

# 福州地区地热资源成生规律及 潜在地热异常远景区分析

邓鼎兴<sup>1,2</sup>

(1. 福建省地质工程勘察院,福州 350002; 2. 福建省地质灾害重点试验室,福州 350002)

**摘要:** 在对福州地区各地热异常区综合地质调查的基础上,首次综合分析各地热田的出露条件与地形特征、区域岩性结构、区域断裂构造、区域地壳结构与地球物理特征、地下热水循环深度与热储温度、水文地球化学特征等。福州地区 NE、NNE 向断层与 NW、NWW 向断层交汇的盆地、溪谷等低洼区域,且地下水具有高含量  $F^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $SiO_2$  和 Sr 的区域为潜在地热异常远景区。这些认识可为福州地区查找新的潜在地热异常区提供参考。

**关键词:** 地热资源;成生规律;热储温度;地球化学;地热异常

**中图分类号:** P134.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2017)02-132-06

我国地热资源分布具有明显的规律性和地带性,主要分布于我国东部地区及东南沿海、台湾、环鄂尔多斯断陷盆地、藏南、川西和滇西等地区<sup>[1]</sup>。至2015年底,我国已查明温泉2 334处,地热井5 318眼,地热资源量折合12 500亿吨标准煤,已探明的地热流体可开采热量相当于1.17亿吨标准煤/年。按构造成因,我国地热资源可分为沉积盆地型与隆起山地型,其中隆起山地型地热资源按热源、构造等又可细划为火山型、非火山型和深循环型<sup>[2]</sup>。福州地区为我国东南沿海地区,处于环太平洋地热带<sup>[3]</sup>,地热资源丰富,调查已发现的33处地热资源均属于断裂构造深循环对流型中低温地热资源<sup>[4-5]</sup>,分布于不同县(市)区,各地热田出露的地形位置、地层岩性、地质构造、水文地球化学特征等既有差别,也有一定规律。前人已对福州地区主要地热田进行了地质调查及研究工作,对各地热田的形成因素等进行了研究,但尚未综合分析该区各地热田的成生条件及规律。在“福州地区地热资源调查与评价”项目成果的基础上,通过分析福州地区各地热异常区的特点,总结各地热田的形成条件与分布规律,初步研究该区地热田的成生规律,并分析了该区潜在地热异常远景区的特征。

## 1 出露条件与地形

福州地区地势西高东低,西部为低山,向东逐渐过渡为丘陵、台地、平原、滩涂浅海。该区各地热田出露的地形地貌条件为:闽江水下钻孔揭示的淮安地热属于河谷盆地、平原;闽清斜洋地热与梅埔地热出露于坡地;罗源岐前地热、长乐龙峰地热、福清沁前地热出露于滨海的海积阶地区,其它多数地热异常区分布于盆地、河谷低洼地带。福州地区各地热点均位于山间盆地、溪谷、盆地等较低洼的区域,这些区域一般为断裂构造交汇或断裂构造较发育的区域,具有较好的断裂构造条件。地势较低说明其与热源的垂直距离较近,距离热源越近,越有利于热的传导、补充。断裂的发育也有利于水热循环,出现地热异常的可能性较高。

## 2 区域地质背景

### 2.1 地层岩性结构

福州地热、螺洲地热、宏屿地热、沁前地热、龙峰地热、岐前地热、光明地热、淮安地热、岱云地热等出露于冲海积、海积地层中,在山间盆地出露的

\* 收稿日期:2016-06-27 修订日期:2016-09-26 责任编辑:谭桂丽

基金项目:福建省国土资源厅和地矿局广义地质基金项目“福州地区地热资源调查与评价(项目编号:20100202)”资助。

作者简介:邓鼎兴,1972年生,男,高级工程师,主要从事水文地质、工程地质和环境地质研究。

地热温泉多在第四纪冲洪积地层中或河流近谷地的区域出露。

福州地区各热点中,水温较高( $>70\text{ }^{\circ}\text{C}$ )的地热田由北至南主要为连江贵安地热田、福州市地热田、螺洲地热、双龙地热、葛岭地热和梧桐汤埕地热,主要呈 NE—SW 向沿福州—永泰区域构造呈线性分布。从地层岩性与侵入岩分析,福州地区地热出露点(区)主要分布于侵入岩与火山沉积岩接触部位或侵入岩体内,分布于早白垩世、晚白垩世侵入岩区域(以燕山早期侵入岩为主,部分为燕山晚期侵入岩)。

从地表出露的岩性分析,在目前勘探深度范围内具有较高温度的地热田下部多为花岗闪长岩、石英闪长岩等。目前,葛岭地热的勘探深度范围内(约 200 m)为凝灰岩、凝灰熔岩。从地壳结构等分析,火山岩分布区下部存在热传导性能较好的花岗岩上地壳,由于该区下部有较好的热源补给,即使凝灰岩、凝灰熔岩等地层覆盖区,由于凝灰岩、凝灰熔岩等地层的热导率较花岗岩低,其相当于覆盖一层热传导性能较差的“保温盖层”。当勘探至一定深度后,也将出现一定的热异常,说明在该区近半数的地热点上部为凝灰岩、凝灰熔岩等地层的区域勘探至较深部位也可以寻找到热异常。因此,可以推测,在其他热传导性能较差的地层中,勘探至较深区域也可能发现地热异常。

## 2.2 区域断裂构造

福州地区地热资源空间上主要沿新华夏系福州—永泰 NEE 向构造带及闽江两岸一带分布,主要受闽江断裂构造带与福州—永泰构造带构造格架内的 NEE 向与 NNW 向断裂构造控制,NEE 向构造为压性断裂,NNW 向构造多为张性断裂<sup>[6]</sup>。地下水沿 NNW 断裂经深循环加热后,遇 NEE 向构造阻水后向上迳流,在较低洼处出露。地热温泉的分布与 NNW 向构造相关,在 NNW 向断裂带呈串珠状,如永泰富泉温泉→永泰荷溪温泉、永泰岭下温泉→永泰岭下汤垅温泉→永泰城关温泉→永泰大汤温泉→永泰小汤温泉、永泰葛岭汤埕温泉→永泰葛岭镇温泉、地下洞室地温异常→闽侯光明温泉→福州淮安温泉、福州温泉→螺洲温泉→闽侯宏屿温泉、连江贵安仁山(新区)→连江贵安温泉等。这些地热点均分布于 NNW 向断裂构造与 NEE 向构造的交汇区域。

区域上,福州地区地热异常主要受 NE、NEE 向新华夏系区域构造控制。该区现有的地热异常点(区)多发育于 NW、NWW 断裂,如桥头—葛岭断裂、澜水—蓼水断裂、日溪—峨嵋断裂、岭下—永泰断裂、汤坑断裂、盖竹口断裂、八一水库—尚干断裂及桐口—洪山桥断裂等,均是现有地热异常区或潜在地热异常区,尤其 NW、NWW 向断裂与 NE 向断裂交汇部位的地热异常较明显,是该区寻找地热异常的主要区域。因此,NE—SW 向沿福州—永泰区域构造的适当部位,由于区域构造切割较深,NW、NWW 向断裂发育区域的水、热循环较强烈,具有较高的地热异常,福州地区各地热异常区地质背景如图 1。

## 3 区域地壳结构与地球物理特征

福州—泉州—汕头地壳结构如图 2 所示。福州地区具有 NW 向地幔隆起,莫霍面上隆 2~3 km,上地壳厚约 1.5~4.0 km,中地壳下方有厚约 3.0~4.0 km 的高导、低速层。福州地区莫霍面埋深为 30~33 km,地壳中存在高导与低导层,埋深 10~15 km 的高导层电阻率仅约 10  $\Omega\text{m}$ ,高导、低速层应为半熔融的塑性高温岩浆体,高导层的热源获得了上地幔热源的补充,推测中地壳高导低速的半熔融塑性高温岩浆体为该区地热的主要热源<sup>[7-9]</sup>。

研究区位于福建省布格重力异常分区 I<sub>1</sub> 区,沿台湾海峡、福建东部沿海呈 NE 向条带状展布,属闽东沿海重力异常梯度带区,重力异常值为  $(10\sim 30)\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$ ,重力异常较高且有转折的区域是潜在地热异常远景区。

研究区位于磁异常变化平缓地带,该带正负异常值频繁交替,起伏剧烈,环状异常多,反映燕山期(尤其燕山晚期)中酸性侵入岩,南园组、石帽山群火山岩的分布特点。该类岩石磁性强且不均匀,有的剩磁大且具有反磁性,具有环状磁场的花岗岩分布区是该区主要地热异常区与潜在地热异常区<sup>[10]</sup>。

福州地区莫霍面深度较其他地区浅,中地壳下部有半熔融的塑性高温岩浆体,高导层热源获得了半熔融的塑性高温岩浆体与上地幔热源的补充,该区地热主要热源埋深相对较浅,地壳结构较好。在重力异常较高且有转折的区域是查找地热异常的主要远景区。

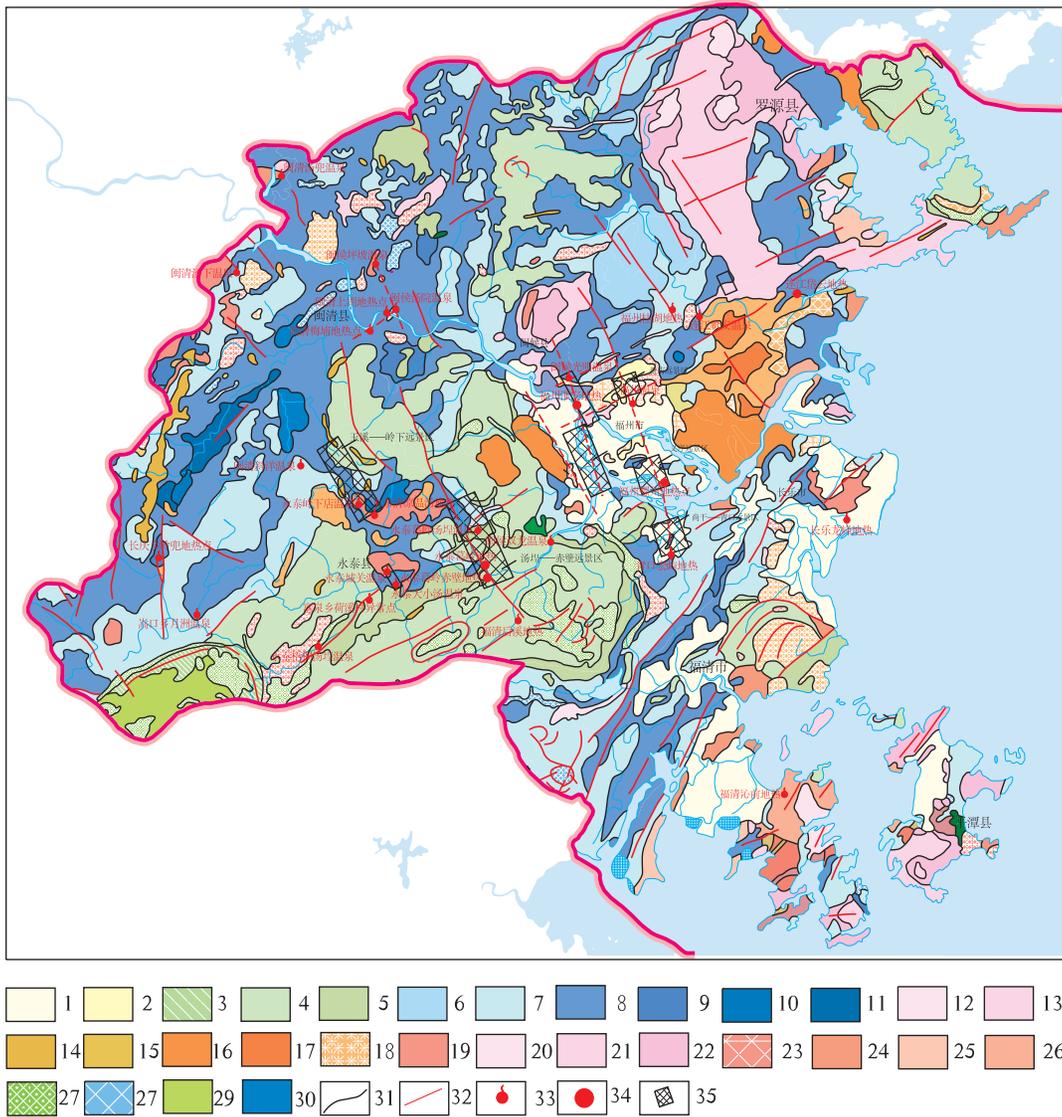


图1 福州地区地热异常区地质背景图

Fig. 1 Geological background map showing the geothermal anomaly areas in Fuzhou

1-全新统;2-更新统;3-白垩纪石帽山群石牛山组;4-白垩纪石帽山群塞下组;5-白垩纪石帽山群黄坑组;6-侏罗-白垩纪南园群小溪组;7-南园群赤水组;8-侏罗纪南园群鹅宅组;9-侏罗纪南园群长林组;10-侏罗纪象牙群藩坑组;11-侏罗纪象牙群下村组;12-晚白垩世石英正长斑岩;13-晚白垩世碱长花岗斑岩;14-晚白垩世花岗斑岩;15-晚白垩世二长花岗斑岩;16-早白垩世微细粒晶洞碱性花岗岩;17-早白垩世斑状细粒晶洞碱长花岗岩;18-早白垩世少斑中细粒钾长花岗岩;19-早白垩世斑状细粒钾长花岗岩;20-早白垩世斑状细粒二长花岗岩;21-早白垩世似斑状中细粒二长花岗岩;22-早白垩世少斑状中细粒黑云母二长花岗岩;23-早白垩世细粒辉石闪长岩;24-晚侏罗世少斑状中粒钾长花岗岩;25-晚侏罗世含斑状细粒含黑云母钾长花岗岩;26-晚侏罗世少斑中细粒二长花岗岩;27-白垩系潜火山岩-石英正长斑岩;28-白垩系潜火山岩-花岗斑岩;29-白垩系碎斑熔岩;30-侏罗系碎斑熔岩;31-地质界线;32-断层;33-温泉分布点;34-地热分布点;35-潜在地热异常区

### 4 地下热水循环深度与热储温度

地球化学温标是对地下水恢复温度“记忆”的一种方法,可以推演计算地下温度<sup>[11]</sup>。通过 SiO<sub>2</sub>

温标计算热储温度,福州地区各地热点地下热水循环深度最浅的地热为滨海的长乐龙峰地热(1 629 m)与福清沁前地热(1 650 m),其热储温度分别为 101.81 °C 与 103.65 °C;地下热水循环深度

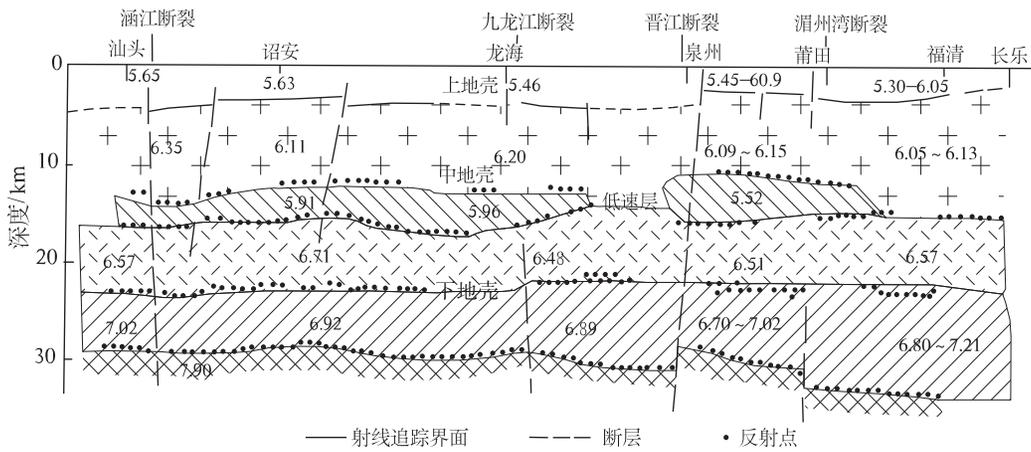


图 2 福州—泉州—汕头地壳结构图<sup>[7]</sup>

Fig. 2 Cross section showing crustal structure of the Fuzhou-Quanzhou-Shantou region

较深的为福州市地热田,深度为3 472~3 532 m,热储温度为 152.39 °C~154.67 °C,其它地热点的热 水循环深度与热储温度均介于长乐龙峰地热、福清 沁前地热与福州地热田之间。

福州地区上地壳厚 1.50~4.0 km,由于福州盆 地地势较低,综合分析地下热水循环深度与上地壳 厚度,福州地区各地热点地下热水循环深度应达到 上地壳的下界面或接近下界面的区域,福州市地热 田的地下热水循环深度可能已达中地壳,所以能获得 较高温度的地热资源。

### 5 地热水水文地球化学

福州地区地热水中常量元素  $F^-$ 、 $SO_4^{2-}$  和  $SiO_2$  的浓度随水温升高而增高(图 3,图 4,图 5),是热水 指示性离子。因此, $F^-$ 、 $SO_4^{2-}$  和  $SiO_2$  可作为地热水 的指示性元素<sup>[12-14]</sup>。微量元素中,Sr 与水温呈正 相关,Sr 含量随水温升高而增大,Ba、Pb、Zn 与水温 呈负相关(图 6),水温增加,而 Ba、Pb、Zn 含量相对 减少。因此,在地热资源调查与勘查中,该区  $F^-$ 、Sr 含量高的地下水区域可能存在地热异常,而 Ba、Pb、 Zn 含量较高的区域可能无地热异常。

### 6 福州地区潜在地热异常远景区

福州地区地热资源的生成规律为:热源为上地 幔部分熔融物质以及中地壳熔融的塑性高温岩浆 体;在 NE、NNE 向新华夏系区域构造与 NW、 NWW 向断裂交汇的山间盆地、溪谷、盆地等低洼区

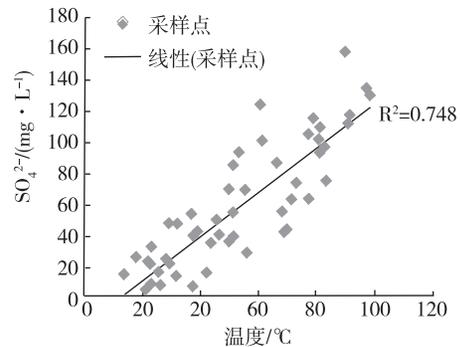


图 3  $SO_4^{2-}$  含量与温度关系图

Fig. 3 Relationship between  $SO_4^{2-}$  content and temperature

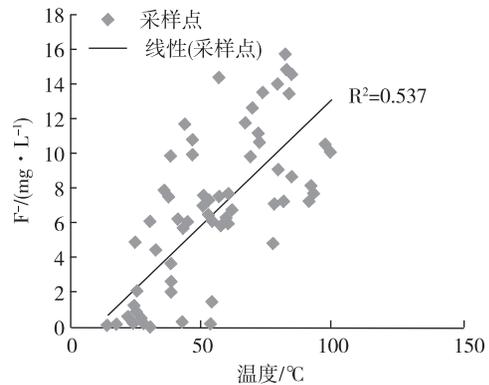


图 4  $F^-$  含量与温度关系图

Fig. 4 Relationship between  $F^-$  content and temperature

域,可获得较高温度的热异常;热储温度为100 °C~ 155 °C,地热水循环深度应<3 500 m;当地下水存

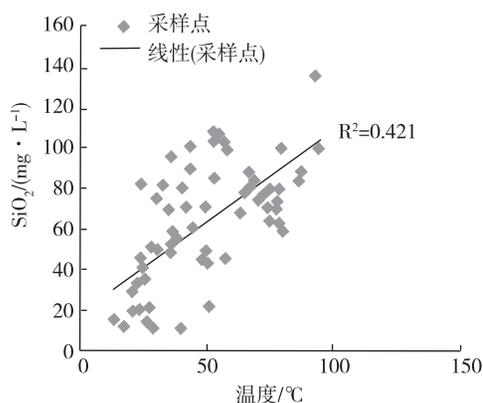
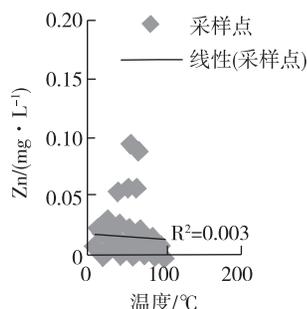
图5 SiO<sub>2</sub>含量与温度关系图Fig. 5 Relationship between SiO<sub>2</sub> content and temperature

图6 Zn含量与温度关系图

Fig. 6 Relationship between Zn content and temperature

在较高含量的  $F^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $SiO_2$  和 Sr 时,可能存在地热异常。福州地区潜在地热异常远景区如图 1。

### 6.1 永泰县葛岭汤埕—赤壁地热异常远景区

该区地热异常带受 NW 向断裂控制,该断裂带有 4 处地热异常,分别为铁路隧道出热水、汤埕地热、葛岭地热与赤壁地热异常点,均处于与次级 NE、NEE 向断裂交汇区域,长约 13 km,面积约 5 km<sup>2</sup>。上部为凝灰熔岩,下部为花岗岩体,热储岩性为花岗岩,处于贵安—福州—葛岭—梧桐汤埕较高温地热点的分布沿线,已发现的地热点在 NW 向呈串珠状分布。该区处于低山丘陵的峡谷及山间盆地,地下水补给较好, $F^-$ 、 $SO_4^{2-}$  和  $SiO_2$  含量分别为 16 mg/L、76.37 mg/L 和 80 mg/L,是较好的地热异常远景区,可在沿 NW 向断裂与 NE 向断裂交汇部位扩大异常区范围,寻找新的可供开发的地热资源。

### 6.2 闽候光明—淮安地热异常远景区

该带受 NW 向断裂控制,断裂带上有 4 处地热

异常,分别为洞室热水点、光明地热、淮安地热,原洪塘热水温泉点(被水淹没)也在此断裂构造带上,处于与次级 NE、NEE 向断裂相交的区域,长约 5 km,面积约 2 km<sup>2</sup>,热储岩性为花岗岩。该区处于福州盆地西侧,已发现的 4 处地热点呈串珠状分布, $F^-$ 、 $SO_4^{2-}$  和  $SiO_2$  含量分别为 7.45 mg/L、101.34 mg/L 和 100 mg/L。该区在南东延长线的南屿区域存在重力异常,在南屿镇北东侧的乌龙江可找到热异常,可在沿 NW 向断裂与 NE 向断裂交汇部位扩大异常区范围或寻找新的热异常点。

### 6.3 永泰县岭下店—城关—大小汤地热异常远景区

受 NW 向断裂控制,该断裂带上出现 6 处地热异常,分别是永泰城关南门桥地热、大汤、小汤地热、汤洋地热等,长约 10.8 km,热储岩性为凝灰熔岩和花岗岩, $F^-$ 、 $SO_4^{2-}$  和  $SiO_2$  含量分别为 70~15.9 mg/L、35.06~58.6 mg/L 和 55~80 mg/L。可在沿 NW 向断裂与 NE 向断裂的交汇部位扩大地热异常远景区范围,可扩大永泰城关盆地地热异常远景区范围,形成地热温泉城。

### 6.4 福州地热—螺洲地热—宏屿地热异常远景区

该区已有 3 处呈串珠状分布的地热田(点),浅孔测温表明,义序一带存在地热异常,义序—螺洲区域的热异常范围较大,水温也较高,地热水资源量应有较大补给,可形成福州盆地南部较大的地热田。目前,宏屿地热水温较低,仅 36~37 °C,但单孔涌水量可达 1 000 m<sup>3</sup>/d,结合原地热温泉点位置、水温及水量,宏屿地热的热异常范围较大,应可获得较大范围及较高水量和水温的地热异常区。

## 7 结论与建议

福州地区地热异常区多分布于福州—永泰区域性断裂构造带,各地热异常区均处于地势较低洼的山间盆地、溪谷及平原等,多数呈串珠状分布的地热异常区沿 NW 向断裂展布,处于 NNW 与 NE、NEE 向断裂交汇区域。福州地区各地热点地下水循环深度为 1 600~3 500 m,热储温度为 100 °C~155 °C。福州地区主要的潜在地热异常远景区主要有永泰县葛岭汤埕—赤壁地热温泉带、闽候光明—淮安地热温泉带、永泰县岭下店—城关—大小汤地热温泉带、福州地热—螺洲地热—宏屿地热温泉带等。应对这些潜在地热异常区进一步开展地热能

质勘查,为福州地区地热资源开发利用提供参考。

## 参考文献

- [1] 关铎.我国地热资源开发利用现状及对策与建议[J].中国矿业,2010,19(5):7-9.
- [2] 陈墨香,汪集旸.中国地热资源:形成特点和潜力评估[M].北京:科学出版社,1994:1-39.
- [3] 张金华,魏伟.我国的地热资源分布特征及其利用[J].中国国土资源经济,2011,24(8):23-28.
- [4] 汪集旸,熊亮萍,庞忠和.中低温对流型地热系统[M].北京:科学出版社,1993:1-233.
- [5] 蔺文静,刘志明,王婉丽,等.中国地热资源及其潜力评估[J].中国地质,2013,40(1):312-321.
- [6] 赵钦铭,李文曲,黄宏洋,等.福建省福州市福州地热田特征研究[R].福州:福建省第二水文地质工程地质队,1985:1-122.
- [7] 廖其林,王振民,王屏路,等.福州—泉州—汕头地区地壳结构的爆炸地震研究[J].地球物理学报,1988,31(3):270-280.
- [8] 廖其林,吴宁远.福州盆地及其周围地区地壳深部结构与构造的初步研究[J].地球物理学报,1990,33(2):163-172.
- [9] 朱金芳,徐锡伟,黄宗林,等.福州市活动断层探测与地震危险性评价[M].北京:科学出版社,2005:1-20.
- [10] 中国科学院地球物理研究所.福建地热地球物理研究[M].北京:科学出版社,2005:15-73.
- [11] 郑克棣,多吉,田廷山,等.中国高温地热勘查开发—四川省甘孜藏族自治州高温地热资源专题研究会论文集[M].北京:地质出版社,2013:82-89.
- [12] 黄宏洋.福州地下水赋存规律地球化学特征及其热储模式[J].福建地质,1985,7(2):124-140.
- [13] 徐书勇.福州地热田水文地球化学特征[J].福建地质,1985,6(4):288-303.
- [14] 赖树钦,王涛,卢晓华,等.福州盆地地热水微量元素特征[J].地质科技情报,2008,27(2):80-84.

## Generation rule of geothermal resources in Fuzhou and analysis of potential geothermal anomaly areas

DENG Ding-xing<sup>1,2</sup>

(1. Geological Engineering Exploration Institute of Fujian Province, Fuzhou 350002, China;

2. Fujian Key Laboratory of Geohazard, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** Based on systematic geological investigation in potential geothermal anomalous areas in Fuzhou, this paper first carried out comprehensively study of geothermal fields' topographic characteristics, lithology, faults, crustal architecture and geophysics, depth of hot groundwater circulation, temperature of the reservoir and hydro-geochemical characteristics, etc. It can be concluded that the low-lying areas, such as basins and valleys where NE-and NEE-trending faults intersect and where the concentrations of  $F^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $SiO_2$  and Sr are quite high in groundwater, are the potential prospective areas for geothermal resources. The knowledge can provide valuable information for seeking new potential geothermal anomaly areas in Fuzhou.

**Key words:** geothermal resources; generation rule; reservoir temperature; geochemistry; geothermal anomaly