

# 汤市地热流体化学成因分析

文武飞<sup>1</sup>, 肖江<sup>1</sup>, 皮建高<sup>2</sup>, 孙锡良<sup>2</sup>, 姚腾飞<sup>2</sup>, 刘浩<sup>1</sup>

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南省地质矿产开发局 402 队, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 汤市地热资源丰富, 具有流量大、温度高、无色的特点, 3 个自溢泉是当地居民主要的生活用水来源, 也是当地主要的旅游开发资源。在分析 ZK01, ZK02, QK02, QK03 和 QK04 的基础上对汤市地热流体化学成因和循环条件进行研究分析, 确定地热成因、热储条件等主要是由于断层 F 和 F1 的相互作用形成, 水化学主要是钠、钙、重碳酸根离子为主, 偏弱酸性的低矿化度水。

**关键词:** 汤市地区; 地热流体; 水化学; 地热资源

中图分类号: P314.3 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2016)01-0063-05

## Analysis of geothermal fluid chemical causes in Tangshi area

WEN Wufei<sup>1</sup>, XIAO Jiang<sup>1</sup>, PI Jianga<sup>2</sup>, SUN Xiliang<sup>2</sup>, YAO Tengfei<sup>2</sup>, LIU Hao<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. 402 Geological Brigade, Hunan Geology and Mineral Exploration Bureau, Changsha 410000, China)

**Abstract:** Tangshi area has enriched geothermal resources, characterized by large quantity of flow, high temperature, and colorless. There have three fountains, which are a major source of domestic water as well as tourism development. Based on the analysis of borehole ZK01, ZK02, QK02, QK03, and QK04, this paper analyzes the chemical causes and the circulation conditions. It shows that the cause of geothermal and the thermal storage conditions are mainly affected by the mutual interaction between fault F and F1. The hydrochemistry is mainly Na, Ca, and bicarbonate ions, so the water is weak-acid and low-salinity.

**Key words:** Tangshi area; geothermal fluid; hydrochemistry; geothermal resources

汤市位于湖南省资兴市最东端, 距离长沙 400 km, 距资兴市城区 80 km, 东距平汝高速 10 km, 县道 X016 自北向南穿过工作区并连接至省道 S322, 工作区面积为 1.2 km<sup>2</sup>, 该区目前存在自流热泉 3 处, 是当地居民生活用水的主要来源之一, 也是该区旅游业发展的一大项目。随着资源的匮乏, 地热资源作为一种可再生能源是目前多数地区主要的能源来源, 而且也越来越得到人们的重视, 因此, 对于地热流体成因分析是目前解决资源匮乏的主要途径, 尤其是对于汤市地区的旅游业发展起到促进的作用。

## 1 地热流体形成的地质环境

地热流体受地形地貌、地质构造、地层岩性及流体的循环条件相互作用和控制<sup>[1,2]</sup>, 汤市地处中低山丘陵地貌, 本次在分析汤市地热问题上主要分析地层岩性和地质构造 2 大类。

### 1.1 地层岩性

区域上加里东期侵入岩地层分布最广<sup>[3]</sup>, 为区内主要出露岩层, 出露面积 24 km<sup>2</sup>, 分布于工作区中部、东部、南部大部分区域。岩性主要为灰白色中粒、中粗粒黑云母花岗岩, 主要矿物成分为长石、石英及黑云母。花岗岩露头多数遭受强烈风化, 主要为中风化、强风化散体状或球形风化。据钻孔资料揭露, 北部花岗岩破碎带岩石蚀变强烈, 有硅化、绿泥石化和黄铁矿化等现象, 北部汤市乡东有 2 处萤石矿, 是典型的热

指示矿石.工作区内温泉出露及地温异常就位于该侵入体北西地带,据此推断彭公庙岩浆岩体的岩浆余热为该温泉形成的主要热源之一.

## 1.2 地质构造

汤市地热位于华夏系构造的岩子岭-高挺压性断裂和水口向斜东,西翼部的桃沅断裂和下坑-新开洞断裂形成的S状旋扭构造之间的汤市-兰市一带,周边地壳升降运动、断裂构造活动频繁<sup>[3,4]</sup>.区内及周边的主要构造形迹为北东向褶皱及断裂等压性结构面,主要有F和F1这2大构造断裂,两断裂大角度相交,F1切割F,其中F断裂为一压性断裂,位于汤市中部,由北至南贯穿研究区整个花岗岩体,走向北北东方向,倾向北西向,倾角 $73^{\circ} \sim 85^{\circ}$ ,区内控制长度为4.32 km,断裂切割加里东期侵入的彭公庙花岗岩体,具体见图1.依据地热流体成矿作用基本要素的特殊性、成矿控制因素及其控矿特点<sup>[5,6]</sup>,断裂附近岩石挤压破碎,节理裂隙发育,见有硅化带宽2~4 m,断裂北端东部有萤石矿发育,验证此区域有热液活动,萤石以浅绿色为主,现有顺风 and 灿兴2个萤石矿正在开采.

## 2 地热流体化学特征分析

根据对地下热水的化学分析规范<sup>[7]</sup>和要求以及国内学者对地下水热水的化学特征分析<sup>[8-10]</sup>的经验,本次为查明地热流体化学成分演化过程,分别对汤市地表水、温泉水及钻孔水进行了取样检测,取样点分布见表1和图1.

表1 汤市地区地表水及地热水取样点位分布对照表

点号	点位	点号	点位
SY-1	打鼓冲裂隙水	SY-8	神农温泉
SY-2	温泉东北1 km 裂隙水	SY-9	QK02
SY-3	温泉东南1 km 裂隙水	SY-10	QK03
SY-4	洙江与秋田河交汇处	SY-11	QK04
SY-5	洙江(温泉上游1 km)	SY-12	ZK01
SY-6	炎帝温泉	SY-13	ZK02

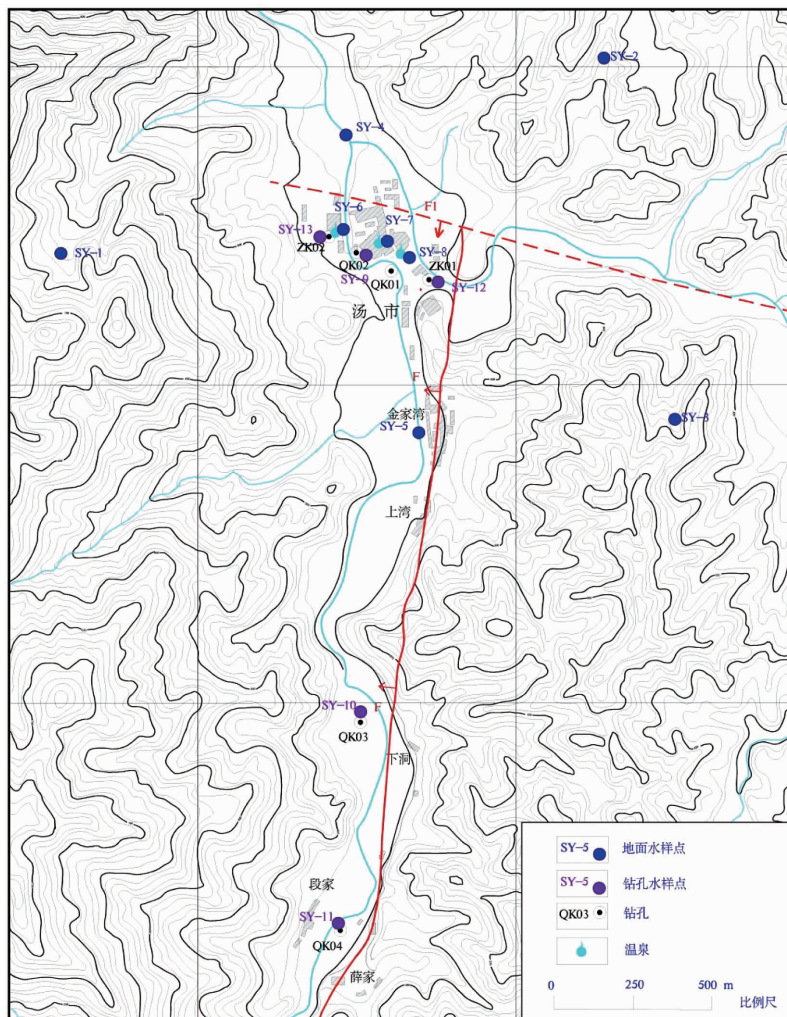


图1 汤市地区地表水和地热水采样分布点

## 2.1 水化学特征分析

本次研究共采取各类水质综合分析样 14 组,钻孔 6 组,地表水 5 组,温泉水 3 组,样品采取点的选取、样品预处理符合规范要求,现场进行温度、pH 值,重碳酸根离子测定,并进行密封处理,送检及时,检测分析单位为中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室,分析测试、鉴定数据通过 CMA 管理体系认证,准确可靠。

不同的地热异常区其化学特征存在明显的差异<sup>[11]</sup>,区内出露的几处热水,但是其温度存在一定的差异,跟化学成分有一定的关系。根据采取的水样,主要做了地表水和地下水的化学分析对比,而地下水又分为地下热水和地下常温水。根据 SY-1~SY-5 和 SY-10~SY-12 的全分析,汤市地热区地表水与浅层裂隙水水化学成分以重碳酸根离子( $\text{HCO}_3^-$ )和钠离子( $\text{Na}^{2+}$ )为主,pH 值平均值为 6.64,温度(8 月)在 17.2~31.7℃;地下常温水水化学成分以重碳酸根离子( $\text{HCO}_3^-$ )和钠离子( $\text{Na}^{2+}$ )、钙离子( $\text{Ca}^{2+}$ )为主,pH 值平均值为 6.63,水温在 23.6~24.9℃;根据 SY-6~SY-9 及 SY-13 的分析,地下热水物理性质良好,水质无色透明,有硫化氢的味道,水化学成分以重碳酸根离子( $\text{HCO}_3^-$ )和钠离子( $\text{Na}^{2+}$ )为主,pH 值平均值为 6.84,温泉出水水温为 42.1~50.6℃,热水钻孔出水温度分别为 44.8,54.7℃。使用舒卡列夫分类法对地下水进行分类,使用百分含量大于 25% 毫克当量的离子作为水化学类型的命名,汤市地表水与浅层裂隙水,水化学类型属 Na-HCO<sub>3</sub> 型,溶解性总固体平均值为 85.85 mg/L,属低矿化度水;汤市地下常温水水化学类型属 Na-HCO<sub>3</sub> 型/Ca-HCO<sub>3</sub> 型;汤市地热水水化学类型属 Na-HCO<sub>3</sub> 型,三者均属于弱酸性水质。具体主要化学元素见表 2。

表 2 汤市水样化学分析

样品 编号	含量/(mg/L)											总硬 度	pH 值	溶解性总固 体温度/℃
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>			
SY-1	1.381	3.100	3.231	0.673	n.a	n.a	3.790	2.000	20.750	2.830	n.a	3.90	6.7	30.6
SY-2	1.625	4.183	3.418	0.931	0.004	n.a	2.740	n.a	34.170	1.390	n.a	4.35	6.5	34.3
SY-3	2.116	3.200	2.913	0.679	0.042	0.024	2.900	4.600	45.150	5.750	n.a	3.59	6.2	31.7
SY-4	1.607	3.824	4.323	0.786	0.120	0.012	3.710	2.640	39.050	1.380	n.a	5.11	6.5	36.1
SY-5	1.208	3.861	4.364	0.770	0.060	n.a	3.520	2.470	40.270	1.570	n.a	5.13	6.5	35.8
SY-6	2.657	39.250	9.975	0.157	0.005	n.a	3.850	15.820	123.260	n.a	5.670	10.13	6.8	42.1
SY-7	2.321	40.760	9.770	0.091	n.a	n.a	3.920	16.950	126.920	n.a	5.950	9.86	7.0	50.6
SY-8	2.458	40.880	9.847	0.092	n.a	n.a	3.880	16.000	120.800	n.a	5.920	9.94	6.9	50.3
SY-9	2.500	4.600	10.520	n.a	0.010	n.a	4.610	20.670	120.540	<0.050	6.020	10.62	6.5	44.5
SY-10	2.000	3.300	2.860	0.620	0.040	n.a	3.390	2.640	60.810	1.240	<0.010	3.48	6.5	23.6
SY-11	2.200	3.700	3.750	0.660	0.530	n.a	3.780	3.190	57.020	2.510	<0.010	4.41	6.5	24.6
SY-12	1.300	0.400	1.540	0.120	0.190	n.a	19.230	6.300	95.330	32.950	0.750	1.66	6.9	24.9
SY-13	1.000	3.800	0.600	0.080	n.a	n.a	4.460	20.510	128.330	<0.050	6.090	10.97	7.0	53.6

## 2.2 热指示元素对比分析

### 2.2.1 常量元素

在水化分析诸多常量元素中,挑选出具有明显指示性的离子/化合物为  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$  和  $\text{SiO}_2$ ,其浓度总体上均随水温增高而增高,是热水指示性离子,其中以  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$  和  $\text{SiO}_2$  与温度正相关性最好(图 2),且是热水排泄区含量最大的离子,因此可以认为是典型热指示性常量元素离子。

### 2.2.2 微量元素

由汤市地下水样水化全分析微量元素表可以看出,热水样(SY-6,SY-7,SY-8)的微量元素含量

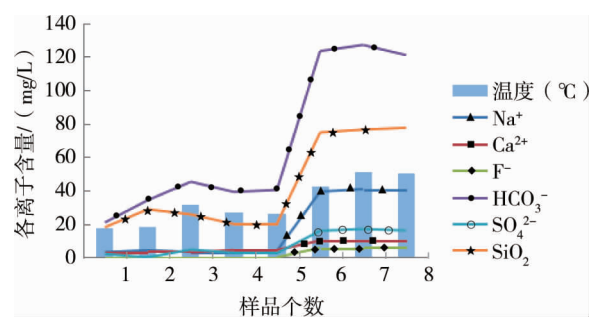


图 2 汤市地区常温水与地热水对比表(热指示性常量元素)

普遍比常温水样要高,从中选出5种较为典型的冷热指示性元素进行分析,具体见表3,其中水样中Si, As, Au, Li的含量与水温呈正相关关系,而Ba与水温呈负相关关系.由表可以看出, Si和Li的含量与水温的正相关关系最佳,可以作为区内热水的典型指示性微量元素.

表3 汤市地区常温水与地热水对比表(热指示性微量元素)

样品编号	对比项目					温度/℃
	Si	As	Au	Ba	Li	
SY-1	8.367	0.003 4	0.026 0	0.033 3	0.000 8	17.2
SY-2	13.380	0.000 1	0.043 0	0.018 9	0.003 3	18.2
SY-3	11.960	n. a	0.038 8	0.029 0	0.001 4	31.7
SY-4	9.251	0.011 2	0.033 4	0.011 0	0.002 9	26.9
SY-5	9.357	0.005 2	0.020 6	0.010 2	0.002 7	25.6
SY-6	34.810	0.103 6	0.122 6	0.001 8	0.345 1	42.1
SY-7	35.620	0.096 4	0.118 8	0.000 7	0.356 7	50.6
SY-8	36.150	0.100 3	0.119 5	0.001 3	0.349 1	50.3

### 3 地热水成因分析

#### 3.1 地热水水岩作用分析

地下水中水化学组分取决于其补给、径流及排泄途中与外界(包括大气圈、水圈和岩石圈)发生的溶质交换、转换.地下水系统所处的岩石圈岩性、风化程度,地下水系统的水动力条件和温度等,决定了径流途径中所发生的一系列物理化学反应,最终决定地下水的化学组成<sup>[12]</sup>.

汤市地区地层除局部区域第四系覆盖外,主要为彭公庙花岗岩体,主要矿物成分为石英、长石、黑云母等.区内地下水中浓度较高的离子有 $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{HCO}_3^-$ ,地热水中 $\text{F}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度亦较高,且由水化全分析结果可以看出地热水中 $\text{Na}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 及 $\text{SiO}_2$ 这几项浓度远远高于地表常温水.表明区内热水形成的主要水文地球化学过程与降水入渗淋滤过程中围岩硅铝酸盐及其他矿物成分(包括碳酸盐、硫酸盐等)的溶解作用有关.

#### 3.2 地热水循环过程分析

根据勘查区地热水与地表水及浅层裂隙水化学组份特征对比分析,二者阴离子均以重碳酸根离子( $\text{HCO}_3^-$ )为主,硫酸根离子( $\text{SO}_4^{2+}$ )、氯离子( $\text{Cl}^-$ )次之,阳离子均以钠离子( $\text{Na}^+$ )及钙离子( $\text{Ca}^+$ )为主,镁离子( $\text{Mg}^{2+}$ )、钾离子( $\text{K}^+$ )浓度较低,区别在于,地表水及浅层裂隙水中硫酸根离子与氯离子浓度相差不大,钠离子与钙离子浓度也相差不大,而地热水中硫酸根离子浓度相对氯离子浓度较高,钠离子浓度相对钙离子浓度较高,且地热水中氟离子( $\text{F}^-$ )浓度较高且与裂隙水中的氯离子浓度接近,氯离子在地热水中未检出.

地热水与地表水及浅层地下水二者上述主要化学成份组成上的相同及明显差别,表明区内地热水与浅层地下水存在互补关系(见图3).地热水表现为低矿化度(平均202.4mg/L)、极软水、弱酸性低温热水的特点,也反映了本区地下水补给区与排泄区相距较近、地热水沿断裂带径流条件较好、循环速度较快的特征,具硫化氢气味则表明地热水所处地球化学环境为与地表大气相对隔绝的封闭环境,这是热储的重要特征之一.

地下热水的形成须具备热源、水源、导热导水通道、储热储水空间及对热的保护(盖层)等条件<sup>[13]</sup>.根据勘查区浅层地下水和地热水的化学组成特征,结合本区地形地貌、区域地质背景条件及地热区地热地质条件综合分析,汤市地热水形成应是由地势较高的区域浅层地下水沿花岗岩体内裂隙和断裂破碎带下渗进入岩体深部,再经过地下水溶滤作用、地温加热后

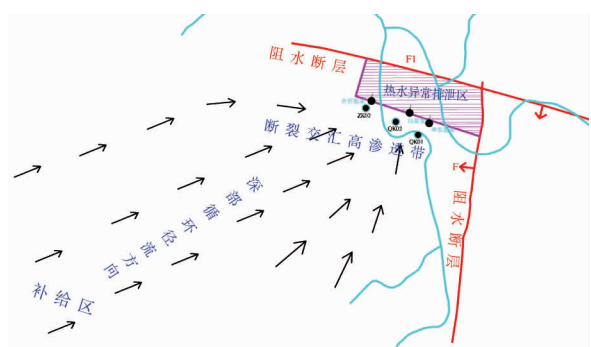


图3 汤市热储循环平面



受压差和密度变化影响,再沿 F1 断层与 F 断层交汇的断裂破碎带聚集上升,并与部分低温地下水一起汇集到浅部裂隙带内形成热水储层,以浅部第四系松散堆积物、风化花岗岩及较完整岩体等弱透水层和隔水层为阻热盖层,沿断裂带以泉水和越流形式往上层地势低洼的汤市乡镇地下水排泄区向河流和浅部第四系松散含水层扩散,并在盖层薄弱断层交汇区域排出地表形成汤市 3 个温泉(见图 3)。

## 4 结论

1) 汤市地区地下热水的来源主要是受到华夏系构造作用和加里东期侵入构造的影响形成,热水主要分布在加里东期的花岗岩体上,地表水通过裂隙和断层 F 入渗到深部循环加热再在 F 和 F1 的交汇处排出形成温泉,地下热水成因属于断裂构造控制地下水在中浅层岩浆岩体内循环加热型。

2) 本区地表水、裂隙水和潜水含有的主要离子成分几乎一样,含量相差不大,均以重碳酸根离子( $\text{HCO}_3^-$ )和钠离子( $\text{Na}^+$ )为主,地下常温水还有钙离子( $\text{Ca}^{2+}$ ),属 Na-HCO<sub>3</sub> 型水和 Ca-HCO<sub>3</sub> 型水,呈弱酸性的低矿化度的水。

## 参考文献:

- [1] 贾志,张芬娜. 天津地区地热流体化学成分垂向演化特征研究[J]. 地质调查与研究,2015,38(1):57-62.
- [2] Gao B Z, Li X M, Jia Z, et al. Hydrogeochemical Properties of the Tian jin(China) Geothermal Field[C]//Word Geothermal, Congress. Bali, Indonesia, 2010.
- [3] 湖南省水文地质工程地质队. 1:20 万永兴幅地质普查[R]. 1975~1977.
- [4] 湖南省水文地质工程地质队. 1:20 万永兴幅水文地质普查工作[R]. 1977~1979.
- [5] 张术根. 地热流体成矿作用分析[J]. 矿床地质,1998,17(1):91-96.
- [6] 姜齐节. 论渗流热卤水成矿作用的意义与成因标志[J]. 地质与勘探,1980(1/2):1-5.
- [7] GB/T 11615-2010. 地热资源地质勘察规范[S].
- [8] 赵慧. 关中盆地地下热水地球化学及其开发利用的环境效应研究[D]. 西安:长安大学,2009.
- [9] 赵苏民,高宝珠,黎雪梅,等. 沧东断裂(天津段)特征及导水导热性分析[J]. 地质调查与研究,2007,30(2)121-127.
- [10] 钱会,马致远. 水文地球化学[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [11] 刘学领. 地热异常区不同含水层水化学组分差异[J]. 地震地磁观测与研究,2013,30(5/6):188-192.
- [12] 徐世光,郭远生. 地热学基础[M]. 北京,科学出版社,2009.
- [13] 刘声凯,景营利. 湖南省宜章县用口地区地热流体特征及成因浅析[J]. 地下水,2014,36(1):12-14.