

唐山市南湖公园水环境质量的模糊综合评价

张春娜¹, 李富平¹, 郎红东² (1. 河北理工大学资源环境学院, 河北唐山 063009; 2. 浙江省金华市环境监测站, 浙江金华 321017)

摘要 根据对南湖公园水质的监测数据建立评价因子集, 根据环境质量标准的5个等级建立评价等级集, 选择降半梯形分布来确定隶属函数, 建立模糊关系矩阵, 采用超标倍数赋权法确立权重系数, 构造权重系数矩阵, 将模糊矩阵和权重矩阵进行合成, 得出南湖公园水质综合评价结果。结果表明: 南湖公园的水质基本达到V级标准, 基本满足地表水水域环境功能, 但部分娱乐用水区水质存在污染。与其他方法的比较结果表明, 该模糊综合评价法较好地解决了质量分级归属问题, 采用超标倍数赋权法确立权重得到了比较客观的结果。

关键词 采煤塌陷区; 水环境; 模糊综合评价; 环境质量评价

中图分类号 X824 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)34-17000-03

Fuzzy Comprehensive Assessment on Water Environmental Quality in Tangshan Nanhu Park

ZHANG Chun-na et al (College of Resource and Environment, Hebei Polytechnic University, Tangshan, Hebei 063009)

Abstract The evaluating factor congregation was set up according to the monitoring data of Nanhu Park water quality. The evaluating grade congregation was established based on 5 grades of environmental quality standard. The subordinate function was confirmed to establish fuzzy relation matrix by selecting the falling semi-trapezoid distribution. The weight coefficient was confirmed to construct weight coefficient matrix by using super-standard multiple weight method. And the comprehensive evaluating results on water quality of Nanhu Park was got by combination of fuzzy relation matrix and weight coefficient matrix. The results showed that water quality in Nanhu Park was V degree, and basically met the need of surface water environmental function. However, water quality in part of entertainment area was polluted. Compared with other methods, this method of fuzzy comprehensive assessment better solved the adscription question of quality grade. Using super-standard multiple weight method to establish weight coefficients could obtain more objective results.

Key words Coal mining subsidence area; Water environment; Fuzzy comprehensive assessment; Environment quality assessment

唐山市是一座具有百年历史的沿海重工业城市, 素有“煤都”之称。辖区内的开滦集团已有100多年的采煤历史。在采煤的过程中, 不可避免地产生地表塌陷。该研究区域正处于开滦集团下属唐山矿在开采过程中形成的塌陷区内。塌陷区已经过治理, 现成为南湖国家湿地公园和全市人们的休闲场所。目前对南湖湿地公园的水质、生态环境现状尚没有系统、完整的研究资料。因此, 对南湖公园水污染现状评价势在必行, 意义重大。

模糊综合评判法是一种运用模糊数学原理分析和评价具有“模糊性”事物的系统分析方法。它是以模糊推理为主的定性定量相结合、精确与非精确相统一的分析评价方法^[1-4]。目前, 该方法在环境科学领域的应用已经受到广泛重视^[5-11]。在水环境科学领域进行水体污染评价时, 应考虑水环境污染程度与水质分级的相互联系及两者间存在的模糊性。模糊综合评判法能很好地反映这种水质级别的模糊性与连续性, 其评价结果比较合理。相对于单因素评价法、综合污染指数法等评价方法, 模糊综合评价结果更加接近客观实际。笔者采用模糊综合评判法, 对唐山市南湖公园的水质污染状况进行了综合评价。

1 材料与方法

1.1 采样方法 采样时间为2006年4~5、9~10月。监测点主要设置在经治理后建成的南湖公园水面上, 主要设在进水区、湖心区和岸边区域内。具体的采样位置见图1。

1.2 监测项目与评价标准 水体的质量特征通常可以分为感官特征、物理特征、化学特征和生物学特征等, 因此水质评价的参数往往也是围绕这些特征进行选择。为了使评价结

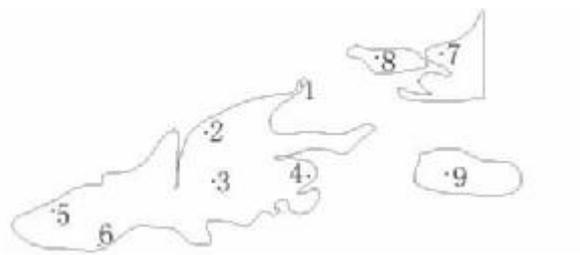


图1 唐山市南部采煤塌陷区采样点的位置

Fig. 1 The location of sampling sites in coal mining subsidence area in south of Tangshan

果全面反映南湖公园水环境实际状况, 选择影响较大的主要水环境参数和一般水环境评价的常用参数, 构成水环境质量评价指标体系, 包括pH值、生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)和铅(Pb)等9项水质指标。各参数测定均在实验室内进行。监测方法均参照《水和废水监测分析方法》规定的方法^[12]。

1.3 评价方法 该研究采用模糊综合评判法进行评价。在进行模糊综合评价时, 以隶属度来刻画事物的模糊界限, 具体以隶属函数来表示。针对水质污染问题, 在给定水质分级标准后, 需要确立对该标准所表述之特征具有的程度, 即建立各因子对相应水质级别的隶属函数, 然后将实测值代入相应的隶属函数, 经过模糊变换与综合运算, 得到综合隶属度, 以此确定水体的水质级别。模糊综合评判法一般可以归纳为以下步骤:

(1) 建立因素集合 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, U 代表所有评判因素的集合。

(2) 给出评语集合 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$, V 是与相对应评价标准分级的集合。

(3) 建立隶属函数, 以下选用降半梯形分布函数, 确定某种因素的隶属度。

基金项目 国家“863”项目(2005AA644030); 河北理工大学科学研究基金项目。

作者简介 张春娜(1977-), 女, 河北玉田人, 硕士, 讲师, 从事环境污染与生态恢复技术方面的研究。

收稿日期 2009-07-27

$$U(X) = \begin{cases} 1 & 0 \leq X \leq a_1 \\ \frac{a_2 - X}{a_2 - a_1} & a_1 < X < a_2 \\ 0 & X \geq a_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中, X 为样本中评价因子的实测值; a_1 、 a_2 为相邻水质的等级标准值; $U(X)$ 为某种元素的隶属度。

(4) 建立模糊矩阵。通过隶属函数, 利用实测值, 求出 i 个单项指标对 j 级水的隶属程度, 得出 i, j 矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{ij} \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据各指标超标情况进行加权, 权重值为:

$$W_i = C_i / S_i \quad (3)$$

式中, C_i 为第 i 种污染物实测浓度; S_i 为第 i 种污染物某种用途水各级标准值的算术平均值。

为了进行模糊运算, 对各单项权重值进行归一化, 由此可得到权重集组成矩阵。

$$A = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_i) \quad (4)$$

式中, $W_1, W_2, W_3, \dots, W_i$ 表示单因素 u_i 在所有因素中的权重系数。

(5) 模糊综合运算对矩阵 A, R 进行运算。按照模糊矩

阵的运算法则, 得出综合评价结果。在综合考虑总体对各级水的隶属度时, 必然要考虑各项分指标对各级水的隶属度及其在总体中的重要程度, 将 A 矩阵与 R 矩阵进行复合运算。

$$Y = A \cdot R \quad (5)$$

式中, Y 为模糊综合评价结果。该结果对应于各级水质的隶属度。在模糊矩阵的复合运算过程中, 一般取算子“ \vee ”和“ \wedge ”, 这样可得出总体对于各级水质的隶属度, 一般采用隶属度最大的原则。如果在模糊矩阵复合运算结果中出现 2 个最大值, 则考虑与次大值贴近的那个结果所在的水质级别。

1.4 南部塌陷区水质评价

1.4.1 评价标准与评价因子的选择。笔者采用 GB3838-2002《地表水环境质量标准》为评价标准^[13], 并选择在水质监测结果中主要的污染指标作为评价因子, 建立因子集, 同时根据相应的标准划分的水质级别确定评价集。在评价过程中选择了 9 个评价参数, 即 pH 值、BOD₅、COD_{Cr}、NH₃-N、TP、Cr、Cd、Cu 和 Pb (表 1), 建立因子集 $u = \{ \text{pH 值, BOD}_5, \text{COD}_{Cr}, \text{NH}_3\text{-N, TP, Cd, Cr, Cu, Pb} \}$, 确定评价集 $\{ \text{I, II, III, IV, V} \}$, 把塌陷区的水质划分为优 (I)、良 (II)、中 (III)、差 (IV)、劣 (V) 5 级, 污染程度相应为未污染、轻污染、中污染、重污染和严重污染。

表 1 唐山南部采煤塌陷区地表水监测点的水质监测指标

Table 1 Water quality monitoring index in coal mining subsidence area in south of Tangshan

监测点 Monitoring site	BOD ₅	pH 值	COD _{Cr}	NH ₃ -N	TP	Cd	Cr	Cu	Pb
1	3.6	7.17	79.1	5.180	0.035	0.004	0.015	0.041	0.049
2	2.8	7.67	26.5	0.348	0.004	-	-	-	-
3	4.0	7.63	38.6	0.425	0.005	0.013	0.035	0.072	0.132
4	6.2	7.50	27.3	1.282	0.006	0.058	0.061	0.654	0.674
5	5.3	7.61	30.6	0.469	0.009	0.006	0.011	0.058	-
6	4.6	7.57	36.1	0.777	0.005	0.005	0.003	0.049	-
7	0.2	6.71	161.2	4.323	0.029	0.007	0.006	0.049	0.002
8	0.5	7.41	75.5	7.907	0.034	-	-	-	-
9	0.2	6.77	140.8	6.545	0.060	0.009	0.007	0.063	0.002

注: 表中的监测数据为采样点 2 次采样测定的平均值。“-”表示未检出。

Note: The monitoring data in the table are mean of two times sampling determination.

1.4.2 建立隶属函数及隶属度矩阵。由于各种因素对于水质评判等级的隶属函数可按线性变化, 一般通过线性函数求出各级水隶属函数。根据各个因素的 5 级水质标准, 作出各个级别的隶属函数为:

I 级水, 即 $j=1$ 时,

$$U_{ij} = \begin{cases} 1 & X_i \leq S_{i1} \\ \frac{S_{i2} - X_i}{S_{i2} - S_{i1}} & S_{i1} < X_i < S_{i2} \\ 0 & X_i \geq S_{i2} \end{cases}$$

II ~ IV 级水, 即 $j=2 \sim 4$ 时,

$$U_{ij} = \begin{cases} 0 & X_i \leq S_{ij-1} \text{ 或 } X_i \geq S_{ij+1} \\ \frac{X_i - S_{ij-1}}{S_{ij} - S_{ij-1}} & S_{ij-1} < X_i < S_{ij} \\ \frac{S_{ij+1} - X_i}{S_{ij+1} - S_{ij}} & S_{ij} < X_i < S_{ij+1} \end{cases}$$

V 级水, 即 $j=5$ 时

$$U_{ij} = \begin{cases} 1 & X_i \geq S_{i5} \\ \frac{X_i - S_{i4}}{S_{i5} - S_{i4}} & S_{i4} < X_i < S_{i5} \\ 0 & X_i \leq S_{i4} \end{cases}$$

式中, X_i 表示第 i 个因素的实测值; $S_{ij-1}, S_{ij}, S_{ij+1}$ 分别为各因素的第 $j-1, j, j+1$ 级标准值。

按照上列公式分别建立各因子的隶属函数, 然后将相应的实测值代入, 即可得到各水质监测断面的隶属度矩阵 R 。

1.4.3 确立各因子的权重集及进行模糊综合评判计算。权重是衡量因子集中某一因子对水质污染程度影响相对大小的量。权重越大, 则该因子对水质的影响程度越大。这里, 权重是通过超标比来取得的。各因素的监测值相对于水质标准的超标倍数越大, 对污染的贡献越大, 从而权重越大。

根据各因子超标比, 可以确定各监测断面的各指标权重 (表 2)。

表2 因素权重的归一化结果
Table 2 Normalization results of factor weight

采样断面 Sampling section	A_{BOD}	$A_{pH值}$	A_{COD}	A_{NH_3-N}	A_{TP}	A_{Cd}	A_{Cr}	A_{Cu}	A_{Pb}
1	0.055 8	0.077 0	0.265 7	0.405 3	0.013 8	0.065 1	0.022 6	0.004 1	0.090 6
2	0.176 2	0.334 7	0.361 6	0.110 6	0.016 9	0	0	0	0
3	0.075 8	0.100 3	0.158 3	0.040 7	0.006 4	0.246 4	0.067 1	0.008 8	0.296 2
4	0.036 0	0.030 2	0.034 4	0.037 6	0.002 4	0.336 6	0.035 3	0.024 6	0.462 9
5	0.190 9	0.190 0	0.238 8	0.085 3	0.021 9	0.219 7	0.040 0	0.013 4	0
6	0.165 2	0.188 5	0.281 2	0.140 9	0.012 1	0.190 3	0.010 4	0.011 4	0
7	0.002 9	0.066 4	0.498 3	0.311 5	0.010 6	0.094 2	0.008 8	0.004 5	0.002 8
8	0.008 0	0.081 8	0.260 4	0.635 6	0.014 2	0	0	0	0
9	0.002 5	0.058 8	0.381 9	0.413 7	0.019 1	0.107 7	0.008 5	0.005 1	0.002 7

通过模糊综合运算,根据隶属度来判断各监测断面的水质级别。

2 结果与分析

经过上述一系列的计算,最终根据模糊运算法则 $Y = A \cdot R$,可以得到各水质监测断面的综合模糊评判集:

$$Y_1 = A_1 \cdot R_1 = \begin{bmatrix} 0.055\ 8 \\ 0.077\ 0 \\ 0.265\ 7 \\ 0.405\ 3 \\ 0.013\ 8 \\ 0.065\ 1 \\ 0.022\ 6 \\ 0.004\ 1 \\ 0.090\ 6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.400\ 0 & 0.600\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.812\ 5 & 0.187\ 5 & 0 & 0 & 0 \\ 0.200\ 0 & 0.800\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.885\ 0 & 0.115\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.958\ 7 & 0.013\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.015\ 0 & 0.985\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

= (0.125, 0.158, 0.654, 0.077, 0.748)

上述计算结果即为1号断面南湖公园入口处断面对应U集合上的各项的隶属度,即对I级水的隶属度为0.125,对II级水的隶属度为0.158,对III级水的隶属度为0.654,对IV级水的隶属度为0.077,对V级水的隶属度为0.748。根据隶属度最大的原则,整个断面对V级的隶属度最大。因此,1号监测断面即南湖公园中心湖入口处的水质级别为V级,属于严重污染。同理可以得到其他断面的模糊综合评价结果:湖西断面即2号断面的水质为I级,属于未污染;湖中央断面(3号)、湖东断面(4号)、湖尾部西侧断面(5号)、公园东门西侧断面(8号)、公园东门南侧断面(9号)水质级别均为V级,属于严重污染级别;湖尾部东侧断面(6号)和公园东门北侧断面(7号)的水质级别为IV级,属于重污染级别(表3)。

上述各断面模糊综合评价的结果表明,监测断面的水质级别都达到了V级及以上。在影响水质的各个指标中,通过

表3 唐山市南部采煤塌陷区各断面模糊综合评价结果

Table 3 Fuzzy synthetic evaluation results of each section in coal mining subsidence area in south of Tangshan

监测断面 Monitoring section	隶属度 Membership degree					级别 Grade
	I级	II级	III级	IV级	V级	
1	0.125 1	0.158 1	0.653 9	0.077 0	0.748 0	V
2	0.575 9	0.397 3	0.460 5	0.570 5	0.334 7	I
3	0.148 2	0.175 4	0.176 1	0.123 3	0.778 2	V
4	0.041 2	0.046 2	0.055 7	0.074 2	0.839 1	V
5	0.271 1	0.269 5	0.256 8	0.710 0	0.252 6	V
6	0.211 4	0.251 9	0.382 2	0.681 3	0.216 8	IV
7	0.094 6	0.067 8	0.066 4	0.130 5	0.906 3	IV
8	0.101 5	0.271 0	0.081 8	0.081 8	0.977 8	V
9	0.086 9	0.068 7	0.058 8	0.618 2	0.931 9	V

对权重的计算可以看出化学需氧量(COD_{Cr})和氨氮(NH₃-N)对水质的影响程度相对较大,说明水体中的主污染物为有机物和氮。

治理后的南湖公园内水质基本达到地表景观用水标准。其中,4号断面作为娱乐用水区,而它的V级水质尚未达到该用途用水标准,所以对该水域应采取有效的治理措施;其余断面均达到景观用水标准。但是由于该公园处于采煤塌陷区范围内,水源进入该区域后循环再利用能力不强,造成公园中心湖水更新缓慢,水体自净能力下降,存在着水质超标的潜在威胁,所以在条件允许的情况下应采取改善当地的水质条件。

3 结论

笔者以唐山市南部采煤塌陷区水体为研究对象,通过选取有代表性的评价因子,建立了因子评价矩阵,计算各因子的权重,并且进行模糊综合运算,对采煤塌陷区水体的各监测断面水质进行了模糊综合评价。结果表明,用模糊数学评价法对唐山市南部采煤塌陷区地表水进行评价,计算结果与塌陷区地表水体实际水质一致,证明模糊数学评价法具有实用价值;塌陷区经治理后的小南湖公园水体,用于景观用水后的小南湖公园水体,用于景观用水的各监测断面都达到国家标准的要求,但是有部分水域为娱乐用水,这部分水体已经受到污染,应对其采取适当的措施,改善水质。

放养数量,可充分利用天然饵料,从而减少浮游植物和浮游动物的数量,这样既可治理水体的富营养化,又可提高经济效益,是一项非常值得研究的生物修复技术。武汉东湖的围隔试验证明了鲢鱼和鳙鱼能有效控制蓝藻水华,并指出当放养的鲢鱼和鳙鱼的有效生物量达到 $46 \sim 50 \text{ g/m}^2$ 时,可有效地抑制水华的发生^[29]。

4 结语

水体富营养化破坏了水体原有生态系统的平衡,给环境带来很多危害。对受污染的江河、湖泊、水库水体进行修复,是经济社会发展以及生态环境建设的迫切需要。生物修复技术投资少、运行方便、能耗低,是一条合理的水体污染治理路线。此外,应将湖泊作为一个有机的整体来对待,治理湖泊富营养化时,应避免采用单一的修复方法。水生植物修复、微生物修复及水生动物修复并不是相互孤立的,水体中任何生物种类的变化均会影响其他生物种群和数量的改变。因此,多种生物修复技术可以同时采用,或与其他修复技术结合使用,使其取得更好的处理效果。在运用生物修复技术对富营养化水体进行治理的过程中,也应考虑到物种间的相互影响和生态安全。

参考文献

- [1] 马井泉,周怀东,董哲仁.我国应用生态技术修复富营养化湖泊的研究进展[J].中国水利水电科学研究院学报,2005,3(3):209-215.
- [2] 郑焕春,周青.微生物在富营养化水体生物修复中的作用[J].中国生态农业学报,2009,17(1):197-201.
- [3] 刘晶,秦玉洁,丘焱伦,等.生物操纵理论与技术在富营养化湖泊治理中的应用[J].生态科学,2005(2):188-192.
- [4] 国家环保总局.2007中国环境状况公报[R].北京:国家环保总局,2008:6.
- [5] 冯太国,万新南.富营养化对湖泊的危害及修复技术探讨[J].水土保持研究,2006,13(2):145-146,161.
- [6] 程丽巍,许海,陈铭达,等.水体富营养化成因及其防治措施研究进展[J].环境保护科学,2007,33(1):18-21,38.
- [7] 付春平,钟成华,邓春光.水体富营养化成因分析[J].重庆建筑大学学报,2005,27(1):128-131.
- [8] 金根东.我国湖泊富营养化研究现状[J].现代农业科技,2008(16):334-336.
- [9] 贺丽君,龚洁,赖承程,等.湖泊富营养化的成因及防治对策[J].工业

安全与环保,2008,34(9):23-24.

- [10] 陈奥密.湖泊富营养化产生的原因和机理[J].广东水利水电,2008(1):34-37.
- [11] 吴宇.富营养化:中国湖泊面临的治理难题[J].生态经济,2008(9):14-19.
- [12] 谢有奎,俞栋,高殿森,等.水体富营养化危害、成因及防治[J].后勤工程学院学报,2004(3):27-99.
- [13] 高爱环,李红缨,郭海福.水体富营养化的成因、危害及防治措施[J].肇庆学院学报,2005,26(5):41-44.
- [14] 秦伯强.湖泊富营养化治理的技术对策[J].环境保护,2007(19):22-24.
- [15] 宋关玲.生物修复技术在水体富营养化治理中的应用[J].安徽农业科学,2007,35(27):8597-8598.
- [16] 顾宗谦.中国富营养化湖泊的生物修复[J].农村生态环境,2002,18(1):42-45.
- [17] 杨旻,吴小刚,张维昊,等.富营养化水体生态修复中水生植物的应用研究[J].环境科学与技术,2007,30(7):98-102.
- [18] 张志勇,方向京,周跃.人工湿地防治湖泊富营养化污染探讨[J].污染防治技术,2007,20(4):38-41.
- [19] 刘红,代明利.潜流人工湿地改善官厅水库水质实验研究[J].中国环境科学,2003,23(5):462-466.
- [20] 吴振斌,陈辉蓉.人工湿地系统去除藻毒素研究[J].长江流域资源与环境,2000,9(2):242-247.
- [21] 唐静杰,周青.生态浮床在富营养化水体修复中的应用[J].环境与可持续发展,2009(2):24-26.
- [22] 邢广彦,万晓丹.水体富营养化及其生物-生态修复技术[J].黄河水利职业技术学院学报,2007,19(1):50-51.
- [23] 宋祥甫,邹国艳,吴伟明,等.浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究[J].环境科学学报,1998,18(5):489-494.
- [24] 司友斌,包军杰,曹德菊,等.香根草对富营养化水体净化效果研究[J].应用生态学报,2003,1(2):277-279.
- [25] 李娜,常会庆.利用生物方法治理水体富营养化的研究进展[J].河北农业科学,2008,12(8):96-98,102.
- [26] 夏章菊,高殿森,谢有奎.富营养化水体修复技术的研究现状[J].后勤工程学院学报,2006(3):69-72.
- [27] 沈士德.富营养化水体景观的微生物修复研究[J].江苏环境科技,2004,17(4):14-16.
- [28] 宋旭,蔡继杰,丁学锋,等.富营养化水体的物理-生态修复技术发展综述[J].农业环境科学学报,2007,26(S1):465-468.
- [29] 张晓岚.中科院水生生物研究所揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜[J].科学新闻,2001(14):17.

- [30] BI D S, QIANA C L. Toxicity effect of Hg^{2+} and Cr(IV) on alga growth in eutrophic water[J]. Agricultural Science & Technology, 2007, 8(3-4): 25-28.

(上接第 17002 页)

参考文献

- [1] 熊德琪.环境系统模糊集分析理论与应用[M].大连:大连海事大学出版社,2001.
- [2] 杨纶标,高英仪.模糊数学原理及应用[M].3版.广州:华南理工大学出版社,2001.
- [3] GVISHIANI A D, AGAYAN S M, BOGOUTDINOV S R, et al. Mathematical methods of geoinformatics. II. Fuzzy-logic algorithms in the problems of abnormality separation in time series[J]. Cybernetics and Systems Analysis, 2003, 39(4):555-563.
- [4] WELDON A L. RELIABLE computing: special Issue on the linkages between Interval mathematics and Fuzzy Set Theory[J]. Reliable Computing, 2002, 8(1):93-95.
- [5] 张超兰,白厚义.用模糊综合评判法评价土壤重金属污染程度[J].广西农业生物科学,2003,22(1):54-56.
- [6] 许俊杰.城市总体环境质量的二级模糊综合评价[J].统计研究,2002

(3):52-54.

- [7] 杨希,杨静.PowerBuilder 水质综合模糊评价研究[J].矿冶工程,2000,20(4):60-62.
- [8] 孙晴南,邹志红,任广平.模糊综合评价在天然水体水质评价中的应用研究[J].环境污染治理技术与设备,2005,6(2):45-46.
- [9] 丛鑫.模糊数学在水质评价中的应用[J].东北水利水电,2007(7):55-56,63.
- [10] 姜莉莉,薛文平,孙辉,等.模糊数学评价法在青龙河水质现状评价中的应用[J].大连轻工业学院学报,2007,3(1):56-59.
- [11] 周维博,郭晓砾.塔里木河水水质模糊模式识别评价[J].水资源保护,2007,23(4):33-36.
- [12] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [13] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.地表水环境质量标准 GB3838[M].北京:中国环境科学出版社,2002.