南门水位站处设计洪水位采用 5.05 m,外排泵站总规模为 485.6 m³/s,排入运河流量为 218.8 m³/s;太湖新城片外排泵站总规模为 97 m³/s,其中排入运河流量为 82 m³/s。无锡城市防洪工程外排泵站入运河的流量共计 300.8 m³/s。

c. 苏州城市防洪工程。苏州市城市防洪工程主要包括城市中心区大包围和金阊新城包围两部分,设计防洪标准均为 200 年一遇,沿运河侧胥江等设计洪水位采用 5.20 m。苏州城市中心区大包围面积 84 km²,外排泵站总规模为 286.5 m³/s(含西塘河裴家圩枢纽),其中排入运河流量为 168 m³/s。金阊新城包围 13.7 km²。外排泵站排水总规模为 39.1 m³/s,其中排入运河流量为 23.5 m³/s。苏州城市防洪工程外排泵站入运河流量为 191.5 m³/s。

3.2 数据收集

3 个城市防洪包围地区的人口、GDP、土地面积数据来源于 2017 年常州市、无锡市及苏州市统计年鉴与网络资源,各地的现状排水量数据来源于《苏南运河区域洪涝联合调度方案》^[20]。

3.3 现状环境基尼系数的计算

根据环境基尼系数公式,分别对各指标的现状环境基尼系数进行计算,以人口这一指标为例,计算过程中需要对 3 个城市防洪包围地区的单位人口排水量(即洛伦茨曲线中的斜率)进行排序,结果见表 1。根据排序结果,人口、GDP 和土地面积这 3 个代表性指标的单位指标排水量从低到高依次均为无锡大包围、常州大包围和苏州大包围。

表 1 基于人口的环境基尼系数计算结果

Table 1 Calculation result of environmental Gini coefficient based on population							
防洪包围地区	人口/ 万人	现状排水能力/ (m ³ · s ⁻¹)	斜率	人口 占比/%	排水量 占比/%	累计百分比/%	
						人口	排水量
无锡防洪包围区	196.44	300.80	1.53	42.99	41.26	42.99	41.26
常州防洪包围区	151.38	236.70	1.56	33.13	32.47	76.12	73.73
苏州防洪包围区	109.11	191.50	1.76	23.88	26.27	100	100

根据计算,基于人口、GDP 和土地面积的现状分配环境基尼系数分别为 0.0268、0.1664 和 0.1066,各指标对应的洛伦茨曲线见图 1。现状各指标的环境基尼系数均小于 0.2,表明目前的公平性较好。

3.4 排水权的优化

结合《苏南运河区域洪涝联合调度方案》^[20],3 个城市防洪工程排涝动力达 729 m³/s,而运河现状安全

下泄流量仅为 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 左右,因此本文以 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 作为排水权总量控制目标(不考虑沿线圩区排入运河流量)。对于各地区的排水需求量,本文以现状排水量数据来反映各地的排水需求。以各指标的环境基尼系数之和最小为目标函数,约束条件如下:保持优化分配的排水权总量为运河安全下泄流量;各地区所分配的排水量不得超过其排水需求量;保持各地区在各指标的排序未发生变化的情况下,优化的环境基尼系数始终优于现状。

利用 MATLAB 规划求解工具,将各参数、初始数据及约束条件输入进行计算,得到在人口、GDP、土地面积的环境基尼系数总和最小的情况下 3 个防洪包围地区最终的排水权分配量(表 2)。从表 2 可以看出,无锡大包围地区的削减量最大,为 $128.87\text{ m}^3/\text{s}$;苏州大包围地区的削减量最小,为 $95.89\text{ m}^3/\text{s}$ 。从削减程度来看,苏州大包围地区的削减比例最大,为 50.07% ;无锡大包围地区的削减比例最小,为 42.84% 。

在优化配置后,基于人口、GDP 和土地面积 3 项指标的环境基尼系数均优于现状,分别为 $0.000\ 2$ 、 $0.144\ 1$ 和 $0.079\ 6$,环境基尼系数的平均变化幅度为 $0.026\ 3$ (表 3)。在确保运河安全的情况下,该分配方案能够使各防洪包围地区单位经济、社会和环境资源指标所负荷的排水权达到最大程度的接近,实现相对公平的排水权优化配置。

4 结 语

关于排水权的配置研究目前属于探讨阶段,对于排水权的分配而言,公平性是保障区域和谐发展的重要条件。本文将环境基尼系数法应用于苏南运河区域排水权的分配中,结合排水权的特征,建立基于环境基尼系数的排水权优化分配函数。利用 MATLAB 规划求解工具,计算得到各区域排水权的优化分配方案。通过对苏南运河排水权的优化分配,有利于统筹城市防洪与区域防洪的关系,减轻运河防洪压力。在今后的研究中,应进一步完善防洪调度机制,通过错时错峰调度合理安置洪涝。

参考文献:

[1] 单玉书,蔡文婷,薛宣,等. 环太湖城市群防洪大包围建设影响及对策[J]. 中国防汛抗旱,2018,28(2):56-59,65. (SHAN Yushu, CAI Wenting, XUE Xuan, et al. The impacts and countermeasures of developing urban flood control systems around Taihu Lake[J]. China Flood & Drought Management, 2018,28(2):56-59,65. (in Chinese))

[2] 张春松,宋玉,陶娜麒,等. 江苏省苏南运河沿线地区联合调度实践与思考[J]. 中国防汛抗旱,2018,28(3):4-6. (ZHANG Chunsong, SONG Yu, TAO Naqi, et al. Practices and reflections on joint-dispatching along Sunan Canal in Jiangsu Province [J]. China Flood & Drought Management, 2018,28(3):4-6. (in Chinese))

[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. (YU Fengcun, WANG Youzhen, YUAN Xianjiang, et al. Preliminary study on concept and its basic characteristics of flood drainage right[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2014,33(2):134-137. (in Chinese))

[4] YU Fengcun, WANG Youzhen, YUAN Xianjiang. Preliminary study on the reasonable allocation of flood drainage right for midstream of Huaihe River [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013,33: 2208-2212.

[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. (ZHANG

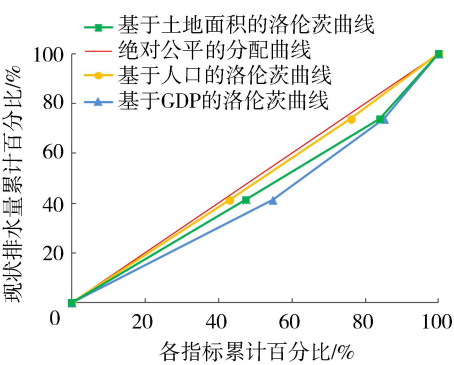


图 1 基于苏南运河排水现状的洛伦茨曲线

Fig.1 Lorenz curve based on the current situation of flood drainage in the Sunan Canal

表 2 优化后各区域排水权分配量

Table 2 Allocation of regional flood drainage rights after optimization

防洪包围地区	排水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	优化后排水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	削减量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	削减 比例/%
常州防洪包围区	236.70	132.46	104.24	44.04
无锡防洪包围区	300.80	171.93	128.87	42.84
苏州防洪包围区	191.50	95.61	95.89	50.07

表 3 环境基尼系数优化结果

Table 3 Environmental Gini coefficient after optimization

指标类型	基尼系数		
	初始环境	优化环境	变化幅度
人口	0.0268	0.0002	0.0266
GDP	0.1664	0.1411	0.0254
土地面积	0.1066	0.0797	0.0269

- Jinsong, ZHANG Chunsong, LIU Lijun, et al. Study on the necessity and feasibility of allocation and trading of flood drainage rights in Jiangsu Province[J]. Water Resources Protection, 2019, 35(6): 25-28. (in Chinese))
- [6] ZHANG Dandan, SHEN Juqin, SUN Fuhua, et al. Research on the allocation of flood drainage rights of the Sunan Canal based on a Bi-level Multi-Objective Programming Model[J]. Water, 2019, 11(9): 1769.
- [7] 李昊, 南灵. 基于环境基尼系数的流域排污权初始分配[J]. 人民黄河, 2014, 36(5): 56-59. (LI Hao, NAN Ling. River basin emission rights initial allocation based on environmental Gini coefficient[J]. Yellow River, 2014, 36(5): 56-59. (in Chinese))
- [8] 秦迪岚, 韦安磊, 卢少勇, 等. 基于环境基尼系数的洞庭湖区水污染总量分配[J]. 环境科学研究, 2013, 26(1): 8-15. (QIN Dilan, WEI Anlei, LU Shaoyong, et al. Total water pollutant load allocation in Dongting Lake area based on the environmental Gini coefficient method[J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(1): 8-15. (in Chinese))
- [9] 王金南, 逯元堂, 周劲松, 等. 基于 GDP 的中国资源环境基尼系数分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(1): 111-115. (WANG Jinnan, LU Yuantang, ZHOU Jinsong, et al. Analysis of China resource-environment Gini coefficient based on GDP[J]. China Environmental Science, 2006, 26(1): 111-115. (in Chinese))
- [10] 夏帆, 陈莹, 窦明, 等. 水资源空间均衡系数计算方法及其应用[J]. 水资源保护, 2020, 36(1): 52-57. (XIA Fan, CHEN Ying, DOU Ming, et al. Calculation method and application of spatial equilibrium coefficient of water resources[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(1): 52-57. (in Chinese))
- [11] 田平, 方晓波, 王飞儿, 等. 基于环境基尼系数最小化模型的水污染物总量分配优化: 以张家港平原水网区为例[J]. 中国环境科学, 2014, 34(3): 801-809. (TIAN Ping, FANG Xiaobo, WANG Feier, et al. Use of a minimum environmental Gini coefficient model on optimizing the allocation plan of total pollutant load in water bodies; a case study at Zhangjiagang river-network plain[J]. China Environmental Science, 2014, 34(3): 801-809. (in Chinese))
- [12] 陈艳萍, 吴凤平, 吴丹. 基于模糊优选和 TOPSIS 法的流域初始水权分配模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2009, 37(4): 467-471. (CHEN Yanping, WU Fengping, WU Dan. Initial water rights allocation model for basins based on fuzzy optimization and TOPSIS methods[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2009, 37(4): 467-471. (in Chinese))
- [13] 张斌武, 康鸿博, 关秀琴. 基于虚拟水及营养学的水资源优化配置[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45(1): 30-35. (ZHANG Binwu, KANG Hongbo, GUAN Xiucui. Optimized allocation of water resources based on virtual water and nutrition[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2017, 45(1): 30-35. (in Chinese))
- [14] 潘伟, 潘武林. 基于能源效率的中国省际碳排放权分配研究[J]. 软科学, 2018, 32(6): 45-48. (PAN Wei, PAN Wulin. Research on quota allocation of provincial CO₂ emission rights in China based on energy efficiency[J]. Soft Science, 2018, 32(6): 45-48. (in Chinese))
- [15] 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. (WANG Yanyan, DOU Ming, LI Guiqiu, et al. The allocation methods of watershed initial emissions permits based on harmonious objectives optimization[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35(2): 12-16, 51. (in Chinese))
- [16] 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. (ZHANG Kaize, SHEN Juqin. Research on China's drainage rights trading management under the quasi market: based on the perspective of evolutionary game[J]. Journal of Henan University (Social Science), 2019, 59(4): 21-29. (in Chinese))
- [17] 张文静, 陈岩, 刘雅玲, 等. 综合考虑减排效益的污染物总量分配方法研究[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(3): 107-110. (ZHANG Wenjing, CHEN Yan, LIU Yaling, et al. Total amount allocation methods of pollutions considering emission reduction benefits[J]. Environmental Pollution & Control, 2015, 37(3): 107-110. (in Chinese))
- [18] 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. (ZHANG Lina, WU Fengping, WANG Dan. Inexact two-stage stochastic programming model of provincial initial emission rights allocation under the total emission control of water pollutants[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(8): 88-96. (in Chinese))
- [19] 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, 14(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, 14(3): 177-180. (in Chinese))
- [20] 江苏省水利厅. 苏南运河区域洪涝联合调度方案[R]. 南京: 江苏省水利厅, 2016.