

# 贵州思南温泉的成因分析

钟响<sup>1,2</sup>, 杨鹏程<sup>1</sup>, 杨文亮<sup>1</sup>

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 111 地质大队, 贵州 贵阳 550008; 2. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**通过地质分析,借助可控源音频大地电磁测深物探手段,认为思南温泉补给源来自其西部沙沟向斜核部热水沿樱桃断裂带上升,并在鹦鹉溪背斜核部岩体破碎带排泄出地表。通过对贵州思南温泉水样的水质分析,采用地球化学温标法研究了思南温泉的热储温度为 53℃,并研究得出热水循环深度为 1 500 m。

**关键词:**思南温泉;水质分析;热储温度;循环深度;贵州

**中图分类号:**P314.1 **文献标识码:**B

**引文格式:**钟响,杨鹏程,杨文亮.贵州思南温泉的成因分析[J].山东国土资源,2015,31(10):40-43.ZHONG Xiang, YANG Pengcheng, YANG Wenliang. Study on the Origin of Sinan Hot Springs in Guizhou Province[J].Shandong Land and Resources, 2015,31(10):40-43.

温泉因其具有对人体有益的丰富微量元素及较高的水温而被人们所钟爱。贵州省思南温泉出露于思南县城西部鹦鹉溪镇以北的温塘村附近,常年水温达 38℃左右,日流量可达 1 896 m<sup>3</sup>/d,是贵州省有名的温泉。该文分析了思南温泉的形成条件,对思南温泉的开发利用及保护有指导意义。通过对温泉水质分析,发现该温泉水中偏硅酸含量达到了饮用天然矿泉水的限量指标。

## 1 研究区地热地质条件

研究区区域地质构造上以 NNE 向的雁列式构造为主,具有侏罗山式隔挡式褶皱组合特征<sup>[1]</sup>。控热区域构造方面,研究区位于思南-白马洞走滑断束。思南-白马洞走滑断束总体走向 NE,具“S”型特征,总体倾向 SE,倾角在 50°~80°左右,平面延伸数十千米,深切上地幔,是研究区内主要的区域性导热构造。

### 1.1 地层岩性

研究区主要分布寒武纪—三叠纪地层,由新至老分别为:早三叠世茅草铺组及夜郎组,岩性以灰岩为主底部含泥岩;晚二叠世吴家坪至长兴组含泥岩、

栖霞至茅口组,岩性为灰岩、燧石灰岩为主;早志留世韩家店群、早奥陶世湄潭组,岩性以页岩、泥岩为主;早奥陶世桐梓至红花园组,岩性以白云质灰岩为主;寒武纪娄山关群,岩性以白云岩为主。

### 1.2 地热地质构造

研究区主要受 NNE 向的沙沟向斜、鹦鹉溪背斜、塘头向斜、樱桃断层构造体系控制。

(1)沙沟向斜:向斜轴向 NNE,呈长条状展布。背斜 W 翼岩层倾角一般 10°~20°,E 翼岩层倾角 30°左右。向斜核部地层为志留—三叠纪地层,两翼地层为相应较老的地层,E 翼发育走向与向斜轴向一致的断层。

(2)鹦鹉溪背斜:轴向 NNE,长条状,呈“S”展布。背斜宽 4~5 km,长度大于 100 km,为一轴面倾向 NW 的斜歪闭合褶皱,SE 翼地层倾角较陡,一般大于 50°,NW 翼 30°~40°。常被 NE 向断层切断。核部地层为寒武纪及奥陶纪地层,两翼为志留纪地层。在轴部附近及两翼有小褶曲发育。

(3)塘头向斜:南部轴向 NNE,北部轴向 NE,呈“S”展布。背斜宽 4~8 km,长度大于 120 km,为一开阔向斜,两翼地层倾角较缓,一般小于 20°。常被

收稿日期:2015-03-20;修订日期:2015-04-02;编辑:陶卫卫

作者简介:钟响(1986—),男,贵州余庆人,助理工程师,主要从事水工环地质、地热地质方面工作;E-mail:573515359@qq.com

NE 向断层如塘头断层、思南断层切断。核部地层为寒武系-三叠系,两翼为对应较老的地层。在轴部附近及两翼有小褶曲发育。

(4) 樱桃断裂:走向 NNE,与鸚鵡溪背斜形影相随,具“S”形弯曲。在樱桃以北,多倾向 SEE,倾角约 50°;倾向 NWW,倾角约 50°。破碎带宽 20~100 m,具方解石化、硅化等。

### 1.3 热储结构

据研究区内分布的地层岩性特征,可以将其划分为 2 个热储单元。

第一热储单元:热储盖层为早奥陶世湄潭组至早志留世韩家店群的泥岩、页岩地层,热储含水层为寒武纪娄山关群至早奥陶世桐梓红花园组的碳酸盐岩地层。

第二热储单元:热储盖层为晚二叠世至早三叠世的泥岩、页岩地层;热储含水层为中二叠世碳酸盐岩地层。

## 2 温泉地质成因

### 2.1 CSAMT 剖面反演

CSAMT 即可控源音频大地电磁测深法,该物探方法被广泛用于深部断裂的判断,寻找深部地下水等领域<sup>[2]</sup>。该次在研究区布置了一条近西至东的剖面线,以查明樱桃断裂的发育深度及倾向特征。通过其反演图(图 1),可以看出樱桃断层倾向 NWW,其上盘的沙沟向斜较下盘的鸚鵡溪背斜电阻率低,具有富水特征。同时,樱桃断裂带表现出相对的低阻异常带,说明樱桃断层是相对导水的。

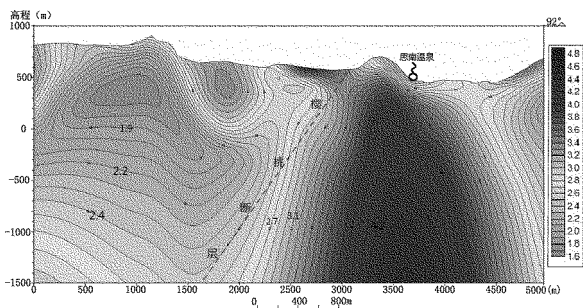


图 1 CSAMT 剖面反演图

### 2.2 温泉水质分析

该次研究采取一组温泉水样进行水质分析。由表 1 可知,思南温泉的钙离子、硫酸根离子浓度高,分别占据了阳、阴离子含量的 81.5% 和 79.4%。可

见温泉水化学类型为  $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-}$  型。另外可以看到水中的偏硅酸含量达到 42.96 mg/L,已经达到了偏硅酸矿泉水的限量指标<sup>[3]</sup>。但是其  $\text{F}^-$  含量已经超出了饮用水的要求,故不能用于饮用。

表 1 水质分析主要成分含量(mg/L)

项目	含量	项目	含量	项目	含量
$\text{K}^+$	10.98	$\text{HCO}_3^-$	155.38	偏硅酸	42.96
$\text{Na}^+$	2.33	$\text{F}^-$	1.74	总阳离子	285.54
$\text{Ca}^{2+}$	232.71	$\text{PO}_4^{3-}$	0.25	总阴离子	787.12
$\text{Mg}^{2+}$	39.51	$\text{NO}_3^-$	2.27	溶解性总固体	1072.7
$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$	0.06	游离 $\text{CO}_2$	9.74	pH	7.56
$\text{Cl}^-$	2.7	硫化物	0.05	菌落总数*	43600
$\text{SO}_4^{2-}$	624.78	可溶性 $\text{SiO}_2$	33.04	大肠杆菌**	1600

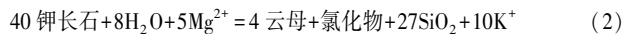
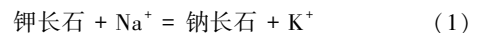
注: \* CFU/mL; \*\* MPN/100 mL

### 2.3 热储温度的确定

化学温地球标法被广泛用于地热水资源的循环深度的确定方面,而且该法相对比较经济,包括有阳离子温标以及  $\text{SiO}_2$  温标 2 种,前者主要是依据钠、钾、钙、镁离子浓度与温度的关系确定,后者主要是依据水溶状态  $\text{SiO}_2$  浓度来确定的温标。当然,这 2 种方法都有一个前提条件,那就是要求溶液-矿物是否达到了平衡态。针对这个问题,目前的解决方法主要有 4 种:三角图解法(Na-K-Mg)、 $\text{SiO}_2$  溶解曲线法、参考(温标)法和  $\text{Log}(Q/K)$  图解法。由于前面 2 种方法简便明了,该文选取了这 2 种方法。

#### 2.3.1 三角图解法(Na-K-Mg)

1988 年 Giggerbanch 提出的 Na-K-Mg 三角图解法常被用来评价热矿水-岩矿的平衡态<sup>[4-6]</sup>,其控制性化学反映为:



通过式(3)至(5)可以确定目标点在三角图中的位置:

$$S = (C_{\text{Na}^+}/1000) + (C_{\text{K}^+}/100) + (C_{\text{Mg}^{2+}}) \cdot 0.5 \quad (3)$$

$$D_{\text{Na}^+} = C_{\text{Na}^+} / (10S) \quad (4)$$

$$D_{\text{Mg}^{2+}} = 100(C_{\text{Mg}^{2+}})^{0.5} / S \quad (5)$$

式中: $D_{\text{Na}^+}$ ,  $D_{\text{Mg}^{2+}}$  为  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  的百分含量,用于确定点在三角图中的位置; $C_{\text{Na}^+}$ ,  $C_{\text{K}^+}$ ,  $C_{\text{Mg}^{2+}}$  分别表示  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  的含量,单位为 mg/L。

将思南温泉的实测数据计算投影到 Na-K-Mg 三角图中可以看到:思南温泉位于图中的镁离子一角,属于未成熟的水。显然不能用阳离子温标法确定思南温泉的热储温度,只能采用二氧化硅温标

法(图 2)。

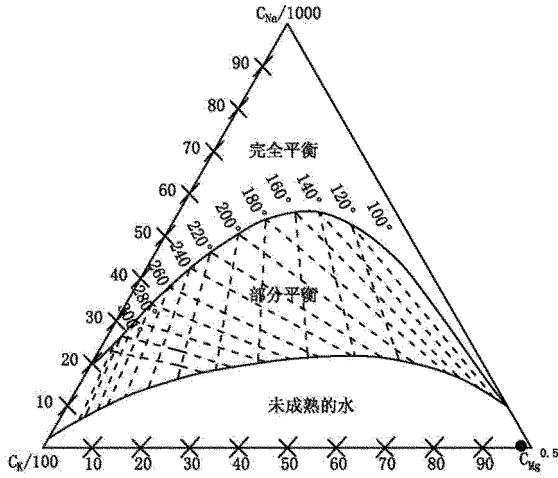


图 2 思南温泉 Na-K-Mg 三角图

### 2.3.2 SiO<sub>2</sub> 溶解曲线法

在 300℃ 以内,石英、玉髓以及非晶质硅等地质化学研究所涉及的二氧化硅矿物中,矿化度以及压力对 SiO<sub>2</sub> 溶解度的影响小。当然到底是哪一种矿物为控制性矿物,就需要采用 SiO<sub>2</sub> 溶解曲线来确定了。通过图 3 发现,思南温泉靠近玉髓曲线,故采用玉髓法来估算其热储温度。

### 2.3.3 热储温度的确定

1977 年 Fournier 提出了玉髓法温标估算公式:

$$T = 1032 / [4.69 - \log(C_{SiO_2})] - 273.15 \quad (6)$$

式中:  $T$  为热储温度(℃);  $C_{SiO_2}$  为泉水中二氧化硅的浓度(mg/L)。

通过计算得到思南温泉的热储温度为 53℃。

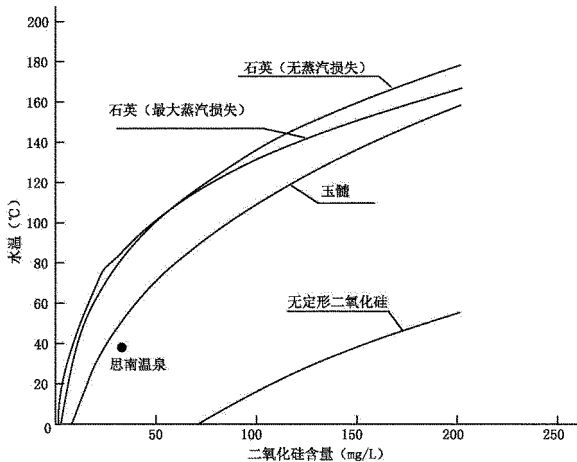


图 3 SiO<sub>2</sub> 溶解曲线

## 2.4 循环深度

取研究区的地温梯度值  $r$  为 2.8℃/100 m,通过

公式(7)来估算思南温泉的循环深度:

$$t = t_a + (H - h)r \quad (7)$$

式中:  $T$  为热储温度(℃),通过前面计算为 47.7℃;  $T_a$  为研究区年平均气温(℃),根据思南县多年平均气温统计为 16.1℃;  $H$  为循环深度(m);  $h$  为恒温带深度(m),根据贵州省经验,取 30 m。通过计算得到思南温泉的循环深度约为 1 500 m。

## 2.5 温泉的成因

在经过以上分析后,发现思南温泉西部的降水渗入地下,由于沙沟向斜的汇水作用,在地下 1 000 m 以深的第一热储单元内富集。而温泉西部发育的倾向 NWW 的樱桃断层具有导水、导热作用,使得沙沟向斜深部的热水沿断裂带向浅部运移。背斜的形成过程会将其核部的岩体挤压得很破碎,这样沿樱桃断层带上升至浅部的地下热矿水,就会沿黔鹅溪背斜核部附近并汇合浅部冷水排泄出地表(图 4)。而区域上由沙沟向斜、黔鹅溪背斜、樱桃断裂的组合得到的热储结构模型分布面积达到数十平方千米,以近 SN 向长轴状发育的地热田形式存在,思南温泉只是该地热田的一眼天然露头。

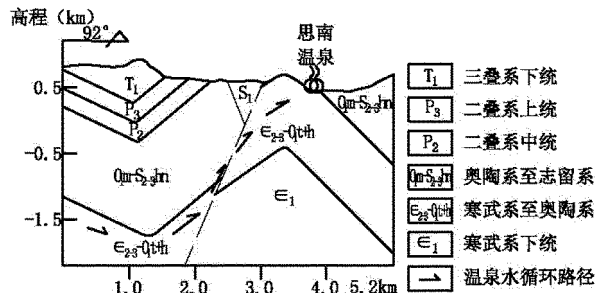


图 4 思南温泉地质剖面图

## 3 结论

通过研究,思南温泉的热储温度为 53℃、循环深度达 1 500 m 左右,其热储含水层为温泉西部的沙沟向斜核部的第一热储单元。该研究对于思南温泉的开发利用规划,以及水源的保护意义重大,对思南温泉地热田的开发利用有指导意义。

## 参考文献:

[1] 韩至钧,金占省.贵州省水文地质志[M].北京:地震出版社,1996:15-80.  
 [2] GB/8537/2008.饮用天然矿泉水[S].  
 [3] 底青云,石昆发,王妙月,等.CSAMT 法和高密度电法探测地下水资源[J].地球物理学进展,2001,16(3):53-56.

- [4] 郑西来,刘鸿俊.地热温标中的水-岩平衡状态研究[J].西安地质学院学报,1997,18(1):74-79.
- [5] 宋小庆,彭钦,夏颜乐,等.瓮安老坟嘴变质岩区 SK08\_2 井地热水热储温度和循环深度估算[J].节水灌溉,2012,(10):24-26.
- [6] 王莹,周训,于媛,等.应用地热温标估算热储温度[J].现代地质,2007,21(4):605-612.

## Study on the Origin of Sinan Hot Springs in Guizhou Province

ZHONG Xiang<sup>1,2</sup>, YANG Pengcheng<sup>1</sup>, YANG Wenliang<sup>1</sup>

(1. No.111 Geological Brigade of Guizhou Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources, Guizhou Guiyang 550008, China; 2. Environment School of China University of Geosciences, Hubei Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Through geological analysis and geophysical research, by means of controlled source audio frequency magnetotelluric sounding, it is regarded that Sinan hot spring recharge source is from the hot water rising along Yingtao fault zone in the core area of Shagou syncline in its western part. It excrets from the fracture zone in the core of Yingwuxi anticline to the surface. Through water quality of water samples of Sinan hot spring in Guizhou province, by using geothermometer method, it is regarded that heat reservoir temperature is 53°C, and the hot water cycle depth is 1159m.

**Key words:** Sinan hot spring; water quality analysis; heat reservoir temperature; circulation depth; Guizhou province