

利用福建地区磁测资料计算分析居里面深度^{*}

许仪西, 何万平, 洪鹏欣, 周红伟, 陈新泽, 徐立

(福建省地震局 厦门地震勘测研究中心, 福建 厦门 361021)

摘要: 采用2014—2015年福建地区流动地磁观测资料分析福建区域岩石圈磁场变化情况, 利用向上延拓处理方法对福建地区岩石圈磁场变化信息进行了局部与区域异常场分离, 结果表明在漳州南部地区磁异常变化比较明显。基于区域异常场分离结果, 反演居里等温面深度, 初步得到福建地区居里面埋深大约为16~28 km。

关键词: 福建地区; 流动地磁; 岩石圈磁场; 向上延拓; 居里面深度

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)03-0411-05

0 引言

居里等温面, 简称居里面, 也有学者称之为居里深度, 是指磁性岩石在地温的作用下失去铁磁性而变为顺磁性的等温度面, 它反映岩石圈的热状态而非地质构造面, 为磁性体的下界面。居里面作为岩石圈的温度界面, 展示了大陆地壳磁性层以及热流的分布状态, 在大地构造、地震、地热、矿产资源、油气资源以及火山活动等研究中都有非常重要的意义(郝书俭等, 1982; 余兆康等, 1989; 刘沈衡, 申宁华, 1999; 刘益中等, 2012; 熊盛青等, 2014, 2016)。

目前, 计算居里等温面主要是利用航磁图资料或者高精度区域磁测资料。本文主要利用2014—2015年福建地区4期流动地磁观测资料分析获得福建地区岩石圈磁场特征, 通过向上延拓处理分离出福建地区岩石圈磁场的深部与浅部异常场, 利用提取到的地壳中磁性体引起的深部异常信息开展居里面反演。

1 福建地区地震构造环境

福建位于欧亚板块的东南部, 地处太平洋板块向欧亚板块俯冲碰撞带的内侧。区内从沿海到内陆活动断裂带贯穿全省, 具有构造规模大、延伸长、切割深和活动性强的特点。突出的近 NNE

-NE 向展布的断裂带有长乐—诏安断裂带(F_1)、政和—海丰断裂带(F_2)、邵武—河源断裂带(F_3); 主要的 NNW - NW 向断裂有闽江断裂带(F_4)、沙县—南日岛断裂带(F_5)、永安—晋江带断裂(F_6)、九龙江断裂带(F_7) 和上杭—云霄(F_8) 断裂带等。两组断裂交错部位构成福建省陆地上的发震构造。这些 NE 向断裂与 NW 向断裂, 也形成了福建“东西分带, 南北分块”的基本

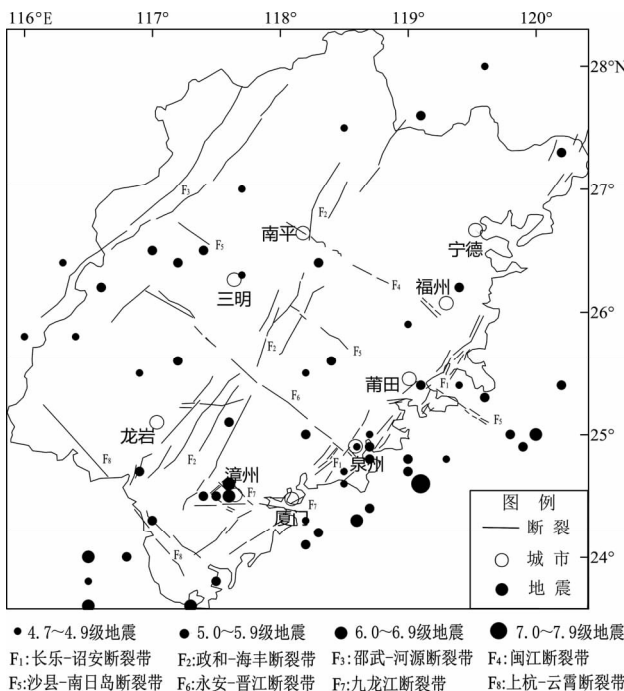


图1 福建地区地震构造示意

Fig. 1 Sketch map of seismotectonics in Fujian region

* 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 2015年度地震行业科研专项经费项目“2015.0年代中国地磁参考场编制”(201508013)和“中国综合地球物理场观测——大华北地区”(201508009)共同资助。

格局，控制着本区域“东强西弱，南强北弱”地震活动性。福建地区地震构造分布图如图 1。

为了探讨居里等温面的分布与地震的关系，表 1 列出了 2007—2016 年发生在福建地区 $M > 4.0$ 地震。

表 1 2007 ~ 2016 年福建地区 $M > 4.0$ 地震
Tab. 1 $M > 4.0$ earthquakes occurred in Fujian area from 2007 to 2016

序号	发震时间	震中位置			震级 (M)
		$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	参考地	
1	2013 - 09 - 04	25. 60	118. 80	仙游县	4. 8
2	2008 - 07 - 05	24. 50	117. 90	长泰县	4. 4
3	2008 - 03 - 06	26. 40	118. 70	古田县	4. 2
4	2007 - 08 - 29	25. 50	117. 80	永春县	4. 5
5	2007 - 03 - 13	26. 70	117. 70	顺昌县	4. 7

2 流动地磁观测概况与资料处理

20 世纪 70 年代初，福建地区开始建立了流动地磁监测网，开展了流动地磁总强度 (F) 观测。2008 年汶川 8.0 级特大地震后，福建省地震局加强流动地磁前兆观测，加密测点，并优化地磁观测网，使之能更好地反映区域地磁场的变化特征。

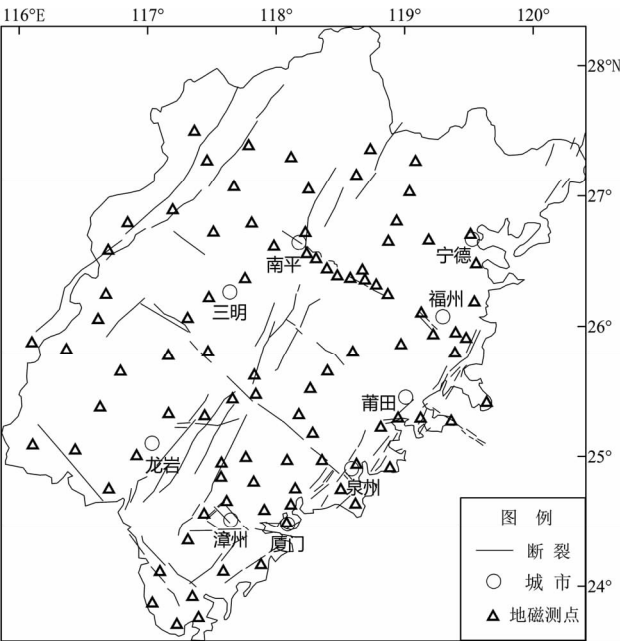


图 2 福建地区流动地磁测点分布
Fig. 2 Distribution of mobile geomagnetic surveying points in Fujian area

目前，福建地区共有 95 对磁测点，每年于 3 月和 9 月进行 2 期复测，测点覆盖福建省陆域大部分地区，基本上控制了本地区的主要构造断裂，测点分布详见图 2。

地磁测量采用 GSM - 19T 质子旋进磁力仪，野外观测采用交换比测法，即在每个测点上架设两台仪器于主副测桩上同时观测，然后交换仪器再同时进行观测，并求取仪器差和桩位差，以控制观测环境和仪器工作性能的变化。对所得数据进行统一计算处理，地磁日变通化的改正采用泉州基准地磁台的观测分钟值，地磁长期变化的改正采用“中国地区地磁场长期变化 NOC 模型”（顾左文等，2009；陈斌，2011；倪喆等，2014），并将上述地磁数据统一归算至 2010.0 年。2014—2015 年 4 期流动地磁观测资料的通化精度较高（表 2），说明使用的观测资料及其处理结果是可靠的。

表 2 福建地区地磁总强度的通化精度
Tab. 2 Reduced accuracy of geomagnetic total intensity in Fujian area

观测时间	使用仪器	通化台站	通化精度/ nT
2014 - 03	GSM - 19T (660/701/365)	泉州基准台	0. 19
2014 - 09	GSM - 19T (660/701/365)	泉州基准台	0. 17
2015 - 03	GSM - 19T (660/701/365)	泉州基准台	0. 15
2015 - 09	GSM - 19T (660/701/365)	泉州基准台	0. 09

3 居里面深度计算及特征

3.1 区域性磁性体的磁异常信息提取

地磁内源场由主磁场和岩石圈磁场组成，获取岩石圈磁场需要从地磁内源场中剥离掉由核幔边界磁流体发电机产生的主磁场。本文选取第 12 代国际地磁参考场（IGRF12）作为主磁场模型，通过对其剥离获得该地区的岩石圈磁场。

向上延拓是常用的重磁数据处理方法，主要用来削弱局部异常，突出深部异常，小而浅的地质体比大而深的地质体的地磁场随距离衰减快，可用向上延拓压制局部异常的干扰，反映深部大的地质体的场（裴建新等，2007）。因此，通过向上延拓得到深部地质体产生的区域场（俗称深部场），利用差值场方法从岩石圈磁场变化信息中分

离出局部场（俗称浅部场），即将原平面岩石圈磁场信息作向上延拓处理得到区域场，把原平面值与向上延拓场相减得到浅部地质体的局部场。

通过对 2014—2015 年福建地区 4 期地磁总强度 (F) 观测资料的处理，得到岩石圈磁场的信息，进行不同深度的向上延拓处理（本文给出图像为向上延拓 5 km），分离出福建地区岩石圈磁场变化的浅部与深部异常场，并绘制出该地区岩石圈磁场浅部和深部异常场的空间分布，如图 3 所示，限于篇幅，文中只给出 2015 年 3 月的结果。

从分离出福建地区岩石圈磁场浅部场的空间分布看（图 3a），在 4 期的观测结果中浅部磁场分布形态基本保持不变，相对稳定，大部分地区浅部磁场幅值变化在 $-40 \sim 40$ nT 之间，除了说明浅部地质体相对稳定外，也说明野外测点的观测环境较稳定。磁场幅值较大且存在正负异常交错分布的区域主要在漳州地区和莆田—泉州交界地区，另外在 NW 向闽江断裂带上磁场等值线分布比较密集，呈现正负异常交替变化。

从分离出福建地区岩石圈磁场深部场的空间分布看（图 3b），在 4 期的观测结果中深部磁场

分布形态也基本保持不变，大部分地区深部磁场的幅值变化在 $-60 \sim 40$ nT 之间，但是出现了几个较显著的异常场区。一是福建沿海南部漳州地区，该区域呈现磁场负 - 正 - 负异常的高幅值变化，处于 NE 向长乐—诏安断裂带、邵武—河源断裂带与 MR 向的九龙江断裂、上杭—云霄断裂的切割区块。即在九龙江断裂的北边和上杭—云霄断裂的南边出现负值变化，在这 2 条断裂的中段出现正值变化。二是福建沿海中部莆田—泉州交界地区，该区域呈现负 - 正异常的高幅值变化，处于 NE 向长乐—诏安断裂带与北西向沙县—南日岛断裂、永安—晋江断裂的切割区块。在沙县—南日岛断裂带上负值变化较为明显。三是福建沿海北部宁德地区，该区域测点偏少，其结果可能差异较大。

从以上特征分析反映出，3 条 NE 向断裂岩石圈磁异常显著性和幅值均自西向东逐步增加，变化显著区域主要在 NE 向与 NW 向断裂的交汇处，在 NE 向长乐—诏安断裂带上尤为明显。与福建地区地震活动性自西向东逐步增强、地震多数发生在 NE 向与 NW 向断裂交汇处的现象相一致。

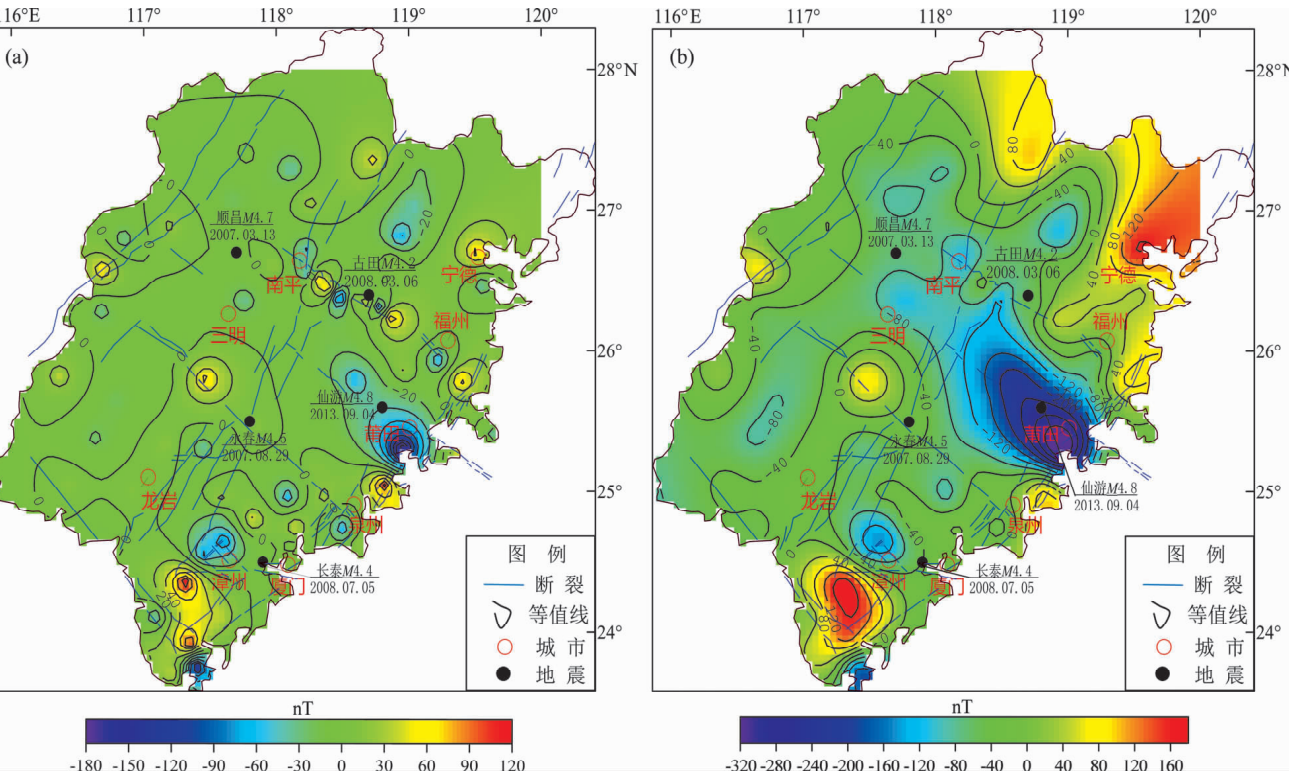


图 3 2015 年 3 月福建地区岩石圈磁场浅部场 (a) 及深部场 (b) 分布特征
Fig. 3 The characteristic of the shallow (a) and the deep (b) lithosphere magnetic fields in Fujian area on March, 2015

3.2 居里面深度的反演

居里面深度的反演计算采用中国地质大学(武汉)编制的 GMS4.0 软件, 给定了平均磁化强度 $1\,500\times 10^{-3}\text{ A/m}$ 和平均居里面深度 10 km, 向上延拓取 5 km, 利用近似线性反演公式, 把居里面相对于平均深度的起伏表示为有限富里叶级数, 利用最小二乘法求得居里面深度。图 4 为 2015 年 3 月福建地区居里等温面深度分布情况。

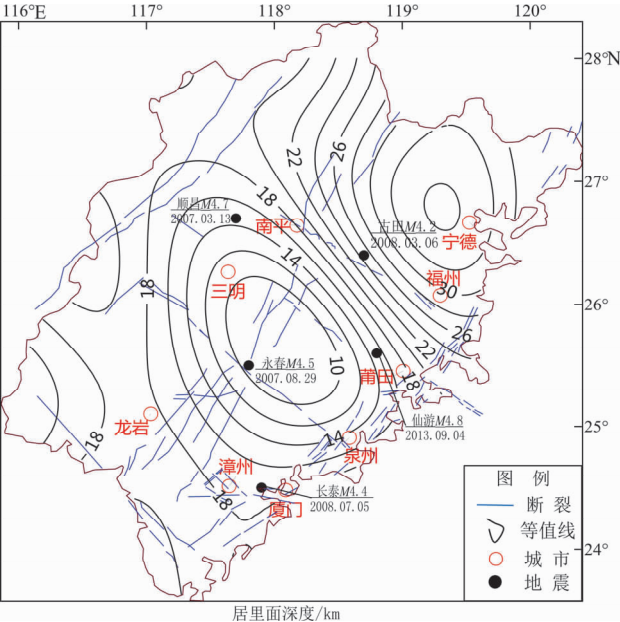


图 4 2015 年 3 月福建地区居里等温面深度的分布
Fig. 4 Distribution of Curie isotherm surface depth in Fujian area on March, 2015

3.3 居里等温面特征

由图 4 可见, 福建地区居里等温面的起伏变化是较大的, 大致在 16~30 km 范围内, 该结果与熊盛青等 (2016) 计算的结果 18~28 km 相近。本地区居里等温面的起伏近北东、北向走向, 与本区的地质构造线大致相符。在闽江断裂带上有较明显的居里等温面的梯度带, 这个区域主要位于福建的水口库区, 当时为了加强监测布设了较多的地磁测点。福建南部、西南部地区居里面深度变化幅度比较平缓, 在漳州—厦门平原地带尤为明显。在福建中部和东北部存在居里等温面的隆起区和凹陷区。戴云山脉为福建第二大山脉, 横贯福建中部地区, 地势高、山体宽, 戴云山脉主脊座落在泉州市德化县赤水镇境内, 主峰海拔 1 856 m, 雄伟挺拔, 气势磅礴, 素称“闽中屋脊”。在福建中部和东北部地区由于山势险要、交通不

便, 野外地磁观测点偏少, 福建居里面深度的计算结果可能会存在一定的偏差, 有待今后继续开展观测与研究。

从图 4 还可以看出, 地震的分布与居里等温面的变化有一定的对应关系, 大部分地震都发生在居里等温面的梯度带上。

4 结论与讨论

本文采用 2014—2015 年福建地区流动地磁总强度观测资料, 得到了该地区岩石圈磁场变化, 并利用向上延拓的处理方法分离出该岩石圈磁场变化的局部与区域异常场, 进而反演居里等温面深度。结果发现这些磁异常与地质构造的分布、地震活动性有一定的关系。

(1) 对高精度地磁观测资料进行处理, 提取地壳中磁性体引起的深部异常信息, 进而求得居里等温面的深度分布的方法是可行的, 地震的分布与居里等温面的变化有一定的对应关系, 大部分地震都发生在居里等温面的梯度带上。但由于观测测点密度不够、浅源异常的影响不能完全消除, 因而反演的居里面的深度可能有所偏差, 还有待进一步研究。

(2) 地磁场的变化异常, 尤其是梯级带, 体现了地下磁化率结构的差异性, 磁化率结构的差异性通常伴生温度梯度带的产生, 这一现象在闽江断裂带表现较明显, 可能因为在水口库区测点较密, 形成一个剖面观测条带。因此, 开展地磁剖面观测一定程度上也可以判断断裂的一些特征。

参考文献:

陈斌. 2011. 自然正交分量方法在地震地磁监测中的应用[J]. 地震研究, 34(4): 466–469.
顾左文, 陈斌, 高金田, 等. 2009. 应用 NOC 方法研究中国地区地磁时空变化[J]. 地球物理学报, 52(10): 2602–2612.
郝书俭, 高华根, 王春华, 等. 1982. 京津唐地区居里等温面及其与地震的关系[J]. 地球物理学报, 25(3): 264–269.
刘沈衡, 申宁华. 1999. 岩石圈居里等温面解释的若干问题[J]. 长春科技大学学报, 29(4): 373–376.
刘益中, 李成立, 周锡明, 等. 2012. 区域航磁资料在预测松辽盆地北部区域地温场中的应用[J]. 地球物理学报, 55(3): 1063–1069.
倪喆, 陈双贵, 袁洁浩, 等. 2014. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈磁场异常变化研究[J]. 地震研究, 37(1): 61–65.
裴建新, 韩波, 张训华, 等. 2007. 小波分析与解析延拓方法相结合研究东海深部构造[J]. 海洋地质与第四纪地质, 27(1): 55–59.

熊盛青,丁燕云,李占奎,等. 2014. 中国陆域磁性基底深度及其特征 [J]. 地球物理学报,57(12):3981 – 3993. 地球物理学报,59(10):3604 – 3617.
余兆康,史磷华,王屏路,等. 1989. 福建地区的居里等温面及其与地震关系[J]. 台湾海峡,8(4):338 – 344.
熊盛青,杨海,丁燕云,等. 2016. 中国陆域居里等温面深度特征[J].

Curie Isotherm Depths in Fujian Area Calculated
and Analyzed by the Magnetic Data

XU Yixi, HE Wanping, HONG Pengxin, ZHOU Hongwei, CHEN Xinze, XU Li
(Xiamen Research Center of Seismology Survey, Fujian Earthquake Agency, Xiamen 361021, Fujian, China)

Abstract

Using the geomagnetic data recorded by mobile geomagnetic measuring in the Fujian area during 2014 and 2015, we obtained the variations of the lithosphere magnetic field. Upward continuation has been used as a method to separate the local and regional anomaly field. The results show that there were obvious geomagnetic anomalies in southern Zhangzhou. Based on the results of regional anomaly field, the Curie isothermal depth inversion was carried out. The results show that the Curie isothermal depth is approximately 16 ~ 28 km in Fujian.

Keywords: Fujian area; mobile geomagnetic; lithosphere geomagnetic field; upward continuation; Curie isothermal depth