

基于区间直觉模糊集的流域初始排污权 配置方案综合评价

吴凤平,周进梅,张丽娜

(河海大学商学院,江苏南京 211100)

摘要:针对初始排污权配置方案评价过程中存在的模糊性与不确定性问题,构建基于区间直觉模糊集的流域初始排污权配置方案综合评价模型。首先,引入区间模糊数来表达专家判断信息,通过多个专家的群体决策综合量化影响配置的社会、经济、资源、环境等因素;其次,结合 MYCIN 不精确推理模型和灰色关联方法构建推理决策模型,利用证据推理决策对已知信息进行挖掘和融合,并根据实质确定性因子最大化原则选择最佳方案;最后,以太湖流域初始排污权配置方案综合评价为例进行分析,结果表明该方法具有可行性与有效性。

关键词:初始排污权配置方案;区间直觉模糊集;灰色关联分析;综合评价

中图分类号:F407.9

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2015)01-0027-05

随着我国流域人口的不断增长和经济社会的迅速发展,大量生活污水、工农业生产污水和废渣随着地表径流入河湖中,导致流域水资源短缺与水质恶化现象日趋严峻,同时也严重威胁着人们的身体健康^[1]。为此,我国实行最严格水资源管理制度,明确指出要加强水功能区限制纳污红线管理、加强流域排污权管理机构的宏观调控作用,严格控制入河湖排污总量,提高流域初始排污权的配置效率^[2]。在排污权管理中,初始排污权的配置是排污权交易的基础和前提,明晰流域初始排污权是实现水资源在各区域及各用水行业之间进行公平、合理、有效配置的重要途径,是解决流域水资源短缺、水生态恶化的重要手段。因此,流域初始排污权配置方案综合评价的理论与实践必须适应最严格水资源管理制度的新要求,以纳污总量控制为基准,形成规模适度、结构合理的有效配置方案^[3]。

目前,国内外学者根据各国的水资源实际状况和社会体制差异等分别对初始排污权的科学配置做了相应的研究。国外如 Hahn 和 Malik^[4-5]认为排污权的初始分配会影响排污权市场交易的效率,但大

多数学者在排污权管理领域的研究成果多集中在排污权交易理论方面,如 Hung 等^[6]、Dafna 等^[7]。国内一些学者结合我国的国情、水情对流域初始排污权配置决策也进行了积极有效的探索,如于术桐等^[8]、仇蕾等^[9]采用多指标决策法对流域初始排污权进行了配置;王洁方^[10]提出了总量控制下流域初始排污权的竞争性混合分配方式,并重点研究了排污权的竞争性分配决策;完善等^[11]同时以经济最优性和分配公平性为目标对太湖流域的初始排污权进行了分配;李昊等^[1]采用环境基尼系数法对流域初始排污权进行分配和优化;李如忠等^[12]结合 Vague 集理论同时考虑隶属度与非隶属度的特点,将其应用于区域水污染负荷的分配方案中。目前国内已有的这些研究为流域初始排污权配置方案综合评价提供了良好基础,但在最严格水资源管理制度规定的目标和约束下,笔者认为这些方法尚存在 2 点不足:①国内已有研究主要集中于单人的多目标决策,单人决策多目标的问题会使决策过程变得复杂,无法快速求解;②流域初始排污权配置决策涉及的因素很多,具有模糊性和不确定性,已有研究在评价过

基金项目:国家自然科学基金(41271537);国家社会科学基金(12&ZD214)

作者简介:吴凤平(1964—),男,江苏泰州人,教授,博士,主要从事水资源管理和有效配置研究。E-mail: wfp@hhu.edu.cn

通信作者:周进梅(1990—),女,江苏东台人,硕士研究生,从事规划与决策研究。E-mail: zhoujinmei1990@163.com

程中多使用确定数来描述属性值, Vague 集理论虽然在解决初始排污权配置过程中的不确定性、复杂性问题取得了阶段性成果, 但并未能细腻地描述出事物的不确定性且未能很好地利用并集成属性值的信息用于决策, 不能客观灵活地反映事实。此外, 上述已有多指标决策模型在应用时要求决策者给出各因素精确的权重, 理论上可行, 实际上难以保证客观性且可信度不高。

Atanassov^[13] 提出直觉模糊集, 直觉模糊集能够较好地描述客观世界以及人类认识的模糊性。Atanassov 等^[14] 又对直觉模糊集进行推广, 提出了区间直觉模糊集, 区间模糊数能够更加细腻地描述和刻画事物的不确定性, 进一步增强了不确定信息的表达能力。参与初始排污权配置方案综合评价的主体来自不同领域, 代表不同的利益诉求, 在评价配置方案时由于知识背景不同往往不能直接提供确定的偏好信息, 存在一定的模糊区间。此时, 用区间直觉模糊数来表达决策者的偏好信息更加合适。医学专家系统 MYCIN 是由 Shortliffe 等^[15] 提出的不精确推理模型, 能够反映现实世界中许多具有模糊性、不确定性的知识, 该模型引入确定性因子 CF (Certainty Factor) 或称可信度来描述知识和证据的不确定性。徐泽水^[16] 阐述了区间直觉模糊数的概念, 并通过引入区间直觉模糊数的得分函数和精确函数给出了一种基于区间直觉模糊信息的决策方法。李鹏等^[17] 提出一种区间直觉模糊决策方法, 通过计算各方案在每个指标下的确定性因子并对其进行融合来确定最优方案。

结合流域水资源的分布特点和利用现状, 从流域社会、经济和环境等的整体效益出发, 将多目标的初始排污权分配决策问题转换为不同配置方案的评价、选择问题, 使所选方案能够令流域整体水资源可持续发展达到帕累托最优。笔者在区间直觉模糊决策方法及区间直觉模糊信息集成方法相关研究成果的基础上, 针对初始排污权配置决策中存在的问题设计了 2 个关键步骤予以解决: ①引入区间模糊数来表达专家判断信息, 通过多个专家的群体决策综合量化影响配置的各种因素, 构建基于区间直觉模糊集的初始排污权配置方案综合评价模型; ②提出基于确定性因子的非线性信息集成方式, 将 MYCIN 不精确推理模型与灰色关联方法相结合构建证据推理决策模型, 对已知信息进行挖掘与融合, 并以实质确定性因子越大越优为原则选择最佳方案。

1 基本知识描述及模型构建

鉴于流域初始排污权配置决策系统具有复杂

性、不确定性的特点, 专家在各个属性(指标)下对不同初始排污权配置方案进行综合评价时往往难以用精确的实数值来表达, 引入区间数表示属性值。

1.1 基本知识及假设

1.1.1 基本知识

定义 1^[14] 设 X 是一个非空集, 则称 $\bar{A} = \{ \langle x, \bar{u}_A(x), \bar{v}_A(x) \rangle \mid x \in X \}$ 为区间直觉模糊集, 其中 $\bar{u}_A(x) \subset [0, 1], \bar{v}_A(x) \subset [0, 1], x \in X$, 分别表示元素 x 属于 \bar{A} 的隶属度函数和非隶属度函数, 且满足条件 $0 \leq \text{Sup} \bar{u}_A(x) + \text{Sup} \bar{v}_A(x) \leq 1, x \in X$ 。对于区间直觉模糊集 $\bar{A}: \bar{\pi}_A(x) = 1 - \bar{u}_A(x) - \bar{v}_A(x), 0 \leq \bar{\pi}_A(x) \leq 1, \bar{\pi}_A(x)$ 为元素 x 属于 \bar{A} 的犹豫度。

X 中的元素 x 属于 \bar{A} 的隶属度与非隶属度组成的有序对 $\langle \bar{u}_A(x), \bar{v}_A(x) \rangle$ 称为区间直觉模糊数。假设多属性决策问题有 m 个可行方案 X_1, X_2, \dots, X_m , n 个评价指标 I_1, I_2, \dots, I_n 。方案 X_i 在指标 I_j 下的属性值为区间直觉模糊数 \bar{d}_{ij} , 则可得到区间直觉模糊决策矩阵 $\bar{D} = (\bar{d}_{ij})_{m \times n}$ 。

Chen 等^[18] 引进记分函数, 记分函数的记分值为支持程度与反对程度的差值, 其实质为净支持程度, 该值越大越好。对于区间直觉模糊数 $\alpha = \langle \bar{u}_A(x), \bar{v}_A(x) \rangle$, 定义 $S(\alpha) = \bar{u}_A(x) - \bar{v}_A(x)$ 为 α 的区间记分函数, 其中 $S(\alpha) \subset [-1, 1]$ 为一区间数。因此, 可将区间直觉模糊决策矩阵 $\bar{D} = (\bar{d}_{ij})_{m \times n}$ 转化为区间记分函数矩阵 $S = (s_{ij})_{m \times n}$, 其中 $s_{ij} = [s_{ij}^l, s_{ij}^u], s_{ij}^l$ 与 s_{ij}^u 分别为隶属度与非隶属度差值的下界与上界。

定义 2^[19] 设 h 是假设随机变量, e 为证据随机变量, 则 $CF(h/e) = MB(h/e) - MD(h/e)$ 为 MYCIN 确定性因子(或可信度)。其中

$$MB(h/e) = \begin{cases} \frac{P(h/e) \vee P(h) - P(h)}{1 - P(h)} & P(h) \neq 1 \\ 1 & P(h) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$MD(h/e) = \begin{cases} \frac{P(h) - P(h/e) \wedge P(h)}{P(h)} & P(h) \neq 0 \\ 1 & P(h) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $MB(h/e)$ 和 $MD(h/e)$ 分别为支持假设的程度与反对假设的程度, 且满足当 $MB(h/e) > 0$ 时, $MD(h/e) = 0$, 当 $MD(h/e) > 0$ 时, $MB(h/e) = 0, MB(h/e) \in [0, 1], MD(h/e) \in [0, 1]$ 。

由式(1)和式(2)可知, 若 $P(h/e) = 1$, 即当证据 e 为真时, 假设 h 为真。

$CF(h/e)$ 表示当证据 e 为真时, 它对假设 h 为真的信任度, 取值范围为 $[-1, 1]$ 。特别地, $CF(h/e) = 1$

表示假设 h 在证据 e 下为真; $CF(h/e) = -1$ 表示假设 h 在证据 e 下为假; $CF(h/e) = 0$ 表示假设 h 在证据 e 下完全不确定。

令 $CF_T(h/e) = CF(h/e)CF(e)$ 为实质确定性因子。 $CF(e)$ 为证据 e 的信任度, $CF(e) \in [-1, 1]$, 其值越大表示证据 e 的可信度越高; $CF_T(h/e)$ 表示当证据 e 的信任度为 $CF(e)$ 时, 对假设 h 为真的信任度。要得到实质确定性因子, 必须先求得每个证据的可信度。

1.1.2 基本假设

假设 1 为了利用确定性因子提取信息进行证据推理决策, 需将决策系统的指标体系视为一组证据信息, 将可行方案组视为不同假设。

假设 2 因为 MYCIN 确定性因子与直觉模糊数的记分函数实质颇为相似, 所以确定性因子可以用记分函数值来表示。因为区间直觉模糊数的区间记分函数是区间数, 不能直接用来表示确定性因子, 故应利用区间数点算子将区间数 s_{ij} 转化为实数^[17]。

假设 3 指标不确信度的提取方法应根据具体情况予以选择, 一般来说, 当某个指标的信息相对于其他指标而言越匹配于指标体系的平均信息时, 表明该指标包含的信息越有利于决策, 从而该指标的不确信度越低; 反之亦然。

灰色系统理论适用于处理小样本、贫信息的决策问题, 在初始排污权配置方案综合评价问题中, 决策所涉及的方案和属性数量一般不是很多, 满足灰色系统建模的条件。故笔者采用灰色关联分析方法求得各指标的不确信度, 以此来求得指标的可信度。

1.2 模型的构建

基于区间直觉模糊集的流域初始排污权配置方案综合评价模型的思路是: ①根据得到的初始排污权配置方案群体综合加权评价矩阵和区间记分函数公式得到区间记分函数矩阵, 进而得到记分函数矩阵即确定性因子矩阵; ②通过记分函数矩阵和指标不确信度公式得到指标的信任度, 进而得到实质确定性因子矩阵; ③对证据进行信息融合, 根据实质确定性因子最大化原则, 确定最优方案, 这样可以充分表达属性的不确定性和模糊性, 并且很好地集成属性信息用于推理决策。基于区间直觉模糊集的流域初始排污权配置方案综合评价模型构建的具体步骤如下:

步骤 1 计算记分函数矩阵。根据区间直觉模糊决策矩阵 \bar{D} 和区间记分函数公式得到区间记分函数矩阵 S , 并通过式 (3) 将区间记分函数矩阵 $S = (s_{ij})_{m \times n}$ 转化为记分函数矩阵 $G = (g_{ij})_{m \times n}$:

$$G(g_{ij}) = \frac{s_{ij}^l + s_{ij}^u}{2} + \alpha \frac{s_{ij}^u - s_{ij}^l}{2} \quad (3)$$

式中: α 为风险因子, $\alpha \in [-1, 1]$ 。当 $\alpha = 0$ 时, 说明决策者为风险中性; $\alpha > 0$ 时, 说明决策者追求风险; $\alpha < 0$ 时, 说明决策者规避风险。

步骤 2 确定各指标的信任度。根据记分函数矩阵 G , 取 $CF(h_i/e_j) = g_{ij}$, 得到 MYCIN 确定性因子矩阵 $CF = (CF(h_i/e_j))_{m \times n}$, $CF(h_i/e_j)$ 表示指标 I_j 下方方案 X_i 为最优方案的信任度。由记分函数矩阵 G 和式 (4) 得到各个指标的不确信度 $DOI(I_j)$, 从而得到指标的信任度 $CF(e_j) = 1 - DOI(I_j)$, $j = 1, 2, \dots, n$:

$$DOI(I_j) = \frac{1}{m} \left[\sum_{i=1}^m (r_{ij})^q \right]^{1/q} \quad (4)$$

其中: $r_{ij} = \frac{\min_i |g_{ij} - \bar{g}_i| + \xi \max_i |g_{ij} - \bar{g}_i|}{|g_{ij} - \bar{g}_i| + \xi \max_i |g_{ij} - \bar{g}_i|}$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ 为灰色均值关联度^[20]。一般令 $\xi = 0.5$, 为了提高分辨效果, 这里采用欧氏距离, 取 $q = 2$ 。

步骤 3 计算实质确定性因子矩阵。根据式 (5) 计算方案 X_i 在各指标下的实质确定性因子, 得到实质确定性因子矩阵 $CF_T = (CF_T(h_i/e_j))_{m \times n}$:

$$CF_T(h_i/e_j) = CF(h_i/e_j)CF(e_j) = g_{ij}(1 - DOI(I_j)) \quad (5)$$

步骤 4 融合证据信息。要作出决策需要将各方案在不同证据(指标)下的实质确定性因子进行证据融合, 融合方法如下^[19]:

若 e_1, e_2, \dots, e_m 是关于 h 和 \bar{h} 条件独立的, 则

$$CF_T(h/e_1, e_2, \dots, e_m) = \frac{CF_T(h/e_1, e_2, \dots, e_{m-1}) + CF_T(h/e_m)}{1 + CF_T(h/e_1, e_2, \dots, e_{m-1})CF_T(h/e_m)} \quad (6)$$

根据式 (6) 可完成多条证据下实质确定性因子的融合。

步骤 5 确定最佳方案。决策者对方案进行优先排序, 选择最优方案, 其排序原则是实质确定性因子越大越优。

2 算例分析

太湖流域属于典型的水质型缺水地区, 流域因水资源污染造成的水质型缺水问题最为突出。20 世纪 90 年代以来, 随着太湖流域城镇化以及工农业的加速发展, 大量污水、废渣随地表径流进入湖泊, 导致太湖流域水体污染形势严峻, 并引发一系列水资源问题, 如 2007 年的无锡供水危机等。2010 年全年水期评价结果显示, 太湖流域各类水质河长所占比例分别为: II 类 1.9%、III 类 10.6%、IV 类 21.2%、V 类 22.7% 和劣于 V 类 43.6%。各水期水质评价结

果显示,非汛期达到Ⅲ类水质标准的河流总长度要好于汛期,但非汛期劣于Ⅴ类水质标准的河长要远大于汛期。总体而言,流域河流水质状况堪忧,已经严重影响到流域内工农业生产和居民生活。因此,合理的选择初始排污权配置方案显得尤为重要。笔者结合太湖流域的实际情况,建立基于区间直觉模糊集的初始排污权配置方案综合评价模型,对太湖流域内的初始排污权配置方案进行评价,得到最佳方案,为太湖流域初始排污权配置方案的优选提供有效的决策支持。

由于初始排污权配置决策系统的复杂性和涉及利益主体多等特点,初始排污权配置方案决策问题应转化为寻求社会、经济、资源、环境、技术、管理多属性下令流域整体发展帕累托最优的方案。为了保证初始排污权配置方案的客观合理性,本次决策选择了3名领域问题研究专家对已有的5种初始排污权配置方案(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5)进行综合评价,3位专家(e_1, e_2, e_3)根据自身知识和经验分别对5个方案的社会、经济、资源、环境、技术和管理6个指标进行评价打分,给出各自的区间直觉模糊判断矩阵,各个专家的权重分别为 $W=(0.32, 0.37, 0.31)$ 。于是根据各个专家给出的区间直觉模糊判断矩阵和各自的权重集结处理后得到群体综合加权区间直觉模糊判断矩阵,如表1所示。

基于区间直觉模糊集对太湖流域初始排污权配置方案进行综合评价,具体计算步骤如下。

步骤1 计算记分函数矩阵。根据区间直觉模糊决策矩阵和区间记分函数公式计算得到区间记分函数矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} [0.56, 0.74] & [0.04, 0.30] & [0.21, 0.41] & [0, 0.20] & [-0.23, 0.12] & [-0.08, 0.24] \\ [0.25, 0.51] & [0.29, 0.50] & [0.31, 0.51] & [-0.02, 0.14] & [0.33, 0.40] & [-0.07, 0.12] \\ [0.38, 0.55] & [0, 0.26] & [-0.39, -0.19] & [0.02, 0.27] & [0.11, 0.24] & [-0.16, 0.12] \\ [-0.17, -0.05] & [0.08, 0.32] & [0.09, 0.34] & [0.20, 0.55] & [0.12, 0.42] & [0.13, 0.38] \\ [0.17, 0.49] & [-0.4, -0.13] & [0.07, 0.33] & [0.09, 0.35] & [0.03, 0.31] & [0.21, 0.48] \end{bmatrix} \quad (7)$$

表1 群体综合加权区间直觉模糊决策矩阵 \bar{D}

方案	指标					
	社会	经济	资源	环境	技术	管理
A_1	$([0.71, 0.83], [0.09, 0.15])$	$([0.47, 0.56], [0.26, 0.43])$	$([0.46, 0.58], [0.17, 0.25])$	$([0.46, 0.51], [0.31, 0.46])$	$([0.34, 0.40], [0.52, 0.57])$	$([0.35, 0.57], [0.33, 0.43])$
A_2	$([0.54, 0.63], [0.12, 0.29])$	$([0.57, 0.71], [0.21, 0.28])$	$([0.58, 0.70], [0.19, 0.27])$	$([0.41, 0.49], [0.35, 0.43])$	$([0.57, 0.63], [0.16, 0.24])$	$([0.40, 0.49], [0.37, 0.47])$
A_3	$([0.65, 0.68], [0.13, 0.27])$	$([0.44, 0.52], [0.26, 0.44])$	$([0.26, 0.35], [0.54, 0.65])$	$([0.47, 0.53], [0.26, 0.45])$	$([0.51, 0.59], [0.35, 0.40])$	$([0.28, 0.46], [0.34, 0.44])$
A_4	$([0.38, 0.45], [0.50, 0.55])$	$([0.48, 0.59], [0.27, 0.40])$	$([0.45, 0.56], [0.22, 0.36])$	$([0.53, 0.67], [0.12, 0.33])$	$([0.44, 0.58], [0.16, 0.32])$	$([0.51, 0.59], [0.21, 0.38])$
A_5	$([0.45, 0.62], [0.13, 0.28])$	$([0.25, 0.34], [0.47, 0.65])$	$([0.42, 0.53], [0.20, 0.35])$	$([0.48, 0.57], [0.22, 0.39])$	$([0.41, 0.48], [0.17, 0.38])$	$([0.50, 0.68], [0.20, 0.29])$

取 $\alpha=0$ (风险中性),由式(3)得到记分函数矩阵:

$$G = \begin{bmatrix} 0.65 & 0.17 & 0.31 & 0.10 & -0.06 & 0.08 \\ 0.38 & 0.40 & 0.41 & 0.06 & 0.37 & 0.03 \\ 0.47 & 0.13 & -0.29 & 0.15 & 0.18 & -0.02 \\ -0.11 & 0.20 & 0.22 & 0.38 & 0.27 & 0.26 \\ 0.33 & -0.27 & 0.20 & 0.22 & 0.17 & 0.35 \end{bmatrix} \quad (8)$$

步骤2 确定各指标的信任度。取 $CF(h_i/e_j)=g_{ij}$,得到MYCIN确定性因子矩阵 $CF=(CF(h_i/e_j))_{m \times n}$,即

$$CF = \begin{bmatrix} 0.65 & 0.17 & 0.31 & 0.10 & -0.06 & 0.08 \\ 0.38 & 0.40 & 0.41 & 0.06 & 0.37 & 0.03 \\ 0.47 & 0.13 & -0.29 & 0.15 & 0.18 & -0.02 \\ -0.11 & 0.20 & 0.22 & 0.38 & 0.27 & 0.26 \\ 0.33 & -0.27 & 0.20 & 0.22 & 0.17 & 0.35 \end{bmatrix} \quad (9)$$

根据记分函数矩阵 G 和式(4)计算得各个指标 I_j 的不确信度: $DOI(I_1)=0.325, DOI(I_2)=0.352, DOI(I_3)=0.342, DOI(I_4)=0.344, DOI(I_5)=0.308, DOI(I_6)=0.324$,进而得指标 I_j 的信任度 $CF(e_j)=1-DOI(I_j), j=1, 2, \dots, n$,即 $CF(e_1)=0.675, CF(e_2)=0.648, CF(e_3)=0.658, CF(e_4)=0.656, CF(e_5)=0.692, CF(e_6)=0.676$ 。

步骤3 计算实质确定性因子矩阵。根据式(5)得到实质确定性因子矩阵:

$$CF_T = \begin{bmatrix} 0.439 & 0.110 & 0.204 & 0.066 & -0.042 & 0.054 \\ 0.257 & 0.259 & 0.270 & 0.039 & 0.256 & 0.020 \\ 0.317 & 0.084 & -0.191 & 0.098 & 0.125 & -0.014 \\ -0.074 & 0.130 & 0.145 & 0.249 & 0.187 & 0.176 \\ 0.223 & -0.175 & 0.132 & 0.144 & 0.118 & 0.237 \end{bmatrix} \quad (10)$$

步骤4 融合证据信息。根据公式(6),利用 Matlab 6.0 软件进行证据信息融合,计算得

$$CF_T(h_1/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.700 \quad (11)$$

$$CF_T(h_2/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.810 \quad (12)$$

$$CF_T(h_3/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.406 \quad (13)$$

$$CF_T(h_4/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.677 \quad (14)$$

$$CF_T(h_5/e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6) = 0.596 \quad (15)$$

步骤5 确定最佳方案。根据实质确定性因子最大化原则,得到太湖流域初始排污权配置方案的优先排序为 $A_2 > A_1 > A_4 > A_5 > A_3$, 即 A_2 为最佳方案。

结合太湖流域的实际情况,由于在工农业加速发展过程中对流域水污染问题的重视不够,导致水污染问题在一定程度上制约着太湖流域整体社会经济的发展。笔者从太湖流域社会、经济、资源和环境等整体效益出发,选择符合太湖流域发展模式的初始排污权配置方案,不仅可以提高太湖流域整体水资源可持续发展水平,加快流域整体社会发展,还能促进流域社会、经济、资源、环境的协调可持续发展,同时也降低了太湖流域水危机事件发生的概率,有利于流域整体的和谐发展。因此,选择方案 A_2 为最终初始排污权配置方案。

3 结论

a. 构建基于区间直觉模糊集的流域初始排污权配置方案综合评价模型,用区间模糊数来描述事物的不确定性和模糊性更加客观合理,应用基于证据推理的决策方法,通过对已知信息进行挖掘和融合,可以较好地解决因模糊性和动态决策过程中的不确定性引起的精确性欠佳问题,可信度高。

b. 提出一种基于确定性因子的非线性的信息集成方式,使决策信息得到更加充分的利用,将 MYCIN 确定性因子与灰色关联方法相结合建立推理决策模型,使决策结果更为科学。

c. 实例分析结果表明,该方法能比较有效地对流域初始排污权配置方案进行评价和选择,优选结果可为流域制定初始排污权配置方案提供有效的决策支持,从而为流域的可持续健康发展提供保障。

参考文献:

[1] 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.
[2] 吴丹,吴芳. 流域初始排污权配置机制及方法研究进展[J]. 水利水电科技进展,2011,31(6):85-90.
[3] 吴凤平,贾鹏,张丽娜. 基于格序理论的水资源配置方案综合评价[J]. 资源科学,2013,35(11):2232-2238.

[4] HAHN R W. Market power and transferable property rights [J]. Quarterly Journal of Economics, 1984, 99(10):753-765.
[5] MALIK A S. Further results on permit markets with market power and cheating [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2002, 44(3):371-390.
[6] HUNG M F, SHAW D. A trading-ratio system for trading water pollution discharge permits [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2005, 49(1):83-102.
[7] DAFNA M, DISEGNI E. Optimal allocation of tradable pollution rights and market structures [J]. Journal of Regulatory Economics, 2005, 28(2):205-223.
[8] 于术桐,黄贤金,程绪水. 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.
[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] 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.
[11] 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):278-288.
[12] 李如忠,舒琨. 基于 Vague 集的水污染负荷分配方法 [J]. 水利学报, 2011, 42(2):127-135.
[13] ATANASSOV K T. Intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1):87-96.
[14] ATANASSOV K T, GARGOV G. Interval-valued intuitionistic fuzzy sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 31(3):343-349.
[15] SHORTLIFFE E H, BUCHANAN B G. A model of inexact reasoning in medicine [J]. Mathematical Biosciences, 1975, 23:351-379.
[16] 徐泽水. 区间直觉模糊信息的集成方法及其在决策中的应用 [J]. 控制与决策, 2007, 22(2):215-219.
[17] 李鹏,刘思峰,方志耕. 基于灰色关联分析和 MYCIN 确定性因子的区间直觉模糊决策方法 [J]. 控制与决策, 2012, 27(7):1009-1014.
[18] CHEN S M, TAN J M. Handling multi-criteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 67(2):163-172.
[19] 张文修,梁怡,徐萍. 基于包含度的不确定推理 [M]. 北京:清华大学出版社,2007.
[20] 刘思峰,党耀国,方志耕. 灰色系统理论及其应用 [M]. 3 版. 北京:科学出版社,2004.

(收稿日期:2014-09-22 编辑:方宇彤)