

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.05.038

# 基于欧式贴近度的模糊物元模型 在水资源脆弱性评价中的应用

马冬梅<sup>1,2</sup>, 陈大春<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 巴州水利水电勘测设计院, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:** 运用基于欧式贴近度的模糊物元理论, 从效益水平、水资源量、生态环境三方面构建了乌鲁木齐市水资源脆弱性评价指标体系和等级标准, 并利用模糊物元评价模型定量评价了乌鲁木齐市市长系列水资源脆弱性的动态变化情况。通过与灰关联分析法、模糊综合评价结果的比较, 证明模糊物元模型适用于乌鲁木齐市水资源脆弱性评价。评价结果显示, 从2005年-2011年乌鲁木齐市水资源脆弱性等级有增长趋势, 到规划年2015年和2020年水资源脆弱性等级将达到 $\tilde{0}$ 级状态, 未来乌鲁木齐市水资源脆弱性增强不容忽视。

**关键词:** 模糊物元; 水资源; 脆弱性; 欧式贴近度; 熵权法; 乌鲁木齐市; 综合评价

**中图分类号:** TV213.4   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2015)05-1003-05

## Application of fuzzy matter element model based on Euclid approach degree on vulnerability assessment of water resources

MA Dongmei<sup>1,2</sup>, CHEN Dachun<sup>1</sup>

(1. College of Water Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Bazhou Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Korla 841000, China)

**Abstract:** The water resources vulnerability evaluation index system and grade standard in Urumqi were developed using the fuzzy matter element theory based on Euclid approach degree from three aspects of benefit level, water resources quantity, and ecological environment, and the dynamic variation of long series water resources vulnerability in Urumqi was evaluated quantitatively using the fuzzy matter element evaluation model. The evaluation results were compared with those obtained from the grey correlation analysis and fuzzy comprehensive evaluation, the fuzzy matter element model was proved to be suitable for the assessment of water resources vulnerability in Urumqi. The evaluation results showed that the vulnerability level of water resources in Urumqi increases from 2005 to 2011, and will reach grade  $\tilde{0}$  in 2015 and 2020. Therefore, water resources in Urumqi become more vulnerable in future.

**Key words:** fuzzy matter element; water resources; vulnerability; Euclid approach degree; entropy method; Urumqi; comprehensive evaluation

## 1 研究区概况

乌鲁木齐市位于天山中段北麓、准噶尔盆地南缘, 属于中温带半干旱大陆气候区, 年降水量 28.7 mm, 年平均气温 7.3℃。近些年, 乌鲁木齐市经济发展迅速, 水资源缺乏已经成为制约经济发展的因素之一。2011年乌鲁木齐市地表水资源量 10.77 亿 m<sup>3</sup>, 地下水资源量为 4.67 亿 m<sup>3</sup>, 扣除两者之间转化的重复量, 水资源总量为 11.18 亿 m<sup>3</sup>, 人均水资源

量为 340 m<sup>3</sup>, 不足全国人均水资源量的 1/4 和全疆水资源量的 1/10。根据第六次人口普查, 乌鲁木齐市的常住人口已经超过 300 万, 由乌鲁木齐统计年鉴知 2011 年常住人口有 321.21 万人, 全市国民生产总值 1700 亿元, 占新疆总产值的 25.7%<sup>[1]</sup>。乌鲁木齐出现了水资源不足, 城市水资源供需矛盾突出, 农业用水占主要地位, 地下水位严重下降, 生态用水不断被挤压的问题, 水资源受人类活动、社会经济的影响所表现出的脆弱性的特点逐渐凸显。

收稿日期: 2014-11-01   修回日期: 2015-08-15   网络出版时间: 2015-09-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150924.2042.022.html>

基金项目: 国家科技支撑计划“新疆绿洲灌区林果高校节水综合技术与示范”(2011BAD29B05); 新疆高校科研计划基金资助重点项目(XJEDU2011122)

作者简介: 马冬梅(1988), 女, 重庆人, 主要从事水资源规划与管理方面的研究。E-mail: madong92625@163.com

通讯作者: 陈大春(1973), 男, 重庆人, 副教授, 主要从事水资源规划与管理方面研究。E-mail: visionstudio@163.com

近年来乌鲁木齐市水资源研究多集中在水资源承载力<sup>[2]</sup>、水资源合理开发利用<sup>[3]</sup>、水资源可持续利用与供水安全对策<sup>[4]</sup>、水资源开发利用的潜力<sup>[5]</sup>、水资源开发利用程度评价分析<sup>[6]</sup>等方面,主要为定性分析乌鲁木齐市水资源开发利用的现状和问题及提出相应的防治对策,而相对缺乏对水资源自身结构与人类活动和社会经济整体性的研究。为综合反映水资源系统受外界干扰的影响程度以及自身结构调节能力。运用欧式贴近度和模糊物元相结合的理论进行水资源脆弱性评价。研究思路如下:以乌鲁木齐市现状年 2005 年-2011 年、规划年 2015 年和 2020 年作为评价年份,进行情景分析;采用熵权法计算评价指标权重,构建模糊物元评价模型;通过计算复合模糊物元与标准物元之间的欧式贴近度,综合评价乌鲁木齐市水资源脆弱性状况和未来的发展趋向,为乌鲁木齐市水资源合理规划提供决策依据。

表 1 乌鲁木齐市水资源脆弱性评价指标和评价标准

Tab. 1 Evaluation index and evaluation criteria of water resources vulnerability in Urumqi City

目标层	准则层	指标层	评价等级				
			不脆弱 ( $\tilde{N}$ 级)	轻度脆弱 ( $\tilde{0}$ 级)	中等脆弱 ( $\tilde{0}$ 级)	比较脆弱 ( $\tilde{0}$ 级)	严重脆弱 ( $\tilde{0}$ 级)
乌鲁木齐市水资源脆弱性	效益水平	人均 GDP $x_1/(元 \cdot 人^{-1})$	< 25	25 000~ 36 667	36 667~ 48 333	48 333~ 60 000	> 60 000
		人均用水量 $x_2/(m^3 \cdot 人^{-1})$	> 450	400~ 450	350~ 400	300~ 350	< 300
	水资源量	人均水资源量 $x_3/(m^3 \cdot 人^{-1})$	> 540	454~ 540	367~ 454	2803~ 67	< 280
		地下水水源供水率 $x_4(\%)$	< 25	25~ 31	31~ 38	38~ 45	> 45
		中水回用率 $x_5(\%)$	> 8.5	6~ 8.5	3~ 6	0~ 3	0
		供水模数 $x_7/(万 m^3 \cdot km^2)$	< 2	2~ 5	5~ 8	8~ 11	> 11
		有效灌溉面积比重 $x_8(\%)$	> 4.3	4.2~ 4.3	4.1~ 4.2	4.0~ 4.1	< 4
		生态环境	生态环境用水率 $x_6(\%)$	0	0~ 3	3~ 6	6~ 9

注: 据来源于 1996 年-2012 年新疆乌鲁木齐统计年鉴。

从而得到特征值  $c = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$ 。评价样本的各指标数值详见表 2。

采用熵权法<sup>[9]</sup>来确定各评价指标权重值,需满足  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  ( $0 \leq w_i \leq 1, i = 1, 2, 3, \dots, n$ )。其各评价指标的权重系数见表 2。

表 2 乌鲁木齐市评价序列的评价指标数值及权重值

Tab. 2 Evaluation index value and its weight value of evaluation sequence in Urumqi City

评价指标	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2015 年	2020 年	权重值	方向
$x_1$	24 444	27 357	30 771	35 953	38 249	44 900	52 600	49 032	61 603	0.121	负
$x_2$	393.00	466.00	435.00	367.00	408.00	448.00	381.00	293.83	306.00	0.134	正
$x_3$	542.00	424.00	512.00	417.95	401.66	515.00	388.00	353.04	285.96	0.117	正
$x_4$	30.11	27.32	31.13	45.11	43.5	45.59	49.25	31.93	24.84	0.163	负
$x_5$	3.58	6.65	6.29	5.00	2.82	2.08	4.31	10.08	13.07	0.141	正
$x_6$	2.39	2.62	2.93	4.44	3.22	3.87	4.03	6.73	6.63	0.087	正
$x_7$	5.89	6.98	6.49	6.33	6.98	7.66	7.51	8.37	10.76	0.148	负
$x_8$	4.16	4.00	4.05	3.99	4.36	4.27	3.15	4.35	4.01	0.089	正

注: 2005 年-2011 年数据来源于新疆乌鲁木齐水资源公报; 2015 年和 2020 年数据来自乌鲁木齐市城市总体规划(2009 年-2020 年)及文献[9]。

### 3 基于欧式贴近度的模糊物元模型

#### 3.1 模糊物元和复合模糊物元的概念

给定评价事物的名称为  $N$ , 关于特征值  $c$  有量值为  $u$ , 以有序三元  $R = (N, c, u)$  组成描述事物的基本元, 简称物

元<sup>[10]</sup>。若量值  $u$  具有模糊性, 则将其称为模糊物元。如果一个事物  $N$  有  $n$  个特征值  $c_1, c_2, \dots, c_n$  和相应的模糊量值  $u_1, u_2, \dots, u_n$  组合在一起构成  $n$  维模糊物元, 简单记为  $R = (N, C, V)$ 。推广到将  $m$  个事物和  $n$  维模糊物元组合在一起, 则构成复合模糊物元<sup>[13]</sup>, 记为

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ M_1 & u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ M_2 & u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_m & u_{m1} & u_{m2} & \dots & u_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： $R_{mn}$  为  $m$  个事物  $n$  维复合模糊物元； $M_i$  为第  $i$  个事物， $i=1, 2, \dots, m$ ； $C_k$  为第  $k$  项特征， $k=1, 2, \dots, n$ ； $u_{ik}$  为第  $i$  个事物第  $k$  项特征值对应的模糊量值。

### 3.2 从优隶属度原则

各单项评价指标相应的模糊量值，从属于最优方案中各对应评价指标相应的模糊量值隶属程度，称为从优隶属度<sup>[10-11]</sup>。区分各评价指标的量值对评价目标的影响优劣，评价指标中存在越大越优评价指标和越小越优评价指标的两种情况。鉴于此，遵循从优隶属度原则，采用两类公式计算，分别为

$$\text{正向指标(越大越优型): } u_{ik} = X_{ik} / \max X_{ik} \quad (2)$$

$$\text{负向指标(越小越优型): } u_{ik} = \min X_{ik} / X_{ik} \quad (3)$$

式中： $u_{ik}$  为第  $i$  个事物第  $k$  项特征对应的模糊量值； $X_{ik}$  为第  $i$  个事物第  $k$  项特征对应的量值； $\max X_{ik}$ 、 $\min X_{ik}$  分别为各事物所有量值  $X_{ik}$  中的最大值和最小值。（ $i=1, 2, \dots, m$ ； $k=1, 2, \dots, n$ ）。

### 3.3 标准模糊物元与差平方复合模糊物元

由复合模糊物元构成标准方案的  $n$  维模糊物元  $R_{0n}$ ，其中各项由  $R_{mn}$  中各方案从优隶属度中的最大值或者最小值，即得到

$$R_{0n} = \begin{bmatrix} M_0 \\ c_1 & u_{01} \\ c_2 & u_{02} \\ \vdots & \vdots \\ c_n & u_{0n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

若以  $\Delta_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ； $j=1, 2, \dots, m$ ) 表示标准模糊物元  $R_{0n}$  与复合模糊物元  $R_{mn}$  中各项差的平方，则组成差平方模糊物元  $R_{\Delta}$ ，即

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ c_1 & \Delta_{11} & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{m1} \\ c_2 & \Delta_{12} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_n & \Delta_{1n} & \Delta_{2n} & \dots & \Delta_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中， $\Delta_{ij} = (u_{0i} - u_{ij})^2$ ，( $i=1, 2, \dots, n$ ； $j=1, 2, \dots, m$ )

### 3.4 欧式贴近度和综合评价

欧式贴近度指评价样本与标准样本之间关联的接近程度，其值越大表示二者之间的接近程度越大，反之越小，因此可以根据欧式贴近度的大小对各方案进行判别等级分类，即可对水资源脆弱性大小进行等级划分<sup>[10-11]</sup>。为了使本文具有综合评价的意义，运用 $(\circ, +)$ 算法即先乘后加运算欧式贴近度  $\rho H_j$ ，即

$$\rho H_j = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \Delta_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

式中： $\rho H_j$  为第  $n$  个评价方案与标准方案之间的相互接近度，其值越大，表明两者越接近，反之则相差越远； $w_i$  为第  $i$  个指标的权重值( $i=1, 2, \dots, n$ ； $j=1, 2, \dots, m$ )。

据此构建欧式贴近度复合模糊物元  $R_{\rho H}$ ，即

$$R_{\rho H} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ \rho H_j & \rho H_1 & \rho H_2 & \dots & \rho H_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

## 4 模型应用

根据上述理论和评价体系及各指标评价标准，建立评价模型的步骤如下。

步骤 1: 确定复合模糊物元。对乌鲁木齐市水资源脆弱性 9 个评价单元以及五个脆弱等级的 4 个界限阈值共 13 个方案，根据表 1 和表 2 中的数据确定各方案中 8 个评价指标的复合模糊物元。

步骤 2: 确定从优隶属度。根据步骤 1 所确定的复合模糊物元，遵循最大隶属度原则，对越大越优型指标，即正向指标( $x_2, x_3, x_5, x_6, x_8$ )采用式(2)计算；对越小越优型指标，即负向指标( $x_1, x_4, x_7$ )采用式(3)计算。

步骤 3: 确定标准方案模糊物元。由各方案中的最大值或最小值来确定标准方案模糊物元。采用步骤 2 的计算结果，从中取各方案的最大值组成标准方案的模糊物元，即  $u_{0i} = 1, i=1, 2, \dots, 12$ 。

步骤 4: 确定差平方复合模糊物元。根据式(5)计算各方案评级指标与标准方案之间的差平方  $\Delta_{ij}$ ，得到差平方复合模糊物元  $R_{\Delta}$ ，即

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2015	2020	1	2	3	4
$x_1$	0.364	0.309	0.251	0.173	0.144	0.074	0.021	0.042	0	0.353	0.164	0.046	0
$x_2$	0.024	0	0.004	0.0045	0.016	0.002	0.033	0.138	0.118	0.001	0.020	0.062	0.127
$x_3$	0	0.047	0.003	0.052	0.067	0.003	0.081	0.122	0.223	0	0.026	0.104	0.234
$x_4$	0.151	0.198	0.135	0.007	0.014	0.006	0	0.124	0.246	0.242	0.137	0.052	0.007
$x_5$	0.527	0.241	0.269	0.381	0.615	0.707	0.449	0.052	0	0.122	0.122	0.293	0.594
$x_6$	0.539	0.502	0.454	0.257	0.412	0.325	0.305	0.064	0.069	1	0.444	0.111	0
$x_7$	0.216	0.134	0.168	0.180	0.134	0.092	0.101	0.057	0	0.669	0.298	0.074	0
$x_8$	0.002	0.007	0.005	0.007	0	0	0.077	0	0.006	0	0.001	0.004	0.007

步骤 5: 计算欧式贴近度。根据表 2 得出的各指标权

重系数代入式(6)计算得到各方案的欧氏贴近度，即欧氏复

合模糊物元  $\rho H_j$ , 即

$$R_{\text{FH}} = \begin{bmatrix} \rho H_j & 2005 & 2006 & 2007 & 2008 & 2009 & 2010 & 2011 & 2015 & 2020 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0.504 & 0.557 & 0.583 & 0.600 & 0.565 & 0.592 & 0.625 & 0.718 & 0.656 & 0.446 & 0.603 & 0.685 & 0.640 \end{bmatrix}$$

由模糊物元评价结果得到指标等级的贴近度为(0.446, 0.603, 0.685, 0.640)。根据计算出的欧式贴近度从大到小排序,得到乌鲁木齐市市长序列水资源脆弱性高低的顺序为:2015年>2020年>2011年>2008年>2010年>2007年>

2009年>2006年>2005年,欧式贴近度数值为0.5~0.75,各评价方案与标准方案之间贴近程度较为集中。

步骤6:不同评价方法<sup>[12][13]</sup>进行评价及结果分析,其评价结果见表3。

表 3 不同方法的评价结果对比

Tab. 3 Comparison of evaluation results obtained from different methods

评价方法	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2015年	2020年
模糊物元评价	0	0	0	0	0	0	0	0	0
灰关联分析	0	0	0	0	0	0	0	0	0
模糊综合评价	0	0	0	0	0	0	0	0	0

模糊物元评价和模糊综合评价结果的变化趋势基本上一致,而与灰关联分析评价结果有稍微的差异。具体分析如下。

(1)模糊综合评价在规划年2015年和2020年评价等级都为0级,没有变化,但是2020年的预测缺水确是2015年的3倍多<sup>[9]</sup>,显然与实际情况有所差异。可能是由于遗漏部分信息所造成<sup>[14]</sup>,因此该结果可对模糊物元评价结果作参考。

(2)灰关联分析评价结果显示2005年、2006年、2007年水资源脆弱性评价等级都为0级,2008年、2009年、2010年水资源脆弱性评价等级都为0级,2011年与规划年的脆弱性评价等级都为0级,而表2中2010年人均水资源量比2009年增长28%,比2011年高32%,其结果与实际情况有所不符。而模糊综合评价与模糊物元评价在2008年、2009年、2010年、2011年的等级变化跟实际情况的变化都有所体现。可见灰关联分析评价结果与实际情况有所差异,可能是对临近评判等级的分辨率较低造成<sup>[15]</sup>。

(3)模糊物元评价结果在2009年和2010年为0级,2011年为0级,说明在2009年、2010年水资源脆弱性等级有所降低。由人均水资源量有所增加可以看出:2011年水资源脆弱性等级升高一级,其人均水资源量处于降低形势;规划年2015年和2020年为0级,到规划年2020年水资源脆弱性等级升到0级状态,根据文献<sup>[9]</sup>提及需要乌鲁木齐市“500”水库调水工程外部调水,才能满足需水要求。因此模糊物元评价结果更加与实际情况相符合,可见评价结果更加可靠,说明构建的评价指标体系和评价方法在水资源脆弱性评价中运用是合理可行的。

从模糊物元评价结果可以看出乌鲁木齐市水资源脆弱性评价等级的变化形势,2005年-2010年,水资源脆弱性等级整体上低于0级,除2008年水资源脆弱性为0级外。规划年2015年与2020年水资源脆弱性等级超过0级,已趋于最高级状态。说明水资源脆弱性形势严峻,受外界干扰程度严重,自身调节能力有所降低,因此采取相应的降低水资源脆弱性的措施是非常必要的。

## 5 结论

(1)从效益水平、水资源量、生态环境三方面构建了乌鲁木齐市水资源脆弱性评价体系,将基于欧式贴近度的模糊物

元模型,应用到乌鲁木齐市水资源脆弱性评价中,有效地处理了不同评价指标评价结果不相容的问题,得出乌鲁木齐市水资源脆弱性的年际动态变化形势,评价结果合理符合实际情况。

(2)从2005年-2011年,乌鲁木齐市水资源脆弱性是中等脆弱为最高等级,其余都处于轻微脆弱等级,规划年2015年和2020年水资源脆弱等级确处于较高状态,说明水资源脆弱有逐渐变严重的趋势,将不利于水资源与社会经济的可持续发展。

## 参考文献(References):

- [1] 乌鲁木齐市城市规划管理局.乌鲁木齐市城市总体规划(2009-2020)[R].乌鲁木齐:乌鲁木齐市城市规划管理局,2010.(Urumqi city planning and Management Bureau. The city overall planning of Urumqi city (2009-2020)[R]. Urumqi: Urumqi city planning and Management Bureau, 2010. (in Chinese)).
- [2] 薛刚,李智民.基于熵的模糊物元水资源承载力评价[J].地下水,2010,32(6):167-169.(XU E Gang, LI Zhi ming. Assessment on water resources carrying capacity by entropy-based fuzzy matter element[J]. Ground water, 2010, 32(6): 167-169. (in Chinese)).
- [3] 谢蕾,姜卉芳,王秀凤,等.乌鲁木齐市水资源合理开发和利用的研究[J].石河子大学学报:自然科学版,2005,23(3):374-378.(XIE Lei, JIANG Huifang, WANG Xiufeng, et al. Feasibility analysis of water utilization and source exploitation in Wulumuqin[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2005, 23(3): 374-378. (in Chinese)).
- [4] 王魁梧,姜卉芳.乌鲁木齐市水资源可持续利用与供水安全对策研究[J].新疆水利,2011(6):1-6.(WANG Kuifu, JIANG Huifang. Study on sustainable use of water resources and water safety measures in Urumqi City[J]. Xinjiang Water Resources, 2011(6):1-6. (in Chinese)).
- [5] 唐宏,夏富强,杨德刚.干旱区绿洲城市水资源开发利用的潜力—以乌鲁木齐市为例[J].干旱区研究,2013,30(6):973-980.(TANG Hong, XIA Furuqiang, YANG Degang. Exploitation and utilization potentials of water resources in arid oasis city—A case study in Urumqi[J]. Arid Zone Research, 2013, 30(6): 973-980. (in Chinese)).
- [6] 李艳红,楚新正,王丽,等.新疆天山北麓典型绿洲城市的水资

- 源模糊综合评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(3): 86-90. (LI Yar hong, CHU Xir zheng, WANG Li, et al. Fuzzy Comprehensive analysis on water resources of the oasis city in Northern Tianshan Mountain of Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(3): 86-90. (in Chinese)).
- [7] 张明月, 彭定志, 钱鞠. 疏勒河流域昌马灌区水资源脆弱性分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 104-106, 128. (ZHANG Ming yue, PENG Ding zhi, QIAN Ju. Analysis of water resources vulnerability in the Changma Irrigation Area of Shule River Basin[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 104-106, 128. (in Chinese)).
- [8] 徐卫红, 于福亮, 龙爱华. 基于熵权的模糊物元模型在水资源可持续利用评价中的应用[J]. 中国人口资源与环境, 2010, 20(S2): 157-160. (XU Wei hong, YU Fu liang, LONG Ai hua. Fuzzy matter element model based on entropy weight for evaluating sustainable utilization of regional water resources[J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(S2): 157-160. (in Chinese)).
- [9] 窦燕. 跨越式发展要求下的乌鲁木齐市水资源供需平衡趋势预测研究[J]. 节水灌溉, 2013(1): 34-37. (DOU Yan. Prediction of water resources supply and demand balance trend under great leap forward development requirement in Urumqi[J]. Water saving irrigation, 2013(1): 34-37. (in Chinese)).
- [10] 田静宜, 王新军. 基于熵权模糊物元模型的干旱区水资源承载力研究—以甘肃民勤县为例[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2013, 52(1): 86-93. (TIAN Jing yi, WANG Xin jun. Assessment of carrying capacity of water resources in arid areas based on an entropy fuzzy matter element model—A case study in Minqin County, Gansu Province[J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2013, 52(1): 86-93. (in Chinese)).
- [11] 潘峰, 梁川, 王志良, 等. 模糊物元模型在区域水资源可持续利用综合评价中的应用[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 271-275. (PAN Feng, LIANG Chuan, WANG Zhi liang, et al. Fuzzy matter element model for evaluating sustainable utilization of regional water resources[J]. Advances in Water Science[J], 2003, 14(3): 271-275. (in Chinese)).
- [12] 于福荣, 刘中培, 李俊. 灰关联分析法和模糊综合评判法在水库水质评价中的应用[J]. 水文, 2012, 32(4): 67-70. (YU Furong, LIU Zhong pei, LI Jun. Application of gray relational analysis and fuzzy comprehensive evaluation in reservoir water quality assessment[J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32(4): 67-70. (in Chinese)).
- [13] 陈亚宁, 杨思全. 自然灾害的灰色关联灾情评估模型及应用研究[J]. 地理科学进展, 1999, 18(2): 64-68. (in Chinese). (CHEN Ya ning, YANG Si quan. The application and model of grey association for evaluation of natural disaster[J]. Progress in Geography, 1999, 18(2): 64-68. (in Chinese)).
- [14] 李凡修, 辛焰, 陈武. 集对分析用于湖泊富营养化评价研究[J]. 重庆环境科学, 2000, 22(6): 10-11, 16. (LI Fan xiu, XIN Yan, CHEN Wu. Set Pair Analysis of water quality eutrophication assessment of lakes[J]. Chongqing Environmental Science, 2000, 22(6): 10-11, 16. (in Chinese)).
- [15] 陈大春. 基于模糊集对法的乌鲁木齐市水资源短缺风险评价[J]. 水电能源科学, 2013, 31(12): 25-27, 24. (CHEN Da chun. Risk evaluation of water resources shortage in Urumqi Based on SPA-VFS[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(12): 25-27, 24. (in Chinese)).

## 《南水北调与水利科技》编辑部郑重声明

《南水北调与水利科技》自创刊以来,从未委托任何中介机构、网站及个人征稿,请广大读者、作者提高警惕,不要通过他人投稿,更不要向他人或不明机构缴纳任何费用。

编辑部投稿网址: [www.nsbdqk.net](http://www.nsbdqk.net), 电话: 0311-85020535, 85020639, 85020512。

《南水北调与水利科技》编辑部