

Evaluation of Water Resources Sustainable Utilization Based on Fuzzy Recognition in Dongting Lake Basin*

Nianqing Zhou¹, Shuo Yang¹, Xinping Shen², Xiaoqun Liu²

¹Department of Hydraulic Engineering, Tongji University, Shanghai

²Dongting Lake Water Resources Administration Bureau of Hunan Province, Changsha
Email: nq.zhou@tongji.edu.com

Received: Sep. 4th, 2013; revised: Oct. 22nd, 2013; accepted: Oct. 25th, 2013

Abstract: The sustainable use of water resources is a very important condition of economic and social sustainable development. The fuzzy recognition model is used to assess the water resources sustainable using of Dongting Lake basin in this paper. The utilized characteristics and water resources distribution of Dongting Lake basin are considered plenty. Select evaluation index and model is established, and the evaluation value of the water resources sustainable utilization is gotten within the river basin in recent years. The research result shows that the degree of water resources sustainable use of Yuanjiang River is the highest, while the lake area is the lowest. At the same time, the degree of sustainable use of Dongting Lake basin has declined in 2011 than in previous years. The sustainable utilization level of water resources has still a large increase space in entire lake basin. The study has significance to promote the safety and effective use of water resources, the coordinated development of economic, demographic and ecological environment.

Keywords: Dongting Lake Basin; Fuzzy Recognition; Water Resources; Sustainable Utilization; Evaluation

洞庭湖流域水资源可持续利用度模糊综合评判*

周念清¹, 杨 硕¹, 沈新平², 刘晓群²

¹同济大学水利工程系, 上海

²湖南省洞庭湖水利工程管理局, 长沙
Email: nq.zhou@tongji.edu.com

收稿日期: 2013年9月4日; 修回日期: 2013年10月22日; 录用日期: 2013年10月25日

摘 要: 水资源可持续利用是经济和社会可持续发展的重要条件。本文以洞庭湖流域水资源系统为例, 采用模糊识别模型, 充分考虑洞庭湖流域水资源分布及其利用特点, 选取评价指标并建立模型, 得到流域内各水系近几年水资源可持续利用程度评价价值。研究表明, 洞庭湖流域各水系中沅江水资源的可持续利用程度最高, 而洞庭湖区最低。2011年洞庭湖流域的可持续利用程度较往年有所下降, 整个洞庭湖流域的水资源可持续利用程度还有较大的上升空间。研究结果对于促进流域水资源安全有效利用, 经济、人口与生态环境的协调发展有重要意义。

关键词: 洞庭湖流域; 模糊识别模型; 水资源; 可持续利用; 评价指标

*基金项目: 国家自然科学基金(41272249)和博士点专项基金(20110072110020)资助。

作者简介: 周念清(1964-), 男, 湖南石门人, 教授, 博士生导师。主要从事水文水资源数值模拟与水环境评价方面研究。

1. 引言

水是人类赖以生存的重要物质基础, 是极为宝贵的自然资源。随着人口的增长和经济社会的快速发展, 人类对水资源需求量不断增加的同时, 水污染问题有日益加重的趋势, 这对自身生存环境带来了极大的负面影响。水资源可持续利用要以水资源承载能力为基础, 研究水资源的可持续发展, 制定与水资源承载能力相适应的区域发展战略, 对促进流域水资源有效利用, 经济、人口与生态环境协调发展有重要意义。

近年来, 国内外学者对水资源可持续开发利用展开了系统的研究。李飞等通过对水资源与社会经济和生态环境之间的关系进行研究, 建立了区域水资源可持续利用评价的指标体系^[1]; 宋松柏等以复合系统理论为基础, 对水资源、环境和社会经济组成的水资源可持续利用系统进行综合定量评价^[2]; 潘峰等提出了基于欧氏贴近度的模糊物元分析方法, 并对区域水资源可持续利用进行评价, 取得了较好效果^[3]; 程乖梅等考虑经济、社会发展和环境目标, 以水资源支撑能力的限制为约束条件, 建立了水资源可持续利用动态识别模型^[4]; 张先起等将投影寻踪模型应用于水资源可持续利用程度评价中, 并通过加速遗传算法来寻找最优投影方向, 得出了合理的结果^[5]。Loucks 论述了可持续发展的研究思路, 并建立水资源可持续利用的评价指标体系^[6]; Belousova 对区域系统发展协调, 对区域压力 - 状态 - 反应结构的机制与区域水资源可持续发展的关系进行了研究^[7]; Xi 等将动态规划模型应用于水资源可持续利用管理中, 取得了较好的成果^[8]。

区域水资源是否达到可持续利用标准具有模糊性, 用模糊识别模型解决这一评价问题具有必然性^[9]。胡乃力等在相对隶属度概念和理论的框架下, 对青海省各个地区的水资源可持续利用程度进行了评价^[10]; 周惠成等将可变模糊识别模型应用到大连市水资源承载能力综合评价研究中, 并依此提出了提高大连市水资源承载能力的途径^[11]; 李亚伟等根据水资源承载能力相关因子及自身的数据结构特性, 通过模糊识别模型得到样本的级别特征值, 从而对水资源可持续利用进行评价^[12]。

本文以洞庭湖流域为例, 根据评价指标的可靠性、可行性、充分性原则, 充分考虑流域水资源分布及其利用特点, 选取评价指标, 建立模糊识别模型,

对流域内各水系近几年的水资源可持续利用程度进行评价, 提出提高洞庭湖流域水资源可持续利用程度及建议。

2. 模糊识别模型

2.1. 评价指标相对隶属度分析

设模糊概念集 A 是对水资源可持续性进行识别的 n 个样本组成的集合, 有 m 个指标特征值表示样本的整体特征, 则有样本集的指标特征值矩阵:

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

式中, x_{ij} —— 样本 j 指标 i 的特征值, $i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,n$ 。

如样本集依据 m 个指标按 c 个状态或级别的已知指标标准特征值进行识别, 则有指标标准特征值矩阵:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1c} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mc} \end{bmatrix} = (y_{ih}) \quad (2)$$

式中, y_{ih} —— 状态或级别 h 指标 i 标准特征值, $i=1,2,\dots,m; h=1,2,\dots,c$ 。

经过分析, 把指标分为两类: 1) 从 1 级到 c 级指标标准特征值减小; 2) 从 1 级到 c 级指标标准特征值增加。对于第 1) 类指标, 可以令小于等于指标 c 级标准特征值对 A 的相对隶属度为 0; 令大于等于指标 1 级标准特征值对 A 的相对隶属度为 1; 指标特征值介于 1 级与 c 级标准特征值之间的对 A 的相对隶属度可按线性变化确定。对于第 2) 类指标, 令大于等于指标的 c 级标准特征值对 A 的相对隶属度为 0; 小于等于指标的 1 级标准特征值对 A 的相对隶属度为 1; 其特征值介于 1 级与 c 级标准特征值之间的, 对 A 的相对隶属度根据线性变化确定。由此, 可以得到指标对 A 的相对隶属度为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq y_{ic} \text{ 或 } x_{ij} \geq y_{1c} \\ \frac{x_{ij} - y_{ic}}{y_{1i} - y_{ic}} & y_{1i} > x_{ij} > y_{ic} \text{ 或 } y_{1i} < x_{ij} < y_{ic} \\ 1 & x_{ij} \geq y_{1i} \text{ 或 } x_{ij} \leq y_{1i} \end{cases} \quad (3)$$

同理, h 级指标标准特征值对 A 的相对隶属度为:

$$s_{ih} = \begin{cases} 0 & y_{ih} = y_{ic} \\ \frac{y_{ij} - y_{ic}}{y_{il} - y_{ic}}, & y_{il} > y_{ih} > y_{ic} \text{ 或 } y_{il} < y_{ih} < y_{ic} \\ 1 & y_{ih} = y_{il} \end{cases} \quad (4)$$

式中, r_{ij} ——样本 j 指标 i 特征值对 A 的相对隶属度;
 y_{il} 、 y_{ic} ——指标 i 的 1 级、 c 级标准特征值;
 s_{ih} ——级别 h 指标 i 标准特征值对 A 的相对隶属度;
 y_{ih} ——级别 h 指标 i 的标准特征值。

2.2. 模糊识别模型

根据式(3)、(4)分别把指标与指标标准特征值矩阵(1)、(2)变换为对 A 的指标与指标标准特征值的相对隶属度矩阵:

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (5)$$

$$S = (s_{ih})_{m \times c} \quad (6)$$

将样本 j 的 m 个指标相对隶属度 $r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj}$ 分别与矩阵 S 的第 1、第 2、... 第 m 行的行向量 $(s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1c})$ 、 $(s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2c})$ 、...、 $(s_{m1}, s_{m2}, \dots, s_{mc})$ 逐一进行比较, 可得样本 j 的级别上限值 b_j 和级别下限值 a_j 。

设样本集对 A 的各个级别的相对隶属度矩阵为:

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u_{c1} & u_{c2} & \dots & u_{cn} \end{bmatrix} = (u_{hj}) \quad (7)$$

式中, u_{hj} ——样本 j 对 A 级别 h 的相对隶属度, $h=1, 2, \dots, c; j=1, 2, \dots, n$ 。

由于样本 j 在级别区间 (a_j, b_j) 范围内, 故矩阵 U 应满足归一化条件:

$$\sum_{h=a_j}^{b_j} u_{hj} = 1 \quad (8)$$

因样本集中每个样本的级别区间不同, 故一般从 n 个样本、 c 个级别的整体考虑, 矩阵 U 也应满足归一化条件:

$$\sum_{h=1}^c u_{hj} = 1 \quad (9)$$

为求解样本 j 对模糊概念 A 的级别 h 的最优相对隶属度, 建立目标函数:

$$\min \left\{ F(u_{hj}) = \sum_{h=a_j}^{b_j} D_{hj}^2 \right\} \quad (10)$$

根据目标函数(10)和约束条件(8)构造拉格朗日函数, 将等式约束求极值变为无条件极值问题。得到样本 j 对模糊概念 A 的级别 h 的模糊识别模型:

$$u_{hj} = \begin{cases} 0 & h < a_j \text{ 或 } h > b_j \\ U_{hj} & d_{hj} \neq 0, a_j \leq h \leq b_j \\ 1 & d_{hj} = 0 \text{ 或 } r_{ij} = s_{ih} \end{cases} \quad (11)$$

其中,

$$U_{hj} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [\omega_{ij} (r_{ij} - s_{ih})]^p}{\sum_{i=1}^m [\omega_{ij} (r_{ij} - s_{ik})]^p} \right\}^{\frac{2}{p}-1}$$

式中, ω_{ij} ——样本 j 的第 i 项指标对水资源可持续利用程度的权重; p ——距离参数, 取 $p=2$, 为欧式距离。

2.3. 样本级别的确定

根据级别特征值公式可求出水资源利用程度的级别特征值:

$$H_j = (1, 2, \dots, c) (u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{cj})^T \quad (12)$$

级别判定标准见表 1。

3. 研究区概况

洞庭湖位于长江中游以南, 湖南省北部, 介于东经 $110^{\circ}40' \sim 113^{\circ}10'$, 北纬 $28^{\circ}30' \sim 30^{\circ}20'$ 之间。洞庭湖流域地处亚热带湿润季风气候区, 热量丰富, 降水丰沛。年平均气温 $16.1^{\circ}\text{C} \sim 17.0^{\circ}\text{C}$, 年降雨量 $1200 \sim 1300$

Table 1. Level criteria
表 1. 级别判定标准

等级	H 取值范围	承载力状态
1 级	<1.5	过载
2 级	[1.5, 2.5)	可承载
3 级	[2.5, 3.5)	有潜力

mm。洞庭湖流域包括岳阳 3 县 3 区 2 市、常德 5 县 2 区 1 市、益阳 2 县 2 区 1 市以及长沙市的望城县和宁乡县, 共计 23 个县市区和 15 个国有农场, 占湖南省国土面积的 17.66%。洞庭湖区北靠长江黄金水道, 承东启西, 纵横南北, 是典型的吞吐型湖泊。洞庭湖与长株潭经济区相邻, 又与湘西、湘南经济区相呼应, 处于十分重要的地理位置(见图 1)。

4. 计算结果与分析

利用模糊识别模型对洞庭湖流域的水资源可持续利用程度进行评价。根据湖南省水资源公报, 以 2008~2011 年洞庭湖流域各水系水资源资料为基础, 参照国内外水资源可持续利用的指标体系, 考虑洞庭湖流域水资源及其利用特点, 选取的评价体系指标为: 生态用水率 $x_1(\%)$: 生态用水量/总用水量, 水资源利用率 $x_2(\%)$, 人均用水量 $x_3(m^3/人)$, 万元 GDP 用水量 $x_4(m^3/万元)$, 万元工业增加值用水量 $x_5(m^3/万元)$, 供水模数 $x_6(10 m^4/km^2)$ 。洞庭湖流域 2008~2011 年各

水系水资源系统的指标特征值见表 2。其中将长江来水量以及汨罗江、新墙河等环洞庭湖河水量及利用量并入洞庭湖区共同计算。

上述 6 项指标的 3 级指标标准值见表 3^[13,14]。

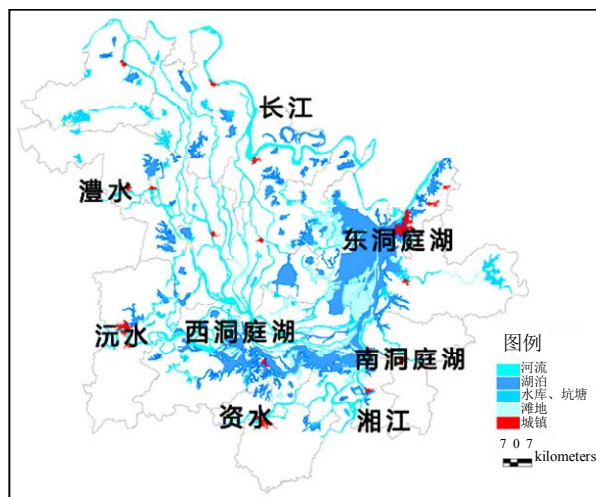


Figure 1. Drainage network of Dongting Lake
图 1. 洞庭湖流域水系分布图

Table 2. The characteristic values of water resources index in each drainage network of Dongting Lake
表 2. 洞庭湖各水系水资源指标特征值

	年份	x_{1j}	x_{2j}	x_{3j}	x_{4j}	x_{5j}	x_{6j}
湘江	2011	0.91	36.33	519	133	89	19.79
	2010	1.16	21.79	530	165	111	20.30
	2009	1.30	30.82	512	202	136	20.16
	2008	1.27	26.73	515	245	156	20.05
资水	2011	0.68	29.08	400	244	171	14.93
	2010	0.75	15.80	393	306	203	14.96
	2009	0.79	19.9	369	393	254	15.24
	2008	0.78	19.94	381	442	331	15.26
沅江	2011	0.89	15.05	430	183	95	7.78
	2010	1.15	9.15	414	231	128	7.89
	2009	1.04	11.22	362	259	131	7.40
	2008	1.28	9.32	368	287	145	7.22
澧水	2011	0.45	15.50	527	264	297	10.09
	2010	0.71	10.30	576	306	338	10.05
	2009	1.04	15.09	512	351	420	9.89
	2008	0.49	11.11	515	443	491	10.50
湖区	2011	0.55	74.84	583	209	146	25.36
	2010	0.64	36.48	552	236	157	23.60
	2009	0.83	45.53	530	274	191	23.84
	2008	0.54	64.03	526	313	180	24.62

Table 3. The standard value of evaluation index
表 3. 评价指标标准值

评价指标	1级 (低级)	2级 (中级)	3级 (高级)
生态用水率/%	≤1	1~5	≥5
水资源利用率/%	≥60	10~60	≤10
人均用水量	≥800	200~800	≤200
万元 GDP 用水量	≥220	24~200	≤24
万元用水工业增加值	≥300	15~300	≤15
供水模数	≤1	1~15	≥15

分别计算 2011~2008 年各水系的级别特征值, 以 2011 年为例, 根据表 2、3 可得指标特征值矩阵和指标标准特征值矩阵, 应用公式(3)、(4)得到对 A 的指标与指标标准特征值的相对隶属度矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.527 & 0.382 & 0.101 & 0.110 & 1 \\ 0.532 & 0.333 & 0.383 & 0.545 & 0.638 \\ 0.556 & 1 & 0.811 & 1 & 0.944 \\ 0.260 & 0.547 & 0.281 & 0.989 & 0.460 \\ 0 & 0.005 & 0.516 & 0.351 & 0 \end{bmatrix},$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}.$$

评价指标权向量的确定对区域水资源可持续利用程度评价有直接影响, 本文采取层次分析法计算各项指标的权重。通过建立目标层到指标层的递阶层次结构, 构造各层次间的判断矩阵, 计算层次单排序和总排序, 并对判断矩阵 Q_k 进行一致性检验, 当评价随机一致性指标 $R.I.$ 和一致性指标 $C.I.$ 的比值 $C.R.$ 小于 0.1 时, 则判断矩阵具有满意的一致性。其中 $R.I.$ 值按表 4 选取。

$$Q_k = (q_{ij}) \quad (13)$$

Table 4. Average random consistency index R.I.
表 4. 评价随机一致性指标 R.I. 值

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0	0.58	0.89	1.12	1.24	1.32	1.42	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

式中 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; q_{ij}$ 表示 X_i 与 X_j 关于某个评价指标的相对重要性程度之比。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \omega_j}{\omega_i} \quad (14)$$

式中 λ_{\max} 为矩阵最大特征根, ω_i 为指标权重。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (15)$$

通过计算, 得到指标权重向量:

$$\omega = (0.11, 0.25, 0.19, 0.13, 0.13, 0.19).$$

应用模糊识别模型(11)求得洞庭湖流域 2011 年各水系对各个级别水资源可持续利用程度的相对隶属度。

$$U = \begin{bmatrix} 0.127 & 0.141 & 0.122 & 0.182 & 0.349 \\ 0.679 & 0.621 & 0.628 & 0.605 & 0.503 \\ 0.194 & 0.237 & 0.250 & 0.213 & 0.148 \end{bmatrix}$$

应用级别特征公式(12), 求得洞庭湖流域 2011 年各水系对各个级别水资源可持续利用程度的级别特征值。同理, 求 2008、2009、2010 年各水系水资源可持续利用程度的级别特征值, 列于表 5。由表 5 可以看出, 洞庭湖流域各水系近 4 年的水资源利用处于第 2 级可承载水平。按照水系承载力分析, 可持续利用程度从高到低分别为: 沅水、资水、湘江、澧水、湖区, 其中沅水的可持续利用程度最高, 而湖区的可持续利用程度最差。按照年份来看, 湘江的可持续利用程度从 2008 年经历了下降、提高、下降的过程; 沅水和澧水的可持续利用程度从 2008 年到 2011 年逐年下降; 资水和湖区 2008 年至 2010 年可持续利用程度变高, 而 2011 年可持续利用程度下降, 甚至低于 2008 年。

5. 结论

本文运用模糊识别模型评价了洞庭湖流域的水资源可持续利用程度, 可以得出以下结论:

Table 5. The evaluation results of water resources sustainable utilization

表 5. 水资源可持续利用程度评价结果

洞庭湖流域	2011	2010	2009	2008
湘江	2.067	2.171	2.067	2.082
资水	2.094	2.207	2.155	2.131
沅水	2.128	2.150	2.151	2.155
澧水	2.031	2.051	2.037	2.075
湖区	1.799	1.992	1.920	1.804

1) 洞庭湖流域水资源可持续利用总体上处于可承载水平, 各水系可持续利用程度由高到低依次为沅水、资水、湘江、澧水、湖区, 其中沅水可持续利用程度最高, 湖区可持续利用程度最低。

2) 2011 年洞庭湖流域的水资源可持续利用程度较往年有所下降, 整个洞庭湖流域的水资源可持续利用程度还有较大的上升空间。

3) 为实现更高层次的水资源可持续利用, 需要加强湖区内以及各水系的生态环境保护措施, 进一步降低无效的水资源消耗, 提高用水效率, 加大农业、工业和城市生活节水力度; 提高污水处理能力, 提倡使用新技术, 保障生态用水安全; 调整产业布局, 合理规划, 逐步淘汰高污染、耗水的项目, 促进水资源的长远可持续发展。

参考文献 (References)

- [1] 李飞, 贾屏, 张运鑫, 等. 区域水资源可持续利用评价指标体系及评价方法研究[J]. 水利科技与经济, 2007, 13(11): 827-829.
LI Fei, JIA Ping, ZHANG Yunxin, et al. Evaluating index system and methods of regional water resources sustainable utilization. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2007, 13(11): 827-829. (in Chinese)
- [2] 宋松柏, 蔡焕杰. 区域水资源可持续利用的综合评价方法[J]. 水科学进展, 2005, 16(2): 244-249.
SONG Songbai, CAI Huanjie. Comprehensive assessment method for region sustainable water resources. Advances in Water Science, 2005, 16(2): 244-249. (in Chinese)
- [3] 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 Zhiliang, et al. Fuzzy matter-element model for evaluation sustainable utilization of regional

- water resources. Advances in Water Science, 2003, 14(3): 217-275. (in Chinese)
- [4] 程乖梅, 何士华, 邹进. 水资源可持续利用动态识别研究[J]. 水文, 2010, 30(5): 53-56.
CHENG Guaimei, HE Shihua and ZOU Jin. Study on dynamic identification model for water resources sustainable utilization. Journal of China Hydrology, 2010, 30(5): 53-56. (in Chinese)
- [5] 张先起, 刘慧卿. 水资源可持续利用程度评价的投影寻踪模型[J]. 云南水力发电, 2006, 22(4): 8-16.
ZHANG Xianqi, LIU Huiqing. Projection pursuit model applied to comprehensive evaluation of water resources sustainable utilization in Yunnan Province. Yunnan Water Power, 2006, 22(4): 8-16. (in Chinese)
- [6] LOUCKS, D.P. Sustainable water resources management. Water International, 2000, 25(1): 3-10.
- [7] BELOUSOVA, A.P. A concept of forming a structure of ecological indicators and indexes for regions sustainable development. Environmental Geology, 2000, 39(11): 1227-1236.
- [8] XI, X., POH K.L. Using system dynamics for sustainable water resources management in Singapore. Procedia Computer Science, 2013, 16: 157-166.
- [9] 杜守建, 崔振才. 区域水资源优化配置与应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2009: 28-30.
DU Jianshou, CUI Zhencai. Optimal allocation and applications of regional water resources. Zhenzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2009: 28-30. (in Chinese)
- [10] 胡乃利, 管清香, 韩卫滨. 基于模糊识别的青海省水资源可持续利用评价[J]. 水利科技与经济, 2007, 13(9): 657-660.
HU Naili, GUAN Qingxiang and HAN Weibin. Evaluation of water resources sustainable utilization based on fuzzy recognition in Qinghai Province. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2007, 13(9): 657-660. (in Chinese)
- [11] 周惠成, 柴智平, 何斌. 基于可变模糊识别模型的大连市水资源承载能力研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(2): 46-59.
ZHOU Huicheng, CHAI Zhiping and HE Bin. Study on water resources carrying capacity in dalian based on variable fuzzy recognition model. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(2): 46-59. (in Chinese)
- [12] 李亚伟, 陈守煜, 傅铁. 基于模糊识别的水资源承载能力综合评价[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 726-728.
LI Yawei, CHEN Shouyu and FU Tie. Comprehensive evaluation of water resource carrying capacity based on fuzzy recognition. Advances in Water Science, 2005, 16(5): 726-728. (in Chinese)
- [13] 韩卫滨, 韩霜景, 胡乃利. 基于模糊识别的福建省水资源可持续利用评价[J]. 中国农村水利水电, 2008, 2: 67-69.
HAN Weibin, HAN Shuangjing and HU Naili. Evaluation of water resources sustainable utilization in Fujian Province based on fuzzy recognition. China Rural Water and Hydropower, 2008, 2: 67-69. (in Chinese)
- [14] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2002.
CHEN Shouyu. Fuzzy recognition theory of optimization for complex water resources systems with applications. Changchun: Jilin University Press, 2002. (in Chinese)