

湖北省居里面特征与干热岩分布预测

梁学堂¹, 刘磊¹, 李义¹, 吴军¹, 楚德亮², 张海强¹

(1. 湖北省地质局 地球物理勘探大队, 湖北 武汉 430056; 2. 湖北省地质环境总站, 湖北 武汉 430034)

摘要: 利用航磁异常数据, 采用空间域连续模型居里面反演方法, 揭示了湖北省居里面具有隆起和凹陷相间的团块状构造特征, 依此划分为4个隆起区、4个凹陷区。一般来说, 在岩浆活动、地壳深部热传导、地壳断裂热对流等热构造事件活跃区, 会导致居里面隆起; 在稳定地台或冷的盆地区, 则会造成居里面下凹。居里面可以大致反映出地壳深部温度场的分布特征, 结合地表水文地质情况, 初步预测出湖北境内两处“干热岩”可能存在的区域, 为今后勘探、开发利用地热资源提供参考依据。

关键词: 航磁异常; 居里面; 大地热流值; 干热岩; 热导率; 地温梯度

中图分类号: P314

文献标识码: A

文章编号: 1671-1211(2015)06-0999-07

DOI: 10.16536/j.cnki.issn.1671-1211.201506050

随着全球化工石油燃料总量的减少及其开发利用带来的环境恶化程度加剧, 可再生且无污染的能源倍受人们关注; 但是气候的变化、季节的变换, 在一定程度上给人们利用这些新能源带来诸多不便。因此, 在有利的地区, 通过地球物理深部探测技术, 勘探无污染且少受诸如气候等外界条件变化干扰的新能源——干热岩, 成为很多发达国家积极开展试验研究的新课题。

“干热岩”是一种没有水或蒸汽的热岩体, 主要是各种变质岩或结晶岩类岩体; 干热岩普遍埋藏于距地表2~6 km的深处, 其温度范围一般在150~650℃之间。从现阶段来说, 干热岩地热资源是专指埋深较浅、温度较高、有经济开发价值的热岩体。干热岩贮存的热能是一种取之不尽、可以循环利用、没有污染的清洁能源。科学家预测, 2030年左右人类完全可以掌握必要的技术, 利用干热岩大规模发电。早在1970年, 美国人莫顿和史密斯就提出利用地下干热岩发电的设想。2014年, 中国在青藏高原腹地——共和盆地地下2.23 km处成功钻获温度高达153℃的干热岩, 这是中国首次发现大规模可利用的干热岩资源。目前, 中国地质调查局在东南沿海第一口干热岩科学钻探工程在龙海已开工钻探, 其它干热岩调查项目也正在持续开展; 而湖北省在寻找、开发利用干热岩等方面的研究工作还是空白。因此, 利用湖北省航磁资料来反演居里面, 结合深部地质构造特征、岩石热导率等, 来预测干

热岩可能的隐伏位置具有重要的科研及现实意义。

1 湖北居里面埋深计算方法

岩石圈居里面是地壳上部埋深几十千米处存在的一个高低起伏不平的等温面。该处的温度使岩石中的铁磁性矿物失去磁性, 也就是从铁磁性转变成顺磁性物质的温度(纯磁铁矿约578℃)。在居里面以下, 岩石剩余磁化和感应磁化强度均发生突变性锐减, 磁化强度骤然降低。这样以来, 在居里等温面以上存在的具有磁性的侵入岩及火山岩、磁性变质岩、磁性基底等各类磁性地质体, 会产生一个明显的磁性底界面。所以说居里面不但是个温度界面, 也是个磁性界面。这个磁性界面埋深可以利用航磁异常反演计算出来, 通过研究磁性界面(即居里面的热构造特征), 进而对“干热岩”可能的隐伏区域进行科学的预测。

利用航磁异常反演居里面埋深, 首先要对航磁异常(图1)进行低通滤波, 求得反映湖北省基底区以下、居里面以上垂直磁化条件下的区域磁异常, 运用空间域连续模型居里面反演法^[1], 以重力、人工地震测深及地质资料得出的基底深度和基底磁性参数为定解条件, 反演计算出磁性层下界面, 即为所求居里面温度的埋深。

居里面反演具体方法如下(采用重磁数据处理软件: RGIS—2012)。

(1) 对湖北省航磁异常进行变纬度、经度化磁极

收稿日期: 2015-08-25; 改回日期: 2015-09-28

作者简介: 梁学堂(1964-), 男, 教授级高级工程师, 应用地球物理专业, 从事区域重力调查、矿产物探、重磁电勘探数据处理与研究工作。E-mail: lxt19641025@163.com

数字出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/42.1736.X.20151010.1530.024.html> 数字出版日期: 2015-10-10 15:30

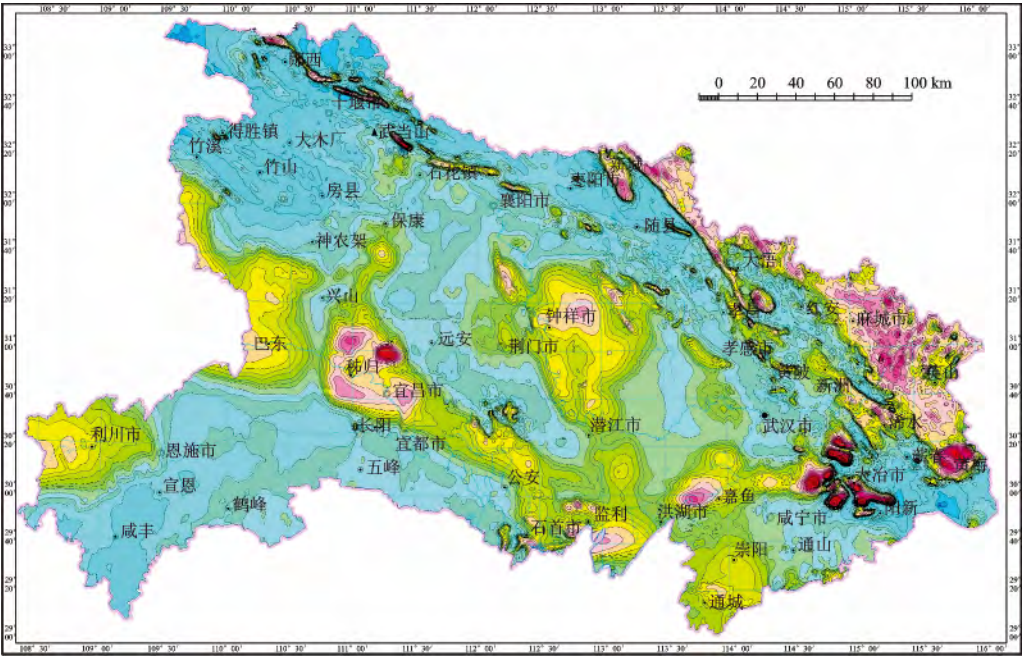


图1 湖北省航磁 ΔT 异常图(变纬度、变经度化磁极)

Fig. 1 Anomaly map of airborne magnetic ΔT

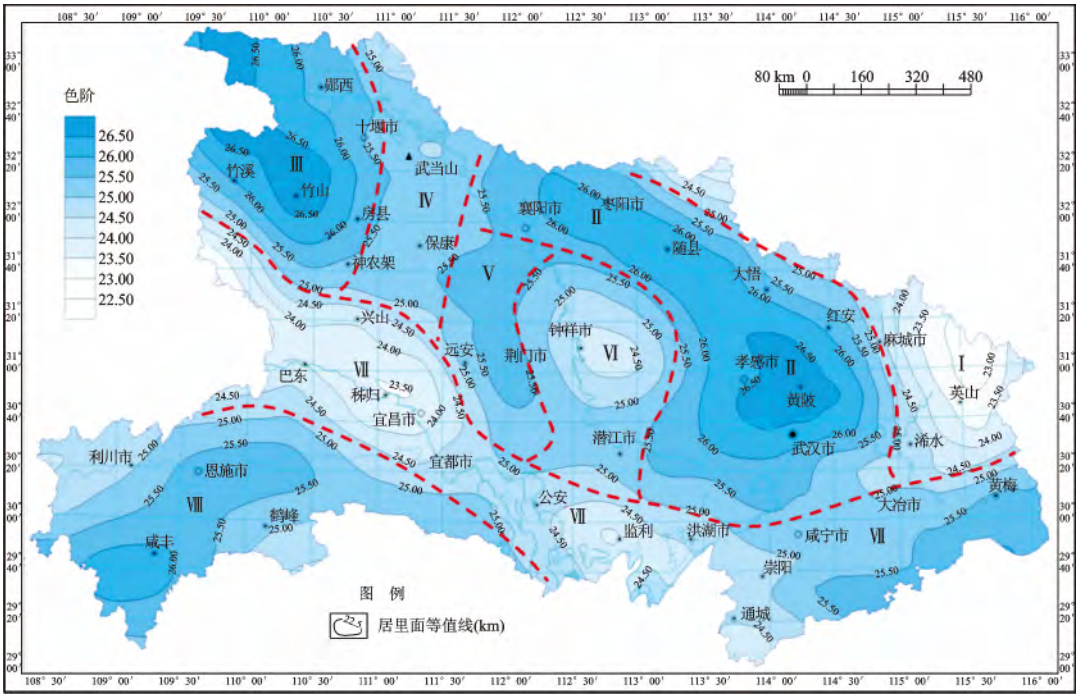


图2 湖北省居里面等深图

Fig. 2 Isobath map of Curie depth interface in Hubei Province

处理。

(2) 对化磁极处理后的航磁异常按 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 进行网格化处理,共取数 14 688 个。

(3) 计算湖北全省航磁异常三阶趋势面,并求其剩余值,即消除了长波异常的背景干扰。

(4) 采用圆滑滤波处理,滤掉三个点距范围(即 15 km) 的干扰异常,基本消除了频率域计算的局部干扰。

(5) 对经过滤波处理的剩余场,按 $100\text{ km} \times 100\text{ km}$ 的窗口进行滑动平均。

(6) 采用有限项调和级数表示水平方向起伏连续变化的磁性体下界面, 界面模型采用直立水平柱体组合模型, 计算居里面埋深采用高斯法解方程。

(7) 计算时湖北全省平均磁化强度取 300×10^{-3} A/m, 居里面平均深度根据全国计算结果、地温平均梯度值及重力、人工地震测深等综合考虑取 25 km。

(8) 根据反演结果绘制湖北省居里面等深图(图2)。

从居里面反演结果来看, 扬子地台武汉地区、鄂西南地区及南秦岭造山带鄂西北地区为深居里温度深度区, 扬子地台钟祥—京山地区、巴东—石首地区及南秦岭造山带桐柏大别地区为浅居里温度深度区。这些特征与湖北省区域地质构造特征大致相吻合。另外, 为了印证反演结果是否正确, 根据扬子地区(湖北)平均地温梯度 $23.4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ [2] 计算, 取居里面平均深度 25 km, 反算出居里温度为 585°C , 与理论值相当(578°C), 这说明反演方法和参数选取正确。

2 湖北居里面特征与地壳热状态分析

从居里面等深图上可以看出, 湖北省居里面表现出隆起和凹陷相间的团块状构造, 深度在 23 ~ 26.8 km 范围内变化, 最浅在英山县北部, 埋深约 23 km; 最深在黄陂县、咸丰县及竹山县附近, 埋深约 26.8 km。根据居里面所反映的结构特征, 将湖北省分成 4 个隆起区(或带)、4 个凹陷区(或带), 具体详见表 1, 各区块解释如下。

表 1 居里面构造分区略表

Table 1 Table of tectonic division of Curie depth interface

分区编号	分区名称
I	东大别居里面隆起区
II	襄樊—随县—黄陂凹陷区(带)
III	竹山—竹溪居里面凹陷区
IV	武当山—保康居里面次隆区
V	南漳—荆门居里面次凹区
VI	钟祥—京山居里面隆起区
VII	沿长江居里面隆起带
VIII	鄂西南居里面凹陷区

2.1 东大别居里面隆起区(I区)

该区大致呈北西走向对应桐柏—大别造山带北缘, 区内燕山期中酸性岩浆岩发育, 说明该区地热活动强烈, 地幔热流上涌, 进而形成了居里面隆起区。隆起中心位于英山县东北, 最浅埋深为 23 km, 是湖北省最浅的居里面。另外, 该区北西向与北东向区域性断裂构造发育, 也是地壳断裂热对流理想区域。

区内热泉分布广泛, 且规模大、温度高, 如英山—罗田地热田(图3)、河南信阳的商城地热田等, 皆与区内燕山期强烈的地热活动有关。特别是桐柏—大别区

西段南阳盆地区是全国地温梯度高值区 [3], 达 $38.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (居里面埋深仅 20 km), 仅次于滇西及藏南玛曲, 远远高于全国平均值 $33^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 这些与该区强烈的断裂活动引起的地热流上涌分不开的。

2.2 襄樊—随县—黄陂凹陷区(II区)

该区沿襄樊—随县—黄陂一线呈西小东大的勺状, 基本上与扬子地台北缘推覆构造区(带)相对应。该区居里面深度变化范围约 26 ~ 26.8 km, 其中对应黄陂县地区为居里面深凹区, 凹陷中心深度约 26.8 km。

俯冲板块边缘通常都有低的地温梯度 [4], 这是由于俯冲太快以至于没有与周边的物质进行有效地热平衡。在印支造山期, 扬子板块与中朝板块发生陆陆碰撞, 形成近东西走向横贯中国中部的中央造山带。从区内深部地球物理探测成果可知 [5], 扬子板块北缘中、下地壳向北楔入南秦岭上、下地壳之间, 呈鳄鱼式向造山带中地壳内嵌入, 因而形成地壳局部增厚。增厚的地壳有效阻止了来自地幔的热流扩散, 因而在扬子板块北缘形成了居里面下凹带。另外, 虽然该区印支造山活动强烈, 形成了一系列的弧形褶皱—断裂构造带, 但未能发现与三叠系有关的岩浆活动 [6], 区内北西向展布的航磁异常皆为扬子期或加里东期的火山岩或基性超基性岩引起, 并且在湖北航磁异常图上呈高频成分叠加在低背景值上。这说明该区的岩浆活动属于造山期之前, 印支期及之后岩浆活动基本停止。以上诸多证据说明该区成为深居里深度区是可能的。

据中国大陆各地现代地温梯度值资料, 武汉地区、襄樊、江汉盆地及其它鄂北地区, 地温梯度值 $< 30^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 特别是江汉盆地只有 $28.4^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 远远低于全国平均值 $33^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。这说明该区地热活动相对较弱, 居里面相对凹陷, 与地表热泉稀少是吻合的。

2.3 竹山—竹溪地区居里面凹陷区(III区)

该区大致对应竹山、竹溪地区, 处于神农架基底西北缘。居里面深度变化范围在 26 ~ 26.5 km, 总体走向北西向, 因处于鄂—陕省界, 居里面等深线未封闭, 但总体与该区地层及主要构造线一致。区内地层为南华系—青白口系弱变质地层, 为南秦岭造山外带的组成部分。区内北西向浅层断裂构造发育(印支造山期), 但缺少活动性深大断裂构造。区内航磁异常为平静的低值区, 只有侵入前志留系地层的基性—超基性岩及基性火山岩地层产生的局部高磁异常, 以高频成分叠加在区域低磁异常背景之上。区内在印支造山期, 因扬子板块向北插入, 据该区深部地球物理资料 [7] 来看, 青白口系武当群下部可能存在扬子地台古生界地层, 陆陆碰撞造成了地壳增厚, 增厚的地壳又有效阻止

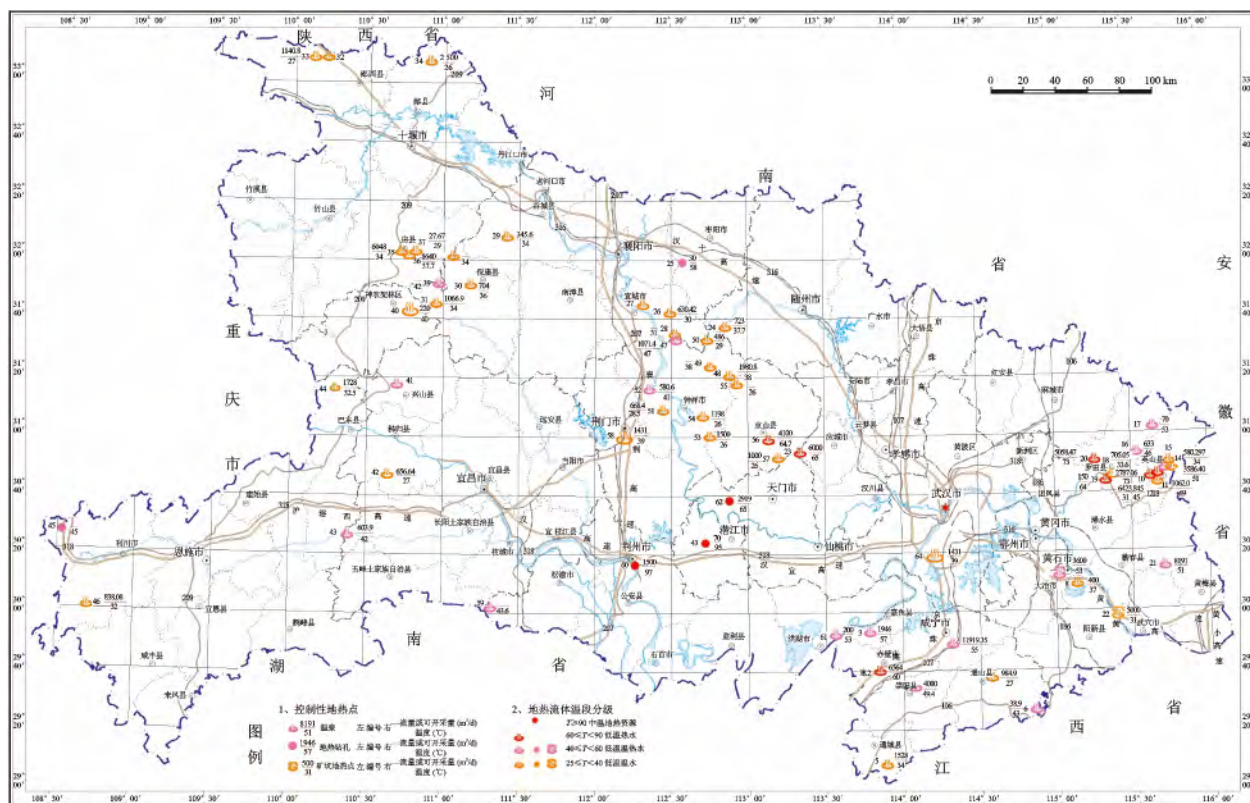


图3 湖北省温泉分布图

Fig. 3 Distribution map of spas in Hubei Province

了来自地幔的热流扩散,因而形成了居里面下凹区,故区内少见有热泉分布。从中国大陆各地现代地温梯度值可知,该区作为四川盆地北部大巴山向东延伸的部分,地温梯度值只有 $18^{\circ}\text{C}/\text{km}$,远远低于全国平均值 $33^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。这说明该区地热活动很弱,居里面为深度凹陷,与地表热泉稀少是吻合的。

2.4 武当山—保康地区居里面次隆区(Ⅳ区)

该区分隔Ⅲ、Ⅴ两个居里面凹陷区,是Ⅲ区、Ⅴ区中间相对隆起的部分,南北向呈长条状对应十堰—武当山—保康一线,居里面埋深约 $25 \sim 25.5 \text{ km}$,等值线变化平缓。该区与十堰—保康—五峰重力梯度带对应,为太行—武陵深部构造变异带的组成部分,也是中国西部大陆型岩石圈与东部大陆—海洋过渡型岩石圈的分界线,是中生代以来地壳均衡调整形成的深部构造格架。当然,伴随着深部构造的形成,也为地幔热流上升提供了通道。另外,该区东西向区域断裂构造发育,如青峰、阳日等活动性断裂经过该区中部。从航磁异常图上也可看出,对应该区存在低缓磁异常带,说明该区深部存在岩浆活动,为地热异常区,与房县、保康地区热泉发育相吻合。

2.5 南漳—荆门居里面次凹区(Ⅴ区)

该区位于太行武陵构造变异带的东缘,居里面呈

长条状南北向展布,凹陷深度约 $25.5 \sim 26 \text{ km}$,地质上对应荆当盆地和南漳荆门断陷盆地。区内中生代以来几乎没有岩浆活动,并因接受了巨厚的陆源碎屑沉积物,特别是部分地区白垩系沉积厚度达数千米,有效阻隔了地壳深部的热流上涌,是典型的冷盆,故地表少有温泉分布。

有关学者根据收集到的湖北中生代盆地9口钻井的稳态温度数据和124块岩石热导率,结合已有资料对江汉盆地及周边地温梯度和大地热流进行了系统分析,结果显示中新代盆地内热流 $41.9 \sim 60.9 \text{ mW}/\text{m}^2$,平均 $52.3 \text{ mW}/\text{m}^2$,低于全国大陆平均热流密度 ($65 \text{ mW}/\text{m}^2$),与四川盆地大地热流相近,低于下扬子地区大地热流值,高于上扬子大地热流值,反映了该盆地从中生代以来由于构造活动减弱,大地热流值快速下降,导致盆地不断冷却。

2.6 钟祥—京山居里面隆起区(Ⅵ区)

该区位于江汉盆地北缘的钟祥市、京山县,居里面呈圆形分布,深度变化范围约 $24 \sim 25 \text{ km}$,隆起中心对应钟祥市东桥镇地区,最浅埋深为 24 km ,与周围相比为弱隆起区。该区北西向断裂构造发育,其中汉江断裂从北向南穿过该区西半部。断裂之东从老至新分布随县群变质地层—三叠系地层,断裂之西则为三叠

系—白垩系中生代地层。对应居里面隆起部位,该区磁异常呈低缓特征,预示该区深部有岩浆活动,可能存在沿深大断裂侵入的岩浆房或隐伏大型岩体。区内东北部钟祥、京山、大洪山等地区,广布热泉,说明该区地热活动强烈,大地热流值较高,是热泉形成的有利区域。

2.7 沿长江居里面隆起区(VII区)

该区为浅居里面深度区,以24.5 km为等值线圈闭,沿巴东—宜昌—监利—嘉鱼—咸宁一线呈向南突出的弧形,弧形西段为北西西走向,过监利后走向转北东东,基本与长江延伸方向相吻合。居里面深度变化范围约23.5~25 km,最浅与黄陵背斜南端的三斗坪岩体相对应,大部分地区居里面深度在24 km左右变化。区内印支运动以来,在宜昌以东地区中酸性侵入岩、火山岩发育、分布广泛。从重力及航磁资料推断,在湖北境内,沿长江存在一条切穿岩石圈的深大断裂,利于岩浆活动,同时也是传递地球内部热能的有利通道。区内洪湖、嘉鱼及咸宁地区热泉分布多,规模大,这种现象与浅居里深度相对应,说明本区确为相对高地热区。但该区洪湖以西至长阳区段,因地表水(长江及湖泊水丰富)阻隔或地下热流被扩散,在地表则难以形成热泉。

2.8 鄂西南居里面凹陷区(VIII区)

该区大致对应五峰、恩施、咸丰地区。居里面深度变化范围约25~26.5 km,总体走向北东向,与该区地层及主要构造线一致。区内地层为古生界、中生界地层,为上扬子稳定地台区。区内断裂构造(特别是深大断裂)不甚发育,主要为一系列北东走向隔挡式褶皱构造。区内为莫霍面深凹区;航磁异常则为平静的低值区,地表未见岩浆岩出露;另外区内少见热泉分布,从全国大地热流值来看,该区大地热流值 $<50\text{ mW/m}^2$,远远低于全国平均值(63 mW/m^2)。以上诸多证据说明该区岩石圈厚度大,岩浆活动弱,也是地热活动相对弱的地区。

3 居里面与干热岩的关系

3.1 干热岩的形成

岩石圈内的地流值都是由热传导方式所造成。一般认为传导热中的60%左右是由地幔热流所提供的,另外的40%左右则是地壳放射性元素蜕变所产生的热。若地幔热流密度值高和相对份额大说明中地壳以下能量与物质活跃,可能存在岩浆底侵等较强的壳幔作用。高的地幔热流带常有流体活动伴随,将导致地壳中的低阻带作为热流及流体上涌带,这样就

有可能在中上地壳某个有利部位形成可供人类利用的“干热岩”。

从岩石的热导率测定结果可知(表2),橄榄岩和榴辉岩等地幔岩石热导率高于片麻岩和角闪岩,石英岩的热导率最高。橄榄石、钙铝榴灰石等地幔常见矿物的热导率较长石类矿物高1~3倍,因此,斜长岩等含长石较多的地壳岩石热导率较低。由于地壳岩石的热导率普遍低于上地幔岩石,来自地幔的热流可以在莫霍面下方聚集而诱导局部熔融,产生高温的幔源岩浆的底侵;还可以使地壳升温变质并使其中角闪岩类熔融,在地壳内部产生花岗岩类;若岩浆沿地壳薄弱地带上侵,就形成了地热异常区。

干热岩的热能赋存于岩石中,较常见的岩石有黑云母片麻岩、花岗岩、花岗闪长岩以及花岗岩小丘等^[8]。一般干热岩上覆盖有沉积岩或土等隔热层。

表2 东海县钻孔岩心热导率测量结果^[8]

Table 2 Measurement results of heat conductivity of drill core in

Donghai county

岩石类型	样品埋深/m	热导率/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
榴辉岩	424~674	4.63~5.24	3.48
二辉橄榄岩	211	4.86	3.50
花岗片麻岩	60~365	3.78~4.63	2.87
角闪斜长片麻岩	58~410	2.75~4.38	2.68
黑云母斜长片麻岩	300~970	2.64~3.47	2.76
黑云母斜长角闪岩	222~972	2.713~3.364	
石英岩	325~386	7.79~8.82	2.67

3.2 居里温度面与干热岩的关系

人们为了利用干热岩储存的热能,查明干热岩的隐伏位置和深度是必须的。但采用常规地质调查手段则无法完成该项任务,因温度达到150~250℃的干热岩隐藏深度至少要2~6 km,所以采用反演居里面埋深的方法间接解决这个问题是最简单和经济的。湖北居里面的埋深通常在25 km上下,显然居里面的深度要比能被开发利用的干热岩埋深要大得多。但通过居里面的结构特征,可以间接反映出岩石圈的热活动状态。在居里面隆起区,预示着地壳深部热传导、沿深大断裂的热对流、局部的放射性热效应和上地幔热辐射等岩石圈热活动强烈;居里面凹陷区,岩石圈热活动则相对较弱。一般来说,现今的居里面特征,基本反映了新生代以来的构造活动及由此引起的热事件。因此,那些被来自地壳深处的热能加热或自身放射性元素蜕变所产生的所谓“干热岩”,其隐伏位置与居里面就存在着某种联系,那就是居里面隆起位置更有利于干热岩的形成,或者说是干热岩可能的“藏身”之地。

4 湖北干热岩分布预测

4.1 干热岩选区原则

干热岩温度随着埋藏深度的增加而升高,资源量也与深度呈正比。但和其它地区相比埋藏深度一定要浅些。只要岩体温度高、埋藏深度合理、内含流体较少(或不含流体)、能用干热岩技术来提取岩体中的热量的岩体即可被人类开发利用。

地热梯度和热流值较高的地方最有利于干热岩的开发利用,因此,应选择板块碰撞地带、大陆内部的断陷盆地等地区。

从岩石本身的物理性质考虑,应选择密度大、热传导率高的岩石。一般来说,花岗岩和花岗闪长岩类优于其他的岩石(如辉长岩、玄武岩类)。此外,花岗岩本身含有较高浓度的放射性元素,这些放射性元素不断地衰变并释放能量,从而增加干热岩的热量供应。因而,选址时还应注意花岗岩生成的时间,生成时间越长,其损失的能量越多。

4.2 湖北干热岩分布预测

前已述及,干热岩“隐身”位置与居里面隆起有着某种直接或间接地联系。另外,在地表水文地质、大地热流等方面同样也会有所示踪。一般来说,地表大面积的热泉分布及大地热流值高的区域,预示着该区为地热异常区,是干热岩形成的有利区域。

根据干热岩选区原则,结合湖北居里面特征、大地热流值及地面热泉分布情况,初步预测符合干热岩分布特征的共有两处:其一为东大别居里面隆起区(I区);其二为钟祥—京山居里面隆起区(Ⅵ区)。

4.2.1 东大别居里面隆起区(I)

位于英山县九资河、石头咀一带,为大别造山带的核心部位。该区北东及北北向深大断裂构造发育,具有地幔热流上升的有利通道;在印支造山后期拉张环境下,区内分布众多燕山期中酸性侵入岩(图4)。因花岗岩含有大量的石英,有较高的热导率,为深部热流上涌提供了良好的储存载体;另外,花岗岩放射性元素含量高,自身也可产生可观的热能。该区地表分布热导率较低的古老片麻岩,具备了较好的封盖条件。因此,从干热岩形成的生、储、盖条件来讲,该区是寻找干热岩的理想区域。

从湖北热泉分布图上也可以看出,该区40~90℃中低温热泉分布有数十处,这是该区

地热活动强烈的有力证据,这也间接证明了该区是干热岩形成的有利部位。



图4 东大别地区温泉分布与构造关系图

Fig. 4 Relation graph of thermal spring distribution and structure in eastern Dabie area

4.2.2 钟祥—京山居里面隆起区(Ⅵ区)

主体位于江汉盆地北缘的钟祥市、京山县一带,向南呈半岛状延伸至江汉盆地内。该区北北向断裂构造发育(图5),在江汉盆地亦有隐伏北东向深大断裂,具备深部热流上涌的通道。航磁异常显示该区深部存在岩浆活动,可能存在沿深大断裂侵入的岩浆房或隐伏中酸性大型岩体,是深部热能储存的良好载体。该区分布热导率较低的沉积盖层(如:随县群变质地层、中生代地层),具有较好的封盖条件。以上诸多证据说明该区具有干热岩形成的生、储、盖条件,也是寻找干热岩的理想区域。

据秦岭及南北陆块地区上地幔低阻层与大地热流值分区资料,湖北钟祥、京山、随县为湖北高热流值区($q > 50 \text{ mW/m}^2$)。另外,从图3可看出,该区各类热泉分布广泛,是湖北分布有 $T > 90^\circ\text{C}$ 的中高温地热资源的地区之一。以上两条也是干热岩形成的有力证据。

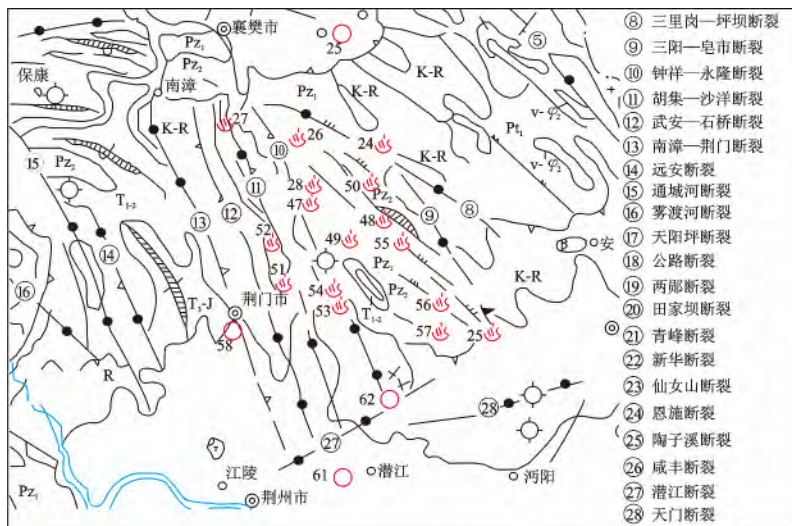


图5 钟祥—京山地区温泉与构造关系图

Fig. 5 Relation graph of thermal spring structure in Zhongxiang-Jingshan area

5 结语

利用航磁异常反演居里面的方法研究,国内地球物理学家早有尝试,其中以侯重初^[8]直接计算磁性下界面深度的功率谱法最为典型。但各种方法反演结果相差较大,甚至有反演的居里面深度超过了莫霍面深度,这显然是不合乎地质逻辑的。本文依据湖北省的航磁资料,采用空间域连续模型居里面反演程序,得出的居里面构造特征与湖北省区域地质情况基本吻合;根据湖北平均地温梯度及居里面平均深度,反算出的居里温度与理论值相符,这说明本次反演采用的技术方法及参数是正确的;另外,最值得一提的是,反演得出的居里面隆起区,竟然与湖北热泉分布高度吻合。以上情况说明,用居里面来揭示地壳的热结构,是科学可行的。

湖北省居里面表现出隆起和凹陷相间的团块状构造,每个构造块体地质特征及地球物理特性上又具有明显的差异,这反映出湖北扬子板块和中央造山带都是由若干小陆块拼合而成,每个小陆块边缘由断裂切割围限,深大断裂往往成为热对流的通道。因此,居里面虽然受到莫霍面的热传导影响,但更重要的是受到地壳断裂热对流所控制,所以从形态上它与地质构造单元并不一一对应(比如:武汉地区为莫霍面隆起区,但它却是居里面凹陷区),它是地壳深部热传导、沿断裂的热对流、局部的放射性热效应和上地幔热辐射的综合作用的结果。

理论上,大陆地壳任何部位都有可能作为干热岩的候选地,但实际开发干热岩的经济可行性因素对选址起着重要影响。如何准确选取最佳钻探与开发地,

仍是干热岩研究的一个前沿性课题。湖北居里面深度超过 20 km 以上,其相对起伏变化范围达 2 ~ 5 km,显然居里面构造特征不能完全反映出干热岩的分布状态,因为目前干热岩的定义只局限于埋深 < 6 km、温度达到 150 ~ 650℃ 之间,能被开发利用的地热异常区。显然,二者并不是一个概念。尽管如此,通过研究居里面特征来揭示出岩石圈的热活动状态,结合区域地质、大地热流值及地表热泉的分布情况,进而预测出相对较浅的、目前能被人类利用的干热岩可能的隐伏位置,对未来寻找、开发利用干热岩具有非常重要的示范和引导意义。

参考文献:

- [1] 张明华,乔计花,黄金明,等. 重磁电数据处理解释软件 RGIS [M]. 北京:地质出版社,2011.
- [2] 袁玉松,马永生,胡圣标,等. 中国南方现今地热特征 [J]. 地球物理学报,2006,49(4):1118-1126.
- [3] 万天丰. 中国大地构造学纲要 [M]. 北京:地质出版社,2004.
- [4] 杨文采,徐纪人,程振炎,等. 苏鲁大别造山带地球物理与壳幔作用 [M]. 北京:地质出版社,2005.
- [5] 李慎和,李进先,尚永宽,等. 秦巴地区伊川—稀归(QB-1)剖面地质、地球物理资料综合研究报告 [R]. 郑州:河南省地矿厅地球物理勘查大队,1993.
- [6] 毛新武,刘早学,何仁亮,等. 1:25 万十堰市幅、襄樊市幅区域地质调查报告 [R]. 武汉:湖北省地质调查院,2008.
- [7] 梁学堂. 鄂北地区推覆构造重磁异常特征 [J]. 物探与化探,2007,31(5):424-429.
- [8] 汪集,胡圣标,庞忠和,等. 中国大陆干热岩地热资源潜力评估 [J]. 地热能,2013(3):3-10.

(责任编辑:陈文宝)

Characteristics of Curie Depth Interface and Distribution Forecast of Hot Dry Rock in Hubei Province

LIANG Xuetao¹, LIU Lei¹, LI Yi¹, WU Jun¹, CHU Deliang², ZHANG Haiqiang¹

(1. Geophysical Exploration Brigade of Hubei Geological Bureau, Wuhan, Hubei 430056; 2. Hubei Geological Environment Station, Wuhan, Hubei 430034)

Abstract: Using the magnetic anomaly data and the spatial domain continuous model, it reveals the characteristics of the block structure of the Hubei Province, which has the characteristics of the uplift and depression in Curie depth interface, and is divided into 4 uplift areas and 4 depressed areas. In general, in the magmatic activity and crustal deep heat conduction, heat tectonic events active area, will lead to the uplift of the Curie depth interface, in a stable platform or cold basin area, will lead to the concave of the Curie depth interface. Because the Curie depth interface roughly reflects the distribution features of the deep crust temperature field, so it will be possible to explain deep thermal structure with using aeromagnetic anomalies, especially circle the concealed location of the hot dry rock.

Key words: aeromagnetic anomaly; Curie depth interface; terrestrial heat flow value; hot dry rock; heat conductivity; geothermal gradient