

文章编号:1000-582X(2007)08-0049-05

基于GIS的模糊综合水质评价模型

翟俊,何强,肖海文,夏冰雪,朱阳春

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆400045)

摘要:介绍了基于地理信息系统(GIS)的新型模糊综合水质评价模型(FCWQA)。FCWQA模型是基于模糊数学隶属度的理论上建立起来的一种水质综合评价模型,能对被评价水体的水质状况给出总体评价,且其评价结果与中国的地表水环境质量标准的水质级别直接对应,能够通过一个综合指标来评价水质状况,其评价结果具有实际意义。而GIS-FCWQA系统,整合了FCWQA模型、GIS和数据库,形成了一个直观的、易于操作的水质评价系统,该系统同时具备水质预测功能。并以三峡库区夔嘴江的水质评价为例进行实例分析。

关键词:水质评价;模糊;GIS;模型

中图分类号:X703.1

文献标志码:A

水质评价能够定量地描述和评价特定水体的水质状况,并指出水体流域内的主要污染问题,帮助决策者做出科学合理的污染解决方案。

在美国,水质标准(Water Quality Standards, WQS)主要是根据对水体的目标水质功能来确定的。水质评价的结果只有:“完全达标,数据不足,不达标(水质正在恶化),不达标”;而水质评价的方法主要是基于样本统计(例如:如果少于10%的样本超过设定的水质标准,则水质评价的结果是“完全达标”)。

中国的地表水环境质量标准(GB3838-2002)将自然地表水体划分为6个等级。它能够客观地表现出特定水体的实际水质水平,而不仅仅是水质功能目标的达标与否。那么,被评价水体的水质状况究竟属于哪个等级需要一些新的评价方法。目前,已有很多种水质评价方法在中国得到尝试。这些评价方法可以划分为单指标评价方法和综合评价方法。单指标评价方法相对简单,但存在一些弱点。一个主要的弱点是通过单指标评价法得出的评价结果过度地反映水质的恶化程度。假如所有水质指标值都能够满足Ⅱ类水质标准,而只有 $\text{NH}_3\text{-N}$ 仅能满足Ⅴ类水质标准,则单指标评价的结果是该水体水质处于Ⅴ类标准。这样的评价结果将会让人们消极地看待水体水质状况。综合评

价法采用一个综合指标来综合各个单项指标,从总体上评价水质的状况,从而能够避免单指标评价方法的弱点^[1-4]。

一个著名的水质综合评价方法是由美国国家卫生基金会(NSF)采用Delphi技术开发的水质指标法(Water Quality Index, WQI)^[5]。WQI是一个无量纲的数字,变化范围为1~100;数值越高,表示水质越好。这个指标值表示水质状况达到水质目标的程度。如果WQI值是80或更高,表示水质状况能够满足水质目标的要求;如果WQI值在40~80,表示水质状况处于不能满足水质目标的边缘;如果WQI值低于40,则说明水质状况已经不能满足水质目标的要求。WQI被普遍认为是一种简便,低成本的水质评价方法^[6]。但是必须认识到,WQI值只能给出一个水质状况与水质目标相比的相对值,不能明确说明处于不同功能区的水质状况之间的好坏,更不能表述出某水体的水质状况处于某类水质标准。

1965年,由Zadeh在模糊数学理论的基础上,开发的模糊综合评价法^[7],在中国得到应用并取得成功^[8-10]。同时,随着地理信息系统(GIS)技术的发展,很多基于GIS技术的地表水模型得到开发,并在水资源和水环境管理中得到应用^[11-12]。数学模型和GIS

收稿日期:2007-04-09

基金项目:国家“十五”科技攻关项目(200BA604A01)

作者简介:翟俊(1977-),男,重庆大学讲师,博士研究生,主要从事水环境规划与管理方向的研究。何强(联系人),男,教授,博士生导师,(E-mail)hq0908@126.com。

的结合促进了空间决策支持系统(Spatial Decision Support System SDSS)的快速发展,并给用户带来极大的方便。但是将模糊水质数学模型与 GIS 相结合的研究还较少。这里介绍一种由重庆大学何强等人开发的新型模糊综合水质评价(Fuzzy Comprehensive Water Quality Assessment, FCWQA)模型,以及该模型与 GIS 相结合的评价效果。

1 FCWQA 模型

FCWQA 模型是基于模糊数学隶属度的理论上建立起来的。FCWQA 模型能够结合多个水质指标,给出一个综合的评价结果,该评价结果直接和中国的地表水环境质量标准相对应,能够清楚地告诉用户该水体水质符合哪个水质级别。与 WQI 相比,FCWQA 模型具有评价结果客观清楚,便于计算和与中国水质标准相对应等优点。以下是 FCWQA 模型的评价过程。

1.1 评价标准和评价指标的选择

评价标准是以国家地表水环境质量标准(GB3838 - 2002)为基础建立的。

评价指标可以依据现有的水质监测数据进行选择。所选择的水质指标应具有代表性、合理性。一些常见的水质指标,例如 COD, BOD₅, DO, NH₃ - N, TN, TP, SS, 粪大肠菌群(FCB),常被选作评价指标,另外水体的一些特殊污染物,如挥发酚、T - Cr、T - Cd 也常被选作评价指标。

1.2 每个评价指标在不同水质级别的隶属度函数的建立

某水样的某项水质指标对不同级别的评价标准的隶属度函数可以由下述的一系列公式来表示:

对于 I 类水质标准

$$Y_{1i} = \begin{cases} 1 + \frac{A_i - X_i}{A_i} & 0 \leq X_i \leq A_i \\ 0 & X_i > A_i \end{cases}, \quad (1)$$

对于 II 类水质标准

$$Y_{2i} = \begin{cases} 1 + \frac{B_i - X_i}{B_i - A_i} & A_i < X_i \leq B_i \\ 0 & X_i > B_i, X_i \leq A_i \end{cases}, \quad (2)$$

对于 III 类水质标准

$$Y_{3i} = \begin{cases} 1 + \frac{C_i - X_i}{C_i - B_i} & B_i < X_i \leq C_i \\ 0 & X_i > C_i, X_i \leq B_i \end{cases}, \quad (3)$$

对于 IV 类水质标准

$$Y_{4i} = \begin{cases} 1 + \frac{D_i - X_i}{D_i - C_i} & C_i < X_i \leq D_i \\ 0 & X_i > D_i, X_i \leq C_i \end{cases}, \quad (4)$$

对于 V 类水质标准

$$Y_{5i} = \begin{cases} 1 + \frac{E_i - X_i}{E_i - D_i} & D_i < X_i \leq E_i \\ 0 & X_i > E_i, X_i \leq D_i \end{cases}, \quad (5)$$

对于 VI(劣 V)类水质标准

$$Y_{6i} = \begin{cases} 1 + \text{Exp}(E_i - X_i) & X_i > E_i \\ 0 & X_i \leq E_i \end{cases}, \quad (6)$$

式中 Y_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, 6$) 为第 i 种水质指标对 j 类水质标准的隶属度值。 X_i 为第 i 种水质指标的实际监测值。

A_i, B_i, C_i, D_i, E_i 为地表水环境质量标准中, 5 类水质级别的第 i 种水质指标的标准值, $A_i \leq B_i \leq C_i \leq D_i \leq E_i$ 。

1.3 FCWQA 模型结果 G 值的计算

最后,对某一水样的模糊综合水质评价结果可由下列公式计算得出

$$G = \frac{\sum_{j=1}^6 jY_j}{\sum_{j=1}^6 Y_j}, \quad (7)$$

式中 G 为模糊综合水质评价结果; $Y_j = \sum_{i=1}^n Y_{ij}$ 指 i 种水质指标在 j 类水质标准的隶属度值的求和。

在 FCWQA 模型的 G 值计算界面上,用户可以从水质数据库中选择数据,也可以直接在文本框中输入实际水质监测值,然后就可以得到水质评价的结果: G 值。这个 G 值与(GB3838 - 2002)中的水质类别相对应。假如,计算结果 G 值为 2.3 时,说明该水样的水质已经超过 II 类水质,处于 III 类水质,但水质又接近 II 类水质标准。

2 GIS - FCWQA 系统

GIS - FCWQA 系统可以将 GIS 的空间分析功能和显示功能,以及 FCWQA 模型的计算功能整合在一起。GIS 和 FCWQA 模型之间的数据交换主要通过数据库系统来实现。数据库是系统的数据存储器和数据交换的桥梁。系统中采用 Microsoft Access 97 作为数据库, Geomedia 3.0 作为 GIS 系统。数据库中包含 2 种数据:空间数据和属性数据。在数据库区中,任何对象的空间数据和属性数据均与惟一的 ID 号相对应。GIS 能够直接增加新的对象或修改已有对象的数据,并将这些数据存储在数据库中。

FCQWA 模型并不具备创建或修改空间数据的能力,但是它能够读取并修改对象的属性数据。FCQWA 模型首先读取数据库中的属性数据,然后在模型计算后将结果存入数据库,之后 GIS 会自动将该计算结果

以数字地图的形式显示出来。GIS、FCWQA 模型和 Access 97 数据库的关系可以用图 1 来表示。

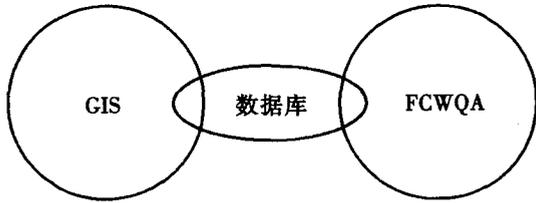


图 1 GIS - FCWQA 系统的概念设计

GIS 和 FCWQA 模型的整合产生了一个新的信息系统,该信息系统可以成为空间决策支持系统(Spatial Decision Support System, SDSS)^[13],同时为 FCWQA 模型提供强大的空间分析和显示功能,使得水质评价的界面友好,而且非常便利。

3 实例研究

三峡库区的凤嘴江是乌江的一条支流,干流全长 80 km,年平均流量为 18.35 m³/s,流域面积为 914.04 km²。凤嘴江有 6 条支流,分别是石钟溪、半溪河、龙岩河、黑溪河、龙川江、鱼泉河。在凤嘴江上有 5 个长期进行水质监测的断面,分别是永安、福南桥、新桥、鸣玉和大溪(如图 2 所示)。凤嘴江的水域功能是饮用水源地的二级保护区,水质目标为地表水环境质量标准(GB3838 - 2002)的Ⅲ类水质标准。



图 2 凤嘴江的流域图

根据所收集的水质监测数据,选择了 7 种水质指标: COD、BOD₅、NH₃ - N、TP、Cr⁶⁺、F⁻ 和 DO 作为 GIS - FCWQA system 的评价指标。表 1 是 2004 年凤嘴江各个断面的水质监测值。水质评价标准是地表水、环境质量标准,其各个级别的上述 6 项水质指标值如表 2 所示。

表 1 2004 年凤嘴江 5 个监测断面的水质监测数据

水期	监测断面	DO	BOD ₅	COD	NH ₃ - N	TP	F ⁻	Cr ⁶⁺
AA	永安	9.4	0.4	1.0	0.000 2	0.001	0.039	0.002
HS	永安	8.8	1.1	1.4	0.012 0	0.001	0.056	0.002
NS	永安	7.2	0.2	1.0	0.102 7	0.001	0.084	0.002
AA	永安	8.5	0.6	1.1	0.037 5	0.001	0.08	0.002
LS	福南桥	8.4	1.0	1.6	0.003 1	0.001	1.923	0.002
HS	福南桥	8.5	1.2	1.6	0.007 0	0.002	0.274	0.002
NS	福南桥	7.2	1.0	2.0	0.104 0	0.006	0.214	0.002
AA	福南桥	8.0	1.1	1.7	0.038 0	0.003	0.804	0.002
LS	新桥	0.8	15.5	26.7	0.180 9	0.031	0.748	0.002
HS	新桥	5.8	4.2	3.8	0.126 2	0.006	0.21	0.002
NS	新桥	5.6	20.3	10.1	0.123 1	0.004	0.262	0.002
AA	新桥	4.1	13.3	13.5	0.143 4	0.014	0.407	0.002
LS	鸣玉	0	0	0	0	0	0	0
HS	鸣玉	0	0	0	0	0	0	0
NS	鸣玉	0	0	0	0	0	0	0
AA	鸣玉	0	0	0	0	0	0	0
LS	大溪	7.4	1.6	2.9	0.014 9	0.008	2.028	0.014
HS	大溪	8.8	2.4	2.2	0.051 9	0.001	0.402	0.002
NS	大溪	7.2	1.0	2.4	0.111 4	0.002	0.48	0.002
AA	大溪	7.8	1.7	2.5	0.059 4	0.003	0.97	0.005

说明:AA 表示年平均;HS 表示高峰期;LS 表示枯水期;NS 表示平水期

表 2 国家地表水环境质量标准(节选) mg/L

指标	类别				
	I	II	III	IV	V
DO	≥ 7.5	6	5	3	2
COD	≤ 15	15	20	30	40
BOD ₅	≤ 3	3	4	6	10
NH ₃ -N	≤ 0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
TP	≤ 0.02	0.1	0.2	0.3	0.4
F ⁻	≤ 1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
Cr ⁶⁺	≤ 0.01	0.05	0.05	0.05	0.1

采用 FCWQA 模型可以非常便利地计算出任意年份,各个水质监测断面的水质综合评价结果,该评价结果能够自动存储在数据库中,并且与断面的空间数据和 ID 号相对应。GIS 能调用查询模块,将水质评价的结果用不同颜色显示出来(深蓝色表示较差水质,浅蓝色表示较好水质)。当水质评价结果 G 值超过了水质目标值,GIS 将采用红色警戒色显示出来(见图 3),告示系统用户红色区域的河段水质状况不能满足功能区要求,需要采用相应的措施来改善水质。

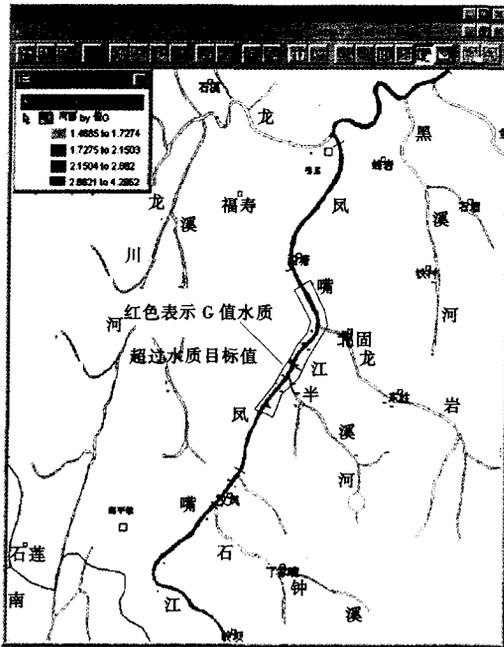


图 3 GIS 显示的水质评价数学地图

GIS - FCWQA 系统还具备水质预测功能。例如,在 2004 年,凤嘴江的福南桥 - 新桥河段(城市河段)的水质状况不能满足水质目标的要求(见图 3)。根据专家分析,有 4 种可能的方案来改善水质状况。1) 工业废水达标处理,城市污水不处理;2) 城市污水进行二级处理,并达标排放,工业废水不处理;3) 城市污水进行一级处理,工业废水进行处理并达标排放;4) 城市污水进行二级处理,达标排放,工业废水进行处理达标排放。FCWQA 模型能够预测采用不同的方案后,

河流的污染物负荷,然后计算出各个河段的各种水质指标值,之后评价出各个河段的水质级别 G 值。GIS 则最后将预测结果以数字地图的形式显示出来(见图 4 - 图 7)。

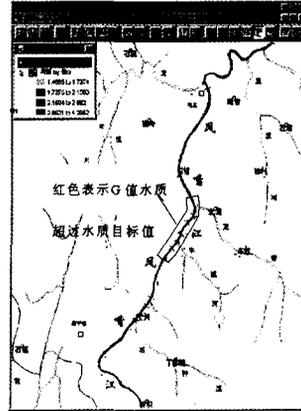


图 4 方案一的水质评价数字地图

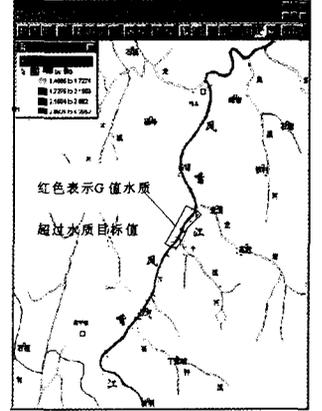


图 5 方案二的水质评价数字地图

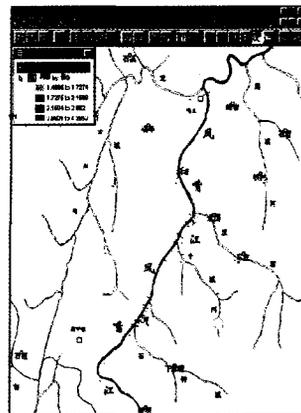


图 6 方案三的水质评价数字地图

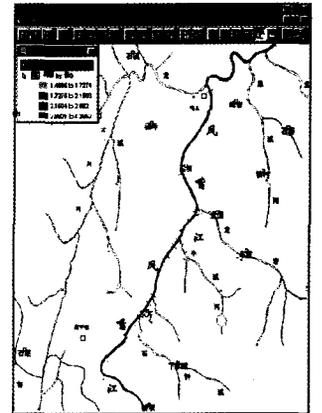


图 7 方案四的水质评价数字地图

从图 4 - 7 中,可以非常便利地得出:采用方案三和方案四后,水质状况能够满足水质目标的要求,可以成为初选方案。但是方案一和方案二不能满足水质目标的要求,需剔除。

4 结论

FCWQA 模型是一种基于模糊隶属度函数的水质综合评价方法,它能够对水质进行综合评价,评价结果与中国的地表水环境质量标准(GB3838 - 2002)的水质类别相对应。

GIS - FCWQA 系统整合了 GIS 和 FCWQA 模型各自的优势,将系统升级成为空间决策支持系统(SDSS)。GIS - FCWQA 系统具有界面友好,操作简单等优点,同时还具备采用不同治污方案后的水质预测功能。

参考文献:

- [1] ORTON R K. An index number system for rating water quality [J]. Journal of Water Pollution Control Federation, 1965, 37(3): 300-305.
- [2] SII H I, SHERRARD, J H, WILSON T E. A water quality index based on fuzzy sets theory [J]. Proceedings of the 1993 Joint ASCE - CSCE National Conference on Environmental Engineering, 1993:253-259.
- [3] HEINONEN P, HERVE S. The development of a new water quality classification system for Finland [J]. Water science and technology, 1994, 31(10): 21-24.
- [4] DOJIDO J, RANISZEWSKI J, WOYCIECHOWSKA J. Water quality index-application for rivers in Vistula river basin in Poland [J]. Water Science and Technology, 1994, 30(10): 57-64.
- [5] OTT W R. Water Quality Indices: A Survey of Indices Used in the United States[S]. US Environmental Protection Agency, 1978:128.
- [6] SILVIA F, PESCEe, DANIEL A. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquia River [J]. Water Research, 2000, 34 (11): 2915-2926.
- [7] ZADEH L A. Fuzzy sets [J]. Information and control, 1965, 18(3):338-353.
- [8] 蒋良维, 幸治国, 钟成华. 重庆长江、嘉陵江的水质评价与预测[J]. 重庆环境科学, 1994, 16(3): 13-18.
- [9] CHANG NI-BIN, CHEN H W, NING S K. Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach[J]. Journal of Environmental management, 2001, 63(1): 293-305.
- [10] WANG HAIYAN. Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City[J]. Hunan Province China Journal of Environmental Management, 2002, 66(1): 329-340.
- [11] COWEN. The design and implementation of an integrated geographic information system for environmental applications[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1995, 61(11): 1393-1404.
- [12] BENNETT D A. A framework for the integration of geographical information system and model base management [J]. International Journal of Geographical Information Science, 1997, 11(4): 13-23.
- [13] EFREM, G MALLACH. Decision Support and Data warehouse system[M]. Published by the McGraw-Hill Company, 2002: 365-368.

GIS-based Fuzzy Comprehensive Water Quality Assessment Model

ZHAI Jun, HE Qiang, XIAO Hai-wen, XIA Bin-xue, ZHU Yang-cun

(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment,
Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: A geographic information system (GIS) based Fuzzy comprehensive water quality assessment (FCWQA) model has been introduced. The FCWQA model can assess the water quality based on fuzzy membership function of multiple representative water quality parameters. Compared with other kinds of water quality assessment methods, the assessment result of FCWQA model has actual meaning and is directly corresponding to the water quality level listed in National Surface Water Quality Standard of China. The GIS-FCWQA system, integrated with FCWQA model, GIS, and Database, generates an easy operation system for water quality assessment. The system has the function of water quality prediction as well. The water quality assessment of Fengzui River watershed in southwest China has been introduced as a case study.

Key words: water quality assessment; fuzzy; GIS; model

(编辑 陈移峰)