

带状(构造裂隙型)热储地热单井保护范围 确定方法探讨

伍洲云,徐宁玲,范迪富

(江苏省地质调查研究院,江苏南京 210018)

摘要: 带状(构造裂隙型)热储和层状(沉积盆地型)热储皆可采用热储法进行地热资源量计算,但热储分布面积及厚度两个参数应根据两种类型热储的不同空间分布特征,采取相应的确定方法。文章根据带状(构造裂隙型)热储的空间展布特征,提出了其三维空间展布参数的确立方法,并建立了该类型地热资源单井保护范围的数学模型。苏州市浒关地区两口地热井勘查结果表明,两处地热水资源受同一条断裂控制,经理论计算,两者同时开采将产生相互影响,由于开采时间较短,需要根据长期监测资料才能实际验证。

关键词: 地热水;保护范围;构造裂隙型

中图分类号: P314

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2014)01-0149-04

热储法是地热资源勘查评价中最为常用的评价方法。《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615—2010)将热储划分为层状(沉积盆地型)、带状(构造裂隙型)和兼具层状带状三种类型^[1],并且要求不同热储类型采用相应的计算方法,但在开采权益保护范围估算时,规范仅列举了层状(沉积盆地型)热储地热单井的计算方法,实践中该方法被参照应用于带状(构造裂隙型)热储地热井的勘查评价中。实际上两种热储类型的空间展布明显不同,前者分布面积大多呈层状展布,后者沿断裂构造带呈带状延伸,因此在进行带状(构造裂隙型)热储资源评价时,采用层状(沉积盆地型)热储的计算方法显然不妥,应根据不同的成因类型区别对待^[2-6]。

1 热储法计算公式

根据《地热资源评价方法》(DZ40—85),热储法的地热资源量可以按照式(1)计算^[2,7]:

$$Q_R = Ad[\rho_c c_c (1 - \varphi) + \rho_w c_w \varphi](t_r - t_j) \quad (1)$$

式中: Q_R ——地热资源量(J);

A ——热储面积(m^2);

d ——热储厚度(m);

t_r ——热储温度($^{\circ}C$);

t_j ——基准温度(即当地地下恒温层温度或年平均气温)($^{\circ}C$);

ρ_c, ρ_w ——岩石和水的密度(kg/m^3);

c_c, c_w ——岩石及水的比热容($J/(kg \cdot ^{\circ}C)$);

φ ——岩石的空隙率(%)。

层状(沉积盆地型)、带状(构造裂隙型)地热资源储量计算均可采用上述热储法计算公式,但热储面积及其厚度的确定方法不同。层状(沉积盆地型)热储呈面状展布,在平面上一般按圆面计算,热储厚度为含水层厚度,而带状(构造裂隙型)热储面积与厚度的确定较层状(沉积盆地型)复杂得多,下面章节将详细论述。

2 计算参数的确定

式(1)中 d, t_r, ρ_c, c_c 等参数均可通过钻井取样、测井和实验室物性测试确定,而 A 和 φ 两参数,层状(沉积盆地型)热储与带状(构造裂隙型)热储存在显著差别,因此,本文重点探讨 A 和 φ 两个参数的确定方法。

2.1 层状(沉积盆地型)热储面积 A 及空隙率 φ 参数

层状热储主要发育于新近纪以来的沉积盆地中,岩性以砂及砂砾为主,具层状产出特征,因此,热储面积 A 主要由钻井圈定,单井开采权益保护范围是以钻井为中心,半径为 r 的圆, r 值根据单井可采储量、热储厚度及岩石的空隙率 φ 等参数求得, φ 变化不大,可取各钻井的平均值。

2.2 带状(构造裂隙型)热储面积 A 及空隙率 φ 参数

收稿日期: 2013-04-05; 修订日期: 2013-06-19

作者简介: 伍洲云(1970-),女,高级工程师,主要从事矿山地质环境保护、地热资源评价工作。

E-mail: wzhouyun@126.com

带状热储主要受断裂构造控制,呈条带状分布,目前大部分地热勘查报告中,该类单井开采权益保护范围参照层状热储,也确定为以地热井为中心的圆,显然不符合实际情况。

大量地热勘查成果表明,带状(构造裂隙型)热储地热资源受断裂构造控制明显,特别是大水量地热井与深大断裂关系更为密切,据此,笔者在地热勘查实践中以寻找具有活动性张断裂为重点,获得了显著效果。断裂构造呈带状展布,决定了构造裂隙型地热资源带状分布的特征,其空间形态应当是沿断裂带展布且具有一定长、宽、高的含水层。

热储长度与张性断裂延伸一致,但其受勘查范围及物探勘查控制程度制约,一般地热勘查项目物探工作控制面积大约在 5km × 5km 范围内,断裂构造带的控制长度亦在 5km 左右,随着勘查范围的增大,控制的断裂带长度也随之增加。目前,推断断裂构造较为有效的方法是可控源音频大地电磁测深(CSAMT),因断裂构造带含水呈低阻特征,在可控源音频大地电磁测深剖面上表现为横向上“V”字形低阻异常,异常宽度可解读为断裂构造破碎带宽度,即热储宽度。热储厚度主要由地热钻井测井资料推断,测井资料不仅提供了各地层自然电位、放射性、测温、波速、泥质含量等参数,并详细描述了地层裂隙发育情况,再结合地层岩性特征即可确定热储厚度。

测井资料提供的岩石空隙率 φ 值不能直接用于地热资源量的计算,因为地热钻井一般选择断裂构造带的中心位置,该处裂隙发育程度最高,断裂带中心至边缘裂隙发育程度呈逐渐降低趋势,甚至趋于零。一般采用测井资料提供的空隙率 φ 值的二分之一近似地作为断裂构造带的平均空隙率。

根据单井百年可采储量、断裂带宽度、热储厚度及平均空隙率,可反推出热储控制长度,其计算公式为:

$$L = 3.65 \times 10^4 Q_{\text{允}} / ah\varphi \quad (2)$$

式中: L ——保护范围长(m);

$Q_{\text{允}}$ ——单井可采量(m^3/d);

a ——保护范围宽度(m),由物探解译断面推断;

h ——热储厚度(m),根据测井资料确定;

φ ——平均空隙率(%)。

带状(构造裂隙型)热储面积(即单井开采权益保护范围面积) $A = La$ 。

式(1)是静态储量的计算公式,目前的地热普查报告在计算地热井保护范围时,通过抽水试验确定地

热井 100 年允许开采量(其占静态储量的 15%),据此计算单井开采权益保护范围半径。

3 典型实例

苏州市浒墅关地区相距不足 1.5km 有 2 口地热井(RGD1、RGX1)(图 1)^[8-9],位于同一条 NW 向断裂构造带上,热储层、盖层及控矿构造等地热地质条件相似,成因类型相同,皆属于带状热储,为传导型地热系统构造裂隙型地热资源,且相距较近,为研究地热井开采影响范围提供了条件。



图 1 苏州浒墅关地区地热井保护范围平面分布图

Fig. 1 Protective scope of the geothermal wells of the Xushuguan area in Suzhou

1—CSAMT 剖面及测点号;2—物探推测断裂;3—地热钻井及编号;
4—RGD1 井开采保护范围;5—RGX1 井开采保护范围

3.1 断裂构造带的物探特征

图 2 为 CSAMT 勘查 45 线反演电阻率断裂面图,该剖面呈 NEE 向展布,总长度 1.8km,在 80 号点与 110 号点之间对应的地下存在横向上电阻率不连续的低阻异常。图上呈向下圈闭向上开口的“V”字形低阻条带,是含水断裂带的重要特征,这种低阻特征在相邻剖面上得到了验证。CSAMT 勘查 15 线位于 45 线南侧,其横向上电阻率不连续的低阻异常带位于 60 号点以东(图 3),由于该剖面较短,对该低阻异常带未控制完整。在浒墅关地区地热勘查工作中部署了 4 条 CSAMT 勘查线,经综合地质解译推断出了 NW 向 F1 断裂,该断裂呈 NW 向展布,倾向 NE,其平面展布见图 1,产状特征见图 2 和图 3。图 2 所示的 RGD1 和图 3 所示 RGX1 地热井皆位于 F1 断裂带上。

3.2 开采保护范围的确定

断裂带之所以呈现低阻特征,是因为其普遍含水,

在反演电阻率断面图上呈“V”字形低阻异常,低阻异常带的宽度即为断裂破碎带的宽度,从 CSAMT 反演电阻率断裂面图推断, F1 断裂带宽度 (a) 大约为 400m。

RGX1 地热井可采储量 $310\text{m}^3/\text{d}$ (三次降深抽水试验求取 20m 降深的出水量 $Q_{\text{允}}$), 储层主要为花岗岩与砂卡岩接触带, 厚度 767m, 平均空隙率 3.5% (为钻井测试数据的二分之一), 由公式 (2) 计算得出保护范围长为 1.03km, 开采保护范围平面展布见图 1。

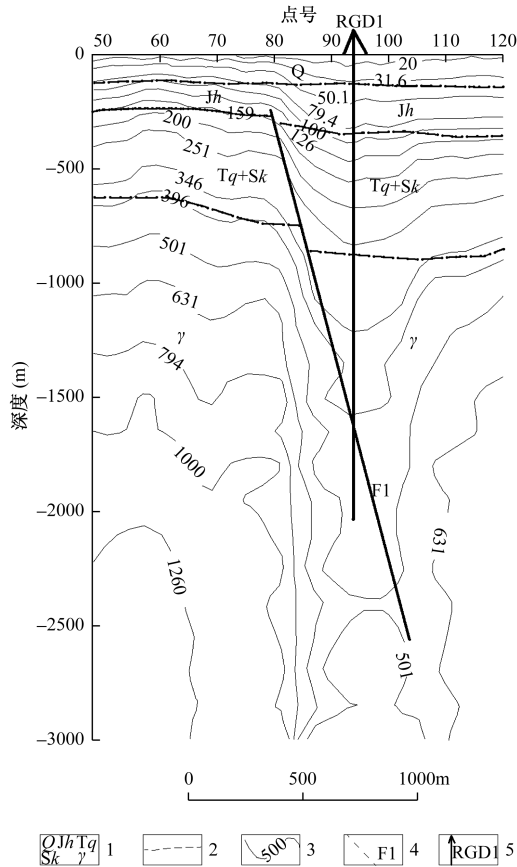


图 2 CSAMT 勘查 45 线综合解译断面图

Fig. 2 Comprehensive interpretation profile of the 45 CSAMT exploration line

1—地层代号; 2—地层界限; 3—电阻率等值线; 4—推断断裂; 5—钻井

RGD1 地热井可采储量 $700\text{m}^3/\text{d}$, 热储主要由灰岩与砂卡岩组成, 其厚度分别为 193m 和 310m, 平均空隙率 6% (该井未取得该参数的测井数据, 灰岩与砂卡岩空隙率的经验数据分别为 15% 和 10%, 空隙率与厚度加权平均值为 12%, 因此平均空隙率取 6%), 由式 (2) 计算得出保护范围长为 2.12km (图 1)。

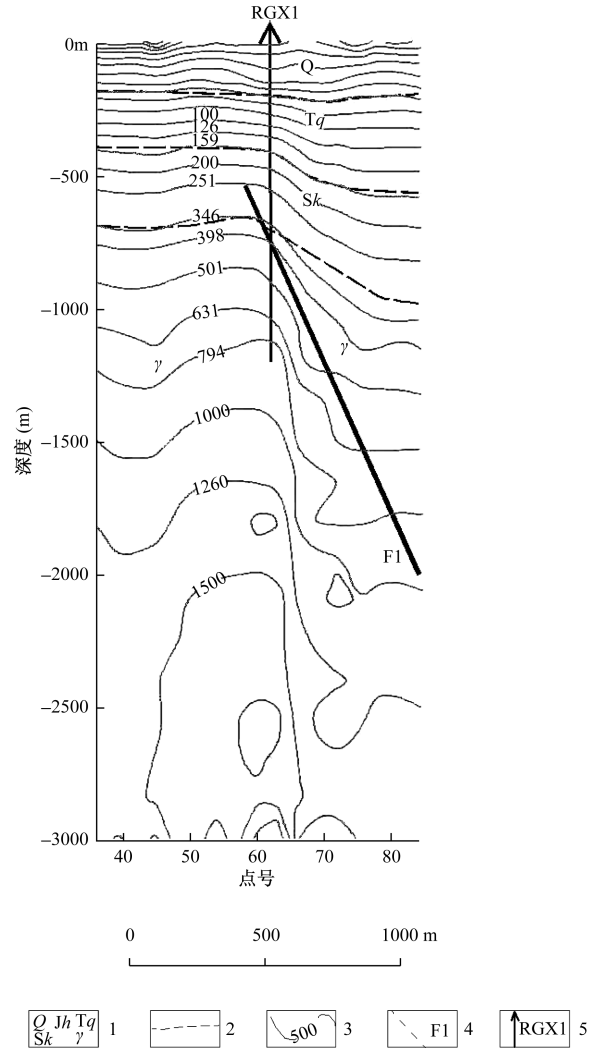


图 3 CSAMT 勘查 15 线综合解译断面图

Fig. 3 Comprehensive interpretation profile of the 15 CSAMT exploration line

1—地层代号; 2—地层界限; 3—电阻率等值线; 4—推断断裂; 5—钻井

4 结论

根据目前通行的计算方法, RGX1 井的保护范围是以 RGX1 井位为圆心, 半径为 0.35km 的圆^[9], RGD1 井则是以 RGD1 井位为圆心, 半径为 0.49km 的圆^[9], 两口井的保护范围相距 0.66km。

由于 RGX1、RGD1 属于带状 (构造裂隙型) 地热资源, 热储的展布受断裂构造控制, 并沿断裂构造发育方向呈带状展布, 平面上为沿 F1 断裂展布的矩形区域, 按照笔者计算方法, 两口井的保护范围有小部分重叠, 短期内虽然难以观察到两井相互影响的迹象, 但随着开采年限的增加可能会越来越明显。

参考文献:

- [1] GB/T11615—2010 地热资源地质勘查规范[S]. [GB/T11615—2010 Geologic exploration standard of geothermal resources [S]. (in Chinese)]
- [2] DZ40—85 地热资源评价方法[S]. [DZ40 - 85 Geothermal resource evaluation methods [S]. (in Chinese)]
- [3] 黄尚瑶. 火山温泉地热能[M]. 北京:地质出版社, 1986. [HUANG S Y. The volcano Hot springs geothermal energy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986. (in Chinese)]
- [4] 汪集暘,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. [WANG J Y, XIONG L P, PANG Z H. Low and medium temperature convection type geothermal systems. [M]. Beijing: Science Press, 1993. (in Chinese)]
- [5] 陈墨香,汪集暘,邓孝. 中低温对流型地热系统. [M]. 北京:科学出版社, 1994. [CHEN M X, WANG J Y, DENG X. Low and medium temperature convection type geothermal systems [M]. Beijing: Science Press, 1994 (in Chinese)]
- [6] 栾光忠,邱汉. 中低温对流型地热系统的典型成因—南京汤山地热系统的分析[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(1): 156 - 160. [LUAN G Z, QIU H. Typical causes of low and medium temperature convection type geothermal systems-analysis of geothermal systems in Nanjing tangshan. [J] Ocean University of Qingdao Journal, 1998, 28 (1): 156 - 160. (in Chinese)]
- [7] DZ/T0225—2009 浅层地温能勘查评价规范[S]. [DZ/T0225 - 2009 Exploration and Evaluation standard of shallow geothermal resources[S]. (in Chinese)]
- [8] 江苏省地质调查研究院. 江苏省苏州市高新区通安-浒墅关地区地热普查报告[R]. 南京:江苏省地质调查院. 2008. [Geological survey of Jiangsu Provice. Geothermal survey report of high-tech zone Tongan-xushuguan region in Suzhou, Jiangsu province [R]. Nanjing: Geological Survey of Jiangsu Province, 2008. (in Chinese)]
- [9] 江苏省地质调查研究院. 江苏省苏州市高新区浒墅关地区地热普查报告[R]. 南京:江苏省地质调查院. 2010. [Geological survey of Jiangsu Provice. Geothermal survey report of high-tech zone xushuguan region in Suzhou, Jiangsu province [R]. Nanjing: Geolopical Survey of Jiangsu Province, 2010. (in Chinese)]

Discussions on determining the protective scope of a geothermal well in zoned (tectonic fissure type) reservoir

WU Zhou-yun , XU Ning-ling, FANG Di-fu

(*Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210018, China*)

Abstract: The geothermal reservoir method can be used to calculate geothermal reserves in both the zoned (tectonic fissure type) reservoir and stratified (sedimentary basin type) reservoir. Two parameters of the reservoir distribution area and thickness should be determined with the corresponding methods , based on the different distributed space characteristics of these two types of geothermal reservoir. Based on the distributed properties of zoned (tectonic fissure type) reservoir, the authors put forward the establishing methods of the protective scope for a geothermal well of this type of reservoir. Exploration results of two geothermal wells in the Xushuguan region of Suzhou suggests that geothermal water is controlled by the same fault. Theoretical calculation shows that mining of these two at the same time will have influence with each other. Due to the short exploration time, the results need to be verified based on long-term monitoring data.

Key words: geothermal water; protective scope; tectonic fissure type

责任编辑:汪美华