

东大别地磁剖面磁异常的匹配滤波分析与地震研究

徐如刚¹, 张毅¹, 王雷¹, 朱志春¹, 顾左文²

(1. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031; 2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要:利用匹配滤波方法对东大别造山带内的六安—英山、白塔畈—无为、金寨青山—万佛湖三条地磁剖面异常数据进行局部与区域异常场分离;基于区域异常场分离结果利用近似线性反演方法对各剖面的居里面埋深进行了定量计算;并结合构造及地震资料对东大别造山带内的地震活动与居里面的关系及其地震成因机制进行了初步研究。结果表明:剖面磁异常曲线较好地反应出研究区构造基底性质之间的差异性,与居里面埋深呈现出较好的镜像关系;居里面的起伏较大约为14 km,埋深最浅处位于霍山地区;地震空间分布与居里面相关,主要发生在居里面的梯度带上;居里面梯度带之间的温度差异形成的热应力可能是霍山地区地震发生的直接动力源。居里面反演结果也为晓天—磨子潭断裂下方莫霍面垂向错断提供了证据。

关键词:东大别造山带;匹配滤波;居里面;磁异常;地震成因

中图分类号: P318.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2012)04-0383-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2012.04.0383

Matched-filter Analysis of Geomagnetic Profile Anomaly in Eastern Dabie Orogenic Belt and Research on Seismic Activity

XU Ru-gang¹, ZHANG Yi¹, WANG Lei¹, ZHU Zhi-chun¹, GU Zuo-wen²

(1. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China;

2. Institute of Geophysics, China Seismological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Using matched-filter method, the geomagnetic anomaly data from profiles of Luan—Yingshan (I), Baitafan—Wuwei (II) and Jinzhaiqingshan—Wanfuhu (III) in Eastern Dabie Orogenic belt are processed, the local anomalous field is extracted from regional field. Based on regional anomalous field, the buried depth of Curie surface along profiles are calculated using the approximate linear inversion method. Combined with the geological results and earthquakes distribution in this area, the relations between seismic activity and Curie surfaces, and the seismogenesis mechanism are researched preliminarily. The results show that the curves of geomagnetic anomaly exhibit the various characteristics and differences of structural basements of different profiles, existing apparent mirror image relationship with the depth of Curie surfaces. Fluctuation of Curie surface in the area is about 14 km, the lowest position is at Huoshan, where is the intersection part of profile I and III. The corresponding relation between earthquakes distribution and Curie surface is apparent, most earthquakes occur on gradient zone of Curie surface. Thermal stress generated from temperature difference of gradient zone might be direct dynamic sources of Houshan area. The inversion result of Curie surface provide proof for offset on Moho along Xiaotian—Muzitan Fault.

Key words: Eastern Dabie Orogenic Belt; Matched filter; Curie surface; Geomagnetic anomaly; Seismogenesis

收稿日期: 2012-03-28

基金项目: 中国综合地球物理场观测目(201208009)

作者简介: 徐如刚(1980—), 男(汉族), 安徽滁州人, 硕士, 工程师, 现从事重力、地磁数据处理及地震监测工作。

0 引言

东秦岭—大别—苏鲁造山带是华北—扬子陆块之间的陆—陆碰撞造山带^[1-3]。大别造山带位于中央造山带的东段,是秦岭—大别—苏鲁造山带的重要组成部分。20 世纪 80 年代,由于超高压变质岩,特别是大量出露柯石英^[4]和微粒金刚石^[5]的发现,大别造山带超高压变质作用及其动力学问题成为地质学界研究的热点,吸引了国内外众多科学家的广泛的兴趣^[6-8]。90 年代中期以来,地质学家从岩石学、地球化学等多方面研究大别造山带的超高压变质作用及地球动力学,取得了大量的研究成果^[9-12],同时以地震方法为主的地球物理探测、大地电磁方法提供了大别造山带地壳速结构、莫霍面起伏及电性结构特征的重要信息,为认识大别造山带深部结构提供了重要的研究成果^[13-20]。但是,利用重力、地磁地球物理场探测方法在大别造山带开展深部构造及动力学过程的研究甚少^[21]。

本文旨以贯穿东大别造山带内的六安—英山、

白塔畈—无为、金寨青山—万佛湖三条地磁剖面磁异常数据为基础,利用匹配滤波方法对地磁观测数据进行局部与区域异常场分离,基于区域异常场分离结果利用近似线性反演方法,对三条剖面的居里面埋深进行定量地计算,并结合研究区域内已有的研究成果、地震资料,对东大别造山带内的地震活动与居里面的关系及其地震成因机制进行初步研究,并从地磁探测角度为东大别造山带的结构和动力学研究提供深部证据。

1 构造背景、地磁剖面布设

2010 年 11 月,安徽省地震局在东大别造山带内布设了三条地磁剖面,点位分布如图 1 所示。研究区域南、北方向分别以襄樊—广济断裂、六安—合肥断裂为界,与扬子陆块和合肥盆地相接;东、西方向分别以乌江—罗昌河断裂、麻城—商城断裂为界,与秦岭—苏鲁造山带相邻。

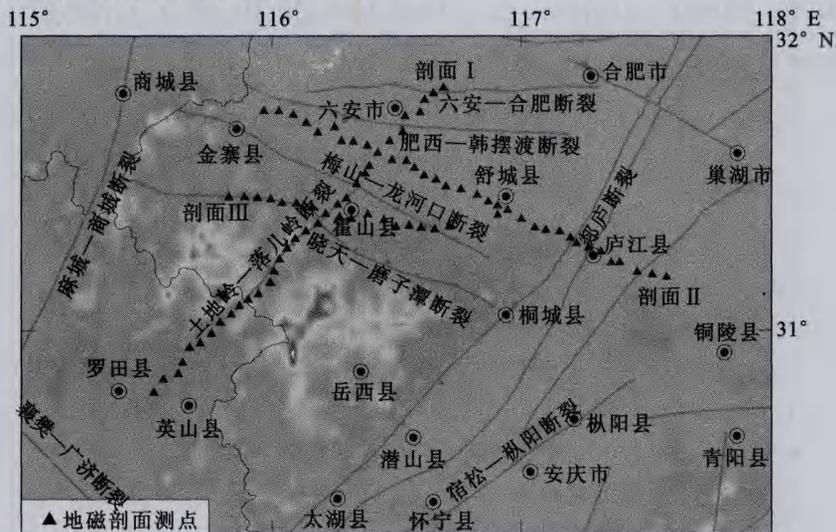


图 1 东大别造山带地磁剖面分布及构造背景

Fig. 1 Distribution of geomagnetic profiles and tectonic background in Eastern Dabie Orogen.

六安—英山剖面 (I) 全长约 180 km, 方向 SSW, 布设总强度测点 33 个。剖面由北起始于华北地块南缘, 贯穿北淮阳构造带, 向南延伸至东大别造山带, 与土地岭—落儿岭断裂平行, 跨越晓天—磨子潭、梅山—龙河口、肥西—韩摆渡断裂。白塔畈—无为剖面 (II) 全长约 190 km, 走向 SEE, 布设总强度测点 35 个。剖面位于晓天—磨子潭断裂与梅山—龙河口断裂之间, 跨越土地岭—落儿岭及庐庐断裂。金寨青山—万佛湖剖面 (III) 全长 90 km, 方向近 EW, 位于晓天—磨子潭、梅山—龙河口断裂之

间, 近乎与晓天—磨子潭平行, 布设总强度测点 18 个。

2 数据采集及资料处理

剖面测点野外总强度数据、测点坐标数据的采集分别由 G856AX 质子旋进式磁力仪和星站 SF2050 差分 GPS 完成。对获取的剖面总强度观测数据进行日变化通化、长期变通化改正、化极、局部与区域磁异常场的分离处理。

2.1 数据通化

(1) 选择地磁剖面观测期间的磁静日作为地磁数据通化日^[22],使用蒙城地磁台的地磁连续观测分均值数据进行日变通化改正,日变改正的总强度通化均方误差小于1.5 nT;

(2) 基于“1995.0—2010.0 中国地区地磁基本场长期变化6阶NOC非线性模型”,对经日变化通化改正后的观测数据进行长期变通化改正,通化至2010.0年代;

(3) 以《2010.0 中国地磁图》曲面样条模型计算值作为地磁正常场,对剖面地磁观测数据进行主磁场剥离,获取各剖面的岩石圈磁异常场。

2.2 剖面磁异常数据匹配滤波处理

根据前人的研究经验^[23],匹配滤波法是区分局部和区域磁异常场的有效手段之一。此方法为一个低通滤波器,有一个较为复杂的匹配滤波器。与向上延拓方法不同之处在于,提取高频成分时不会放大导致高频成分的振荡效应。本次研究采用匹配滤波法对东大别造山带内的三条经过通化处理、主磁场剥离和化极后的剖面数据进行局部和区域地磁异常场分离。该方法的基本原理见文献^[24],文中仅给出对数功率谱曲线拟合得到的直线斜率、局部和区域异常场分离的最佳深度变化关系公式:

$$H = -\frac{\Delta x \times k}{4\pi}$$

其中 H 为局部和区域异常场分离的最佳深度; Δx 为点距; k 为对数功率谱曲线拟合得到的直线斜率。根据剖面的对数功率谱确定了研究区域匹配滤波最佳平均尺度为5 km,分离出了三条剖面的区域磁异常场,如图2所示。

2.3 居里面反演计算

基于匹配滤波法分离的区域地磁异常场结果,使用连续模型法及Peters的近似线性反演公式^[24],把居里面的相对于平均深度的起伏表示为有限项傅里叶级数,使用最小二乘法求得相对起伏深度的傅里叶级数即可计算出剖面的居里面埋深。反演计算过程中居里面的平均埋深取为24 km、平均磁化率取值为 2.800×10^{-3} A/m,傅里叶谐波次数取为2次。

3 剖面磁异常变化特征解译

磁异常反映了地壳中、深部介质与磁性构造属性的信息,其形态、走向及结构在一定程度上可作为推断基底构造性质、断裂走向,不同构造单元与边界带的依据^[25]。基于各剖面磁异常变化特征曲线分

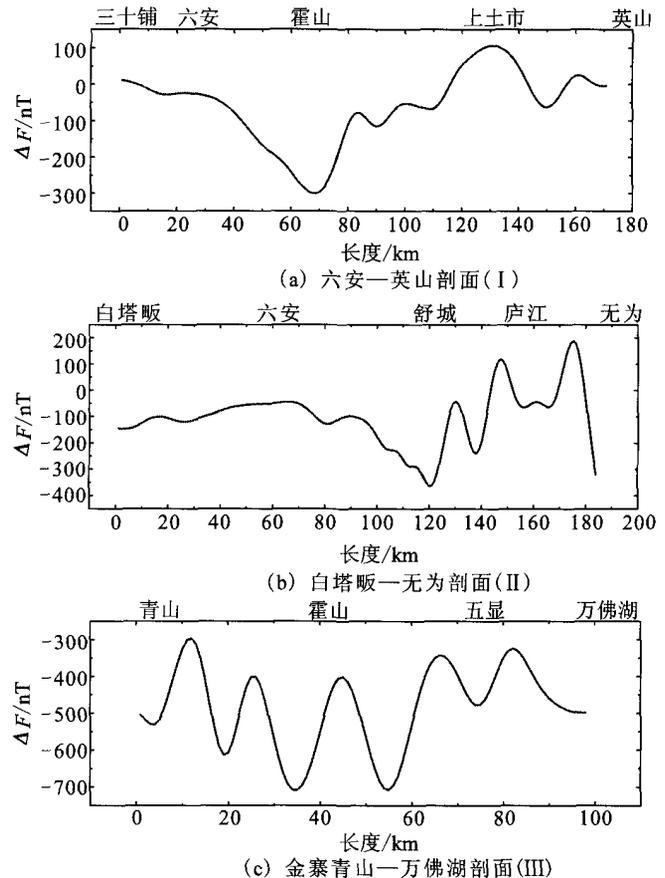


图2 各剖面磁异常变化曲线

Fig. 2 Geomagnetic anomaly curves of geomagnetic profiles.

析发现,剖面磁异常变化曲线表现出不同的特征。

剖面I磁异常变化曲线显示,在上土市、霍山两处存在磁异常陡变带,其中霍山附近的磁异常变化最为剧烈,极值异常接近300 nT,表明存在断裂构造。由图1可知,两处陡变带分别对应于梅山—龙河口、晓天—磨子潭断裂。磁异常变化曲线直观地将剖面分为三段:英山至上土市段,呈高值异常分布并伴随一定起伏,反映出该段基底岩系磁性较强,基底构造相对连续;上土市至霍山段,异常起伏较为剧烈,表明该段基底构造较为破碎,两侧区域的磁异常变化剧烈,区域磁性构造与两侧差异较大;霍山至三十铺段,总体表现平缓,由南向北缓慢上升,反映出该段基底岩系磁性较弱,基底构造相对连续。

剖面II磁异常变化曲线在舒城和庐江之间产生异常幅度较大的陡变带,变化幅度达500 nT,表明该段跨越不同的地质构造单元,存在断裂构造。极值异常对应于郟庐断裂带,异常曲线显示出郟庐断裂带内外两侧的磁异常变化差异较为显著。剖面磁异常曲线大致可分为磁异常曲线形态截然不同的两段:白塔畈至舒城段的磁异常整体变化较为平缓,起

伏较小,磁异常不发育,显示出该段基底岩系磁性较弱,埋藏较深,基底构造相对连续,磁性基底略有起伏;庐江至无为段的磁异常起伏较为剧烈,异常幅度明显弱于陡变带,反映出该段基底岩系的性质较大差异,磁性基底破碎。

剖面Ⅲ磁异常曲线整体表现为负磁异常背景下的呈现规律性的谐波状起伏变化,极值异常变化幅度约为 400 nT。曲线整体显示晓天一磨子潭断裂两侧之间的磁性构造差异较大:青山至霍山段异常幅值较低,呈现缓降—缓升趋势,显示不同磁性地质体间隔分布;霍山至万佛湖段,磁异常呈现出整体抬升,起伏变化减弱。

4 居里面与地震活动的关系分析

居里面反映了地壳深部的温度场,而地壳深部热运动与地震活动性密切相关^[26-27]。因此研究居里面不但可以了解地温梯度研究地热演化、地壳深部结构,而且对进一步全面认识地震孕育的深部构造背景环境有重要的意义。为此以研究区域 116.52°E,31.21°N 为中心 105 km 为半径的区域内地震为对象,将 1990 年 1 月 1 日—2012 年 2 月 1 日 $M_L \geq 2.0$ 地震分别向各地磁剖面进行投影。结合剖面磁异常反演所得居里面以及研究区域的相关研究成果给出了居里面埋深与地震分布,如图 3 所示。

经初步探讨,得出如下方面的认识:

(1) 居里面埋深定量反演计算结果显示研究区域内的居里面埋深起伏较大,变化幅度约 14 km。六安—英山剖面居里面平均埋深约为 24 km,剖面纵穿合肥盆地、北淮阳及东大别造山带,起伏较大约为 11 km,其中位于霍山地区下方的居里面埋深起伏最大,地震事件也最为密集;横穿合肥盆地及郟庐断裂带的白塔畈—无为剖面居里面埋深起伏最大约 14 km,位于郟庐断裂两侧的居里面埋深起伏最大;金寨青山—万佛湖剖面居里面埋深起伏约为 12 km,居里面埋深反演结果与研究区域的航磁资料计算所得的居里面埋深相一致^[28]。

(2) 剖面磁异常变化曲线与其对应的居里面反演结果呈现出较好的镜像关系。

(3) 通过对三条剖面的居里面埋深的综合分析发现,东大别造山带内居里面自西向东、自南向北逐渐抬升,合肥盆地内居里面由北往南逐渐抬升,六安—英山、金寨青山—万佛湖剖面相交处的霍山地区下方的居里面埋深最浅、起伏较大。

(4) 通过研究区域的地震分布与居里面埋深的

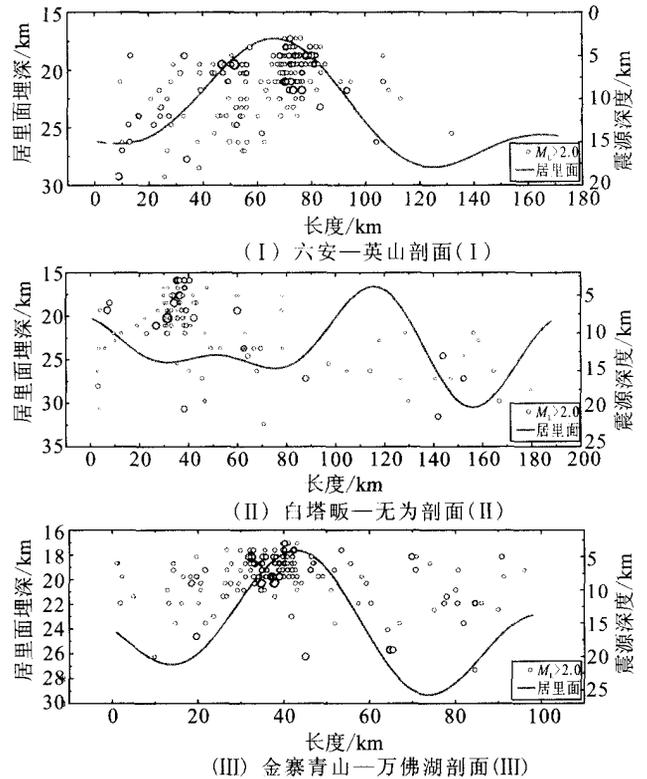


图 3 居里面埋深与地震分布

Fig. 3 Depth of Curie surface and earthquakes distribution along the profiles

分布关系分析发现二者存在着较为密切的关系,大部分地震的分布主要集中在居里面发生扭折的部位,如霍山地区下方区域。

5 讨论与结论

通过匹配滤波法对东大别造山带内的六安—英山、白塔畈—无为、金寨青山—万佛湖三条剖面观测数据进行局部和区域异常场分离,获取了磁异常变化曲线,并以此为基础反演计算了研究区域居里面埋深,结合研究区域内的地震活动及已有的地质研究成果,初步探讨了研究区域的地震成因、深部动力学环境及其与居里面关系,并得出如下认识:

(1) 各剖面磁异常变化曲线呈现出不同的特征,研究区磁异常变化幅度较大,尤其在深大断裂两侧如郟庐断裂带、晓天一磨子潭断裂带两侧产生异常幅更大的陡变带。磁异常变化特征曲线较好的反映出东大别造山带内构造基底性质之间的差异性。

(2) 六安—英山、金寨青山—万佛湖剖面交汇部位霍山地区下方的居里面埋深最浅同时地震事件也最为密集,考虑影响居里面埋深的主要因素、研究区域的地质构造及剖面的具体分布位置,推测霍山地区下方构造区的深部可能存在地幔热流上涌的通

道,热流上涌是造成该区域居里面隆起的主要原因,而切穿大别山碰撞造山缝合带的晓天—磨子潭断裂^[19]则可能为热流的上涌提供了交换通道。

(3) 地震是在区域构造应力及深部流体的巨大能量转换过程,由于震源区岩石在弹性形变临界时突然发生破裂而能量释放的结果^[26]。位于震源区附近居里面拗陷区的地壳块体温度相对偏低,为地壳中的“硬块体”,岩石塑性差,构造应力易于集中。震源区附近的居里面隆起区温度较高,为地壳中的“软块体”,岩石塑性强,为地震孕育过程中的岩石错动及能量的释放提供了调整单元^[29]。

(4) 若取居里面温度为 600 °C,高温区、低温区埋深分别为 17 km、30 km,则两个区域的平均温度梯度分别为 35 °C 和 20 °C,由此在 10 km 以下深度上将会产生 100~200 °C 的温差,由温差产生的热应力关系式^[30]

$$\sigma_T = 0.1\alpha E\Delta T$$

可计算出上述区域温差将产生与引起岩石破裂力同量级的热应力。因此,居里面梯度区之间的温度差异有利于热应力的形成,在热应力和区域构造应力的共同作用下促使深部介质运移,进行能量转换,从而易于地震的发生。剖面居里面反演结果显示霍山构造区下方为地壳中的“软块体”,利于能量的积累、调整和释放,使得该区域内的中小地震活动频次和强度显得甚为突出。

[参考文献]

- [1] 王清晨,孙枢,李继亮,等. 秦岭的大地构造演化[J]. 地质科学, 1989, (2): 129-142.
- [2] 路凤香,张本仁,韩吟文,等. 秦岭—大别—苏鲁地区岩石圈三维化学结构特征[M]. 北京:地质出版社, 2006: 1-4.
- [3] 江来利,吴维平,储东如. 大别造山带东段扬子陆块和华北陆块间缝合带的位置[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2005, 30(3): 264-273.
- [4] WANG Xiaomin, Liu J G, Mao H K. Coesite-bearing eclogite from Dabie Mountains in central China[J]. *Geology*, 1989, 17: 1085-1088.
- [5] XU Shutong, Okay A I, Ji Shouyuan, et al. Diamonds from Dabie Shan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting[J]. *Science*, 1992, 256: 80-82.
- [6] Okay A I, Sengor A M C. Evidence for intracontinental thrust-related exhumation of the ultra-high pressure rocks in China[J]. *Geology*, 1992, 20(5): 411.
- [7] 徐树桐,江来利,刘怡灿,等. 大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程[J]. 地质学报, 1992, 66(1): 1-15.
- [8] 从柏林,王清晨. 大别山—苏鲁超高压变质带研展[J]. 科学通报, 1999, 44(11): 1127-1141.
- [9] 刘若新,樊祺诚,李惠民,等. 大别山碧溪岭石榴橄榄岩—榴辉岩体的原岩性质及同位素年代学的启示[J]. 岩石学报, 1995, 11(3): 243-256.
- [10] 徐树桐,苏文,刘怡灿,等. 大别山北部榴辉岩的发现及其岩相学特征[J]. 科学通报, 1999, 44(13): 1452-1456.
- [11] 张本仁,张宏飞,高山. 大别造山带现今地壳结构—岩石组成研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(3): 187-193.
- [12] 李曙光. 大陆俯冲化学地球动力学[J]. 地学前缘, 1998, 5(4): 211-230.
- [13] 董树文,孙先如,张勇,等. 大别山碰撞造山带基本结构[J]. 科学通报, 1993, 38(6): 542-545.
- [14] 王椿镛,张先康,陈步云,等. 大别造山带的地壳结构研究[J]. 中国科学(D), 1997, 27(3): 221-226.
- [15] 董树文,吴宣志,高锐,等. 大别造山带地壳速度结构与动力学[J]. 地球物理学报, 1998, 41(3): 349-361.
- [16] 杨文采. 东大别超高压变质带的深部构造[J]. 中国科学(D), 2003, 33(2): 183-194.
- [17] 刘福田,徐佩芬,刘劲松,等. 大陆深俯冲带的地壳速度结构——东大别造山带深地震宽角反射 P 波折射研究[J]. 地球物理学报, 2003, 46(3): 366-372.
- [18] 赵志新,徐纪人,许志琴. 上地幔三维 S 波速度结构与大别苏鲁超高压变质带俯冲折返机制探讨[J]. 岩石学报, 2004, 20(1): 157-164.
- [19] 徐树桐,袁学诚,吴维平,等. 大别山黄石六安反射地震剖面新的地质解释[J]. 地质通报, 2008, 27(1): 19-26.
- [20] 肖骑彬,赵国泽,詹艳,等. 大别山超高压变质带深部电性结构及其动力学意义初步研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(3): 812-822.
- [21] 杨文采,方慧,程振炎,等. 苏鲁超高压变质带北部地球物理调查(II)——非地震方法[J]. 地球物理学报, 1999, 42(4): 508-519.
- [22] 徐如刚,张毅,顾春雷,等. 九江—瑞昌 M_s5.7 地震前后地磁场水平分量异常追踪与分析[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(4): 1175-1179.
- [23] 穆石敏,申宁华,孙运生. 区域地球物理数据处理方法及其应用[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1990.
- [24] 刘天佑. 重磁勘探软件手册 GMS3.0 方法原理[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2009: 80-84.
- [25] 管志宁,郝天珧,姚长利. 21 世纪重力与磁法勘探[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(2): 237-244.
- [26] 张先,刘敏,赵丽,等. 华北地区壳内磁性构造与地震的探讨[J]. 地震, 2000, 20(4): 50-56.
- [27] 邵世德,严晓红. 安徽省及邻区居里面的地质分析[J]. 合肥工业大学学报, 1992, 15(2): 100-105.
- [28] 黄兆熊,高德章. 上海及其邻域居里面与地震活动趋势[J]. 地震学报, 1992, 14(3): 363-365.
- [29] 郭增建,秦保燕. 震源物理[M]. 北京:地震出版社, 1979, 35-52.
- [30] 郝书俭,高华根,王春华. 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, 1982, 25(3): 264-269.