

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.04.009

引用格式:王进,肖则佑,侯怀敏. 赣南断褶山地对流型地热系统特征及成因——以石城县楂山里地热系统为例[J]. 华东地质, 2020, 41(4): 381-386.

## 赣南断褶山地对流型地热系统特征及成因—— 以石城县楂山里地热系统为例

王进<sup>1,2</sup>, 肖则佑<sup>2</sup>, 侯怀敏<sup>2</sup>

(1. 江西理工大学, 赣州 341000; 2. 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 赣州 341000)

**摘要:** 赣南地区构造运动强烈, 形成较多的地热水, 是我国地热资源开发利用的重点地区之一。文章以赣南石城县楂山里地热系统为例, 探讨了赣南断褶山地对流型地热系统的特征及成因, 对寻找地热资源及开发利用清洁能源具有实际意义。石城县楂山里地热系统为典型的赣南断褶山地对流型地热系统, 以 NNE 向断裂提供的大地热流为热源, 以受迫对流为机制, 大气降雨通过断裂带裂隙入渗并深循环, 汲取围岩热量和深部岩浆岩放射性热量后形成地热水, 在地形高差和水压力差作用下形成环流, 沿导水裂隙在地势低洼地带出露后形成温泉。

**关键词:** 赣南断褶山地; 对流型; 地热系统; 楂山里地热

**中图分类号:** P314.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2020)04-381-06

随着经济的发展和生活水平的提高, 人们对生活品质和生态文明建设的追求越来越高, 地热水资源作为一种新型能源, 清洁无污染, 倍受人们密切关注<sup>[1-2]</sup>。

我国地热资源主要分布在西南边陲、东南诸省及内陆盆地(松辽盆地、华北盆地、江汉盆地及众多山间盆地)<sup>[3]</sup>。夏邦栋<sup>[4]</sup>认为南京汤山地热系统热源主要来源于地热增温率、现代火山及地下岩浆余热和放射性元素的衰变及硫化物矿床的氧化作用。汪集旻<sup>[5]</sup>通过研究福建一带温泉特征, 提出了“中低温对流型地热系统”理论, 认为温度低于 150 ℃, 地下深处无岩浆活动作为附加热源, 在正常或偏高的区域地热背景下, 出现在裂隙介质或断裂破碎带的地下热水环境系统均属于中低温对流型地热系统。田廷山等<sup>[6]</sup>认为赣南地区地热热储温度一般为 110~130 ℃, 热水循环深度不超过 4 km。肖则佑等<sup>[7]</sup>通过总结赣南东部地热水特征及成因, 认为地

下水热源主要为地下水深循环热及放射性元素衰变热。目前, 对赣南断褶山地热系统研究相对较少。本文以石城县楂山里地热系统为例, 通过总结赣南断褶山地 20 处温泉的地热地质特征和水化学相关参数特征, 探讨赣南断褶山地对流型地热系统特征及成因, 为该区下一步地热资源开发及利用提供参考。

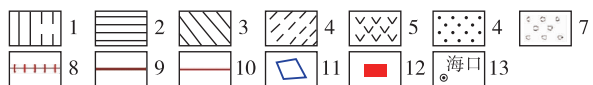
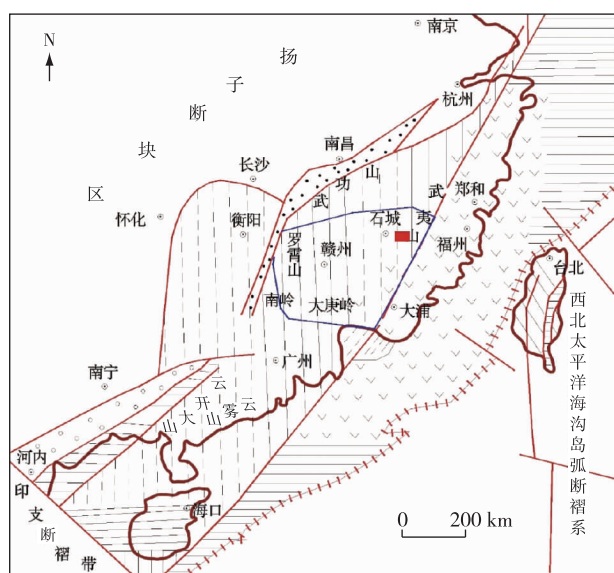
### 1 地质背景

赣南地区是环太平洋岛弧的组成部分, 经历了中新世地壳运动, 特别是上新世—更新世, 受菲律宾海板块和欧亚板块俯冲影响, 中央山脉迅速隆起成为高山, 同时发育台湾海峡裂谷盆地, 中国东部形成了一系列 NE 向中新世代裂谷盆地(图 1)。该区断裂大多数为 NNE 向和 EW 向, 地壳厚 31.8~27.6 km, 由西向东, 地壳厚度趋于减小, 大地热流值为 63.2~95.7 mW/m<sup>2</sup><sup>[8]</sup>, 该区存在较强的深部断裂活动。

\* 收稿日期: 2020-03-06 修订日期: 2020-06-02 责任编辑: 谭桂丽

**基金项目:** 江西省地质矿产勘查开发局“江西省兴国梅窖—宁都青塘盆地地下水资源调查评价——江西省石城县楂山里地热水可行性勘查(编号: 赣地勘字[2014]86 号)”项目资助。

**第一作者简介:** 王进, 1990 年生, 男, 工程师, 主要从事水文地质和地热地质研究工作。Email: 782711845@qq.com。



1. 加里东构造层; 2. 海西期—印支期构造层; 3. 印支期构造层; 4. 燕山期构造层; 5. 陆相中酸性火山岩; 6. 陆相碎屑沉积; 7. 喜马拉雅期构造层; 8. 大陆型与地壳过渡型地壳分界; 9. 大陆与海洋分界线; 10. 断裂; 11. 研究区; 12. 植山里温泉研究区; 13. 地名

图1 华南断褶系构造略图<sup>[9]</sup>

Fig. 1 Fault-fold structural sketch map of South China<sup>[9]</sup>

## 2 植山里地热系统地质特征

植山里地热田位于石城县城北东方向约 8 km 处,属于亚热带季风型湿润性气候区,温暖潮湿,四季分明,雨量充沛。春季多雨,夏季炎热,最高气温 39℃;冬季寒冷,最低气温 -2℃。全年无霜期 275 天,年平均降雨量约 1 500 mm。

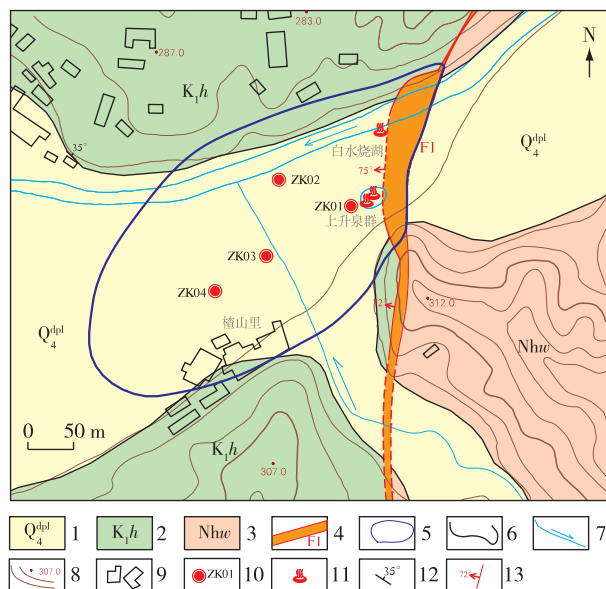
### 2.1 地形地貌

植山里地热田属于构造剥蚀低山丘陵地貌区,海拔 240~680 m,最低点为西侧沟谷。山脊总体呈 NW 向展布,山顶海拔 290~680 m,相对高差为 60~390 m。区内总体地势西低东高,南北高中间低,三面环山。

### 2.2 地层岩性

该区以近 SN 向断裂为界,东部出露南华纪万源岩组(Nh<sub>w</sub>),岩性为变余中细粒砂岩、变余长石石英砂岩、砂质板岩、板岩,以变余长石石英砂岩为主,显微鳞片变晶结构,条纹构造。岩石由石英、长石、绿泥

石组成的条带与由石英、长石、白云母和少量绿泥石组成的条带相间产出,长石碎屑粒径 0.02~0.05 mm,呈镶嵌状定向排列。西部出露早白垩世火把山组(K<sub>1</sub>h),岩性为灰白色、灰绿色、紫红色泥岩、粉砂岩、砂岩组合,以粉砂质泥岩为主,含粉砂泥质结构,块状构造,方解石含量为 10%,石英含量为 20%,黏土矿物和泥质物含量为 70%。石英碎屑粒径为 0.02~0.05 mm;方解石呈碎屑状、浑圆颗粒状,零星分布,黏土矿物呈针状、条带状分布于褐红色泥质中。南华系与白垩系为断裂接触,第四系分布于河流两侧及山间沟谷,由晚更新世坡洪积层组成,上部为耕作土,下部为含碎石粉砂质土(图 2)。



1. 第四纪冲洪积层; 2. 白垩纪火把山组; 3. 南华纪万源组; 4. 断层及编号; 5. 地热田范围; 6. 地质界线; 7. 地表溪流及流向; 8. 等高线及高程; 9. 房屋; 10. 钻孔及编号; 11. 天然出露温泉; 12. 地层产状; 13. 断裂倾向及倾角

图2 植山里地热田地形地质图

Fig. 2 Topographic geological map of Zhashanli geothermal field

### 2.3 断裂

该区发育 F1 断裂,出露于矿区中部,产状总体较稳定,呈近 SN 向展布,局部膨胀收缩,略具“S”型展布,由南向北贯穿研究区,延伸长度 > 4 km,宽度 1~20 m,倾向 260°~285°,倾角 72°~75°。地表局部可见断裂带内有萤石风化流失后残留的网格状硅质骨架(孔洞)和蛋白石化、褐铁矿化、绿泥石化等蚀变现象,断裂带以强烈硅化和大量网脉状硅质

脉体充填及萤石化为特征,裂隙发育不规则,岩心破碎,是地下水储存的有利场所。白水烧湖附近有温泉从该破碎带溢出。

## 2.4 水文地质特征

### 2.4.1 天然温泉出露情况

该区著名的白水烧湖出露于山谷溪流旁(第四系厚度为 50 cm),流量 300 t/d,温度 48 ℃。区内还见 2 处间歇性温泉群,出露于中部坡洪积层低洼地带的小池塘中,混合水温 29~31 ℃,有翻砂冒泡现象,冒泡间隔 5~8 s,流量极小(图 2)。

### 2.4.2 补给条件

研究区属于低山丘陵地貌区,大气降水为该区地下水的主要补给来源。大气降水通过第四系松散层孔隙,碎屑岩、变质岩裂隙,断裂及裂隙渗入地下,是地下水的主要补给源。抽水试验表明,钻孔水位降低时,地表水水位也降低,说明地表水也是该区的重要补给来源。

### 2.4.3 储存空间及导水通道

该区地热水主要储存在断裂带中,呈近 SN 向展布,倾向 273°,倾角 72°~75°,破碎带岩心呈黄褐色,硅化,裂隙发育,轴心夹角 30°~40°,裂面凹凸不平,有热液蚀变沉淀物充填,为张性裂隙。大部分岩心破碎呈砂砾状,甚至形成空洞,是地热水天然的储存空间和导水通道。断裂带地势较低区或导水通道较好的地区(无第四系黏土层或隔水层覆盖区)有利于地下水出露,地热水出露于该区地势较低的沟谷中。

### 2.4.4 盖层

断裂带上盘与断层下盘的南华系为断裂接触关系,主要为白垩纪紫红色泥质粉砂岩,呈泥质粉砂结构,厚层状构造,裂隙发育少,且 90%裂隙为闭合裂隙,在近地表 5 m 内为强风化-中风化带,储存基岩裂隙水。红层具有较好的含水性,是天然的阻水层,是楂山里地热田的天然盖层。由于地热水主要沿断裂展布,因此每个钻孔的盖层厚度不一。

## 3 楂山里地热系统成因模式

### 3.1 热源

楂山里地热系统的热源为地下水深循环热,断裂热水均分布于近 SN 向张性断裂上。SN 向断裂张应力强、形成时间晚、切割深度大、地下水循环较深,按正常地热增温率进行水循环,有利于形成地

下热水。地下热水的水温高低主要取决于热水的埋藏深度。钻孔系统测温发现,地下水埋深越深,盖层厚度越大,孔底水温越高(表 1)。

表 1 楂山里地热田温度随深度变化统计结果

Table 1 Statistics of temperature variations with depth in Zhashanli geothermal field

钻孔 编号	孔深/m	盖层厚 度/m	孔口温 度/℃	孔底温 度/℃	增温率/ (℃·hm <sup>-1</sup> )
ZK01	80	50	34	48	17.5
ZK02	350	260	25	53	8.0
ZK03	500	440	23	55	6.4
ZK04	750	650	22	59	4.9

### 3.2 楂山里地热系统成因模式

研究区地下热水的补给来源主要为大气降水和地表水。在地形高差造成的水压差作用下,顺着近 SN 向断裂、裂隙、第四系孔隙渗入地下。地下水向深部径流过程中,不断吸收周边围岩释放的热量,水温逐渐升高,比重小于一般地下水的比重,从而产生热对流。地下热水由下向上运动,冷水由上向下补充,循环不断,形成地热水,在楂山里山谷溪流旁出露成泉,即白水烧湖。断裂东部低山区南华纪变质岩裂隙发育且分布广,为楂山里地热田提供了充足水源,SN 向断裂提供了良好的导水、导热通道,白垩纪粉砂岩形成了良好的隔热、隔水盖层,是形成楂山里地热系统的必要条件。

## 4 讨论

根据前人提出的对流型地热水理论及楂山里地热系统特征,结合赣南断褶山地 20 处温泉出露特征及相关水化学参数(表 2),讨论赣南断褶山地对流型地热系统特征及成因。

### 4.1 赣南断褶山地地热系统特征

(1)受 NNE 向断裂影响,多条断裂活动有利于温泉水的出露。在 21 个温泉(含楂山里温泉)中,所有温泉均受断裂带控制,大部分温泉受 NNE 向断裂影响强烈,其次为 NE 向和 NW 向断裂,EW 向断裂影响最小。大部分温泉出露于多个断层的复合部位,一般情况下,NNE 向断裂为压扭性断裂,导水条件不好,但在其他断裂影响下,可形成较好的地热系统,如于都县公馆温泉,NNE 向断裂为控热构造,而 NW 向断裂为导水构造,二者相互作用后形成了公馆地热系统。

表 2 赣南断褶山地 20 处温泉基本情况统计结果

Table 2 Statiscits of 20 hot springs in the fault-fold mountains of Southern Jiangxi

温泉名称	出露地层岩性	构造	水温/ ℃	流量/ (L · s <sup>-1</sup> )	pH 值	矿化度/ (mg · L <sup>-1</sup> )	偏硅酸含量/ (mg · L <sup>-1</sup> )	氟含量/ (mg · L <sup>-1</sup> )
宁都县美佳山温泉	震旦纪混合岩	NE 向张扭性断裂	43	4.459	7.3	310	97.5	15.62
宁都县兰田温泉	燕山期黑云母花岗岩	NNE 向张性、张扭性断裂	45	0.079	7.3	461.72	130	10
石城县烧水湖温泉	燕山期黑云母花岗岩	NNE 向断裂带	40.5	0.129	7	442.67	65	9
石城县九寨温泉	西侧白垩纪粉砂岩, 东侧震旦纪变质砂岩	NNE 向断裂带	56	1.491	6.65	564.25	78	5.5
上犹县双溪口温泉	燕山期黑云母花岗岩	NNE 向与 EW 向断裂带复合部位	43	0.454	7~8.4	230	130	8.5
上犹县暖汤温泉	东南侧寒武纪变质细砂岩, 西北侧燕山期花岗岩	NNE 向与 NW 向断裂带复合部位	39.5	2.816	7~8.3	184.71	104	6
崇义县下暖水温泉	寒武纪变质岩、加里东期黑云母花岗岩	NNE 向断裂带	43	4.65	7.5	250	32.5	4~8.5
于都县公馆温泉	东侧震旦纪变质岩, 西侧加里东期黑云母花岗岩	NNE 向压扭性断裂与 NW 向断裂复合部位	38	1.192	7	955	71.5~171.6	6
瑞金市咸水温泉	北西侧燕山期黑云母花岗岩, 南东侧白垩纪红层	武夷山环状构造带	37	0.794	6~6.7	948	130	4.6
瑞金市深塘温泉	白垩纪红层	武夷山环状构造带	54	27.8	6.9	860	146	8
大余县河洞温泉	燕山期黑云母花岗岩	NE 向断裂带	44	0.794	6~7.4	335.89	58.5	5.15
信丰县背背温泉	燕山期黑云母花岗岩	NE 向断裂带	50	2	7~7.6	350	78	12
会昌县车心温泉	白垩纪红层	NW 向与 SN 向断裂复合部位	40	16	7	559.77	117~150.8	4.6
安远县虎岗温泉	燕山期黑云母花岗岩	NE 向、EW 向与 SN 向断裂复合部位	78	25	7	225	56.39~130	7.5~14
安远县新塘温泉	震旦纪混合岩	NE 向与 NW 向断裂复合部位	35	1.203	6.8	1 039	78	6~6.8
全南县南迳温泉	侏罗纪火山碎屑岩	EW 向与 NE 向断裂复合部位	65	7.1	5.9~7	755~955	58.5~72.8	6.7
全南县茅山温泉	震旦纪变质岩、燕山期花岗岩	NE 向与 EW 向断裂复合部位	50	2.3	6.8	570	52~91	2.4~2.58
龙南县汤湖温泉	侏罗纪火山碎屑岩	NNE 向与 NW 向断裂复合部位	75.5	3	6.5	900	67.6	5.25
寻乌县热水温泉	侏罗纪凝灰岩、燕山期石英斑岩	NNE 向断裂带	70	8.531	7.3	956.96	52	11
寻乌县磷石背温泉	侏罗纪火山碎屑岩、白垩纪红层	NNE 向与 NNW 向断裂复合部位	38	5.55	6.8~7.4	2 981~3 698	37.7~162.5	4.7~7.35

(2)受地层岩性控制。21 处温泉中,大部分温泉出露于岩浆岩地区,其中燕山期花岗岩对温泉的出露影响最大,变质岩对温泉的出露影响次之,红层对温泉的出露影响最小。

(3)均为中低温地热系统。统计的赣南断褶山地 21 个温泉中,孔口温度最低 35 ℃(安远新塘温泉),孔口温度最高为 78 ℃(安远虎岗温泉)。根据汪集旻<sup>[5]</sup>提出的中低温对流型地热系统理论,赣南

断褶山地地热系统均为中低温对流型地热系统。

(4)热源为地下水深循环热及放射性衰变热。该区断裂带热水均受断裂控制,且断裂经过多次活动,切割深度大,地下水循环深度大。以楂山里温泉为例,地下水循环深度为 3~4 km,随着钻孔揭露深度的增加,孔口温度也随之增加,说明地下水深循环热是主要的热源之一。肖则佑等<sup>[7]</sup>通过研究赣南东部地区地热水的水化学特征,认为地热水中铀、镭、氡含量越高,地热水温度也越高。区内大部分出露的温泉与岩浆岩有关,岩浆岩中的放射性元素衰变是一种自然放热过程,对地热水的形成有利。

(5)补给源主要为大气降雨和地表水。楂山里温泉所处区域年平均降雨量约 1 500 mm,地热区地表水系发育,充沛的大气降水和地表水为地热水提供了充足的补给源。楂山里 ZK01 和 ZK03 钻孔长观资料表明:丰水期,地热井水位升高,自流量增大;枯水期,地热井水位降低,自流量减小。

(6)地热水一般为低矿化度的偏硅酸、氟医疗矿泉水。统计的 20 处温泉中,大部分温泉矿化度 <1 g/L,所有温泉的偏硅酸及氟含量达到医疗

矿泉水标准。地热水中的氟含量均 <20 mg/L,偏硅酸含量变化幅度较大,地热水温度与 pH 值、偏硅酸及氟含量关系不明显。

(7)地热系统形成时间较长。对于正常区域热流背景(60 mW/m<sup>2</sup>)供热,循环深度为 4.0 km,发育在裂隙中的地热系统大概需要 10 万年才能形成<sup>[8-9]</sup>。赣南断褶山地的地下水循环深度一般为 3~4 km,因此,该地热系统的形成时间较长。

## 4.2 赣南断褶山地地热系统成因模式

赣南断褶山地地热系统成因模式如图 3 所示。由垂直于断裂带的剖面(图 3(a))可知,大气降水或地表水沿地表风化裂隙或断层裂隙进入地下,形成地下水,由于断裂带切割深度大,延伸长,地形起伏大,在地形高差及水压差作用下,地下水进行深循环。由平行于断裂带的剖面(图 3(b))可知,地下水在径流过程中不断吸取围岩中的热量及放射性元素的衰变热量,形成温度不等的地热水。随着循环深度增加,水温也越来越高,在断裂交汇部位或构造侵蚀有利部位以温泉的形式出露地表,形成一个环流系统。

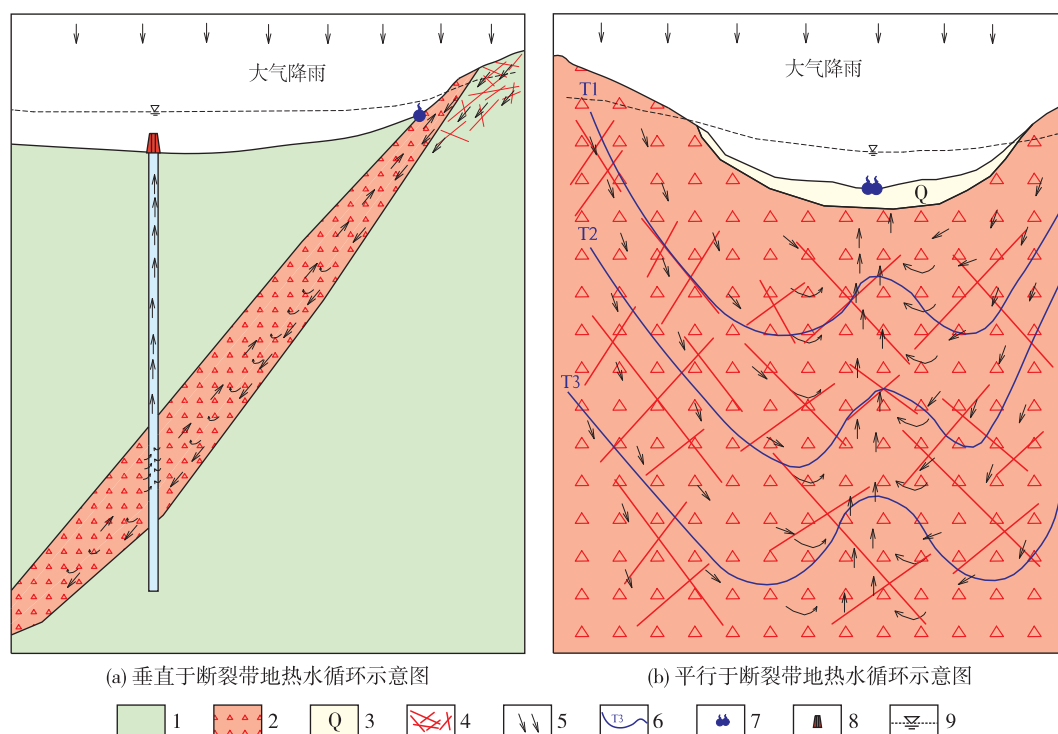


图 3 赣南断褶山地地热系统成因模式图

Fig. 3 Genetic model of geothermal system in the fault-fold mountains of Southern Jiangxi

## 5 结 论

(1)赣南断褶山地地热系统属于中低温对流型地热系统,受断裂和岩性控制,以大气降雨和地表水为主要补给源,以深循环热及放射性元素衰变热为热源,地下水循环深度深,形成时间长,但矿化度低,且地热水中的偏硅酸和氟化物含量均达到医疗矿泉水标准。

(2)赣南断褶山地接受大气降水或地表水补给,沿地表风化裂隙或断层裂隙进入地下并进行深循环,汲取围岩中的热量及放射性元素的衰变热量,形成温度不等的地热水,在断裂交汇部位或构造侵蚀有利部位以温泉的形式出露地表,形成对流型地热系统。

## 参考文献

[1] 李心玉,张文国.浅谈地热资源的类型与开发利用[J].

西部资源,2016(2):91-93.

[2] 王贵玲,张薇,梁继运,等.中国地热资源潜力评价[J].地球学报,2017,38(4):449-459.

[3] 石涵静,郭威,高剑.西集地区层状与带状热储并存的地热资源特征[J].城市地质,2017,12(1):59-64.

[4] 夏邦栋.宁苏杭地区地质认识实习指南[M].南京:南京大学出版社,1986:59-62.

[5] 汪集旸.中低温对流型地热系统[J].地学前缘,1996,3(3/4):96-103.

[6] 田廷山,李明朗.中国地热资源及开发利用[M].北京:中国环境科学出版社,2006:1-6.

[7] 肖则佑,王进,侯怀敏.赣南东部地热水特征及成因分析[J].东华理工大学学报(自然科学版),2018,41(3):255-261.

[8] 徐世光,郭远生.地热学基础[M].北京:科学出版社,2009:19-21.

[9] 栾光忠,邱汉学.中低温对流型地热系统的典型成因[J].青岛海洋大学学报,1998,28(1):156-160.

# Characteristics and genesis of convective geothermal system in the fault-fold mountains of Southern Jiangxi: A case study of Zhashanli geothermal system in Shicheng County

WANG Jin<sup>1,2</sup>, XIAO Ze-you<sup>2</sup>, HOU Huai-min<sup>2</sup>

(1. Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. Gannan Geological Survey Party, Bureau of Geology and Exploration and Development of Mineral Resources of Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** Southern Jiangxi, characterized by strong tectonic movements and much geothermal water, is one of the key areas for geothermal resources development and utilization in China. Taking the Zhashanli geothermal system in Shicheng County as an example, the paper discusses the characteristics and genesis of convective geothermal system in the fault-fold mountains of Southern Jiangxi, which is of practical significance to the search for geothermal resources and development and utilization of clean energy. The Zhashanli geothermal system takes the terrestrial heat flow provided by NNE fault as heat source, and forced convection as mechanism. Atmospheric rainfall penetrates through cracks and circulates in the deep fault zone, absorbing the heat of surrounding rocks and radioactive heat of deep magmatic rocks to form geothermal water, forming circulation under the effect of topographic elevation difference and water pressure difference, and forming hot springs along water flowing fissures in depressions.

**Key words:** fault-fold mountains in southern Jiangxi; convective type; geothermal system; Zhashanli geothermal field