

赣南山区矿泉水出露模式探讨

孙智杰¹⁾, 高宗军¹⁾, 王新峰^{2)*}, 林海斌¹⁾, 宋 绵²⁾

1) 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东青岛 266590;

2) 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: 赣南属于典型的山区, 也是严重缺水地区, 一般在山区沟谷两侧有优质矿泉水涌出地表。宁都县位于赣南北部, 具有赣南典型的地貌特征、构造特征。现以宁都县为例, 探讨矿泉水的分布与出露模式。通过区域地质调查、水文地质条件分析及水质分析, 发现: 矿泉水类型主要为偏硅酸矿泉水, 含量 30.72~48.56 mg/L, 水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 型水, 水温普遍低于 25℃, 溶解性总固体小于 153.53 mg/L, 属于低矿化冷矿泉; 断裂构造为矿泉水形成提供水力条件, 也为矿泉水的运移、贮存提供良好空间; 地形地貌以侵蚀构造山地丘陵为主, 高差大、切割深的径流条件促进了地下水中偏硅酸的富集; 花岗岩中的高含量 SiO_2 为矿泉水提供了物质基础, 且风化程度高、裂隙发育, 水岩作用进行充分。

关键词: 赣南; 宁都县; 偏硅酸矿泉水; 浅循环泉; 风化裂隙

中图分类号: P641.135; P641.139 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2018.071001

Exploration of Mineral Water Outcropping Pattern in the Mountainous Area of South Jiangxi

SUN Zhi-jie¹⁾, GAO Zong-jun¹⁾, WANG Xin-feng^{2)*}, LIN Hai-bin¹⁾, SONG Mian²⁾

1) School of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590;

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

Abstract: South Jiangxi is a typical mountainous area, and it is also a severe water shortage area. Generally, high-quality mineral water flows out of the ground on both sides of mountain valleys. Ningdu County is located in the northern part of South Jiangxi and has the typical geomorphological features and structural features of South Jiangxi. Taking Ningdu County as an example, the authors investigated the distribution and exposure patterns of mineral water. Through regional geological survey, hydrogeological conditions analysis and water quality analysis, it is found that the type of mineral water is mainly silicic acid mineral water, with content of 30.72~48.56 mg/L, the water chemistry type is $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ type water, the water temperature is generally lower than 25 °C, and the total dissolved solids are less than 153.53 mg/L, thus belonging to low mineralization cold mineral springs. The fault structure provides hydrodynamic conditions for the formation of mineral water, and also provides a good space for the transfer and storage of mineral water. The topography and landform are dominated by eroded structural hilly hills. Large runoff and deep cutting conditions promote the enrichment of metasilicic acid in groundwater. The high content of SiO_2 in granite provides a material basis for mineral water, and has a high degree of weathering, fissure development, and water-rock interaction.

Key words: South Jiangxi; Ningdu County; meta-silicic acid mineral water; shallow groundwater circulation; weathering fissure

本文由中国地质调查局地质调查项目“长江中游城市群咸宁-岳阳和南昌-怀化段高铁沿线 1:5 万环境地质调查”(编号: DD20179262)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: 2018-07-10。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 孙智杰, 男, 1992 年生。硕士研究生。主要从事水工环研究方向。通讯地址: 266590, 青岛市经济技术开发区前湾港路 579 号。E-mail: 657128576@qq.com。

*通讯作者: 王新峰, 男, 1982 年生。硕士, 工程师。研究方向为基岩山区水文地质调查及成果集成。通讯地址: 071051, 保定市七一中路 1305 号。E-mail: wxf820813@126.com。

目前,对于矿泉水成因分布的研究很多。孙鹏飞等(2014)、唐玺雯等(2014)认为地下水化学组分是在漫长的渗透运移过程中形成的,受含水层的影响,还会受到含水系统中各种物理化学作用的影响。孙逊等(1995, 2008)通过实验证明偏硅酸在地下水中的含量与岩石的风化程度及水动力条件有关。王蕾等(2013)通过实验证明 CO_2 有助于岩石的溶解,释放 SiO_2 进入水中。李树(2012)认为靖宇地区玄武岩矿泉水偏硅酸含量受矿物成分及其性质、水的 pH 值、水中 CO_2 含量等因素制约。李倩玉等(2017)、张洪志和吕欣(2015)认为地下水及大气降水沿断裂及裂隙向深部和远距离运移,潜水转化为承压水,与围岩进行溶滤水解作用。周训等(2014, 2017)认为浅循环泉接受大气降水补给,受重力自上而下运动,具有径流路径短、流量小、水温低、溶解性总固体低等特征。刘大任(1994)认为赣南矿泉水岩性是基础,地貌是条件,构造是主导,复杂的构造条件控制和决定了矿泉水的形成。连志宁和张沁瑞(2012)认为江西省偏硅酸矿泉水主要分布在丘陵、山地区,赋存在花岗岩、变质岩的风化裂隙和构造裂隙中,

多数矿泉水出露与断裂构造有关。

赣南按地貌形态分,山地占 22%,丘陵 61%,平原仅占 17%,属于典型的山区赣南构造(图 1)。赣南年平均降雨量 1 605 mm,虽雨量充沛,但在山区可供利用的水量十分有限,属于严重缺水(方捷等, 2018; 王新峰等, 2018)。解决山区百姓用水问题迫在眉睫,而在山区沟谷两侧,山区大气降水入渗沿裂隙向下径流,以矿泉水形式出露,水质优良且常年有水,找寻矿泉水可以为山区百姓解决日常用水问题。宁都县位于赣南北部,同样属于典型的山区地貌,本文以宁都县为例,通过收集和整理宁都县区域地质、水文地质资料,分析区内矿泉水水化学类型、组分特征、补给来源和径流条件,探讨矿泉水的分布特征和成因分析。

与一般受构造断裂形成的矿泉水不同,在江西省宁都县基岩山区,通过野外实地踏勘发现大量裂隙浅循环淋溶型矿泉水。断裂构造深循环淋溶型矿泉水在深循环中获得压力和温度,一般水温高、流量大。而本区发现的裂隙浅循环淋溶型矿泉水接受大气降水补给,沿裂隙运移获得矿物成分,一般温

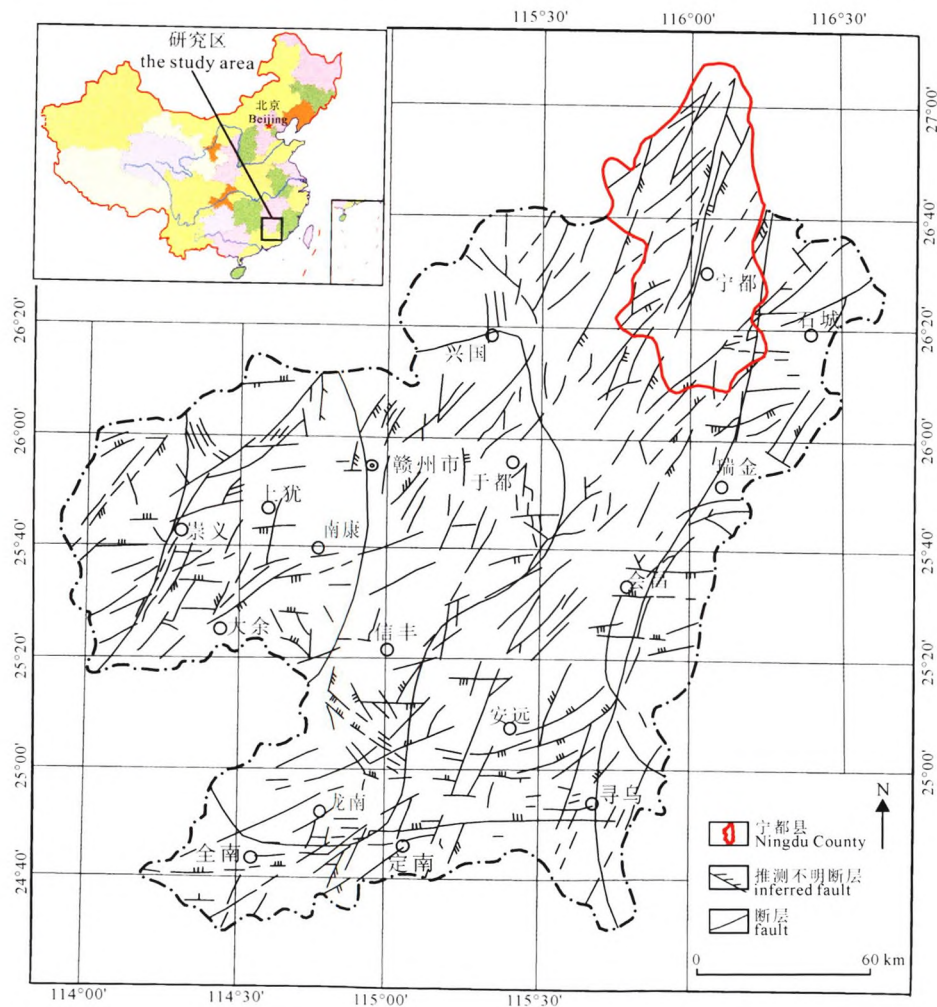


图 1 赣南构造纲要图
Fig. 1 The structural outline of South Jiangxi

度低、水量小。裂隙浅循环淋溶型矿泉水在宁都县丘陵山区广泛分布，数量特别多，基本一家一泉。因此，查明此类矿泉水的分布特征、水质特征及成因规律，可以让山区百姓喝优质饮用水，解决生活用水问题，并且有助于矿泉水产业带动经济发展，将此矿泉水形成模式推广应用于赣南其他地区。

1 研究区概况

宁都县位于江西省东南部，地处东经 115°40′—116°15′，北纬 25°50′—26°30′，东与石城县、广昌县交界，南与瑞金市、于都县为邻，西与兴国县、永丰县相连，北与乐安、宜黄、南丰 3 县接壤，总面积 4 053.16 km²。地处赣江正源贡水上游，境内河流呈树枝状发育，大小河流 638 条，河网密度达 0.68 km/km²，主要河流有梅江、琴江、青塘河等。区内峰峦起伏、地形复杂，群山连绵、山势雄伟，山间为丘陵地形和窄条状河谷地形，地势东南部、西北部高，沿梅江、琴江两岸地势较低。宁都县属于亚热带季风湿润气候区，区内气候温和湿润，雨量充沛，4—6 月为雨季，多年年平均降雨量为 1 928.4 mm，丰富的降水补给地下水，在地表揭露多处矿泉水。

全区震旦系、寒武系和白垩系分布广泛，石炭系和侏罗系分布零散，第四系沿河带状断续分布。震旦系、寒武系组成区内褶皱基底，受后期岩浆活动影响，沿接触带往往混合岩化而形成花岗质混合岩。区内岩浆岩主要分布于区内东部、北西、北东外缘带及南西局部，面积 1 741.4 km²，主要有加里东期、燕山期岩浆岩。

自晚古生代以来，经历了多次强烈的构造运动，各种构造非常发育，对各类地层、岩体、矿产、地热矿泉水的形成及分布起着重要的控制作用。主要以 EW 向、NE 向、NW 向和 NNE 向构造为主，由于这些构造成生较早，普遍受到后期构造的强烈干扰。区域性多次活动断裂带及其复合部位深度较大，岩石破碎，岩石裂隙发育导水性较好，同时由于岩浆活动、地震等的影响，为地下矿水的形成、补给、

循环、出露创造了有利的条件。

2 样品采集与研究方法

2017 年 8 月至 10 月期间在宁都县全县采样 44 组，取水样方法严格按照中国地质调查局发布的《水样采集与送检技术要求》进行，所取水样在国土资源部南昌矿产资源监督检测中心分析测定，依据 GB/T8538—2008《饮用天然矿泉水检验方法》进行了检测。分析项目包括 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻、NO₃⁻、F⁻、NO₂⁻、Br⁻、I⁻、Li、Sr、Zn、Se、Cu、Hg、Cd、Ba、Cr、Pb、Co、V、Mo、Mn、Ni、As、Ag、Al³⁺、CN⁻、Fe²⁺、Fe³⁺、NH₄⁺、H₂SiO₃、游离 CO₂、总硬度、挥发性酚类、溶解性固体总量、高锰酸盐指数、硼酸(以 B 计)、菌落总数、大肠菌群、色度、浑浊度、臭和味、肉眼可见物、pH。结合地质、构造、地貌因素，探寻矿泉水的分布与成因，分析水质找寻矿泉水特征组分来源。

3 结果

(1)感官指标：无色无异臭，无肉眼可见物，色度≤5 度，浑浊度<1 度，水温 16~25 ℃，pH 值范围 6.55~7.85，总碱度 26.45~180.77 mg/L，总酸度 1.23~26.15 mg/L。

(2)界限指标：GB 8537—2008《饮用天然矿泉水》要求，偏硅酸含量在 25.0~30.0 mg/L 范围时，水温必需在 25 ℃以上，其中 36 组样品偏硅酸含量 30.72~48.56 mg/L，5 组样品偏硅酸含量 25.58~29.40 mg/L，但水温未超过 25℃，还有 3 组样品偏硅酸含量 11.36~22.88 mg/L。宁都县矿泉水界限指标见表 1。

(3)限量指标：含量均在规定允许范围内，达到饮用天然矿泉水国家标准。

(4)经测定酚类物质、氰化物、亚硝酸盐等含量，总 β 活性以及大肠杆菌、各细菌总数等各项指标均符合饮用天然矿泉水标准。

(5)水化学类型：矿泉水中所含阴离子以 HCO₃⁻和 Cl⁻为主，阳离子以 Ca²⁺和 Na⁺为主，水化学类型以 HCO₃-Ca·Na 型水为主，HCO₃-Ca 型水次之。总硬度

表 1 宁都县矿泉水界限指标
Table 1 Limit index of mineral water in Ningdu County

项目	界限指标/(mg/L)	检测含量/(mg/L)	评价
锂	≥0.20	0.014~0.01	未达标
锶	≥0.20(含量在 0.2~0.4 mg/L 范围时，水温必需在 25℃以上)	0.008~0.108	未达标
锌	≥0.20	0.001~0.011	未达标
碘化物	≥0.20	0.006~0.016	未达标
偏硅酸	≥25.0(含量在 25.0~30.0 mg/L 范围时，水温必需在 25℃以上)	11.36~48.56	36 组样品达标，8 组样品不达标
硒	≥0.01	<0.002	未达标
游离二氧化碳	≥250	1.09~22.99	未达标
溶解性总固体	≥1 000	37.93~228.16	未达标

表 2 宁都县偏硅酸矿泉水水化学特征
Table 2 Water and water chemical characteristics of metasilicate mineral spring in Ningdu County

项目	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数
溶解性总固体/(mg/L)	228.16	37.93	90.70	34.86	0.38
总硬度/(mg/L)	193.42	10.66	36.44	33.94	0.93
K ⁺ /(mg/L)	13.73	0.92	2.53	2.22	0.88
Na ⁺ /(mg/L)	13.56	1.17	5.52	2.18	0.39
Ca ²⁺ /(mg/L)	53.20	3.94	12.28	9.78	0.80
Mg ⁺ /(mg/L)	15.77	0.20	1.40	2.60	1.85
Cl ⁻ /(mg/L)	15.41	0.03	3.72	3.71	1.00
SO ₄ ²⁻ /(mg/L)	37.63	0.07	2.26	5.61	2.49
HCO ₃ ⁻ /(mg/L)	220.41	32.26	67.74	32.76	0.48
NO ₃ ⁻ /(mg/L)	25.61	0.03	2.82	5.26	1.87
偏硅酸/(mg/L)	48.56	8.88	34.15	8.04	0.24

范围 10.66~58.15 mg/L, 属于极软水, 溶解性总固体 37.93~228.16 mg/L, 为淡水。宁都县偏硅酸矿泉水水化学特征如表 2。

4 讨论

4.1 矿泉水分布及划分矿泉水田

4.1.1 小布矿泉水田

分布在宁都县西北部基岩山区, 侵蚀构造高低山地形及侵蚀剥蚀构造高丘陵地形, 为燕山期花岗岩, 岩性以细粒黑云母花岗岩、细粒斑状二云母花岗岩、中细粒似斑状黑云母花岗岩为主, 构造主要以 EW 向、NE 向、NW 向和 NNE 向为主。含水岩组为风化带网状裂隙水, 地下水赋存在风化裂隙中, 富水性与岩石规模、风化程度密切相关。中粗粒似斑状花岗岩颗粒较粗, 风化厚度较大, 强风化带厚 15~25 m, 中等风化带厚 5~10 m; 中细粒花岗岩的风化带厚度较小, 一般强风化带厚度 5~10 m, 中等风化带厚 3~5 m。水化学类型为 HCO₃-Ca·Na 和 HCO₃-Ca 型水, 溶解性总固体 49.27~122.87 mg/L, 其中偏硅酸含量 27.28~44.41 mg/L, 偏硅酸含量最大值是中国饮用天然矿泉水标准的 1.48 倍。矿泉水流量平均约 31.69 m³/d, 水量充足完全满足人均日需水量。矿泉水田划分图见图 2。

4.1.2 竹窄—田头矿泉水田

位于从竹窄乡至田头镇的基岩山区, 属于水量贫乏的风化带网状裂隙水, 含水岩组主要为燕山期中细粒似斑状黑云母花岗岩, 岩石强风化厚度一般 5~15 m, 局部大于 20 m, 地貌形态为侵蚀剥蚀构造高丘陵地形。水化学类型为 HCO₃-Ca·Na 型水, 溶解性总固体 58.52~83.55 mg/L, 其中偏硅酸含量 34.12~44.39 mg/L, 偏硅酸含量最大值是中国饮用天然矿泉水标准的 1.48 倍。矿泉水流量平均约 6.16 m³/d, 水量较小但完全满足人均日需水量, 水

温在 20℃左右。

4.1.3 田埠-固村矿泉水田

分布在田埠镇和固村镇, 侵蚀构造高低山地形

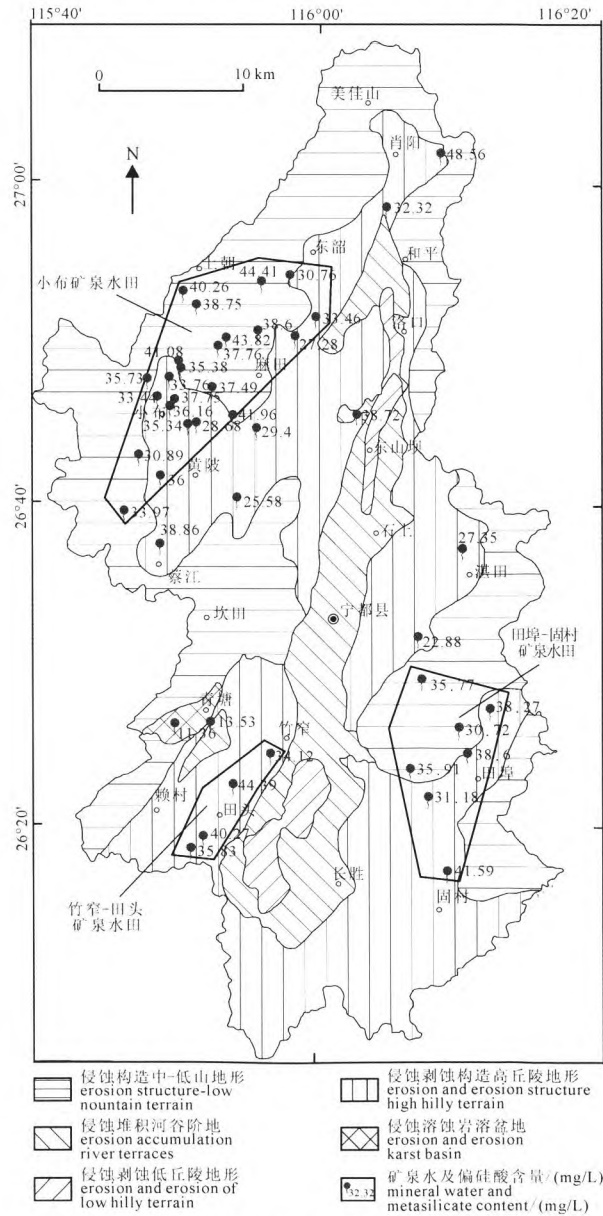


图 2 矿泉水田划分图
Fig. 2 Division of mineral water field

及侵蚀剥蚀构造高丘陵地形, 含水岩组由加里东期斑状黑云母交代花岗岩、燕山期中粗粒斑状黑云母花岗岩组成。岩石颗粒较粗, 风化强烈, 强风化带一般厚 10~20 m, 该区年降水量 1 550~1 750 mm, 降水渗入补给条件较好, 地下水多以泉或散流形式排入沟谷。水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水, 溶解性总固体 62.93~84.55 mg/L, 其中偏硅酸含量 30.72~38.60 mg/L, 水温约 20℃。矿泉水流量平均约 10.48 m³/d, 水量一般但完全满足人均日需水量。

4.2 成因初探

4.2.1 矿泉水赋存的地质环境特性

宁都属赣南中低山丘陵区, 丘陵、山地覆盖全县 79%。地形地貌对矿泉水的形成及出露起着重要作用, 矿泉水的出露条件与地表的切割、侵蚀及剥蚀作用的强弱有着十分密切的关系。宁都县地形地貌根据成因类型及形态特征可划分为: 侵蚀构造中-低山地形、侵蚀剥蚀构造高丘陵地形、侵蚀溶蚀岩溶盆地。

侵蚀构造中-低山地形山高林立、植被发育、切割较深, 一方面断裂构造发育, 岩浆活动强烈, 有利于矿泉水的赋存; 另一方面降水量较大, 凝结水较多, 使矿泉水有充足的补给来源。同时, 地下水循环条件好, 使地下水在运移途中得以充分溶解或溶滤围岩的矿物质, 为矿泉水的形成创造了良好的水化学条件; 侵蚀剥蚀构造高丘陵地形往往是断裂构造发育处, 为矿泉水的贮存, 运移提供了良好的场所, 同时地形高差较大, 切割较深, 而矿泉水都具承压性, 在低洼处常有矿泉水以上升泉的形式出露地表。

区内以 NNE 向、NE 向构造为主体, 组成构造骨架, 对地壳运动、地壳结构及成岩作用都有深远的影响, 是控制矿泉水的主要构造(冯永胜等, 2012)。区域内断裂规模大小不一, 在断裂带及其附近裂隙发育, 岩石破碎, 有利于大气降水的人渗, 并为矿泉水的运移、贮存提供了良好的空间, 地下水循环深度相对较浅, 循环途径较短, 属于浅循环泉。以 SQ024 上金行老泉为例, 说明矿泉水赋存的地质环境特性。

上金行老泉(图 3), 地处宁都县洛口镇金竹村, 泉点位于低山区山坡坡脚, 海拔高程 465 m, 出露地层岩性为黑云母二长花岗岩, 风化带厚度 3~5 m, 风化面为灰白色, 花岗岩风化壳的孔隙率、吸水率等指标随风化程度的加深而增大(林军, 2006), 风化壳内构造裂隙较为发育, 水溶液流动性较好(葛坦和韩江伟, 2009)。泉水补给源主要是大气降水, 补给区汇水面积有限, 流量较小, 为 34.56 m³/d。泉点

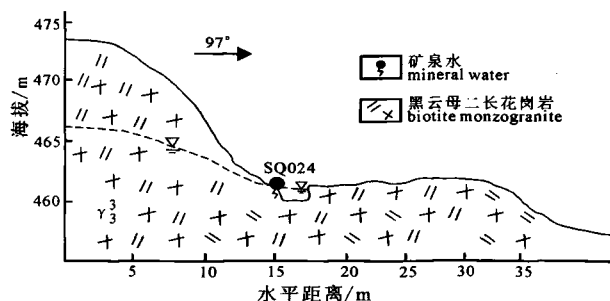


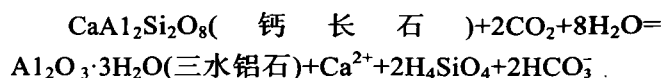
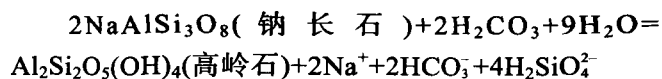
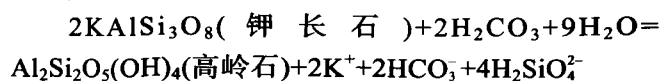
图 3 上金行老泉剖面示意图
Fig. 3 Sketch section of Shangjinxing

位于 NE 向断裂带上, 属于控水构造, 断裂规模小, 地下水循环路径短、深度小, 在循环最低处沿裂隙涌出形成泉水, 虽然循环路径较短, 但是流经岩层风化程度高, 裂隙发育程度好, 地下水在重力作用下, 由高处向低处沿裂隙流动, 地下水与岩石能进行充分的水岩作用, 而溶滤作用与时间呈正相关(张保建等, 2015; 苏春田等, 2017), 在地下水长期溶滤作用下, 岩层析出 SiO_2 溶于地下水并随其运移富集(尹喜霖, 2001), 偏硅酸含量 37.76 mg/L, 水温 20℃。

4.2.2 物源基础

偏硅酸主要由非晶质二氧化硅水解而成, 二氧化硅广泛存在于各种岩石和矿物中, 他们是石英、铝硅酸盐、黏土矿物等, 硅在地壳中的丰度仅次于氧, 尤其是在花岗岩、砂岩中含量最高, 根据区域地质普查资料, 宁都县丘陵山区花岗岩主要矿物含量: 斑晶钾长石 15%、石英 8%、斜长石 5%、黑云母 3%; 基质钾长石 36%、石英 18%、斜长石 15%。属于富硅、富碱、高钾、强铝过饱和酸性岩脉。表 3 列出了宁都县岩体岩石化学成分, 其中含有较丰富的 SiO_2 , 含量均高于中国、世界花岗岩平均水平(史长义等, 2005), 为矿泉水的形成提供了物质基础。

宁都县矿泉水中偏硅酸普遍偏高, 与含水岩组的岩石成分密切相关, 偏硅酸主要是地下水循环过程中来自硅酸盐和铝硅酸盐矿物的溶解(郭文祥, 2015), 水解作用如下:



长石类矿物风化水解形成可溶 SiO_2 和高岭石, 长石在水解反应中, 如果有 CO_2 加入, 反应会加剧(张玉敏等, 2011), 其径流区植被覆盖率普遍在 90% 以上, 土壤呼吸作用较为强烈, 产生大量二氧化碳富集, 这在一定程度上使地下水中游离二氧化碳和

表 3 宁都县岩体岩石化学成分表
Table 3 Chemical composition table of rock in Ningdu County

名称	含量/%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MgO
宁都县花岗斑岩		75.75	14.45	0.05	0.64	0.43	0.03	0.04	0.19	5.24	0.01	0.10
宁都县花岗岩脉		75.80	13.54	0.13	0.69	0.73	0.05	0.64	3.48	4.68	0.05	0.13
中国花岗岩(史长义等, 2005)		72.20	14.20	0.28	1.05	0.88	0.05	1.35	3.54	4.32	0.09	0.52
世界花岗岩(黎形等, 1998)		71.63	14.00	0.29	1.75	1.28	0.06	1.73	3.62	4.09	0.09	0.88

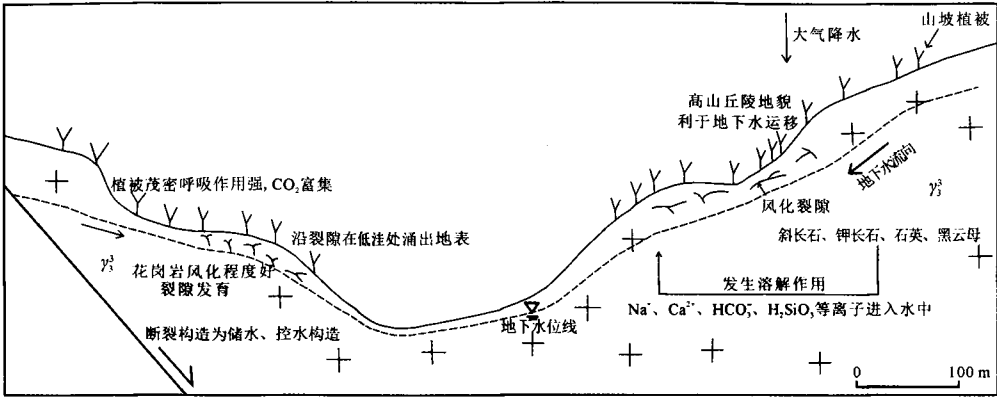


图 4 矿泉水形成模式图
Fig. 4 Pattern diagram of mineral water formation

碳酸氢根离子含量富集。偏硅酸在水中以胶体形式存在，部分直接浸入水中，部分被高岭石吸附沉淀并在特定环境中释放到水中，形成本区矿泉水中的偏硅酸。

4.3 矿泉水形成模式

本区矿泉水多以泉的形式出露，分布在山谷两侧，沿断裂呈线状分布，其径流、排泄受断裂控制。影响矿泉水出露的断裂多为小规模断裂，径流途径较短，循环深度较浅，断裂构造破坏了岩石的完整性，经历了多次反复活动，岩石破碎，影响带内构造裂隙十分发育，为矿泉水的贮存、运移提供了良好的空间，同时也为矿泉水的出露提供了有利的通道，尤其是断裂交汇及转折处。山区大气降水入渗形成基岩裂隙水，在沿风化裂隙向下径流过程中，淋溶所流经地层岩石矿物成分，并不断富集，多形成偏硅酸单一型矿泉水，属于裂隙浅循环淋溶型矿泉水，其特征是水温低(小于 25℃)，溶解性总固体及氟含量也较低。矿泉水形成模式图见图 4。

5 结论

(1)在宁都县取矿泉水样 44 组，有 36 组水样界限指标偏硅酸、感官要求、理化要求符合《饮用天然矿泉水》(GB 8537—2008)要求，属于优质偏硅酸矿泉水。偏硅酸矿泉水水化学类型以 HCO₃-Ca·Na 为主，偏硅酸含量 30.72~48.56 mg/L，溶解性总固体 51.52~153.53 mg/L，水温约 20℃。

(2)区内 NNE 向、NE 向构造是控制矿泉水的主要构造，构造带附近岩石破碎有利于大气降水渗入，

并沿裂隙向下径流。侵蚀构造丘陵山地，地形切割程度较深，为矿泉水的贮存、运移提供良好的场所。宁都县花岗岩中 SiO₂ 含量均高于中国、世界花岗岩平均水平，地下水在运移途中充分溶解或溶滤围岩的硅酸盐和铝硅酸盐矿物。

(3)依据宁都县矿泉水分布特征，总结赣南山区矿泉水特征：矿泉水分布在山区沟谷两侧，类型为裂隙浅循环淋溶型，属于浅循环泉，流量不大，一家一泉满足日常需水量；地貌为侵蚀构造中-低山地形及侵蚀剥蚀构造高丘陵地形，植被茂密，地形起伏大；矿泉水分布在断裂带两侧，出露花岗岩，风化程度高，裂隙十分发育，矿泉水以泉的形式沿裂隙出露地表。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20179262).

参考文献:

方捷, 曾勇, 刘一, 沈雪华. 2018. “地质调查+”支撑服务脱贫攻坚模式探索与实践——以赣南苏区为例[J]. 地球学报, 39(5): 559-564.

冯永胜, 余承海, 傅玉. 2012. 吉林省桦甸市矿泉水成因分析[J]. 吉林地质, 31(3): 105-107.

葛坦, 韩江伟. 2009. 涠洲岛和斜阳岛红色风化壳粘土矿物和化学特征及成土环境研究[J]. 中国地质, 36(1): 203-213.

郭文祥. 2015. 韩城龙饮天然饮用矿泉水成因分析[J]. 中国煤炭地质, 27(1): 44-46, 49.

黎形, 袁怀雨, 吴胜昔. 1998. 中国花岗岩类和世界花岗岩类平

- 均化学成分的对比研究[J]. 大地构造与成矿学, 22(1): 29-34.
- 李倩玉, 梅应春, 王晨晨, 王亚莉. 2017. 黄山市黟县天然饮用矿泉水成因分析[J]. 地下水, 39(06): 48-49.
- 李树. 2012. 靖宇玄武岩矿泉水中特征组分(HSiO_3^- 、 Sr^{2+})成因的实验研究[D]. 长春: 吉林大学.
- 连志宁, 张沁瑞. 2012. 江西省矿泉水类型、分布规律及成因分析[J]. 大科技, (12): 267-268.
- 林军. 2006. 海峡西岸城市群地质环境特征研究[J]. 中国地质, 33(2): 444-450.
- 刘大任. 1994. 赣南饮用天然矿泉水的构造控制作用[J]. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 37-46.
- 史长义, 鄢明才, 刘崇民, 迟清华, 胡树起, 顾铁新, 卜维, 鄢卫东. 2005. 中国花岗岩类化学元素丰度及特征[J]. 地球化学, 34(5): 470-482.
- 苏春田, 张发旺, 夏日元, 姚昕, 邹胜章, 罗飞, 赵光帅, 杨杨, 巴俊杰, 李小盼. 2017. 湖南新田发现大型富锶矿泉水及机理研究[J]. 中国地质, 44(5): 1029-1030.
- 孙鹏飞, 易齐涛, 许光泉. 2014. 两淮采煤沉陷积水区水体水化学特征及影响因素[J]. 煤炭学报, 39(7): 1345-1353.
- 孙逊, 高志华, 李路华. 2008. 二氧化硅和锶的地球化学迁移影响因素研究[J]. 安徽农业科学, 36(8): 3346-3347.
- 孙逊, 张伟, 马林, 王作友. 1995. 盘山矿泉水形成机理的实验研究[J]. 地质找矿论丛, 10(1): 85-93.
- 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, BARTHOLD F, BREUER L, FREDE H G. 2014. 锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素[J]. 环境科学, 35(1): 131-142.
- 王蕾, 肖长来, 梁秀娟, 姜薇, 闫佰忠, 李树, 王悦刚. 2013. CO_2 对矿泉水中 Sr^{2+} 、 SiO_2 形成过程的影响实验研究——以靖宇县为例[J]. 节水灌溉, (10): 41-43, 48.
- 王新峰, 宋绵, 龚磊, 肖攀, 何锦, 刘元曙. 2018. 赣南缺水地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.
- 尹喜霖. 2001. 三江平原的偏硅酸水[J]. 地下水, 23(3): 146-149.
- 张保建, 刘福义, 高宗军, 张凤禹, 郝栓虎, 臧建军. 2015. 鲁西北地区理疗热矿水的形成条件及找矿靶区[J]. 中国地质, 42(4): 1170-1178.
- 张洪志, 吕欣. 2015. 克山县天然矿泉水分布与形成机制分析[J]. 黑龙江水利科技, 43(9): 28-32.
- 张玉敏, 赵焱, 杨洁诺, 安鹏飞. 2011. 双城盆地矿泉水地球化学特征与成因探讨[J]. 能源研究与管理, (2): 44-46.
- 周训, 胡伏生, 何江涛. 2014. 地下水科学概论[M]. 北京: 地质出版社.
- 周训, 李晓露, 王蒙蒙, 王洁青, 郭娟, 刘海生, 杨苗林, 王晓翠, 任振华, 郑玉慧. 2017. 浅循环泉简析[J]. 水文地质工程地质, 44(5): 1-5.
- Poverty Alleviation Model: A Case Study of South Ganzhou[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(5): 559-564(in Chinese with English abstract).
- FENG Yong-sheng, YU Cheng-hai, FU Yu. 2012. Genesis analysis of mineral water in Huadian City, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 31(3): 105-107(in Chinese with English abstract).
- GE Tan, HAN Jiang-wei. 2009. Characteristics of clay minerals and geochemistry and soil-forming environment of the red weathering crusts in Weizhou Island and Xieyang, Guangxi Island[J]. Geology in China, 36(1): 203-213(in Chinese with English abstract).
- GUO Wen-xiang. 2015. Genetic analysis of longyin natural drinking mineral water in Hanchen[J]. Coal Geology of China, 27(1): 44-46, 49(in Chinese with English abstract).
- LI Qian-yu, MEI Ying-chun, WANG Chen-chen, WANG Ya-li. 2017. Genetic analysis of natural drinking mineral water in Yixian County, Huangshan City[J]. Ground Water, 39(06): 48-49(in Chinese with English abstract).
- LI Shu. 2012. Experimental study of the characteristic component (Sr^{2+} 、 SiO_2) genesis of the mineral water in the basalt[D]. Changchun: Jilin University(in Chinese with English abstract).
- LI Tong, YUAN Huai-yu, WU Sheng-xi. 1998. On the average chemical composition of granitoids in China and the world[J]. Geotectonica et Metallogenia, 22(1): 29-34(in Chinese with English abstract).
- LIAN Zhi-ning, ZHANG Qin-rui. 2012. Types, distribution and cause analysis of mineral water in Jiangxi[J]. Big Technology, (12): 267-268(in Chinese with English abstract).
- LIN Jun. 2006. Geo-environmental characteristics in cities of southern Fujian at the west coast of the Taiwan Strait[J]. Geology in China, 33(2): 444-450(in Chinese with English abstract).
- LIU Da-ren. 1994. Steuctural control of mineral water in Gannan area province[J]. Bulletin of the Institute of Geomechanics Cags, 37-46(in Chinese with English abstract).
- SHI Chang-yi, YAN Ming-cai, LIU Chong-min, CHI Qing-hua, HU Shu-qi, GU Tie-xin, BU Wei, YAN Wei-dong. 2005. Abundances of chemical elements in granitoids of China and their characteristics[J]. Geochimica, 34(5): 470-482(in Chinese with English abstract).
- SU Chun-tian, ZHANG Fa-wang, XIA Ri-yuan, YAO Xin, ZOU Sheng-zhang, LUO Fei, ZHAO Guang-shuai, YANG Yang, BA Jun-jie, LI Xiao-pan. 2017. A study of the water-rock interaction of large rich Sr mineral spring in Xintian, Hunan Province[J]. Geology in China, 44(5): 1029-1030(in Chinese with English abstract).
- SUN Peng-fei, YI Qi-tao, XU Guang-quan. 2014. Characteristics of water chemistry and their influencing factors in subsidence waters in the Huainan and Huaibei mining areas, Anhui

References:

FANG Jie, ZENG Yong, LIU Yi, SHEN Xue-hua. 2018. Exploration and Practice of "Geological Survey +" Supporting

- Province[J]. Journal of China Coal Society, 39(7): 1345-1353(in Chinese with English abstract).
- SUN Xun, GAO Zhi-hua, LI Lu-hua. 2008. Study on the factors influencing geochemical migration of silicon dioxide and strontium[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 36(8): 3346-3347(in Chinese with English abstract).
- SUN Xun, ZHANG Wei, MA Lin, WANG Zuo-you. 1995. Test of mechanism for mineral water in panshan area[J]. Contributions To Geology and Mineral Resources Research, 10(1): 85-93(in Chinese with English abstract).
- TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, ZHANG Ming-quan, BARTHOLD F, BREUER L, FREDE H-G. 2014. Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls[J]. Environmental Science, 35(1): 131-142(in Chinese with English abstract).
- WANG Lei, XIAO Chang-lai, LIANG Xiu-juan, JIANG Wei, YAN Bai-zhong, LI Shu, WANG Yue-gang. 2013. Experimental study on the influence of CO₂ on the formation of Sr²⁺ and SiO₂ in mineral water—Taking Jingyu County as an example[J]. Water Saving Irrigation, (10): 41-43, 48(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).
- abstract).
- YIN Chun-lin. 2001. Metasilicate water in the Sanjiang plain[J]. Ground Water, 23(3): 146-149(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Bao-jian, LIU Fu-yi, GAO Zong-jun, ZHANG Feng-yu, HAO Shuan-hu, ZANG Jian-jun. 2015. Formation conditions and prospecting targets of physiotherapy geothermal mineral water in northwest Shandong Province[J]. Geology in China, 42(4): 1170-1178(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Hong-zhi, LÜ Xin. 2015. Analysis of the distribution and formation mechanism of natural mineral water in Keshan County[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 43(9): 28-32(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yu-min, ZHAO Yan, YANG Jie-nuo, AN Peng-fei. 2011. Primary discussion of deochemistry characteristic and formation of the mineral water in the Shuangcheng Basin[J]. Energy Research and Management, (2): 44-46(in Chinese).
- ZHOU Xun, HU Fu-sheng, HE Jiang-tao. 2014. Introduction to groundwater sciences[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHOU Xun, LI Xiao-lu, WANG Meng-meng, WANG Jie-qing, GUO Juan, LIU Hai-sheng, YANG Miao-lin, WANG Xiao-cui, REN Zhen-hua, ZHENG Yu-hui. 2017. A preliminary analysis of the springs of shallow groundwater circulation[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 44(5): 1-5(in Chinese with English abstract).