

# 可变模糊模型在水库水质评价中的应用

谢志高<sup>1</sup>, 刁树峰<sup>2,3</sup>, 葛 萌<sup>4</sup>

(1. 深圳市大鹏半岛水源工程管理处, 广东 深圳 518119; 2. 中山大学 水资源与环境系, 广州 510275;  
3. 深圳市水务规划设计院, 广东 深圳 518000; 4. 河北省桃林口水库管理局, 河北 秦皇岛 066000)

**摘要:** 以深圳市赤坳水库为例, 利用可变模糊模型对水库水质进行评价。根据水库特点选取 8 个水质评价指标, 建立指标体系, 然后利用二元比较理论确定指标权重, 计算模型相对隶属度, 从而得到水库水质评价结果。评价结果表明, 赤坳水库水质介于Ⅱ类水和Ⅲ类水之间, 居于良好使用水平, 能够满足供水对象的用水要求。研究表明, 可变模糊模型在水库水质评价中具有良好的可行性和实用性。

**关键词:** 可变模糊模型; 水质评价; 赤坳水库

**中图分类号:** X824   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2014)02-0084-03

## Application of Variable Fuzzy Model in Evaluation of Reservoir Water Quality

XIE Zhigao<sup>1</sup>, DIAO Shufeng<sup>2,3</sup>, GE Meng<sup>4</sup>

(1. Dapeng Peninsula Water Source Project Management Division of Shenzhen, Shenzhen 518119, China;  
2. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;  
3. Shenzhen Water Planning and Design Institute, Shenzhen 518000, China;  
4. Taolinkou Reservoir Administration Bureau of Hebei Province, Qinhuangdao 066000, China)

**Abstract:** The variable fuzzy model was used to evaluate the water quality of the Chi'ao Reservoir. According to the characteristics of the reservoir, eight water quality evaluation indexes were selected to construct an index system. The two element theory was applied to determine the index weight and calculate the relative membership degree of the model, thereby providing the water quality evaluation results. The results showed that the water quality in the Chi'ao Reservoir is between class II and class III, water utilization is at its good level, and water supply can meet the requirements of users. The variable fuzzy model is feasible and practical in evaluation of reservoir water quality.

**Key words:** variable fuzzy model; water quality evaluation; Chi'ao Reservoir

水质评价是合理开发利用和保护水资源的一项基本工作。目前的水质评价主要依靠已有的数学模型和软件进行数据分析。模型和软件计算使得计算工作更为简单易行, 但是对于任何模型和软件来说, 其使用的评价方法都是至关重要。常用的水库水质评价方法有水质标识指数法、单因子评价法、模糊评价法、灰色系统评价法、物元可拓评价法和 BP 人工神经网络法等<sup>[1-2]</sup>多种, 方正<sup>[3]</sup>以多级模糊综合评价法为基础, 通过多级优选改变水质评价中最大隶属度的不适合影响, 评价了湖泊水质; 陈仁杰<sup>[4]</sup>根据城市集中用水的特点, 结合综合指数几种计算方法, 提出改良了综合指数法; 赵晓亮<sup>[5]</sup>根据水质的特点, 选取对水质影响较大的指标, 用定性分析和定量分析比较数量关系确定权重, 建立模糊数学 AHP 模型来分析水质。事实上水质评价是一个多指标、多

目标的动态评价过程, 不同水质标准, 应该运用不同的评价方法<sup>[6]</sup>, 而针对水库水质而言, 其供水对象的不同, 对水库水质指标的要求也不尽相同。陈守煜教授<sup>[7-9]</sup>于 20 世纪 80 年代建立了模糊水文水资源学, 并以此为基础在 21 世纪伊始创建可变模糊集理论, 目前该理论<sup>[9]</sup>已经应用于水库调度、工程评价、技术方案优选等各个方面。由于可变模糊方法能够将主观权重与数学分析结果相结合, 更适宜运用于水库水质的评价中, 因此本文利用可变模糊模型, 对深圳市赤坳水库水质评价进行了定量研究, 以期对水库水质实际情况提供数据支持和决策支撑。

## 1 可变模糊集理论

可变模糊集理论主要用科学哲学与数学方法描述在一

收稿日期: 2013-08-02   修回日期: 2014-02-13   网络出版时间: 2014-03-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.02.001.html>

作者简介: 谢志高(1980), 男(满族), 河北秦皇岛人, 工程师, 主要从事水利项目施工管理。E-mail: xiezhighao00@163.com

通讯作者: 刁树峰(1982), 女, 河北张家口人, 博士, 主要从事水库调度, 水资源规划管理研究。E-mail: xishufeng820709@126.com

定时空条件组合下,系统中各类模糊事物(现象)的动态可变性。根据自然辩证法关于运动的矛盾性原理,可变模糊集理论用对立模糊集和相对差异函数来定义事物的基本模糊属性和模糊属性的差异程度。

### 1.1 对立模糊集

令  $U$  是全体讨论的对象(事物、概念、现象),  $u$  为  $U$  的任意元素,  $u \in U, \underline{A}$  与  $\underline{A}^c$  相对隶属函数,在数轴上构成  $[1, 0]$  区间数  $\underline{A}$  与  $[0, 1]$  区间数  $\underline{A}^c, u$  属于其中任一点指定对数为  $\mu_{\underline{A}}(u),$

$\mu_{\underline{A}^c}(u), \mu_{\underline{A}}(u) + \mu_{\underline{A}^c}(u) = 1,$  设:  $\underline{A} = \{u, \mu_{\underline{A}}(u), \mu_{\underline{A}^c}(u) | u \in U\}$

由:  $\mu_{\underline{A}}(u) + \mu_{\underline{A}^c}(u) = 1, 0 \leq \mu_{\underline{A}}(u) \leq 1, 0 \leq \mu_{\underline{A}^c}(u) \leq 1$

令:  $D_{\underline{A}}(u) = \mu_{\underline{A}}(u) - \mu_{\underline{A}^c}(u)$

由:  $\mu_{\underline{A}}(u) > \mu_{\underline{A}^c}(u), 0 < D_{\underline{A}}(u) < 1; \mu_{\underline{A}}(u) = \mu_{\underline{A}^c}(u),$

$D_{\underline{A}}(u) = 0; \mu_{\underline{A}}(u) < \mu_{\underline{A}^c}(u), -1 < D_{\underline{A}}(u) < 0$

$D_{\underline{A}}: D \rightarrow [-1, 1]; u \mapsto D_{\underline{A}}(u) \in [-1, 1]$

### 1.2 相对差异函数及模型

令  $X_0 = [a, b]$  横轴区间  $\underline{V}$  的吸引域, 即  $0 < D_{\underline{A}}(u) \leq 1, X = [c, d]$  为包含  $X_0 (X_0 \subset X)$  的广域, 见图 1。

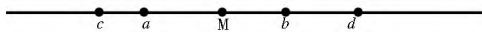


图 1 点  $x$  与各区间点示意图

Fig. 1 point  $x$  and each interval point diagram

当点  $x$  落在点  $M$  左右, 计算式如下:

$$\begin{cases} D_{\underline{A}}(u) = \left(\frac{x-a}{M-a}\right)^\beta, x \in [a, M] \\ D_{\underline{A}}(u) = -\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^\beta, x \in [c, a] \\ D_{\underline{A}}(u) = \left(\frac{x-b}{M-b}\right)^\beta, x \in [M, b] \\ D_{\underline{A}}(u) = -\left(\frac{x-b}{d-b}\right)^\beta, x \in [b, d] \end{cases} \quad (1)$$

## 2 可变模糊评价模型建立步骤

根据可变模糊集理论,应用对立模糊集、相对差异函数等相关概念,得到建立可变模糊评价模型的具体步骤。

(1) 由评价对象  $x = (x_1 x_2 x_3 \dots x_m)$ , 构造标准矩阵  $I_{ab}$ 、变动矩阵  $I_{cd}$  及  $M$  矩阵:

$$I_{ab} = ([a, b]_{ik}) \quad I_{cd} = ([c, d]_{ik}) \quad M = (m_{ik})$$

式中:  $i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, c (m$  为指标数,  $c$  为级别数)。

(2) 利用目标集二元比较重要性排序标度得矩阵  $E$ :

$$E = (e_{ik})$$

依据相对隶属度、模糊标度与模糊语气算子关系表<sup>[9]</sup>得到目标重要性相对隶属度  $\omega = (\omega_1 \omega_2 \dots \omega_m)'$ 。得到归一化公式:  $\omega = (\omega_1 \omega_2 \dots \omega_m)'$ 。

(3) 模型及相对差异函数计算相对隶属度  $\mu_{\underline{A}}(u)$  及隶属度向量为  $V_{\underline{A}}(u)$ 。

$$V_{\underline{A}}(u) = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [\omega_i (1 - \mu_{\underline{A}}(u)_{ih})^p]}{\sum_{i=1}^m (\omega_i \mu_{\underline{A}}(u)_{ih})^p} \right\}^{\frac{1}{p}}} \quad (2)$$

归一化隶属度向量公式:

$$V_{\underline{A}}^q(u) = (V_{\underline{A}}^q(u)_1 V_{\underline{A}}^q(u)_2 \dots V_{\underline{A}}^q(u)_k) \quad k = 1, 2, \dots, c.$$

(4) 计算应用级别特征值  $H$  的向量式:

$$H = (1 \ 2 \ \dots \ c) V_{\underline{A}}^q(u)^T \quad (3)$$

根据可变模糊模型结合级别特征值, 计算评价对象的范围, 并最终分析确定结果。

## 3 可变模糊模型在水库水质评价中的应用

选用深圳市赤坳水库作为评价对象。该水库位于坪山新区坪山河上游支流金龟水的中段, 坝址以上的主流长 9 km, 集雨面积 14.6 km<sup>2</sup>, 总库容 1 811 万 m<sup>3</sup>。

### 3.1 水库水质评价指标

赤坳水库为城市供水水库, 其供水对象包括了居民生活用水、工业用水和城市景观用水等多个方面, 因此对其水质要求较高, 需要达到 Ⅲ 类水以上标准, 而且对水质指标要求也较为严格。根据水库水质特点, 结合供水实际情况, 从赤坳水库选取了 8 个代表性评价指标来反映水库实情的水质情况: 氨氮  $X_1$  (mg/L); 粪大肠菌群  $X_2$  (个/L); 高锰酸盐指数  $X_3$  (mg/L); 硫化物  $X_4$  (mg/L); 氰化物  $X_5$  (mg/L); 总氮  $X_6$  (mg/L); 总磷  $X_7$  (mg/L); 溶解氧  $X_8$  (mg/L), 见表 1。

### 3.2 确立水库水质评价标准等级

多属性决策中, 各属性的相对重要程度即权重对评价结果有重要影响, 合理地确定权重是多属性决策的一个核心问题<sup>[10]</sup>。由于水库水质系统的复杂性、不可逆性、模糊性, 本文根据陈守煜教授提出的非结构性决策可变模糊集理论, 采用目标集二元比较重要性方法来求取评价因素的权重, 比传统的 AHP 方法更符合实际情况。采用可变模糊等级评定模型, 根据各定量评价指标的分级标准<sup>[11]</sup>, 将水库水质等级划分成 3 个等级:  $\tilde{N}$  级表示水库水质前景好——充分利用(优);  $\tilde{0}$  级表示水库水质一般——基本可利用(良);  $\hat{0}$  级表示水库水质前景较差——难以利用(差), 见表 2。

表 1 赤坳水库水质评价指标(2012 年 9 月)

Table 1 The water quality evaluation indexes in the Chi'ao Reservoir (September 2012)

指标	$X_1$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_2$ /(个·L <sup>-1</sup> )	$X_3$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_4$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_5$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_6$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_7$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_8$ /(mg·L <sup>-1</sup> )
赤坳水库	0.03	1 700	1.80	0.02	0.004	0.60	0.01	5.51

表 2 水库水质各评价指标等级划分

Table 2 Classification of each water quality evaluation index T in the Chi'ao Reservoir

等级	$X_1$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_2$ /(个·L <sup>-1</sup> )	$X_3$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_4$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_5$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_6$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_7$ /(mg·L <sup>-1</sup> )	$X_8$ /(mg·L <sup>-1</sup> )
$\tilde{N}$	0~0.15	0~200	0~2	0~0.05	0~0.005	0~0.2	0~0.02	6~7.5
$\tilde{0}$	0.15~0.5	200~2 000	2~4	0.05~0.1	0.005~0.05	0.2~0.5	0.02~0.1	5~6
$\hat{0}$	0.5~1	2 000~10 000	4~6	0.1~0.2	0.05~0.2	0.5~1	0.1~0.2	0~5

### 3.3 建立可变模糊模型

赤坳水库水质评价指标标准矩阵  $I_{ab}$ 、变动矩阵  $I_{cd}$  及  $M$  矩阵为:

$$I_{ab} = \begin{bmatrix} [0, 0.15] & [0.15, 0.5] & [0.5, 1] \\ [0, 200] & [200, 2000] & [2000, 10000] \\ [0, 2] & [2, 4] & [4, 6] \\ [0, 0.05] & [0.05, 0.1] & [0.1, 0.2] \\ [0, 0.005] & [0.005, 0.05] & [0.05, 0.2] \\ [0, 0.2] & [0.2, 0.5] & [0.5, 1] \\ [0, 0.02] & [0.02, 0.1] & [0.1, 0.2] \\ [6, 7.5] & [5, 6] & [0, 5] \end{bmatrix}$$

$$I_{cd} = \begin{bmatrix} [0, 0.5] & [0, 1] & [0.15, 1] \\ [0, 200] & [0, 10000] & [2000, 10000] \\ [0, 4] & [0, 6] & [2, 6] \\ [0, 0.1] & [0, 0.2] & [0.05, 0.2] \\ [0, 0.05] & [0, 0.2] & [0.005, 0.2] \\ [0, 0.5] & [0, 1] & [0.2, 1] \\ [0, 0.1] & [0, 0.2] & [0.02, 0.2] \\ [5, 7.5] & [0, 7.5] & [0, 6] \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.325 & 1 \\ 0 & 1100 & 10000 \\ 0 & 3 & 6 \\ 0 & 0.075 & 0.2 \\ 0 & 0.0275 & 0.2 \\ 0 & 0.35 & 1 \\ 0 & 0.06 & 0.2 \\ 7.5 & 5.5 & 0 \end{bmatrix}$$

根据矩阵  $I_{ab}$ 、 $I_{cd}$  和  $M$  判断评价指标  $x_i$  落入  $M$  点的左右, 应用公式(1), 计算指标对等级标准的相对隶属度  $\mu_{\tilde{A}}(u)_{\tilde{a}}$ :

$$\mu_{\tilde{A}}(u)_{\tilde{a}} = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.085 & 0.667 & 0.417 \\ 0.55 & 0.45 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0.75 & 0.25 & 0 \\ 0.255 & 0.99 & 0.25 \end{bmatrix}$$

利用目标集二元比较重要性排序标度得矩阵  $E$ , 依据相对隶属度、模糊标度与模糊语气算子关系表<sup>[9]</sup>, 得到水质评价 8 项指标的权重为:

$$w' = (0.600 \ 0.250 \ 0.818 \ 0.290 \ 0.429 \ 0.481 \ 0.481 \ 1.000)$$

权重归一化为:

$$w = (0.138 \ 0.057 \ 0.188 \ 0.067 \ 0.099 \ 0.111 \ 0.111 \ 0.230)$$

由公式(2)解得综合相对隶属度为:

$$\hat{u} = (0.487 \ 0.489 \ 0.148)$$

归一化为:  $u = (0.433 \ 0.435 \ 0.132)$

水库水质等级评价的级别特征值应用公式(3)为:

$$H = (1 \ 2 \ 3) \times (0.433 \ 0.435 \ 0.132)^T = 1.698$$

级别特征值 1.698 介于  $\tilde{N}$  级(优)和  $\tilde{O}$  级(良)之间, 所以该区域属于  $\tilde{O}$  级, 表示水库水质基本可利用, 属于良好水平。

### 4 结语

本文利用可变模糊集理论建立相对隶属函数, 结合级别特征值, 最终确定水库水质评价计算结果, 发现深圳市赤坳水库水质介于  $\tilde{N}$  类水和  $\tilde{O}$  类水之间, 水质属于良好水平, 满足水库供水对象对水质的要求。

研究表明, 与传统模糊综合评价方法相比, 可变模糊评价模型具有明显的动态性, 比传统评价方法相对隶属度计算灵活准确; 模型变化参数增多, 更能客观合理的评价对象的随机性和模糊性; 可反映评价对象的整体性, 实际应用能力更强。因此可变模糊评价模型为其他水库进行水质评价提供了新的方法思路。

#### 参考文献(References):

- [1] 倪深海, 白玉慧. BP 神经网络模型在地下水水质评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2000, (8): 124-127. (NI Sherr hai, BAI Yu hui. Application of BP Neural Network Model in Groundwater Quality Evaluation[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2000, (8): 124-127. (in Chinese))
- [2] 贺北方, 王效宇, 贺晓菊, 等. 基于灰色聚类决策的水质评价方法[J]. 郑州大学学报(工学版), 2001, 23(1): 10-13. (HE Bei fang, WANG Xiao yu, HE Xiao ju, et al. Water Quality Evaluation Method Based on Gray clustering Decision[J]. Journal of Zhengzhou University(Engineering Science), 2001, 23(1): 10-13. (in Chinese))
- [3] 方正, 孙迎霞, 程晓如. 多级模糊模式识别方法用于湖泊水质评价[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(10): 39-41. (FANG Zheng, SUN Ying xia, CHENG Xiao ru. Using Multilevel Fuzzy Identification Way Evaluate Lake Water Quality[J]. Chongqing Environmental Science, 2003, 25(10): 39-41. (in Chinese))
- [4] 陈仁杰, 钱海雷, 袁东, 等. 改良综合指数法及其在上海市水源水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2010, 30(2): 431-437. (CHEN Ren jie, QIAN Hai lei, Yuan Dong, et al. Improved Comprehensive Index Method and Its Application to Evaluation of Source Water Quality in Shanghai[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(2): 431-437. (in Chinese))
- [5] 赵晓亮, 齐庆杰, 李瑞峰, 等. 模糊 AHP 法在闽德海水库水质综合评价中的应用[J]. 地球与环境, 2013, 41(1): 71-76. (ZHAO Xiao liang, QI Qing jie, LI Rui feng, et al. Establishment of the Assessment Model for Drinking Water Quality of City Resource Based on the Fuzzy Mathematical Model[J]. Earth and Environment, 2013, 41(1): 71-76. (in Chinese))
- [6] 尹海龙, 徐祖信. 河流综合水质评价方法比较研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 729-733. (YIN Hai long, XU Zu xin. Comparative Study on Tyaical River Comprehensive Water Quality Assessment Methods[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(5): 729-733. (in Chinese))
- [7] 陈守煜. 工程水文水资源系统模糊集分析理论与实践[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1998. (CHEN Shou yu. Fuzzy Set Analysis Theory and Practice of Water Resources Systems Engineering Hydrology[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 1998. (in Chinese))

(下转第 91 页)

- [2] 鞠晓明,何江涛,王俊杰,等.抽水试验和微水试验在确定水文地质参数中的对比分析[J].工程勘察,2011,(1):51-56.(JU Xiaoming,HE Jiang tao,WANG Jun jie,et al.Comparison of the Determination of Hydrogeological Parameters from Pumping Tests and Slug Tests[J].Geotechnical Investigation& surveying,2011,(1):51-56.(in Chinese))
- [3] Nicholas Dudley Ward, Colin Fox. Identification of Aquifer Parameters from Pumping Test Data with Regard for Uncertainty [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2012, 17(7): 769-781.
- [4] 周海燕.基于集合卡尔曼滤波法的非高斯含水层参数识别[D].北京:中国地质大学,2011.(ZHOU Hai yan.Characterizing Non gaussian Aquifer Model Parameters Based on the Ensemble Kalman Filter[D].Beijing:China University of Geosciences,2011.(in Chinese))
- [5] 薛禹群.地下水动力学[M].北京:地质出版社,1997.(XUE Yur qun.Dynamics of Groundwater [M].Beijing:Geological Publishing House,1997.(in Chinese))
- [6] 王菲,刘元会,郭建青.粒子群优化算法确定非线性流含水层参数[J].勘察科学技术,2013,(1):5-7.(WANG Fei,LIU Yuan hui,GUO Jian qing.Determination on Aquifer Parameters in Nonlinear Flow by Particle Swarm Optimization Algorithms [J].Site Investigation Science and Technology,2013,(1):5-7.(in Chinese))
- [7] 高志亮,陈石,高鹏.基于遗传算法的地下水非稳定流求参方法[J].西安科技大学学报,2004,24(4):434-437.(GAO Zhi liang,CHEN Shi,GAO Peng.Calculating Hydrogeological Parameters Based on Genetic Algorithms [J].Journal of Xi'an university of Science and Technology,2004,24(4):434-437.(in Chinese))
- [8] 江思珉,陈剑桥,施小清,等.基于配线法的BP神经网络求解Theis模型[J].同济大学学报(自然科学版),2010,38(8):1151-1154.(JIANG Si min,CHEN Jian qiao,SHI Xiao qing,et al.Computation of Theis Model with Curve Fitting Method Based on BP Artificial Neural Network [J].Journal of Tongji University(Natural Science),2010,38(8):1151-1154.(in Chinese))
- [9] 魏连伟,邵景力,张建立,等.模拟退火算法反演水文地质参数算例研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2004,34(4):612-616.(WEI Lian wei,SHAO Jing li,ZHANG Jian li,et al.Application of Simulated Annealing Algorithm to Hydrogeological Parameter Inversion[J].Journal of Jilin university(Earth Science Edition),2004,34(4):612-616.(in Chinese))
- [10] 郭建青,李彦,王洪胜,等.确定含水层参数的混沌序列优化算法[J].中国农村水利水电,2006,(12):26-29.(GUO Jian qing,LI Yan,WANG Hong sheng,et al.Chaotic Time Series Optimization Algorithm for Aquifer Parameter Estimation [J].China Rural Water and Hydropower,2006,(12):26-29.(in Chinese))
- [11] 陈贵林.一种定性定量信息转换的不确定性模型——云模型[J].计算机应用研究,2010,27(6):2342-2347.(CHEN Gui lin.Uncertain Model of Qualitative/Quantitative Information Transformation Cloud Model [J].Application Research of Computers,2010,27(6):342-347.(in Chinese))
- [12] 高瑞忠,朝伦巴根,贾德彬,等.基于非稳定流抽水试验的BP神经网络确定含水层参数研究[J].沈阳农业大学学报,2004,35(5):510-512.(GAO Rui zhong,CHAO LUN Ba gen,JIA De bin,et al.Determining Aquifer Parameters with BP Neural Network Based on Unsteady Flow Pumping Test [J].Journal of Shenyang Agricultural University,2004,35(5):510-512.(in Chinese))
- [13] 叶琼,李绍稳,张友华,等.云模型及应用综述[J].计算机工程与设计,2011,32(12):4198-4201.(YE Qiong,LI Shao wen,ZHANG You hua,et al.Cloud Model and Application Overview [J].Computer Engineering and Design,2011,32(12):4198-4201.(in Chinese))
- [14] 李德毅,孟海军.隶属云和隶属云发生器[J].计算机研究与发展,1995,32(6):15-20.(LI De yi,MENG Hai jun.Membership Clouds and Membership Cloud Generators [J].Journal of Computer Research and Development,1995,32(6):15-20.(in Chinese))

(上接第86页)

- [8] 陈守煜.工程模糊集理论与应用[M].北京:国防工业出版社,1998.(CHEN Shou yu.Engineering Fuzzy Set Theory and Application[M].Beijing:National Defence Industry Press,1998.(in Chinese))
- [9] 陈守煜.可变模糊集理论与模型及其应用[M].大连理工大学出版社,2009:40-45.(CHEN Shou yu.Theory and Model of Variable Fuzzy Sets and Its Application[M].Dalian:Dalian University of Technology Press,2009:40-45.(in Chinese))
- [10] 李登峰.模糊多目标多人决策和对策[M].北京:国防工业出版社,2003.(LI Deng feng.Fuzzy Multiobjective Many Person Decision and Countermeasures[M].Beijing:National Defence Industry Press,2003.(in Chinese))
- [11] GB 3838-2002,地表水环境质量标准[S].(GB 3838-2002, Surface Water Environmental Quality Standards[S].2002.(in Chinese))