

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.06.07

引用格式: 杨艳林,靖晶,齐信,等. 赣州北部丘陵山区浅层地下水化学特征及成因分析[J]. 中国地质调查, 2023,10(6): 60–68. (Yang Y L, Jing J, Qi X, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism analysis of shallow groundwater in the northern hilly region of Ganzhou [J]. Geological Survey of China, 2023, 10(6): 60–68.)

赣州北部丘陵山区浅层地下水化学特征及成因分析

杨艳林¹, 靖晶², 齐信¹, 邵长生¹, 王晓吟¹

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205; 2. 湖北师范大学城市与环境学院, 湖北 黄石 435002)

摘要: 地下水是赣州北部丘陵地区居民首要的生活水源, 开展区内浅层地下水水文地球化学特征及成因的研究具有重要的科学价值和指导意义。2018年, 在研究区北部采集不同含水岩组地下水53组, 覆盖面积约460 km²。利用统计分析、Piper图解、空间分析和离子比例等方法, 探讨了区内水文地球化学特征及成因机制, 结果显示: 浅层地下水的pH值在5.08~7.87之间, 溶解性总固体(total dissolved solids, TDS)在16.5~375.7 mg/L之间, 整体为弱酸性淡水; 浅层地下水中阳离子以Ca²⁺为主, 阴离子以HCO₃⁻为主; 化学类型以HCO₃⁻-Ca²⁺、HCO₃⁻-Ca²⁺·Mg²⁺型为主; 水岩溶解作用、阳离子交换作用和人类活动是影响区内浅层地下水化学特征的主要因素。研究成果可为本地区的地下水资源保护、管理及开发利用提供参考。

关键词: 赣州北部丘陵山区; 浅层地下水; 水化学特征; 形成机制

中图分类号: P592 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2023)06-0060-09

0 引言

地下水在维持生态系统平衡、工农业发展和人类健康有序生活等方面起着极其重要的作用^[1-3]。然而人类活动^[4]、气候变化^[5]会导致地下水水化学特征发生明显变化, 地下水环境安全受到严峻挑战, 这也引起我国政府和学者的高度关注^[6-7]。2021年12月1日起施行的《地下水管理条例》^[8], 标志着地下水迈入依法管理的新阶段。在科学研究方面, 大量学者开展了地下水水化学特征及形成机制方面的研究^[9-10], 这些研究能够还原该地区的水文地质历史, 了解地下水与所处环境的水岩溶解、阳离子交换及人类活动等方面的作用机制, 这对地下水资源保护、管理及开发利用具有重要的指导意义^[11-12]。

赣州属于典型的丘陵山区, 其水资源具有空间分布不均的特点^[13]。在干旱年份或秋冬季, 降水

资源偏少, 河流、水库水位大幅下降, 甚至出现断流、干涸等现象。同时, 赣州市农村供水基础设施薄弱^[14], 严重影响丘陵山区居民的生产、生活用水。地下水作为重要的自然资源, 在维持当地生态环境、经济发展和社会稳定方面, 发挥了举足轻重的作用。2015年, 原国土资源部在赣州地区开展的一项重要工作就是解决群众饮用水、生产用水和农业用水的保障问题^[15]。本文根据2018年最新调查数据, 利用地球化学手段对赣州北部丘陵地区开展水化学分析, 分析区内浅层地下水水文地球化学特征及其成因机制, 探讨影响地下水水化学特征及主要水化学过程, 以期对赣州地区地下水资源合理开发及改善水生态环境提供指导。

1 研究区概况

1.1 自然地理概况

研究区位于赣州市赣县区北部, 地处亚热带东

收稿日期: 2022-06-07; 修订日期: 2023-09-06。

基金项目: 中国地质调查局“武汉滨江城市地质安全调查评价(编号: DD20221743)”和“江西省赣县1:5万清溪村幅水文地质调查(编号: DD20160248)”项目联合资助。

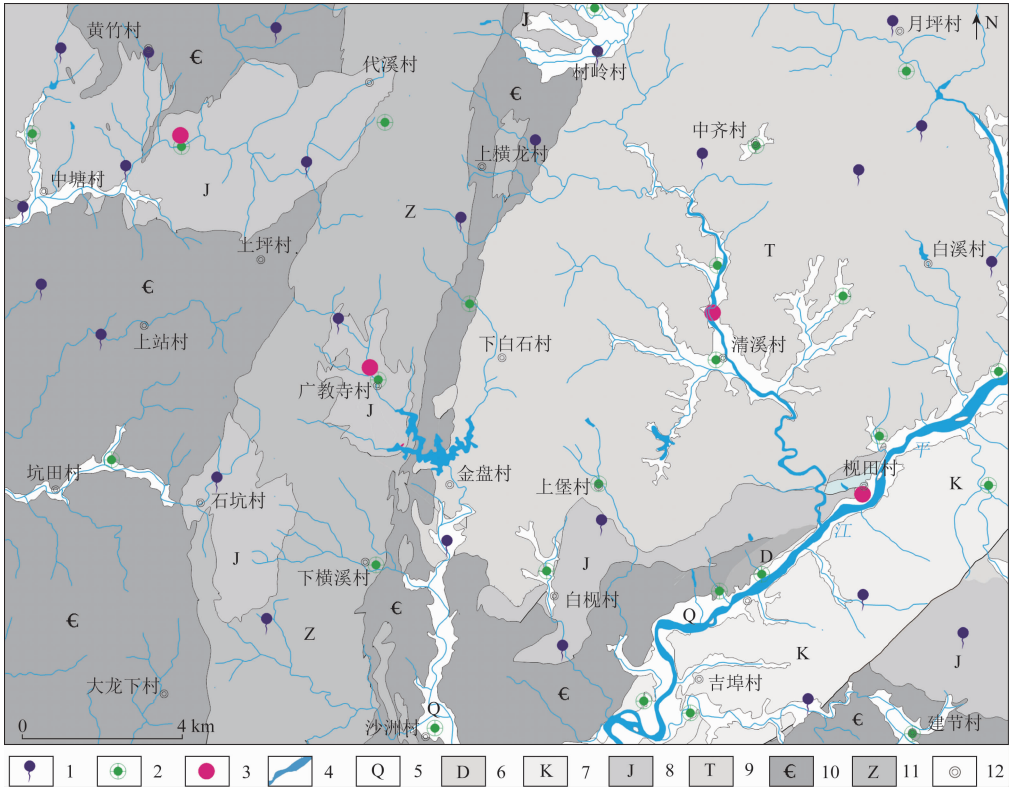
第一作者简介: 杨艳林(1984—), 男, 高级工程师, 主要从事水文地质调查方面的研究工作。Email: yangyanlin@mail.cgs.gov.cn。

是贡水的一级支流。区内整体属于中低山丘陵地貌,可分为侵蚀剥蚀构造低山地貌、剥蚀构造丘陵地貌和侵蚀堆积河谷地貌3类(图1)。

Fig. 1 Topographic map of the study area

2018年10月,对研究区浅层地下水进行了一次枯水期采样,采集水样53件,其中民井样24件、泉水样25件、钻孔样4件(图2)。根据含水岩组划分,第四系孔隙水样有13件,白垩系孔隙裂隙水样有2个,侏罗系花岗岩裂隙水样有15个,三叠系花岗岩裂隙水样有12个,寒武系变质岩裂隙水样有8个,震旦系变质岩裂隙水样有3个。采样点选取原则为,在兼顾研究区不同岩性条件下,选取与居民生产、生活相关的还在使用的民井且泉流量大于0.1 L/s的典型点作为采样点。采样瓶选用350 mL的聚乙烯瓶,预先用蒸馏水清洗干净。泉水样直接在泉眼处取样,民井样先用吸水泵抽取15 min后再取样,钻孔样在完成抽水试验后取样。采样时,用水样润洗取样瓶3次,再将取样瓶放入水中装满并盖紧瓶盖。采样时记录点位,并利用Manta2现场测试水质的水温、pH值、溶解氧、电导率、氧化还原电位、溶解性总固体(total dissolved

solids,TDS)6 项指标。采样完后,立即将样品送至原国土资源部南昌矿产资源监督检测中心进行水质全分析,测试指标包括 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、TDS 等。



1. 泉采样点; 2. 井采样点; 3. 钻孔采样点; 4. 水域; 5. 第四系松散沉积物; 6. 泥盆系紫红色砂岩; 7. 白垩系砾岩、砂岩、粉砂岩; 8. 侏罗系中粗—细粒黑云二长花岗岩; 9. 三叠系中—细粒黑云二长花岗岩; 10. 寒武系变余砂砾岩、杂砂岩; 11. 震旦系硅质岩、杂砂岩; 12. 地名

图2 研究区地层岩性及采样点

Fig.2 Formation lithology and sampling points in study area

2.2 数据处理

本文运用 R 语言(Rstudio 平台)对研究区地下水主要离子进行统计分析(包括均值、方差、变异系数等)及部分图件编制,运用 Surfer 软件进行克里金空间插值探究 TDS 的空间分布特征,绘制 Piper 三线图、Gibbs 图、端元图和离子比值图等图件,分析研究区内地下水化学特征及形成机制。

3 结果与分析

3.1 地下水现场指标特征

依据不同岩性地下水的现场水质测试,绘制其 pH 值与 TDS 的箱形与小提琴组合图(图 3)。地下水采样点的 pH 值介于 5.08 ~ 7.87 之间,均值为 6.27,呈弱酸性。其中震旦系变质岩裂隙水的平均 pH 值最高,白垩系孔隙裂隙水的平均 pH 值最小,侏罗系花岗岩裂隙水的 pH 值变幅最大,白垩系孔隙裂隙水的 pH 值变幅最小。TDS 介于 15.6 ~ 375.7 mg/L,属于淡水范畴。其中白垩系孔隙裂隙

水的平均 TDS 最大,侏罗系花岗岩裂隙水的平均 TDS 最小,第四系孔隙水的 TDS 变化最大,而寒武系变质岩裂隙水的 TDS 变化最小。

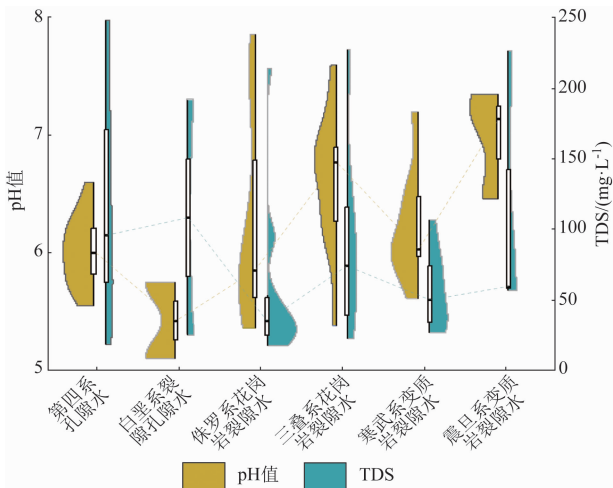


图3 现场测试指标中 pH 值和 TDS 的箱形与小提琴组合图
Fig.3 Box and violin combination diagram of pH and TDS for onsite testing indicators

3.2 地下水离子含量特征

地下水中主要离子成份分析结果见图 4(由于 CO_3^{2-} 含量极低,故未考虑)。地下水中阳离子以 Ca^{2+} 为主,其中:第四系孔隙水中 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 离子浓度最高,分别达到 73.80 mg/L、46.40 mg/L、59.8 mg/L;侏罗系和三叠系花岗岩裂隙水中 Mg^{2+} 离子浓度最低,部分点位未检出。地下水中阴离子以 HCO_3^- 为主,其中:第四系孔隙水中 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 表现出较高的离子浓度,数值分别为 120 mg/L、53.7 mg/L、79.4 mg/L;而白垩系裂隙孔隙水中出现较高浓度的 NO_3^- (平均浓度为 30.7 mg/L),这与人类生活生产区相重叠。

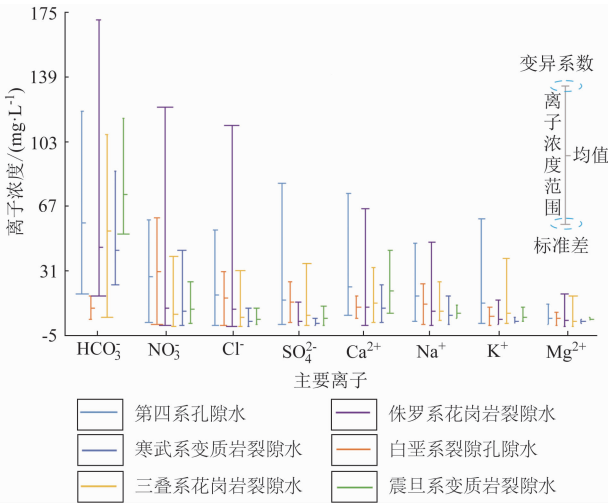


图 4 研究区水化学参数统计

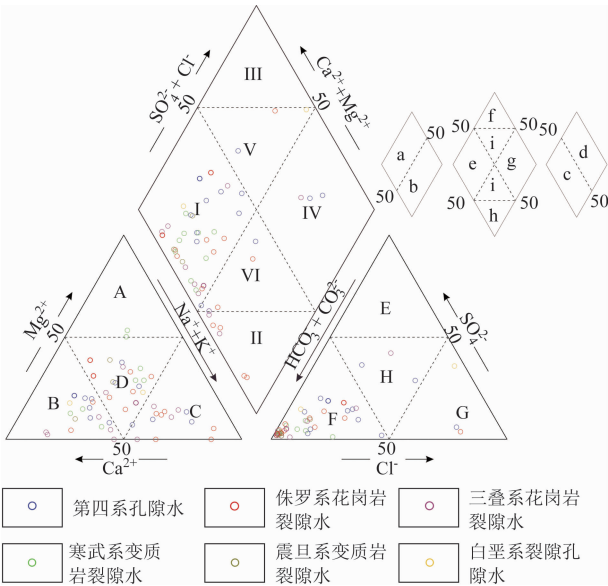
Fig.4 Statistical of hydrochemical parameters in the study area

变异系数(为标准差与平均值的比值)是衡量各观测值变异程度的统计量,反映随机变量的离散程度^[7]。该区内地下水中主要离子的变异系数介于 0.13~3.00 之间,其中: HCO_3^- 的空间变异性最小(最大为 0.85), Cl^- 和 NO_3^- 的空间变异性较大,最大分别达到 3.00 和 2.83,表明 Cl^- 和 NO_3^- 的富集可能受人类活动的影响。

3.3 地下水化学类型

地下水的水化学组分、特征与该地的人文、气象、地形地貌、人类活动等因素有关^[1,16]。通过 Piper 三线图可直观了解地下水化学成分的含量和演化特征,同时排除人为因素的影响^[7,17-18]。由图 5 知,研究区地下水化学类型较为多样:阴离子主要分布在右下三角的 F 区,即以 HCO_3^- 为主,表明碳酸盐岩的溶解对地下水化学特征起主要控制作用;

阳离子主要分布在左下三角的 B、C 和 D 区,即以 Ca^{2+} 、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 为主。在菱形区中,样品点主要落在 I 区,表明研究区内地下水化学性质以碱土金属和弱酸为主(图 5 右侧 a、c、e 区域)。结合舒卡列夫地下水化学类型分类,本地区地下水化学类型以 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型为主。



a. 碱土金属超碱金属; b. 碱金属超碱土金属; c. 弱酸超强酸; d. 强酸超弱酸; e. 碳酸硬度超 50%; f. 非碳酸硬度超 50%; g. 非碳酸碱金属超 50%; h. 碳酸金属超 50%; i. 阴阳离子对不超过 50%; A. Mg^{2+} 型; B. Ca^{2+} 型; C. $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 型; D. 无主导型; E. SO_4^{2-} 型; F. HCO_3^- 型; G. Cl^- 型; I. $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型; II. $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Na}^+$ 型; III. $\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型; IV. $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ 型; V. $\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型; VI. $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ 型

图 5 研究区地下水化学 Piper 三线图

Fig.5 Piper diagram of groundwater hydrochemistry in the study area

3.4 地下水 TDS 分布特征

TDS 是地下水中各主要离子的集中体现,也是研究地下水水化学特征的重要指标^[8]。基于地质统计法分析研究区地下水 TDS 的空间分布特征,本文采用 Surfer 软件中的克里金插值,绘制了研究区内 TDS 的宏观空间分布(图 6)。总体来看,研究区内 TDS 的空间分布具有明显的分异:河谷平原耕地区,地下水的 TDS 浓度明显较大,如白坵村、清溪村、枧田村、吉埠村等,这些地方同时也是地下水排泄区、人类活动强烈区;而丘陵山区(林区),即地下水补给区、人类活动弱区,地下水的 TDS 浓度明显较低。由此可知,人类活动对地下水 TDS 的空间分布有较大影响。

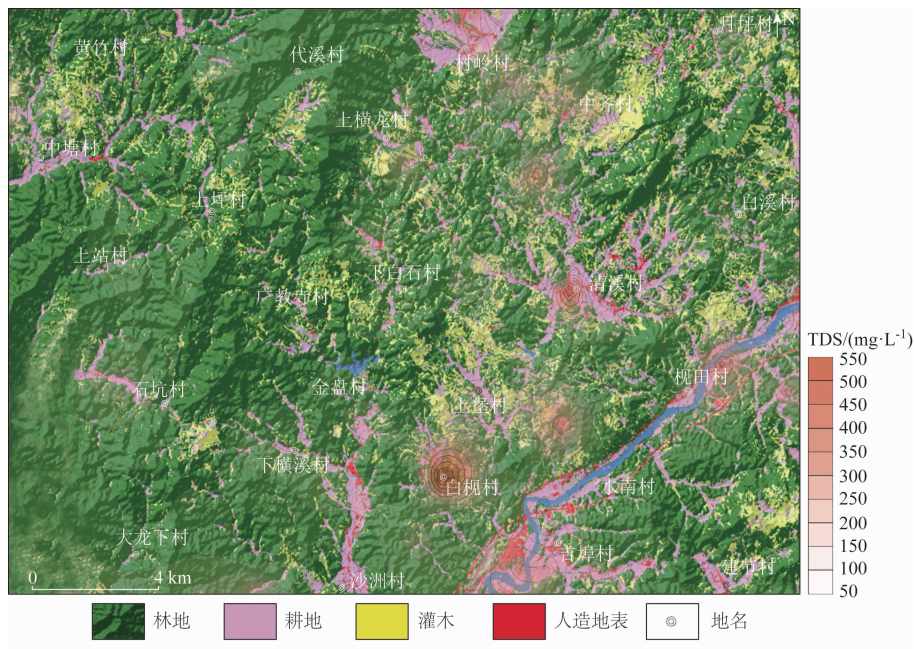


图 6 研究区地下水中 TDS 空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of TDS in groundwater of the study area

4 讨论

地下水水化学成分的演化通常受水岩溶解作用、蒸发浓缩作用、阳离子交换作用、气象水文、地形地貌,以及人类活动的影响^[19]。本文主要讨论水岩溶解作用、阳离子交换作用和人类活动的影响。

4.1 水岩溶解作用

对于河流、湖泊和海洋等水体中离子起源的

自然影响因素,Gibbs^[20-21]通过以 TDS 为纵坐标,阳离子 $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 的比值和阴离子 $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 的比值为横坐标的分析方法,将控制影响水体化学类型划分为岩石风化型、大气降水型和蒸发结晶型。研究区中地下水的 $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ 比值介于 0 ~ 0.94 之间, $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ 比值介于 0 ~ 0.90 之间图 7。

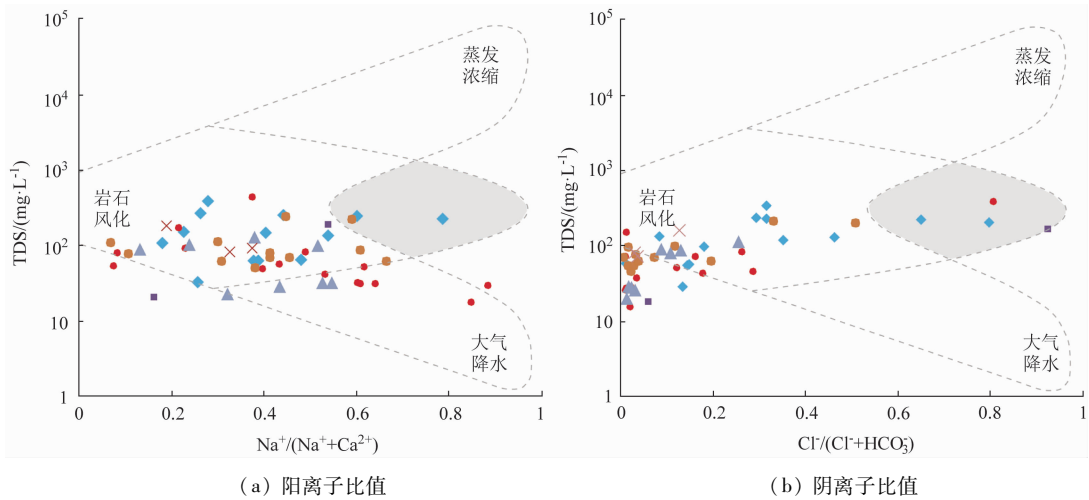


图 7 研究区地下水 Gibbs 图

Fig. 7 Gibbs plots for groundwater in the study area

由图 7 知,大部分水样集中在岩石风化区域内,部分有向大气降雨偏移的趋势,表明研究区地下水成因主要受岩石风化作用的影响,大气降雨有一定程度的影响,蒸发浓缩的影响不明显。图中部分水样落在三角区域外(图中的灰色区域),这些点均为民井,具有较高的 NO_3^- 浓度(分别为 122.0 mg/L、48.4 mg/L、49.6 mg/L),表明其可能受到人类活动的影响。

前人研究^[6,19,22]显示,利用端元法可以进一步

探究地下水化学演化过程中岩石风化物的来源,通常将岩石风化物来源分为碳酸盐、硅酸盐和蒸发盐 3 类。依据 $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 和 $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$ 浓度比值,将地下水离子风化物来源进行区分。由图 8 可知,研究区水样主要分布在硅酸盐岩周围,只有少量水样位于蒸发盐岩周围,表明:硅酸盐岩在岩石风化过程起主要控制作用,则其对地下水离子成分的影响最大;而碳酸盐岩的岩石风化作用最弱,则其对地下水离子成分的影响不大。

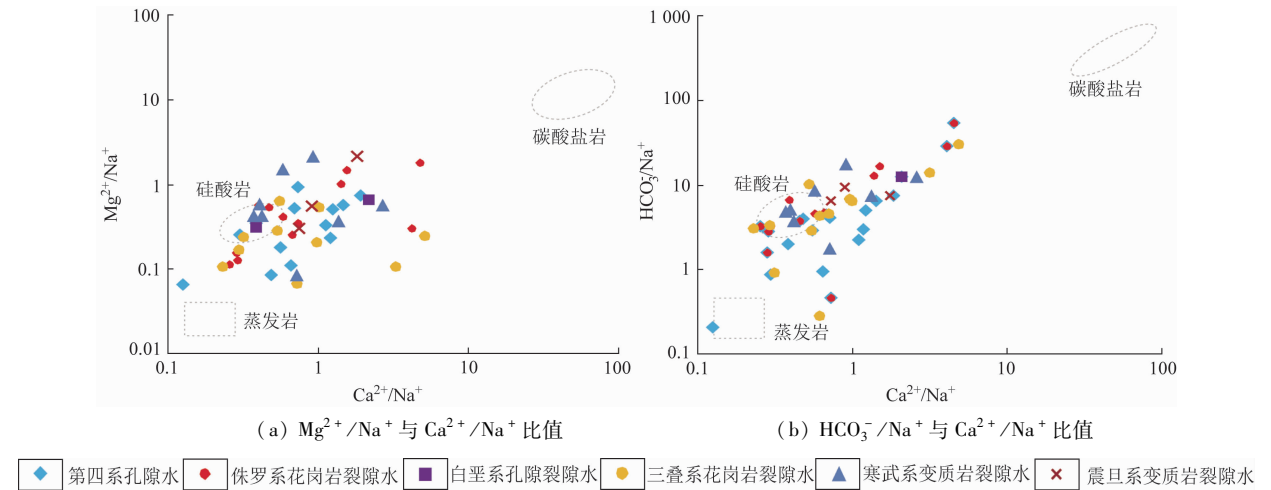


图 8 研究区岩石风化溶解相对贡献

Fig. 8 Relative contribution of weathering and dissolution of rocks in the study area

4.2 阳离子交换作用

在岩石和地下水长期相互作用的过程中,很容易同该层基质发生阳离子交换,进而影响地下水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Na^+ 离子的含量。通常用 $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-})/(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)$ 毫克当量浓度比值来表征 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Na^+ 、 K^+ 的离子交换作用,若发生阳离子交换作用,则两者的比值应在 1:1 参考线的左右^[9,23-24]。其反应过程为 $\text{NaX}(\text{或 KX}) + 1/2\text{Ca}^{2+}(\text{或 Mg}^{2+}) \leftrightarrow \text{Na}^+(\text{或 K}^+) + 1/2\text{CaX}(\text{或 Mg}^{2+})$ 。地下水阳离子交换结果见图 9。

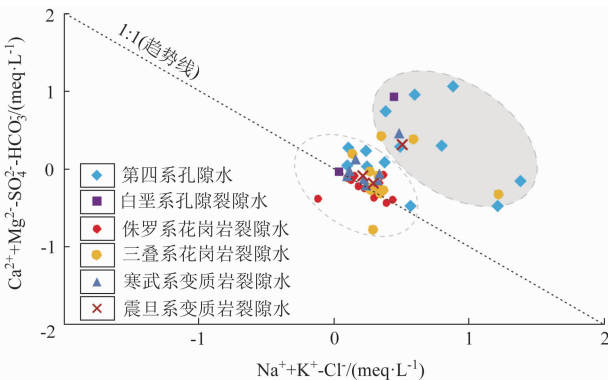


图 9 研究区地下水阳离子交换作用

Fig. 9 Cation exchange of groundwater in the study area

由图 9 知,大部分样点位于参考线附近,说明地下水在运移过程中, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子与黏土、粉砂质黏土和粉砂土等基质中的 Na^+ 和 K^+ 离子发生阳离子交换或反阳离子交换。其中约有 11 个点(占总数的 20.75%),即图 9 中的灰色区,离参考线较远,发生阳离子交换作用不明显。

为了探究地下水中阳离子的交换方向,可借助氯碱指数(CAI - I 和 CAI - II)^[25]来判断。通常情况下,当地下水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 与含水层颗粒表面吸附的 Na^+ 和 K^+ 进行阳离子交换作用时,CAI - I 和 CAI - II 均为负值;相反,若存在反阳离子交换作用,则 CAI - I 和 CAI - II 值将会为正值。地下水样品中氯碱指数情况见图 10。

由图 10 知,TDS 与氯碱指数呈正相关,即 TDS 越大,氯碱指数也越大。第四系孔隙水、白垩系孔隙裂隙水、三叠系花岗岩裂隙水、寒武系变质岩裂隙水和震旦系变质岩裂隙水等地下水样的氯碱指数均小于 0,表明地下水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 替换了基质中吸附的 K^+ 、 Na^+ ,导致地下水中 Na^+ 、 K^+ 浓度升高;而侏罗系花岗岩裂隙水中部分水样氯碱指数大于 0,表明其地下水中存在反阳离子交换作用,致使其 Ca^{2+}

和 Mg^{2+} 浓度相对较高,与离子特征分析相一致。

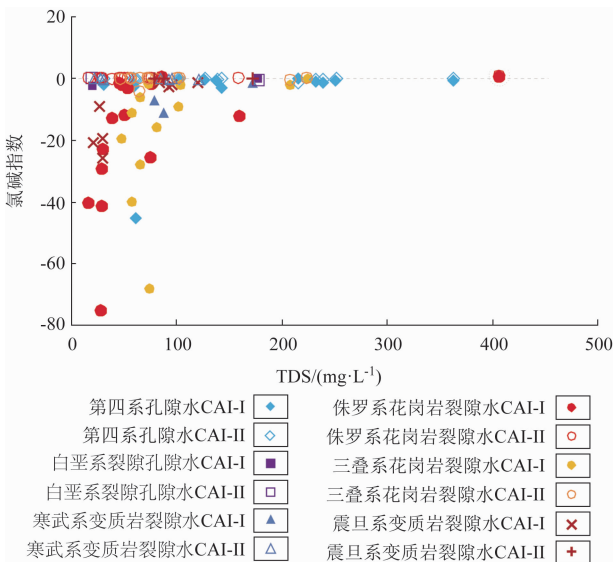


图 10 研究区地下水样品氯碱指数

Fig. 10 Chloralkali index of groundwater in the study area

4.3 人类活动的影响

人类活动对地下水环境产生不可忽视的影响:一是改变了地下水的补给、径流、排泄条件;二是产生的废水、废物以及农药化肥等,会随雨水、地表水渗入地下,进而改变了地下水的化学成分^[6,11]。前述研究表明,研究区内地下水化学特征受人类活动影响,而 NO_3^- 一定程度上可反映人类活动对地下水环境的影响^[26]。

研究区内 NO_3^- 的浓度介于 0.11 ~ 122 mg/L 间,其中第四系孔隙水中 NO_3^- 浓度均值为 27.68 mg/L,白垩系裂隙孔隙水中 NO_3^- 浓度均值为 30.70 mg/L,侏罗系花岗岩裂隙水中 NO_3^- 浓度均值为 10.02 mg/L,三叠系花岗岩裂隙水中 NO_3^- 浓度均值为 6.58 mg/L,寒武系变质岩裂隙水中 NO_3^- 浓度均值为 8.24 mg/L,震旦系变质岩裂隙水中 NO_3^- 浓度均值为 9.55 mg/L,可以得出第四系孔隙水、白垩系裂隙孔隙水受人类活动的影响较大,且大于地下水水质标准 (DZ/T 0290—2015)^[28] 中 NO_3^- 的Ⅲ类限值 (20 mg/L)。研究区地下水中 NO_3^- 浓度状况如图 11。

由图 11 知,Ⅰ类地下水样有 21 个 (占 39.62%),Ⅱ类地下水样有 11 个 (占 20.75%),Ⅲ类地下水样有 9 个 (占 16.98%),Ⅳ类地下水样有 3 个 (占 5.66%),Ⅴ类地下水样有 9 个 (占 16.98%)。基于采样点的地貌分布特征 (结合图 1),对比研究得出,分布在侵蚀堆积河谷平原区村庄的样品,由于埋藏较浅,受人类活动影响明显,致

使其 NO_3^- 浓度明显较高。

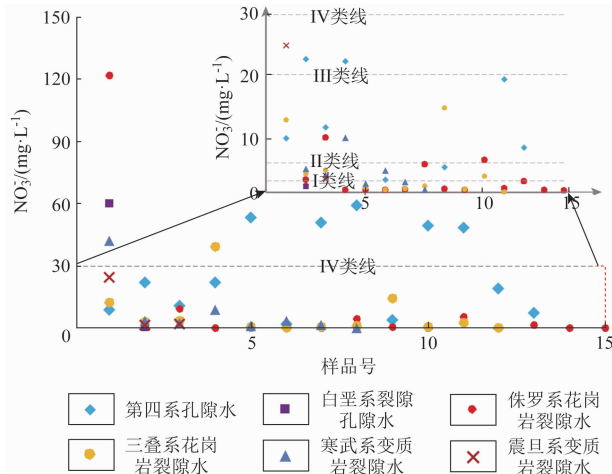


图 11 研究区地下水中 NO_3^- 浓度散点

Fig. 11 Scatter diagram of NO_3^- concentration in groundwater of the study area

前人从化学计量数研究发现, $(Na^+ + K^+)/HCO_3^-$ 与 $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/HCO_3^-$ 的变化可反映碳酸盐岩和硅酸盐岩风化以及人类活动对地下水溶质化学组成的相对贡献^[12,27]。研究区地下水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 和 HCO_3^- 含量关系见图 12。

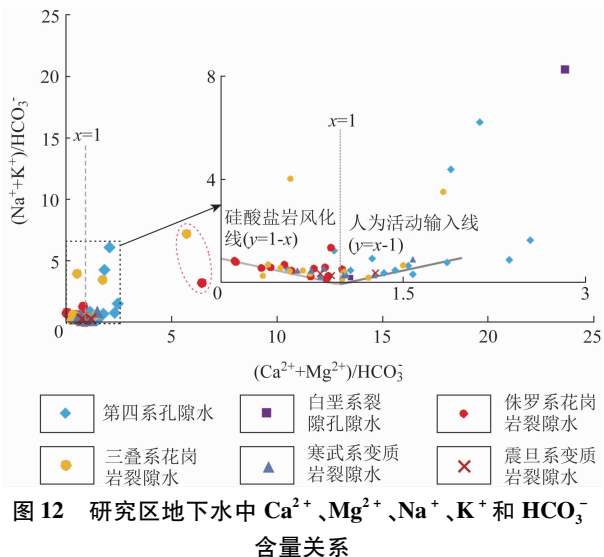


图 12 研究区地下水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 和 HCO_3^- 含量关系

Fig. 12 Content relationship of Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ and HCO_3^- in groundwater of the study area

由图 12 知,大多数样点集中在横轴 0 ~ 3 间,纵轴 0 ~ 1 间;其中红色椭圆内为异常样点,结合其离子浓度,两样点均具有较高的 NO_3^- 浓度,分别为 122 mg/L 和 60.4 mg/L。花岗岩水样主要分布在 $x=1$ 的左侧的硅酸盐岩风化线 ($y=1-x$) 上,说明硅酸盐岩控制了侏罗系和三叠系花岗岩裂隙水的水化学组成,这与含水层岩性花岗岩 (通

常硅酸盐含量在 60% 以上)相一致。而第四系孔隙水中有 11 个(占 84.62%)分布在 $x=1$ 右侧的人为活动输入线($y=x-1$)附近,说明($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)含量超出了 HCO_3^- 含量不能归因于硅酸盐岩、蒸发岩或碳酸盐岩的风化,超出的 $\text{Na}^+、\text{K}^+$ 可能来源于人为活动的输入,则阴离子可能以 Cl^- 或 NO_3^- 的形式存在,进一步证实了第四系孔隙地下水受到人为活动的影响。

5 结论

(1)浅层地下水中阳离子以 Ca^{2+} 为主,阴离子以 HCO_3^- 为主,其中 HCO_3^- 的空间变异性最小, Cl^- 和 NO_3^- 的空间变异性较大。

(2)研究区水化学类型以 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}、\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 型为主,而且地下水化学性质以碱土金属和弱酸为主。

(3)研究区内 TDS 的空间分布具有明显的分异,在河谷平原耕地区,地下水的 TDS 浓度明显较大,而在丘陵山区,地下水的 TDS 浓度明显较低,表明 TDS 空间分布与人类活动密切相关。

(4)研究区内浅层地下水水化学类型主要受水岩溶解作用和阳离子交换作用的控制,水岩溶解作用以硅酸盐岩的溶解为主,并发生了 $\text{Ca}^{2+}、\text{Mg}^{2+}$ 与基质中的 $\text{K}^+、\text{Na}^+$ 阳离子交换作用,而侏罗系花岗岩水样中存在反阳离子交换作用。地下水受到人类活动的影响明显,表现出较高的 NO_3^- 浓度,而且第四系水样受到的影响明显高于泉和钻孔水样。

(5)通过对赣州北部丘陵山区浅层地下水的分析,发现本区地下水受到人类活动的影响,尤其是水中 NO_3^- 较高。为了保障居民的安全饮用水,建议进一步开展 NO_3^- 溯源调查分析工作,提出地下水修复治理方案。

参考文献(References):

- [1] 刘鑫,向伟,司炳成.渭河和泾河流域浅层地下水水化学特征和控制因素[J].环境科学,2021,42(6):2817-2825.
Liu X,Xiang W,Si B C. Hydrochemistry and its controlling factors and water quality assessment of shallow groundwater in the Weihe and Jinghe River Catchments[J]. Environmental Science,2021,42(6):2817-2825.
- [2] Wang R,Bian J M,Gao Y. Research on hydrochemical spatio-temporal characteristics of groundwater quality of different aquifer systems in Songhua River Basin, eastern Songnen Plain, Northeast China[J]. Arabian Journal of Geosciences,2014,7(12):5081-5092.
- [3] Aeschbach-Hertig W,Gleeson T. Regional strategies for the accelerating global problem of groundwater depletion[J]. Nature Geoscience,2012,5(12):853-861.
- [4] 吕晓立,刘景涛,韩占涛,等.城镇化进程中新疆塔城盆地浅层地下水化学演变特征及成因[J].环境科学,2020,41(3):1197-1206.
Lv X L,Liu J T,Han Z T,et al. Chemical evolution of groundwater in the Tacheng basin of Xinjiang in the process of urbanization[J]. Environmental Science,2020,41(3):1197-1206.
- [5] Zhai Y Z,Lei Y,Zhou J,et al. The spatial and seasonal variability of the groundwater chemistry and quality in the exploited aquifer in the Daxing District, Beijing, China[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2015,187(2):43.
- [6] 彭红霞,侯清芹,曾敏,等.雷州半岛地下水化学特征及控制因素分析[J].环境科学,2021,42(11):5375-5383.
Peng H X,Hou Q Q,Zeng M,et al. Hydrochemical characteristics and controlling factors of groundwater in the Leizhou Peninsula[J]. Environmental Science,2021,42(11):5375-5383.
- [7] 成思,温瑶,许畅畅,等.崇明岛浅层地下水化学特征及其影响机制[J].环境科学研究,2021,34(5):1120-1128.
Cheng S,Wen Y,Xu C C,et al. Hydrochemical characteristics and impact mechanism of shallow groundwater in Chongming Island, China[J]. Research of Environmental Sciences,2021,34(5):1120-1128.
- [8] 国务院.地下水管理条例:国令等 748 号[EB/OL].(2021-10-21).
https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-11/09/content_5649924.htm.
- [9] 袁建飞,邓国仕,徐芬,等.西昌市尔乌泉域泉水水文地球化学特征及成因[J].水文地质工程地质,2017,44(4):15-22.
Yuan J F,Deng G S,Xu F,et al. Hydrogeochemical characteristics and genesis of springs in the catchment area of the Erwu spring of Xichang[J]. Hydrogeology & Engineering Geology,2017,44(4):15-22.
- [10] Yuan J F,Xu F,Deng G S,et al. Using stable isotopes and major ions to identify hydrogeochemical characteristics of karst groundwater in Xide County, Sichuan Province[J]. Carbonates and Evaporites,2018,33(2):223-234.
- [11] 钱程,武雄.盐池内流区地下水水化学特征及其形成作用[J].干旱区资源与环境,2016,30(3):169-175.
Qian C,Wu X. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of groundwater in the inner flow area in Yanchi[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2016,30(3):169-175.
- [12] 雷琨,何守阳,刘玺,等.岩溶易旱区地下水水文地球化学特征及其控制因素——以兴仁县为例[J].地球与环境,2016,44(6):619-627.
Lei K,He S Y,Liu X,et al. Hydrogeochemical characteristics of groundwater of Arid zone of karst region and its controlling factors: A case study of Xinren county[J]. Earth and Environment,2016,44(6):619-627.
- [13] 廖红玲,张智勇,谢远玉.近 48 年赣州市降水量变化特征分析[J].江西农业学报,2010,22(10):97-100.
Liao H L,Zhang Z Y,Xie Y Y. Analysis of precipitation variation characteristics in Ganzhou city in recent 48 years[J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2010,22(10):97-100.
- [14] 徐广昌.赣州市农村饮水安全工程建后长效管理机制初探[J].中国水利,2018(1):48-49,47.
Xu G C. Long-term management mechanism after completion of

- safe drinking water supply in rural areas of Ganzhou city[J]. China Water Resources, 2018(1):48–49,47.
- [15] 方捷, 所颖萍, 沈雪华, 等. 新时代地质调查支撑服务脱贫攻坚模式探讨——以赣州地区为例[J]. 中国国土资源经济, 2018, 31(11):26–31.
- Fang J, Suo Y P, Shen X H, et al. How does geological survey serve poverty alleviation in the New Era: A case study of Ganzhou prefecture in Jiangxi[J]. Natural Resource Economics of China, 2018, 31(11):26–31.
- [16] 杨艳林, 邵长生, 靖晶. 系统聚类法在划分岩溶地下水化学类型中的应用[J]. 物探与化探, 2018, 42(4):738–744.
- Yang Y L, Shao C S, Jing J. The application of systematic clustering method to the classification of chemical types of karst groundwater[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(4):738–744.
- [17] Piper A M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water – analyses[J]. Eos, Transactions American Geophysical Union, 1944, 25(6):914–928.
- [18] Huang X J, Wang G C, Liang X Y, et al. Hydrochemical and stable isotope (δD and $\delta^{18}O$) characteristics of groundwater and hydrogeochemical processes in the ningtiaota coalfield, Northwest China[J]. Mine Water and the Environment, 2018, 37(1):119–136.
- [19] Guo Y L, Zhang C, Xiao Q, et al. Hydrogeochemical characteristics of a closed karst groundwater basin in North China[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2020, 325(2):365–379.
- [20] Gibbs R J. Mechanisms controlling world water chemistry[J]. Science, 1970, 170(3962):1088–1090.
- [21] Gibbs R J. Water chemistry of the Amazon River[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1972, 36(9):1061–1066.
- [22] Gaillardet J, Dupré B, Louvat P, et al. Global silicate weathering and CO_2 consumption rates deduced from the chemistry of large rivers[J]. Chemical Geology, 1999, 159(1/2/3/4):3–30.
- [23] Mclean W, Jankowski J, Lavitt N. Groundwater quality and sustainability in an alluvial aquifer, Australia[C]//IAH Congress on Groundwater. Rotterdam; A. A. Balkema Publishers, 2000.
- [24] Fisher R S, Mullican III W F. Hydrochemical evolution of sodium – sulfate and sodium – chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans – Pecos, Texas, USA[J]. Hydrogeology Journal, 1997, 5(2):4–16.
- [25] Schoeller H. Hydrodynamique dans le karst (Hydrodynamics of the karst) [C]//Proceedings of the Hydrology of Fractured Rocks. Paris; UNESCO, 1965:3–20.
- [26] 李政红, 张翼龙, 胡波, 等. 人类活动对内蒙古托克托县浅层地下水 NO_3^- – N 污染的驱动作用[J]. 地球学报, 2018, 39(3):358–364.
- Li Z H, Zhang Y L, Hu B, et al. Driving action of Human activities on NO_3^- – N pollution in confined groundwater of togtoh county, Inner Mongolia [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2018, 39(3):358–364.
- [27] 韩贵琳, 刘丛强. 贵州喀斯特地区河流的研究——碳酸盐岩溶解控制的水文地球化学特征[J]. 地球科学进展, 2005, 20(4):394–406.
- Han G L, Liu C Q. Hydrogeochemistry of rivers in Guizhou Province, China: constraints on crustal weathering in karst terrain[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(4):394–406.
- [28] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0290—2015 地下水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0290—2015 Standard for Groundwater Quality [S]. Beijing; Standards Press of China, 2016.

Hydrochemical characteristics and formation mechanism analysis of shallow groundwater in the northern hilly region of Ganzhou

YANG Yanlin¹, JING Jing², QI Xing¹, SHAO Changsheng¹, WANG Xiaohan¹

(1. Wuhan Center, China Geological Survey, Hubei Wuhan 430205, China; 2. School of City and Environmental, Hubei Normal University, Hubei Huangshi 435002, China)

Abstract: Groundwater is the principle life water source for residents in northern hilly region of Ganzhou, and it is of great scientific value to conduct the investigation of hydrochemical characteristics and formation mechanism of shallow groundwater in this area. Fifty three samples of groundwater in different water – bearing formation were collected in the northern area in 2018, covering areas of 460 km². Based on statistical analysis, Piper diagram, spatial analysis and ion ratio, the authors discussed hydrochemical characteristics and formation mechanism. The results show the pH of shallow groundwater is between 5.08 and 7.87 and TDS is between 16.5 mg/L and 375.7 mg/L, representing weakly acidic fresh water. The cations are mainly Ca^{2+} , and the anions are mainly HCO_3^- . The chemical types of shallow groundwater are mainly $HCO_3^- - Ca^{2+}$ and $HCO_3^- - Ca^{2+} \cdot Mg^{2+}$, and the water – rock interaction, cation exchange and human activities are the main factors affecting the hydrochemical characteristics of shallow groundwater in this area. This research would provide some reference for groundwater protection, management and development.

Keywords: northern hilly region of Ganzhou; shallow groundwater; hydrochemical characteristics; formation mechanism

(责任编辑: 刘丹, 王晗)