

涂先新,王弘宇,王杰,等.2013 年岷县—漳县 6.6 级地震震前地磁异常分析[J].地震工程学报,2019,41(6):1568-1573.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1568
TU Xianxin, WANG Hongyu, WANG Jie, et al. Geomagnetic Anomalies Prior to the Minxian—Zhangxian M6.6 Earthquake of 2013[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(6): 1568-1573. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1568

2013 年岷县—漳县 6.6 级地震震前地磁异常分析

涂先新^{1,2}, 王弘宇^{1,2}, 王 杰^{1,2}, 翁 骋^{1,2}, 康 波^{1,2}

(1. 中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室), 湖北 武汉 430071;

2. 湖北省地震局, 湖北 武汉 430071)

摘要: 区域地磁在一定范围内,在排除空间环境、仪器本身故障等因素的前提下,各地磁台所观测到的地磁曲线是具一定相关性的,但强震孕震过程中会引起电导率等电磁性质发生改变,从而改变台站间地磁本应呈现出来的相关性,因此地磁异常可以为震前地震预报提供有用信息。以 2013 年 7 月 22 日岷县—漳县 6.6 级地震为研究对象,对其震前地磁前兆异常进行研究。分析表明:震前有明显的低点位移异常现象,且在此次异常后 36 天发生了 6.6 级地震;地磁 Z 值的每日一值空间相关分析也出现了明显异常,从空间上看,相关系数与地震震中有很好的对应关系,震中刚好处在相关系数最低的位置;且地磁台的密集程度对计算区域相关系数具有较大影响。

关键词: 地震活动性;地磁;低点位移;每日一值

中图分类号: P318

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)06-1568-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1568

Geomagnetic Anomalies Prior to the Minxian—Zhangxian M6.6 Earthquake of 2013

TU Xianxin^{1,2}, WANG Hongyu^{1,2}, WANG Jie^{1,2}, WENG Cheng^{1,2}, KANG Bo^{1,2}

(1. Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, Hubei, China;

2. Earthquake Agency of Hubei Province, Wuhan 430071, Hubei, China)

Abstract: A certain correlation exists between geomagnetic curves observed by different geomagnetic stations when the space environment, instrument failure, and other factors are excluded. Electromagnetic properties change, however, during the seismogenic process of strong earthquakes. Thus, the correlation between the geomagnetism of different geomagnetic stations will also change. Therefore, the identification of geomagnetic anomalies before the occurrences of earthquakes can provide useful information for earthquake prediction. In this work, we analyzed the geomagnetic precursor anomalies that occurred prior to the Minxian—Zhangxian M6.6 earthquake in 2013. Analytical results revealed the abnormal phenomenon of low-point displacement at 36 days before the M6.6 earthquake. In addition, an anomaly was identified through the spatial correlation analysis of daily geomagnetic Z values. A good correspondence between the correlation coefficient and earthquake epicenter was observed. The intensity of geomagnetic stations has a

收稿日期:2017-08-20

第一作者简介:涂先新(1990—),男,硕士,主要从事地震监测与预报研究工作。E-mail:tuxianxin621@foxmail.com。

通信作者:王 杰(1981—),男,博士,主要从事构造地质学及地震监测预测研究。E-mail:eqwangjie@qq.com。

considerable influence on the correlation coefficient of the calculated area.

Keywords: seismic activity; geomagnetism; low point displacement; daily value

0 引言

地磁观测所记录到的地球磁场是地球内部和外部磁场叠加所形成的微弱磁场,磁场变化反映的便是日地空间、地球内部电磁性质的变化,当这些内部或外部的环境发生改变时,地磁会出现异常变化。而地震的孕育过程与地体环境和日地空间环境等因素密切相关,因此地磁以其反映灵敏的特性,在服务地震预报、研究工作上具有非常有利的优势^[1-4]。

地磁的日变化主要受高空电离层体系控制,在小范围内,地磁日变化基本一致,不会出现特别明显的异常。当地层处于地震孕育期时,地下介质的特性或应力状态会发生变化,从而导致地磁大范围空间相关性遭到破坏,形成局部的地磁观测异常。目前,用于研究震前异常变化的地磁指标比较多,常用的有:低点位移、加卸载响应比、空间相关法、谐波振幅比等^[5-6]。戴勇等^[7]、冯志生等^[8]、邱桂兰等^[9]利用 Z 值的空间相关法成功捕捉到短临震前地磁异常,并认为 Z 值空间相关法是短临地震重要信息。此外,李军辉等^[10]、丁鉴海等^[11]、高立新等^[12]运用低点位移法发现低点位移的出现与地震发生具有较好的对应关系,认为低点位移异常发生后的 27 天或 41 天前 4 天在低点位移线附近会发生地震。

地磁的预报指标比较多,但并非每次破坏性地震前每个指标都会出现异常,有时甚至是所有的地磁指标都不会出现异常,这可能与当地的环境等因素有关。本文对 2013 年 7 月 22 日岷县—漳县 6.6 级地震震前震中附近的地磁观测数据进行研究,发现低点位移、每日一值相关两个指标出现了明显异常。

1 数据及数据处理

地球的磁场分为三部分:基本磁场、变化磁场和地壳磁异常。其中前二者在一定空间内变化比较均匀,即在空间上是相关的,地壳磁异常主要是局部空间范围内的异常变化。许多学者通过计算两个不同台站的相关系数来衡量它们的相关程度,进而提取地磁空间相关异常^[7,13-14]。由于地磁的 Z 分量与地下介质关系最密切,所以地磁异常一般在 Z 分量上的畸变也更为明显。本文采用地磁的 Z 分量数据,分别计算全国地磁的低点位移和地震附近台站的 Z 分量每日一值空间相关,进而对震前地磁异常进行提取,探寻地磁 Z 值在地震前的反映及其与地震的

关系。

1.1 地磁资料选择及计算原理

本文选取 2013 年 6.6 级岷县—漳县地震为研究对象,研究低点位移和 Z 分量每日一值相关在震前的异常表现,其中低点位移选取的是全国地磁台的数据, Z 分量每日一值相关选取震中附近的地磁台站作为计算台。台站以及相应仪器为:卢氏 FHD2、九峰 FHD2、丹江 FHD2、成都 FHD2、成都 GM4、乾陵地震台 GM4、汉中地震台 FHD2、兰州 FHD2、兰州 GM4、山丹 FHD2、天水中心地震台 GM4、格热木 GM4、都兰 FHD2、中卫黑山嘴 FHD2,另外选取乌鲁木齐 M15 距离较远的台站作为参考台。利用 Z 值的每日一值空间相关法,选取世界时 18 点数据(即北京时 2 点的数据,为了避开地铁等因素的干扰)来分析地震前的地磁数据,提取震前的地磁异常信息。

Z 值的每日一值相关反映的是参考台和计算台之间的相关系数,其计算方法和公式如下:假设 A 、 B 两个台北京时 2 点数据的 Z 值分量为 Z_x 、 Z_y ,它们是线性相关的,即满足: $Z_{yi} = bZ_{xi} + a$ 。

定义其相关系数为:

$$r = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx} \cdot l_{yy}}}$$

其中:

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n Z_{xi}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Z_{xi} \right)^2$$

$$l_{yy} = \sum_{i=1}^n Z_{yi}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Z_{yi} \right)^2$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^n Z_{xi} Z_{yi} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{xi} Z_{yi}$$

r 的取值范围为 $0 \leq |r| \leq 1$, r 越趋近于 0,表明相关程度越小; r 越趋近于 1,表明相关程度越大。

1.2 相关性分析

以乌鲁木齐台站作为参考台,其地理空间位置如图 1。从地理位置上看,计算台分布比较广,且包围地震震中;参考台到计算台距离较远,以避免参考台也受到地震因素的影响而导致地磁异常信息提取不准确。

图 2 为 Z 分量每日一值的计算结果。从计算结果可以看出:(1)2013 年 4 月 9—14 日,大部分台

站的地磁 Z 值与参考台的相关性出现了异常低值,该异常持续了 6 天左右。(2)计算台站中,丹江台的异常不是很明显,其出现异常的时间与其他台相比略微滞后。(3)出现明显异常的台站,其异常时间也高度一致。(4)出现异常后 102 天发生了岷县—漳县 6.6 级地震。

为了更加直观地反映各计算台与参考台之间的相关程度,将二者的相关系数值绘制成等值线图(图 3),可以发现在地磁台比较密集的区域等值线比较密集,表明相关系数变化梯度高;而地磁台较少的区域则等值线相对比较稀疏,地磁相关系数变化不是

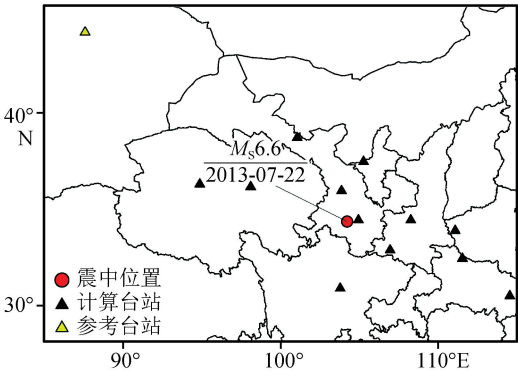


图 1 各计算台台站地理位置

Fig.1 Geographical location of each station

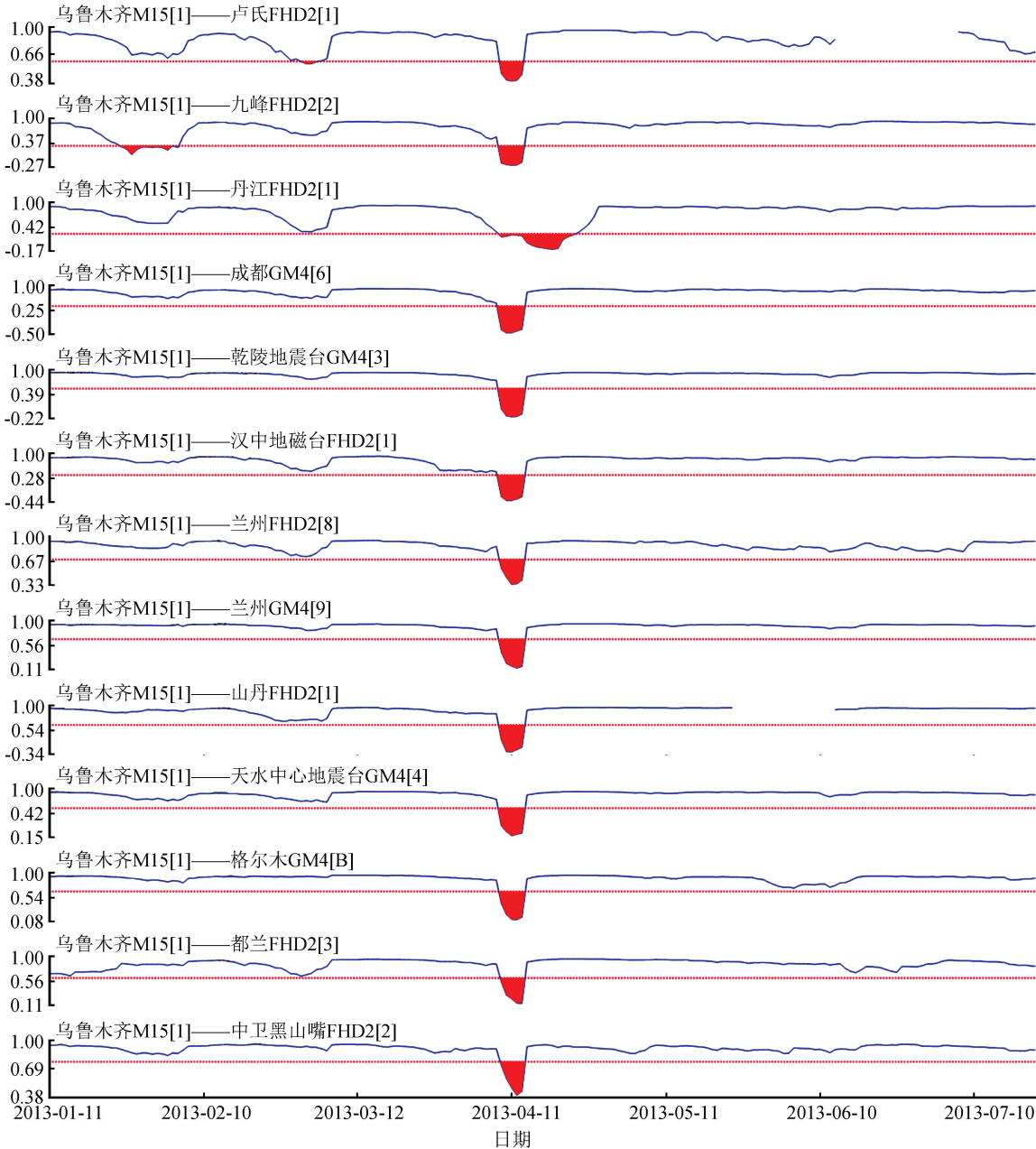


图 2 Z 分量每日一值空间相关分析

Fig.2 Spatial correlation analysis of daily value of Z component

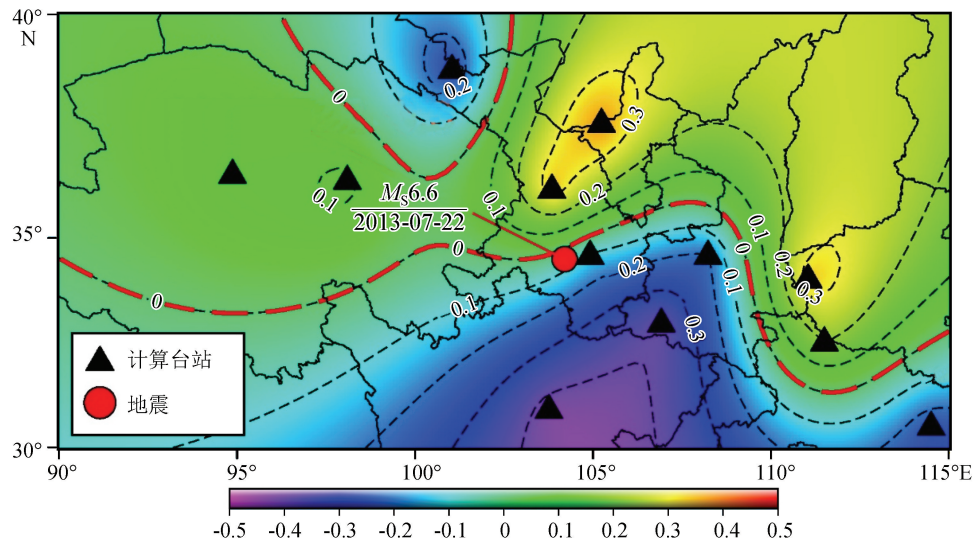


图 3 地磁 Z 分量每日一值空间相关

Fig.3 Spatial correlation of daily value of geomagnetic Z component

很明显,且其周围的相关系数都是通过内插法计算出来的,与实际值可能存在一定的差距。然而此次地震震中刚好在等值线的 0 值线上,刚好位于天水中心地震台附近,震中附近地磁台相对密集,因此内插得到的震中与参考台的相关系数相对是比较可靠的,这说明在地震的孕育期,地震震中的地磁 Z 值与参考台的 Z 值相关性最差。由此可见,地磁台的分布越密集,为预报地震发生地点提供的信息就越准确。

1.3 “低点位移”预报指标

地磁记录的是该地区地磁场随时间变化的曲线,地磁的垂直分量在每日 12 点钟左右会出现一个极小值,该值称为“日变低值”。这种日变低值受到太阳的影响与经度有关,伴随经度变化而变化。正常情况下,经度每隔 15°,日变低点出现的时间相差 1 h,若在 15°内日变低点的时间相差 2 h 以上,则认为该区域日变低值出现异常。日变低值出现的时间(低点时间)在空间分布的异常特征称为低点位移^[11,15]。

研究人员总结了低点位移与大地震的对应关系,包括:西部 34 次 6.5 级以上地震,东部 18 次 5.9 级以上地震,台湾 5 次 7 级以上地震等^[16]。研究表明,大范围的地磁低点位移异常与强震具有一定的关系^[10],目前为止,低点位移在地震预报中的应用也比较常见,该指标虽然不能作为临震预报,但据统计,在出现低点位移异常后的第 27 天或者第 41 天(前后四天)左右,就会发生较强地震^[12]。因此低点位移的研究是地震前兆的重要信息,可作为地震预报的有力手段。

本文对 2013 年 7 月 22 日岷县—漳县 6.6 级地震前两个月的低点位移做了分析。分析发现在 2013 年 6 月 16 日时低点位移出现了明显的异常(图 4),在地震的西侧呈现出较大的时间差,在低点位移线的东侧,时间为 4 点左右,在低点位移线的西侧,时间为 8 点钟左右,在这短短的 5°内出现了 4 小时的时间差,这是非常明显的地震前兆。在此次异常后的 36 天,低点位移线附近的岷县、漳县附近发生了 6.6 级地震。

2 结果与讨论

前人通过总场强 F 空间相关分析对岷县—漳县地震也进行了很详细的研究^[17],但略有不足的就是震中南部整个区域没有地磁数据,导致我们不能很好地计算出异常在空间上的分布。本文选取的地磁台基本分布于震中的四周,通过各地磁台的相关系数计算出来的震中刚好位于相关系数为 0 值的位置。此外,本文研究发现低点位移指标也在震中附近出现了明显异常,两种方法相互验证。值得注意的是,在本次研究中还发现低点位移线与相关系数 0 值线的交点刚好就在震中附近。

本文还尝试过其他的一些地磁指标,如加卸载响应比,但并没有出现非常明显的异常,这可能与该地区地下结构等方面的因素有关,导致某些特定的地磁指标在该区域比较敏感。因此本研究认为对于岷县—漳县地震低点位移异常和 Z 分量每日一值空间相关异常在该区域比较实用,可以为地震震中预报提供一些信息。

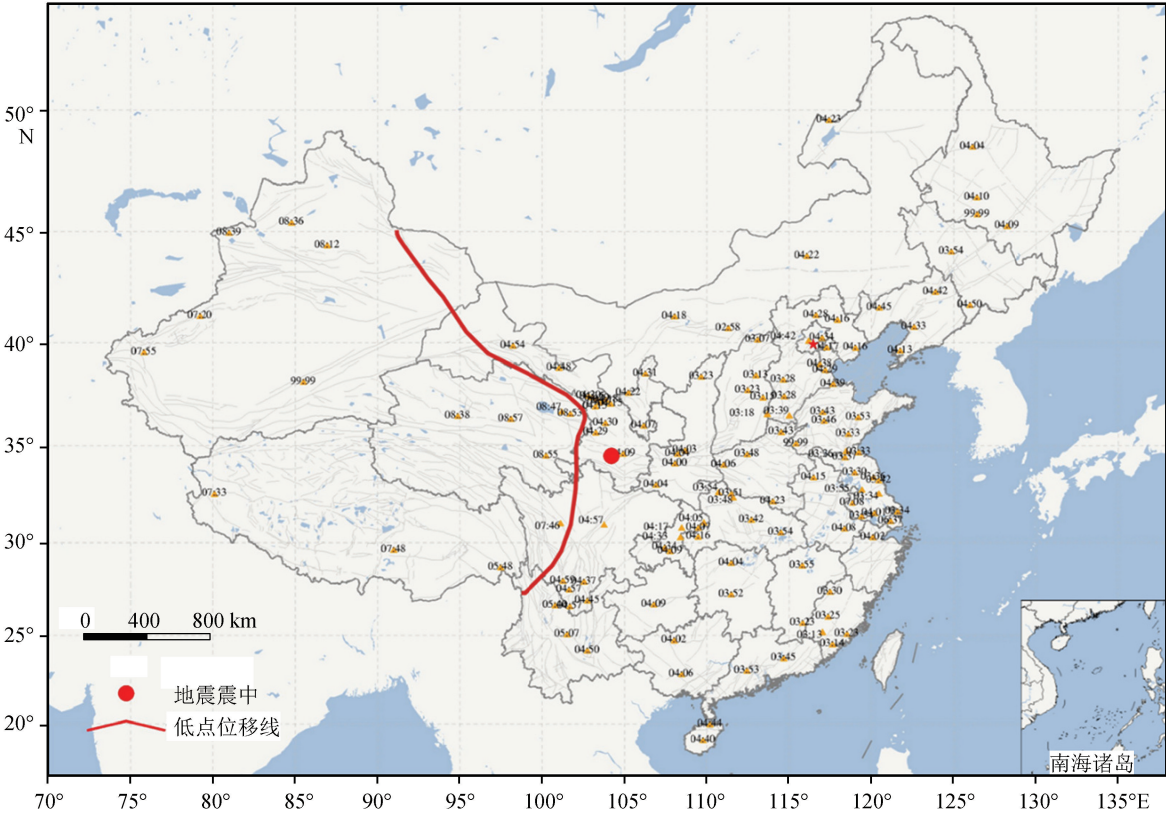


图 4 2013 年 6 月 16 日全国低点位移

Fig.4 National low point displacement on June 16, 2013

3 结 语

从本文的研究成果来看,在 2013 年岷县—漳县地震前地磁出现了明显异常,其中全国低点位移在 2016 年 6 月 16 日出现了明显异常,且在此次异常后 36 天发生了该 6.6 级地震,与前人统计规律(在出现低点位移异常后的第 27 ± 4 天或者第 41 ± 4 天左右发生地震)基本相符。此外,其震中附近地磁 Z 分量的每日一值相关分析表明,在 2017 年 4 月 12 日前后出现了明显的异常,其相关系数异常值的大小与地震震中存在一定的空间关系,因此认为 2013 年 7 月 22 日岷县—漳县地震前有明显的地磁异常,而非随机出现的地磁现象。

参考文献(References)

[1] 张建国,闫俊岗,王静,等.地磁加卸载响应比方法在地震预报中的应用[J].大地测量与地球动力学,2008,28(2):45-50.
ZHANG Jianguo, YAN Jungang, WANG Jing, et al. Application of Geomagnetic Loading—Unloading Response Ratio Method to Earthquake Prediction[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2008, 28(2): 45-50.

[2] 李伟,龚耀,赵文舟,等.地磁加卸载响应比方法在上海及其邻区地震研究中的应用[J].地震,2014,34(1):125-133.

LI Wei, GONG Yao, ZHAO Wenzhou, et al. Application of Geomagnetic LURR Method in Seismic Studies in Shanghai and Its Adjacent Areas[J]. Earthquake, 2014, 34(1): 125-133.

[3] 韩鹏,黄清华,修济刚.地磁日变与地震活动关系的主成分分析——以日本岩手县北部 6.1 级地震为例[J].地球物理学报, 2009, 52(6): 1556-1563.

HAN Peng, HUANG Qinghua, XIU Jigang. Principal Component Analysis of Geomagnetic Diurnal Variation Associated with Earthquakes: Case Study of the M6.1 Iwate-Ken Nairiku Hokubu Earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(6): 1556-1563.

[4] 孙旭丽,邹本良,刘长生.利用地磁相关系数异常初步判定发震区域[J].防灾减灾学报,2015,31(1):75-80.

SUN Xuli, ZOU Benliang, LIU Changsheng. Preliminarily Judge the Seismic Region by the Anomaly of Geomagnetic Correlation Coefficient[J]. Journal of Disaster Prevention and Reduction, 2015, 31(1): 75-80.

[5] 戴苗,冯志生,刘坚,等.南北地震带地磁加卸载响应比应用研究[J].地质科技情报,2017,36(4):222-227.

DAI Miao, FENG Zhisheng, LIU Jian, et al. Application of Geomagnetic Load—unload Response Ratio Method in North-South Seismic Belt[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(4): 222-227.

[6] 冯志生,王俊菲,沈红会.地震短期综合预报的一种思路[J].国际地震动态,2017(8):102-103.

- FENG Zhisheng, WANG Junfei, SHEN Honghui. An Idea of Short Term Synthetic Earthquake Prediction[J]. Recent Developments in World Seismology, 2017(8):102-103.
- [7] 戴勇,冯志生,杨彦明,等.2014年云南盈江6.1和鲁甸6.5级地震前地磁垂直分量日变化空间相关异常特征[J].地震, 2017,37(3):138-147.
- DAI Yong, FENG Zhisheng, YANG Yanming, et al. Spatial Correlation Anomalies of Geomagnetic Vertical Component Diurnal Variation Before Yingjiang $M_{6.1}$ and Ludian $M_{6.5}$ Earthquakes[J]. Earthquakes, 2017, 37(3):138-147.
- [8] 冯志生,梅卫萍,张苏平,等.FHD磁力仪Z分量分钟值日变化空间相关性的初步应用[J].华南地震, 2005,25(3):1-7.
- FENG Zhisheng, MEI Weiping, ZHANG Suping, et al. Preliminary Application of the Daily-variation Spatial Correlation Method of Vertical Component's Minutely Value of FHD Magnetometer[J]. South China Journal of Seismology, 2005, 25(3):1-7.
- [9] 邱桂兰,何跃,王登伟,等.地磁Z分量分钟值空间相关法在四川地区地震预报中的应用[J].高原地震, 2014,26(1):1-7.
- QIU Guilan, HE Yue, WANG Dengwei, et al. Application of Space Correlation Method of Geomagnetic Z Component Minute-value in Earthquake Prediction in Sichuan Area[J]. Plateau Earthquake Research, 2014, 26(1):1-7.
- [10] 李军辉,何康,陈俊,等.安庆 $M_{4.8}$ 级地震前地磁低点位移现象研究[J].华南地震, 2013,33(2):41-46.
- LI Junhui, HE Kang, CHEN Jun, et al. The Phenomenon of Geomagnetic Low-point Displacement before Anqing $M_{4.8}$ Earthquake[J]. South China Journal of Seismology, 2013, 33(2):41-46.
- [11] 丁鉴海,余素荣,肖武军.地磁"低点位移"现象与昆仑山口西8.1级地震[J].西北地震学报, 2003,25(1):19-24.
- DING Jianhai, YU Surong, XIAO Wujun. Geomagnetic Low-point Displacement Phenomena and West to Kunlun Mountain Pass $M_{8.1}$ Earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal, 2003, 25(1):19-24.
- [12] 高立新,燕志强,阎海滨,等.张北 $M_{5.6}$ 级地震前出现的地磁日变低点位移异常[J].华北地震科学, 2000,18(2):56-61.
- GAO Lixin, YAN Zhiqiang, YAN Haibin, et al. The Anomalies of Geomagnetic Low Point Displacement in Daily Change Before Zhangbei $M_{5.6}$ Earthquake[J]. North China Earthquake Sciences, 2000, 18(2):56-61.
- [13] 冯志生,王建宇,蒋延林,等.地磁Z分量整点值空间相关法在江苏地区地震预报中的初步应用[J].地震学刊, 1998(3):15-20.
- FENG Zhisheng, WANG Jianyu, JIANG Yanlin, et al. Preliminary Application of Spatial Correlation Method of Integral Hour Values of Geomagnetic Z Component to Earthquake Prediction in Jiangsu Area[J]. Journal of Seismology, 1998(3):15-20.
- [14] 林美,沈斌.地磁场垂直分量相关分析与地震的对应关系[J].地震研究, 1982,5(2):212-219.
- LIN Mei, SHEN Bin. Correlation between the Correlative Analysis of Vertical Component of Geomagnetic Field and Earthquake[J]. Journal of Seismological Research, 1982, 5(2):212-219.
- [15] 胡久常,刘伟,郭敏瑞,等.汶川8.0级特大地震前的地磁垂直分量日变"双低点"异常[J].地震学报, 2009,31(5):589-593.
- HU Jiuchang, LIU Wei, GUO Minrui, et al. The "Double Low-Points" Anomaly of Daily Vertical Component Variation of Geomagnetic Field before the $M_{8.0}$ Wenchuan Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 2009, 31(5):589-593.
- [16] 陈化然,杜爱民,王亚丽,等.地磁低点位移与地磁场等效电流体系关系的初步研究[J].地震学报, 2009,31(1):59-67.
- CHEN Huaran, DU Aimin, WANG Yali, et al. A Preliminary Study on the Relation between the Geomagnetic "Lowest Shift" Phenomenon and the Equivalent Current System[J]. Acta Seismologica Sinica, 2009, 31(1):59-67.
- [17] 李鸿宇,袁桂平,王俊菲,等.2013年7月22日甘肃岷县—漳县6.6级地震地磁总场F空间相关异常分析[J].地震工程学报, 2017,39(3):551-556.
- LI Hongyu, YUAN Guiping, WANG Junfei, et al. Analysis of Spatial Correlation Anomaly in the Geomagnetic Total Field F Component during the Gansu Province Minxian—Zhangxian 6.6 Earthquake on July 22, 2013.[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(3):551-556.