

赫章片区地热地质条件特征及勘查远景探讨

刘 倩¹, 袁 来¹, 张小强¹, 郑懋荣¹

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局七总队, 贵州 贵阳 550005)

[摘 要] 区域性北西向紫云-坝都深大断裂带斜贯县境, 其上下盘次级构造, 层间破碎带及挽近期构造发育, 具有中低温地热资源有利地热地质条件; 潜在地热资源丰富, 具有开发价值热储层为第一热储单元和第二热储单元的白云岩, 以混合热储构造类型为主, 其次是层状带状热储构造类型。根据地热地质条件, 结合已成井成果资料, 预测了六个靶区。

[关键词] 地热流体; 热储单元; 热储类型; 水化学成分; 远景

[中图分类号] P314.1 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2019)-01-0088-07

赫章县地处滇东高原向黔中山地过渡地带, 属国家级贫困县高寒山区、地热资源贫乏区, 也是高风险勘查盲区。本文简要探讨地热勘查远景, 着重介绍我队在赫章县六曲沟和后河两口地热井的地热地质条件特征。总结研究区内地热流体特征和分布规律, 指导对赫章、威宁地区地热资源开发提供依据, 而且将进一步助推全县文化旅游产业发展和脱贫攻坚进程, 让山地旅游真正成为县脱贫攻坚和同步小康引擎。

1 地热地质条件

大地构造位置处于扬子陆块西南缘, 黔北台隆, 遵义断拱内北东向毕节构造变形区西南部。遵义断拱是黔北台隆主体, 也是扬子陆块内最稳定的部分。相对隆起, 使泥盆系、石炭系部分地层缺失。遵义断拱西南部威宁、赫章带以北东向横排多字型构造为主, 其褶皱形态成“S”湾转延伸。

赫章县地表出露地层为第四系、二叠系、石炭系, 深部有奥陶系、武寒系、震旦系地层。缺失志留系、泥盆系。沉积岩系以碳酸盐岩为主, 其次是细碎屑岩。晚二叠世海西期陆相火山喷发的峨眉山玄武岩分布广泛。

赫章县断层褶皱构造发育, 地热处于北东向赫章背斜轴部及两翼和北西向紫云-坝都断裂上

下盘碳酸盐岩中。赫章背斜走向北东 $60^{\circ} \sim 65^{\circ}$, 呈“S”型延伸, 长 100 余公里, 轴部地表为石炭系, 深部为震旦系, 两翼为二叠系地层。

县内南西部位以北西向断裂为主, 主要有紫云-坝都区域性深大断裂, 走向北西 $295^{\circ} \sim 320^{\circ}$, 长大于 300 km, 南西倾斜, 倾角 $68^{\circ} \sim 75^{\circ}$, 破碎带宽 20 ~ 50 m。县区内形成早, 其活动延续比较晚的断裂。加里东运动之前该构造已经存在, 它切割海西期、燕山期及喜山期的东西向和北东向的断层, 是一条切穿基底至上地幔, 经长期发育, 多次活动深大断裂, 控制区内地形水系沿北西向发育 (陈国勇等 2008), 其次是五里坪-文家寨区域性大断层 (F2), 走向北西 $295^{\circ} \sim 320^{\circ}$, 长大于 20 km, 北东倾斜, $70^{\circ} \sim 75^{\circ}$, 破碎带 1.5 ~ 1.8 m, 具多次活动特征。上述两条构造挽近期构造发育, 沿大断裂进一步叠加、复合, 且上下盘富水性后期构造发育。这些特征为地表水渗透, 深部地下热水流通、循环, 创造了良好通道。

县北东部位主要发育北东向断层, 褶皱走向北东 $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 北西或南东倾斜, 倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 其中北东向化眉区域性大断裂 (F3), 走向山东 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 北西倾斜, 倾角 $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。县城附近以东西向断层, 褶皱为主, 如赫章北后河断层 (F4) 向北倾斜, 倾角 $65^{\circ} \sim 75^{\circ}$, 上述断裂构造挽近活动明显, 富水性较好。

[收稿日期] 2018-07-19 [修回日期] 2018-12-15

[作者简介] 刘倩 (1995—), 女, 助理工程师, 从事矿产地质勘查工作。

赫章县城北西向六曲沟 ZK-1 号地热井位于次级六曲沟背斜近轴部北西翼,北东向次级化眉断层上盘。紧靠县城后河 ZK-2 号地热井位于近东西六曲河背轴部,近东西向后河断层上盘。

赫章县中部大海山-新场坝-珠市河-沙石浪

为地下水分水岭,分水岭北地表、地下水向北径流,北东向赫章背斜轴部及两翼北东向次级断层分布较多下降泉,沿北西向紫云-垭都大断裂及上下盘分布下降泉。多条暗河向北径流,说明县内地下水比较丰富。

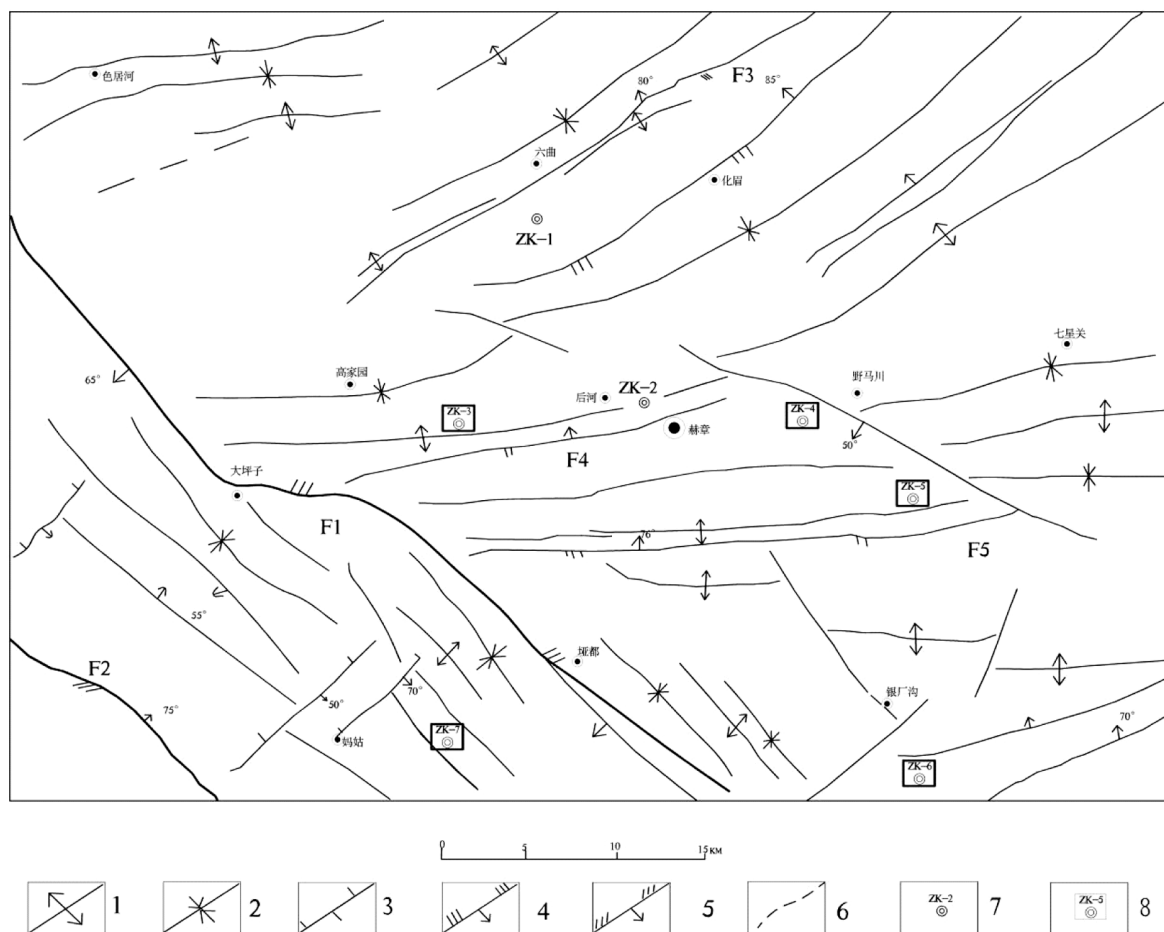


图1 赫章县构造刚要图及预测靶区

Fig. 1 Structural rigid map and prediction target area in Hezhang County

1—背斜;2—向斜;3—正断层;4—冲断层;5—压扭性断层;6—性质不明断层;7—钻孔位置及编号;8—预测靶区及设计钻

2 热储单元及结构特征

区内地层较为齐全,从震旦系、二叠系到第四系各时代地层的岩性以碳酸盐岩为主,岩溶及构造裂隙发育是地下热矿水资源储存、运移良好空间,常构成热储层,其层间各类的泥岩、粉砂岩等细碎屑岩具有保温隔热的作用,形成了盖层。热储层与盖层构成一个热储单元。根据地层结构和岩性组合特征。区内从地表向深部有四个热储单元(见表1),缺失第三热储单元。

近地表第五热储单元,储热含水层为中二叠系栖霞组、茅口组灰岩、埋藏浅保温盖层被剥蚀,

热储含水层出露地表,不具备储热条件。

第四热储单元:储热含水层位为石炭系马平组、黄龙组,岩性为石灰、白云质灰岩、白云岩,岩溶及构造裂隙发育,含水性中-强,厚 305 m。保温盖层为中二叠系底部梁山组,厚 48 m,底板隔热层为奥陶系湄潭组,埋藏深 610 ~ 915 m,储热保温条件差,不宜开发。

第二热储集单元:储热含水层为寒武系上统娄山关群($E_{2-3}ls$),中统石冷水组(E_2s)、高台组下部(E_{2g}),下统清虚洞组(E_1q),岩性为细晶白云岩、鲕状白云岩、白云质灰岩、鲕状灰岩,结构中-厚层。岩溶构造裂隙发育,含水性中-强,该层厚 694 m,底板隔热层为高台组(E_{2g}),上部泥质灰

岩,保温盖层为奥陶系下统湄潭组(O_2m)泥岩。六曲河施工 ZK-1 号钻孔在 1 165 ~ 1 175 m 处热量激增,出现井喷。该地段正处于寒武系中上统娄山关群与奥陶系下统湄潭组湄潭组假整合接触处,有一较大层向破碎带,是地下热矿水良好储存空间和运移通道。井自流量 2 800 m³/d,水温 52℃,为层状热储水。

第一热储层:储热含水层为震旦系上统灯影组(Z_2dy)结晶白云岩,厚层结构,厚 250 ~

308 m,富水性中-强。盖层为寒武系下统牛蹄塘组、明心寺组、金顶山组,岩性为灰质页岩、泥质粉砂岩,底板隔热层为震旦系下统陡山沱组(Z_1d)。后河 ZK-2 井当钻井到 1 713 ~ 1 716 m 时突然出现漏浆,这一地段处于震旦系与寒武系下统接触处,为一层间滑动破碎带。当钻井到 1 803 ~ 1 810 m 也出现漏浆,这一段为 F4 断层,含水层为震旦系灯影组白云岩,水量为 668 m³/d,水温 50℃。

表 1 热储结构特征表
Table 1 Heat storage structure feature table

	地层单元	厚度 (m)	岩性及水文地质特征	储、盖及地层单元划分		热储特征
二叠系	全新统 (Q)	2-15	浅灰,褐黄黏土夹砂砾		盖层	
	龙潭组 (P ₃ l)	10	上部浅灰色砂页岩、粉砂岩;下部泥岩、粉砂岩。隔水层			
	玄武岩组 (P ₃ β)	195	灰绿、深灰色玄武岩,上部夹 35 cm 砂岩,底部少量泥岩。隔水层	第五热储集单元	热储层	热储层
	茅口组 (P ₂ m)	225	浅灰、灰色灰岩、夹泥灰岩,方解石发育,含水层			
	栖霞组 (P ₂ q)	95	深灰色含泥质灰岩夹细晶灰岩,方解石发育,含水层			
	梁山组 (P ₂ l)	60	上部为灰色粉砂岩,下部为浅灰色泥岩、粉砂岩,隔水层		盖层	
石炭系	马平组+黄龙组 (C ₃ mp+C ₂ hn)	230	上部为灰色细晶灰岩,中部为灰白色粘土岩,下部为深灰色灰岩,含水层	第四热储集单元	热储层	储保温条件及开发条件差
	大塘组+摆佐组 (C ₁ b+C ₁ d)	75	上部浅灰色泥质灰岩,中部灰白云岩,下部深灰色粉砂岩,含水层			
奥陶系	湄潭组 (O ₂ m)	250	浅灰色粉砂夹灰色粘土,粉砂质粘土,隔水层		盖层	
	层间破碎带	10	浅灰色断层破碎带,角砾岩,含水层			
寒武系	娄山关组 (Є ₂₋₃ ls)	200	浅灰色白云岩夹少量深灰色白云岩,裂隙发育,含水层	第二热储集单元	热储层	热储全封闭
	石冷水组 (Є ₂ s)	100	灰色薄层中厚层粉晶砂岩			
	高台组 (Є ₂ g)	114	青灰色薄层页岩		盖层	
	清虚洞组 (Є ₁ lq)	249	白云岩、灰质白云岩及灰岩。含水层		热储层	
	金顶山组 (Є ₁ lj)	113	深灰、灰绿色泥质粉砂岩、泥岩			
	明心寺组 (Є ₁ lm)	181	石英砂岩、泥质粉砂岩夹白云岩		盖层	
震旦系	牛蹄塘组 (Є ₁ ln)	138	深灰色碳质页岩、磷块岩	第一热储集单元		热储封闭
	灯影组 (Z ₂ dy)	308	浅灰,灰白色白云岩		热储层	
	陡山沱组	85	灰棕砂页岩、黏土岩		盖层	

3 热储构造类型及分布类型

根据储热地质构造条件及热储形态,区内热储构造分为三种类型:层状热储、带状(或称裂隙状)热储、混合性热储(黎治忠等 2006)

3.1 热储类型

3.1.1 层状热储类型

层状热储是地下热矿水赋存在层状、似层状构造空间的储热含水层中。区内震旦系、寒武系中白云岩、灰岩中岩溶构造裂隙发育,溶蚀强烈,透水性好,热导力高,当上部有保温层,下部有隔热层时,就构成层状热储。

区内北西向紫云-垭都深大断裂,经多次构造变动,在上下盘硬软岩层之间,假整合面形成多层次层间滑动破碎,构成地下热水储存空间。如六曲沟 ZK-1 号井钻到 1 165~1 175 m 时,为奥陶系下统湄潭组与中上寒武系娄山关组假整合面之间大层间破碎带,顶部有湄潭组泥岩粉砂岩形成盖层,底板有娄山关群上部泥质白云岩和高台组上部页岩隔热,形成该地段层状热储。

3.1.2 带状(裂隙)热储类型

带状热储是指地下热水沿断裂构造带(或裂隙状)分布,其热储断层均与换近期多次活动关系密切。一般具规模大、破碎带发育、导水性强,有利于地下热水运移、储存。沿北西向紫云-垭都深大断裂及上盘次级断层以及远离大断层次级断层形成带状热储。

3.1.3 混合热储类型

混合型热储是指地下热水形态,既有带状(裂隙状)热储,又有层状热储。该类热储空间大,运移通道良好,是区内主要类型。后河 Zk-2 号井,钻井到 1 713.56~1 716.79 m 为震旦系与寒武系接触层间构造破碎带,因此出现井内泥浆漏失为层状热储。1 800~1 810 m 为灯影组内 F4 断层,井内出现漏浆,为带状热储。该孔为混合型热储类型。

3.2 分布特征

根据区内地下热水形成地质条件及两个地热井成果,赫章县热储构造类型分布具有一些规律。北西向紫云-垭都区域深断裂上下盘层间滑动构造破碎带,假整合接触面接近以层状热储构造类型和混合型热储构造类型为主。远离该区域性大断裂以带状(裂隙)热储构造类型为主。

4 地热流体动态特征

4.1 地下热水富集规律

地热是指能够经济地为人类所利用的地球内部赋存热能量资源,它来源于地球内部放射性元素衰变所释放的热能。由地表向下,地壳存在变温带、恒温带。增温带,恒温带地表下 20~30 m。恒温带以下,地热的分布由内部至深部呈梯度升高趋势。

区内虽然地温梯度低,2~2.5 °C/100 m,处

于乌蒙山高原,地形切割深,不利地下热水赋存。但是北西向紫云-垭都深大断裂斜穿县境,又经多次构造变动,挽近期断裂构造发育,在大断裂上下盘,发育次级断层,褶曲及层间滑动构造带,为地下热水运移、储存创造了良好通道和空间。

第一热储单元中灯影组白云岩,第二热储层中石冷水组娄山关组云岩厚度稳定、构造裂隙、岩溶管道发育,透水性好,富水性强,热导率高。上覆透水性弱厚覆盖层,下伏不透水隔热层,地层组合完整,封闭良好,埋藏深具有丰富地下热水资源。

地下热水补给主要来自于大气降水,补给区来自北西部威宁地区,通过北西向紫云-垭都断裂及分支断层,热储层岩溶管道裂隙、渗透到深部,不断被深部地热流加温,形成热水。

如 ZK-1 号井,位于北东向六曲河背斜北西近轴部,当钻进到湄潭组与娄山关群之层间破碎带(1 165~1 175 m),受到层间热压力作用,地下热水从井口喷出,水位高 85 m,场景壮观,水量 2 800 m³/d,井口温度 52 °C,为层状热储水(如图 2)。

后河 ZK-2 号井,位于近轴向背轴部,后河断裂(F4)上盘。当钻井到牛蹄塘组泥岩与灯影组白云岩之层间破碎带(1 713.16~1 716.36 m)出现层状热储水,钻进到 1 803~1 810 m 为后河断层(F4),出现带状热储。抽水结果后,水量为 668 m³/d,水温 50 °C,多以带状为主,兼有层状热储混合类型热储(如图 3)。

4.2 水化学特征

区内地热水化学成分见表 2,从表中说明矿化度为 568.9~2 197.2 mg·L⁻¹,阴离子含量 422.43~1 543.85 mg·L⁻¹。靠近紫云-垭都断裂 ZK-2 号井中,矿化度、硬度、阳离子(Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺),阴离子(HCO₃⁻、SO₄²⁻)含量比远离断层 ZK-1 号井高。这可能是燕山期、喜山期构造运动,地下热液上升至成部作用结果。锶(Cr)含量 ZK-1 号井比 ZK-2 号井高。氟(F⁻)含量为 2.85~3.58 mg·L⁻¹,偏低。偏硅酸(H₂SiO₃)含量 36.3~36.8 mg·L⁻¹,一般在地热水中随水温的升高而增加,是地热水中重要的标性元素。

地热水水化学类型靠近大断裂为 HCO₃⁻·SO₄²⁻-Ca²⁺·Mg²⁺水(ZK-1 号井),远离断裂为 HCO₃⁻-Ca²⁺·Mg²⁺水。

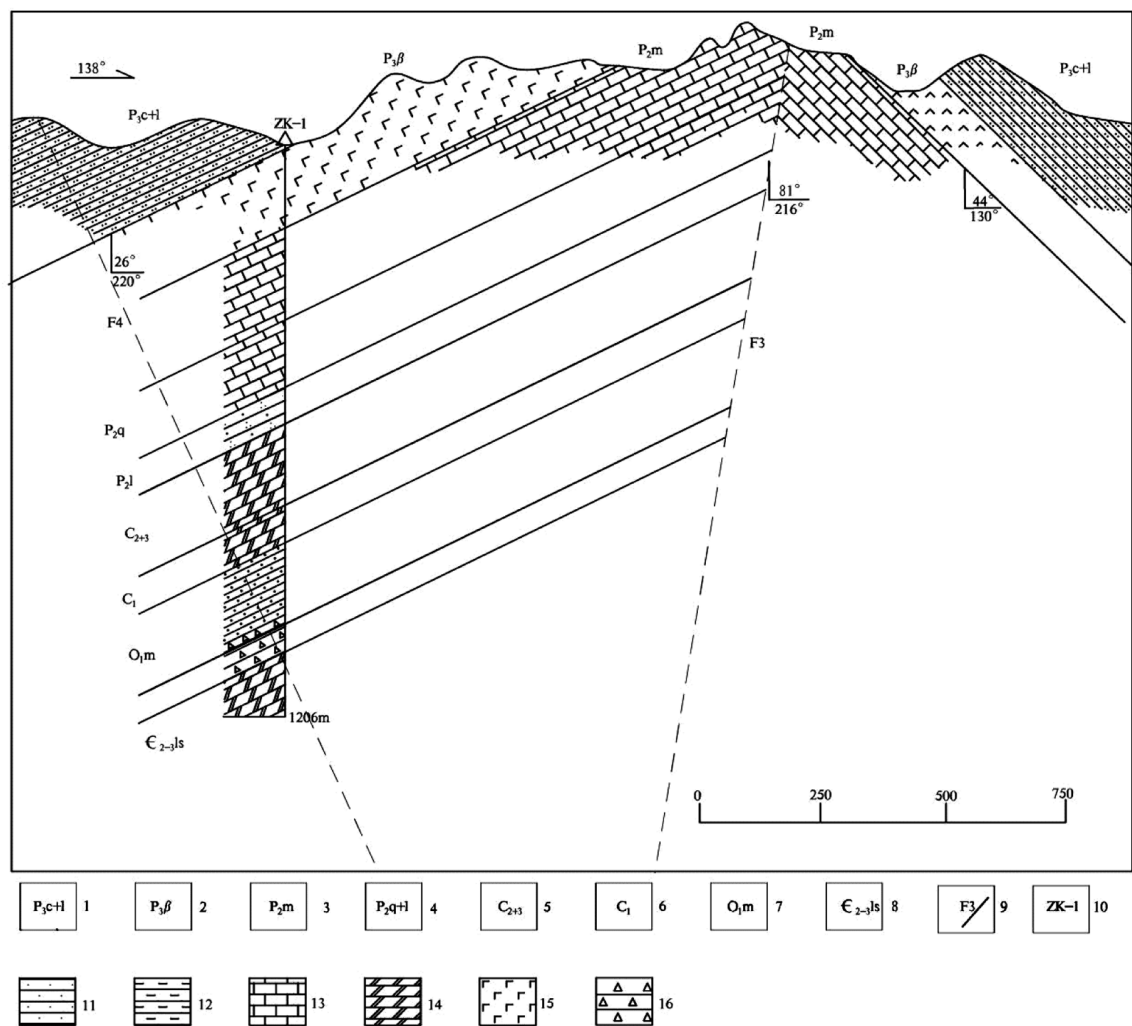


图2 赫章县 ZK-1 地热井剖面图

Fig. 2 ZK-1 Geothermal well profile of Hezhang County

1—长兴-龙潭组;2—峨眉山玄武岩;3—茅口组;4—栖霞-梁山组;5—中上石炭统;6—下石炭统;7—湄潭组;8—娄山关群;9—断层;10—钻孔位置;11—砂岩类页岩;12—页岩;13—灰岩;14—白云岩;15—玄武岩;16—角砾岩

5 远景区预测

5.1 预测依据

区内北西向紫云-垭都深大断裂具多期活动特点,其上下盘次级断层、层间破碎带、换近期构造发育,为地表水渗透,地下热水运移提供良好通道和储存空间。

北西向紫云-垭都深断裂及上下盘以层状热储类型和混合热储类型为主,其余地区以带状热储为主。

背斜在隆升过程中形成层间滑动构造,在相同埋藏深度条件,背斜更有利地下热水储存。

热储层厚 400 m,为岩溶水强含水层,地下水

径流模数大于 $5 \sim 6.0 \text{ L/S} \cdot \text{km}^2$,充分揭露热储层,地热涌水量推测 $500 \sim 600 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

热储层埋深 $1\ 100 \sim 2\ 500 \text{ m}$,井口温度 $50^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ 。

六曲河 ZK-1,后河 ZK-2 地热成果资料。

5.2 靶区预测

根据上述依据,结合区内地热形成地质条件,靶区以背斜轴和断裂为中心,结合地形地貌特征,初步预测 5 个靶区(如图 1):半坡营地区(ZK-3)位于县城北西,后河背东西部,ZK-2 号井西 5 km,主要取第一热储单元灯影组白云岩中地热水,孔深 $2\ 400 \text{ m}$, $1\ 900 \sim 1\ 950 \text{ m}$ 打到 F4 断层,预测涌水量 $500 \sim 600 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

赫章县城东野马川山脚地区(ZK-4)位于后

表 2 赫章县 ZK-1、ZK-2 号井地热流体化学成分表															
Table 2 Table on the chemical composition of geothermal fluids in wells ZK-1 and ZK-2, Hezhang County															
地 区	成 分									总硬度	矿化度	阳离子	阴离子	偏硅酸	水温
	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cr ⁻	SO4 ²⁻	HCO3 ⁻	F ⁻	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	℃
六曲河 ZK-1	7.48	15.43	5.37	83.86	40.57	2.14	258.32	156.85	3.58	377.48	568.9	146.45	422.43	35.30	53
后河 ZK-2	7.04	50.90	143.0	365.09	85.86	26.96	1260.52	252.68	2.85	1261.91	2197.2	652.77	1543.8	36.58	50

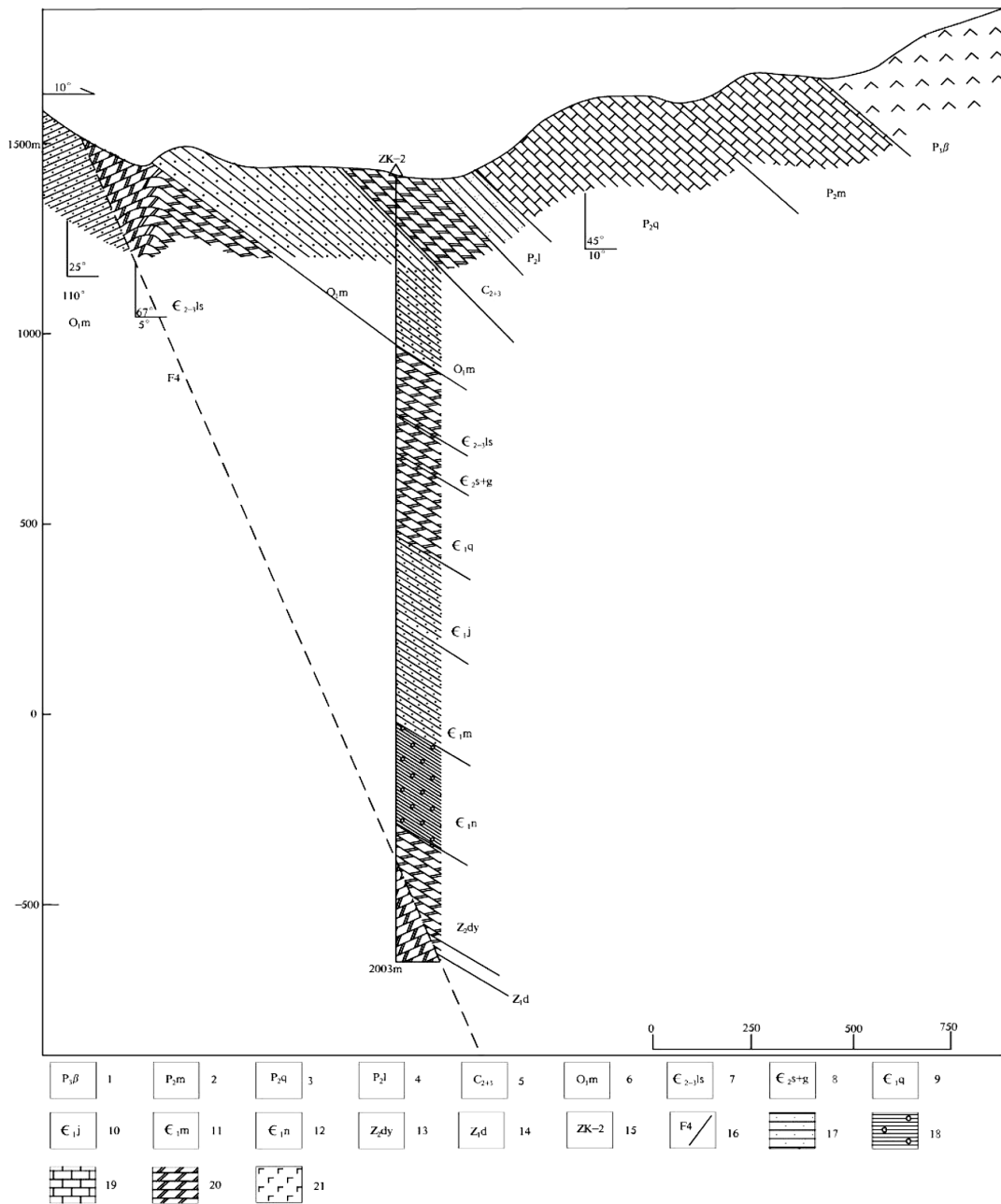


图 3 赫章县 ZK-2 地热井剖面图

Fig. 3 ZK-2 Geothermal well profile of Hezhang County

1—峨眉山玄武岩;2—茅口组;3—栖霞组;4—果山组;5—中上石灰统;6—湄潭组;7—娄山关群;8—石冷水高台组;
9—清虚洞组;10—含顶山组;11—明心寺组;12—牛蹄塘组;13—灯影组;14—陡山沱组;15—钻孔位置;16—断层;17—
砂页岩;18—页岩;19—灰岩;20—白云岩;21—玄武岩

河背斜南翼,北西向野马川断裂上盘,断层向南西倾,倾角 $50^{\circ} \sim 55^{\circ}$,孔深 2 300 ~ 2 400 m,主要取第一、第二热储单元地下热水,预测涌水量 $400 \sim 500 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(ZK-5)号井位于野马川南东,北西向断裂上盘,近纳龙洞背东部轴部,近东西向与北西向断层夹持部位,孔深 2 300 ~ 2 500 m,主要第一、第二热储单元地下热水,预测涌水量 $400 \sim 500 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

蟒洞(ZK-6)位于兴发镇西南,北西向紫云-垭都深断裂上盘,孔深 1 800 ~ 2 000 m,主要是取第一、第二热储单元地下热水。

妈姑地区(ZK-7)位于妈姑镇南东,妈姑背斜上西翼,北西向与北东向两条断裂夹持部位。孔深 2 300 ~ 2 500 m,主要取第一、第二热储单元地下热水,预测涌水量 $400 \sim 500 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

6 结 论

北西向紫云-垭都深断裂带,具多期活动特征,其上下盘次级断层、层间破碎带及换近期构造发育,为地表水渗透,地下热流体运移提供良好通道和储存空间。具有开发价值地热为第一热储单元中震旦系灯影组白云岩,第二热储单元中寒武系

中上统娄山关群白云岩。靠近紫云-垭都断裂带以混合类型热储为主,远离带有层状热储或带状热储类型为主。地下热流体水化学类型为 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 水和 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 水。地热流体这些特征,预示着深部地热流体滞留时间长,热交替比较充分,县内地热资源丰富。

[参考文献]

- 陈国勇,邹建波,等. 2008. 黔西北地区铅锌矿成矿规律特征[J]. 贵州地质, 25(2): 86-94.
- 贵州省地质矿产局. 1987. 《贵州区域地质志》[M]. 北京:地质出版社, 576-578.
- 贺光泽,等. 2006. 石阡县中深地热资源赋存特征及开发前景[J]. 贵州地质, 23(增刊): 127-131.
- 黎治忠,刘秀伟. 2006. 贵州省混合型热储地热资源勘察技术简述[J]. 贵州地质, 23(增刊): 132-137.
- 李志成,申娴达. 2014. 息烽新萝地热井成因浅析[J]. 地质与勘探, 50(6): 1155-1159.
- 王明章,王尚彦. 2007. 贵州地热资源开发问题及对策建议[J]. 贵州地质, 34(3): 9-12.
- 吴桂斌,王鹏,王晓峰,等. 2015. 铜仁市地热水水化学类型及主要组分成因分析[J]. 地下水, 37(4): 4-7.
- 汪磊,张海. 2016. 贵州西部威水背斜地热赋存规律及靶区预测研究[J]. 中国地质调查, 3(6): 26-31.
- 杨胜元,杨秀中,张建江. 2008. 试论贵州省地下热水类型[J]. 贵州地质, 25(2): 128-132.

Characteristics of Ggeothermal Geological Conditions and Exploration Pprospect in Hezhang Area

LIU Qian, YUAN Lai, ZHANG Xiao-qiang, ZHENG Mao-Rong

(The seven general team of Guizhou nonferrous metals and Nuclear Industry Geological
Prospecting Bureau, Guiyang 550005, Guizhou, China)

[Abstract] The regional NW-trending Ziyun-Yadu deep-large fault zone obliquely runs through the county boundary. The secondary structures in the upper and lower walls, the strata-trending fracture zones and the recent tectonic development have favorable geothermal geological conditions for low-to-medium temperature geothermal resources. The potential geothermal resources are abundant. The development value of the thermal reservoir is the dolomite of the first thermal reservoir unit and the second thermal reservoir unit. It is mainly composed of mixed heat reservoirs, followed by stratified banded thermal reservoir structures. According to geothermal geological conditions, combined with well completion data, six target areas are predicted.

[Key words] Geothermal fluid; Heat storage unit; Geothermal reservoir type; Hydrochemical Composition; Vision