

# 属性识别理论在水环境质量评价中应用的研究

祁丽荣<sup>1</sup>, 胡浩云<sup>1</sup>, 孙建伟<sup>2</sup>, 王文博<sup>3</sup>

(1. 河北工程大学水电学院, 河北 邯郸 056021; 2. 邯郸市水利局, 河北 邯郸 056021; 3. 承德石油高等专科学校, 河北 承德 067000)

**摘要** 介绍了属性识别方法的基本原理。以巴江流域为例, 研究了属性识别理论在水环境质量评价中的应用。研究结果表明将该方法应用于水环境质量评价具有可行性和合理性, 对水环境的质量控制与改善有一定参考价值。

**关键词** 属性识别; 水环境; 水质评价

**中图分类号** X824 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2007)S1-0001-02

属性识别理论是一种对多指标复杂系统进行综合评价的科学方法<sup>[1-3]</sup>。该方法直观有效、简明实用。本文介绍了属性识别理论的具体步骤, 研究了属性识别理论在水环境质量综合评价中的应用, 并以云南石林县巴江流域水质的综合评价为例, 验证了属性识别理论在水环境质量综合评价中的可行性及合理性。

## 1 属性识别理论

设  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  为研究对象的样本空间;  $I = (I_1, I_2, \dots, I_m)$  为反映样本特性的指标集; 将样本  $x_i$  表示为  $m$  维向量, 即  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$

设  $F$  为  $X$  上某类属性空间  $(C_1, C_2, \dots, C_k)$  为属性空间  $F$  的有序分割类, 且满足  $C_1 > C_2 > \dots > C_k$ 。每个指标的分类标准  $Z_{ij}$  已知, 分类标准矩阵为

$$Z_{ij} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_k \\ \begin{matrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1k} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mk} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

式中:  $z_{jk}$  满足  $z_{j1} < z_{j2} < \dots < z_{jk}$  或者  $z_{j1} > z_{j2} > \dots > z_{jk}$ 。

### 1.1 单指标属性测度

样本  $i$  的第  $j$  个指标值  $I_j$  的测量值为  $x_{ij}$ ,  $x_{ij}$  具有属性  $C_k$  的属性测度为  $u_{ijk}$ , 且  $\sum_{k=1}^K u_{ijk} = 1 (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m)$

假定  $z_{j1} < z_{j2} < \dots < z_{jk}$ , 属性测度分段线性函数为

$$u_{ijk}(x_{ij} \in C_k) = \begin{cases} \text{当 } x_{ij} \leq z_{ji}, u_{ij1} = 1, u_{ij2} = \dots = u_{ijk} = 0 \\ \text{当 } x_{ij} \geq z_{jK}, u_{ijK} = 1, u_{ij1} = \dots = u_{ijk-1} = 0 \\ \text{当 } k < l \text{ 或 } k > l + 1 \\ u_{ijK} = 0 \\ u_{ijk} = \left| \frac{x_{ij} - z_{jl+1}}{z_{jl} - z_{jl+1}} \right| \\ u_{ijk+1} = \left| \frac{x_{ij} - z_{jl}}{z_{jl} - z_{jl+1}} \right| \end{cases} \quad (2)$$

按式(2)计算得到单指标属性测度矩阵

$$u_{ijk(m \times K)} = \begin{bmatrix} u_{i11} & u_{i12} & \dots & u_{i1k} \\ u_{i21} & u_{i22} & \dots & u_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{im1} & u_{im2} & \dots & u_{imk} \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 1.2 多指标综合属性测度

由单指标属性测度加权求和即可得到综合属性测度

$$u_{ik} = u(x_i \in C_k) = \sum_{j=1}^m w_j u_{ijk}$$

其中:  $1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq K$  (4)

式中:  $w_j$  为指标权重,  $w_j \geq 0$  且  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ ,  $w_j$  的值可由专家和数据确定。一般采用熵权法<sup>[4]</sup>或比例测度法<sup>[5]</sup>。

按式(4)计算得到综合属性测度矩阵

$$u_{ik(n \times K)} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1k} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nk} \end{bmatrix} \quad (5)$$

### 1.3 评判准则

按照置信度准则,对置信度  $\lambda$ ,一般取  $0.5 < \lambda \leq 1$ ,计算式为:

$$k_i = \min \left\{ k : \sum_{k=1}^K u_{ik} \geq \lambda, 1 \leq k \leq K \right\} \quad (6)$$

则认为  $x_i$  属于  $C_k$  类。

按照评分准则,计算

$$q_{x_i} = \sum_{l=1}^k n_l u_{il} \quad n_l = k + 1 - l \quad (7)$$

则可根据  $q_{x_i}$  的大小对  $x_i$  进行比较评价和排序。

## 2 实例

以珠江流域隶属南盘江的一级支流的巴江进行实例计算。巴江发源于云南石林县北大村乡山头村对角山的山神庙脚,自北向南经石林镇、路美邑乡、鹿阜镇、板桥乡后转向西南方向,进入宜良县,至禄丰村汇入南盘江。石林县内河长 48.2 km,径流面积 705.6 km<sup>2</sup>,多年平均流量 14.5 m<sup>3</sup>/s,年径流量 1.622 73 亿 m<sup>3</sup>(包括西河、马料河、几弯河),河流坡降为 1%。由于巴江流经重要城镇,生活污水、生产污染物给巴江带来了不同程度的污染,造成了水质不断地恶化。

巴江实测各断面水样监测指标见表 1,参照地面水环境质量标准,并结合地方实际情况确定水质评价标准级别见表 2。

表 1 石林县巴江各断面 1998 年水质指标实测平均值 mg/L

断面	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$
河摩站	17.92	2.84	6.10	0.32
小东山	9.57	1.32	6.80	0.40
石林县城	12.24	4.37	7.30	0.74
虎街	10.54	3.09	7.30	0.54
小叠水村	10.32	1.99	8.10	0.41

表 2 地表水水质评价分级标准 mg/L

评价级别	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$
I	$\leq 2.0$	$\leq 2.0$	$\geq 9.0$	$\leq 0.15$
II	4.0	3.0	6.0	0.50
III	6.0	4.0	5.0	1.00
IV	10.0	6.0	3.0	1.50
V	$\geq 21.0$	$\geq 10.0$	$\leq 2.0$	$\geq 2.00$

确定研究对象空间  $X = (x_1, x_2, \dots, x_5)$ , 指标集为  $I = (I_1, I_2, I_3, I_4)$ , 属性空间为  $C = (C_1, C_2, \dots, C_5)$ , 计算单指标属性测度矩阵  $u_{ijk(4 \times 5)}$ , 采用

Shannon 熵的方法,从实测数据指标入手,充分利用数据自身信息,客观地确定出指标权重  $w_j (w_1, w_2, w_3, w_4) = (0.2504, 0.2502, 0.2500, 0.2494)$ , 以该向量作为权重按式(5)计算得综合属性测度评价矩阵  $u_{ik(5 \times 5)}$  为:

$$u_{ik(5 \times 5)} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 \\ X_1 & 0.1766 & 0.5732 & 0.000 & 0.0701 & 0.1803 \\ X_2 & 0.3883 & 0.3614 & 0.0268 & 0.2236 & 0.0000 \\ X_3 & 0.1083 & 0.2725 & 0.3227 & 0.2456 & 0.0511 \\ X_4 & 0.1083 & 0.4193 & 0.2221 & 0.2381 & 0.0123 \\ X_5 & 0.4893 & 0.2604 & 0.000 & 0.2431 & 0.0073 \end{bmatrix} \quad (8)$$

取置信度  $\lambda = 0.75$ ,由式(6)可知,巴江 5 个断面水质级别分别为:河摩站和石林县城为 IV 级水质,小东山、虎街和小叠水村为 III 级水质。

## 3 结果分析

根据实例结果中的综合属性测度矩阵式(8),应用评分准则公式(7),可得巴江流域各断面的水质评分,见表 3。模糊模式识别法是一种能够定量研究水质的方法。为了进一步说明属性识别法评价结果的正确性,对本文实例应用模糊模式识别法进行评价,其评价结果列于表 3。

表 3 巴江 5 个断面水质评价结果

评价方法	河摩站	小东山	石林县城	虎街	小叠水村
属性识别法	3.50 IV	3.91 III	3.14 IV	3.87 III	3.98 III
模糊识别法	III ~ IV	II ~ III	III	II ~ III	III

从表 3 可知,对巴江流域分别应用属性识别法和模糊模式识别法进行水质综合评价,评价结果比较一致,并且均与巴江流域实际水质情况基本相符;另外,根据属性识别理论中的评分准则可以对各断面水质进行排序,即小叠水村 > 小东山 > 虎街 > 河摩站 > 石林县城,说明了各断面水质虽属同一级别,但水体受污染的程度却不尽相同,其中石林县城要比其他断面的水质受污染程度高,据此可有针对性地制定改善环境质量的污染源治理方案。

综上所述,将属性识别法应用于水环境的质量评价是行之有效的,且该方法较简单。

## 4 结 语

a. 通过对石林县巴江监测断面水质的 4 个评价因子的综合评价,识别出 5 个断面的水质达到 II ~ IV 类地表水质标准(GB 3838—2002),与实际情况基本相符,说明应用属性识别法,参照(下转第 6 页)

[ 9 ] NOUR M H , SMITH D W , DIN M G , et al. The application of artificial neural networks to flow and phosphorus dynamics in small streams on the Boreal Plain with emphasis on the role of wetlands[ J ]. Ecological Modelling 2006 ,191 :19-32.

[ 10 ] 郭劲松 霍国友 龙腾锐. BOD-DO 耦合人工神经网络水质模拟的研究[ J ]. 环境科学学报 2001 21( 2 ) :140-143.

[ 11 ] 陈丽华 常沁春 陈兴国 等. BP 网络应用于黄河水质的预测研究[ J ]. 兰州大学学报 2003 33( 2 ) 53-56.

[ 12 ] 李晓东 曾光明 黄国和 等. 城市污水量短时预测的混沌神经网络模型[ J ]. 环境科学学报 2006 26( 3 ) :416-419.

[ 13 ] KARUL C , SOYUPAK S , CILESIZ A F , et al. Case studies on the use of neural networks in eutrophication modeling[ J ]. Ecological Modelling 2000 ,134 :145-152.

[ 14 ] LEE J H W , HUANG Y , DICKMAN M , et al. Neural network modelling of coastal algal blooms[ J ]. Ecological Modelling , 2003 ,159 : 179-201 .

[ 15 ] KUO J T , HSIEH M H , LUNG W S , et al. Using artificial neural network for reservoir eutrophication prediction[ J ]. Ecological Modelling 2007 ,200 :171-177.

[ 16 ] 杨建强 罗先香 丁德文 等. 赤潮预测的人工神经网络方法初步研究[ J ]. 海洋科学进展 2003 21( 3 ) 318-324.

[ 17 ] 王洪礼 葛根 李悦雷. 基于模糊神经网络 FNN 的赤潮预警预测研究[ J ]. 海洋通报 2006 25( 4 ) 36-41.

[ 18 ] 郭劲松 王海霞 龙腾锐. 人工神经网络在水质规划和管理中的应用[ J ]. 重庆环境科学 2002 24( 4 ) 69-72.

[ 19 ] 高学民 陈静生 王立新. BP 网络应用于长江水质研究[ J ]. 环境科学研究 2001 14( 1 ) 49-52.

[ 20 ] 陈守煜 李庆国. 一种新的模糊聚类神经网络及其在水资源评价中的应用[ J ]. 水科学学报 2005 33( 6 ) 662-666.

[ 21 ] 陈永灿 陈燕 郑敬文 等. 概率神经网络水质评价模型及其对三峡近坝水域的水质评价分析[ J ]. 水力发电学报 2004 23( 3 ) 7-12.

[ 22 ] 陈守煜 李亚伟. 基于模糊人工神经网络识别的水质评价模型[ J ]. 水科学进展 2005 16( 1 ) 88-91.

[ 23 ] 王晓玲 李松敏 段文泉 等. 基于隶属度-遗传神经网络模型的水质综合评价[ J ]. 天津大学学报 2006 39( 10 ) : 1199-1204.

[ 24 ] 胡明星 郭达志. 湖泊水质富营养化评价的模糊网络方法[ J ]. 环境科学研究 1998 11( 4 ) 42-44.

[ 25 ] JIN K R , THOMAS J R. Assessing lake okeechobee eutrophication with water-quality models [ J ]. Journal of Water Resources Planning & Management ,1998 ,124( 1 ) : 22-30.

[ 26 ] AGUILERA P A , FRENICH A G , TORRES J , et al. Application of the kohonen neural network in coastal water management : methodological development for the assessment and prediction of water quality[ J ]. Wat Res ,2001 ,35( 17 ) :4053-4062.

[ 27 ] 曾光明 卢宏玮 金相灿 等. 洞庭湖水体水质状况及运

用小波神经网络对营养状态的评价[ J ]. 湖南大学学报 , 2005 33( 1 ) 91-94.

[ 28 ] 任黎 董增川 李少华. 人工神经网络模型在太湖富营养化评价中的应用[ J ]. 河海大学学报 2004 33( 2 ) :147-150.

[ 29 ] WEAN C G , LEE C S. A Neural network approach to multiobjective optimization for water quality management in a river basin[ J ]. Wat Res Res ,1998 34( 3 ) .

[ 30 ] BRION G M , NEELAKANTAN T R , LINGIREDDY S. A neural-network-based classification scheme for sorting sources and ages of fecal contamination in water[ J ]. Water Research , 2002 36 3765-3774.

[ 31 ] HA H , STENSTROM M K. Identification of land use with water quality data in stormwater using a neural network[ J ]. Water Research 2003 37 :4222-4230.

[ 32 ] GATTS C E N , OVALLEB A R C , SILVA C F , et al. Neural pattern recognition and multivariate data :water typology of the Paraíba do Sul River ,Brazil[ J ]. Environmental Modelling & Software 2005 20 : 883-889.

[ 33 ] KUO J T , WANG Y Y , LUNG W S. A hybrid neural-genetic algorithm for reservoir water quality management[ J ]. Water research 2006 40 :1367-1376.

[ 34 ] 杨晓华 杨志峰 沈珍瑶 等. 区域水资源开发利用程度评价的 RBF 网络模型[ J ]. 环境科学 2004 25( 5 ) 31-34.

[ 35 ] 文俊 李靖 王龙 等. 基于遗传神经算法的区域水资源预警方法研究[ J ]. 生态经济 2006 7 : 28-30.

( 收稿日期 2007-03-30 编辑 徐 娟 )

( 上接第 2 页 )

《地表水环境质量标准》所规定分类水质参数指标进行水质评价 ,能够做到水质评价的准确性、合理性。

b. 本文实例说明 ,属性识别理论应用于水环境质量综合评价是行之有效的 ,同时 ,为水环境质量评价及控制改善提供了新的参考。

参考文献 :

[ 1 ] 程西方 谭炳卿. 水环境质量评价及存在问题浅析[ C ]// 水环境保护与管理文集. 郑州 :黄河水利出版社 2002.

[ 2 ] 程乾生. 层次分析法 AHP 和属性层次模型 AHM[ J ]. 系统工程理论与实践 ,1997( 11 ) 25.

[ 3 ] RENARD K G , FOSTER G R , WEESIES G A , et al. RUSLE a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation[ R ]. USDA Agricultural Handbook ,1997 :703.

[ 4 ] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[ J ]. 北京大学学报 :自然科学版 ,1997 33( 1 ) :12-20.

[ 5 ] 张先起 梁川 刘慧卿. 基于熵权的属性识别模型在地下水水质综合评价中的应用[ J ]. 四川大学学报 :工程科学版 2005 37( 3 ) 28-30.

( 收稿日期 2007-05-15 编辑 高渭文 )