

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2009.04.021

基于模糊优选和 TOPSIS 法的流域初始水权分配模型

陈艳萍, 吴凤平, 吴 丹

(河海大学商学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 在综合考虑流域各地区社会、政治、经济和环境等多种因素的基础上, 根据流域初始水权分配相关研究成果, 提出了流域初始水权分配的指导思想和基本原则, 建立了流域初始水权分配的指标体系, 并利用模糊优选法计算指标相对优属度, 通过 TOPSIS 法确定各地区水权分配比例及其分配量。算例分析结果表明, 这一指标体系体现了初始水权分配的公平性和效率性, 可以较好地反映国家对流域生态环境和流域可持续发展问题的重视程度。

关键词: 流域; 初始水权; 分配比例; 指标体系; 相对优属度; 模糊优选法; TOPSIS 法

中图分类号: F416.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2009)04-0467-05

流域初始水权分配主要分为 2 个层次^[1]: 一是流域初始水权在省、市、县 3 级行政区域上的分配, 即流域初始水权第一层次分配; 二是流域初始水权分配到流域内各区域后, 区域初始水权在不同用水部门或行业之间的分配, 即流域初始水权第二层次分配。流域初始水权的确认过程是流域内各区域利益的重分配过程, 将对水权利益既得者产生极大的影响。第一层次分配是流域初始水权分配最重要的部分, 也是最难协调的部分。

流域初始水权分配是一个多地区、多目标和多层次的决策问题, 涉及流域内各地区的社会、政治、经济和环境等多方面因素, 是一项复杂的系统工程^[1-6]。目前, 国家对流域生态环境和流域可持续发展十分重视, 为了建设社会主义和谐社会的需要, 对流域初始水权分配工作提出了“保护流域生态环境, 保护弱势群体利益, 促进区域协调发展, 实现人与自然和谐共处”的要求。基于此, 本文首先对文献[1]所提出的流域初始水权分配的指导思想和基本原则进行了修改与补充, 然后根据分配的基本原则建立了分配的指标体系, 最后基于模糊优选法对指标特征值进行了归一化处理, 基于 TOPSIS 法确定了流域各区域的初始水权分配比例, 并通过算例验证了流域初始水权分配模型的实效性。

1 初始水权分配的指导思想和基本原则

1.1 指导思想

流域初始水权分配是流域水权分配和交易的前提和必要条件, 明晰流域各区域的初始水权分配量, 有利于各区域合理使用水资源, 进而促进区域间的公平用水。

本文在综合流域初始水权分配研究成果的基础上, 提出如下流域初始水权分配的指导思想: 以人为本, 以科学发展观为指导, 以现状用水为基础, 在政府宏观调控下, 为保护流域生态环境、协调上下游和左右岸区域的正当用水权益, 为实现人与自然和谐共处而进行流域初始水权的分配。

1.2 基本原则

关于流域初始水权分配, 李晶等^[2-4, 7-8]提出了兼顾公平与效率的原则以及可持续发展的原则。随着人口的增长、社会经济的发展, 用水需求不断增加, 水资源在时间和空间上的短缺问题日益严重, 供需矛盾日趋尖锐和复杂, 分配过程中的协调难度也不断加大, 政府应高度协调水权分配问题, 以保证水权公平合理地进行分配。因此, 本文基于流域初始水权分配的指导思想, 提出如下几项流域初始水权分配的基本原则: (a) 公平原则。在我国, 水资源属国家所有, 即人人都是水资源的主人, 人人都有使用水的权利(尤其是在基本生活用

水方面,原则上应人人均等),不同地区、不同人群都享有生存和发展的平等用水权.流域初始水权配置必须满足不同区域间对水资源及其效益合理分配利用的要求,确保水资源分配在不同地区、不同用水户之间的公平性.(b)效率原则.水是有限资源,经济部门使用该资源所产生的回报越大越好,社会应将其分配给能产生更大效益或回报的区域.(c)可持续原则.保障当代人的社会经济活动不超过区域水资源的承载能力,并且污染物的排放不超过区域水环境容量,促进近期与远期之间、当代与后代之间能够公平协调地使用水资源.(d)政府宏观调控原则.流域初始水权分配是一种政策性较强的行为,政府必须制定相应的政策,比如地区优先开发政策、水土保持政策和贫困地区倾斜政策等,在综合考虑上下游地区满意度的基础上进行政府宏观调控.

2 初始水权分配模型的建立

2.1 初始水权分配指标体系的构建

流域初始水权分配的总目标是将流域水量合理地分配给各区域,使上下游、左右岸对水权分配结果没有大的争议.本文按照流域初始水权分配的基本原则和概念清楚、资料易得、可操作性、各自独立的方针,在综合考虑各方面因素的基础上,建立了初始水权分配的指标体系,如图1所示.图1中:顶层是目标层A,即流域初始水权分配要实现的目标;第2层是原则层B,即流域初始水权分配所遵循的原则;第3层是指标层C,包括 $C_1, C_2, \dots, C_{10}$ 共10个指标;第4层是分指标层E,包括 $E_1, E_2, \dots, E_{22}$ 共22个分指标.

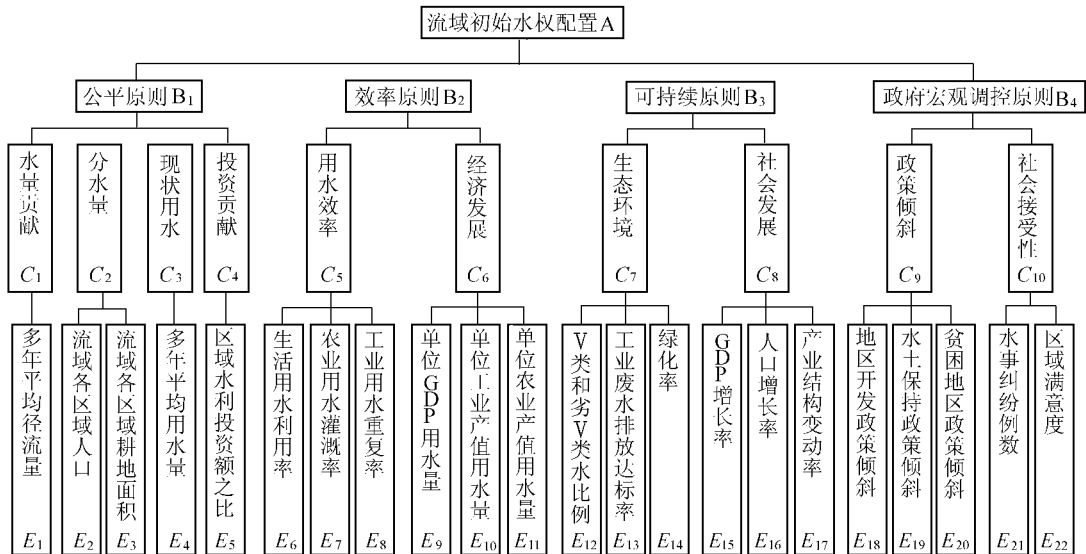


图1 流域初始水权分配指标体系

Fig. 1 Index system of initial water rights allocation for basins

2.2 基于模糊优选法的优属度确定

设流域内共有 n 个区域参与初始水权分配,每个区域均由22个指标组成其初始水权分配的指标集,每个区域对应的每个指标都有一个具体的值,这个值称为特征值,于是 n 个区域22个指标集对应的特征值矩阵为

$$\begin{bmatrix} E_{11} & \dots & E_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ E_{m1} & \dots & E_{mn} \end{bmatrix} = (E_{ij})_{m \times n} \quad (m = 22) \tag{1}$$

从图1可以看出,影响流域初始水权分配的22个指标涉及生态、环境、经济、社会和政治等多方面的因素,其中有的指标为定性指标,其特征值是根据决策者的经验知识而确定的.本文采用模糊优选法^[9-10]对各区域的指标特征值进行归一化处理,因为该方法能较好地量化人的经验知识.

2.2.1 指标相对优属度的计算

a. 越大越优型指标相对优属度的计算公式为

$$r_{ij} = \frac{E_{ij}}{\max_{j=1, \dots, n} \{E_{ij}\} + \min_{j=1, \dots, n} \{E_{ij}\}} \tag{2}$$

b. 越小越优型指标相对优属度的计算公式为

$$r_{ij} = 1 - \frac{E_{ij}}{\max_{j=1 \dots n} \{E_{ij}\} + \min_{j=1 \dots n} \{E_{ij}\}}$$
 (3)

2.2.2 指标相对优属度矩阵的确定

计算出各指标的相对优属度后,即可得到指标特征值的相对优属度矩阵

$$R = (r_{ij})_{22 \times n}$$
 (4)

2.3 基于 TOPSIS 法的水权分配比例的确定

2.3.1 指标权重的计算

在信息论中,信息熵定义为 $H(r) = - \sum_{i=1}^{22} r_{ij} \ln r_{ij}$ (5)

从该式可知:某项指标值变异程度越大,信息熵越小,该指标提供的信息量越大,该指标的权重也越大;某项指标值变异程度越小,信息熵越大,该指标提供的信息量越小,该指标的权重也越小.因此,可根据各项指标值的变异程度,利用信息熵计算出各指标的权重.

a. 计算第 i 项指标的熵值 e_i ,
$$e_i = -k \sum_{j=1}^n r_{ij} \ln r_{ij}$$
 (6)

b. 计算第 i 项指标的差异性系数 h_i ,
$$h_i = 1 - e_i$$
 (7)

c. 对差异性系数进行归一化处理,即可确定出指标权重

$$\omega_i = h_i / \sum_{i=1}^{22} h_i$$
 (8)

其中 $k = \ln n - 1 > 0, e_i > 0$.

2.3.2 水权分配比例的确定

a. 计算区域的指标加权评价矩阵 V .

$$V = \begin{bmatrix} \omega_1 r_{11} & \dots & \omega_1 r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \omega_m r_{m1} & \dots & \omega_m r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (m = 22)$$
 (9)

b. 确定最理想加权评价值集合 V^+ 和最不理想加权评价值集合 V^- .

$$V^+ = \{ \max_j v_{ij} | i \in I_1 \} \{ \min_j v_{ij} | i \in I_2 \} | j = 1, 2, \dots, n \} = \{ v_1^+, v_2^+, \dots, v_i^+ | i = 1, 2, \dots, 22 \}$$
 (10)

$$V^- = \{ \min_j v_{ij} | i \in I_1 \} \{ \max_j v_{ij} | i \in I_2 \} | j = 1, 2, \dots, n \} = \{ v_1^-, v_2^-, \dots, v_i^- | i = 1, 2, \dots, 22 \}$$
 (11)

式中: I_1 ——越大越优型指标集合; I_2 ——越小越优型指标集合.

c. 计算每一区域方案与正、负理想解之间的距离.每一区域方案与正、负理想解之间的距离分别为

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{22} (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$
 (12)

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{22} (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$
 (13)

d. 确定相对权数.各区域的评价值与最理想评价集合和最不理想评价集合之间的相对权数为

$$C_j = S_j^- / (S_j^+ + S_j^-)$$
 (14)

e. 计算水权分配比例.即

$$p_j = C_j / \sum_{j=1}^n C_j$$
 (15)

2.4 流域初始水权分配额的确定

根据流域初始水权分配比例,可确定出流域各区域的水权分配额 W_j .即

$$W_j = p_j W_{\text{总}}$$
 (16)

式中: W_j —— j 区域的水权分配额; $W_{\text{总}}$ ——流域可用于初始水权分配的水资源总量 $W_{\text{总}}$.

3 算例分析

为便于比较,采用文献 [1] 的算例进行计算分析.已知某流域可用于初始水权分配的水资源总量 $W_{\text{总}}$ 为

136 亿 m^3 ,流域区域有 3 个 现对 3 个区域进行初始水权的第一层次分配. 各区域指标特征值如表 1 所示.

表 1 各区域指标特征值
Table 1 Values of indices for various regions

j	指标特征值										
	$E_{1j}/\text{亿 m}^3$	$E_{2j}/\text{万人}$	E_{3j}/hm^2	$E_{4j}/\text{亿 m}^3$	E_{5j}	E_{6j}	E_{7j}	E_{8j}	$E_{9j}/(\text{m}^3 \cdot (\text{万元})^{-1})$	$E_{10j}/(\text{m}^3 \cdot (\text{万元})^{-1})$	$E_{11j}/(\text{m}^3 \cdot (\text{万元})^{-1})$
1	100	150	3.20	130	0.38	0.78	0.48	0.40	490	170	770
2	176	70	2.27	79	0.21	0.85	0.44	0.50	307	130	900
3	46	47	3.00	106	0.41	0.88	0.52	0.41	215	155	850

j	指标特征值										
	E_{12j}	E_{13j}	E_{14j}	E_{15j}	E_{16j}	E_{17j}	E_{18j}	E_{19j}	E_{20j}	E_{21j}	E_{22j}
1	0.41	0.42	0.71	9.8	0.12	0.20	定性	定性	定性	22	定性
2	0.30	0.27	0.52	7.8	0.19	0.16	定性	定性	定性	9	定性
3	0.65	0.88	0.67	7.5	0.17	0.23	定性	定性	定性	13	定性

注 : j 为区域编号.

3.1 指标相对优属度的计算

根据式 (1)~(4) 计算得到的指标特征值的相对优属度如表 2 所示.

表 2 各区域指标优属度
Table 2 Membership degrees of indices for various regions

j	指标优属度										
	E_{1j}	E_{2j}	E_{3j}	E_{4j}	E_{5j}	E_{6j}	E_{7j}	E_{8j}	E_{9j}	E_{10j}	E_{11j}
1	0.4505	0.7614	0.5854	0.6220	0.6129	0.4699	0.5000	0.4444	0.3050	0.4333	0.5389
2	0.7928	0.3553	0.4146	0.3780	0.3387	0.5120	0.4583	0.5556	0.5645	0.5667	0.4611
3	0.2072	0.2386	0.5488	0.5072	0.6613	0.5301	0.5417	0.4556	0.6950	0.4833	0.4910

j	指标优属度										
	E_{12j}	E_{13j}	E_{14j}	E_{15j}	E_{16j}	E_{17j}	E_{18j}	E_{19j}	E_{20j}	E_{21j}	E_{22j}
1	0.4316	0.3652	0.5772	0.5665	0.3817	0.5128	0.8180	1.0000	0.2500	0.2903	1.0000
2	0.3158	0.2348	0.4228	0.4509	0.6129	0.4103	0.5380	0.9050	1.0000	0.7097	0.5380
3	0.6842	0.7652	0.5447	0.4335	0.5484	0.5897	1.0000	0.8080	0.4290	0.5806	0.1110

3.2 各区域水权分配比例的计算

根据式 (5)~(13) 计算得到的 3 个区域指标加权评价值和正、负理想解如表 3 所示. 根据式 (14)~(15) 计算得到的 3 个区域的水权分配比例分别为 0.273 3 ,0.340 0 ,0.386 7 ,根据式 (16) 计算得到的 3 个区域的水权分配额分别为 37.17 亿 m^3 ,46.24 亿 m^3 ,52.59 亿 m^3 .

表 3 指标加权评价值和正、负理想解
Table 3 Weighted , positive and negative values of indices

指标	指标加权评价值			理想解		指标	指标加权评价值			理想解	
	r_{i1}	r_{i2}	r_{i3}	正理想解	负理想解		r_{i1}	r_{i2}	r_{i3}	正理想解	负理想解
E_1	0.020546	0.036157	0.009450	0.036157	0.009450	E_{12}	0.019436	0.014221	0.030811	0.030811	0.014221
E_2	0.034546	0.016121	0.010826	0.034546	0.010826	E_{13}	0.016577	0.010658	0.034735	0.034735	0.010658
E_3	0.026300	0.018626	0.024655	0.026300	0.018626	E_{14}	0.025919	0.018986	0.024460	0.025919	0.018986
E_4	0.027945	0.016983	0.022787	0.027945	0.016983	E_{15}	0.025351	0.020178	0.019399	0.025351	0.019399
E_5	0.027739	0.015329	0.029929	0.029929	0.015329	E_{16}	0.017412	0.027568	0.024667	0.027568	0.017412
E_6	0.021050	0.022936	0.023747	0.023747	0.021050	E_{17}	0.023009	0.018410	0.026459	0.026459	0.018410
E_7	0.022393	0.020525	0.024261	0.024261	0.020525	E_{18}	0.038801	0.025520	0.047434	0.047434	0.025520
E_8	0.019883	0.024859	0.020385	0.024859	0.019883	E_{19}	0.048592	0.043975	0.039262	0.048592	0.039262
E_9	0.013807	0.025555	0.031463	0.013807	0.031463	E_{20}	0.011598	0.046393	0.019902	0.046393	0.011598
E_{10}	0.019407	0.025382	0.021646	0.019407	0.025382	E_{21}	0.013170	0.032197	0.026340	0.013170	0.032197
E_{11}	0.024127	0.020644	0.021982	0.020644	0.024127	E_{22}	0.047042	0.025309	0.005222	0.047042	0.005222

3.3 结果分析

本文计算得到的 3 个区域的水权分配比例 ,与文献 [1] 计算得到的 3 个区域的水权分配比例(0.350 ,

0.305 0.345)有一定的差别,主要表现在区域 1 的相对权数明显减小,主要原因是本文考虑了政府宏观调控原则.从政府宏观调控原则下的各指标来看,区域 2 和区域 3 的“贫困地区政策倾斜”和“水事纠纷例数”指标特征值都较区域 1 明显偏高,区域 3 的“地区开发政策倾斜”指标特征值比区域 1 也明显偏高,而区域 1 和区域 2 的“地区开发政策倾斜”指标特征值差别较小,表明水权分配比例应该向区域 2 和区域 3 倾斜,所以区域 1 的水权分配比例应该有所降低.另外,从成本来考虑,区域 2 和区域 3 的“单位 GDP 用水量”和“单位工业产值用水量”比区域 1 明显偏少.因此,增加区域 2 和区域 3 的水权分配比例,体现了分配的效率性.

4 结 语

本文在文献 [1]研究成果的基础上,对流域初始水权分配模型进行了研究,完善了初始水权第一层次分配的指标体系,增加了“政府宏观调控原则”,并在该原则下设置了“政策倾斜”和“社会接受性”2 个指标.新指标体系下的计算结果能较好地反映国家对流域生态环境和流域可持续发展问题的重视程度以及体现建设社会主义和谐社会的重要性.

将模糊优选法与 TOPSIS 法相结合,可以充分发挥 2 种方法的优势,为流域初始水权第一层次的分配提供一种新的思路.

参考文献:

[1] 吴凤平,葛敏.水权第一层次初始分配模型[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(2):216-219.
[2] 李晶,王晓娟,王教河,等.松辽流域初始水权分配原则研究[J].中国水利,2005(9):7-9.
[3] 范可旭,李可可.长江流域初始水权分配的初步研究[J].人民长江,2007(11):4-6.
[4] 佟金萍,王慧敏.流域水权初始分配系统模型[J].系统工程,2007,25(3):105-110.
[5] WANG L Z, FANG L P, HIPEL K W. Mathematical programming approaches for modeling water rights allocation[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2007, 133(1):50-59.
[6] WANG L Z, FANG L P, HIPEL K W. Basin-wide cooperative water resources allocation[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 190(3):798-817.
[7] 秦大庸,褚俊英,杨柄.做好初始水权分配 促进水资源优化配置[J].中国水利,2005(13):90-93.
[8] 王浩,党连文,汪林,等.关于我国水权制度建设若干问题的思考[J].中国水利,2006(1):28-30.
[9] 陈守煜.工程水文水资源系统模糊集分析理论与实践[M].大连:大连理工大学出版社,1998.
[10] 李柏年.模糊数学及其应用[M].合肥:合肥工业大学出版社,2007.

Initial water rights allocation model for basins based on fuzzy optimization and TOPSIS methods

CHEN Yan-ping, WU Feng-ping, WU Dan

(Business School of Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on comprehensive consideration of social, political, economical and environmental factors, the guiding ideology and basic principles of initial water rights allocation for basins according to relevant research are put forward. An index system for initial water rights allocation for basins was established. The relative membership degree of the indices was calculated using of the fuzzy optimization method, and the allocation ratio and amount of the initial water rights for various regions were determined with the TOPSIS method. The results of case studies show that the index system facilitates fairness and efficiency in initial water rights allocation, and it can shift national recognition towards the ecological environment and sustainable development of basins.

Key words: basin; initial water rights; allocation ratio; index system; relative membership degree; fuzzy optimization method; TOPSIS method