

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.02.008

引用格式: 李云峰, 张庆, 周小平, 等. 安庆大别山区矿泉水化学特征及成因模式[J]. 华东地质, 2021, 42(2): 193-201.

# 安庆大别山区矿泉水化学特征及成因模式

李云峰<sup>1</sup>, 张庆<sup>1</sup>, 周小平<sup>1</sup>, 陆远志<sup>1</sup>, 牛晓楠<sup>1</sup>, 赵晓丹<sup>1</sup>, 周训<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016;

2. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083)

**摘要:** 安庆大别山区位于大别山造山带东侧, 调查研究了该区饮用天然矿泉水6处(锶偏硅酸型2处, 锶型1处, 偏硅酸型3处), 理疗天然矿泉水硅酸水3处。在分析矿泉水的水化学特征和环境同位素特征的基础上, 进一步探讨其成因模式。冷泉(井)水(AH1、AH3、AH4、AH5、AH8和AH9)的主要离子为 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{HCO}_3^-$ , 水化学类型为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Ca}$ 型、 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型或 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型, TDS值为90~239 mg/L; 温泉(AH2、AH6和AH7)的主要离子为 $\text{Na}^+$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ , 水化学类型为 $\text{SO}_4 - \text{Na}$ 型或 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Na}$ 型, TDS值为253~426 mg/L。利用 $\delta^2\text{H}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值估算的冷泉水的补给区高程为217~346 m, 平均温度为17.7℃; 温泉水的补给区高程为457~668 m, 平均温度为12.6℃。9处矿泉水均为大气降水补给, 沿断裂带或裂隙带历经一定深度的循环, 在山谷、河谷地带出露地表。温泉地下水的循环深度大、水-岩作用时间长, TDS值、特征化学组分含量均高于冷泉水。

**关键词:** 大别山区; 矿泉水; 地下水化学特征; 成因模式

**中图分类号:** P641.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2021)02-193-09

天然矿泉水属于特殊类型的地下水。饮用天然矿泉水国家标准<sup>[1]</sup>规定: 偏硅酸含量界限值 $\geq 25$  mg/L, 锶含量界限值 $> 0.2$  mg/L。饮用天然矿泉水作为绿色饮品, 长期饮用对人体具有一定的保健功效<sup>[2]</sup>。理疗天然矿泉水偏硅酸含量界限值 $> 50$  mg/L, 锶含量界限值 $> 10$  mg/L, 经常浴疗对人体具有理疗作用<sup>[3]</sup>。矿泉水的开发及利用在旅游、娱乐、饮用、医疗保健、温室种植等方面可以形成相应产业, 获得明显的社会、经济和环境效益<sup>[4]</sup>。

安徽省安庆市西北部大别山区(包括岳西县、桐城市、潜山市、太湖县及宿松县部分地区)位于北淮阳地层区, 地处大别山造山带东侧, 是国家级生态环境保护区, 也是长江流域重要的生态屏障之一<sup>[5]</sup>。该区降雨较充沛, 地形起伏, 沟谷众多, 地质构造复杂, 侵入岩类和变质岩类广泛分布<sup>[6]</sup>, 断裂发育, 具备天然矿泉水(包括饮用矿泉水和理疗矿泉

水)形成的基本条件。该区发现的主要饮用天然矿泉水类型为偏硅酸水、锶水、碘水以及复合类型的锶-偏硅酸水<sup>[7]</sup>, 大多数赋存于酸性侵入岩及混合片麻岩中<sup>[8]</sup>。目前, 该区关于矿泉水化学特征的研究不多<sup>[7-9]</sup>, 成因模式分析也不够深入。本文通过分析安庆市西北部大别山区出露的9处矿泉水形成的地质条件、化学成分及氢-氧环境同位素特征, 研究水化学成分的形成机理, 探讨矿泉水的成因模式, 为进一步保护该区矿泉水资源, 支撑当地合理开发利用矿泉水资源提供参考。

## 1 地质背景

研究区地层较齐全, 除了下泥盆统、中泥盆统和新近系缺失外, 其他地层均有出露<sup>[10-11]</sup>(图1)。前寒武系为一套区域变质片岩、片麻岩; 寒武系、奥陶系为浅海相碳酸盐岩及碎屑岩沉积; 志留系、泥

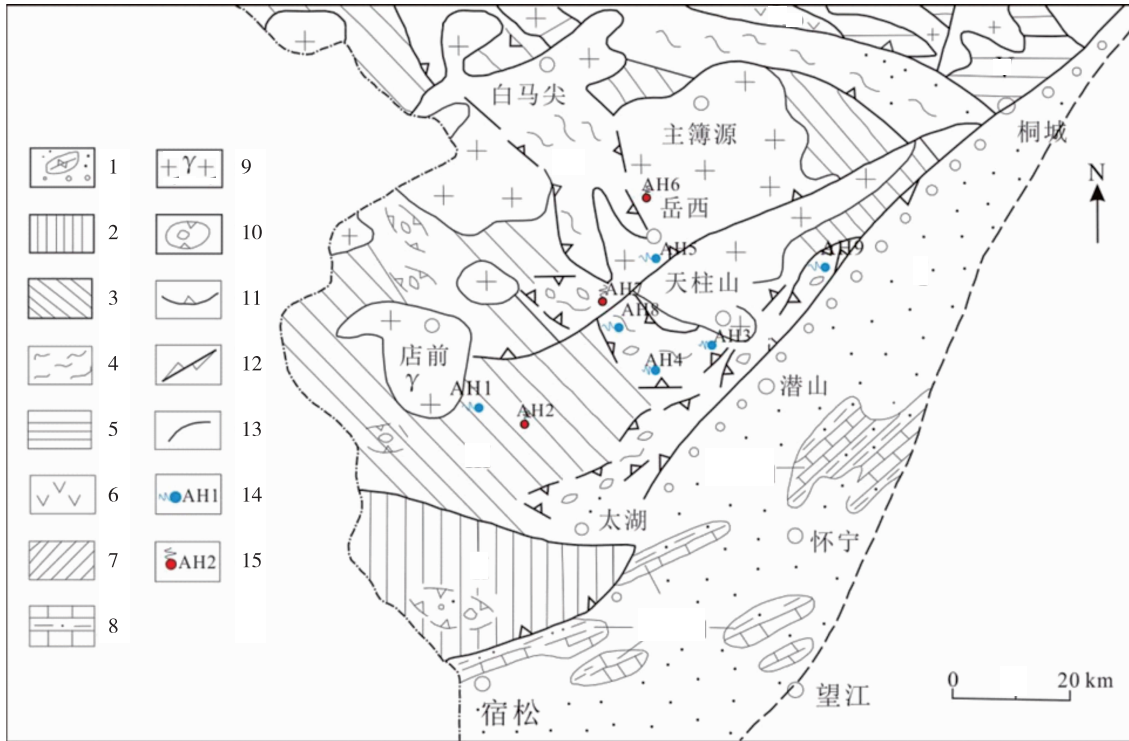
\* 收稿日期: 2021-02-14 修订日期: 2021-04-15 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局“安庆多要素城市地质调查项目(编号: DD20189250)”项目资助。

第一作者简介: 李云峰, 1985年生, 男, 高级工程师, 主要从事城市地质、水文地质调查及研究工作。Email: liyf@mail.cgs.gov.cn。

盆地以碎屑沉积为主;石炭系为浅海相碳酸盐岩及碎屑岩沉积;二叠系为浅海相碳酸岩、硅质岩及海陆交替相碎屑岩、含煤岩系;三叠系为浅海相碳酸盐岩、碎屑岩及三角洲相红色碎屑岩沉积;中侏罗

统一下侏罗统为陆相碎屑岩及含煤岩系;上侏罗统为安山岩;古近系是干燥炎热气候条件下河湖相沉积的紫色碎屑岩;第四系为河流湖泊相碎屑沉积物<sup>[12-13]</sup>。



1.前陆褶皱冲断带和磨拉斯盆地;2.扬子大陆板块俯冲或活化盖层(张八岭群和宿松群);3.扬子大陆板块俯冲基底(大别群);4.变质蛇绿混杂岩带;5.弧前复理石(佛子岭群)推覆体和反向褶皱冲断;6.上侏罗统安山岩;7.石炭系梅山群;8.震旦系一下三叠统;9.花岗岩;10.榴辉岩类;11.冲断带;12.走滑断层;13.地质界线;14.冷泉采样点及编号;15.温泉采样点及编号

图1 研究区构造地质图及采样位置示意图<sup>[14]</sup>

Fig. 1 Structural geology and sampling locations of the study area<sup>[14]</sup>

## 2 采样点信息

安庆多要素城市地质调查项目分别于2019年6月和8月开展2次野外调查和采样,调查了9个泉(井)水点,分别为太湖县牛镇镇禅源村冷泉(AH1, 19.0℃)、太湖县汤泉乡汤湾温泉(花亭湖温泉)(AH2, 46.3℃)、潜山市天柱山镇冷泉(AH3, 18.8℃)、潜山市横中镇“千年古井”冷(泉)(AH4, 19.1℃)、岳西县响肠镇冷泉(AH5, 18.6℃)、岳西县温泉镇温泉(汤池堰温泉)(AH6, 51.0℃)、岳西县菖蒲镇溪沸温泉(AH7, 40.0℃)、岳西县菖蒲镇水畈村冷泉(AH8, 20.0℃)和潜山市源潭镇胡家水井(AH9, 18.3℃)。采集了1份雨水样(AHYS1, 30.6℃),采样地点与岳西县温泉镇温泉(AH6)为

同一位置(图1)。

## 3 分析方法

### 3.1 水化学分析方法

水化学组分测试根据《GB/T 5750.6/22.2—2006 生活饮用水标准检验方法》<sup>[15]</sup>,  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$  和  $F^-$  含量依据《DZ/T 0064.51—1993 地下水水质检验方法》<sup>[16]</sup> 采用离子色谱法测定,  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $HCO_3^-$  和  $CO_3^{2-}$  依据《DZ/T 0064.49—1993 地下水水质检验方法》<sup>[17]</sup> 采用滴定法测定。微量元素 Li、Sr、Sc、Rb、Cs、W 和 Fe 含量依据《DZ/T 0064.80—1993 地下水水质检验方法》<sup>[18]</sup> 采用等离子体质谱法测定。 $Br^-$ 、 $I^-$ 、偏硅酸和偏硼酸含量采用分光光度法测定。TDS

依据《DZ/T 0064.9—1993 地下水水质检验方法》<sup>[19]</sup>中溶解性总固体的测定方法进行测定。

为保证水样测试结果的准确性,用阴离子和阳离子毫克当量总数进行校正。一般电解质溶液呈中性,即阴离子、阳离子在毫克当量总量上相等。本次采用阴离子和阳离子毫克当量百分数平衡方程式检查水质分析结果的准确度,分析误差 $<5\%$ ,具体方程式为

$$\delta = (\sum K - \sum A) / (\sum K + \sum A) \times 100\% \leq 5\%, \quad (1)$$

式中: $\delta$ 为分析平衡误差, $\%$ ;  $\sum K$ 为阴离子毫克当量总数; $\sum A$ 为阳离子毫克当量总数。本文分析的离子为取得的各水样中的常量离子,经计算,各水样的分析误差为 $0.89\% \sim 2.23\%$ ,所有水样的分析平衡误差均 $<5\%$ ,说明水质分析结果合理。

### 3.2 同位素分析方法

泉水的稳定同位素  $\delta^2\text{H}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  依据《DZ/T 0184.19—1997 水中氢同位素锌还原法测定》<sup>[20]</sup> 和《DZ/T 0184.21—1997 天然水中氧同位素二氧化碳-水平衡法测定》<sup>[21]</sup>,用 MAT253EM 质谱计进行测定,分析精度约 $2\%$ 。

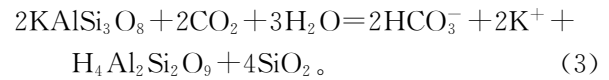
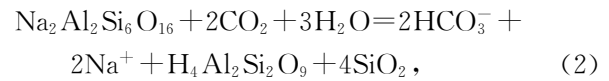
所有水化学组分、 $\delta^2\text{H}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  同位素均在中国地质科学院水文地质环境地质研究所实验室完成测定。

## 4 结果与讨论

### 4.1 水化学特征

利用 AqQA 软件进行水化学特征分析,将研究区泉水的主要离子含量数据导入 AqQA 软件中,绘制 Stiff 图(图 2)。可以看出,温泉水样 AH2、AH6、AH7 主要阴离子均为  $\text{SO}_4^{2-}$ ,阳离子为  $\text{Na}^+$ 。其余为冷泉(井)水,主要阴离子为  $\text{HCO}_3^-$ ,主要阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ 。

已有研究<sup>[22]</sup>表明, $\text{HCO}_3^-$ -Ca 型水主要出现在水交替强烈的地区,岩石经过长期冲刷,大部分易溶盐类组分被带走,形成 TDS 值很低的  $\text{HCO}_3^-$ -Ca 型水。 $\text{HCO}_3^-$  主要来自含碳酸盐矿物溶解或硅酸盐矿物水解, $\text{Ca}^{2+}$  主要来自白云石、石膏、花岗岩中的钙长石等矿物溶解。研究区主要发育中酸性侵入岩和变质岩,硅酸盐矿物水解是泉(井)水主导的水化学作用,如公式(2)和公式(3)所示。



根据舒卡列夫分类,将研究区水样中毫克当量百分数 $>25\%$ 的阴离子和阳离子排序,得到各水样的水化学类型(表 1)。

温泉点汤湾温泉(AH2)、温泉镇温泉(AH6)和溪沸温泉(AH7)阳离子以  $\text{Na}^+$  为主,阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主。冷泉(井)水主要阴离子为  $\text{HCO}_3^-$ 、阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ 。泉(井)水  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  含量为  $19.02 \sim 90.26 \text{ mg/L}$ (图 3)。AHYS1 雨水样  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  含量为  $8.45 \text{ mg/L}$ 。第四系水样(AH9) $\text{H}_2\text{SiO}_3$  含量为  $19.02 \text{ mg/L}$ ,未达到饮用天然矿泉水界限值( $\geq 25 \text{ mg/L}$ ),其余泉水均达标。温泉(AH2、AH6、AH7) $\text{H}_2\text{SiO}_3$  含量均超过理疗天然矿泉水水质指标( $>50 \text{ mg/L}$ ),可命名为硅酸水,具有一定的理疗效果<sup>[2]</sup>。在近代矿泉医学中,用硅酸矿泉水沐浴来治疗湿疹、荨麻疹等疾病的效果已得到确认<sup>[23]</sup>。

从泉水的偏硅酸含量与温度、TDS 关系图(图 4)可以看出,偏硅酸含量随着温度和 TDS 的增高而增高,反映了温泉水循环深度更深,水-岩作用时间更长。

利用 AquaChem 软件绘制研究区泉水水样 Piper 图解(图 5)。可以看出,温泉 AH2、AH6、AH7 的数据投影点靠近  $\text{SO}_4$  和 Na,水化学类型为  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$ -Na 型和  $\text{SO}_4$ -Na 型;其余泉水的数据投影点集中落在  $\text{HCO}_3$  和 Ca、Mg 附近,水化学类型为  $\text{HCO}_3$ -Ca 型或  $\text{HCO}_3$ -Ca·Mg 型、 $\text{HCO}_3$ -Ca·Na 型。温泉水和冷泉(井)水分别集中分布于两个区域,反映了两者循环深度和水-岩作用时间的不同。

### 4.2 同位素特征

#### 4.2.1 补给来源

9 个泉(井)水样投影点均分布于大气降水线附近,说明矿泉水来源于大气降水补给。与冷泉(井)相比,温泉(AH2、AH6、AH7)水样点位更向左下偏移(图 6),反映 3 个温泉补给高程更大,经历了更深的地下水循环。

#### 4.2.2 补给高程

大气降水的  $\delta^2\text{H}$  值与  $\delta^{18}\text{O}$  值受温度、高程及纬度等因素影响<sup>[24]</sup>。因此,可根据大气降水  $\delta^2\text{H}$  值与  $\delta^{18}\text{O}$  值的温度、高程以及纬度等效应获取温泉

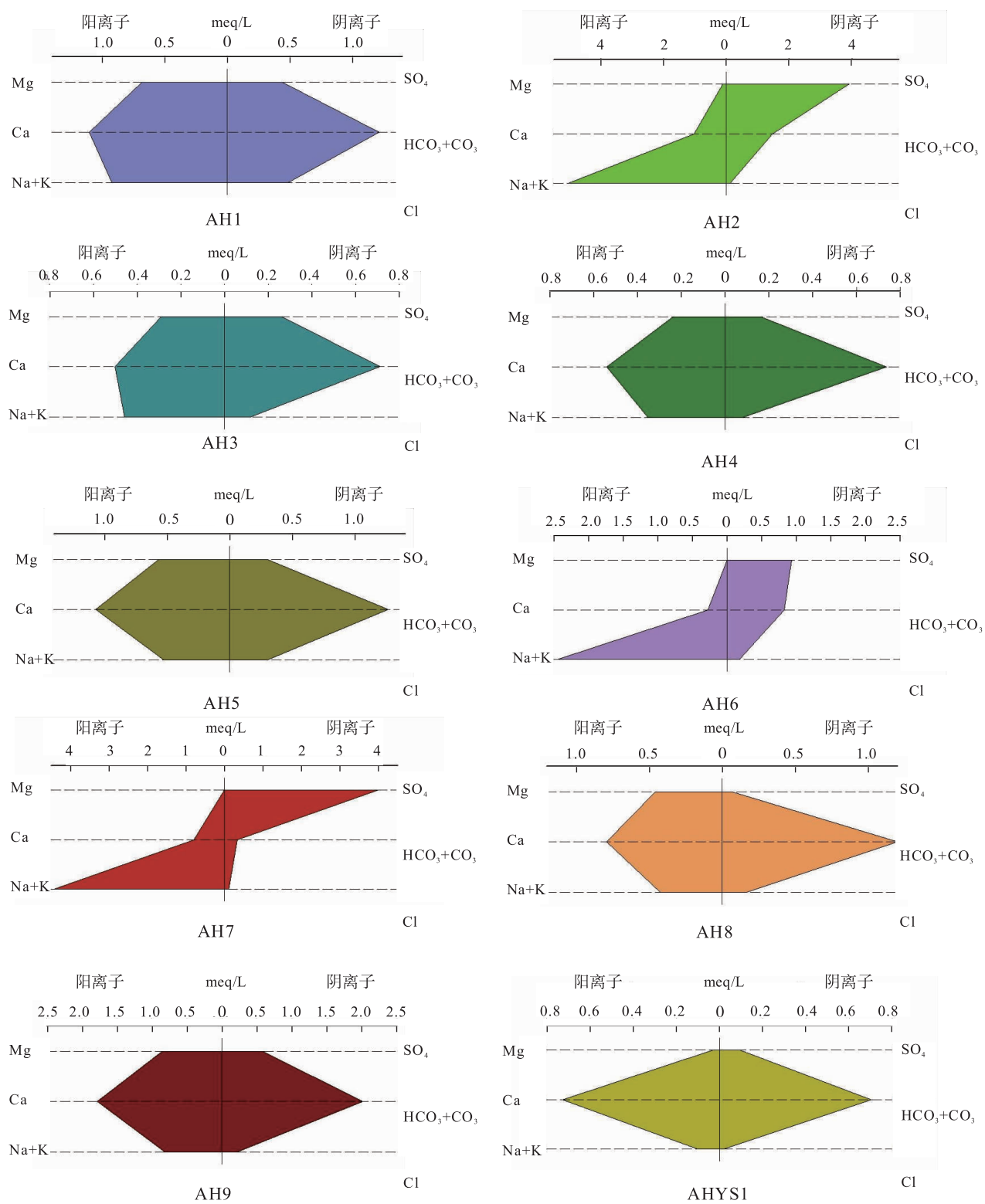


图2 研究区泉水水样 Stiff 图

Fig. 2 Stiff diagram of spring water samples in the study area

表 1 研究区泉水的水化学类型及矿泉水类型

Table 1 Hydrochemical types and mineral water types of spring water in the study area

水样编号	AH1	AH2	AH3	AH4	AH5
水化学类型	HCO <sub>3</sub> -Ca·Na·Mg 型	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> -Na 型	HCO <sub>3</sub> -Ca·Na 型	HCO <sub>3</sub> -Ca·Na 型	HCO <sub>3</sub> -Ca·Mg 型
矿泉水类型	锶偏硅酸型	硅酸水	偏硅酸型	偏硅酸型	锶偏硅酸型
水样编号	AH6	AH7	AH8	AH9	AHYS1
水化学类型	SO <sub>4</sub> ·HCO <sub>3</sub> -Na 型	SO <sub>4</sub> -Na 型	HCO <sub>3</sub> -Ca·Mg 型	HCO <sub>3</sub> -Ca 型	HCO <sub>3</sub> -Ca 型
矿泉水类型	硅酸水	硅酸水	偏硅酸型	锶型	—

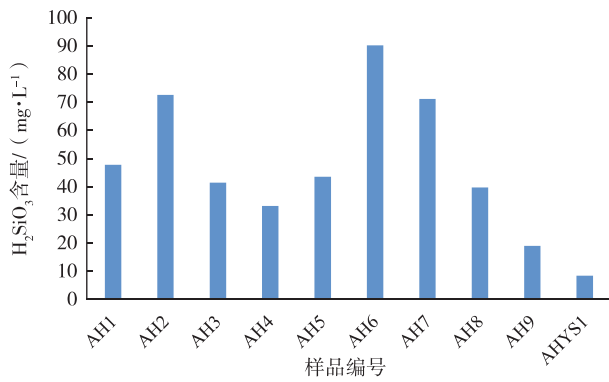


图 3 泉水 H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 含量柱状图

Fig. 3 Histogram of H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> content in spring water

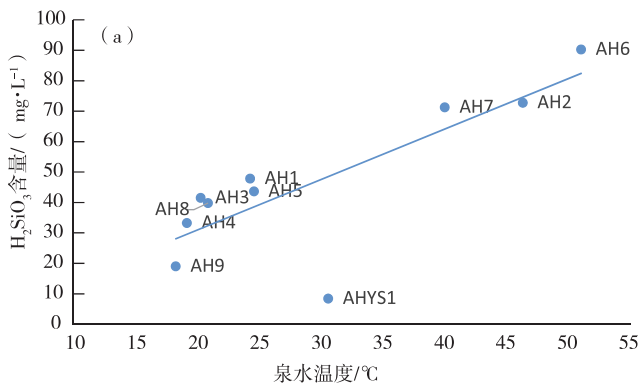
水补给区的相关信息。根据 δ<sup>2</sup>H 与 δ<sup>18</sup>O 值的高程效应,采用以下两种方法估算补给区高程<sup>[25-27]</sup>。

(1)方法 1。δ<sup>2</sup>H 与 δ<sup>18</sup>O 含量与当地海拔关系的高程公式(同位素入渗高度)为

$$H = (\delta G - \delta p) / k + h. \quad (4)$$

(2)方法 2。中国大气降水 δ<sup>2</sup>H 值的高程效应计算公式为

$$\delta^2 H = -0.03 H - 27. \quad (5)$$



式中:  $H$  为补给区高程,  $m$ ;  $h$  为取样点高程,  $m$ ;  $\delta G$  为取样点  $\delta^2 H$  值或  $\delta^{18} O$  值,  $\text{‰}$ ;  $\delta p$  为取样点附近大气降水  $\delta^2 H$  值或  $\delta^{18} O$  值(本文取雨水样 AHYS1 的  $\delta^{18} O$  值,  $-5.4\text{‰}$ ),  $\text{‰}$ ;  $k$  为大气降水  $\delta^2 H$  或  $\delta^{18} O$  的高程梯度, 相当于海拔高度每变化  $100\text{ m}$  的  $\delta^2 H$  或  $\delta^{18} O$  值的变化。柳鉴容等<sup>[28]</sup>对中国东部季风大气降水  $\delta^{18} O$  值与高程的关系进行研究, 确定  $\delta^{18} O$  值的高程梯度为  $-0.28\text{‰}/100\text{ m}$ 。利用上述 2 种方法, 将研究区温泉的  $\delta^2 H$  值、 $\delta^{18} O$  值代入公式(4)和公式(5)进行计算, 并将结果列于表 3。为减小误差, 本文采用两种方法平均值作为最终结果。

由表 3 可知, 温泉 AH2、AH6、AH7 水样的补给区高程为  $450\sim 670\text{ m}$ , 明显高于冷泉的补给区高程( $100\sim 460\text{ m}$ ), 补给区位于泉水出露点周围较远较高的山区。

#### 4.2.3 补给区温度

补给区温度可根据大气降水的  $\delta^2 H$  值和  $\delta^{18} O$  值温度效应进行估算。当气温逐渐下降时, 大气降水的  $\delta^2 H$  值和  $\delta^{18} O$  值越来越小, 与温度大体呈正相关。据此, YURTSEVER Y<sup>[25]</sup>建立了北半球大

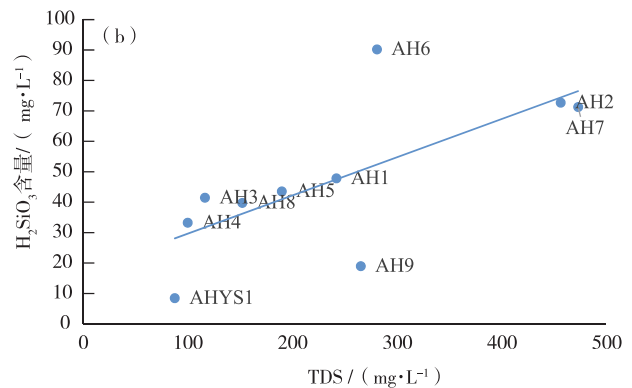


图 4 研究区泉水偏硅酸与温度(a)及 TDS(b)关系图

Fig. 4 Relationship of metasilicic acid and temperature(a), TDS (b) in spring water of the study area

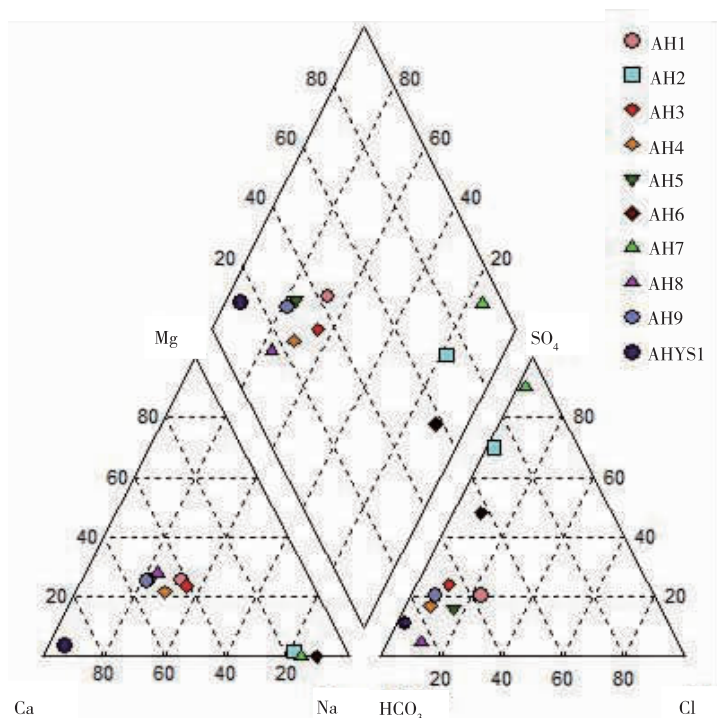


图5 研究区泉水 Piper 图解

Fig. 5 Piper diagram of spring water in the study area

表2 研究区泉水水样 $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素测试成果

Table 2 Isotopic test results of spring water samples in the study area

泉水名称	编号	取样日期	$\delta^2\text{H}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$
禅源村冷泉	AH1	2019-06-27	-37.7	-5.1
汤湾温泉	AH2	2019-06-27	-51.9	-6.5
天柱山镇冷泉	AH3	2019-06-28	-38.8	-5.4
“千年古井”冷泉	AH4	2019-06-28	-38.1	-5.3
响肠镇冷泉(井)	AH5	2019-06-28	-38.2	-5.0
温泉镇温泉	AH6	2019-06-28	-54.7	-6.9
溪沸温泉	AH7	2019-06-29	-55.6	-6.9
水畈村冷泉	AH8	2019-06-29	-40.0	-4.8
胡家水井	AH9	2019-06-30	-39.3	-4.8
雨水样	AHYS1	2019-06-28	-39.8	-5.4

气降水  $\delta^{18}\text{O}$  值与平均温度的关系式

$$\delta^{18}\text{O}=0.521T-14.96, \quad (6)$$

式中:  $T$  为月平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

此外,前人<sup>[29]</sup>还建立了中国大气降水  $\delta^2\text{H}$  值、 $\delta^{18}\text{O}$  值与平均温度的关系式

$$\delta^{18}\text{O}=0.176T-10.39, \quad (7)$$

$$\delta^2\text{H}=3T-92. \quad (8)$$

利用上述公式计算研究区泉水补给区温度,结果见表4。由表4可知,上述3种方法的计算结果相差较小,利用公式(7)计算的补给区温度比利用公式(6)和公式(7)计算的补给区温度高,利用公式(8)计算的补给区温度最低。由于水、岩之间的氢、氧同位素交换反应主要以 $^{18}\text{O}$ 交换为主,岩石中含氢矿物较少,同位素交换反应对地下热水的 $\delta^2\text{H}$ 值几乎无影响<sup>[30]</sup>。因此, $\delta^2\text{H}$ 值比 $\delta^{18}\text{O}$ 值更能反映地下热水的来源。

研究区温度较高的温泉(AH2、AH6、AH7),通过上述3种计算方法得到的补给区温度均低于其他水样,反映了补给区海拔相对于其他水样的补给区高。笔者认为,由 $\delta^2\text{H}$ 值计算得到温度较准确,研究区温泉(AH2、AH6、AH7)的平均补给温度为 $12.6^{\circ}\text{C}$ ,冷泉水的平均补给温度为 $17.72^{\circ}\text{C}$ 。温泉地下水补给温度较低,但泉口温度较高。根据当地地温梯度( $20\text{ m}/^{\circ}\text{C}$ )<sup>[31]</sup>,估算其循环深度 $>600\text{ m}$ 。冷泉地下水补给温度与泉口温度相近,估算其循环深度在 $50\text{ m}$ 以浅。



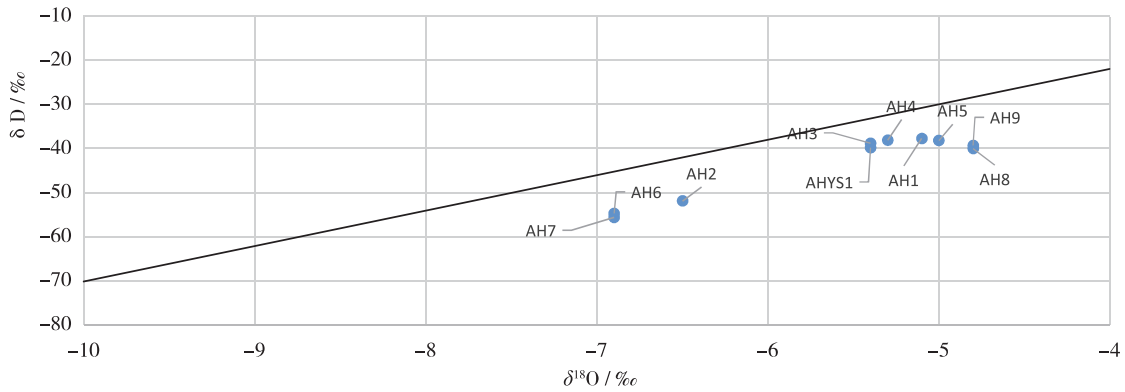


图 6 研究区泉的  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  关系图<sup>[25]</sup>

Fig. 6  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  relationship of spring water in the study area<sup>[25]</sup>

表 3 研究区泉水的补给高程估算结果

Table 3 Estimation results of spring supply elevation in the study area

温泉名称	编号	海拔/m	$\delta^2\text{H}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	补给高程/m		
					方法 1 结果	方法 2 结果	平均值
禅源村冷泉	AH1	80	-37.7	-5.1	78.929	356.67	217.798
汤湾温泉	AH2	80	-51.9	-6.5	83.929	830.00	456.964
天柱山镇冷泉	AH3	45	-38.8	-5.4	45.000	393.33	219.167
“千年古井”冷泉	AH4	90	-38.1	-5.3	89.643	370.00	229.821
响肠镇冷泉	AH5	320	-38.2	-5	318.571	373.33	345.952
温泉镇温泉	AH6	408	-54.7	-6.9	413.357	923.33	668.345
溪沸温泉	AH7	120	-55.6	-6.9	125.357	953.33	539.345
水畈村冷泉	AH8	87	-40	-4.8	84.857	433.33	259.095
胡家水井	AH9	80	-39.3	-4.8	77.857	410.00	243.929
雨水样	AHYS1	390	-39.8	-5.4	—	—	—

表 4 研究区泉水的补给区温度估算结果

Table 4 Temperature estimation results of spring supply area in the study area

温泉名称	编号	补给区温度/°C			
		公式(6)计算温度	公式(7)计算温度	公式(8)计算温度	平均温度
禅源村冷泉	AH1	18.925	30.057	18.100	22.361
汤湾温泉	AH2	16.238	22.102	13.367	17.236
天柱山镇冷泉	AH3	18.349	28.352	17.733	21.478
“千年古井”冷泉	AH4	18.541	28.920	17.967	21.809
响肠镇冷泉	AH5	19.117	30.625	17.933	22.558
温泉镇温泉	AH6	15.470	19.830	12.433	15.911
溪沸温泉	AH7	15.470	19.830	12.133	15.811
水畈村冷泉	AH8	19.501	31.761	17.333	22.865
胡家水井	AH9	19.501	31.761	17.567	22.943

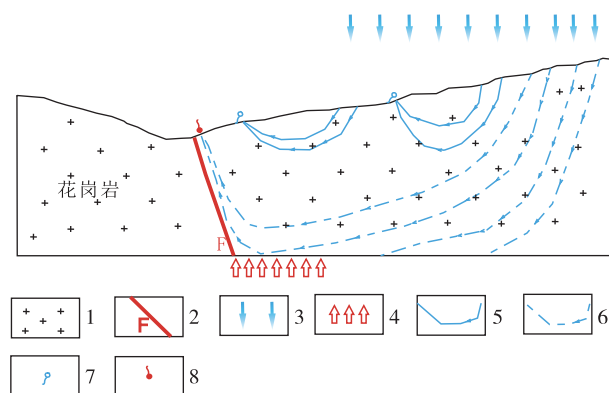
### 4.3 成因模式探讨

(1) 温泉出露于花岗岩破碎带之中,地下水在较高山区获得大气降水的入渗补给,逐渐汇集到裂

隙带、破碎带或断层带,在水头差的驱动下经历深循环,获得来自深处的大地热流加热,上升到地表在山谷、河谷低处出露地表,形成温泉。在地下循环

过程中,受热源增温,在较长的水-岩作用过程中获得水化学成分,TDS较冷泉水高且 $F^-$ 和偏硅酸含量也较高(图7虚线流线)。

(2)冷泉出露于基岩山坡,上覆少量第四系松散沉积物,地下水在附近山区获得大气降水的入渗补给,逐渐汇集到风化带、裂隙带或破碎带,经历较浅的循环,没有受来自深处的大地热流加热,汇集到山谷、河谷的低处出露地表形成冷泉。径流路径较短,水-岩作用时间不长,泉水中的TDS、 $F^-$ 和偏硅酸含量均较低(图7实线流线)。



1.花岗岩;2.断裂带;3.降水;4.地热热储;5.冷泉地下水流线;6.温泉地下水流线;7.冷泉出露点;8.温泉出露点

图7 研究区矿泉水成因模式示意图

Fig. 7 Genetic model of mineral water in the study area

## 5 结论

(1)安庆大别山区冷泉(井)水化学类型为 $HCO_3^-$ -Ca型、 $HCO_3^-$ -Ca·Na型或 $HCO_3^-$ -Ca·Mg型,TDS值为79~253 mg/L;温泉水化学类型为 $SO_4^{2-}$ -Na型或 $SO_4^{2-}$ · $HCO_3^-$ -Na型,TDS值为253~426 mg/L。温泉水矿化度、特征组分( $F^-$ 和偏硅酸)等含量均高于冷泉,且温泉中 $H_2SiO_3$ 含量均超过理疗天然矿泉水水质指标浓度,可命名为硅酸水。

(2)安庆大别山区温泉水补给区高程为457~668 m,冷泉水补给区高程为217~346 m。温泉地下水接受较高山区大气降水入渗补给,沿断裂带或裂隙带经历深循环,获得深部热流加热后上升,在山谷、河谷低处出露地表。

## 参考文献

[1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB/8537—2018 食品安全国家标准饮用天然矿泉水标准[S]. 2019.

[2] 王娟,韩薇.天然矿泉水中微量元素与人体健康[J].微量元素与健康研究,2001,18(2):77-78.

[3] NEGREL P, FOUILLAC C, BRACH M, et al. Occurrence of mineral water springs in the stream channel of the Allier River (Massif Central, France): chemical and Sr isotope constraints[J]. Journal of Hydrology, 1997,203(1/4): 143-153.

[4] 温红丽. 针对我市矿泉水发展中存在问题的思考及建议[J]. 科技展望, 2014(20):164-164.

[5] 焦居仁,史立人,牛崇桓,等. 我国东中西部水土保持发展战略[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(5):1-6.

[6] 薛怀民,董树文. 大别山超高压变质杂岩的折返[J]. 华东地质, 1999,20(1):23-24.

[7] 杨章贤. 安徽省饮用天然矿泉水类型及分布特征研究[J]. 地下水, 2018, 40(5): 28-31.

[8] 阎如璩,孙庭芳,贺平. 安徽省饮用天然矿泉水资源的基本特征与形成规律[J]. 安徽地质, 1996, 6(3): 63-76.

[9] 李肖雪,吴立,杨钊,等. 安徽省地热温泉资源分布与特征[J]. 安徽师范大学学报:自然科学版, 2020, 43(4):364-370.

[10] 薛怀民,董树文. 南大别山超高压岩区变质作用的P-T-t研究——兼论花岗岩片麻岩[J]. 华东地质, 2000, 21(4):235-243.

[11] 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1987.

[12] SHAN Z, WEI W. The Uncertainty Assessment of Arsenic Content in Drinking Water by Hydride Generation Atomic Fluorescence Spectrometry[J]. Journal of Environmental Hygiene, 2012,2(4):182-186.

[13] 吴海权,李琴,范董伟. 安徽大别山响肠超单元的岩石学和地球化学特征及成因探讨[J]. 宿州学院学报, 2019, 34(9): 66-72

[14] SHUTONG X, LAILI J, YICAN L, et al. Tectonic Framework and Evolution of the Dabie Mountains in Anhui, Eastern China [J]. Acta Geologica Sinica English Edition, 1992, 66(2):221-238.

[15] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5750. 6/22. 2—2006 生活饮用水标准检验方法[S].2006.

[16] 中华人民共和国地质矿产部.DZ/T 0064. 51—1993 地下水水质检验方法[S]. 1993.

[17] 中华人民共和国地质矿产部.DZ/T 0064. 49—1993 地下水水质检验方法[S]. 1993.

[18] 中华人民共和国地质矿产部.DZ/T 0064. 80—1993 地下水水质检验方法[S]. 1993.

[19] 中华人民共和国地质矿产部.DZ/T 0064. 9—1993 地下水水质检验方法[S]. 1993.



- [20] 中华人民共和国地质矿产部. DZ/T 0184. 19—1997 水中氢同位素锌还原法测定[S]. 1993.
- [21] 中华人民共和国地质矿产部. DZ/T 0184. 21—1997 天然水中氧同位素二氧化碳-水平衡法测定[S]. 1997.
- [22] 谭梦如. 云南西双版纳地区部分温泉水化学和同位素特征及成因研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018: 1-68.
- [23] 王正文, 张景润等. 温泉水浴治疗6种顽固性皮肤病193例的效果观察[J]. 云南医药, 2002, 23(3): 218-220.
- [24] WANG X, ZHOU X, ZHAO J, et al. Hydrochemical evolution and reaction simulation of travertine deposition of the Lianchangping hot springs in Yunnan, China[J]. *Quaternary International*, 2015, 374: 62-75.
- [25] YURTSEVER Y. Worldwide survey of stable isotopes in precipitation[J]. *Rep. Sect. Isotope Hydrol, IAEA*, 1975: 40.
- [26] CHRISTOPHE R, BERTRAND M, JEANPIERRE G, et al. Stable isotope study of rainfall, river drainage and hot springs of the kerguelen archipelago, SW Indian Ocean[J]. *Geothermics*, 2020(83): 101726.
- [27] 周训, 金晓媚, 梁四海, 等. 地下水科学专论[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- [28] 柳鉴容, 宋献方, 袁国富, 等. 中国东部季风区大气降水  $\delta^{18}\text{O}$  的特征及水汽来源[J]. *科学通报*, 2009, 54(22): 3521-3531.
- [29] 郑淑惠, 侯发高, 倪葆龄. 我国大气降水的氢氧稳定同位素研究[J]. *科学通报*, 1983, 28(13): 801-806.
- [30] 李延河. 同位素示踪技术在地质研究中的某些应用[J]. *地学前缘*, 1998(2): 106-112.
- [31] 苏贵芬, 李方根, 韩晓南. 安徽皖南地区构造盆地及深大断裂地热潜力研究[J]. *中外能源*, 2018, 23(7): 15-24.

## Chemical characteristics and genetic model of mineral water in Dabie Mountain area of Anqing City

LI Yunfeng<sup>1</sup>, ZHANG Qing<sup>1</sup>, ZHOU Xiaoping<sup>1</sup>, LU Yuanzhi<sup>1</sup>, NIU Xiaonan<sup>1</sup>,  
ZHAO Xiaodan<sup>1</sup>, ZHOU Xun<sup>2</sup>

(1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

2. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Anqing Dabie Mountain area is located in the east side of Dabie Mountain orogenic belt. There are 2 strontium metasilicate mineral water points, 1 strontium mineral water point and 3 metasilicate mineral water points being studied. The genetic model is further discussed based on the analysis of the hydrochemical and isotopic characteristics of mineral water in the area. The main ions in the cold spring (well) water (AH1, AH3, AH4, AH5, AH8 and AH9) are  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{HCO}_3^-$ , the hydrochemistry type is  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$  or  $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ , and the total dissolved solid is 90~239 mg/L. The main ions in hot spring water (AH2, AH6 and AH7) are  $\text{Na}^+$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , the hydrochemistry type is  $\text{SO}_4\text{-Na}$  or  $\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ , and the total dissolved solid is 253~426 mg/L. Based on the  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values, the elevation of the recharge area of cold spring water is estimated to be 217~346 m, and the average temperature of the recharge area is 17.7 °C. The elevation of the hot spring's recharge area is 457~668 m, and the average temperature of the recharge area is 12.6 °C. The mineral water in the 9 places is supplied by atmospheric precipitation, which circulates along the fault zone and fissure zone to a certain depth and is exposed in the valley. The results show that the circulation depth of hot spring groundwater is large, the time of water rock interaction is long, and the TDS value and characteristic chemical component content of hot spring groundwater are higher than those of cold spring groundwater.

**Key words:** Dabie Mountain; mineral water; chemical characteristics of ground water; genetic model