

# 贵州石阡-花桥断裂构造特征及其对地热资源的控制作用

张晗彬, 邓旭升, 王波, 唐佐其, 陈武

(贵州省地质调查院 贵州省地质物探开发应用工程技术研究中心 贵州省地质调查院院士工作站, 贵州 贵阳 550081)

**[摘要]**石阡地区具有丰富的地热资源,在石阡-花桥断裂带及其次级构造中形成了一系列的温泉群。断裂构造对地热资源具有严格的控制作用。本文通过对石阡-花桥断裂带显微构造、运动学等构造地质特征和该地区地热特征,系统分析石阡-花桥断裂带构造特征及其对地热资源的控制作用。研究认为,石阡地区地热资源的主要热源为地温梯度增温,地热资源的分布严格受控于石阡-花桥断裂。石阡断裂为逆冲兼左行平移断层,为地热水的传导和储集提供了有利空间。花桥断裂带发育拉张裂隙、扭裂隙及分枝状断层,圈闭了含水岩系,在拉裂破碎带上形成热储。温泉大多沿主要控热、导热断裂出露,平面上呈线状分布于石阡和花桥断裂上盘及花桥断裂的断夹块中。

**[关键词]**石阡-花桥断裂;温泉;走滑断层;地热模式

**[中图分类号]**P542.3;P314.1 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2018)02-0131-06

地热水具有较高温度、含特殊化学成分或气体成分的特点(李保珠等,2011),对区域及全球地热场特点、地壳热状态、岩石圈热结构和地球的热演化史方面的研究具有重要的作用(Chapman et al., 1977; 闫秋实等,2012)。地热资源作为一种清洁而宝贵的矿产资源,也被广泛应用于采暖、热供水、医疗、娱乐等方面。至上世纪90年代以来,我国地热资源的直接利用向规模化、产业化方向发展,对地热资源的需求及勘查也有了很大的发展(刘红战等,2014)。

石阡位于凤岗南北向褶断区与铜仁东北向褶断区接触带,在石阡-花桥断裂带及其次级构造中形成了一系列的温泉群,成为了贵州较为重要的一个地热资源富集地带。前人对石阡地区地热水的赋存特征(田小林,2016)、同位素年龄(陈履安等,1997)及地球化学特征(张世从和陈履安,1992)和地热资源储量(杨荣康等,2014)进行了相应的研究。然而由于该地区构造的复杂性,对断裂构造特征和地热资源的分布规律、主控因素

未见较为详细的报道。因此,本文通过石英C组构造、运动学等构造地质特征和地热特征,系统分析石阡-花桥断裂构造特

征及其对地热资源的控制作用。这对于获取区内可再生清洁能源,促进旅游产业的发展 and 地区经济的增长都具有重要的意义。

## 1 地质背景

研究区为特提斯构造域和滨太平洋构造域的交接部位,大地构造位置位于上扬子陆块,处在凤岗南北向褶断区与铜仁东北向褶断区接触带这一特定构造部位。区内经历了多次构造作用,也就造成了不同期次的构造及其空间组合形式上的差别,同时也产生了前期构造对后期构造的控制和干扰,后期构造对先期构造的继承、改造与叠加作用。其中石阡-花桥断裂带及其褶皱系统成为了研究区构造运动的代表产物。

**[收稿日期]**2018-03-23 **[修回日期]**2018-04-30

**[科研项目]**贵州省地矿局2014年度局青年地质科学研究项目《贵州省石阡-花桥断裂构造特征及其对地热控制研究》(编号:黔地矿科合(2014)12号)。

**[作者简介]**张晗彬(1989—),女,硕士,工程师,现从事区域地质调查研究工作。

### 1.1 地层特征

研究区地层从青白口系至三叠系均有出露,石阡断裂附近出露少量第四系。第四系岩性为粘土、砂和砂砾,三叠系岩性为灰岩、泥灰岩和钙质页岩,二叠系岩性为灰岩、燧石灰岩、石英砂岩和泥页岩,志留系主要为石英砂岩、粉砂岩、粉砂质页岩和生物屑灰岩,奥陶系岩性主要为灰岩、白云质灰岩、页岩和钙质页岩,寒武系岩性主要为白云岩、白云质灰岩,震旦系主要为细粒白云岩、页岩,南华系南沱组岩性为冰碛砾岩、含砾砂岩和砂质板岩。相位齐全,从深水盆地相-边岸相均有发育,其中寒武纪中-晚期到奥陶纪早期主要为碳

酸盐岩台地相。另在区内及附近的青白口系地层总体经受了低级区域变质作用和低-中级的热液变质作用,主要为变质(余)砾岩、变质(余)砂岩、变质(余)粉砂岩系列、板岩、变质凝灰(质)岩系列等。

### 1.2 断裂带构造特征

研究区石阡-花桥断裂带主要由北北东向的石阡断裂与北东向的花桥断裂组成(图1)。石阡-花桥断裂带在不同的部位具有明显的差异,研究区早期表现为石阡断裂的逆冲,后期石阡断裂在区内北东段被花桥断裂切割,而在南西段则表现为张裂性断裂的组合特征。

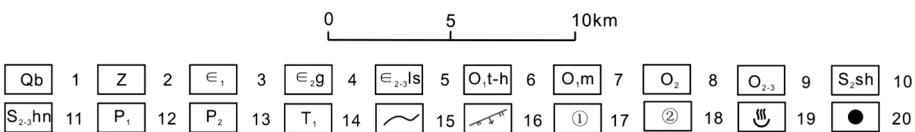
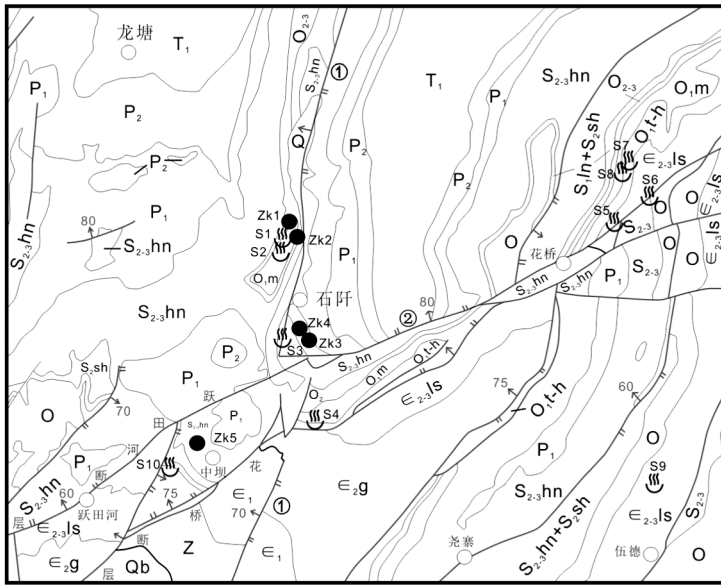


图1 研究区地热资源分布图

Fig.1 Geothermal resource distribution in the target area

1—青白口系;2—震旦系;3—寒武系下统;4—寒武系中统高台组;5—寒武系中上统娄山关组;6—奥陶系下统桐梓组红花园组;7—奥陶系下统湄潭组;8—奥陶系中统;9—奥陶系中上统;10—志留系中统石牛栏组;11—志留系中上统韩家店组;12—二叠系下统;13—二叠系中统;14—三叠系下统;15—地质界线;16—断层;17—石阡断裂;18—花桥断裂;19—温泉点;20—地热井

#### 1.2.1 构造地质特征

石阡断裂为区域性活动断裂,在研究区呈北北东向延伸,断面倾向为北西向,倾角 60°~80°之间,为一逆冲断层,兼左行平移。断层的走向滑动使得两侧褶皱不相呼应,北西盘褶皱轴向北东,南东盘褶皱轴向显示为近南北向。石阡断裂于湾塘与花桥断裂交汇,其断裂破碎带宽 20~150 m,常见角砾岩、挠曲和次级小断裂。

花桥断裂在石阡南西方向分枝为南北两条断

层,分别为花桥断层和跃田河断层,在石阡北东方向复合为一枝主断层向北东延伸,属于松桃-碧痕营活动断裂束(卢定彪等,2011)。主花桥断裂与地表近直立,断层规模较大,形成较宽的花桥断裂带及一些次级断裂以及断层夹块。花桥断裂带宽约 4~6 km。花桥断裂带总体倾向北西,倾角较陡,60°~80°之间,北枝跃田河断层向北东延伸交于石阡断裂。该断裂在区内甘溪-石阡段以正断层为主,兼左行平移,长度约 35 km。断距为

100~1 500 m,在甘溪附近断距较大;在花桥-木耳寨段为一左行平移兼正断层,断距最大约 200 m,多见碎裂岩、角砾岩及拽引褶曲。该段的花桥断裂带中发育较多断夹块,断裂具有发辫状破裂的几何特征(图 3)。

### 1.2.2 显微构造特征

石英是对应力变形反应敏感的一轴晶矿物,石英 C 轴组构可以揭示岩石的变形程度、受力强度与方向、变形环境等动力学信息。本次对采自石阡-花桥断裂带的砂岩样品进行了石英 C 轴组构测定,进行等面积网下半球投影(图 2)。岩组最高极密为 3.2,光轴优选方位明显,具多个高极

密点,总体显示斜方对称向单斜对称过渡的形式,反应岩体变形较强。主要发育两个方位的极密,分别为 NE-SW 向和 NW-SE 向,指示岩石至少发生两期构造变形叠加。石英的滑移系很多,大体可以分为底面滑移、菱面滑移、柱面滑移。温度对滑移系起着主导作用,而不同的滑移系在剪切作用下会产生产生不同的石英 C 轴组构特征(Passchier and Trouw, 2005)。石阡-花桥断裂带岩石石英 C 轴组构分析结果中点极密靠近圆周附近的分布型式,属于底面滑移,其变形温度为 400℃ 以下。结合岩石薄片镜下显微构造特征,推测岩石变形温度在 350℃ 左右。

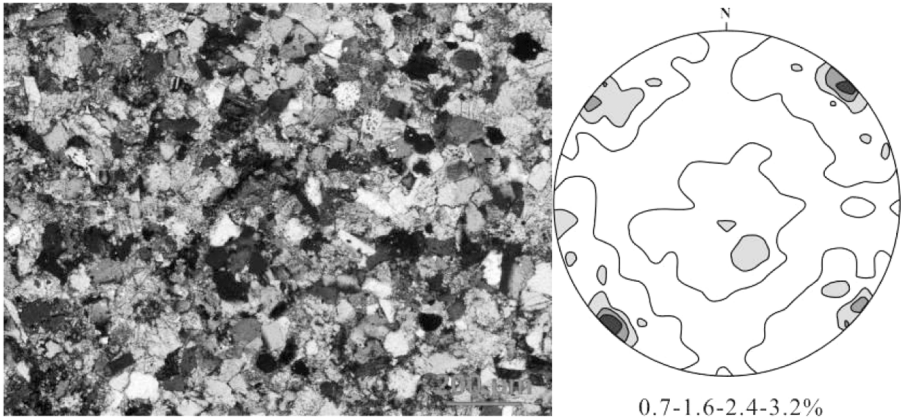


图 2 花桥断裂带砂岩显微特征及其石英 C 组构图像

Fig. 2 Microscopic features of sandstone and its quartz C structural image of Huaqiao fault zone

### 1.2.3 运动学特征

脆性剪切带中产生的破裂面及剪切带方位和旋转方向遵循库伦剪切破裂准则(Bartlett et al., 1981; Sylvester, 1988; Dooley and Schreurs, 2012; 卢华夏等, 1986)。雁列式断层和褶皱可作为判断断层活动方向的依据(Dooley and Schreurs, 2012)。位于区内北东段的花桥断裂,其北盘分布的雁列状次级褶皱为右阶式,并与主断层带呈锐角相交,所指示的断层两盘运动方向为右行剪切滑动,造成右行走滑运动的最大主应力轴方向为 NW-SE 向(图 3)。

花桥断裂带在区内北东段较为发育断夹块,其中花桥附近断夹块中发育较为清楚的次级破裂面。在花桥断夹块中,发育一组较为稳定的北东向次级正断层(T),次级正断层(T)与主位移面(PDZ)之间的夹角为 45°,次级剪裂面 R 和与之对应的 P 面与主位移面(PDZ)之间的夹角分别为 7°和 -7°,区内北东段的花桥断裂带为一左行走滑断层,造成花桥断裂带左行走滑的主应力方

向  $\sigma_1$  为 NE-SW 向(图 4)。

位于区内北东段的花桥断裂带存在两期构造应力作用,两期  $\sigma_1$  的方向分别为 NE-SW 向和 NW-SE 向,据该断裂带附近褶皱轴迹的滑动关系可判断出,早期为右行走滑,晚期为左行走滑。

## 2 地热特征

### 2.1 热源

热源是形成地热资源的必要条件。雪峰运动的发生,使贵州由裂隙盆地、汇聚盆地转变为被动大陆边缘,成为稳定的构造区域。在研究区及周缘仅出露了少量梵净山群的花岗岩侵入体和青白口系的低级变质岩。因此,研究区缺乏岩浆余热和放射性热源。区内热水的形成主要为大气降水通过岩层裂隙、孔隙入渗补给,沿断裂构造通道经深部循环随地温梯度增温,深部流体因受热增温,引起流体的对流及热量交换。

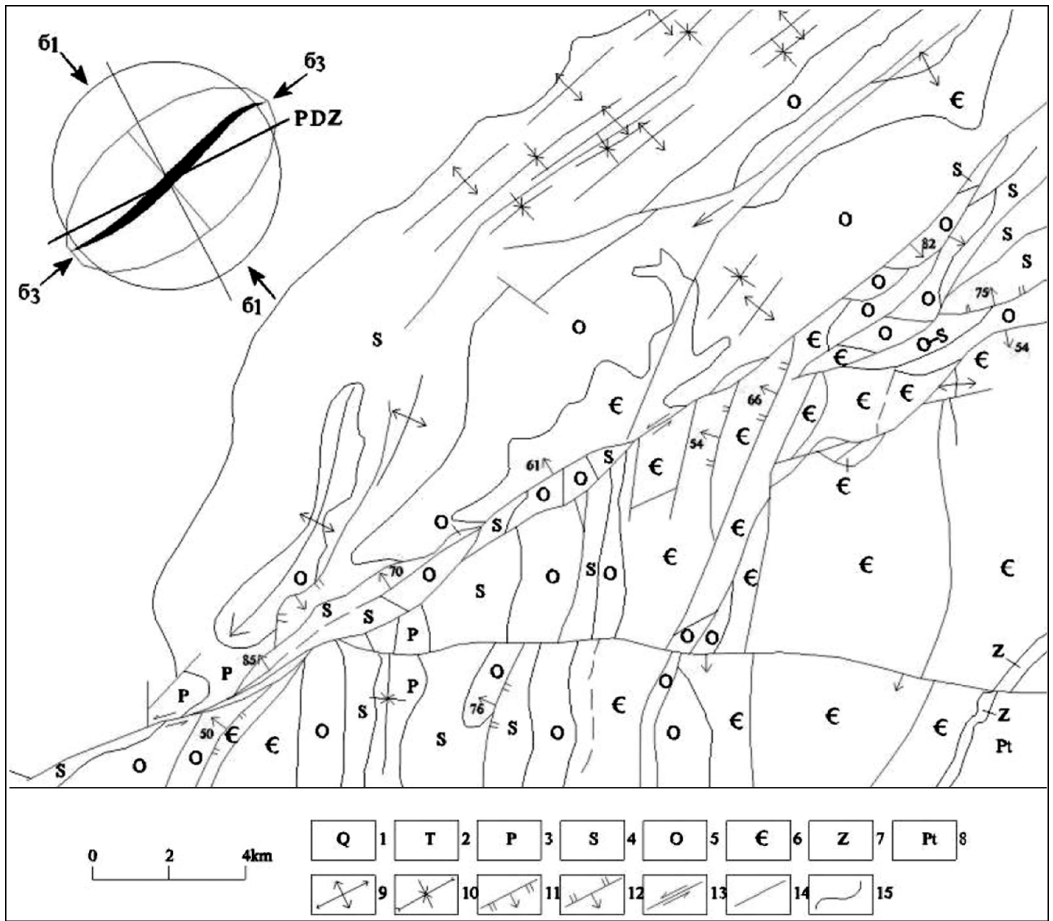


图3 石阡-花桥断裂应力分析图(据1:5万花桥幅报告,1991改)

Fig. 3 Stress analysis diagram of Shiqian-Huaqiao fault

- 1—第四系; 2—三叠系; 3—二叠系; 4—志留系; 5—奥陶系; 6—寒武系; 7—震旦系; 8—前震旦系;
- 9—背斜; 10—向斜; 11—正断层; 12—逆断层; 13—走滑断层; 14—盲逆冲断层; 15—地质界线

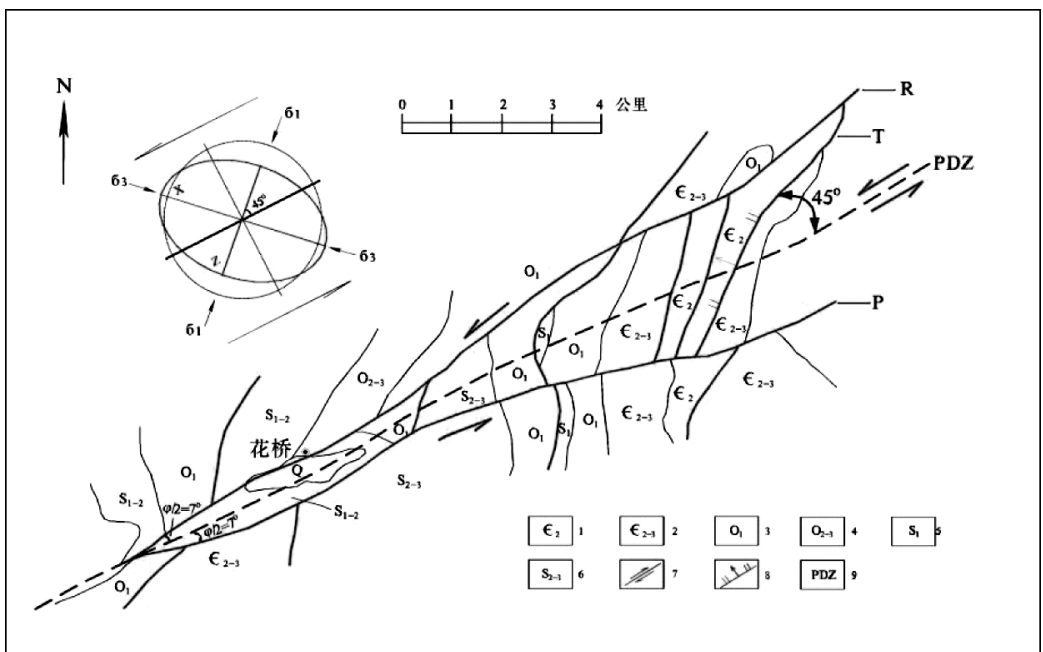


图4 次级破裂面与石阡-花桥断裂的关系图

Fig. 4 Relation between secondary fracture plane and Shiqian-Huaqiao fault

## 2.2 热储特征

优质的储盖组合是热储体有效保存的必要条件(林正良等,2015)。研究区地热盖层主要是奥陶系下统湄潭组( $O_1m$ )及奥陶系中上统十字铺组( $O_{2-3sh}$ )、宝塔组( $O_2b$ )、涧草沟组( $O_3j$ ),志留系下统龙马溪组( $S_1ln$ )、石牛栏组( $S_2sh$ ),韩家店组( $S_{2-3hn}$ )。岩性以页岩、砂岩为主的碎屑岩夹少量灰岩、泥灰岩及泥岩。该套碎屑岩厚度大,透水性差,是地热水良好的盖层。

研究区热储含水层为一套碳酸盐岩沉积地层,主要为奥陶系下统桐梓组( $O_1t$ )、红花园组( $O_1h$ )和寒武系娄山关组( $\epsilon_{2-3ls}$ )的灰岩、白云岩。在地下水、地热水的作用下,易溶蚀形成溶隙、孔洞,地热水储存、运移于灰岩、白云岩溶孔、溶隙以及断层裂隙中。

## 2.3 地热水的补给与运移

研究区主要的热水补给来源于大气降水(张世从和陈履安,1992;陈履安等,1997;杨荣康等,2014)。地下热水的径流主要受花桥走滑断裂及

石阡枢纽断裂的控制,石阡枢纽断层及花桥走滑断裂出露的热矿泉,分别属于两个不同的含水系统(张世从、杨剑明等,1989)。北北东向的石阡枢纽断层热储岩系裸露地区,不断接受现代大气降水的入渗补给,在静水压力下,沿断裂带缓慢地由北向南运移;北东向的走滑大断层热储岩系裸露区,接受大气降水入渗补给,在静水压力作用下,沿断裂缓慢地由北东向南西径流,径流至石阡城南与沿北东向石阡枢纽断裂运移的地热水汇流,不断地进行交替循环。这与碳同位素数据的结果相一致(张世从、杨剑明等,1989)。

地热水的排泄主要受地形及构造地质条件的控制。区内地热水在沿石阡断裂和花桥断裂上升传输到地表最低的侵蚀基准面(杨荣康等,2014),以温泉群的形式排泄。

## 3 石阡-花桥断裂对地热水的控制

研究区温(热)泉出露于北东向花桥断裂及北北东向石阡断裂带,主要集中于石阡县城和石固乡凯峡河及施场附近(表1),严格受构造控制。

表1 石阡地热水资源统计表  
(据贵州省石阡县出露地热水资源勘查(预可行性勘查)改)  
Table 1 Statistics of geothermal water resource of Shiqian

| 编号  | 地理位置      | 水温(℃) | 流量(L/s) | 出露地层及岩性                             |
|-----|-----------|-------|---------|-------------------------------------|
| S1  | 石阡县城北     | 49    | 0.61    | $O_1t$ 泥灰岩                          |
| S2  | 石阡县城北     | 45    | 0.17    | $O_1t$ 泥灰岩                          |
| S3  | 石阡县南溪沟口   | 45    | 10.18   | $O_1t-h$ 灰岩                         |
| S4  | 石阡县劝农亭    | 26    | 2.16    | $O_1t-h$ 灰岩                         |
| S5  | 石阡县石固乡凯峡河 | 32    | 10.26   | $O_1t-h$ 灰岩、白云岩                     |
| S6  | 石阡县石固乡凯峡河 | 22    | 6.84    | $O_1t-h$ 灰岩、白云岩                     |
| S7  | 石阡县石固乡施场  | 39    | 0.17    | $O_1t$ 白云岩                          |
| S8  | 石阡县石固乡施场  | 49    | 0.61    | $O_1t$ 白云岩                          |
| S9  | 江口县罗江乡平寨  | 23.5  | 2.90    | $\epsilon_{2-3ls}$ 白云岩              |
| S10 | 石阡县木瓜溪乡   | 27.5  | 1.82    | $O_1h$ 灰岩                           |
| ZK1 | 石阡县城北溪沟   | 35.5  | 2.55    | $O_1t-h$ 灰岩、白云岩                     |
| ZK2 | 石阡县城北溪沟   | 31.5  | 2.10    | $O_1t-h$ 灰岩、白云岩                     |
| ZK3 | 石阡县政府驻地   | 48.0  | 17.30   | $O_1t-h$ 灰岩、 $\epsilon_{2-3ls}$ 白云岩 |
| ZK4 | 石阡县城南     | 45.0  | 3.15    | $O_1t-h$ 灰岩、 $\epsilon_{2-3ls}$ 白云岩 |
| ZK5 | 石阡县中坝     | 42.0  | 3.52    | $O_1t-h$ 灰岩                         |

研究区石阡-花桥断裂组合特点主要表现为早期石阡断层的逆冲和晚期石阡断裂在区内北东段被花桥断裂切割,而在南西段则表现为张裂性断裂的组合特征。早期的控热断裂主要以石阡压扭性断裂为主导,表现为在石阡背斜核部逆冲,形成背斜核部断裂。背斜两翼被隔水岩系圈闭,形成向背斜轴部热对流通道,使热流向背斜轴部传导和储集提供了有利的空间条件。沿断裂带及影响带出露多处温泉。

晚期的控热断裂主要以张裂性断裂为主导,早期石阡断裂以及次级断裂形成的地热储集被后期张裂性花桥断裂拉张走滑,在拉裂破碎带上形成热储。研究区受主干断裂影响,岩石破碎,发育拉张裂隙、扭裂隙及分枝状断层,圈闭了含水岩系,温泉大多沿主要控热、导热断裂出露,平面上呈线状分布于石阡和花桥断裂上盘及花桥断裂的断夹块中(图5)。

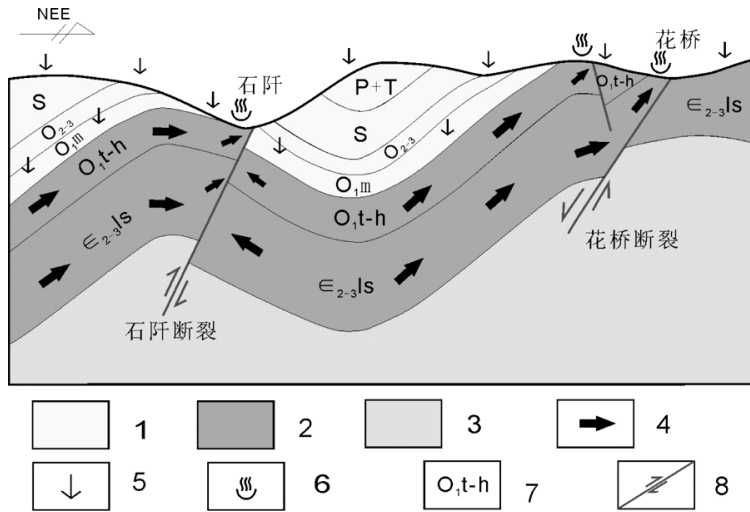


图5 石阡-花桥地区地热模式

Fig.5 Geothermal mode of Shiqian-Huaqiao area

1—盖层;2—热储层;3—隔水隔热层和基底;4—热水流向;5—地表水补给;6—温泉出露点;7—地层时代;8—断层

## 4 结论

石阡地区地热资源属于板内地热,主要热源为地温梯度增温。该地区地热资源的分布严格受控于石阡-花桥断裂。石阡断裂为逆冲兼左行平移断层,为地热水的传导和储集提供了有利空间;具拉裂性质的花桥断裂进一步限定了该地区温泉的出露。该地区地热模式的建立,对于获取区内可再生清洁能源,促进旅游产业的发展 and 地区经济的增长都具有重要的意义。

### [参考文献]

陈履安,张世从,聂跃平,杨剑明. 1997. 贵州石阡地区矿泉水的同位素年龄研究[J]. 贵州地质,14(3):274-278.  
 贵州省地质矿产局. 1991. 1:5万石阡、花桥幅区调报告[M]. 北京:地质出版社.  
 林正良,肖鹏飞,李弘,等. 2015. 甘孜地区雅拉河段地热系统特征及控制因素[J]. 地质与勘探,51(4):764-771.  
 卢定彪,戴传固,等. 2011. 贵州省活动构造特征及地壳稳定性评价[M]. 北京:地质出版社,71-75.

卢华复,董火根,吴葆青,等. 1986. 脆性剪切带中的R面和P面[J]. 天然气工业,5(4):30-33.  
 田小林. 2016. 石阡断裂地热水赋存特征及开发利用[J]. 四川地质学报,36(4):623-626.  
 闫秋实,高志友,尹观. 2012. 四川宜宾金沙江河谷区地热资源成藏条件分析[J]. 地质与勘探,48(4):847-851.  
 杨荣康,杨丽君,王乾,杨元丽. 2014. 贵州石阡地热田地热资源计算[J]. 贵州地质,31(2):154-157.  
 张世从,陈履安. 1992. 贵州石阡地区热矿水同位素地球化学研究[J]. 地质评论,38(5):457-466.  
 Bartlett, W. L., Friedman M., Logan J. M. 1981. Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure[J]. Tectonophysics, 79:255-277.  
 Chapman, D. S., Pollack H. N. 1977. Regional geotherms and lithospheric thickness[J]. Geology, 5:265-268.  
 Dooley, T. P., Guido Schreurs. 2012. Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results[J]. Tectonophysics, 574-575:1-71.  
 Passchier, C. W., and Trouw R. A. J. 2005. Microtectonics[M]. Vol. 1. Springer Science&Business Media.  
 Sylvester, A. G., 1988. Strike-slip faults[J]. GSA Bulletin, 100(1):1666-1703.

## Structural Characteristics and Its Control Function to Geothermal Resources of Shiqian-Huaqiao fault in Guizhou

ZHANG Han-bin, DENG Xu-sheng, WANG Bo, TANG Zuo-qi, CHEN Wu

(1. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550018, Guizhou, China; 2. Guizhou Engineering Research Center for Geological-geophysical Development and Application, Guiyang 550018, Guizhou, China; 3. Academician Workstation, Guizhou Geological Survey, Guiyang 550018, Guizhou, China)

[Abstract] Shiqian area has abundant hydrothermal resource. Series of hot spring group formed in Shiqian-Huaqiao fault zone and its secondary structure. The fault structure has strict control function for hydrothermal resource. In this paper, as the microstructure, kinematics and other structural geologic characteristics of Shiqian-Huaqiao fault zone and the hydrothermal features in this area, the structural characteristics and its control function of Shiqian-Huaqiao fault zone are analyzed systematically. The study shows: the major heat source of hydrothermal resource in Shiqian area is geothermal gradient temperature increasing, the hydrothermal resource is controlled strictly by Shiqian-Huaqiao fault zone. Shiqian fault zone is thrust and left strike-slip fault, it affords advanced space for transition and storage of geothermal water. Huaqiao fault zone developed and pulled fracture, twist fracture and dendroid fault, then close the water-bearing rock series, finally formed heat reservoir in crack fracture zone. The hot spring mainly emergence along the heat-control fault and heat conduction fault, distribute as line in fault granular of Shiqian, up Huaqiao fault and Huaqiao fault.

[Key words] Shiqian-Huaqiao fault; Hot spring; Strike-slip fault; Geothermal mode

(上接第 130 页)

## Liquid Inclusion Evidence of Mineral Liquid Immiscibility of Sichuan Erze Gold Deposit

CHEN Chen, LI Bao-hua, XU Long

(College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

[Abstract] Erze gold deposit is located in Dgai formation of upper Permian, the orebody is controlled by fault structure and interlayer fracture zone, most of them are lenticular and vein. The metallogenic stage can be divided into siderite stage and quartz-sulfide-gold stage. The liquid inclusion types in the deposit include H<sub>2</sub>O inclusion, CO<sub>2</sub> inclusion, H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inclusion, mainly in the stage of quartz-sulfide-gold stage. In this paper, the thermodynamics condition of immiscible mineral liquid is discussed by homogeneous temperature measurement. The homogenization temperature of H<sub>2</sub>O inclusion is 124.6°C to 247.6°C, and salinity is 5.86% to 3.06%. The average homogenization temperature of H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inclusion is 179.6°C to 296.6°C, the partial homogenization temperature is 15.6°C to 30.6°C, the final melting temperature range of hydrate is 7.5°C to 9.1°C, the corresponding salinity is about 1.83% to 4.87%. The calculated ore-forming pressure is 1010bar. During the test, the H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inclusion in the H<sub>2</sub>O rich phase and CO<sub>2</sub> rich H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inclusion are very close to the homogeneous temperature and pressure, it's proved that they are captured in the same period as CO<sub>2</sub> and NaCl-H<sub>2</sub>O immiscible fluid inclusion combination.

[Key words] Liquid inclusion; Immiscible liquid; Gold deposit; Erze Sichuan