

# 贵州石阡地热田地热资源量计算

杨荣康, 杨丽君, 王 乾, 杨元丽

(贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550004)

**[摘要]**贵州省石阡地热田属于典型的山区褶皱断裂复合型热储,本文针对以往该类型热储资源量计算存在的问题,在热矿水采样测试结果和综合研究基础上,建立石阡地热田热储模型;结合地热井钻探和测井资料,考虑褶皱断裂型热储参数存在各向异性的差别,将地热资源量计算区划为以层状热储为主的层状热储区和以断裂带为主的带状热储区,确定计算参数,采用热储法计算地热资源量;计算得出石阡地热田地热资源量为  $2.18 \times 10^{16}$  kJ/a,折合标准煤  $7.46 \times 10^8$  t/a,可利用的地热资源量为  $3.28 \times 10^{15}$  kJ/a,折合标准煤  $1.12 \times 10^8$  t/a;将计算结果与该地区以往研究成果进行对比分析,结果显示,褶皱断裂型热储地热资源量的计算过程中,深部断裂带带状热储是不可忽略的,本次研究所采用的计算方法得出的结果更能真实的反映该地热田实际的地热资源量。

**[关键词]** 石阡地热田;褶皱断裂型热储;地热资源量

**[中图分类号]** P314.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2014)02-0154-04

## 1 前言

2013年,由贵州省地质环境监测院负责实施了《贵州省地热资源调查评价与区划》项目,对全省地热井和温泉进行调查和采样,是近20年来贵州省最大规模的热矿水集中采样测试。贵州省热矿水多数是受区域性深大断裂控制,属于典型的褶皱断裂隆起区的山间盆地亚型地下热水<sup>[1]</sup>。地热资源量的计算国内外方法很多<sup>[2]</sup>,本次研究主要针对以往对山区褶皱断裂型热储的资源量的计算往往欠缺断裂带热储的考虑和计算参数差异等问题<sup>[3]</sup>,在项目实施的基础上,建立石阡地热田热储模型,进行地热资源量的计算,将计算结果与以往研究成果中对该地热田资源量计算结果进行对比分析,并讨论该计算方法的可靠性。

## 2 热储模型

### 2.1 热源

根据石阡热矿水水化学资料分析显示,除微

量组分如二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )、锶(Sr)、氡(Rn)、锂(Li)等和矿化度大部分高于潜水外,其他组分均无明显区别,为重碳酸盐型水,与第四纪岩浆侵入活动和火山作用的热矿水化学类型有明显的差别;贵州省自雪峰运动以后,基本处于比较稳定的陆块构造环境,在石阡以东除中元古宇梵净山群存在少量的花岗岩侵入体外,区域内缺乏放射性热源的物质基础<sup>[4]</sup>;据同位素特征分析<sup>[5][6]</sup>,石阡地热田热矿水 $\delta\text{D}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值均在1986年中国大陆降水线附近,说明石阡地区的热矿水是由于大气降水补给形成,属于大气成因。因此,石阡地热田热矿水不是来自地壳深部的原生古水,也不存在岩浆侵入活动、火山作用和放射性热源的影响,它是大气降水渗入经长时间的深循环并受活动断裂控制沿地温梯度增温后再向浅部运移的结果。

### 2.2 热储层与盖层

石阡地热田主要的热储层为寒武系清虚洞组( $\text{E}_1\text{q}$ )、高台组( $\text{E}_2\text{g}$ )、娄山关群( $\text{E}_{2-3}\text{1s}$ )、桐梓组( $\text{O}_1\text{t}$ )、红花园组( $\text{O}_1\text{h}$ ),以灰岩、生物碎屑灰岩、

[收稿日期] 2014-03-17

[基金项目] 中国地质调查局地质调查项目 贵州省地热资源调查评价与区划(水[2013]01-029-006)。

[作者简介] 杨荣康(1986—),男,助理工程师,硕士学位,主要研究方向:水文地质、环境地质、地热地质。

白云质灰岩、白云岩为主。盖层主要为湄潭组(O<sub>1m</sub>)或大湾组(O<sub>1d</sub>)、宝塔组(O<sub>2b</sub>)、涧草沟组(O<sub>3l</sub>)、龙马溪组(S<sub>1l</sub>)、石牛栏组(S<sub>2s</sub>)、韩家店群(s<sub>2-3hn</sub>),以页岩、砂岩为主夹少量灰岩、泥灰岩。据石阡城南温泉地热井、吴家湾地热井勘探和测井资料结合相关资料分析得出石阡地热田热储层平均厚度约1 000 m,盖层平均厚度约600 m<sup>[7][8]</sup>。区域内断裂构造发育,主要的热储层部分出露地表,其热储结构受到一定破坏,使石阡热矿水普遍具有温度低的特点。

### 2.3 构造通道及地热田边界

石阡在大地构造上属于扬子准地台黔北台隆遵义断拱贵阳复杂构造变形区与凤岗北东向构造变形区的复合部位,石阡断裂构造是遵义断拱东部的一个次级构造单元,多由北东向的平缓向斜和狭窄背斜相间平等排布,单个褶皱常成“S”形弯曲,如石阡背斜,为主要的褶皱热储构造,背斜轴部

多伴生压性断裂<sup>[9]</sup>。断裂构造主要由北东向的石阡断裂、北东向的由红石断裂和若干支断裂组成<sup>[10]</sup>,红石断裂在区域上属于松桃-碧痕营活动断裂束<sup>[11]</sup>,走向NE-SW,倾角60~80°,该断裂贯穿整个区域,是区域内规模和影响最大的深大活动断裂;石阡断裂呈北东向沿石阡河东岸延伸,倾向南东东,倾角70度,是一条区域性活动断裂<sup>[12]</sup>,两条断裂在石阡县城南面斜交复合。

区域内热矿水多以泉群的形式出露于石阡断裂、红石断裂以北或傍侧次生断裂带的河谷阶地上,普遍具有承压性质。根据贵州省地温梯度分布图显示,石阡地区地温梯度在2.0~3.0℃/100 m之间,并呈由南向北递增,在思南、印江一带地温梯度能到达3.0℃/100 m,石阡政府地热井及吴家湾地热井的测温资料显示,其地每100米温度能升高到6度以上<sup>[8]</sup>,这两地热井都位于石阡断裂与红石断裂交汇带上,可见,这两大活动断裂是石阡地热田最重要的构造通道(图1)。

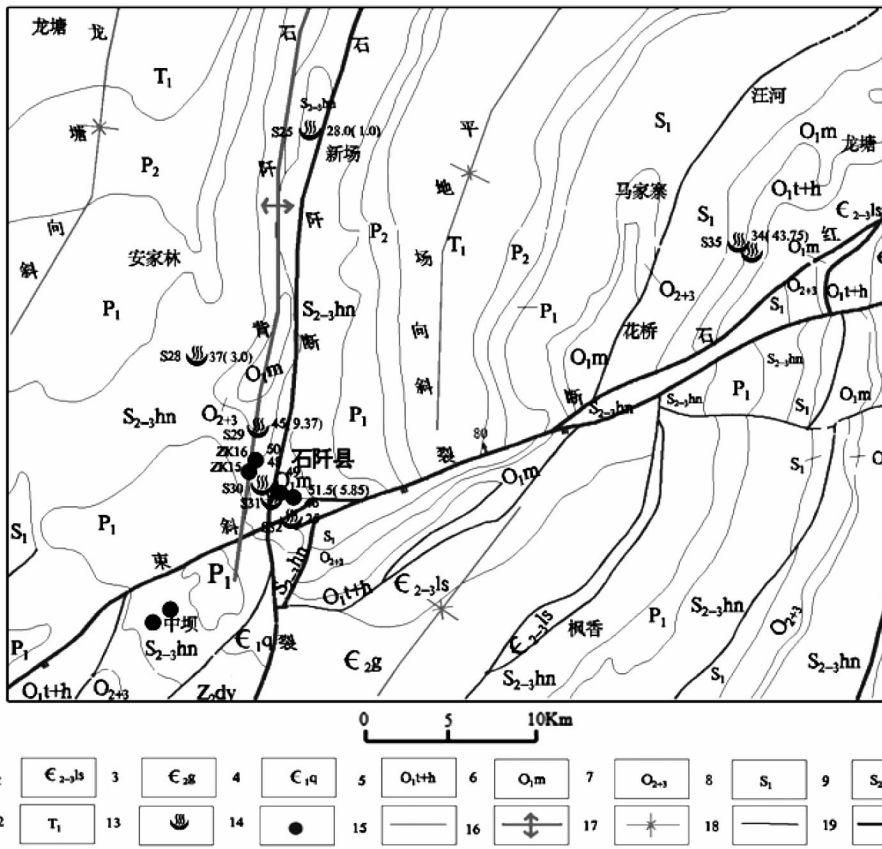


图1 石阡地热田地热资源分布现状图

Fig. 1 Distribution of geothermal resource in Shiqian geothermal field

1—震旦系系统上统灯影组;2—寒武系中上统娄山关群;3—寒武系中统高台组;4—寒武系下统清虚洞组;5—奥陶系下桐梓红花园组;6—奥陶系下统湄潭组;7—奥陶系中上统;8—志留系下统;9—志留系上中统韩家店群;10—二叠系下统;11—二叠系上统;12—三叠系下统;13—天然温泉点;14—地热井;15—地质界线;16—背斜;17—向斜;18—断层;19—区域性活动断层;20—地名

地热田边界通过地热异常区结合区域内地层、构造条件确定,地热田以两大活动断裂及石阡北斜为主体,围绕石阡县城地热异常区圈定,南面以震旦系灯影组、奥陶系桐梓红花园组地层边界为界。

## 2.4 补给区及循环深度

利用贵州省地热资源调查评价与区划的实测数据,根据同位素高程效应计算公式<sup>[6]</sup>,计算得出热矿水补给区高程为1 000~1 600 m之间,结合该地区地势、构造通道等综合分析,推测其补给区域主要位于两大活动断裂的延伸区域及沿途断裂带上。采用SiO<sub>2</sub>温标估算其热储温度介于52~87℃之间<sup>[13][14]</sup>,平均值为69℃,再结合石阡地温梯度(2.5℃/100 m)<sup>[15]</sup>,取恒温点温度16.8℃(年平均气温),恒温点深度30 m进行计算,得出热矿水循环深度在1 450~2 834 m之间,平均值为2 320 m,然而石阡地热田热储层和盖层厚度之和平均值在1 600 m左右,可见,大部分热矿水来源以及循环深度并不仅仅局限于热储层,其更可能来源于更深层次的热储构造。

综上,石阡地热田热储类型为典型的隆起断裂复合型热储,受深大活动断裂控制,断裂带热储参数存在较大的差异,其增温率及热储温度都相对较高;热矿水来自上地幔的热流,在两深大活动断裂延伸带及沿途接受大气降水补给,沿断裂构造通道进入深部循环增温,在石阡县城一带沿石阡断裂和红石断裂上升传输到地表最低的侵蚀基准面排泄,形成一个完整的热矿水循环系统。

## 3 地热资源量

### 3.1 计算方法

根据石阡地热田热储模型,石阡地热田是主要受深大活动断裂控制的褶皱断裂复合型热储,断裂带上热储温度高,其对研究区上热矿水的影响不仅仅局限于主要热储层地板的深度范围,而是通过更深一层断裂构造通道源源不断的上升对热储层进行热量和水量的补给,以往对该种断裂型热储的地热资源量的计算,只局限于主要的热储层单元进行资源量的计算,同时,其参数的选取也往往忽略断裂带上与主要热储单元较大的参数差异。

为此,本次研究按构造条件以结合前人研究成果中对该地区地热田边界划分的基础上<sup>[16]</sup>,进一步将地热资源计算区划分为以层状热储为主的

层状热储区和以断裂带为主的带状热储区,将平均热储层地板深度到热矿水最大循环深度作为断裂带带状热储区的计算厚度,其横向影响带宽度作为热储宽度,根据各区热储特征研究确定所对应的热储参数进行资源量的计算。

国内外对地热资源量的计算方法很多,普遍采用的方法有:地表热量法、水热均衡法、比拟法、热储法等<sup>[17]</sup>,地表热量法是用地表测量获得的热量来推算地下储藏的热量,这种方法比较粗略,水热均衡法主要通过汇水区内的水、热均衡计算了解深部地下热矿水的储存量和补给情况,比拟法是通过已知地热田的地热资源量去推算地热地质条件相似的地热田的地热资源量,对于石阡地热田来说,这种方法不具备条件,而热储法是直接针对热储的储热能力进行估算,不但适用于孔隙型热储,同时也适用于断裂型热储,其计算参数相对易获取,是地热资源量计算普遍采用的方法,结合石阡地热田热储模型以及计算区划分情况,热储存法是最适合的方法,其计算公式如下:

$$Q = C_r \rho_r (1 - \phi) V (T_1 - T_0) + C_w \rho_w \phi V (T_1 - T_0)$$

式中:

Q——热储量, kJ;

C<sub>r</sub>, C<sub>w</sub>——分别为热储岩石比热和水的比热, kJ/kg·℃;

ρ<sub>r</sub>, ρ<sub>w</sub>——分别为热储岩石密度和水的密度, kg/m<sup>3</sup>;

Φ——热储岩石孔隙度(或裂隙率);

T<sub>1</sub>——热储温度,℃;

T<sub>0</sub>——恒温层温度,℃;

V——热储体积, m<sup>3</sup>。

### 3.2 主要参数确定

(1)热储体积(V):层状热储区:根据地热田的热储面积与热储平均厚度计算热储存体积为:104.52×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>;带状热储区:通过穿过地热田两大断裂构造长度各延伸5 km范围作为长度,以热矿水最大循环深度与热储层和盖层总平均厚度之差作为计算深度,以600 m范围作为断裂影响带宽度来综合计算,带状热储区热储体积为:37.02×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>;

(2)热储岩石和热矿水的密度(ρ<sub>r</sub>, ρ<sub>w</sub>)和比热(C<sub>r</sub>, C<sub>w</sub>):层状热储区:ρ<sub>r</sub>取2.79×10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>, ρ<sub>w</sub>取980.4 kg/m<sup>3</sup>, C<sub>r</sub>取0.95 kJ/kg·℃, C<sub>w</sub>取4.2 kJ/kg·℃;带状热储区:由于深部断裂带岩性除了有断裂角砾岩外还夹杂有泥质白云岩、灰

岩及页岩,参照这几种岩性密度和比热容的经验值取其平均值, $\rho_r$ 取 $2.28 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , $C_r$ 取 $1.16 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ <sup>[18]</sup>;

(3)热储温度( $T_1$ ):层状热储区取地热勘探钻孔井底测温数据和 $\text{SiO}_2$ 温标的平均值 $57.5^\circ\text{C}$ ;带状热储区取 $\text{SiO}_2$ 温标平均值 $69^\circ\text{C}$ ;

(4)恒温层温度( $T_0$ ):取当地年平均气温 $16.8^\circ\text{C}$ ;

(5)热储岩石孔隙度( $\Phi$ ):层状热储区取 $0.53\%$ ,带状热储区由于较破碎其孔隙度取 $0.73\%$ <sup>[18]</sup>。

### 3.3 计算结果与讨论

将各参数代入式中计算结果得出层状热储区: $Q_{\text{层}} = 1.45 \times 10^{16} \text{ kJ/a}$ ,带状热储区 $Q_{\text{带}} = 7.3 \times 10^{15} \text{ kJ}$ ,石阡地热田地热资源量 $Q = Q_{\text{层}} + Q_{\text{带}} = 2.18 \times 10^{16} \text{ kJ/a}$ ,折合成标准煤 $7.46 \times 10^8 \text{ t/a}$ ,用热储法计算出的地热资源量不可能被完全开采出来,按碳酸盐岩裂隙热储的回收率 $0.15$ 计算,石阡地热田可利用的地热资源量为 $3.28 \times 10^{15} \text{ kJ/a}$ ,折合标准煤 $1.12 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。

以往该地区研究资料中,所计算石阡地热田地热资源量为 $1.22 \times 10^{16} \text{ kJ/a}$ ,折合成标准煤 $4.17 \times 10^8 \text{ t/a}$ ,可利用的地热资源量为 $1.84 \times 10^{15} \text{ kJ/a}$ ,折合标准煤 $6.26 \times 10^7 \text{ t/a}$ <sup>[16]</sup>,与本次所计算的资源量相比,本次计算结果是其结果的 $1.8$ 倍。本次计算所选的计算参数均以2013年最新的调查和采样测试资料为依据,计算参数上略有偏差,经过反复计算验证,这些参数的细微的偏差均不会使计算结果产生比较大的差别,本次层状热储存区地热资源量计算结果与之前计算结果较为接近,总资源量计算结果的差别主要在于本次计算对断裂构造热储存特征将深部断裂构造带地热储也进行了热储参数的确定和资源量的计算。从计算结果对比可见,对于隆起断裂型热储的地热资源量计算,深部断裂带带状热储地热资源量是不可忽略的,这样计算结果才能更真实的反映该种热储类型地热田的实际地热资源量。

## 4 结论

(1)石阡地热田热矿水是由大气降水渗入经长时间的深部循环并受深大活动断裂控制沿地温梯度增温后再向浅部运移的结果,热矿水来源和循环深度不仅仅局限于热储层深度,部分源于

更深层次的断裂带的带状热储。

(2)通过计算得出石阡地热田地热资源量为 $2.18 \times 10^{16} \text{ kJ/a}$ ,折合成标准煤 $7.46 \times 10^8 \text{ t/a}$ ,可利用的地热资源量为 $3.28 \times 10^{15} \text{ kJ/a}$ ,折合标准煤 $1.12 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。

(3)对隆起断裂型热储的地热资源量计算,深部断裂带带状热储地热资源量是不可忽略的,本次计算所采用方法所得出的结果能更真实反映该种热储类型地热田实际的地热资源量。

### [参考文献]

- [1] 杨胜元,张建江,等. 贵州环境地质[M]. 贵州:贵州科技出版社,2008. 64-70.
- [2] 陈金国,周衍龙. 蒙特卡罗法在湖北省咸宁市温泉地热田地热资源评价中的应用[A]. 2007 中国科协年会专题论坛暨第四届湖北科技论坛优秀论文集[C]. 2007.
- [3] 周衍龙,等. 断裂裂隙型地热田地热资源计算评价方法讨一以英山地热田为例[DB/OL]. <http://www.doc88.com/p-947839117992.html>.
- [4] 韩至钧,金占省,等. 贵州省水文地质志[M]. 北京:地震出版社,1996. 255,287-288,305-306.
- [5] 王恒纯. 同位素水文地质概论[M]. 北京:地质出版社,1991,156-157.
- [6] 张应华,作彦卿. 环境同位素在水循环研究中的应用[J]. 水科学进展,2006,17(5):738-745.
- [7] 贵州省地矿局 114 地质队. 石阡地热资源勘探井(DR5)成井报告[R].
- [8] 贵州省地矿局 103 地质队. 石阡吴家弯地热井成井报告[R].
- [9] 贵州省地矿局区调大队. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1987,577-579.
- [10] 张万九,张前富,等. 中华人民共和国 1:200000 区域水文地质详查报告(江口幅 G-49-(1)) [R]. 中国人民解放军 730 部队,1977,11-15.
- [11] 卢定彪,戴传固,等. 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,2011,71-75.
- [12] 张建江,吕庆. 贵州省石阡县中坝镇地热资源勘查报告[R]. 贵州省地矿局第二工程勘察院,2002.
- [13] 王莹,周训,于浚,等. 应用地热温标估算地下热储温度[J]. 现代地质,2007,21(4):605-612.
- [14] 陈履安. 贵州热矿水热储温度的估算[J]. 贵州地质,1995,12(1).
- [15] 袁富贵,裴永伟,等. 贵州省矿泉水调查评价报告[R]. 贵州省地矿局第二水文地质工程地质大队,1988. 23-28.
- [16] 石阡县地热开发管理办公室,贵州省石阡县地热资源综合评价[J]. 地热能,2010,24-28.
- [17] 地热资源地质勘查规范[S]. GB/T 11615-2010.
- [18] 中国地质调查局;《水文地质手册》(第三版)[M]. 北京:地质出版社,2012,680-681.

thology to the spatial distribution and water yield property, the hydro-geological significance of paleo karst zone of Maokou formation in the target area.

[Key words] Paleo karst zone; Maokou formation; Hydro-geology; Guizhou

(上接第 108 页)

## Geochemical Characters of Jinbao Lead-zinc Deposit in Zhenyuan of Eastern Guizhou

YANG Zong-wen, LIU Ling

(101 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Kaili 556000, Guizhou, China)

[Abstract] In this paper, it did geochemical character study for C-O<sub>2</sub>, sulfur isotope and flow inclusion temperature on Jinbao lead-zinc deposit in Zhenyuan, the C isotope of calcite and dolomite is -5.7‰ to -6.9‰, the O isotope in the typical igneous carbonate rock area is 11.2‰ to 12.2‰ and higher than igneous carbonate rock. Sulfur isotope in sphalerite is 11.5‰ to 14.2‰ and distributes intensively. With the C isotope, it's inferred the metallogenic material comes from deep mantle and magmatism. The flow inclusion temperature is 106° to 238°, the freezing point is -1.8° to 24° and the salinity is 2.9 to 26.1wt% NaCl<sub>eq</sub>. It can be judged the metallogenic flow of this deposit has low-middle temperature and middle-high salinity. By analysis the changing tendency of temperature and salinity, the metallogenic humidity and salinity changes a lot, the flow experienced unmixing process, it maybe caused by the unmixing phenomena when the magmatic hydrothermal decrease the temperature and pressure. By study the regional geologic condition and deposit geologic feature, it's thought the metallogenic flow source of Jinbao lead-zinc deposit perhaps has relation with magmatic hydrothermal.

[Key words] Geochemical character; Metallogenic flow; Lead-zinc deposit; Guizhou

(上接第 149 页) development in the mountain area. In this paper, the character and harm of Dahaizi karst flooding is introduced, the genesis is discussed and the treatment plan is carried out, it can afford some guidance for similar problem.

[Key words] Karst flooding; Disaster prevention; Genesis; Harm; Basin

(上接第 157 页)

## Geothermal Resources Amount Calculation of Shiqian Geothermal field in Guizhou

YANG Rong-kang, YANG li-jun, WANG Qian, YANG Yuan-li

(Guizhou Institute of Geo-Environment Monitoring, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] Shiqian geothermal field is a typical folds and faults type heat reservoir in Guizhou. In this paper, for the problems of this type geothermal resources amount calculation in the past, based on geothermal fluid samples test results and a comprehensive study, establish the reservoir modeling of Shiqian, combined with geothermal resources exploration data, the geothermal resources calculation division into stratified reservoir area and zoned reservoir area, determine the calculation parameters, use geothermal reservoir method to calculate and the results show that Shiqian geothermal field heat storage is 2.181016 kJ/a, the equivalent of 7.46108t/a standard coal, and the available heat storage is 3.281015 kJ/a, the equivalent of 1.12108 t/a standard coal. then comparative analysis of this results and the previous results prove that the zoned reservoir cannot be ignored for this type of geothermal field in the geothermal resources amount calculation, and the results of this method can reflect geothermal resources amount more accurately.

[Key words] Shiqian geothermal field; Folds and faults thermal storage; Geothermal resources