

涂明江, 赵良杰, 李强, 等. 黔西南地区地热储层结构特征——以望谟平洞地热储层为例[J]. 中国岩溶, 2024, 43(1): 84-91.

DOI: 10.11932/karst20240107

黔西南地区地热储层结构特征 ——以望谟平洞地热储层为例

涂明江¹, 赵良杰^{2,3}, 李强^{1,4}, 陈刚¹, 王若帆¹, 王元坤¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 114 地质大队, 贵州 遵义 563000;
2. 中国地质科学院岩溶地质研究所/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室/联合国教科文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004; 3. 广西平果喀斯特生态系统国家野外科学观测研究站,
广西 平果 531406; 4. 贵州大学, 贵州 贵阳 550000)

摘要: 基于地温梯度的地热资源开发受区域地热储层结构及导水构造控制。文章以贵州省望谟县平洞地热储层为研究对象, 依据地质调查和 ZK1 钻孔揭露的地热储层结构为依据, 分析区内热储层岩性特征、热储构造、导水构造、地温场特征、地热流体水化学特征, 以深入理解地热流体循环机制。研究表明: 研究区地处上里地背斜倾伏端, 地热流体接受大气降水补给, 沿裂隙、断裂带进入深循环并汇集于热储层及断层破碎带, 径流过程主要受断裂构造控制, 显示出典型的褶皱隆起断裂对流型特征; 区内地下水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型; 地热流体增温过程主要由地温梯度控制, 平均地温梯度值为 $2.34\text{ }^\circ\text{C}\cdot(100\text{ m})^{-1}$, 热储构造和导水构造对增温促成也有一定影响。研究成果可为黔西南地区及其他类似地热储层的地热能开发提供参考。

关键词: 热储层结构; 地温梯度; 热水循环模式; 望谟平洞地热系统

创新点: 地热资源的开发受区域地热储层结构及导水构造的控制, 这一发现有助于理解和预测地热流体的运动规律和地热资源的分布特性。

中图分类号: P314 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2024)01-0084-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

地热资源是未来的优势资源, 也是一种可再生能源, 具有储量大、分布广、清洁环保、用途广泛、再生利用等特点, 开发利用地热资源已经成为全球能源转型和减缓全球气候变暖的有力手段。然而, 地热资源的开发利用不仅受到地热资源的分布情况和地热质量的制约, 还受到地热储层结构和导水构造的影响, 因此对地热储层的详细研究具有重要意义^[1]。

贵州省黔西南地区是我国西南部的重要地热资源分布区之一, 其独特的地质构造和地热梯度特性为地热能资源的开发提供了有利条件^[2], 对于理解地热储层的形成、演化及其与地热资源开发^[3]之间的关系具有重要的研究价值。研究区开展地热资源相关调查研究工作始于 2016 年。例如, 前人通过分析望谟县地热资源形成条件提出了地热类型; 从望谟县平洞地热赋存规律方向总结了望谟县地热成因^[4]。以上研究程度不够深入, 仅从成矿条件和赋存规律方向

基金项目: 贵州省地质矿产勘查开发局地质科研项目(黔地矿科合[2020]23号); 贵州省地质勘查基金项目“贵州省水文地质志修编”(DKJJ2021-01号)

第一作者简介: 涂明江(1984—), 男, 高级工程师, 研究方向: 水文地质、地热地质、环境地质。E-mail: 443431924@qq.com。

通信作者: 李强(1982—), 男, 正高级工程师, 研究方向: 水文地质、环境地质、地热地质。E-mail: 109616117@qq.com。

收稿日期: 2023-06-15

着手分析。本文选择平洞地热储层作为研究对象,主要基于其地处地背斜的倾伏端,具有独特的地质构造特征和地热梯度特性^[5],这些特性对地热资源的开发具有显著影响。在研究方法上,采用了地质调查和深钻探技术,以 ZK1 钻孔揭露地热储层的地质构造。通过对研究区地质构造、地温场特征、地热流体水化学特征的详细分析,揭示了地热流体的循环机制^[6],理解了热储层岩性特征、热储构造和导水构造的影响。研究成果可为黔西南地区及其他类似地热储层的地热能开发提供借鉴,以期推动地热能的有效开发和利用。

1 研究区域地质背景

1.1 研究区地理

研究区处于云贵高原向广西丘陵过度的斜坡地带,属乌蒙山脉东南侧边缘岩溶化山原区,总体地势北高南低;区内地貌类型属乌蒙山脉东南侧边缘岩溶化山原区。

1.2 研究区气象水文

研究区属亚热带湿润季风气候,多年平均气温 19℃,极端最低气温为零下 4.8℃,极端最高气温 41.8℃,无霜期 339 天,冬无严寒,夏无酷暑,雨热同季。境内水系属珠江水系—南北盘江区—北盘江流域,区内最大的河流为望漠河,属北盘江干流的一级支流。

1.3 研究区地层

研究区地处扬子陆块与右江造山带的结合地带,沉积体系有浅水台地碳酸盐岩及深水盆地碳酸盐岩—碎屑岩,其中二叠系及三叠系尚有台缘生物碳酸盐岩滩礁及台缘斜坡相沉积,地表出露地层由老至新依次为泥盆系下中统火烘组、泥盆系上统融县组、榴江组、石炭系威宁组、二叠系中统猴子关组、上统合山组、三叠系下中统罗楼组、三叠系中统新苑组第一段(许满组第一段至第三段)、新苑组第二段(许满组第四段)、新苑组第三段、三叠系中统边阳组,以及第四系零星分布。

1.4 研究区构造

研究区构造上位于处于江南复合造山带右江裂谷—前陆盆地望漠北西向褶皱带与册亨东西向紧

闭褶皱变形区结合地带,应力较为集中,构造复杂程度属复杂区,构造形迹以北西向、近南北向及北东向为主,其中冲断层以北西向为主,次为近南北向,北东向主要以切割北西向逆冲推覆构造带^[7]的横断层形式出现,褶皱轴向主要为北西向和近南北向,倒转褶皱大多与逆冲断层伴生^[8](图 1)。

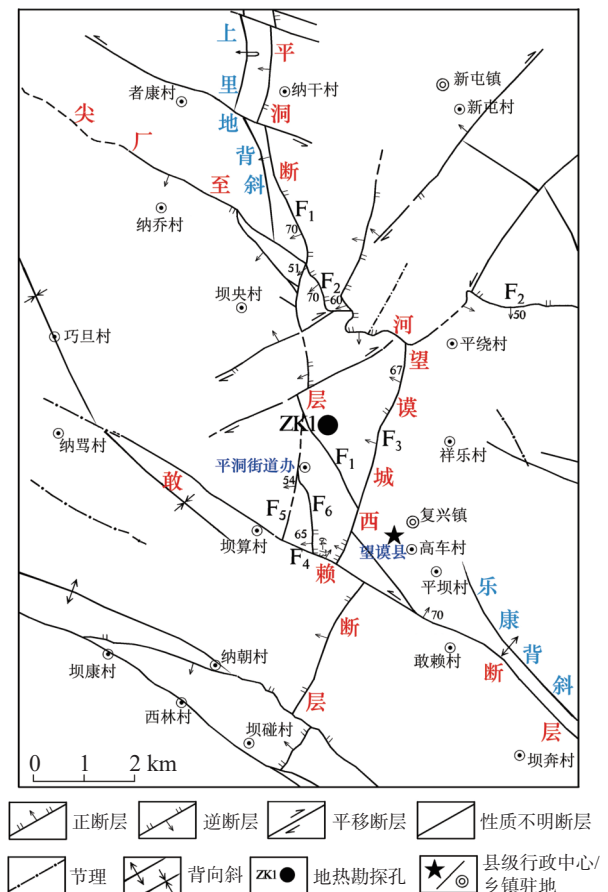


图 1 研究区构造纲要图

Fig. 1 Structural diagram of the study area

1.5 研究区地热显示

研究区内处于国家级重点成矿区带—右江成矿带北部,是典型的“构造热液成矿”模式。另在研究区平洞断层(F1)断层带附近出露一上升泉(S84),水温 21.1℃,流量 0.33 L·s⁻¹,水温较研究区常温地下水背景值高 2℃左右。

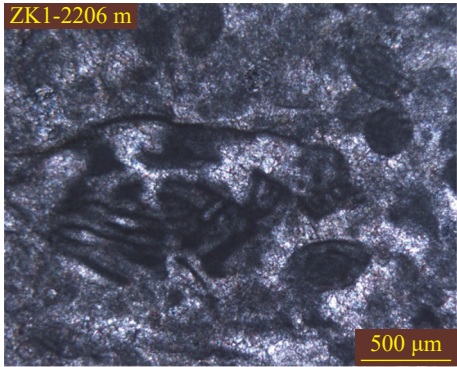
2 地热储层的岩性与地层特征

2.1 岩性特征

二叠系礁灰岩至猴子关组是研究区内主要热储含水层,厚度 890.7 m,岩性为浅灰、灰白、灰色灰岩。

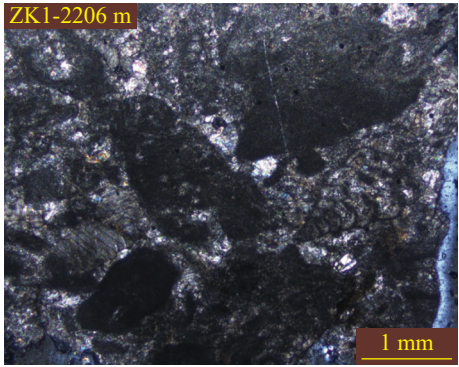
结合研究区热储含水层二叠系礁灰岩至猴子关组岩屑样品岩矿鉴定报告(实测),地层岩性以生物屑灰岩、藻砾砂屑生物屑灰岩为主, CaO 含量 52.02%~53.74%, MgO 含量 0.22%~0.76%, Al₂O₃ 含量 0.02%~

5.83%, SiO₂ 含量 0.146%~0.54%, Fe₂O₃ 含量 0.17%~0.496%, Mn/×10⁻⁶ 含量 39%~101%, S 含量 0.018%~0.048%, K₂O 含量 0.012%~0.043%, Na₂O 含量 0.005%~0.1%, TiO₂ 含量 0.002%~0.04%(照片 1、2, 表 1)。



照片 1 蜓屑灰岩质碎块

Photo 1 Fragments of fusulinid debris limestone



照片 2 (含)藻砾砂屑生物屑灰岩质碎块

Photo 2 Fragments of/containing algal gravel and bioclastic limestone

表 1 热储层岩石岩矿鉴定主要化学成分表

Table 1 Main chemical compositions of rock and ore in the thermal reservoir

样品编号	地层代号	岩石化学成分及平均含量/%									
		CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn/10 ⁻⁶	S	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
2018G-539	断层带	53.8	0.48	0.02	0.146	0.17	39	0.018	0.024	0.084	0.002
2018G-540	P ₂ h	53.74	0.76	0.174	0.226	0.179	47	0.02	0.04	0.1	0.009
2018G-541	P ₂ h	53.56	0.56	0.236	0.54	0.496	101	0.02	0.043	0.096	0.011
2018G-467	P ₂ h	52.24	0.27	5.23	0.44	0.27		0.048	0.014	0.005	0.04
2018G-468	P ₂ h	52.02	0.22	5.83	0.33	0.2	93	0.03	0.012	0.038	0.02

2.2 热储构造

研究区内热储构造为上里地背斜,核部地表出露最老地层为二叠系^[9]中统猴子关组灰岩,且研究区位于背斜倾伏端,地表出露三叠系中统新苑组、许满组黏土岩、砂岩、粉砂岩,为良好的盖层,热储含水层二叠系礁灰岩至猴子关组灰岩在普查区南部深埋地下,厚度大,导热性^[10]较好,保温盖层新苑组至许满组碎屑岩透水性、导热性差,从而构成了封闭完整的热储单元,该背斜具有较好的储热、蓄水条件^[11]。

2.3 控热、导水构造

研究区内发育的望谟城西断层(F3)走向为NNE向,北东端交于尖厂至河贝断层(F2)上,南西端交于敢赖断层(F4)断层上,延伸长度约 5 km,倾向NW,倾角 67°左右,断层两盘见牵引构造。据《贵州省望谟县平洞镇地热普查报告》^[12]地热钻探揭露显示:望谟城西断层(F3)埋深在 1 566.7~1 578.0 m,断层破碎带宽约 11 m,含水特征明显,证实望谟城西断

层(F3)是研究区主要的控热、控水构造。

3 地热储层的地热特征

3.1 地温场特征

3.1.1 地热增温率值

地温梯度^[13],也称地热增温率,是指地球不受大气温度影响的地层温度随深度增加的增长率。通常用恒温带以下每增加百米所增加的地温值来表示。依据研究区实施的 ZK1 号地热勘探孔地球物理测井资料(表 2)计算出地热增温率。

$$T = (t - t_0) \div (d - h) \times 100$$

式中: T 为地温梯度 [$^{\circ}\text{C} \cdot (100\text{ m})^{-1}$]; t 为实测井底温度,取 74.5($^{\circ}\text{C}$); d 为热储埋藏深度,取 2 400.27(m); h 为常温层埋藏深度(m),取 30 m; t_0 为当地平均气温($^{\circ}\text{C}$),取 19 $^{\circ}\text{C}$ 。

根据上述公式,井底温度为 74.5 $^{\circ}\text{C}$,计算出

表 2 ZK1 号地热勘探孔井温测量数据统计表
Table 2 Statistics of measurement data on well temperature of ZK1 geothermal borehole

深度/m	温度/℃	深度/m	温度/℃	深度/m	温度/℃
50	27.62	900	45.17	1 700	59.47
100	27.6	950	46.11	1 750	60.3
150	28.06	1 000	47	1 800	61.43
250	29.45	1 050	48.06	1 850	62.05
300	30.39	1 100	48.87	1 900	62.83
350	30.97	1 150	49.76	1 950	63.79
400	31.95	1 200	50.77	2 000	65.02
450	32.59	1 250	51.6	2 050	65.78
500	33.48	1 300	52.47	2 100	67.16
550	34.26	1 350	53.27	2 150	68.55
600	35.08	1 400	54.02	2 200	69.44
650	36.21	1 450	55.02	2 250	70.39
700	41.81	1 500	55.75	2 300	71.35
750	42.87	1 550	56.69	2 350	73.03
800	43.74	1 600	57.81	2 400.27	74.5
850	44.43	1 650	58.8		

ZK1 号地热勘探孔地温梯度为 $2.34\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(100\text{ m})^{-1}$ 。

3.1.2 地温场垂向变化特征

据研究区内 ZK1 号地热勘探孔地球物理测井和随钻泥浆温度成果资料,按钻孔揭露垂向地质结构中各地层分层深度与井温、泥浆温度数据编制了区内地温场的垂向变化特征^[14]曲线图(图 2)。

从图 2 可以看出,研究区内垂向地温场变化特征^[15]总体具有如下规律:

(1)井温与井深呈正相关关系,随着井深的增加其井温亦增加;从随钻泥浆温度曲线分析,温度-深度曲线从大的趋势可以看出,随钻泥浆温度随深度的增加而增加,泥浆温度-深度曲线在保温盖层和热储层中表现不一,在盖层中泥浆温度升高较为平稳,而在热储层中泥浆温度出现较大波动,尤其是在钻孔揭穿保温盖层,以及揭露 F3 断层带上盘时,泥浆温度均出现跳跃,说明在地热井的垂向温度变化与热储结构和导水构造有明显相关性。

(2)测井温度受干扰因素小,认为可代表该点地层温度,从井底温度-深度曲线上看出,地温场在垂向上的变化规律基本上呈线性相关^[16],越往深部线

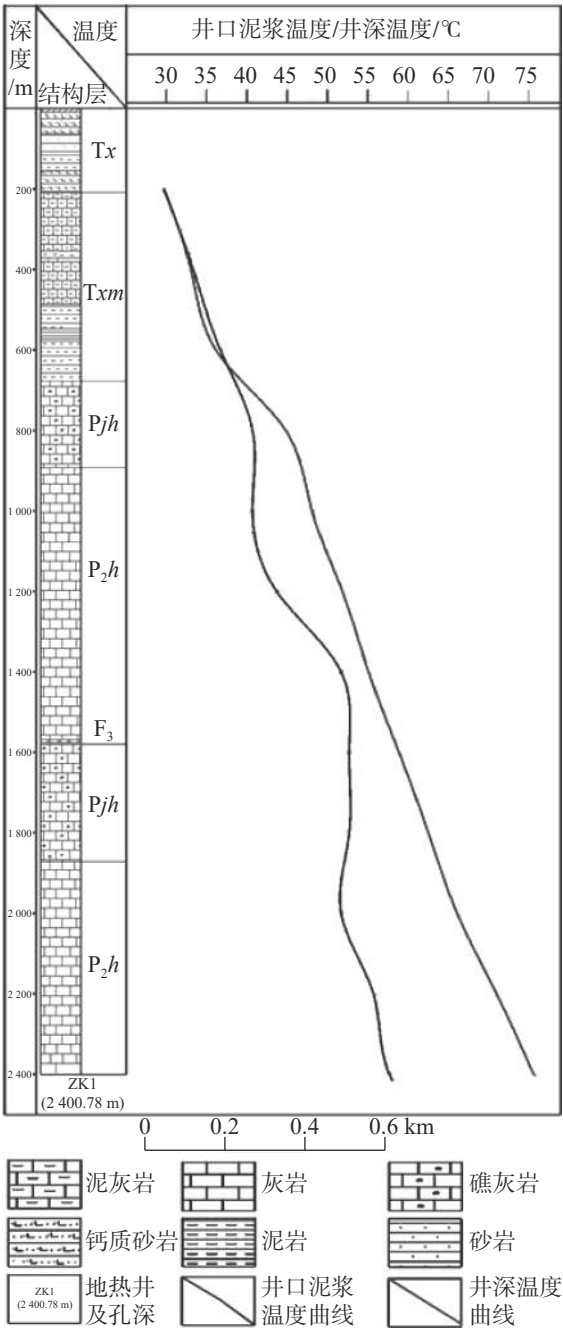


图 2 勘探孔地温场的垂向变化特征曲线图
Fig. 2 Vertical variation curve of geothermal field of the borehole

性相关性越好。

3.2 地热流体水化学特征

通过对研究区 ZK1 号地热勘探孔地热流体与浅层地下水水样取样检测,应用 Piper 图解(图 3)分析区内地热流体与浅层地下水水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型,分析认为其主要是受热储含水层(Pjh 、 P_2h)的碳酸盐矿物所控制。

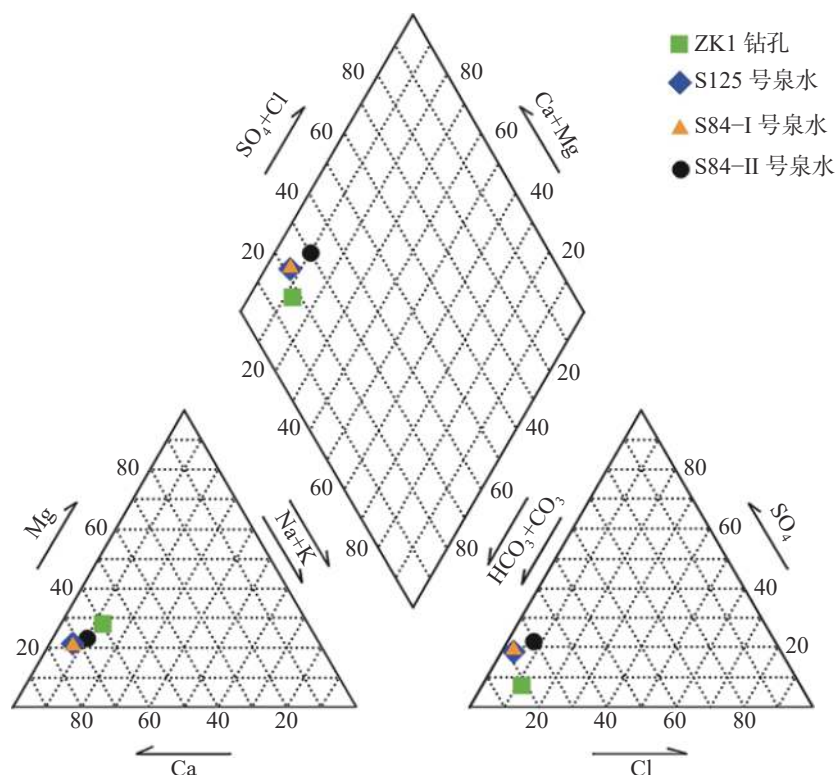


图3 Piper 三线图

Fig. 3 Piper three-line diagram

3.3 地热流体循环机制

研究区处于国家级重点成矿区带——右江成矿带北部,是典型的“构造热液成矿”模式。其微细浸染型(卡林型)金矿点大多分布北西向、北东向断层带附近,为低温热液矿床。区内大气降水沿北西侧上里地背斜核部碳酸盐岩分布区断裂、构造裂隙,由北西向南东进行深循环^[17],地下水向深部下渗赋存于第五储集单元热储层礁灰岩至猴子关组灰岩中,区内发育的区域性大断裂——望谟城西断层将上地幔热流沟通向上导热,同时地下水不断吸收沿深大断裂从地壳深部向上传输的热流^[18],被加温增热的地热流体^[19]上涌,因体积膨胀(密度变小)而产生浮力向上运动^[20],上部的低温流体因密度大在重力作用下向下运动^[21],构成了区内地热水深循环系统。据研究区内实施的地热勘探孔证实,研究区内热储层为第五储集单元二叠系礁灰岩至猴子关组灰岩。研究区内地下热水的补给、径流及排泄条件,总体上遵循“深循环”^[22]水文地质条件,地热勘探孔揭露地下热水的热储含水层二叠系礁灰岩至猴子关组灰岩,在区域上(上里地背斜核部)均有大面积“暴露”,为地下热水补给提供了良好条件(图4)。

4 结 论

地热流体是宝贵的液态矿产资源,在下一步开发利用过程中应有计划有限制地开采,避免开采量过大造成水位下降过快,以致缩短热水井使用寿命,同时地热资源应综合进行梯级开发利用。

区内地热流体是地下水经漫长的溶滤且不断循环,同时与围岩相互作用形成,地热流体类型属褶皱隆起断裂对流型,这与前人提出的“褶皱隆起断裂对流型”模型相符。深部热源沿望谟城西断层向上传导,同时地下水不断吸收沿深大断裂从地壳深部向上传输的热流,被加温增热的地热流体上涌,因体积膨胀(密度变小)而产生浮力向上运动,上部的低温流体因密度大在重力作用下向下运动,构成了区内地热水深循环系统,主要富集于望谟城西断层破碎带与热储层二叠系礁灰岩至猴子关组灰岩组合部位。地热流体的增温主要受控于地温梯度,而平洞地热储层的平均地温梯度值为 $2.34\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot 100\text{ m}$ 。这一发现有助于理解和预测地热流体的运动规律和地热资源的分布特性,为地热能源的合理开发和高效利用提供了重要的理论依据。

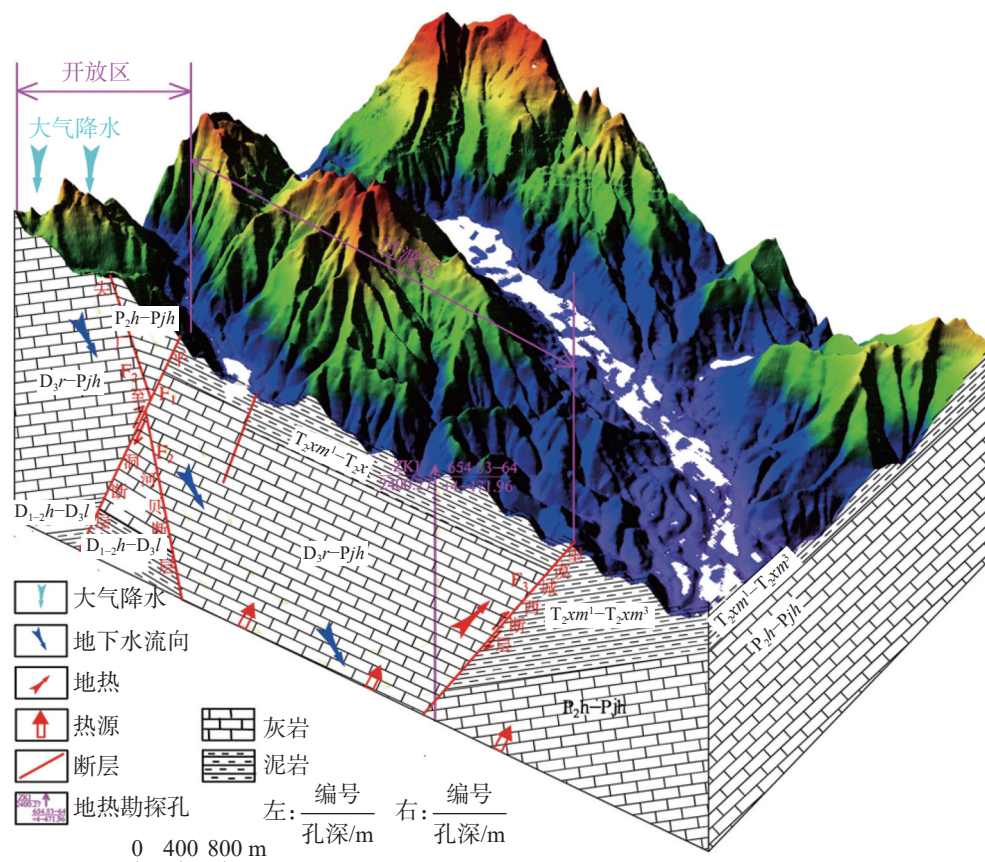


图4 研究区地热流体循环机制图

Fig. 4 Circulation mechanism of geothermal fluid in the study area

参考文献

- [1] 张世丛. 贵州热矿水的基本类型及特征[J]. 贵州地质, 1994, 11(4): 331-333.
ZHANG Shicong. Classification for the thermal mineral water in Guizhou Province[J]. Guizhou Geology, 1994, 11(4): 331-333.
- [2] 韦文生, 周维新. 桂林隐伏地热成控条件初探[J]. 中国岩溶, 2000, 19(2): 152-163.
WEI Wensheng, ZHOU Weixin. Preliminary study on factors controlling buried geothermal in Guilin[J]. Carsologica Sinica, 2000, 19(2): 152-158.
- [3] 王明章, 王尚彦. 贵州地热资源开发问题及对策建议[J]. 贵州地质, 2007, 24(1): 9-12, 16.
WANG Mingzhang, WANG Shangyan. Concerns of developing geothermal resources in Guizhou Province and countermeasure proposals[J]. Guizhou Geology, 2007, 24(1): 9-12, 16.
- [4] 张保建, 沈照理, 乔增宝, 亓麟. 聊城市东部岩溶地热田地下水水化学特征及成因分析[J]. 中国岩溶, 2009, 28(3): 263-268.
ZHANG Baojian, SHEN Zhaoli, QIAO Zengbao, QI Lin. Analysis on hydro-chemical features and origin of the hot spring in karst geothermal field, east Liaocheng City[J]. Carsologica Sinica, 2009, 28(3): 263-268.
- [5] 宋小庆, 彭钦, 夏颜乐. 瓮安老坎嘴变质岩区 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.
SONG Xiaqing, PENG Qin, XIA Yanle. Estimation of reservoir temperature and circulation depth of geothermal water of SK08-2 Well in Laofenzui metamorphic rock area of Wengan City[J]. Water Saving Irrigation, 2012(10): 24-26.
- [6] 胡静, 涂良权, 刘会平. 河南省九龙山汤池温泉地热地质特征及成因机制[J]. 地质科技情报, 2012, 31(4): 86-90.
HU Jing, TU Liangquan, LIU Huiping. Geological features and formation mechanism of Tangchi hot spring in Jiulongshan mountain area[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(4): 86-90.
- [7] 宋小庆, 段启杉, 孟凡涛, 曹振东. 贵州息烽温泉地质成因分析[J]. 地质科技情报, 2014, 33(5): 216-220.
SONG Xiaqing, DUAN Qishan, MENG Fantao, CAO Zhen-dong. Geological genesis analysis of the Xifeng hot spring in Guizhou[J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(5): 216-220.
- [8] 程群, 杨华林, 曾敏. 重庆市主城区岩溶地热水资源形成与保护[J]. 中国岩溶, 2015, 34(3): 217-227.
CHENG Qun, YANG Hualin, ZENG Min. The formation and protection of karst geothermal water resources in the main urban area of Chongqing[J]. Carsologica Sinica, 2015, 34(3): 217-227.
- [9] 陈萍. 贵州西部茅口组古岩溶带供水意义[J]. 中国岩溶, 2015, 34(4): 382-386.
CHEN Ping. Significance of paleokarst water supply developed

- in Maokou Formation in western Guizhou[J]. *Carsologica Sinica*, 2015, 34(4): 382-386.
- [10] 刘邦显, 曾敏, 廖雨. 四川南江县地热地质特征研究[J]. *地下水*, 2015, 37(4): 16-18.
LIU Bangxian, ZENG Min, LIAO Yu. Study on geothermal geology of Nanjiang county in Sichuan[J]. *Ground Water*, 2015, 37(4): 16-18.
- [11] 王宇, 康晓波, 张华, 王燕. 昆明地热田的成因与外延[J]. *中国岩溶*, 2016, 35(2): 125-133.
WANG Yu, KANG Xiaobo, ZHANG Hua, WANG Yan. The genesis and extension of Kunming geothermal field[J]. *Carsologica Sinica*, 2016, 35(2): 125-133.
- [12] 易世友, 涂明江, 李强, 等. 贵州省望谟县平洞镇地热普查报告[R]. 2018.
- [13] 杨荣康, 罗维, 裴永伟, 王乾. 贵州省水热型地热资源分布及流体水化学特征[J]. *中国地质调查*, 2018, 5(2): 38-44.
YANG Rongkang, LUO Wei, PEI Yongwei, WANG Qian. Distribution and fluids hydrochemistry characteristics of hydrothermal geothermal resources in Guizhou Province[J]. *Geological Survey of China*, 2018, 5(2): 38-44.
- [14] 王治祥, 蒋晶, 邹胜章, 冉瑜, 谢斌, 吕玉香, 杨平恒. 渝东南深部地热温度解析[J]. *中国岩溶*, 2019, 38(5): 663-669.
WANG Zhixiang, JIANG Jing, ZOU Shengzhang, RAN Yu, XIE Bin, LV Yuxiang, YANG Pingheng. Analysis of deep geothermal temperature in southeast Chongqing[J]. *Carsologica Sinica*, 2019, 38(5): 663-669.
- [15] 易世友, 李强, 涂明江, 洪运胜, 吉勤克补子. 望谟县平洞地区地热成矿模式与找矿预测研究[J]. *西部探矿工程*, 2019, 31(7): 137-141.
- [16] 涂明江, 易世友. 贵州省望谟县平洞地热资源赋存规律浅析[J]. *西部探矿工程*, 2019, 31(5): 148-151.
- [17] 黄琴辉, 张华, 唐晓波, 王波, 刘海峰, 柴金龙, 黄钊, 王燕. 滇西陇川断陷盆地地热水化学特征及循环过程[J]. *中国岩溶*, 2020, 39(6): 793-800.
- HUANG Qinhui, ZHANG Hua, KANG Xiaobo, WANG Bo, LIU Haifeng, CHAI Jinlong, HUANG Zhao, WANG Yan. Chemical characteristics and circulation process of geothermal water beneath Longchuan basin, western Yunnan[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(6): 793-801.
- [18] 潘明, 郝彦珍, 吕勇, 李波. 云南昌宁橄榄河热泉水化学特征及复合成因机制研究[J]. *中国岩溶*, 2021, 40(2): 281-289.
PAN Ming, HAO Yanzhen, LV Yong, LI Bo. Hydrochemical characteristics and composite genesis of a geothermal spring in Ganlanhe, Changning, Yunnan Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(2): 281-289.
- [19] 毛翔, 汪新伟, 郭世炎, 鲍志东. 高阳地热田及邻区地热资源形成机制[J]. *中国岩溶*, 2021, 40(2): 273-280.
MAO Xiang, WANG Xinwei, GUO Shiyan, BAO Zhidong. Genetic mechanism of geothermal resources in the Gaoyang geothermal field and adjacent areas[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(2): 273-280.
- [20] 余杰, 毛绪美, 彭慧, 文美霞, 王辛, 范威, 汤伟. 岩溶热储高矿化度地热流体成因机制研究: 以巴东县盐场河地热田为例[J]. *中国岩溶*, 2023, 42(4): 795-808.
YU Jie, MAO Xumei, PENG Hui, WEN Meixia, WANG Xin, FAN Wei, TANG Wei. Genesis mechanism of geothermal fluid with high mineralization in karst geothermal reservoir: A case study of geothermal field of the Yanchang river, Badong county[J]. *Carsologica Sinica*, 2023, 42(4): 795-808.
- [21] 汪集旻, 熊亮萍, 庞忠和. 中低温对流型地热系统[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [22] 常海滨, 肖江, 皮景. 湖南省地热水水文地球化学特征[J]. *中国岩溶*, 2021, 40(2): 298-309.
CHANG Haibin, XIAO Jiang, PI Jing. Hydrogeochemical characteristics of geothermal water in Hunan Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(2): 298-309.

Structural characteristics of geothermal reservoirs in southwest Guizhou: Taking Pingdong geothermal reservoir in Wangmo county as an example

TU Mingjiang¹, ZHAO Liangjie^{2,3}, LI Qiang^{1,4}, CHEN Gang¹, WANG Ruofan¹, WANG Yuankun¹

(1. 114 Geological Brigade of Guizhou Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Zunyi, Guizhou 563000, China; 2. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR & GZAR/International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China; 3. Pingguo Guangxi, Karst Ecosystem, National Observation and Research Station, Pingguo, Guangxi 531406, China; 4. Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550000, China)

Abstract As future advantageous resources as well as renewable energy sources, geothermal resources are widely distributed and used due to their large reserves. They are also clean, environmental and recyclable. Therefore, the development and utilization of geothermal resources has become an important means of global energy transformation and mitigation of global warming. In this context, understanding the dynamics of geothermal fluid movement and the distribution characteristics of geothermal resources in the study area becomes important before the development of these resources. Such knowledge is essential for harnessing the full potential of geothermal energy in the area under

consideration. The development of geothermal resources based on geothermal temperature gradients is controlled by regional geothermal reservoir structures and water-conducting structures. In order to gain a deeper understanding of the circulation mechanism of the geothermal fluids in the study area, this study takes Pingdong geothermal reservoir in Wangmo county of Guizhou Province as the research object, and analyzes the lithological characteristics, thermal reservoir structures, water-conducting structures, characteristics of geothermal fields, and hydrochemical characteristics of geothermal fluids in this area on the basis of the geological survey and the structural characteristics of geothermal reservoir exposed by ZK1 borehole.

The results show that the study area is located at a national key metallogenic zone—the Youjiang rift of Jiangnan composite orogenic belt at the north of Youjiang metallogenic zone, i.e. Shangli geoanticlinal inclined end of the combination part of NW Wangmo fold belt in the foreland basin and the deformation area of EW Ceheng closed fold. The tectonic stress is concentrated in this area. Geothermal fluids in the study area receive atmospheric precipitation and are replenished along the distribution area of carbonate rock in the core of the Shangli geoanticline on the northwest side. Then they fall into deep circulation along the fissure and fracture zones and converge in the geothermal reservoir (from the reef limestone to the limestone of Houziguan Formation) and in the fault-fracture zone of western Wangmocheng. After the interaction with the surrounding rocks, the geothermal fluids carry out the deep circulation from northwest to southeast, during which they continuously absorb the heat flow transmitted upward from the deep part of the earth's crust through deep faults. The heated and upwelling geothermal fluids move upward due to the buoyancy produced by volume expansion (decreasing density). The fluids at low temperature in the upper part move under gravity due to high density, forming a deep circulation system of the geothermal water in this area. Geothermal fluids in the study area are enriched in the fault-fracture zone of western Wangmocheng and in the combination part of the Permian reef limestone and the limestone of Houziguan Formation in the thermal reservoir. The runoff process of geothermal fluid is mainly affected by the fault structure. The recharge, runoff and discharge conditions of underground geothermal water in the study area generally follow the hydrogeological conditions of deep circulation. The geothermal resources in the study area show typical convective characteristics of folds, uplifts and faults. The analysis of Piper's three-line diagram shows that the hydrochemical type of geothermal fluids and shallow groundwater in the study area is $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ type, which is mainly controlled by carbonate minerals in thermal storage aquifers (Pjh and P2h). The warming process of geothermal fluid is mainly controlled by the geothermal temperature gradient, with the average of $2.34^\circ\text{C}\cdot(100\text{m})^{-1}$. The thermal storage structure and water-conducting structure also have a certain influence on the warming contribution. This research contributes significantly to our comprehension and prediction of the movement patterns of geothermal fluids and the distribution traits of geothermal resources. As a result, it offers invaluable reference for the development of geothermal energy in other analogous geothermal reservoirs within Southwest Guizhou.

Key words thermal reservoir, geothermal gradient, structural feature, Pingdong geothermal system in Wangmo county

(编辑 张玲)