

# 福建漳州干热岩资源选址与开发前景分析

蔺文静<sup>1</sup>, 王凤元<sup>2</sup>, 甘浩男<sup>1</sup>, 马峰<sup>1</sup>, 王贵玲<sup>1</sup>

1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061
2. 河北省地矿局第十一地质大队, 邢台 054000

**摘要** 由于干热岩具有传统化石能源不可比拟的优势, 越来越多的国家将干热岩的勘探开发列入了国家能源发展计划。中国干热岩相关研究尚处于起步阶段。在分析研究目前各国干热岩开发利用工程的基础上, 阐述了干热岩开发的地热地质学指标, 针对福建漳州的干热岩科学钻探, 从区内酸性岩体分布、盖层情况、深部热异常及区域稳定性等方面分析了福建漳州干热岩钻探选址的原则与指标, 建立了钻孔位置地区的概念模型, 并对福建漳州干热岩资源的开发前景做出分析。

**关键词** 干热岩; 选址指标; 福建漳州; 成因模式

**中图分类号** TK529

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.19.003

## Site selection and development prospect of a hot dry rock resource project in Zhangzhou geothermal field, Fujian province

LIN Wenjing<sup>1</sup>, WANG Fengyuan<sup>2</sup>, GAN Haonan<sup>1</sup>, MA Feng<sup>1</sup>, WANG Guiling<sup>1</sup>

1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050011, China
2. The Eleventh Geological Team, Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources, Xingtai 054000, China

**Abstract** Hot dry rock (HDR) geothermal resources have been listed in the national energy development plan by increasing countries owing to their incomparable advantages over conventional fossil fuels. HDR research is still at the early stage in China. Based on analyses of exploitation projects of HDR in the world, we propose several geothermal and geological indexes for HDR development. We take the HDR resource project in Zhangzhou geothermal field as an example to discuss the rules and indexes for site selection through analyses of acidic rock distribution, cap rock condition, deep geothermal anomaly, and regional stability. We also build a conceptual model of the drilling area of Zhangzhou geothermal field, estimate the deep geothermal reservoir temperature, and put forward suggestions for future development of HDR geothermal resources in Zhangzhou.

**Keywords** hot dry rock; site selection index; Zhangzhou, Fujian; genetic model

从20世纪70年代初美国科学家提出干热岩概念以来, 经过40余年的科学研究和生产实践, 干热岩的概念得到了不断修正和发展<sup>[1,2]</sup>。迄今为止, 世界上先后有多个国家开展了干热岩钻探试验, 由于干热岩具有传统化石能源不可比拟的优势, 越来越多的国家将干热岩的勘探开发列入了国家能源发展计划<sup>[3,4]</sup>。

从地下高温岩体中提取热能的实验研究最早始于20世纪70年代美国洛斯阿拉莫斯国家实验室, 随后, 英国、法国、日本等也相继展开了增强型地热系统(enhanced geothermal systems, EGS)的研究工作。1972年以来, 进行过深部热提取试验的国外干热岩项目有美国新墨西哥州Fenton Hill项目<sup>[5,6]</sup>、英国康沃尔Rosemanowes项目、德国巴伐利亚Falkenberg项

收稿日期: 2015-06-30; 修回日期: 2015-07-31

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA052802); 中国地质调查局地质调查项目(12120113077900)

作者简介: 蔺文静, 副研究员, 研究方向为地热地质学, 电子邮箱: lwenjing@msn.com; 王贵玲(通信作者), 研究员, 研究方向为地热地质和水文地质学, 电子邮箱: guilingw@163.com

引用格式: 蔺文静, 王凤元, 甘浩男, 等. 福建漳州干热岩资源选址与开发前景分析[J]. 科技导报, 2015, 33(19): 28-34.

目、法国莱茵地堑内Soulz项目<sup>[7]</sup>、法国Le Mayet de Montagne项目、瑞典Fjallbacka项目、日本Hijiori项目和Ogachi项目<sup>[8]</sup>、澳大利亚Cooper盆地项目<sup>[9]</sup>等,其中美国、英国、日本及法国干热岩项目取得了较好效果,均通过不同程度实现了深部热源的提取过程。

中国干热岩资源开发及其技术研究尚属起步阶段,许多能源专家和地质工作者认识到此领域的重要性并为此做出了努力。李福等<sup>[10]</sup>在海南陵水地区进行了深层干热岩地热发电项目的勘查选址,结合全岛地热条件对全国首个干热岩实验电站的下一步工作提出了建议;曾梅香等<sup>[11]</sup>研究发现天津地区处于高热流构造带附近,据勘探成果分析,沧县隆起上白塘口西断裂东侧大芦北口一带和团泊东南地层深处埋藏着范围较大的基性火成岩体,预计钻探至深部中元古界长城系地表以下3000~4000 m的岩体温度可达110~150℃;据初步研究,江苏省苏北盆地4000~5000 m深度,地温达到150℃,局部达到170℃<sup>[12]</sup>;孙知新等<sup>[13]</sup>研究发现青海共和盆地地处“秦昆岔口”的新生代断陷盆地,盆地内地热钻井揭露温度高,1203 m钻孔(R1)实测孔底温度达83℃,969 m钻孔(QR1)实测孔底温度为70℃,地温梯度高达(6~7℃)/100 m,是正常地温梯度的2倍,地热增温随深度增大而升高,推测3000 m温度可达200℃,并在(QR1)孔底见36 m花岗岩,地震反射波和可控源音频大地电磁测深推断基底斜坡界面对应重力低异常,可认为重力低异常为花岗岩引起,作为盆地热源可能存在干热岩。2010年,国土资源部启动了公益性科研项目“我国干热岩勘查关键技术研究”,主要开展干热岩高温钻探技术方面的研究,包括钻探工艺、器具及设备配套研究和孔底连通技术预研究。2012年,吉林大学、清华大学、中国科学院广州能源研究所承担了国家高技术研究发展计划(863计划)项目“干热岩热能开发与综合利用关键技术研究”,开启了国内专门针对干热岩工程的研究。2013年,中国地质科学院水文地质环境地质研究所承担项目“全国干热岩资源潜力评价与示范靶区研究”,国内干热岩资源调查评价与开发研究进入实质性阶段。

在分析研究目前各国干热岩开发利用工程的基础上,从国内干热岩资源开发亟待解决的选址问题出发,提出干热岩开发的地热地质学指标,并以福建漳州地热田为例,系统分析该地区的干热岩赋存前景,并提出进一步勘探方案。

## 1 干热岩赋存的地热地质学指标

美国能源部在2008年的干热岩项目研究评估报告中指出,地质条件的选择是干热岩开发技术中的三大关键因素之首<sup>[14]</sup>。因此,结合目前世界上干热岩研究的最新成果,建立起一套评价干热岩体的地热地质学指标对中国干热岩的勘探开发至关重要。

理论上,干热岩差不多是地球上一种无处不在的资源,因为只要掘井足够深就能达到满足发电要求的地热温度(理论上认为最少要达到150℃,但在实践过程考虑到投资和商

业化生产等因素一般要求干热岩体温度超过200℃)。然而,由于钻探技术和经济成本等其他因素的制约,在目前的条件下,必须要寻找埋藏深度较浅、温度相对较高、有潜在经济价值的干热岩体进行勘探开发。因此,在进行干热岩开发之前,必须要建立起一套评价干热岩体的地质学指标。

### 1.1 合适的干热岩体(基底)

选择适合的干热岩体是进行干热岩资源开发的前提和基础,至少要满足以下两个条件。

1) 干热岩体应具有相对高的放射性生热元素。地热能作为一种来自地球内部的能量,它的最终能量主要来源于丰度相对较高的长半衰期放射性元素(主要是Th、U和K)的衰变和地球形成时由于重力垮塌而产生的能量。因此,放射性生热元素Th、U和K含量的高低直接决定了干热岩体的温度。一般采用单位体积生热率来评价干热岩体的生热能力<sup>[15]</sup>。尽管理论上处在一定地壳深度的变质岩(如片麻岩等)和岩浆岩(如花岗岩、闪长岩等)都可视为干热岩体,但是目前开发的干热岩体大部分为温度较高的花岗岩体<sup>[16]</sup>,并具有壳源成因,这可能是因为壳源成因的花岗岩在熔融形成过程中具有富集不相容元素(包括Th、U和K)的能力。

2) 花岗岩体的规模要相对较大,规模太小的花岗岩体不适合用于干热岩能量开发,一方面是因为岩体太小增加技术难度,另一方面岩体太小导致干热岩电站寿命周期太短而难以实现商业化生产,增大投资风险。但是较小的岩体可以用来作为干热岩的早期探索研究。

### 1.2 低导热率盖层

仅有干热岩体还远远不够,为了保存好基底能量,防止大气降水渗入冷却岩体,需要在基底之上覆盖有低导热率的盖层,这种盖层通常主要是沉积岩(沉积物)或火山岩,有时候也可以是合适厚度的风化壳层。Rybach等<sup>[17]</sup>形象地把盖层比作毛毯,将其作用称为毛毯效应(blanket effect)。综合各种因素,一般认为地堑(断陷)盆地最适合干热岩能量开发,事实上目前进行的干热岩项目绝大部分都选址于盆地中。如欧洲设在法国的干热岩项目就选址于Rhine地堑盆地中<sup>[18]</sup>,而澳大利亚的第一个干热岩项目选址于Cooper盆地中<sup>[9]</sup>。

### 1.3 高的地热异常

理论研究和生产实践均表明,适合干热岩开发的区域均为热异常区域。可以借助以下地球物理参数来判别一个区域的热异常情况。

地温线,又称温度-深度函数,主要用来描述温度随深度的变化情况。热异常区域表现为随深度增加,温度递增显著。

地温梯度,以每100 m垂直深度上增加的温度表示,有时也以每1 km垂直深度上增加的温度表示。地温梯度越大,热异常越明显。

热流量,一般用英文字母 $q$ 表示,是岩石导热率( $k$ )和地温梯度( $dT/dZ$ )的乘积,标准单位为 $mW/m^2$ ,常用单位为HFU。通常认为热流量显著高于 $63 \sim 105 mW/m^2$ 区域才有干热岩开

发价值,如美国和日本的干热岩选址在局部地表热流量高于80 mW/m<sup>2</sup>的区域。

#### 1.4 合适的应力条件

干热岩项目选址区的应力场条件也是需要考虑的重要因素之一。Chopra等<sup>[18]</sup>认为选址区的沉积物盖层和花岗岩基底需要有高的构造应力存在,从而保证它们具有低的流体渗透性、低的热传导,使对流引起的热损失最小化。挤压构造背景下的应力场格局通常是一种比较理想的条件。

#### 1.5 地体稳定区域/地震不活动区域

增强型地热系统(EGS)发展相对缓慢的另一个因素是存在由于干热岩的开发而引发人工地震的担心。由于干热岩的开发都选址于地热异常区,而地热异常区一般都位于构造活动带(如板块边缘、裂谷带等),而这些区域通常都是地震的孕育区,干热岩项目带来的潜在地震活动是必须要考虑的重要问题之一。

总之,干热岩评价的地热地质学标准是一个十分复杂的科学问题,需要加强对整个选址区域及干热岩体自身的研究。综合各种因素及其他国家的干热岩开发实践,初步建立起一套适合干热岩地热资源开发的地热地质学标准:基底岩石类型以壳源型高产热花岗岩为主,单位体积生热率 $\geq 5.0 \mu\text{W}/\text{m}^3$ ,岩体规模 $\geq 100 \text{ km}^2$ ,岩体构造应力状态为高构造应力,岩体形成时代以显生宙为主,干热岩体地温梯度一般大于30°C/km,盖层地温梯度越高越好,局部(火山口)达100°C/km,盖层盆地类型以断陷盆地最佳,地表热流值显著高于70 mW/m<sup>2</sup>,构造区域选择地震不活跃的高热流地区。

## 2 漳州地热田干热岩资源选址

福建是国内温泉较多的省份之一,全国排名第五,位于滇、藏、川、粤之后,温泉分布广、温度也较高、流量大<sup>[19]</sup>。漳州地热田具有较高的大地热流值<sup>[20]</sup>,是福建省干热岩资源开发的有利前景区。

### 2.1 孔位选址基本原则

基于断裂构造对热源的控制作用,深部高温岩体勘探孔位应选择切割深度较深的断裂上盘,并避开断裂破碎带位置。具体原则如下:

- 1) 孔位热储岩石之上存在一定厚度的盖层。
- 2) 选择在断裂上盘,并且离断裂带有一定距离,否则岩石易发生破碎增加钻井难度。

石易发生破碎增加钻井难度。

3)沿断裂存在较明显地热异常,表示断裂切割沟通深部热源。

## 2.2 地质构造背景与区域稳定性

### 2.2.1 大地构造位置

研究区位于福建省南部,位于欧亚大陆板块东南缘与菲律宾海板块的交接部位,中—新生代处于滨太平洋陆缘活动带并以强烈的构造—岩浆活动著称,属环太平洋岩浆带的组成部分。福建省区域构造格架主要面貌呈“东西分带、南北分块”,大致以丽水—政和—大埔断裂带为界,可以划分为华夏地块和东南沿海火山岩浆带2个构造单元<sup>[21]</sup>(图1)。

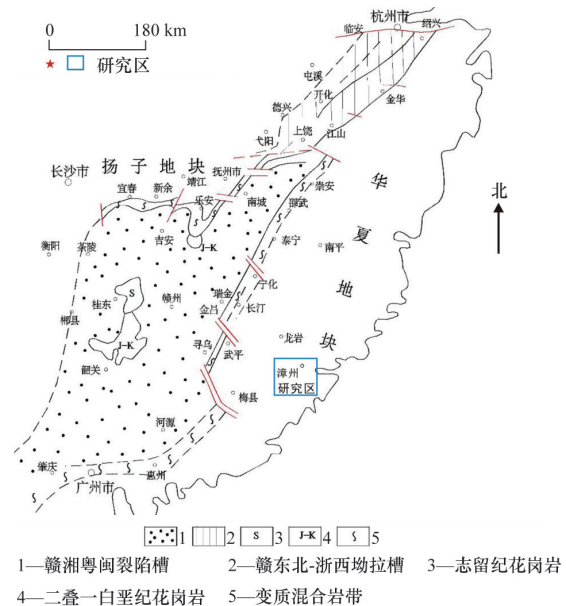


图1 漳州地热田区域断裂构造分布

Fig. 1 Distribution of fault structures in Zhangzhou geothermal field

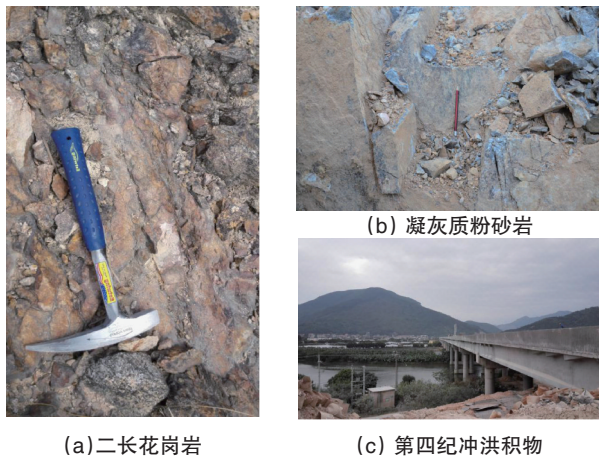
### 2.2.2 地形地貌与地层岩性

研究区位于漳州盆地内,地形为三面环山的山间盆地地形,区内普遍缺失侏罗纪以后至第四纪以前的地层,下部发育花岗岩体侵入。研究区地表为第四纪更新世冲洪积层覆盖,厚度大于20 m,其下为晚侏罗世灰色流纹质熔岩及火山碎屑岩夹凝灰质粉砂岩、沉凝灰岩等,厚度20~200 m,为燕山期二长花岗岩,具体地层岩性及厚度情况见表1及图2。

表1 研究区岩性岩性及厚度

Table 1 Lithology and stratigraphic thickness of the research region

纪	世	组(超单元组合)	段	代号	厚度/m	岩性描述
第四纪	更新世	龙海组 残积层		Qp <sup>1</sup>	>20	冲洪积(ap-al):花斑状砂质黏土、黏土、泥质砂砾卵石
侏罗纪	晚侏罗世	南园组	二段	J <sub>n</sub> <sup>2</sup>	20~200	灰色流纹质熔岩及火山碎屑岩夹凝灰质粉砂岩、沉凝灰岩等
侏罗纪	晚侏罗世	古美山	寮里	J <sub>3</sub> L <sub>ηγ</sub>	>4000	青灰色片麻状似斑状粗粒二长花岗岩



(a) 二长花岗岩 (b) 凝灰质粉砂岩 (c) 第四纪冲洪积物

图2 研究区出露岩石岩性

Fig. 2 Lithology of exposed rocks in the research region

### 2.2.3 区域稳定性分析

区域上而言,研究区处在东侧滨海NE向区域性主干断裂、平潭—东山断裂带和西侧福安—南靖NNE向区域性主干断裂带、政和—大埔NNE向区域性主干断裂带之南端。从研究区内断裂构造方向看,活动断裂以北东向和北西向断裂为主(图3)。

#### 1) 北西向断裂。

区域主断裂带F1为一条北西向断裂带(图4),走向为310°NW~320°NW,沿其走向向NW在东园镇、鸡笼山、合浦、刘坑、岭口至普边一带均可见断裂带出露,宽度50~400 m不等。表现为断裂带内岩石较两侧发育明显破碎与硅化,可见一组平行于断裂带走向的裂隙,局部可见被后期岩脉或断层泥充填。断层倾向SW,倾角75°~85°。其规模之大对漳州地区内整体构造与热泉分布有重要影响。

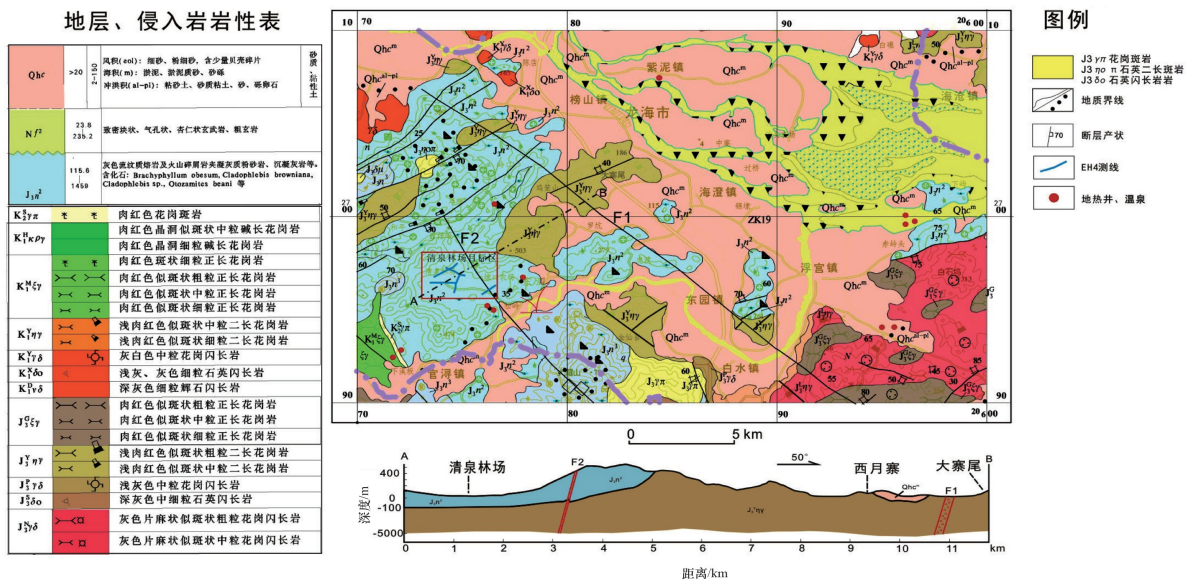


图3 福建漳州地热田工程区地热地质图

Fig. 3 The geothermal geological map of Zhangzhou geothermal field

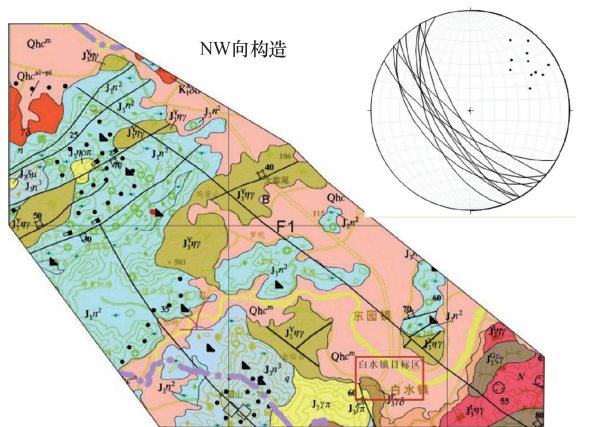


图4 研究区内NW向断裂构造分布及产状(下半球投影)

Fig. 4 NW faults distribution and attitudes of research region(lower hemisphere projection)

另一条北西向断裂带F2位于区域主断裂南西侧,与区域主断裂平行,于松岭、龙潭、汀仔岭及茶厂地区可见出露,宽度40~150 m,应为F1断裂的次级断裂。露头上表现为一组北西向平行断裂带,沿该断裂带不同位置测量得到其走向为310°NW~330°NW,倾向SW,倾角为70°~85°。金山果树场可见走向330°NW~340°NW断裂带出露,发育明显硅化,结合与F2断裂空间上展布特征,推测其为F1断裂的次级羽状断裂(图4)。

#### 2) 北东向断裂。

北东向断裂分布于整个研究区中,其主要断裂带分布于研究区西北侧,在翠眉、榜山农场等地区均可见出露,以一组近平行断裂带形式出现(图5)。断裂带出露宽度30~50 m不等,走向55°NE~65°NE,倾向NW,倾角65°~80°不等。局部可见硅化及绿泥石化带,亦呈NE走向。可见与NW向断

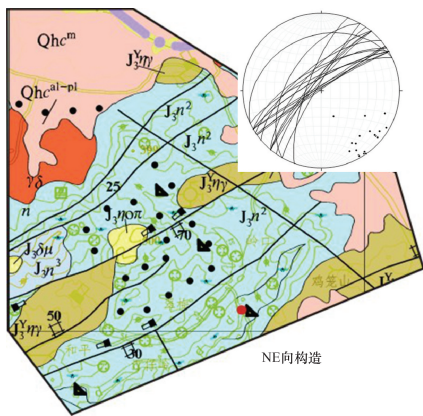


图5 研究区内NE向断裂构造分布及产状(下半球投影)  
Fig. 5 NE faults distribution and attitudes of research region(lower hemisphere projection)

裂带相交,并被NW向断裂所错断。

### 3) 其他断裂。

此外局部可见近SN向断裂与近EW向断裂发育,于清泉林场北侧盘山公路旁可见SN向与NW向裂隙的牵引褶皱现象,推断SN向断裂亦为NW向断裂的羽状次级断裂。

### 2.3 地壳浅层地球物理勘查

研究区野外勘查显示研究区构造背景相对稳定,岩石相对完整,为进一步确认研究区构造的稳定性,在目标区内布置4条EH4大地电磁测线(LH1~LH4)(测线位置见图3)。从物探测线解译的等值断面图可以看出(图6),LH2、LH3及LH4测线均未见明显电阻率突变,只有LH1测线可见一条由电阻率突变推测的断裂。这条断裂在LH4测线并未显示,因此应为局部断裂。整体而言,研究区构造相对稳定。

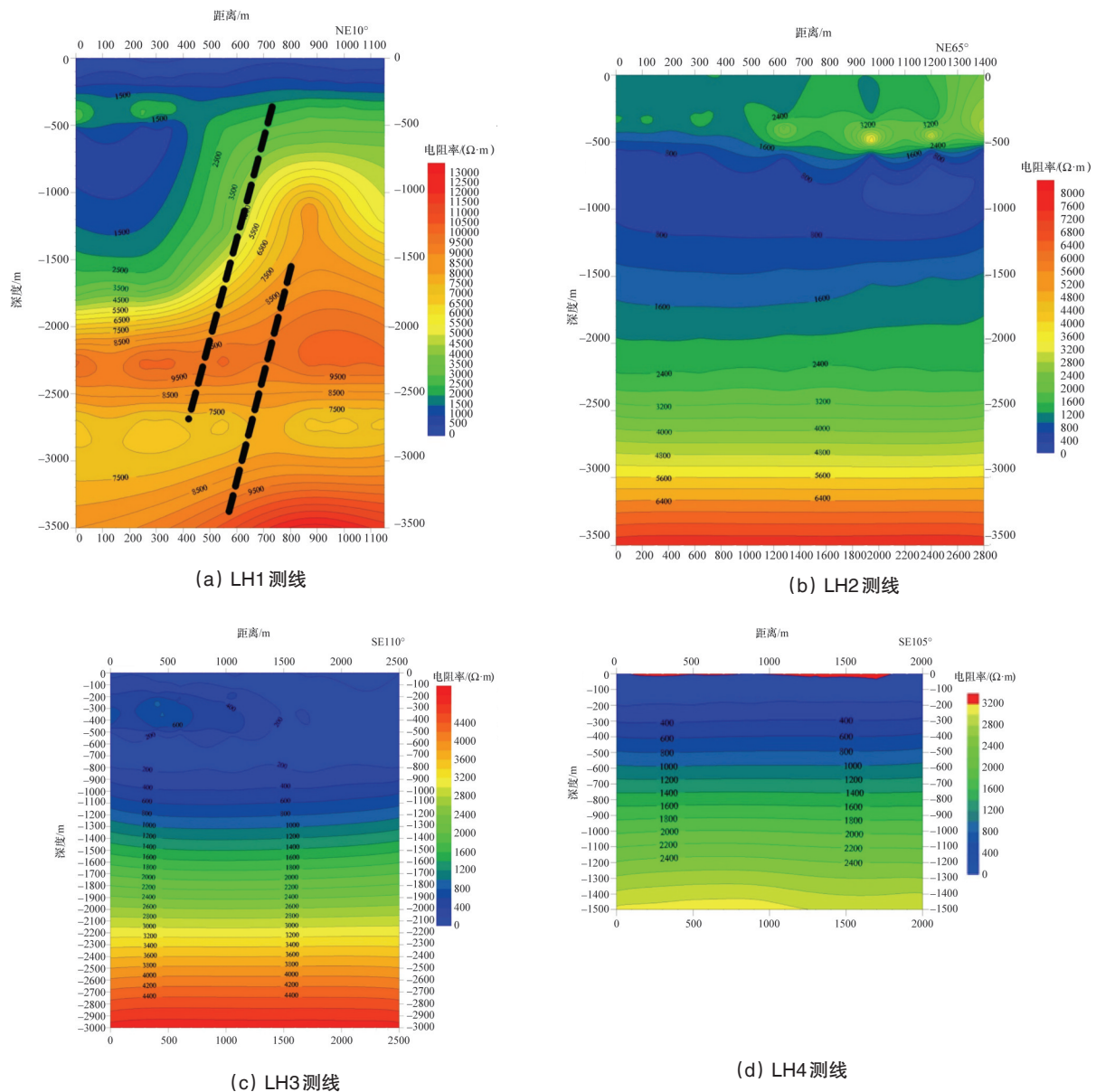


图6 LH1-LH4大地电磁测深电阻率等值断面  
Fig. 6 Magnetotelluric sounding sections of LH1-LH4

此外,为验证F2断裂的连续性,在研究区以东垂直于F2断层布置一条EH4大地电磁剖面(LH5)。从大地电磁测线解译的等值断面图可以看出(图7),在测线中部位置存在明显的电阻率突变,应为F2断裂存在的证据。结合沿F2断裂松岭、龙潭、汀仔岭及茶厂地区地表出露,可以证明F2断裂从清泉林场东侧穿过,并且倾向SW,倾角70°~80°。

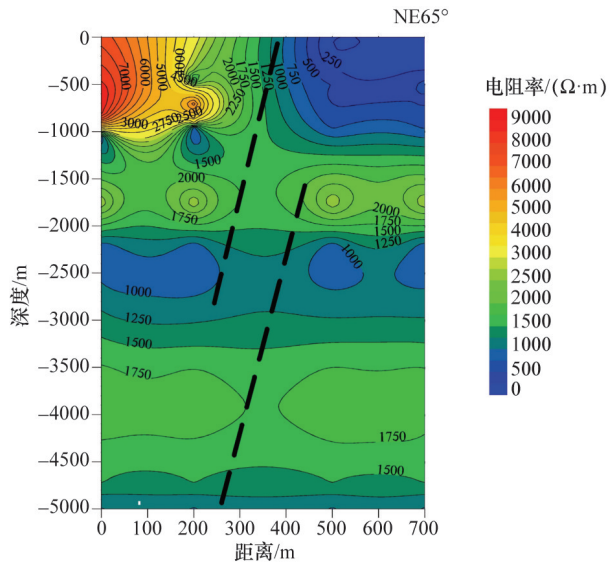


图7 LH5大地电磁测深电阻率等值断面

Fig. 7 Magnetotelluric sounding sections of LH5

### 2.4 钻探孔位模型建立

根据孔位选址原则,相对于研究区内其他地区,清泉林场地区为山间盆地地形,地表覆盖有第四纪及火山岩盖层,下伏燕山期花岗岩,具有良好的热储性;位于沟通深部热源的F2断裂上盘,且与F2断层保持一定距离,确保了岩石未发生明显的破碎,是十分理想的钻孔位置。

结合地球物理解译与野外岩性、构造勘查,绘制出了清泉林场地区钻探孔位概念模型(图8)。可以看出,在清泉林场地区内,F2断裂以西,断裂破碎区以外位置进行钻探,即不会打穿F2断裂,且位于断裂上盘。

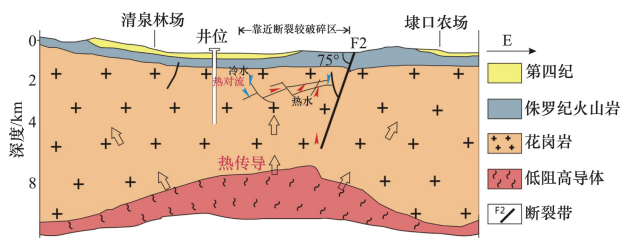


图8 清泉林场地区钻探孔位概念模型

Fig. 8 Conceptual model of drilling site selection in Qingquan forest farm

### 3 漳州干热岩资源概念模型与前景分析

根据稳态热传导公式:

$$q = -k \nabla T \quad (1)$$

式中,热流值 $q$ 与地温梯度 $\nabla T$ 成正比( $k$ 为岩石热导率,负号表示热流向上),且为线性关系。

根据此关系,参考各地热流值,以上述漳州地热田温度场的数值模拟成果,所得到的地温梯度为控制点,分别推算得到各地的地温梯度。地表温度统一设为20℃,可以结合地表温度和地温梯度,换算各深度的地下温度。计算过程中将地温梯度从地表到4 km均一化处理,对于地下浅部温度来说或许计算精度不够准确,但整体反映的剖面温度场趋势还是可靠的,对于深部温度的反映也是合理的。

综合研究计算得到漳浦—闽清一线地下4 km以浅温度随深度变化概念模型(图9),从该剖面可以看出,漳州干热岩靶区4 km深度地下温度超过150℃,具有干热岩开发潜力。

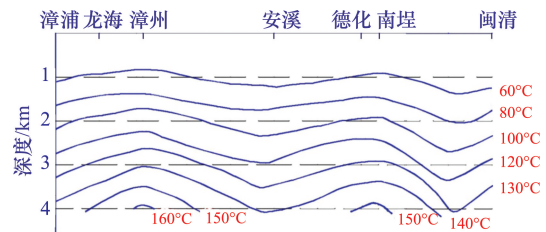


图9 福建漳州地温概念模型

Fig. 9 A Conceptual model of temperature within 4 km of Zhangzhou geothermal field

### 4 结论

1) 参考国外相关干热岩开发利用工程,综合考虑干热岩赋存的地热地质背景,可选择基底岩体分布、地表盖层条件、地热异常、应力条件及区域稳定性等作为干热岩赋存的地热地质学指标。

2) 断裂构造条件对于干热岩资源钻探选址的重要影响因素。根据孔位选址基本原则,选择切割深度较深的断裂上盘,并避开断裂破碎带位置开展干热岩科学钻探。清泉林场地区构造条件稳定,且位于区域性F2断裂的上盘,符合干热岩钻探孔位选址条件。

3) 根据对福建漳州干热岩资源的地热地质背景、区域深部热异常的分析,地热异常显著,建立漳州干热岩资源地温概念模型,4 km深处热储温度估算大于200℃,且地震活动较弱,具有干热岩资源赋存及开发利用前景。

致谢:福建省地质调查研究院和闽南地质大队提供相关钻井资料。

### 参考文献(References)

[1] Brown D. The US hot dry rock program—20 years of experience in reservoir testing[R]. Italy: Proceedings of World Geothermal Congress, 1995: 2607–2611.  
[2] Baria R, Baumgä J, Gerard A, et al. European HDR research programme

- at Soultz-sous-Forêts (France) 1987-1996[J]. Geothermics, 1999, 28(4): 655-669.
- [3] Massachusetts Institute of Technology. The future of geothermal energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century [M]. London: Cambridge Press, 2006.
- [4] Gérard A, Genter A, Kohl T, et al. The deep EGS (enhanced geothermal system) project at Soultz-sous-Forêts (Alsace, France)[J]. Geothermics, 2006, 35(5): 473-483.
- [5] Brown D W. Hot dry rock geothermal energy: Important lessons from Fenton Hill[C]//Proceedings of the Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, CA. 2009.
- [6] Grigsby C O, Tester J W. Rock-water interactions in the Fenton Hill, New Mexico, hot dry rock geothermal systems. II. Modeling geochemical behavior[J]. Geothermics, 1989, 18(5): 657-676.
- [7] Genter A, Traينهau H. Analysis of macroscopic fractures in granite in the HDR geothermal well EPS-1, Soultz-sous-Forêts, France[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1996, 72(1): 121-141.
- [8] Tenma N, Yamaguchi T, Zylvoski G. The Hijiori hot dry rock test site, Japan: Evaluation and optimization of heat extraction from a two-layered reservoir[J]. Geothermics, 2008, 37(1): 19-52.
- [9] Hunt S P, Morelli C. Cooper Basin HDR hazard evaluation: Predictive modeling of local stress changes due to HFR geothermal energy operations in South Australia[R/OL]. [2015-03-31]. <http://www.iea-gia.org/documents/inducedSeismicityReportSHuntDraftOctober2006Malvazos4Jan07.pdf>. 2006.
- [10] 李福. 海南陵水地区深层干热岩地热发电项目的勘查选址[J]. 地热能, 2010(3): 21-27.  
Li Fu. Exploration and site selection of HDR power project in Linshui, Hainan[J]. Geothermal Energy, 2010(3):21-27.
- [11] 曾梅香, 李俊. 天津地区干热岩地热资源的开发利用前景分析[J]. 地热能, 2007(6): 10-14.  
Zeng Meixiang, Li Jun. Exploitation and utilization prospects of HDR resources in Tianjin. [J]. Geothermal Energy, 2007(6): 10-14.
- [12] 徐雪球. 中澳联合研究江苏干热岩地热资源[J]. 地质学刊, 2008(3): 253  
Xu Xueqiu. A joint research of Hot Dry Rock resources between China and Australia[J]. Journal of Geology, 2008(3): 253.
- [13] 孙知新, 李百祥, 王志林. 青海共和盆地存在干热岩可能性探讨[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(2): 119-129.  
Sun Zhixin, Li Baixiang, Wang Zhilin. Exploration of the possibility of hot dry rock occurring in the Qinghai Gonghe Basin[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2011, 38(2): 119-129.
- [14] Geothermal Technologies Program. An evaluation of enhanced geothermal systems technology[R]. Energy Efficiency and Renewable Energy, America, 2008: 1-37.
- [15] 邱楠生. 中国西北部盆地岩石热导率和生热率特征[J]. 地质科学, 2002, 37(2): 196-206  
Qiu Nansheng. Characters of thermal conductivity and radiogenic heat production rate in basins of northwest China[J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(2): 196-206.
- [16] 赵平. 中国东南地区岩石生热率分布特征[J]. 岩石学报, 1995, 11(3): 292-305.  
Zhao Ping. Characteristics of heat production distribution in SE China [J]. Acta Petrologica Sinica, 1995, 11(3): 292-305.
- [17] Rybach L, Bodmer P, Pavoni N, et al. Siting Criteria for heat extraction from hot dry rock: Application to Switzerland[J]. Pageoph, 1978, 116: 1211-1224.
- [18] Chopra P, Wyborn D. Australia's first hot dry rock geothermal energy extraction project is up and running in granite beneath the Cooper Basin, NE South Australia[C]//Proceedings of the Ishihara Symposium: Granites and Associated Metallogenesis. 2003: 43-45.
- [19] 廖志杰. 促进中低温对流型地热资源的开发利用[J]. 科技导报, 2012, 30(32): 80.  
Liao Zhijie. Promote the exploration and utilization of middle-low temperature geothermal Resources[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(32): 80.
- [20] 胡圣标, 何丽娟, 汪集旻. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版) [J]. 地球物理学报, 2001, 44(5): 611-626  
Hu Sengbiao, He Lijuan, Wang Jiyang. Compilation of heat flow data in the China continental area (3rd edition) [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2001, 44(5): 611-626.
- [21] 福建省地质调查研究院. 福建干热岩资源潜力评价与示范靶区研究 [R]. 福州: 福建省地质调查研究院, 2014.  
Fujian Institute of Geological Survey. Detailed investigation and potential region of Hot Dry Rock resources in Fujian province[R]. Fuzhou: Fujian Institute of Geological Survey, 2014.

(责任编辑 刘志远)

· 学术动态 ·



中国科学技术协会

## 中国科协发布第9次中国公民科学素质调查结果

中国科协2015年3—8月开展了第9次中国公民科学素质抽样调查,调查范围为中国大陆31个省、自治区、直辖市。

调查显示,中国公民科学素质总体水平大幅提升,圆满完成了“十二五”中国公民科学素质水平超过5%的目标任务。2015年中国具备科学素质的公民比例达到了6.20%,比2010年的3.27%提高了近90%,进一步缩小了与西方主要发达国家的差距。

调查表明,电视仍是公民获取科技信息的最主要渠道,利用电视获取科技信息的公民比例为93.4%,比2010年(87.5%)略有增长。公民利用互联网及移动互联网获取科技信息的比例达到53.4%,比2010年的26.6%提高了一倍多,已经超过了报纸(38.5%),仅次于电视(93.4%),位居第二。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/16670746.html>。