

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2022.02.014

基于GIS的银坑幅浅层地下水水质模糊综合评价

赵幸悦子, 肖攀*, 黎义勇, 邵长生

ZHAO Xing-Yue-Zi, XIAO Pan*, LI Yi-Yong, SHAO Chang-Sheng

中国地质调查局武汉地质调查中心(中国地质科技创新中心), 湖北武汉 430205

Wuhan Center of China Geological Survey (Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, Hubei, China

摘要:为查清赣南地区地下水水质状况,保障区域饮水安全和地下水资源合理开发利用,以银坑幅浅层地下水为研究对象,选取氨氮(NH_4^+),硝酸盐(NO_3^-),总硬度(TH),溶解性总固体(TDS)和铁(Fe)作为评价指标,利用GIS的空间分析和显示功能,结合模糊综合评价法进行浅层地下水水质评价。结果表明:研究区浅层地下水I-Ⅲ类水占比达到90.2%,总体水质情况良好,适宜居民饮用和工农业生产;Ⅳ类水和Ⅴ类水仅占9.80%,主要分布于研究区西南角的徐屋、东部的岩背、中部的船形-银坑以及老屋-洋泾口地区,其原因主要在于氨氮(NH_4^+)和硝酸盐(NO_3^-)超标。综合分析可知,模糊综合评价法能够比较客观真实的反映地下水环境质量,与实际调查情况基本吻合,评价结果合理、有效。

关键词:浅层地下水;模糊综合评价;地理信息系统(GIS);银坑幅

中图分类号:P641.1

文献标识码:A

文章编号:2097-0013(2022)02-0330-10

Zhao X Y Z, Xiao P, Li Y Y and Shao C S. 2022. Fuzzy Comprehensive Evaluation of Groundwater Quality Based on GIS of Yinkeng area. *South China Geology*, 38(2): 330-339.

Abstract: In order to investigate the quality of groundwater in south Jiangxi Province and ensure the safety of drinking water and the development and utilization of groundwater resources, the shallow groundwater quality of the Yinkeng area was evaluated, based on the spatial analysis and display function of GIS as well as fuzzy comprehensive evaluation method, and the selected evaluation indexes of ammonia nitrogen (NH_4^+), nitrate (NO_3^-), total hardness (TH), total soluble solids (TDS) and iron (Fe). The results showed that the quality of shallow groundwater in the study area was generally good, of which I-III class was 90.2%, suitable for drinking and industrial and agricultural production, while IV and V class accounted for only 9.80%, mainly distributing in Xuwu, the southwest corner of the study area, the eastern Yanbei, the central Chuanxing-Yinkeng and Laowu-Yangjingkou area, duo to the standard exceeding ammonia nitrogen (NH_4^+) and nitrate(NO_3^-). The result was reasonable and effective as the fuzzy comprehensive evaluation method could reflect the quality of groundwater environment objectively and truly, consistent with the practical investigation through the comprehensive analysis.

Key words: shallow groundwater; fuzzy comprehensive evaluation; GIS; the Yinkeng area

收稿日期:2022-1-6;修回日期:2022-2-26

基金项目:中国地质调查局项目(DD20190329)

第一作者:赵幸悦子(1987—),女,硕士,工程师,从事水文地质等方面工作,E-mail:zhaoxingyuezi@163.com

通讯作者:肖攀(1984—),男,博士,高级工程师,从事水文地质环境地质等方面工作,E-mail:xiaopanfree2008@163.com

地下水是我国许多地区生产、生活用水的主要来源,开展地下水质量评价工作可为区域地下水资源开发利用和水体功能规划提供科学依据(雒芸芸等,2013;童军等,2019;孟洋等,2021;齐信等,2021)。上世纪 70 年代以来,地下水水质评价工作开始受到重视,评价方法日趋多样,主要表现为从单因子评价向多因子综合评价发展。地下水水质情况受多种因素综合影响,具有复杂性和不确定性,是一个模糊的概念。模糊评价法是基于模糊变换原理将定性评价转化为定量评价,充分考虑各种影响因素从而做出总体评价(付雁鹏和高嘉瑞,1986;郝庆杰和江长胜,2010;高振凯等,2013;曹龙等,2017),因此采用模糊评价法能够更加客观真实的反应地下水水质情况。随着 GIS 技术的日渐成熟,GIS 技术被逐渐引入到地下水水质研究领域,实现了评价结果的可视化输出。多名学者把模糊评价法和 GIS 技术相结合进行地下水水质评价,取得了较好成效。梁乃森等(2020)利用 Arcgis 的地图显示和制图功能实现了水质模糊评价结果的可视化表达;房春生等(2011)通过 GIS 的空间分析功能,对地下水质量进行模糊评价,得到吉林省地下水水质分类图;苏耀明等(2009)根据水质模糊评价结果利

用 GIS 平台对水质空间分布状况及其规律进行了研究,以上研究为地下水水质评价提供了经验和借鉴。

赣南地区一直是我国严重的缺水地区,降雨时空分布不均导致该地区季节性缺水问题严重,枯水季节地下水成为区域重要的供水来源(赵幸悦子等,2021),因此开发利用优质的地下水资源,对保障区域饮水安全和促进经济发展具有重要意义(陈雯等,2017,2020)。本文利用 GIS 和模糊评价相结合的方法对银坑幅浅层地下水环境质量进行评价,以期为该地区地下水资源开发利用和保护提供科学依据,为研究区居民生活及工农业生产用水安全提供保障。

1 研究区概况及数据获取

1.1 研究区概况

银坑幅位于江西省赣州市于都县东北角,地理范围在 $N26^{\circ}10' \sim 26^{\circ}20'$, $E115^{\circ}30' \sim 115^{\circ}45'$ 之间,总面积约 460 km^2 (图 1)。研究区地势总体由西向东缓慢降低,大部分为低山丘陵地貌,西南部为侵蚀剥蚀高山地貌,中部为侵蚀堆积河谷地貌;属亚热带季风型湿润性气候,年平均气温 19.7°C ,多年

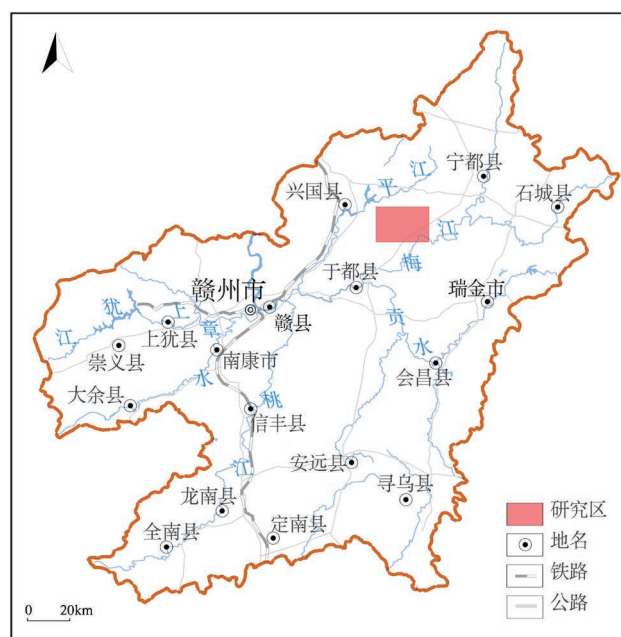


图 1 研究区地理位置图

Fig.1 Geographical location of the study area

平均降雨量 1535.1 mm,最大年降雨量 2309.9 mm,最小年降雨量 881.3 mm,降雨主要集中在 3-6 月份,这 4 个月降雨量占全年的 55.4%,降雨呈现出由四周丘陵山区向中部盆地逐渐减少的趋势(肖攀等,2021)。区内最大地表水体——银坑河属梅江水系,其次是属平江水系的江背河和杰村河,三大主要河流均汇入贡江。

研究区地下水类型包括松散岩类孔隙水、红层裂隙孔隙水、碳酸盐岩裂隙岩溶水、碎屑岩孔隙裂隙水及岩浆岩变质岩裂隙水(肖攀等,2021)。具有供水价值的地下水含水岩组主要来自于岩石构造裂隙发育的孔隙裂隙水、岩溶发育强烈的碳酸盐岩裂隙岩溶水以及震旦-南华系变质岩裂隙水。区内地下水主要补给来源是大气降水,降水经过岩土体裂隙、孔隙和岩溶等渗入地下,具有典型基岩山区地下水赋存和运移特征。地下水流向一般与地表水一致,径流途径大多较短,河溪或地形低洼处是地下水主要排泄点。

1.2 数据来源

综合考虑研究区地质构造发育特点、地形地貌

以及水文地质条件,选取具有代表性的民井、泉点共 51 个点位进行浅层地下水样品采集。

实验测试指标为 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cr^{6+} 、 NH_4^+ 、COD(Mn)、 Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NO_3^- 、 H_2SiO_3 、pH、 OH^- 、游离 CO_2 、总硬度(TH)、可溶性总固体(TDS)和 Fe,共 21 项。除 pH 值由现场调查人员采用 manta 便携式水质分析仪进行测试外,其余指标均委托自然资源部中南矿产资源监督检测中心进行检测。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 采用 ICAP6300MFC 双向观测等离子体发射光谱仪(D466)测定, Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 NO_3^- 采用 ICS-1100 离子色谱仪(D480)测定,Fe、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、 Cr^{6+} 采用 UV-1800 紫外可见分光光度计(D528)测定,TH、 HCO_3^- 采用滴定法测定。

研究区浅层地下水水化学测试数据、水化学指标统计特征值见表 1。通过绘制的地下水水化学参数箱型图(图 2)可以看出, Ca^{2+} 和 HCO_3^- 质量浓度在阳离子和阴离子中分别占绝对优势,其中, Ca^{2+} 占阳离子总浓度的 67.59%, HCO_3^- 占阴离子总浓度的 85.5%。

表 1 研究区水化学分析结果统计特征值 (mg/L)

Table 1 Statistical characteristics of the hydrochemical data in the study area

指标	最大值	最小值	中值	平均值	标准差
K^+	16.20	0.07	1.62	2.42	3.09
Na^+	26.40	0.43	3.96	4.88	4.09
Ca^{2+}	87.80	0.76	6.37	20.85	27.22
Mg^{2+}	11.90	0.12	0.95	2.61	3.18
Cr^{6+}	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00
NH_4^+	2.13	0.04	0.04	0.08	0.29
COD(Mn)	0.57	0.03	0.05	0.07	0.07
Cl^-	24.50	0.18	0.83	2.42	4.19
F^-	0.53	0.00	0.04	0.09	0.11
SO_4^{2-}	44.50	0.00	0.88	4.83	9.53
CO_3^{2-}	8.79	0.00	0.00	0.17	1.23
HCO_3^-	270.00	6.95	35.30	74.46	77.52
PO_4^{3-}	1.30	0.02	0.10	0.15	0.19
NO_3^-	52.30	0.10	0.68	4.92	9.97
H_2SiO_3	83.10	8.46	31.70	31.05	15.28
PH	7.87	6.23	7.07	7.00	0.39
OH^-	2.49	0.00	0.00	0.05	0.35
游离 CO_2	39.90	0.00	8.49	10.98	8.24
TH	236.00	2.39	22.10	62.83	79.53
TDS	1480.00	52.50	142	220.76	235.07
Fe	1.36	0.00	0.03	0.11	0.23

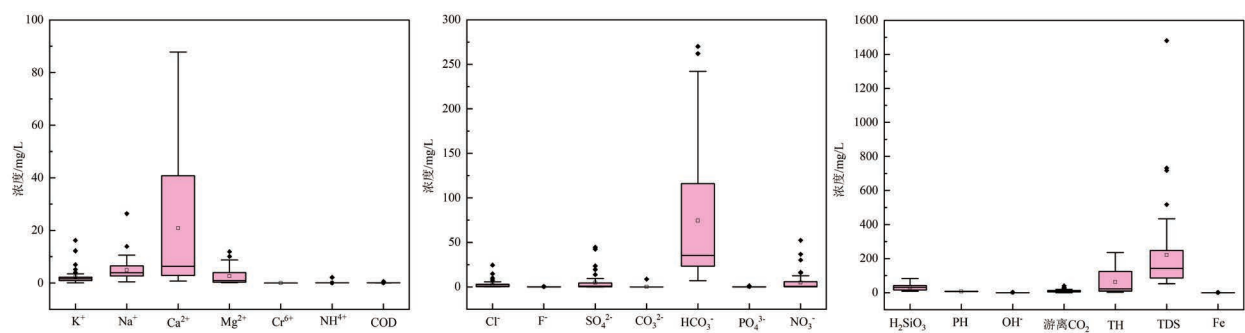


图 2 研究区地下水水化学参数箱型图

Fig. 2 Box plots of groundwater chemical parameters in the study area

2 评价方法

模糊综合评价的基本步骤是首先在选取一定评价指标的基础上,通过隶属度函数建立实测值与水质类别的模糊关系矩阵 R ,然后采用超标法计算各评价因子的权重大小,构成权重向量矩阵 W ,并将模糊关系矩阵 R 和权重向量矩阵 W 进行复合运算得到模糊矩阵 B ,采用加权平均法对 B 值进行计算得到模糊综合评价 G 值,最后根据 G 值的水质分类标准确定被评价对象的水质类别(杨永鹏和陕宁,2017;张倩等,2019)。

2.1 建立评价因子集

利用 SPSS 软件,采用主成分分析法计算表 2

中各水化学指标的因子负荷值,因子负荷值反映指标对评价结果的影响程度,其绝对值越大表示指标对评价结果越重要(雒芸芸等,2013;薛伟锋等,2020),通过计算得出在第一主成分中具有较高绝对负荷值的指标为氨氮(NH_4^+)、硝酸盐(NO_3^-)、总硬度(TH)、溶解性总固体(TDS)和铁(Fe),负荷值分别为 -0.76、0.891、0.899、0.962 和 0.728,同时结合研究区实际水质状况,在保障当地居民用水安全的前提下,确定以上 5 项具有较高绝对负荷值且对研究区地下水水质起到主要控制作用的指标(表 1)作为评价因子。研究区地下水水质评价具体标准见表 2。

根据 GB / T14848-2017《地下水质量标准》

表 2 研究区地下水水质评价标准

Table 2 Standard for evaluation of groundwater quality in the study area

水化学指标	水质类别				
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
pH 值	6.5 ~ 8.5	5.5 ~ 6.5	8.5 ~ 9	< 5.5	14
总硬度(以 CaCO_3 计)/(mg/L)	150	300	450	650	1100
溶解性总固体/(mg/L)	300	500	1000	2000	5000
氯化物/(mg/L)	50	150	250	350	600
硫酸盐/(mg/L)	50	150	250	350	600
铁/(mg/L)	0.1	0.2	0.3	2	3
耗氧量 COD_{Mn} /(mg/L)	1	2	3	10	> 10
氨氮(以 N 计)/(mg/L)	0.02	0.1	0.5	1.5	2.5
钠/(mg/L)	100	150	200	400	> 400
硝酸盐(以 N 计)/(mg/L)	2	5	20	30	60
氟化物/(mg/L)	1	1	1	2	4.5
铬(六价)/(mg/L)	0.005	0.01	0.05	0.1	0.2

(国土资源部, 2017)中 I - V 类水质标准建立水质类别评价集 $S=\{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}=\{I, II, III, IV, V\}$, 评价因子集 $X=\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}=\{\text{氨氮}, \text{硝酸盐}, \text{总硬度}, \text{溶解性总固体}, \text{铁}\}$ 。

2.2 计算模糊关系矩阵 R

模糊关系矩阵是由评价因子集 X 隶属于水质类别评价集 S 的隶属度 r_{ij} 组成, 隶属度 r_{ij} 可根据隶属度函数计算。由于地下水水质指标中都是数值越小对应的水质等级越高, 因此采用降半梯形函数计算, 具体计算公式如下(徐建等, 2014; 杨浩等, 2016):

当 $j=1$ 时隶属度函数为:

$$r_{i1} = \begin{cases} 1 & x_i \leq s_{i1} \\ \frac{S_{i2}-X_i}{S_{i2}-S_{i1}} & s_{i1} < x_i < s_{i2} \\ 0 & x_i \geq s_{i2} \end{cases} \quad (1)$$

当 $j=2,3,4$ 时隶属度函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{X_i-S_{ij+1}}{S_{ij}-S_{ij+1}} & s_{ij-1} \leq x_i \leq s_{ij} \\ \frac{S_{ij+1}-X_i}{S_{ij+2}-S_{ij+1}} & s_{ij} < x_i < s_{ij+1} \\ 0 & x_i \geq s_{ij+1}, x_i \leq s_{ij-1} \end{cases} \quad (2)$$

当 $j=5$ 时隶属度函数为:

$$r_{i5} = \begin{cases} 1 & x_i \geq s_{i5} \\ \frac{X_i-S_{i4}}{S_{i5}-S_{i4}} & s_{i4} < x_i < s_{i5} \\ 0 & x_i \leq s_{i4} \end{cases} \quad (3)$$

式中: r_{ij} 表示第 i 个指标相对于第 j 类水的隶属度; x_i 表示第 i 个指标的实测质量浓度; s_{ij} 表示第 i 个指标第 j 类水质的标准值。将研究区 51 个浅层地下水样按照上述公式(1)-(3)进行计算得到每个水样点评价因子隶属于 I - V 类水的隶属度, 组成模糊关系矩阵 R_{ij} 。以水样点 A4 的实验测试值为例, A4 点的实测质量浓度见表 3。

表 3 A4 点实测质量浓度 (单位: mg/L)

Table 3 Measured mass concentration of A4 point

评价因子	NH_4^+	NO_3^-	TH	TDS	Fe
实测值	0.04	2.34	126	1190	0.97

根据式(1)-(3)计算得到 A4 点的模糊关系矩

阵 R_4 如下:

$$R_4 = \begin{pmatrix} 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0.887 & 0.113 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.81 & 0.19 & 0 \\ 0 & 0 & 0.606 & 0.394 & 0 \end{pmatrix}$$

2.3 计算权重向量矩阵 W

评价因子对地下水污染的贡献率是由权重大小来衡量的, 权重越大代表该因子对地下水污染程度的影响越大。比较常用的确定权重的方法是超标法, 该方法通过计算实测值相对于标准值的超标比来确定权重, 具体计算公式如下:

$$W_i = \frac{\frac{X_i}{\bar{S}_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{\bar{S}_i}} \quad (4)$$

其中 W_i 表示第 i 个评价因子的权重值; X_i 表示第 i 个评价因子的实测值; $\bar{S}_i$ 表示第 i 个评价因子各类标准值的平均值, n 表示评价因子的个数。由式(4)可得到 A4 水样点各评价因子的权重大小, 组成权重向量集 W_4 如下:

$$W_4 = (0.031, 0.075, 0.161, 0.141, 0.592)$$

依据公式(4)依次计算各水样权重向量集可知, 相较于其他评价因子, 硝酸盐(NO_3^-)和氨氮(NH_4^+)对浅层地下水的影响程度更大, 有 26 个采样点两者权重之和超过 50%, 说明浅层地下水污染主要由硝酸盐(NO_3^-)和氨氮(NH_4^+)引起(万金保等, 2006; 国土资源部, 2017)。

2.4 计算模糊综合评价矩阵

模糊综合矩阵 B 是通过模糊关系矩阵 R 和权重向量 W 进行复合运算得到的, 即 $B=W \times R$ 。模糊矩阵的复合运算有四种计算方法, 本文采取算子 $M_2(\cdot, \oplus)$ 进行计算(蔡子昭等, 2011), 即采用加权的算法 $B_j = \sum_{i=1}^n W_i R_{ij}$ 。其运算法则充分利用了所有参

评因子的信息, 既考虑了最大污染因子又兼顾了其

2.5 确定水质类别

一般的模糊综合评价是按照最大隶属度原则来判定水质类别, 即若 $B_j = \max(B_1, B_2, B_3, \dots,$

B_n)则待评价对象水质类别为第 j 类。但当 $0 \leq \alpha < 0.5$ 时 ($\alpha = \frac{n\beta-1}{2\gamma(n-1)}$), 最大隶属度原则是失效或者完全无效的, 式中 α 代表最大隶属度原则的有效度, β 代表最大隶属度, γ 代表第 2 最大隶属度。为保证评价结果更加准确, 本文采用加权平均法计算 B 值的加权平均综合值 G 值, 计算公式为(陈耀辉和孙春燕, 2002; 柳军, 2003):

$$G=\frac{\sum_{j=1}^n jB_j^k}{\sum_{j=1}^n B_j^k}$$

(5)

式中 B_j 表示隶属于第 j 类的隶属度, k 为待定系数 ($k=2$), G 为加权平均综合值(柳军, 2003)。当 $G \leq 1.5$ 时, 隶属于 I 类水; 当 $1.5 < G \leq 2.5$ 时, 隶属于 II 类水; 当 $2.5 < G \leq 3.5$ 时, 隶属于 III 类水; 当 $3.5 < G \leq 4.5$ 时, 隶属于 IV 类水; 当 $G > 4.5$ 时, 隶属于 V 类水(翟俊等, 2007; 梁乃森等, 2020)。依据式(5)计算得到 A4 水样点 G 值为 2.84, 属 III 类水。

将研究区 51 个水样点依次按照上述步骤进行模糊综合评价, 评价结果(表 4)表明研究区浅层地下水总体属 I - III 类水, 所占比例达 90.2%, 总体水质情况良好。

3 评价结果与对比分析

3.1 评价结果与讨论

采用 Mapgis 的空间分析模块, 选取 Kring 泛克里格网格化法对研究区范围内 51 个采样点 G 值进行离散网格化处理, 然后利用 Grd 模型绘制等值线生成研究区浅层地下水水质分类图, 由图可直观展现出研究区浅层地下水水质分布规律及特点(李京等, 2007; 苏耀明等, 2009)。

研究区浅层地下水水质主要受降雨、地层岩性及水文地质条件影响, 整体表现为四周丘陵山区优于中部盆地地区。由图 3 可知, 研究区浅层地下水水质总体情况良好, I - III 类水占比达 90.2%, 适宜居民饮用和工农业生产; 局部浅层地下水为 IV - V 类, 水质较差。I 类水分布最广, 占浅层地下水取样点总数的 64.71%, 主要分布于白竹坑 - 杨梅杰 - 笕箕窝 - 锯木迳一带, 山仙寨 - 新屋下 - 珠坑一带, 三禾土凹 - 崇脚下西南, 木连山 - 禾坑以南, 以及富里坪 - 大山 - 老解乾子以南, 上述地区降雨量充沛, 岩性以砂岩、砂砾岩为主, 地下水循环交替较快, 水 - 岩相互作用时间短, 浅层地下水中各指标含量

表 4 研究区浅层地下水模糊综合评价结果

Table 4 Fuzzy comprehensive evaluation results of shallow groundwater quality in the study area

点号	G 值	水质类别	点号	G 值	水质类别	点号	G 值	水质类别
A3	1.01	I	A36	1.01	I	A11	1.92	II
A6	1.00	I	A38	1.02	I	A19	2.27	II
A7	1.03	I	A39	1.01	I	A20	1.72	II
A8	1.05	I	A40	1.01	I	A23	1.54	II
A13	1.11	I	A41	1.01	I	A27	1.68	II
A14	1.00	I	A42	1.00	I	A29	1.55	II
A15	1.21	I	A43	1.01	I	A37	1.66	II
A17	1.27	I	A44	1.02	I	A2	3.02	III
A22	1.01	I	A45	1.00	I	A4	2.84	III
A24	1.02	I	A46	1.01	I	A10	2.84	III
A26	1.02	I	A47	1.01	I	A25	2.80	III
A30	1.00	I	A48	1.03	I	A53	2.99	III
A31	1.01	I	A49	1.01	I	A18	3.56	IV
A32	1.02	I	A50	1.30	I	A5	4.71	V
A33	1.01	I	A51	1.21	I	A9	5.00	V
A34	1.47	I	A52	1.01	I	A12	4.75	V
A35	1.00	I	A1	2.01	II	A28	4.91	V

普遍较低,水质优良;Ⅱ类浅层地下水样品共 8 个,占取样总数的 15.69%,分别位于研究区东南角的小源,西北部的桥头、刁子山和竹山下,以及西南部的围子脑、贡布、河背和大塘背,受水-岩相互作用影响,沿地下水径流方向,浅层地下水中各指标含量逐渐增加,但评价结果仍属Ⅱ类水,水质良好;Ⅲ类浅层地下水样品有 5 个,占取样总数的 9.8%,分别位于龙上西南、小车岗以北、剃刀迳西北、大田村以北和王田坝附近,仅个别指标略有超标;Ⅳ-Ⅴ类浅层地下水样品共 5 个,占取样总数的 9.8%,零星分布于徐屋东南、银坑以南、岩背以南、老屋东北和船形附近,以上地区主要位于盆地核部岩溶地下水排泄区,加上降雨相对稀少,且受农耕活动影响,地下水水质相对较差。

硝酸盐(NO_3^-)和氨氮(NH_4^+)含量超标使得局部地区水样点(A28,A12,A9,A5)浅层地下水出现Ⅴ类水,A28、A12、A5 点均位于人口密集的居住区且周边存在大棚蔬菜种植基地,这些地区污水排放管制措施较差,使得生活污水及农业施肥过量产生的含氮污水进入土壤从而通过下渗的方式进入到浅层地下水中。氨氮(NH_4^+)超标最严重的样品采自 A9 采样点,通过实际调查可知该区域农耕活动并不发达,结合区内水文地质条件分析,认为主要是受其原生地质环境控制,该样点位于红层碎屑岩类出露区,红层碎屑岩具有补给条件差,径流速度慢以及水动态变化滞后期较长等特点,使得污染物在地下水中滞留时间较长,导致浅层地下水水质较差。评价结果与野外实际调查情况基本吻合,表明

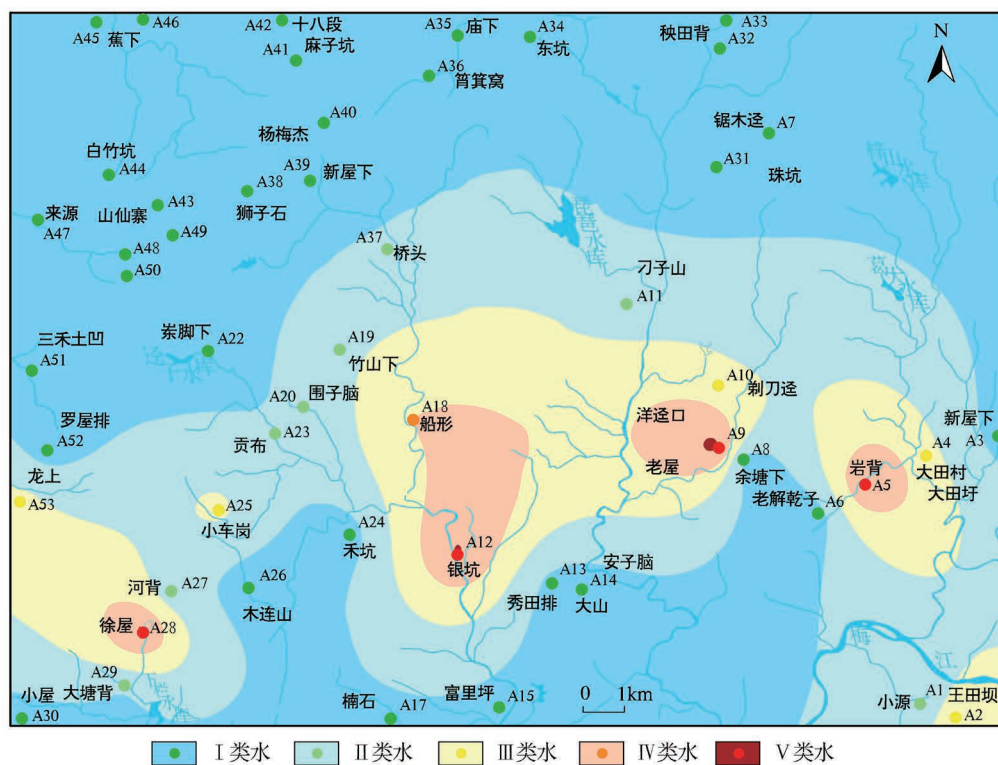


图 3 基于模糊综合评价法的浅层地下水水质分类图

Fig. 3 Classification map of shallow groundwater quality based on the Fuzzy synthesis evaluation method

表 5 P 值与水质类别的对应关系

Table 5 Corresponding relationship between P value and water quality

水质类别	I 类水	II 类水	III 类水	IV 类水	V 类水
改进的内梅罗指数 P	$P < 0.28$	$0.28 \leq P < 0.57$	$0.57 \leq P < 1$	$1 \leq P < 5.15$	$P \geq 5.15$

4 结论

基于模糊综合评价法结果,研究区内总体水质情况良好,Ⅰ-Ⅲ类水占比达到90.2%,适宜居民饮用和工农业生产,局部地区浅层地下水水质较差,水质级别为Ⅳ类和Ⅴ类。Ⅰ类水分布最广,占比达64.71%,其次为Ⅱ类水,占比为15.69%,Ⅲ类水占比为9.8%、Ⅳ和Ⅴ类浅层地下水共占比9.8%。

研究区Ⅴ类浅层地下水以硝酸盐(NO_3^-)和氨氮(NH_4^+)含量超标为主,主要由生活废水随意排放及农业生产过度施肥引起,超标最严重的水点位于老屋的北东处,主要是氨氮(NH_4^+)含量超标,该点在红层碎屑岩类出露区,水质较差的主要原因受其原生地质环境控制。

通过对比分析可知,基于GIS的模糊综合评价法实现了评价结果的可视化输出,能够比较客观真实的反映地下水环境质量,与野外实际调查情况基本吻合,评价结果合理、有效。

参考文献:

- 蔡子昭,许广明,张礼中,王乾.2011.基于数据库和GIS的水质模糊综合评价模型[J].南水北调与水利科技,9(6):65-68.
- 曹龙,李卫平,陈秋丽,张朝升.2017.改进内梅罗指数法和模糊数学法对昭君岛湿地水质的评价及应用比较[J].湖北农业科学,56(22):4278-4281.
- 陈雯,黎清华,余绍文,刘怀庆.2017.广西防城区地下水水化学特征及离子来源分析[J].华南地质与矿产,33(2):162-168.
- 陈雯,余绍文,张宏鑫,刘怀庆.2020.广西北海市冯家江河水及其沿岸地下水污染特征初探[J].华南地质与矿产,36(2):186-196.
- 陈耀辉,孙春燕.2002.对最大隶属原则有效度的进一步研究[J].重庆师范学院学报(自然科学版),19(1):47-49.
- 房春生,孟赫,单玉书,董德明,王菊.2011.基于GIS的吉林省地下水水质模糊评价[J].吉林大学学报(地球科学版),41(S₁):293-297.
- 付雁鹏,高嘉瑞.1986.模糊数学在水质评价中的应用[M].武汉:华中工学院出版社,65-85.
- 高振凯,耿新新,海玮,王福刚.2013.基于模糊综合评判的吴灵灌区地下水水质评价[J].人民黄河,35(8):53-55+59.
- 关云鹏.2012.利用内梅罗指数法模型评价地下水水质的探讨[J].山西水利科技,(1):81-84.
- 国土资源部.2017.GB/T14848-2017地下水质量标准[S].
- 郝庆杰,江长胜.2010.模糊综合评价法在江安河青羊段水质评价中的应用[J].西南师范大学学报(自然科学版),35(2):136-141.
- 李京,蒋卫国,陈云浩,宫阿都,武建军.2007.基于GIS多源栅格数据的模糊综合评价模型[J].中国图象图形学报,12(8):1446-1450.
- 李苏,闫志宏,徐丹,王树谦.2020.改进的内梅罗指数法在水库水质评价中的应用[J].科学技术与工程,20(31):13079-13084.
- 梁乃森,钱程,穆文平,段扬,朱阁,张日升,武雄.2020.大牛地气田区地下水水质模糊综合评价[J].水文地质工程地质,47(3):52-59.
- 柳军.2003.模糊综合评价在水环境质量评价中的应用研究[D].重庆大学硕士学位论文.
- 雒芸芸,马振民,候玉松.2013.焦作地区浅层地下水水质评价[J].中国农村水利水电,(8):17-20.
- 孟洋,姜先桥,张玉辉,张立烨,范成博.2021.基于改进物元可拓模型的地下水水质评价[J].河北地质大学学报,44(4):90-98.
- 齐信,王安涛,黎清华,王晓晗,张再天.2021.海南省琼中县地下水质量评价研究[J].华南地质,37(3):339-347.
- 乔雨,梁秀娟,王宇博,闫佰忠,刘泓志,刘佳.2015.改进的模糊数学法在地下水水质评价中的应用[J].水电能源科学,33(6):27-30.
- 苏耀明,朱琳,苏小四,侯光才,宫辉力.2009.基于GIS的鄂尔多斯白垩系盆地浅层地下水水质分布规律研究[J].水文地质工程地质,36(1):24-29.
- 童军,徐定芳,范毅,何阳.2019.湘潭市河西应急地下水源地评价[J].华南地质与矿产,35(4):463-471.
- 万金保,侯得印,万兴,涂盛辉.2006.模糊综合评价法在乐安河水水质评价中的应用[J].环境工程,24(6):77-79.
- 肖攀,黎义勇,刘前进,刘凤梅,黄旭娟.2021.银坑幅1:5万水文地质图说明书[R].中国地质调查局武汉地质调查中心.
- 徐健,吴玮,黄天寅,贾海峰.2014.改进的模糊综合评价

- 法在同里古镇水质评价中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版),42(2):143-149.
- 薛伟锋,褚莹倩,吕莹,侯辰侠,沈葆真,孙德栋,孙鹏.2020. 基于主成分分析和模糊综合评价的地下水水质评价——以大连市为例[J]. 环境保护科学,46(5):87-92.
- 杨浩,张国珍,杨晓妮,武福平,李鸿磊.2016. 基于模糊综合评判法的洮河水环境质量评价[J],环境科学与技术,39(S1):380-386+392.
- 杨永鹏,陕宁.2017. 基于模糊综合评价法的海口地区浅层地下水水质评价[J]. 地下水,39(4):20-22+59.
- 张倩,李国强,诸葛亦斯,余晓,谭红武,杜强.2019. 改进的模糊综合评价法在洱海水质评价中的应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报,17(3):226-232.
- 张晓叶,张永祥,任仲宇,王慧峰,段智隆.2014. 不同地下水水质评价方法的比较及实例应用[J]. 水资源与水工程学报,25(2):98-101.
- 翟俊,何强,肖海文,朱阳春.2007. 基于 GIS 的模糊综合水质评价模型[J]. 重庆大学学报(自然科学版),30(8):49-53.
- 赵幸悦子,肖攀,黎义勇,邵长生.2021. 赣南缺水地区浅层地下水水化学特征及成因分析——以银坑幅为例[J]. 华南地质,37(4):418-426.