

江西兴国县偏酸性地下水研究现状

宋 绵, 龚 磊, 王新峰, 李甫成, 马 涛

中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北保定 071051

摘 要: 兴国县浅层地下水为各城镇和农村的主要饮用水源, 浅层地下水中酸性地下水($\text{pH} < 6.5$)分布范围占全区面积的 1/2, 区域地下水酸化现象较为明显, 已成为该地区安全用水问题之一。中国地质调查局根据原国土资源部的统一部署, 于 2017 年启动了兴国水文地质调查工作。基于 768 组地下水现场水质测试和 80 组相关水化学分析资料, 本文研究了兴国县偏酸性地下水的分布特征及其影响因素。结果发现: $\text{pH} < 6.5$ 的偏酸性地下水分布普遍, 主要分布于花岗岩类裂隙水中, 地下水 pH 值受当地酸雨影响明显, 与酸性土壤分布吻合, 与含水介质类型密切相关, 随地下水位埋深的增加, pH 值增大。本研究对正确认识偏酸性地下水分布特征与影响因素, 促进城镇农村居民安全用水, 为预防地下水酸化污染具有重要意义。

关键词: 偏酸性地下水; 影响因素; 酸雨; 兴国县

中图分类号: P641.11; P641.12 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2018.071103

Research Status of Partial Acid Groundwater in Xingguo County, Jiangxi Province

SONG Mian, GONG Lei, WANG Xin-feng, LI Fu-cheng, MA Tao

Center for Hydrogeology and Environmental Geology, China Geological Survey, Baoding, Hebei 071051

Abstract: Shallow groundwater is the main source of drinking water in Xingguo towns and villages, the distribution of acid groundwater ($\text{pH} < 6.5$) in the shallow groundwater is 1/2 of the whole area, and regional groundwater acidification is obvious. It has become one of the problems of safe water in the area. In accordance with the uniform deployment of the former Ministry of Land and Resources, China Geological Survey commenced the hydrogeological survey work in Xingguo County of Jiangxi Province in 2017. Based on 768 groups of groundwater on-site water quality tests and 80 groups of related hydrochemical analysis data, the authors studied the distribution characteristics and influencing factors of partial acid groundwater in Xingguo County. The result shows that acidic groundwater with $\text{pH} < 6.5$ is quite common. Acid groundwater is mainly distributed in granite fissure water, the pH value of groundwater is obviously affected by local acid rain, consistent with the acidic soil distribution. It is closely related to the types of water-bearing media. With the increase of water depth, the pH value of groundwater increases. This study is of great importance for correct understanding of the distribution characteristics and influencing factors of partial acidic groundwater, and for promoting safe water use for urban and rural residents as well as preventing acidification pollution of groundwater.

Key words: partial acid groundwater; influence factors; acid rain; Xingguo

随着工农业的快速发展, 全球二氧化碳变化的趋势导致全球降雨的 pH 降低。受降雨影响, 全球海洋水 pH 值也在降低, 地下水酸化现象显现。我国南

方、西南、东南地区已成为全球酸性最强的降水区(向仁军, 2011), 地下水也呈现偏酸性。偏酸性地下水的主要成因有酸雨、采矿活动、地层中黄铁矿的

本文由中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20179262; DD20179302)资助。为中国地质调查局、中国地质科学院 2017 年度地质科技十大进展第五名“科技创新引领地质调查精准支撑服务脱贫攻坚成效显著”的成果之一。

收稿日期: 2018-06-30; 改回日期: 2018-07-02; 网络首发日期: 2018-07-11。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 宋绵, 女, 1988 年生。硕士, 工程师。研究方向为地下水水文地球化学。E-mail: songmian88@126.com。

氧化和自然演化(李锐等, 2006; 周训等, 2007; 周迅等, 2017; 程新伟和孙继朝, 2017)。地下水酸化将导致一系列生态环境问题, 如促使水岩相互作用过程中金属元素的活动性增加引发重金属污染等, 浅部地下水淡化及软化、深部地下水的矿化及硬化等(曾云松等, 1995)。

2017—2018 年, 中国地质调查局组织开展兴国县水文地质调查, 调查发现兴国县地下水(主要为浅层地下水)的 pH 值 50% 以上达不到生活饮用水标准, 低于 6.5(王新峰等, 2018)。该区地下水酸化分布范围广, 水体酸化已成为该区地下水环境问题之一。本文根据调查数据, 总结了兴国县地下水 pH 值的自然分布特征, 浅析了地下水酸化的影响因素, 旨在促进城镇农村居民安全用水, 为预防地下水水质恶化提供依据。

1 研究区概况

兴国县处于江西省中南部, 地貌以低山、丘陵为主, 局部有中山, 为山区县; 地势由东北西边缘逐渐向中南部倾向, 形成以县城为中心的小盆地。兴国县属亚热带季风湿润气候, 年平均气温 18.8℃, 年平均降雨量 1 560 mm, 一般 4—6 月汛期降水集中, 占全年降水的 48.5%。

兴国县处于南岭东西向复杂构造带东段北侧,

属于江西南部北北东向兴国至大余断陷带和雩山隆褶带最北部分。具有多体系、多期次及其相互复合的特征, 主要发育南北向构造、华夏系(式)构造、新华夏系构造和兴国旋卷构造构造体系。兴国县出露第四系、白垩系、石炭系、泥盆系、寒武系和震旦系地层, 其中以震旦系和寒武系分布最广。

兴国县地下水主要为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶水、碎屑岩类孔隙裂隙水及岩浆岩变质岩类裂隙水, 富水性分布不均, 空间差异较大。松散岩类孔隙水主要分布于平江、潯江等河流两岸的河流阶地及河漫滩上, 主要来源于大气降水及裂隙水、丰水期河流的侧向渗入补给。碳酸盐类岩溶水主要分布于梅窖镇灰岩、白云质灰岩中。碎屑岩类孔隙裂隙水主要分布于兴国盆地内碎屑岩裂隙内, 分布不均, 差异较大。岩浆岩变质岩类裂隙水主要分布于兴国盆地两侧, 浅部多为风化裂隙水, 以分散式泉水排泄, 深部多为构造裂隙水。

2 样品采集与测试

本次采取兴国县域地下水样品, 取样以民用井、泉为主, 民井井深一般在 10 m 以内, 属浅层地下水, 少数为深层地下水。

本文所使用的 768 组地下水样品(图 1), 其中 80 组按照《水质样品的保存和管理技术规定》

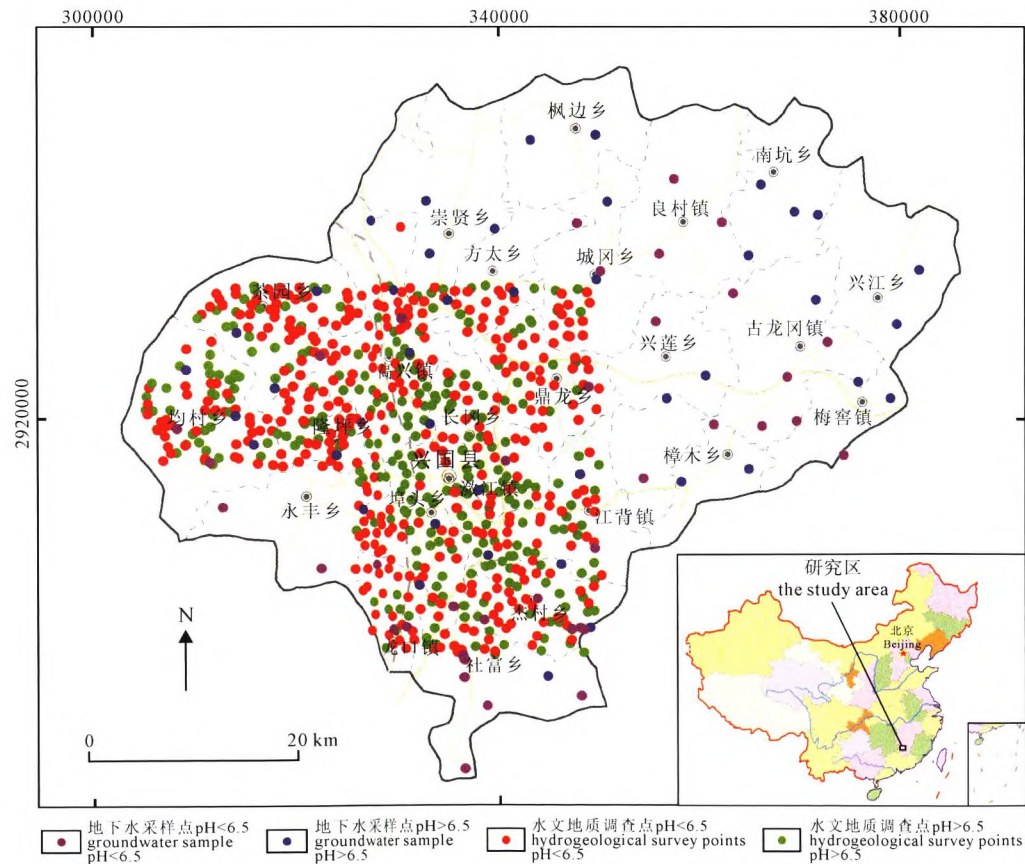


图 1 地下水采样点及水文地质调查点分布图
Fig. 1 Map of the groundwater sampling sites and hydrogeological survey points

表 1 浅层地下水 pH 值特征
Table 1 The characteristics of pH in shallow groundwater

含水岩组	样品数量	pH 值			占比/%		
		最小值	最大值	平均	≤6.5	≤6.0	≤5.5
花岗岩类裂隙水	174	5.41	8.04	6.38	64.37	22.99	0.57
变质岩类裂隙水	228	5.16	8.48	6.41	58.33	27.63	2.63
松散岩类孔隙水	227	4.40	8.50	6.45	53.74	18.06	4.00
碎屑岩类孔隙裂隙水	139	4.90	8.04	6.48	56.15	27.34	9.35

注: 占比指所在含水岩组内的比例(%)。

表 2 深层地下水 pH 值特征
Table 2 The characteristics of pH in deep groundwater

含水岩组	样品数量	pH 值			占比/%
		最小值	最大值	平均	≤6.5
花岗岩类裂隙水	7	7.54	9.28	7.91	0.00
碎屑岩类孔隙裂隙水	12	6.31	8.61	7.27	8.33

注: 占比指所在含水岩组内的比例(%)。

(HJ494-2009)和相关技术标准采集样品,送至国土资源部南昌矿产资源监督检测中心(江西省地质调查研究院)进行水化学指标分析。

鉴于 pH 值直接受环境因素影响,768 组地下水样品均现场测定,测试仪器为美国 Smatroll 多参数水质仪。

3 结果与分析

3.1 偏酸性地下水分布特征

兴国县浅层地下水 pH 值范围 4.4~8.5, 均值 6.43。对兴国县不同含水岩组地下水 pH 值统计分析(表 1)结果表明,花岗岩类裂隙水 pH 均值最低,为 6.38;碎屑岩类孔隙裂隙水 pH 最高,为 6.48,但整体差别不大。地下水 pH 低于 6.5 占比最高的是花岗岩类裂隙水,占比最低的为松散岩类孔隙水。

兴国县深层地下水 pH 值范围 6.31~9.28, 均值 7.51(表 2),花岗岩类裂隙水 pH 值高于碎屑岩类孔隙裂隙水。

地下水中 pH 值主要决定于含水岩体的生成环境、有机酸、气体、微生物的存在及各种盐的溶解。通过分析兴国县浅层地下水和深层地下水,结果表明浅层地下水偏酸性较明显,而深层地下水多呈弱碱性。

浅层地下水不同含水岩组的 pH 相差较小,表明该区地下水补给来源一致,但受含水岩组的岩性影响略微不同。受地下水径流途径的影响,深层地下水循环路径长,地下水酸化现象不明显。

3.2 偏酸性地下水的影响因素

3.2.1 酸雨

以往在研究分析酸雨对水体的危害中指出酸雨导致水体酸化,其中 H⁺ 直接参与并加速地壳岩石和地表土的风化,增加重金属盐在水中的溶解和积累等(张士功和张华, 2001)。

根据对江西省酸雨的研究数据,兴国酸雨降雨频率为 95%,降雨 pH 值 4.4~4.5,见图 2(王琳和吉蔚群, 2004; 吴建明等, 2012)。2017 年在兴国县埠头乡、龙口镇、潯江镇、杰村乡、社富乡建设降雨 pH

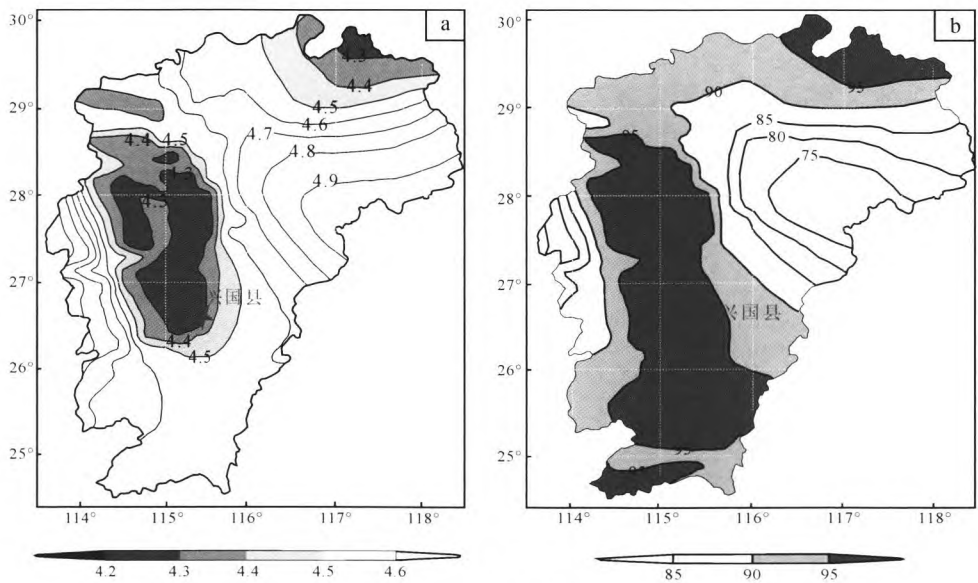


图 2 江西省 2007—2011 年降雨 pH 值(a)和酸雨频率(b)平均值分布图

Fig. 2 Average distribution of pH values (a) and acid rain frequency (b) of rainfall in Jiangxi Province from 2007 to 2011

值观测点, pH 均值为 5.0。

大气降水是兴国县浅层地下水的主要补给来源, 酸雨对地下水的酸化起到了重要作用。而且丰水期地下水 pH 值较枯水期偏低, 指示了酸雨对地下水酸化的贡献。

3.2.2 含水层类型

含水层类型间接影响地下水的酸碱性。若地下水的补给源长期为酸性降雨, 含水层对酸的缓冲能力会降低, 持续很长时间后, 地下水的 pH 值则会降低。含水层类型不同, 对酸的缓冲能力也不同(张玉玺等, 2011)。兴国县含水层类型主要为花岗岩类裂隙水、变质岩类裂隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水及松散岩类孔隙水。

花岗岩类裂隙含水层, 矿物成分以长石、石英为主, 长石的不全等溶解会增加地下水中的重碳酸根的含量, 如钠长石 $2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{Na}^+ + 4\text{H}_4\text{SiO}_4 + 2\text{HCO}_3^-$; 钾长石 $2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}_2\text{CO}_3 + 5\text{H}_2\text{O} = 2\text{K}^+ + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (沈照理等, 1993); 在一定程度上起到缓冲作用, 但是由于该区地下水径流路径短, 水流交替循环周期短, 无法充分反应, 对酸的缓冲能力较弱。

变质岩类裂隙含水层, 矿物成分以石英、云母、黏土矿物为主, 云母在地下水中溶解生成重碳酸根, 在一定程度可以起到缓冲作用, 黑云母反应如下: $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 7\text{CO}_2 + 7.5\text{H}_2\text{O} = 0.5\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + \text{K}^+ + 3\text{Mg}^{2+} + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + 7\text{HCO}_3^-$, 黏土矿物具有一定的对酸也有一定的缓冲能力, 因此相较花岗岩缓冲能力微弱。

松散岩类孔隙含水层多以坡残积黏土质、砂质松散盖层为主, 通常土壤黏结性差、通透性好, 但局部夹有黏土矿物和淤泥质, 对酸具有一定的缓冲能力, 因此 pH 均值相对较高。

碎屑岩类孔隙裂隙含水层, 矿物以长石、黏土矿物为主, 少量碳酸盐矿物, 碳酸盐矿物对酸的缓冲能力较强, 因此地下水中 pH 值较高。

虽然不同含水层类型对酸具有一定的缓冲能力, 由于兴国县浅层地下水径流路径短, 水流交替循环周期短, 水岩相互作用不充分, 所以整体上对酸的缓冲能力较弱。

3.2.3 土壤 pH

土壤中普遍存在的游离碳酸盐矿物(主要为 Ca 和 Mg)可以对酸起到中和作用(刘凡, 2015)。兴国县 1:5 万土地质量地球化学调查结果表明兴国县 90% 以上的土壤呈现酸性, 在一定程度上降低了土壤对酸的缓冲能力。大气降水经过土壤的淋滤作用进入含水层, 土壤对酸的缓冲减弱, 导致兴国县偏酸性

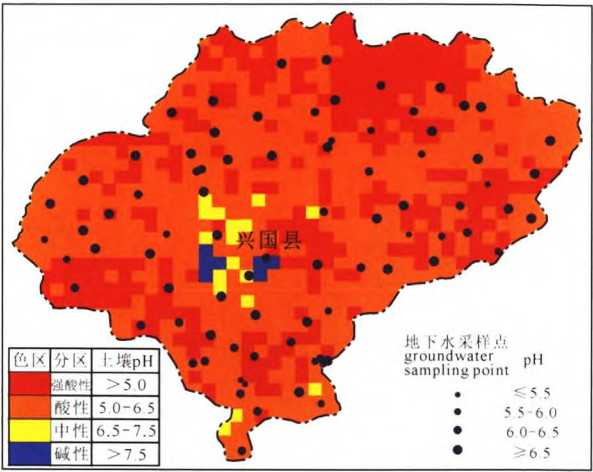


图 3 兴国县地下水和土壤 pH 值分布图
Fig. 3 Distribution of groundwater and soil pH in Xingguo

表 3 浅层地下水 pH 值与地下水埋深一览表
Table 3 List of pH and buried depth of shallow groundwater

pH 值	地下水位埋深/m	溶解性总固体
大于 7.0	2.28	226.16
6.5~7.0	2.18	169.77
6.5~6.0	1.94	89.45
6.0~5.5	2.15	67.93
< 5.5	1.80	33.31

地下水与土壤酸性分布整体一致(图 3), 但地下水酸化程度较土壤的酸化程度弱, 表明土壤与含水层岩性对酸具有一定的缓冲能力。

3.2.4 与地下水位埋深的关系

地下水 pH 值与地下水位埋深具有一定的关系, pH 值小于 6.5 的地下水位埋深均值为 2.03 m。随着地下水位埋深增大, 地下水 pH 值增大, 地下水溶解性总固体含量增加(表 3)。地下水位埋深越浅, 受酸性降水的影响显著, 且包气带介质对酸的缓冲时间短, 因此地下水的 pH 越低。

3.2.5 地下水 pH 值与水化学的关系

兴国县地下水水化学类型多以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水为主, 偏酸性地下水水化学类型多以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型为主(见图 4), 与兴国县地下水化学类型基本一致, 阴离子主要以 HCO_3^- 为主, 阳离子以 Ca^{2+} 、 Na^+ 为主。不同含水介质、不同水化学类型中均存在偏酸性地下水, 表明当地地下水偏酸性现象比较普遍。

对地下水中化学成分进行相关性分析(表 4), 结果表明地下水 pH 值与 HCO_3^- 、TDS(溶解性总固体)、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 呈正相关, 与游离 CO_2 呈负相关。

地下水中 pH 与 HCO_3^- 、TDS、 Na^+ 相关性好, 表明 pH 值与含水介质的矿物成分密切相关, 且受地下水溶滤作用的影响较大。

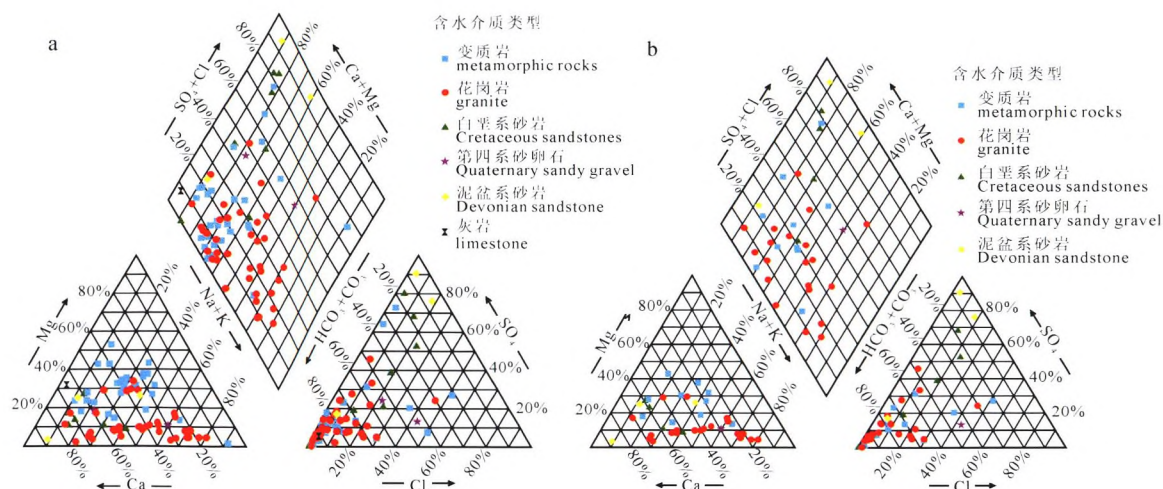


图 4 Piper 三线图
Fig. 4 Piper diagram
a-地下水; b-偏酸性地下水
a-groundwater; b-partial acid groundwater

表 4 浅层地下水化学成分相关性分析
Table 4 Correlation analysis of chemical composition in shallow groundwater

	pH	TDS	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	游离 CO ₂	耗氧量	H ₂ SiO ₃	TFe
pH	1.00														
TDS	0.43	1.00													
K ⁺	0.18	0.26	1.00												
Na ⁺	0.42	0.72	0.17	1.00											
Ca ²⁺	0.25	0.86	0.19	0.30	1.00										
Mg ²⁺	0.30	0.83	0.17	0.28	0.93	1.00									
Cl ⁻	0.24	0.70	0.40	0.37	0.67	0.62	1.00								
SO ₄ ²⁻	0.34	0.93	0.11	0.67	0.85	0.81	0.48	1.00							
HCO ₃ ⁻	0.44	0.83	0.43	0.48	0.73	0.70	0.78	0.59	1.00						
NO ₃ ⁻	0.10	0.32	0.42	0.07	0.32	0.28	0.81	0.04	0.54	1.00					
F ⁻	0.38	0.48	0.19	0.80	0.03	0.10	0.17	0.37	0.29	-0.01	1.00				
游离 CO ₂	-0.44	0.12	0.06	-0.03	0.16	0.20	0.25	0.05	0.19	0.17	-0.12	1.00			
耗氧量	0.14	-0.10	-0.05	-0.06	-0.07	-0.13	-0.03	-0.07	-0.11	-0.06	-0.06	-0.11	1.00		
H ₂ SiO ₃	0.15	0.07	0.17	0.08	0.06	0.03	0.01	0.08	0.13	0.00	0.11	0.03	-0.10	1.00	
TFe	-0.01	-0.08	-0.08	-0.01	-0.13	-0.18	-0.09	-0.04	-0.11	-0.09	-0.01	-0.10	0.38	0.09	1.00

酸雨成分主要为 SO₄²⁻，地下水中 pH 与 SO₄²⁻ 呈正相关，表明地下水受到当地酸雨的影响。

地下水中 pH 值升高，CO_{2(aq)}+H₂O⇌HCO₃⁻+H⁺ 此化学反应向右移动，地下水中游离 CO₂ 含量降低，因此 pH 与游离 CO₂ 呈负相关。

4 初步结论

本文实地调查研究了兴国县偏酸性地下水分布状况，并分析了偏酸性地下水的主要影响因素，获得以下结论：

(1)兴国县偏酸性地下水主要分布在浅层地下水中，分布范围广，变幅较大，在 4.4~8.5 之间，均值为 6.4。地下水 pH 值低于生活饮用水标准(6.5)的超过 50%，其中花岗岩类裂隙水中最普遍，松散岩类孔隙水中 pH 值相对较高。

(2)兴国县偏酸性地下水主要受酸雨、土壤、含

水层类型、地下水埋深等因素影响。上述因素是导致地下水 pH 值分布出现区域差异的主要原因，该区偏酸性地下水是在自然因素和人类活动共同影响下，长期演化形成的。

(3)地下水 pH 值与 TDS 显著正相关，说明地下水 pH 值受地下水溶滤作用明显，且地下水受酸雨影响后，地下水有软化的趋势。

致谢：感谢中国地质调查局南京地质调查中心提供赣州市土壤 pH 值分布图(1:25 万)。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20179262 and DD20179302).

参考文献:

曾云松, 罗祥康, 黄德辉. 1995. 试论重庆酸雨对地下水水质变

- 异的影响[J]. 中国地质灾害与防治学报, 6(3): 43-47.
- 程新伟, 孙继朝. 2017. 珠江三角洲地区酸性地下水分布特征及其影响因素研究[J]. 地下水, 39(5): 25-27, 87.
- 李锐, 周训, 张理, 欧业成, 黄喜新. 2006. 北海市偏酸性地下水 pH 值的特点及其影响因素简析[J]. 勘察科学技术, (5): 46-50.
- 刘凡. 2015. 珠江三角洲区域地下水酸化机理研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 2-6.
- 沈照理, 朱宛华, 钟佐荣. 1993. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社.
- 王琳, 吉蔚群. 2004. 江西省酸雨现状调查[J]. 江西科学, 22(5): 383-385.
- 王新峰, 宋绵, 龚磊, 肖攀, 何锦, 刘元晴. 2018. 赣南缺水区地下水赋存特征及典型蓄水构造模式解析——以兴国县为例[J]. 地球学报, 39(5): 573-579.
- 吴建明, 邹海波, 贺志明. 2012. 江西省酸雨变化特征及其与气象条件的关系[J]. 气象与减灾研究, 35(2): 45-50.
- 向仁军. 2011. 中国南方典型酸雨区酸沉降特性及其环境效应研究[D]. 长沙: 中南大学: 3-5.
- 兴国县地方志编纂委员会. 2009. 兴国县志[M]. 西安: 三秦出版社.
- 张士功, 张华. 2001. 酸雨对我国生态环境的危害及防治对策[J]. 中国农业资源与区划, 22(1): 41-43.
- 张玉玺, 孙继朝, 陈玺, 黄冠星, 荆继红, 刘景涛, 向小平, 王金翠, 支兵发. 2011. 珠江三角洲浅层地下水 pH 值的分布及成因浅析[J]. 水文地质工程地质, 38(1): 16-21.
- 周训, 张华, 赵亮, 沈晔, 严霞, 欧业成, 黄喜新. 2007. 浅析广西北海市偏酸性地下水的形成原因[J]. 地质学报, 81(6): 850-856.
- 周迅, 张后虎, 刘林, 叶永红. 2017. 中国东南地区偏酸性地下水的分布及影响因素[J]. 环境科技, 30(4): 52-57.
- References:**
- CHENG Xin-wei, SUN Ji-chao. 2007. Study on distribution characteristics of acid groundwater and its influencing factors in the Pearl River Delta[J]. Ground Water, 39(5): 25-27, 87(in Chinese with English abstract).
- LI Rui, ZHOU Xun, ZHANG Li, OUYE Cheng, HUANG Xi-xin. 2006. Characteristics of the pH in weak acidic groundwater near Beihai and preliminary analyses of its affecting factors[J]. Survey Science And Technology, (5): 46-50(in Chinese with English abstract).
- LIU Fan. 2015. Mechanism of groundwater acidification in Pearl River Delta[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing): 2-6(in Chinese).
- Local Chronicle Compilation Committee of Xingguo County. 2009. The chronicles of Xingguo[M]. Xi'an: Three Qin Dynasty Press(in Chinese).
- SHEN Zhao-li, ZHU Wan-hua, ZHONG Zuo-shen. 1993. Hydrogeochemical basis[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Lin, JI Wei-qun. 2004. Acid rain investigation report of Jiangxi Province[J]. Jiangxi Science, 22(5): 383-385(in Chinese with English abstract).
- WANG Xin-feng, SONG Mian, GONG Lei, XIAO Pan, HE Jin, LIU Yuan-qing. 2018. An Analysis of Characteristics of Groundwater Occurrence and Typical Model of Water-storage Structures in Water-deficient Areas of Southern Jiangxi Province: A Case Study of Xingguo County[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(5): 573-579(in Chinese with English abstract).
- WU Jian-ming, ZOU Hai-bo, HE Zhi-ming. 2012. Variation characteristics of acid rain in Jiangxi And its relationship with meteorological condition[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 35(2): 45-50(in Chinese with English abstract).
- XIANG Ren-jun. 2011. Characteristics of acid deposition and environmental effects of typical acid rain Areas in Southern China[D]. Changsha: Central South University: 3-5(in Chinese).
- ZENG Yun-song, LUO Xiang-kang, HUANG De-hui. 1995. Trial discussion on the influence of acid rain on variation of groundwater quality in Chongqing[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 6(3): 43-47(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Shi-gong, ZHANG Hua. 2001. The harmfulness of acid rain to agricultureco-environment in China and the corresponding preventive countermeasures[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 22(1): 41-43(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yu-xi, SUN Ji-chao, CHEN Xi, HUANG Guan-xing, JING Ji-hong, LIU Jing-tao, XIANG Xiang-ping, WANG Jin-cui, ZHI Bing-fa. 2011. Characteristics and preliminary analyses of the formation of pH in shallow groundwater in the Pearl River delta[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 38(1): 16-21(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Xun, ZHANG Hou-hu, LIU Lin, YE Yong-hong. 2017. Distribution and its influence factors of weak acidic groundwater in South East China[J]. Environmental Science and Technology, 30(4): 52-57(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Xun, ZHANG Hua, ZHAO Liang, SHEN Hua, YAN Xia, OU Ye-cheng, HUANG Xi-xin. 2007. A preliminary analysis of the formation of the weak acidic groundwater in Beihai, Guangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 81(6): 850-856(in Chinese with English abstract).