

顾春雷,张毅,徐如刚,等.地震前后岩石圈磁场变化特征分析.地球物理学进展,2010,25(2):472~477,DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.02.013.

Gu C L, Zhang Y, Xu L G, et al. Analysis of the variation characteristic in the lithospheric geomagnetic field before and after earthquakes. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2010, 25(2):472~477, DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.02.013.

地震前后岩石圈磁场变化特征分析

顾春雷^{1,2}, 张毅², 徐如刚², 王雷²

(1. 中国科学技术大学地球与空间科学系, 合肥 230026; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031)

摘要 本文以九江—瑞昌 $M_s 5.7$ 级地震和汶川 $M_s 8.0$ 级地震为研究对象, 根据两个震区地震后观测所得地磁场三分量数据和“2005.0 中国地磁图”项目所积累的地磁场三分量数据, 建立了两个震区的岩石圈磁场模型. 通过对比分析两个震区岩石圈磁场总强度、磁偏角、磁倾角三个独立分量地震前后的时空变化特征, 初步探讨地震与岩石圈磁场变化关系, 寻找有效震磁变化信息. 结果表明: (1) 两次震中均位于岩石圈磁场的磁偏角和磁倾角零值线附近; (2) 震后震中百公里范围内岩石圈磁场分量均出现了不同程度的异常变化; (3) 震中附近岩石圈磁场出现了明显的与地震相关的变化, 该变化在两个震区表现出相近的规律性.

关键词 岩石圈磁场, “2005.0 中国地磁图”震磁异常, 九江—瑞昌地震, 汶川地震

DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.02.013

中图分类号 P315

文献标识码 A

Analysis of the variation characteristic in the lithospheric geomagnetic field before and after earthquakes

GU Chun-lei^{1,2}, ZHANG Yi², XU Ru-gang², WANG Lei²

(1. College of Earth and Space Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract This paper focuses on the geomagnetic field variation produced by lithosphere before and after the $M_s = 5.7$ Jiujiang-Ruichang earthquake and the $M_s = 8.0$ Wenchuan earthquake. According to the three-component survey data after these earthquakes and “2005.0 China Geomagnetic Chart” before the earthquakes, lithospheric geomagnetic field models of the two research regions are established. The relations between the earthquakes and different components of the geomagnetic field are preliminarily researched, by comparing and analyzing the variation characteristics of the geomagnetic field (F , D , I ,) in the Jiujiang-Ruichang and Wenchuan region. The results show that two earthquake epicenters are located in the vicinity of declination and inclination zero line. After the earthquakes, different components of the geomagnetic field produce different abnormal changes. There are some obvious changes of the geomagnetic field related with the earthquakes in the vicinity of epicenters, and the changes of two earthquake regions have similar regularity.

Keywords geomagnetic lithosphere field, “2005.0 China Geomagnetic Chart”, seismic magnetic anomalies, Jiujiang-Ruichang earthquake, Wenchuan Earthquake

0 引言

地磁场由主磁场、岩石圈磁场、变化磁场和感应

磁场四大部分组成^[1~4], 传统的震磁效应分析多是以地磁基本场为研究对象, 地磁基本场包含主磁场与岩石圈磁场, 且主磁场占绝大部分. 多数地震的发

收稿日期 2009-08-15; 修回日期 2009-12-20.

基金项目 地震行业科研专项“2007-08-011”资助.

作者简介 顾春雷, 男, 1982 生, 在读硕士生, 主要从事地震监测、分析等工作. (E-mail: gucl@mail.ustc.edu.cn)

生位于地壳和上地幔顶部,即岩石圈内,利用主磁场占绝大部分的地磁基本场来分析震磁效应,会使得岩石圈磁场中相对微弱的震磁信息被淹没,不利于震磁信息的提取及研究其规律. 因此通过对地磁基本场各成份剥离,提取并分析岩石圈磁场在地震前后的时空变化特征,将有助于对震磁效应及规律的捕捉和研究. 本文以江西九江—瑞昌 $M_s5.7$ 级地震和四川汶川 $M_s8.0$ 级地震为例,依托“2005.0 中国地磁图”项目所积累的地磁场三分量数据,详细介绍了震区岩石圈磁场的剥离方法,震区岩石圈磁场的模型计算,并以此模型为基础,对上述地震前后震区岩石圈磁场的总强度、磁偏角、磁倾角三个独立分量的时空变化规律及其与地震的对应关系进行了总结和分析.

1 地震地磁矢量场数据处理与模型计算

以“2005.0 中国地磁图”项目的研究成果

“2005.0 地磁基本场曲面样条模型”和“2005.0 年代中国地磁图观测数据集”为基础,将九江—瑞昌、汶川地震后测量获得的高精度地磁场总强度、磁偏角和磁倾角数据经过日变通化(表 1)、长期变改正后,纳入“2005.0 年代中国地磁图观测数据集”,建立“2005.0 地磁基本场曲面样条模型(局部修正)”. 用“2005.0 地磁基本场曲面样条模型”及局部修正模型分别减去“2005.0 中国地区地磁正常场球冠谐模型”^[4,5],建立该区域地磁异常场模型,即为岩石圈磁场模型.

研究表明,与中强地震活动相关的局部地磁场异常的空间范围可达 $100\sim200\text{ km}^{[7]}$. 我们在描述岩石圈磁场分布时,选择曲面样条方法建立模型,曲面样条模型可以相对真实、准确地描述空间分布尺度接近 2 个测点间距(约 70 km)的局部磁异常的空间分布^[4]. 因此,曲面样条模型能够分辨出由地震相关活动引起的局部地磁异常.

表 1 九江—瑞昌、汶川地震地磁三分量通化精度统计表

Table 1 Accuracy statistics of the three-component survey in Jiujiang-Ruichang and Wenchuan regions

监测区名称	测量日期	测量期数	测点数目	通化台站	F 通化精度	D 通化精度	I 通化精度	施测单位
四川汶川	2004 年 05 月	一	67	重庆台	0.20	0.03	0.04	地球所 安徽局 兰州局
	2008 年 05 月	二	67		0.23	0.03	0.02	
九江瑞昌	2004 年 04 月	一	22	武汉台	0.12	0.04	0.03	地球所 安徽局
	2005 年 12 月	二	22		0.14	0.04	0.04	

2 地震前后岩石圈磁场震磁异常变化特征总结与分析

2.1 九江—瑞昌 $M_s5.7$ 级地震岩石圈磁场震磁异常变化特征

2005 年 11 月 26 日,九江—瑞昌发生了 $M_s5.7$ 级地震,震中区位于扬子板块中段,该地区地表活动构造主要为板块内的断裂带,震源机制为近东西向挤压应力场引起的断裂错动^[8]. 地震发生后,中国地震局地球物理研究所和安徽省地震局合作,对九江—瑞昌地区的 22 个“2005.0 中国地磁图”地磁三分量测点进行了重复测量,依据所得数据,建立了震区不同时间的地磁基本场模型,并进行了细致的分析,发现震区存在明显的与地震相关的地磁基本场异常变化^[4].

为进一步分析九江—瑞昌地区地震前后岩石圈磁场的变化规律,以震前“2005.0 中国地磁图”数据和震后重复测量数据为研究对象,建立了九江—瑞

昌地区地震前后岩石圈磁场模型,以此模型为基础绘制出三个独立分量总强、磁偏角和磁倾角的等值线分布图(图 1、图 2 和图 3),并着重对震中附近 100 km 范围内的岩石圈磁场变化进行对比分析. 图中纵、横坐标分别为地理经度和纬度,五星为九江—瑞昌地震震中,十字为地磁场三分量观测点.

九江—瑞昌地区震前数据于 2004 年上半年测量,距离发震时间约一年半时间,震后数据为地震发生后 20 天之内测量. 经对比分析,地震前后九江—瑞昌地区岩石圈磁场各分量均出现了不同程度的变化,其变化特征如下:

(1) 磁场总强度变化较为显著,震前震中西北约 70 km 处为总强度高值异常区,震后该高值异常迅速衰减百余纳特;震中位于总强度高梯级带和低梯级带的交界区.

(2) 震中位于磁偏角、磁倾角的零值线附近.

(3) 震后,测区内磁偏角正异常分布范围减小,负异常有所增加;磁倾角在震中西侧出现负异常高

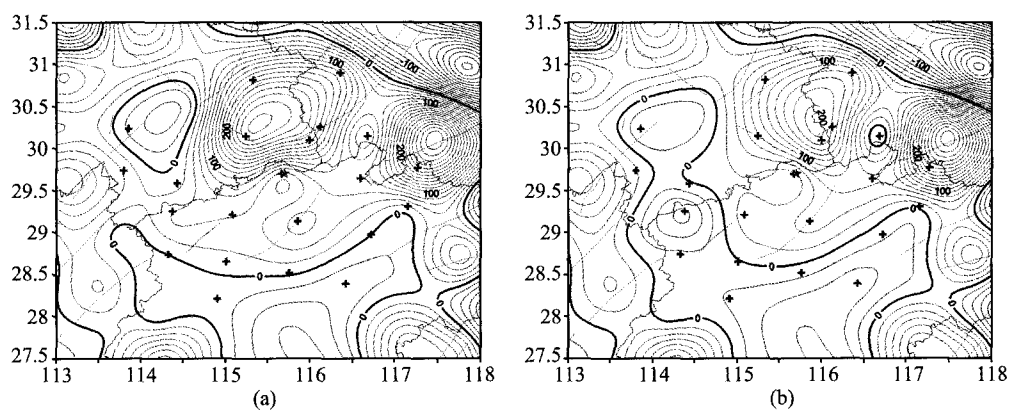


图 1 九江瑞昌地区岩石圈磁场总强 F 分量等值线图(等值线间隔 20 nT)

a. 震前岩石圈磁场 F 分量; b. 震后岩石圈磁场 F 分量.

Fig. 1 Contour map of F component of geomagnetic lithosphere field in Jiujiang-Ruichang region (interval: 20 nT)

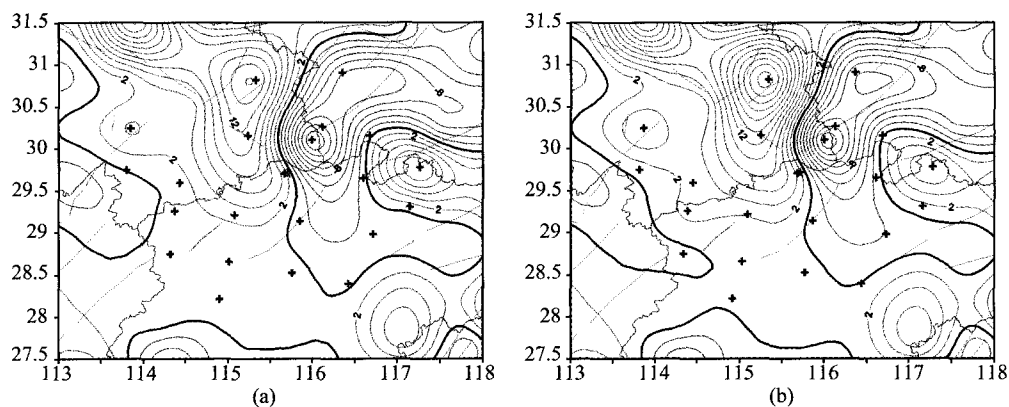


图 2 九江瑞昌地区岩石圈磁场磁偏角 D 分量等值线图(等值线间隔 2')

a. 震前岩石圈磁场 D 分量; b. 震后岩石圈磁场 D 分量.

Fig. 2 Contour map of D component of geomagnetic lithosphere field in Jiujiang-Ruichang region (interval: 2 min)

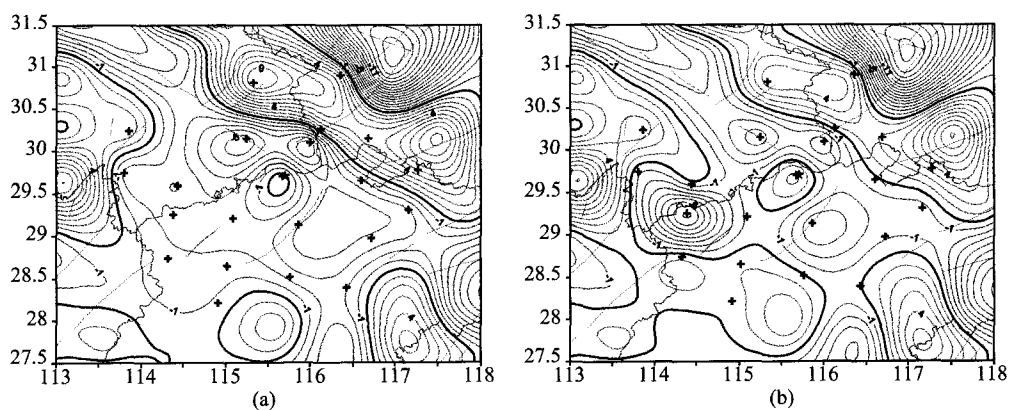


图 3 九江瑞昌地区岩石圈磁场磁倾角 I 分量等值线图(等值线间隔 2')

a. 震前岩石圈磁场 I 分量; b. 震后岩石圈磁场 I 分量.

Fig. 3 Contour map of I component of geomagnetic lithosphere field in Jiujiang-Ruichang region (interval: 2 min)

值中心,除此之外,大部分地区异常形态基本未发生变化。

2.2 汶川 $M_s 8.0$ 级地震岩石圈磁场震磁异常变化特征

2008年5月12日14时28分发生的汶川 $M_s 8.0$ 级地震是我国建国以来震级最大的地震,震区位于青藏高原与四川盆地交界地区的龙门山断裂带。该地震是在青藏高原长期隆升和向东推挤的背景下,多条断裂活动的结果^[9]。地震发生后,由中国地震局地球物理所牵头组织的汶川地震地磁应急测量队在第一时间赶往灾区,对川陕甘青交界地区67个2005.0的已设地磁场三分量观测点进行重复测量,取得了震后第一手地磁场三分量观测资料,为震磁现象研究提供了宝贵的数据。

利用汶川地区震前“2005.0中国地磁图”项目数据和震后观测数据,分别建立了汶川地区地震前后岩石圈磁场模型,以此模型为基础分别绘制出三个独立分量总强、磁偏角和磁倾角的曲面样条等值线分布图(图4、图5和图6),并着重对震中附近100 km范围及余震区的岩石圈磁场变化进行分析。图中纵、横坐标分别为地理经度和纬度,五星为汶川地震震中,圆点为余震序列,十字为地磁场三分量观测点,三角形为地磁台站。

汶川地区震前数据于2004年上半年测量,距发震时间大约四年,震后数据在地震发生后20天之内取得。经对比分析,地震前后汶川地区岩石圈磁场各分量也发生了明显变化,其特征如下:

(1)汶川地震震中位于岩石圈磁场总强、磁偏角和磁倾角各分量的零值线附近。

(2)总强度在震中东北方向出现一个高值负异常区,最大变化幅度超过 -150 nT;位于震中东北方向的磁偏角异常区由震前负异常中心区变为震后正异常区,变化幅度约 15° ,同时震中西侧出现一个负异常中心;磁倾角在震中东北区域出现高幅值负异常区。

(3)余震区岩石圈磁场各分量地震之前为正负异常交错分布,震后分布形态发生变化:总强度负异常明显增加,异常走向与余震序列近似平行,余震区东北端的北侧出现负异常中心;磁偏角正异常面积明显增加;磁倾角在余震区西南部分变为高幅值负异常,东北部分变为低幅值正异常,负异常明显增强。

(4)震区以外大部分测区,地震前后岩石圈磁场各分量分布形态基本保持不变。

3 结论与讨论

通过对九江—瑞昌地区和汶川地区岩石圈磁场总强、磁偏角和磁倾角在地震前后的发生变化特征进行对比分析,发现虽然两个震区地质构造及发震背景有很大不同,用于分析的地磁场三分量观测数据在时间跨度上也存在差异,但地震前后两者的岩石圈磁场总强、磁偏角和磁倾角变化规律却有很多相同或相似之处:

(1)地震前后震中百公里范围内岩石圈磁场不同分量均出现了不同程度的异常变化,震区以外区域岩石圈磁场无明显改变。

(2)地震震中均位于岩石圈磁场磁偏角、磁倾角正负异常交界区的零值线附近。

基于上述分析,我们认为:

第一,地震的孕育及发生能够对岩石圈磁场产生影响,可以表现为岩石圈磁场的的一个或多个分量上的异常变化,该影响主要集中在震中附近,而在距震中较远区域反映不明显。同时,因地质构造及孕震机理不同,不同地区的震磁变化有着不同的表现形式和变化幅度。

第二,地震震中位置与岩石圈磁场异常分布存在一定的规律性,即震中分布在岩石圈磁场磁偏角、磁倾角的零值线附近。从岩石圈磁场几何学角度分析,直角坐标系中,磁偏角和磁倾角的计算公式如下:

$$I = \arcsin(Z/F), D = \arctg(Y/X). \quad (1)$$

当 $I=0$ 时, $Z=0$,当 $D=0$ 时, $Y=0$, (式中, X 、 Y 和 Z 分别为岩石圈磁场北向分量、东向分量和垂直分量)也就是说,震中分布于岩石圈磁场的东向分量 Y 和垂直分量 Z 的近零区域。岩石圈磁场分布与区域岩石圈构造、岩性和居里面埋深等因素密切相关,震中所处区域的特殊岩石圈磁场性质是否对应一定的地震孕育背景,需经过进一步的研究探索。

通过九江—瑞昌和汶川地震前后岩石圈磁场各分量的对比分析,发现岩石圈磁场变化与地震发生有较为明显的相关性和规律性,虽然两个震区地质构造等条件差异较大,但地震前后的岩石圈磁场变化却存在相近的表现,这种表现出的规律性,对应着怎样的地震孕育与发生机理,还需要更多的震例数据和更深入的研究来探索 and 解释。

在九江—瑞昌和汶川地震前后岩石圈磁场总强度异常幅度超过百纳特,异常范围超过百公里,此结果远远超出了实验室实验、理论计算震磁异常结果,超出能够确认的观测实例的震磁异常现象,目前还无法给

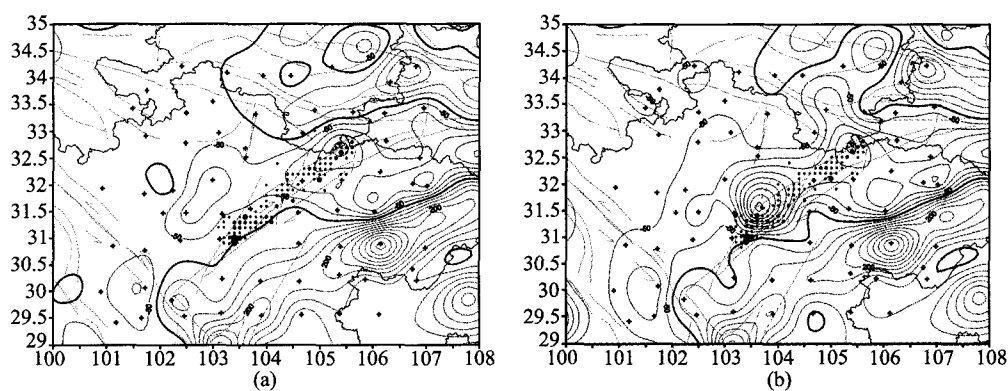


图 4 汶川地区岩石圈磁场总强度 F 分量等值线图(等值线间隔 20 nT)

a. 震前岩石圈磁场 F 分量; b. 震后岩石圈磁场 F 分量

Fig. 4 Contour map of F component of geomagnetic lithosphere field in Wenchuan region (interval: 20 nT)

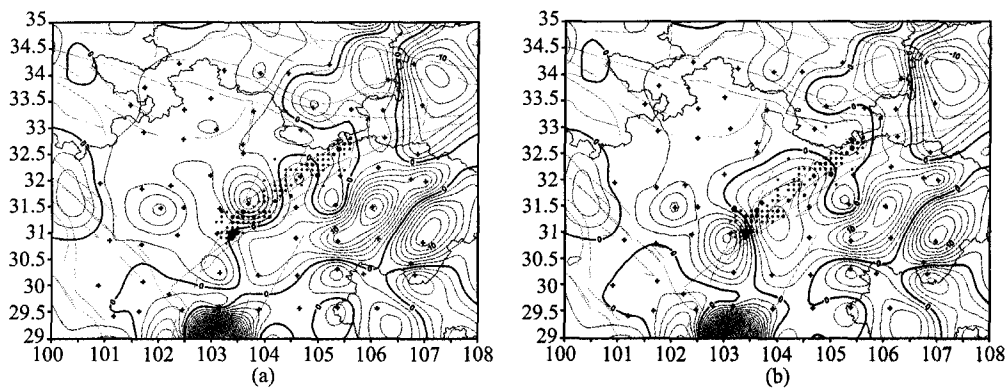


图 5 汶川地区岩石圈磁场磁偏角 D 分量等值线图(等值线间隔 2')

a. 震前岩石圈磁场 D 分量; b. 震后岩石圈磁场 D 分量

Fig. 5 Contour map of D component of geomagnetic lithosphere field in Wenchuan region (interval: 2 min)

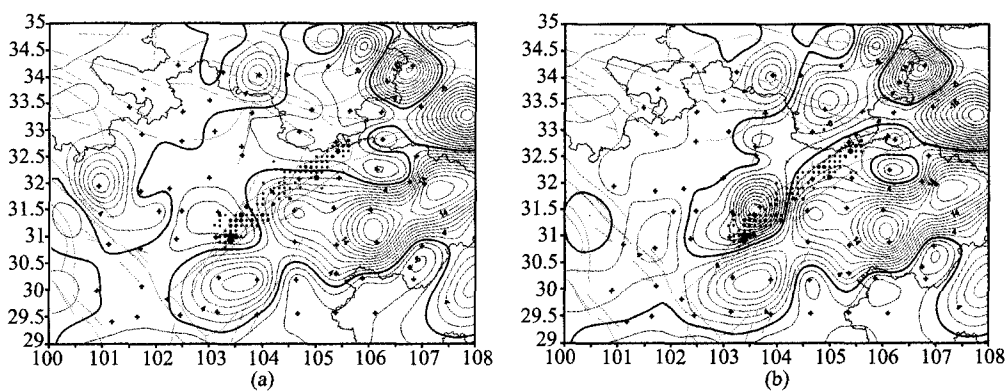


图 6 汶川地区岩石圈磁场磁倾角 I 分量等值线图(等值线间隔 2')

a. 震前岩石圈磁场 I 分量; b. 震后岩石圈磁场 I 分量.

Fig. 6 Contour map of I component of geomagnetic lithosphere field in Wenchuan region (interval: 2 min)

出定性、定量的解释,上述现象有待于进一步研究。

本文对九江瑞昌和汶川地区地震前后岩石圈磁场变化分析表明,通过对岩石圈磁场分析,能够对重点监视地区岩石圈磁场的异常变化进行捕捉和跟踪,从而获取丰富的震磁异常现象和震磁信息。此外,我们的震后观测是在发生地震变形以后进行的,观测到得异常变化是由于地震孕育过程积累形成还是由于地震变形形成或者有它们共同产生的,需要进行进一步的研究。目前地震磁效应的观测与研究还处于案例积累阶段,在传统的科研方法基础上,我们应拓展思路,使用新的观点和技术手段来推动震磁研究的发展。

致 谢 感谢中国地震局地球物理研究所顾左文教授在地震地磁测量、分析方面的悉心指导,感谢中国地震局地质研汤吉教授对本文的修改提出宝贵意见,同时也感谢陈斌博士在地震地磁数据处理与模型计算方面提供了大力帮助。

参 考 文 献 (References):

- [1] 徐文耀,白春华,康国发. 地壳磁异常的全球模型[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(3):641~651.
Xu W Y, Bai C H, Kang G F. Global models of the earth's crust magnetic anomalies [J]. Progress in Geophysics, 2008, 23(3):641~651.
- [2] Chapman S, Bartels J. Geomagnetism1 [J]. Clarendon Press, Oxford, 1940
- [3] Langel R A. The main geomagnetic field [J]. In: Geomagnetism, Vol. 1, ed. Jacobs J A. USA: Academic Arkani-Hamed, 1987, 249~512.
- [4] 顾左文,张毅,姚同起,等. 九江—瑞昌 $M_s 5.7$ 地震地磁异常地观测与分析[J]. 地震学报, 2006, 28(6): 611~621.
Gu Z W, Zhang Y, Yao T Q, *et al.* Observation and analysis of geomagnetic abnormality associated with the $M_s = 5.7$ Jiujiang-Ruichang earthquake [J]. ACTA Seismologica Sinica, 2006, 28(6): 611~621.
- [5] 高金田,安振昌,顾左文,等. 地磁正常场的选取与地磁异常场的计算[J]. 地球物理学报, 2005, 48(1):56~62.
Gao J T, An Z C, Gu Z W, *et al.* Selections of the geomagnetic normal field and calculations of the geomagnetic anomalous field [J]. Chinese Journal of geophysics, 2005, 48(1):56~62.
- [6] 安振昌. 计算震磁背景场的数学方法[J]. 地震地磁观测与研究, 2000, 21(5):9~15.
An Z C. Mathematical methods to calculate the seismo-geomagnetic background field [J]. Seismological observation and research, 2000, 21(5): 9~15.
- [7] 丁鉴海. 地磁预报地震方法探索[A]. 地震监测与预报方法清理成果汇编—地磁地电分册[M]. 1988, 108~122.
Ding J H. Explore earthquake forecast method by geomagnetism [A]. Compilation of earthquake monitoring and forecast method sorting out result- geomagnetism and seismic-electrical fascicule [M]. 1988, 108~122.
- [8] 王墩,肖和平,姚运生,等. 九江—瑞昌地震序列的构造背景与发震构造探讨[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(7): 15~20.
Wang D, Xiao H P, Yao Y S, *et al.* On seismogenic and its background tectonics of Jiujiang-Ruichang seismic sequence [J]. Journal of geodesy and geodynamics, 2007, 27(7):15~20.
- [9] Burchfiel B C, Royden L H, Vander Hilst R D, 等. 中国四川 2008 年 5 月 12 日汶川地震的地质与地球物理背景[J]. 国际地震动态, 2008, 8(8):13~21.
Burchfiel B C, Royden L H, Vander Hilst R D, *et al.* A geological and geophysical context for the Wenchuan earthquake of 12 May 2008, Si-chuan, People's Republic of China, Recent Developments in World Seismology, 2008, 8(8):13~21.
- [10] 徐胜峰,李勇根,曹宏. 地震岩石物理研究概述[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(2):680~691.
Xu S F, Li Y G, Cao H. A review of seismic rock physics, Progress in Geophys [J]. (in Chinese), 2009, 24(2):680~691.