

基于 AHP 与 TOPSIS 的水资源配置模型探讨

何逢标 (淮阴师范学院经济与管理系, 江苏淮安 223300)

摘要 利用 AHP 法分析了水资源配置指标体系的层次结构, 通过判断矩阵计算各指标的权重, 建立决策矩阵, 然后对各指标进行无量纲化处理, 建立加权决策矩阵; 利用 TOPSIS 法计算矩阵的理想解和贴近度, 得到水资源配置比例, 可为水资源配置决策提供依据。

关键词 水资源配置; AHP; TOPSIS

中图分类号 F323.213 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)17-08140-02

Discussion on Water Resources Configuration Model Based on AHP and TOPSIS

HE Fengbiao (Department of Economy and Management, Huaiyin Normal College, Huai'an, Jiangsu 223300)

Abstract The hierarchical structure of index system of water configuration was analyzed by AHP method, and the weight of each index was calculated with judgment matrix to establish the decision matrix. After non-dimensional treatment of indexes, the weighted suitability decision matrix was established. The ideal solution and order preference of the matrix were calculated by TOPSIS, and the water configuration ratio was obtained. This method provided the basis for decision-making on water configuration.

Key words Water configuration; AHP; TOPSIS

水资源具有公共物品属性, 在没有明晰产权的情况下, 不同经济主体争先取水, 易陷入“囚徒的困境”, 导致“公地的悲剧”。黄河、黑河和塔里木河都曾因上游过度用水而引发下游部分河段断流、水生动物死亡和生态退化。因此, 科学合理地配置水资源, 平衡相关方的权益对维持生态系统的稳定性具有重要的现实意义。

1 水资源配置的要求

水资源配置涉及上下游之间、区域之间以及人与生态之间用水比例的协调。若配置不当, 容易引发区域之间的冲突或社会经济用水挤占生态用水的情况。为此, 在水资源配置过程中, 要求: 预留生态需水量。生态需水量处于公共领域, 如黄河的冲沙水量、塔里木河和黑河下游的植被需水量、沿海感潮河段压咸用水量以及为了保护珍稀动植物栖息环境所必需的水量等, 企业和个人缺乏经济激励, 需由政府预留来保障。公众参与, 民主协商。在水资源总量一定的条件下, 参与配置的主体之间存在利益不相容性, 为了均衡各方权益, 制定能被各方认可的配置方案, 需在水资源配置的各个环节引入公众参与机制, 发扬民主协商精神。程序透明, 科学配置。凭个人经验直接决策的方法具有较强的主观性, 决策结果往往难以令各方信服。相比之下, 遵循公开透明的配置程序, 基于核准的原始数据, 利用商定的计算方法, 得到的配置结果不仅具有较强的科学性, 而且有助于配置方案的有效执行。

2 水资源配置模型的选择

水资源配置是一个涉及社会、经济和生态等多方面的决策问题, 单纯选择地区经济总产值、耕地面积、人口数量或其他单因素指标无法合理地配置水资源。而基于多个指标的配置方式需考虑指标之间的层次关系及各指标的相对权重。通过分析比较, 将层次分析法^[1](AHP: Analytic Hierarchy Process) 与逼近于理想解的排序方法(TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)^[2-3]有机结合建立的水

资源配置模型, 既利用了 AHP 法分解了指标间的层次关系和各指标的相对权重, 又克服了指标体系与配置单元之间的结合问题, 具有应用灵活、计算简便等特点。

3 构建 AHP 与 TOPSIS 相结合的水资源配置模型的具体步骤

3.1 配置准备工作 成立流域水资源配置小组, 通过协商确定应用于水资源配置的指标体系, 建立指标体系的层次结构, 并确定参与指标重要度评价的专家。

3.2 构建判断矩阵 邀请专家对各指标的相对重要性进行两两比较, 利用 AHP 法常用的 1~9 标度法构造判断矩阵, 综合不同专家意见, 整理出相应的判断矩阵。

3.3 计算判断矩阵的特征值和特征向量 利用 MATLAB 软件中的 eig 命令计算每个判断矩阵的特征值 λ_{\max} 及相应特征向量 v 。

3.4 判断矩阵的一致性检验 记 n 为判断矩阵的元素个数, 计算偏离一致性的指标 C :

$$C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

若 $C = 0$, 说明判断矩阵具有完全一致性; 若 $C > 0$, 需进一步计算 C 与同阶平均随机一致性指标 RI 的比值 CR :

$$CR = \frac{C}{RI} \quad (2)$$

其中, 元素个数为 1~9 时, RI 值分别为 0.0、0.58、0.90、1.12、1.24、1.32、1.41、1.45。若 $CR < 0.1$, 则判断矩阵具有满意的一致性, 否则需将结果反馈给参与评价的专家, 重新调整判断矩阵, 返回“3.3”重新计算判断矩阵的特征值、特征向量以及“3.4”的 C 和 CR 值, 直到具有满意的一致性。

3.5 指标权重计算 对每个向量 v 作归一化处理, 得到所求判断矩阵的指标相对于其紧邻的上一层对象的权重。按此方法对所有判断矩阵, 沿层次结构由上到下进行逐层计算, 得到最底层指标相对于目标的权重向量, 记为 W 。

3.6 形成决策矩阵 根据指标体系, 核对每个配置单元的相应指标值。设参与配置的单元集 $M = (M_1, M_2, \dots, M_p)$, 指标集 $D = (D_1, D_2, \dots, D_q)$, 将配置单元 M_i 对指标 D_j 的值为 x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, q$), 则形成的决策矩阵 X 为:

基金项目 水利部 948 科技创新项目(CT200424)“塔里木河流域水权管理研究与实践”。

作者简介 何逢标(1978-), 男, 浙江浦江人, 博士, 讲师, 从事技术经济及管理工作。

收稿日期 2009-03-09

$$\begin{array}{cccc}
 & D_1 & D_2 & \dots & D_q \\
 M_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1q} \\
 X = M_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2q} \\
 & M & M & M & \dots & M \\
 M_p & x_{p1} & x_{p2} & \dots & x_{pq}
 \end{array} \quad (3)$$

3.7 无量纲化决策矩阵 为了消除各指标量纲不同对决策效果的影响,需对 X 进行无量纲化处理,构建标准化矩阵 $S = (s_{ij})_{p \times q}$ 。

对于越大越优型指标:

$$s_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (4)$$

对于越小越优型指标:

$$s_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (5)$$

式(4)和式(5)中, $\max(x_j)$ 、 $\min(x_j)$ 分别为指标 D_j 的最大值和最小值。

3.8 形成加权决策矩阵 将 AHP 法得到的指标权重 W 与标准化矩阵 S 相结合,得到加权决策矩阵 R :

$$R = (r_{ij})_{p \times q} = w_j \cdot s_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, p; j=1, 2, \dots, q) \quad (6)$$

3.9 计算理想解和负理想解 利用 TOPSIS 法,计算理想解 R_j^+ 和负理想解 R_j^- 。

对于越大越优型指标:

$$R_j^+ = \max\{r_{ij}\}, R_j^- = \min\{r_{ij}\}, j=1, 2, \dots, q \quad (7)$$

对于越小越优型指标:

$$R_j^+ = \min\{r_{ij}\}, R_j^- = \max\{r_{ij}\}, j=1, 2, \dots, q \quad (8)$$

3.10 计算欧氏距离 计算各配置单元与 R_j^+ 和 R_j^- 之间的欧氏距离:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^q (R_j^+ - r_{ij})^2}, i=1, 2, \dots, p \quad (9)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^q (R_j^- - r_{ij})^2}, i=1, 2, \dots, p \quad (10)$$

3.11 计算各配置单元与理想解的贴近度 i

$$i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i=1, 2, \dots, p \quad (11)$$

3.12 计算配置比例 i i 越大,说明配置单元 M_i 越接近于理想解,水资源配置的比例越大。 i 通过 i 的归一化得到:

$$i = \frac{i}{\sum_{i=1}^p i}, i=1, 2, \dots, p \quad (12)$$

4 模型在干旱区水资源配置中的应用

干旱内陆区水资源短缺,生态脆弱。根据水资源配置的要求,先预留出生态需水量,剩余水量用于配置。在研究区域,参与配置的地区有3个,配置目标为确定水量分配比例。在充分协商的基础上,以公平性、有效性和可持续性作为配置准则,建立了适合干旱区水资源配置特点的8个指标20个分指标^[5]。即在上述模型中 $p=3, q=20$ 。

4.1 计算权重向量 通过水资源配置步骤“3.1~3.5”,得到各分指标 D_j 相对于配置目标的权重向量 W (表1)。

表1 指标权重

Table 1 The weight of indices

| 指标 Index | 权重 Weight | 指标 Index | 权重 Weight |
|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| w ₁ | 0.168 3 | w ₁₁ | 0.096 5 |
| w ₂ | 0.074 2 | w ₁₂ | 0.039 1 |
| w ₃ | 0.024 7 | w ₁₃ | 0.015 9 |
| w ₄ | 0.053 4 | w ₁₄ | 0.086 6 |
| w ₅ | 0.016 2 | w ₁₅ | 0.046 4 |
| w ₆ | 0.029 4 | w ₁₆ | 0.046 4 |
| w ₇ | 0.179 4 | w ₁₇ | 0.025 0 |
| w ₈ | 0.019 3 | w ₁₈ | 0.036 8 |
| w ₉ | 0.007 8 | w ₁₉ | 0.020 2 |
| w ₁₀ | 0.003 2 | w ₂₀ | 0.011 1 |

4.2 核定各配置单元的指标值 针对20个分指标,核对3个配置单元相应的指标值(表2)。其中,最后2个指标属于越小越优型指标,其余属于越大越优型指标。

表2 指标值汇总

Table 2 The collect of indices values

| 指标 Index | 相对指标值(x _{ij}) Relative index value | | | 指标 Index | 相对指标值(x _{ij}) Relative index value | | |
|-----------------|---|----------------|----------------|-----------------|---|----------------|----------------|
| | M ₁ | M ₂ | M ₃ | | M ₁ | M ₂ | M ₃ |
| D ₁ | 0.411 | 0.218 | 0.371 | D ₁₁ | 0.693 4 | 0.092 8 | 0.213 8 |
| D ₂ | 129.33 | 136.09 | 185.60 | D ₁₂ | 0.647 | 0.116 | 0.237 |
| D ₃ | 35.20 | 21.84 | 28.78 | D ₁₃ | 0.551 2 | 0.156 7 | 0.292 1 |
| D ₄ | 463.29 | 192.52 | 469.60 | D ₁₄ | 0.05 | 0.85 | 0.95 |
| D ₅ | 141.99 | 56.46 | 125.02 | D ₁₅ | 0.290 9 | 0.307 6 | 0.401 5 |
| D ₆ | 90.53 | 16.50 | 95.38 | D ₁₆ | 0.2 | 0.5 | 0.3 |
| D ₇ | 61.77 | 31.10 | 76.03 | D ₁₇ | 0.37 | 0.41 | 0.35 |
| D ₈ | 0.40 | 0.44 | 0.37 | D ₁₈ | 0.756 1 | 0.969 7 | 0.912 4 |
| D ₉ | 0.82 | 0.84 | 0.82 | D ₁₉ | 2 981.73 | 1 336.7322 | 43.24 |
| D ₁₀ | 0.82 | 0.83 | 0.82 | D ₂₀ | 30.8 | 25.5 | 23.6 |

通过步骤“3.6~3.12”,编制 MATLAB 程序,计算配置单元 M_1 、 M_2 和 M_3 的配置比例分别为0.357 3、0.292 6 和0.350 1。该结果可作为确定利益各方水权协商的依据。

5 结语

AHP 与 TOPSIS 有机结合的水资源配置方法在确定指标权重过程中融合了专家的思想,且在核定了各配置单元指标值后的配置流程中保持了计算的客观性和简便性。因此该方法不仅适用于干旱区的水资源配置,通过调整指标体系,也可用于其他区域的水资源配置。另外,通过调整配置目标和指标体系,上述水资源配置模型还可扩展应用于区域间环境容量的配置。

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] 林海斌.TOPSIS 法在社会科学成果评奖中的应用[J].统计与决策,2007(2):57-58.
- [3] 张先起,梁川,刘慧卿,等.改进的 TOPSIS 模型及其在黄河置换水量分配中的应用[J].四川大学学报:工程科学版,2006,38(1):30-33.
- [4] 杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选[M].2版.北京:清华大学出版社,2008:12-21.
- [5] 何逢标.内陆河流域区域间水权初始配置探讨[J].安徽农业科学,2008,36(24):10679-10680.