

文章编号:0559-9350(2009)06-0729-07

水资源优化配置方案综合评价的模糊熵模型

余建星,蒋旭光,练继建

(天津大学 建筑工程学院,天津 300072)

摘要:由于水资源优化配置方案具有多目标性和模糊不相容性的特点,在模糊理论分析的基础上,结合欧氏贴近度的概念,建立了基于欧氏贴近度的水资源优化配置方案综合评价的模糊优选模型。模型中基于信息熵建立了专家自身权重模型来修正层次分析法得到的指标主观权重,得到的指标融合权重减少了权重确定的主观性。以天津市水资源优化配置方案综合评价为例介绍了该模型的具体运用,该模型为水资源优化配置方案综合计价提供了一种新的决策方法。

关键词:模糊理论;欧氏贴近度;信息熵;水资源配置;综合评价

中图分类号:TV211.1

文献标识码:A

1 研究背景

1972年,联合国人类环境会议指出,“石油危机之后,下一个危机是——水”。如何对有限的水资源进行优化配置,已成为国内外学者日益重视的课题。水资源的优化配置涉及到资源、环境、经济、社会等方面,是一个动态、多变、非平衡、开放耗散的“非结构化”或“半结构化”系统。迄今为止,水资源优化配置无论是理论研究还是实际应用(尤其是实际应用)都还存在着许多不尽人意的地方,探索和不断完善水资源优化配置理论与方法具有重要的理论和现实意义^[1-2]。本文对水资源优化配置方案进行研究,在模糊理论分析的基础上,结合欧氏贴近度的概念,建立多层次多目标水资源优化配置方案综合评价模型,该模型采用基于层次分析法和熵值法的综合赋权方法确定各评价指标的权重,以减少权重确定的主观性,本文为水资源优化配置方案综合评价提供一种新的决策方法。

2 模糊综合评价模型

根据陈守煜的模糊集理论^[3-4],设系统有 n 个待选方案组成方案集,有 m 个指标组成对方案集进行评判的指标集,则指标特征值矩阵为

$$\mathbf{X}_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 表示第 j 个方案对于第 i 个评判指标的特征值 ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$)。

为消除指标特征值量纲不同的影响,需要对矩阵 \mathbf{X} 进行标准化处理。一般情况下,水资源优化配置方案评价指标有 3 种类型:效益型(越大越优型)、成本型(越小越优型)和中间型(越中越优型),其标

收稿日期:2008-09-19

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(50679052,50338060)

作者简介:余建星(1958—),男,福建人,教授,主要从事大型工程项目风险分析及可靠性研究。E-mail:yujx@tju.edu.cn

准化方法可分别采用下面的相对隶属度函数式

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{\max} + x_{\min}}, x_{ij} \geq 0 \quad (2)$$

$$r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_{\max} + x_{\min}}, x_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{x_{\text{mid}} + x_{\min}}, & x_{\min} \leq x_{ij} \leq x_{\text{mid}} \\ \frac{x_{\max} + x_{\min} - x_{ij}}{x_{\max} + x_{\text{mid}}}, & x_{\text{mid}} \leq x_{ij} \leq x_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中： x_{\max} 、 x_{\min} 、 x_{mid} 分别表示第 i 个指标的最大值、最小值和中间值； r_{ij} 表示标准化后的相对优属度值。

标准化后得到优属度矩阵为

$$R_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{m \times n} \quad (5)$$

若 $g = (g_1, g_2, \dots, g_m)^T$, 其中 $g_i = \bigvee_{j=1}^n r_{ij} = r_{i1} \vee r_{i2} \vee \cdots \vee r_{in} (i=1, 2, \dots, m)$, 则称 g 为相对最大优属度, 也称最优方案。其中, g_i 表示 n 个方案中对第 i 个指标相对优属度的最大值; 符号 \vee 表示“取大”运算。

若 $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)^T$, 其中 $b_i = \bigwedge_{j=1}^n r_{ij} = r_{i1} \wedge r_{i2} \wedge \cdots \wedge r_{in} (i=1, 2, \dots, m)$, 则称 b 为相对最小优属度, 也称最劣方案。式中, b_i 表示 n 个方案中对第 i 个指标相对优属度的最小值; 符号 \wedge 表示“取小”运算。

设 m 个指标的权重向量为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$, 其中 $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。求解第 j 个方案从属于优等方案的隶属度的最优值 u_{ij} 的计算公式为

$$u_{ij} = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{k=1}^m [w_k (r_{kj} - g_k)]^p}{\sum_{k=1}^m [w_k (r_{kj} - b_k)]^p} \right\}^{\frac{2}{p}}} \quad (6)$$

式中： p 为距离参数, 本文取 $p=2$; u_{ij} 为欧氏贴近度, 表示各方案与最优方案之间的贴近度, 可以根据欧氏贴近度的大小对各方案进行优劣排序。

3 基于层次分析法和熵值法的指标融合权重

在水资源配置方案评价中, 常需以权重系数衡量各评价指标的重要程度。目前, 权重确定方法有很多, 现行的方法大都或者只考虑了主观评价的一个侧面, 如层次分析法等, 或者只考虑了客观评价的一个侧面, 如熵值法和变异系数法等。为了尽可能消除或避免由于主、客观赋权法所存在的片面性而对决策结果产生的影响, 本文提出一种综合赋权方法, 该方法的基本原理是: 首先采用层次分析法确定指标主观权重, 而后根据各个专家建立的两两判别矩阵, 应用熵值法得到可评价专家给定信息质量的专家权重熵模型, 最后进行组合得出指标融合权重。

3.1 基于层次分析法的专家主观权重 首先建立水资源优化配置方案综合评价指标体系, 确立了层级间因素的隶属关系后, 引入“1~9”标度方法将同层 n 个因素的重要性比较定量化, 生成 $n \times n$ 阶判断矩阵 A , 然后采用特征向量法计算判断矩阵 A 的最大特征根 λ_{\max} 及其相应的特征向量, 将其归一化后,

即为该层有关因素相对于上一层相关因素的权重值 W , 还需要对权重进行一致性检验。

3.2 基于信息熵的专家自身权重 熵是简单巨系统的一个重要概念^[5], 在 1864 年由物理学家 R Clausius 在《热之唯动说》中提出用以描述系统状态的物理量, 信息熵是信息准确度和价值的有效测度。设状态空间 x 上信息 A 的条件概率为 $P(y_k | x_l) (k, l=1, 2, \dots, n)$, A 的传递矩阵为 $E(A) = (e_1, e_2, \dots, e_n)$, 其中, $e_l (l=1, 2, \dots, n)$ 为状态 l 发生时信息 A 的准确度, 其值越大, 准确度越高

$$e_l = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [P(y_k | x_l) - P(y_k | x_i)] \quad (l=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

称 h_k 为状态 l 发生时信息 A 的熵值, $H(A) = \sum_{k=1}^n h_k$ 为信息 A 的传递熵。传递熵表明了给定信息 A 的不确定度。

$$\text{其中, } h_k = \begin{cases} -e_k \ln e_k & (P \ll e_k \leq 1) \\ 2 e - e_k |\ln e_k| & (-P n - 1 \leq e_k \leq P e) \end{cases}$$

在构建判别矩阵的过程中, 假定存在一理想的最优专家, 其构建的判别矩阵最公正、最准确。与最优专家给定结果差距越大的待评专家, 其所给出结果的可信度就越低, 此差距也用熵表示^[6~8], 可建立以下模型: 设 S_1, S_2, \dots, S_m 为 m 个专家, 其构成评价群组 G 。被评价目标为 B_1, B_2, \dots, B_n 。 $x_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ 是第 i 个专家对第 j 个目标的评分值。向量 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})^T \in E^m$ 和矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 是各专家和专家组在一次评估中提供的结论。记 S_* 为最优专家, 取与专家群体有最高一致性的专家, 其评分向量为 $x = (x_{*1}, x_{*2}, \dots, x_{*n})^T \in E^m$ 。用各专家的评分结果与 S_* 的差异大小来度量所选专家的优劣。

专家的评价水平向量为

$$E_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in}) \quad (8)$$

式中: $e_{ik} = 1 - |x_{ik} - \bar{x}_{ik}| / \max x_{ik} (i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, j)$, 反映了专家 S_i 对目标 $B (B_1, B_2, \dots, B_n)$ 所做的评价结论的水平。

至此, 可建立如下基于信息熵的专家评价结果评定模型:

$$H_i = \sum_{j=1}^n h_{ij} \quad (9)$$

此模型将专家对给定问题的评价能力用其给定的评分结果的不确定性来度量, 熵值 H_i 的大小表示了不确定性的程度。熵值 H_i 越小, 专家的决策水平越高, 给出的评分越科学; 反之, 熵值越大的专家给出的评价结论可信度越低, 给出的评价越不科学。故可采用下式表示各目标中专家所对应的权重, 即第 i 个专家的权重为

$$c_i = \frac{P H_i}{\sum P H_i} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

c_i 值越大, 表示专家 i 的意见应在评价中占的比重越大。

3.3 指标的加权融合权重 设 n 为指标个数, m 为专家个数, $W'_j = [w'_{j1}, w'_{j2}, \dots, w'_{jn}]^T$ 为第 j 个专家给出的指标主观权重向量, $S = [S_1, S_2, \dots, S_m]^T$ 为专家自身权重向量, $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 为融合权重, 满足 $0 < w_i < 1, \sum_{i=1}^n w_i = 1 (i=1, 2, \dots, n)$, 则

$$W = \sum_{j=1}^m w'_j \times S (j=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

层次分析法得到的指标主观权重是专家依据个人经验得出的结果, 熵值法得到的专家自身权重是依据专家给出的指标主观权重计算出的专家相对重要性权重, 显然两者结合得出的指标加权融合权重更为合理。

4 实例分析

4.1 研究区域概况 天津市位于海河流域下游,地处华北平原东北部,北依燕山,东临渤海,是环渤海地区经济中心,全市辖 18 个区、县,20 个乡,120 个镇。境内河流众多,素有“九河下梢”之称,过境行洪河道 19 条,河道总长 1 095.1km。气候属暖温带半湿润大陆性季风型气候,降水量年内分配不均,60%~80%集中在汛期,且年际变化大,多年平均降水量由南向北递增,在 560~720mm 之间。天津市人均水资源量为 183m³/a,仅为全国人均水资源量的 1/15,是全国人均水资源量最少的省市,可以说,近 20 年经济的发展是靠超采地下水、牺牲农业和环境为代价来维持的。水资源已成为严重制约当地经济发展的重要因素。对水资源进行合理配置,是解决该地区水资源矛盾的一项重要举措。

4.2 水资源配置方案 根据天津市社会经济发展和水利工程开发等情况设置多个水资源配置措施,遵循水资源配置的需水代表性、供水代表性及工程布局代表性三大原则,通过分析、对比及筛选,选定了 8 个代表性好、可行性强的水资源配置方案^[9],如表 1 所示。

表 1 天津市 2010 年水资源配置方案集

方案	1	2	3	4	5	6	7	8
引滦入津	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
南水北调中线	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
南水北调东线	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
基本节水	✓	✓	✓	✓				
强化节水					✓	✓	✓	✓
现状污水回用量	✓	✓			✓	✓		
加大污水回用量			✓	✓			✓	✓
现状海水利用量	✓		✓		✓		✓	
加大海水利用量		✓		✓		✓		✓

4.3 方案评价指标体系 分别从水资源的社会合理性、经济合理性、资源合理性和效率合理性 4 个方面建立评价指标体系如表 2 所示。

根据水资源规划大纲要求,以 2000 年为基准年,2010 年作为规划年对天津市进行水资源合理配置研究。根据供需预测计算区域缺水率、工业缺水率、农业缺水率;根据《天津市城市安全供水对策研究》计算缺水经济损失,进而计算单方水工业产出和工业增加值增长率;根据《天津市中长期供水规划》确定水利工程投资;并查阅相关资料确定污水回用量、工业用水重复利用率、农业灌溉水有效利用系数和城市供水管网漏失率。标准化后的指标隶属度见表 2。

表 2 天津市 2010 年水资源配置各方案评价指标标准化后的隶属度

评价指标	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7	方案 8
区域缺水率 R_1	0.1316	0.2319	0.3633	0.4636	0.3483	0.4788	0.6499	0.7806
工业缺水率 R_2	0.0000	0.6113	0.4366	1.0000	0.2379	0.8906	0.7041	1.0000
农业缺水率 R_3	0.2854	0.2854	0.4479	0.4479	0.5099	0.5099	0.7146	0.7146
单方水工业产出 R_4	0.5266	0.4999	0.5061	0.4734	0.5480	0.5208	0.5317	0.5054
工业增加值增长率 R_5	0.3983	0.5410	0.4996	0.6017	0.4514	0.5998	0.5649	0.6017
水利工程投资 R_6	0.7442	0.5595	0.6296	0.4479	0.5491	0.3674	0.3924	0.2558
污水回用量 R_7	0.3028	0.3028	0.6972	0.6972	0.3028	0.3028	0.6972	0.6972
工业用水重复利用率 R_8	0.4848	0.4848	0.4848	0.4848	0.5152	0.5152	0.5152	0.5152
农业用水有效利用率 R_9	0.4318	0.4318	0.4318	0.4318	0.5682	0.5682	0.5682	0.5682
城市供水管网漏失率 R_{10}	0.4000	0.4000	0.4000	0.4000	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000

4.4 评价指标权重 以社会子系统为例,邀请 5 位专家给出区域缺水率、工业缺水率和农业缺水率的两两判断矩阵:

$$A: \begin{bmatrix} 1 & P3 & 3 \\ 3 & 1 & 6 \\ P3 & P6 & 1 \end{bmatrix}; B: \begin{bmatrix} 1 & P3 & 2 \\ 3 & 1 & 5 \\ P2 & P5 & 1 \end{bmatrix}; C: \begin{bmatrix} 1 & P2 & 3 \\ 2 & 1 & 5 \\ P3 & P5 & 1 \end{bmatrix}; D: \begin{bmatrix} 1 & P3 & 2 \\ 3 & 1 & 5 \\ P2 & P5 & 1 \end{bmatrix}; E: \begin{bmatrix} 1 & 3 & P2 \\ P3 & 1 & P5 \\ 2 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

可以看出,专家 B 与专家 D 的意见完全一致,与专家 E 的意见完全相反,与专家 A 和专家 C 的意见略有不同。

应用特征向量法对上述 5 位专家建立的两两判断矩阵进行权重计算和一致性检验,得到如表 3 所示的指标主观权重。

表 3 AHP 法指标主观权重计算结果

	区域缺水率	工业缺水率	农业缺水率	λ_{\max}	$C.R.$
专家 A	0.25	0.65	0.10	3.0183	0.016<0.1
专家 B	0.23	0.65	0.12	3.0037	0.003<0.1
专家 C	0.31	0.58	0.11	3.0037	0.003<0.1
专家 D	0.23	0.65	0.12	3.0037	0.003<0.1
专家 E	0.31	0.11	0.58	3.0037	0.003<0.1

通常,采用加权平均方法求得指标的最终权重: $w=[0.27 \ 0.53 \ 0.21]$ 。

依据指标主观权重采用熵值法对专家的意见进行评价,得到专家自身权重见表 4。

表 4 熵值法专家自身权重计算结果

	专家水平向量 $E=(e_1, e_2, e_3)$	熵值 H	权重 C	排序
专家 A	(0.948, 0.812, 0.817)	0.384	0.229	②
专家 B	(0.884, 0.812, 0.852)	0.415	0.212	③
专家 C	(0.858, 0.920, 0.834)	0.359	0.245	①
专家 D	(0.884, 0.812, 0.852)	0.415	0.212	③
专家 E	(0.858, 0.357, 0.355)	0.867	0.101	⑤

由计算结果可知,专家 E 的熵值最大,准确度最差,其意见在安全评价中所占比重最小;专家 C 的熵值最小,准确度最高,意见所占比重应最大。专家 B 与专家 D 给出的指标权重完全相同,所以他们在专家群体中的权重是相同的。另外可以看出,专家 C 与群体意见最为接近,所以权重最大,专家 E 与群体意见最为背离,所以权重最小,这也说明了采用上述熵值法方法求解专家自身权重的合理性。

对各专家给出的评价指标主观权重和专家自身权重加权求和,得到指标的最终权重。

$$W = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.23 & 0.31 & 0.23 & 0.31 \\ 0.65 & 0.65 & 0.58 & 0.65 & 0.11 \\ 0.10 & 0.12 & 0.11 & 0.12 & 0.58 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.229 \\ 0.212 \\ 0.245 \\ 0.212 \\ 0.101 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.26 \\ 0.58 \\ 0.16 \end{bmatrix}$$

通过采用熵值法计算专家自身权重,对层次分析法计算的指标主观权重进行修正,可以看出,得到的指标权重更加贴近专家的总体意见,更为科学、合理。

同理可求出水资源优化配置方案综合评价体系中各个指标的权重。

4.5 方案模糊综合评价 同样以社会子系统为例,优属度矩阵如 R_1 所示,矩阵的列表示 1~8 个方案,矩阵的行表示指标 R_1, R_2, R_3 。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.1316 & 0.2319 & 0.3633 & 0.4636 & 0.3483 & 0.4788 & 0.6499 & 0.7806 \\ 0.0000 & 0.6113 & 0.4366 & 1.0000 & 0.2379 & 0.8906 & 0.7041 & 1.0000 \\ 0.2854 & 0.2854 & 0.4479 & 0.4479 & 0.5099 & 0.5099 & 0.7146 & 0.7146 \end{bmatrix}$$

最大相对优属度 $g=(g_1, g_2, \dots, g_m)^T=(0.7806 \ 1.0000 \ 0.7146)^T$

最小相对优属度 $b=(b_1, b_2, \dots, b_m)^T=(0.1316 \ 0.0000 \ 0.2854)^T$

结合已求得的指标权重 $w=[0.26, 0.58, 0.16]$,利用式(6)计算得到该子系统中 8 个方案分别从属

于该子系统优等方案的隶属度的最优值 u_{ij}

$$u_{1j} = (0.0000 \ 0.6248 \ 0.3624, 0.9756 \ 0.1011 \ 0.9609 \ 0.8610 \ 1.000)$$

同理可求出其他 3 个子系统的优属度矩阵,并构造整体系统的优属度矩阵 U ,矩阵的列表示 1~8 个方案,矩阵的行表示各子系统。

$$U = \begin{bmatrix} u_{1j} \\ u_{2j} \\ u_{3j} \\ u_{4j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.6248 & 0.3624 & 0.9756 & 0.1011 & 0.9609 & 0.8610 & 1.000 \\ 0.6112 & 0.7724 & 0.7615 & 0.6731 & 0.4490 & 0.5533 & 0.4303 & 0.4282 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

$$\text{最大相对优属度 } G = (G_{ij}, G_{2j}, \dots, G_{mj})^T = (1.0000 \ 0.7724 \ 1.0000 \ 1.0000)^T$$

$$\text{最小相对优属度 } B = (B_{ij}, B_{2j}, \dots, B_{mj})^T = (0.0000 \ 0.4282 \ 0.0000 \ 0.0000)^T$$

根据 4 个子系统的权重 $w = [0.16, 0.38, 0.14, 0.32]$,同样利用式(6)得出整体系统中 8 个方案的欧氏贴近度,即各方案分别从属于最优方案的隶属度的最优值。

$$S = [0.0310 \ 0.1775 \ 0.2569 \ 0.3363 \ 0.6497 \ 0.8284 \ 0.8902 \ 0.8961]$$

为更清楚的说明本文方法的合理有效性,将之按照未经修正的指标主观权重进行计算,得到整体系统的优属度矩阵 u :

$$u = \begin{bmatrix} u_{1j} \\ u_{2j} \\ u_{3j} \\ u_{4j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.5931 & 0.3583 & 0.9652 & 0.1076 & 0.9518 & 0.8660 & 1.000 \\ 0.5762 & 0.7645 & 0.7827 & 0.6241 & 0.5244 & 0.5189 & 0.4625 & 0.4427 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

根据 4 个子系统的权重 $w = [0.18, 0.37, 0.16, 0.29]$,仍然利用式(6)得出整体系统中 8 个方案的欧氏贴近度为:

$$S = [0.0162 \ 0.1818 \ 0.3187 \ 0.4077 \ 0.5852 \ 0.7645 \ 0.9017 \ 0.8998]$$

可以看出,两种方法的最优和次优方案均集中在方案 8 和方案 7 上,且两个方案的评价结果非常接近。这两个方案只有现状海水利用量和加大海水利用量的不同。显然加大海水利用量增加了水利工程投资,但工业不缺水时,还可以富余一部分作为城市河湖生态用水。同时,本文中的评价没有考虑生态环境子系统,而在实际中生态环境对整体系统的影响是不可忽略的。因此综合考虑以上因素,方案 8 作为天津市 2010 年水资源配置方案的推荐方案更为合理。

根据评价结果,可知方案 8 即“引滦入津工程+南水北调中线工程+南水北调东线工程+强化节水+加大污水回用量+加大海水利用量”为最佳方案,结合天津市具体状况和发展趋势^[10],可为天津市未来的水资源配置提供一种决策方法。

5 结论

(1)水资源配置系统整体结构复杂、层次众多,在寻优决策过程中具有多指标性、模糊性等特点,基于此,本文采用了基于欧氏贴近度的模糊优选模型来实现水资源优化配置方案综合评价;(2)为了尽可能消除或避免由于主、客观赋权法所存在的片面性而对决策结果产生的影响,本文采用层次分析法确定指标主观权重,并应用信息熵给出专家相对重要性的评价,建立专家自身权重,最终得到的指标融合权重更客观,更符合实际,有助于提高评价模型的可靠度;(3)利用上述的模糊优选模型对天津市水资源配置方案进行了综合评价,从社会、经济、资源和效率合理性四方面选取 10 个指标建立了水资源配置方案评价指标体系;通过计算分析得出,天津市水资源配置的推荐方案为“引滦入津工程+南水北调中线工程+南水北调东线工程+强化节水+加大污水回用量+加大海水利用量”,可为天津市未来的水资源配置提供一种决策方法。

参 考 文 献:

- [1] 安娟,路振广,路金镶.水资源优化配置研究进展[J].人民黄河,2007,29(8):43—45.
- [2] 顾文权,邵东国,黄显峰,等.水资源优化配置多目标风险分析方法研究[J].水利学报,2008,39(3): 339—345.
- [3] 张斌,雍歧东,肖芳淳.模糊物元分析[M].北京:石油出版社,1997.
- [4] 郭文献,夏自强,王鸿翔,等.基于模糊物元模型的水资源合理配置方案综合评价[J].灌溉排水学报,2007,26(5):75—78.
- [5] 汤飏野.熵——一个世纪之谜的解析[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2004.
- [6] 孟宪萌,束龙仓,卢耀如.基于熵权的改进 DRASTIC 模型在地下水脆弱性评价中的应用[J].水利学报,2007,38(1):94—99.
- [7] 余建星,李彦苍,吴海欣,等.基于熵的海洋平台安全评价专家评定模型[J].海洋工程,2006,24(4): 90—94.
- [8] CHENG Qi-yun, QIN Wan-hua. Relation Entropy and Transferable Entropy Think of Aggregation on Group Decision Making[J]. Systems Science and systems engineering, 2002, 11(1): 11—18.
- [9] 杨丽美.天津市水资源配置方案评价研究[D].天津:天津大学,2007.
- [10] 卞建国.天津市敲定供水五年规划[N].天津日报,2005-02-07(2).

**Comprehensive evaluation model for optimal deployment of water resources
based on fuzzy theory and information entropy**

YU Jian-xing, JIANG Xu-guang, LIAN Ji-jian
(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Based on the fuzzy theory and combined with the concept of Euclid approach degree a model for comprehensive evaluation of water resources optimal deployment scheme is suggested. An entropy model which can evaluate the quality of information given by evaluation specialist is established for improving the subjective weight of specialists through the analytic hierarchy process. The combination weight can effectively reduce the subjectivity of weight for decision. The application of the proposed model to evaluate the water resources deployment scheme of Tianjin City is presented for demonstration. This model provides a new method for decision making in optimal deployment of water resources.

Key words: fuzzy theory; Euclid approach degree; information entropy; optimal deployment of water resources; comprehensive evaluation

(责任编辑:王冰伟)