

汶川地震前后地磁 Z 分量的谱质心变化^①

许康生¹, 辛长江², 李 英¹

(1. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州观象台, 甘肃 兰州 730046)

摘要:提取了汶川地震前后成都台、木里台和西昌台地磁观测的 Z 分量数据, 分3个时段对采样率为每秒一个点的观测数据每小时计算一个最大谱质心、平均谱质心和谱质心标准差。不同台站和不同时段谱质心的结果比较表明, 三个参数在汶川地震前这一时段, 成都台地磁 Z 分量显示较大的变化幅度, 并存在震前逐渐升高的变化趋势, 而其它台站和其它时段没有显示如此明显的特征。对比分析表明, 成都台地磁 Z 分量显示出的谱质心变化是一个与汶川地震有关联的特征信息, 且这一特征的出现与台站和震中的距离有关。对这一问题的深入研究, 对于研究震磁关系、大地震的孕震机理, 大地震的预测及大震发生位置的推测具有积极意义。

关键词: 汶川地震; 地磁; Z 分量; 谱质心

中图分类号: P315.72⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2014)02-0393-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2014.02.0393

The Spectrum Centroid Variation in Geomagnetic Z Component Data before and after the Wenchuan Earthquake

XU Kang-sheng¹, XIN Chang-jiang², LI Ying¹

(1. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Lanzhou Seismic Station, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Research on the seismo-geomagnetic effect goes back more than 100 years, but the use of modern methods and experimentation began in the middle of the last century. Some geomagnetically abnormal changes have been reported before large earthquakes, e. g., the Alaska earthquake (March 27, 1964), the Loma Prieta earthquake ($M7.1$, Oct, 17, 1989), and the Iwateken Nairku Hokubu earthquake ($M6.1$, Sep. 3, 1998). The Wenchuan earthquake was the largest one after the Tangshan earthquake in China. It is important to explore the mechanism of great earthquakes when studying the Wenchuan earthquake. In this paper, we study vertical component (component) geomagnetic data observed by three stations (Chengdu station (CDP), MuLi station (MUL), and XiChang station (XIC)) in Sichuan Province, with a data sampling rate of one point per second. The maximum spectral centroid, the average spectral centroid, and the spectral centroid standard deviation were calculated hourly over three time segments (May 1, 2008 to May 12, 2008, May 1, 2009 to May 12, 2009, and May 1, 2010 to May 12, 2010). The purpose of this time segment division is, first, to reduce seasonal disturbance, and, second, to avoid interference in the calculated results due to the data length. The results show that among the maximum spectral centroid, the average spectral centroid, and the centroid standard deviation, the spectral centroid variability of CDP is greater than the others in the same time period before the Wenchuan earth-

① 收稿日期: 2013-07-30

基金项目: 中国综合地球物理场观测(201208009)

作者简介: 许康生(1963—), 男(汉族), 甘肃武威人, 高工, 主要从事地震监测和地震数据处理研究。

quake, and it rises gradually before the earthquake. Other stations did not show these characteristics in the same time segments. So we believe there are significant changes in the geomagnetic Z component spectral centroid at CDP, which is information characteristically associated with a great earthquake. This characteristic is also related to the distance from the station to the earthquake position. The distance is 35 km from the epicenter to CDP, 357 km from the epicenter to XIC and 400 km from the epicenter to MUL. Our results suggest that these geomagnetically abnormal changes occur in the preseismic period, and can only be measured by a nearby station. Many theories or hypotheses have been put forth to explain the seismo-magnetic phenomena. Generally, earthquake preparation is considered to be a process of the accumulation of stress. When the stress accumulation is more than the elastic limitations of the rock, the rock suddenly dislocates or ruptures and an earthquake occurs. When media is in the process of stress accumulation, the stress redistributes spatially, so the media's elastic deformation changes into nonelastic deformation. Fracture morphology and occurrence in space is also changed. A new crack generates, expands and experiences fluid infiltration. Rock swelling may be produced that has pressure-magnetic effects, induced magnetic effects, rheological-magnetic effects, electric-magnetic effects, thermal-magnetic effects, etc. The existence of abnormal activity before an earthquake is an important issue in the study of great earthquakes. Our intent is not to focus on a discussion of the occurrence mechanism of seismo-magnetic phenomena, but on how to extract anomalous information about an earthquake from the geomagnetic data from a nearby station. Our results show that this type of study can provide important reference data for research on seismo-magnetic effects, earthquake mechanisms, earthquake predictions, and position estimations of future earthquakes. Furthermore, our results indicate that the spectrum centroid may provide a reasonable and suitable source of information prior to an earthquake.

Key words: Wenchuan earthquake; geomagnetic; Z component; spectrum centroid

0 引言

震磁关系的研究最早可以上溯到 100 多年以前,但采用现代手段进行理论和实验研究应该说开始于上世纪中期。早在 1964 年 3 月 27 日的阿拉斯加地震,震前 1 小时 6 分钟在距离地震 30 km 处的地磁仪器记录到磁场强度增大的扰动^[1]。近年来这方面的研究和报道就更多了:1989 年 10 月 17 日洛马普列塔(Loma Prieta) $M_s 7.1$ 地震前观测到了低频电磁波^[2];1998 年 9 月 3 日日本本州岛 Iwateken Nairku Hokubu $M6.1$ 地震之前,距震中 15 km 的 Matsukawa 台记录到了与这次地震有关的超低频地磁现象^[3];1997 年 3 月 26 日日本鹿儿岛 $M6.5$ 和 1997 年 5 月 13 日 $M6.3$ 地震前,距离震中约 60 km 的磁力仪记录到了与此有关的异常变化^[4];1998 年 9 月 3 日日本岩手 $M6.1$ 地震前两周,在距震中 15 km 的台站记录到与地震有关的极化值异常增高的现象^[5]。2008 年 5 月 12 日中国四川省汶川县发生的 $M8.0$ 地震,也有文献^[7]研究表明震前震中附近存在地磁异常现象。

对于震磁现象的理论解释也有多种学说或假说。一般认为,地震孕育的过程是岩层中应力不断积累的过程,地震的发生是应力积累超过岩石层的弹性极限突然发生的岩层错动或断裂的结果。在孕震区应力缓慢积累的过程促使应力在空间重新分配,地下介质由开始时的弹性形变进入非弹性形变,原有的裂隙集合形态与赋存空间发生变化,新的裂隙生成、延展,流体渗入,导致岩体膨胀,可能产生压磁效应、感应磁效应、流变磁效应、电动磁效应及热磁效应等。本研究的重点不是讨论震磁现象的发生机理,而是通过实际震例及地磁资料提取与地震有关联的异常变化信息,并分析和讨论这些信息的特征。地磁观测信息包含了外源场(空间磁场)和内源场(感应磁场和主磁场),将这些不同场的信息准确分离是很困难的,但一些研究表明,地磁 Z 分量较其他分量更多地反映了地球内部的变化。本文以 2008 年 5 月 12 日汶川 $M8.0$ 地震为研究对象,采用震中周边一些台站较为完整的磁资料进行计算处理,提取一些异常信息。数据处理采用谱质心计算

方法,这种方法最初应用于声学方面的研究,本项研究探索性地将此引入处理地磁资料,并在时间和空间上进行对比分析,试图提取与这次地震有关联的信息并对其变化特征进行分析。

1 资料选取

选用的台站为成都台、木里台和西昌台。成都地磁台距震中 35 km;西昌地磁台距震中 357 km;木里地磁台距震中 400 km。成都地磁台观测仪器为 FHDZ-M15,其余两个台的观测仪器为 GM4。数据采样率均为每秒 1 个样点。为了便于对比,对 3 个台均选取 3 个相同时段的数据进行计算处理,第一时间段为 2008 年 5 月 1 日 0 时至 2008 年 5 月 12 日 14 时,为地震发生前 278 小时;第二时间段为 2009 年 5 月 1 日 0 时至 2009 年 5 月 12 日 14 时;第三时间段为 2010 年 5 月 1 日 0 时至 2010 年 5 月 12 日 14 时。这样分段的主要目的—是为了降低季节性变化对空间磁场的影响,二是采用相同长度的样本数据以避免数据计算处理对结果的影响。

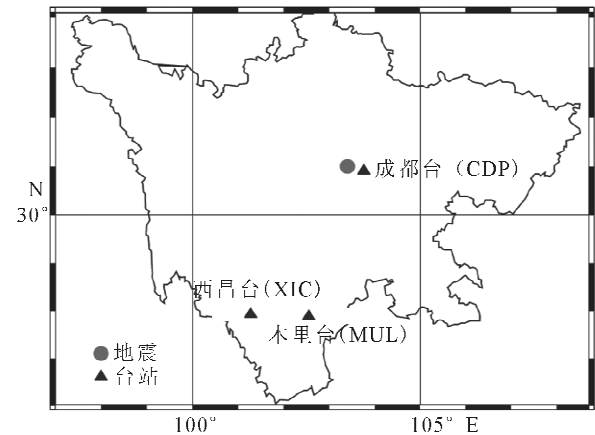


图 1 汶川地震和选用台站分布图
Fig. 1 The distribution of main-earthquake(M8.1) and uscd stations

2 资料处理

谱质心(spectrum centroid)通常用于测定声音的亮度,这种方法是从信号的离散傅氏变换的频率和振幅卷积获得“质量中心”。下式为谱质心的计算公式:

$$Spectral\ x\ Centroid = \frac{\sum_{k=1}^N kF[k]}{\sum_{k=1}^N F[k]}$$

式中 $F[k]$ 是频率 k 对应的信号振幅。信号的谱质心值越大,说明信号中高频成分含量越高,反之则说

明信号中高频成分含量较低。

首先从 IAGA2002 格式的数据文件抽取了 Z 分量数据,形成每小时一个数据文件,再对个别缺数进行线性内插处理。然后计算每一个数据文件的最大谱质心、平均谱质心和谱质心标准差。无论是平均谱质心还是谱质心标准差,在时序上都表现出相同的变化特征。图 2 仅给出了平均谱质心的时序结果,图中展示了三个时段地磁 Z 分量平均谱质心 8 点滑动平均的时序结果。

3 结果与讨论

如图 2 所示,成都台地磁 Z 分量平均谱质心变化范围在时段 3 是 2.3~5.5,最大变化峰值 2.2;在时段 2 是 0.5~7.6,最大变化峰值 7.1;在时段 1 是 8.9~39,最大变化峰值 30.1。时段 1 的变化范围大于时段 2 和时段 3,震前呈现明显的特征是存在逐渐升高的趋势。也就是说,成都台在震前 278 小时平均谱质心的幅度变化是震后一年同时段变化的 4.3 倍,是震后两年同时段变化的 9.4 倍,三年中是逐年下降的。特别注意到震前成都台的平均谱质心时序变化就会发现,显著增高开始于 5 月 7 日,5 月 11 日达到这一时段的峰值。文献[7]在研究成都地磁台资料后指出:“消除认为活动干扰和太阳活动的背景干扰(K 指数)后,成都地磁台在汶川地震前一天(即 5 月 11 日)出现大幅度突变”,这一结果与本项研究结果相吻合。木里台地磁 Z 分量平均谱质心在时段 1 的变化范围是 6.2~19.3,最大变化峰值 13.1;在时段 2 是 2.5~7.5,最大变化峰值 5.0;在时段 3 是 1.2~5.8,最大变化峰值 4.6。木里台在震前 278 小时平均谱质心的幅度变化是震后一年同时段变化的 2.6 倍,是震后两年同时段变化的 8.1 倍,三年中是逐年下降的。西昌台地磁 Z 分量平均谱质心在时段 1 的变化范围是 1.5~4.7,最大变化峰值 3.2;在时段 2 是 3.5~9.3,最大变化峰值 5.8;在时段 3 是 2.3~9.7,最大变化峰值 7.1。西昌台在震前 278 小时平均谱质心的幅度变化是震后一年同时段变化的 2.6 倍,是震后两年同时段变化的 8.1 倍(表 1)。

表 1 谱质心变化结果

Table 1 The results of the spectrum centroid on three stations

	最大变化幅值		
	时段 1	时段 2	时段 3
成都台	30.1	7.1	2.2
木里台	13.1	5.0	4.6
西昌台	3.2	5.8	7.1

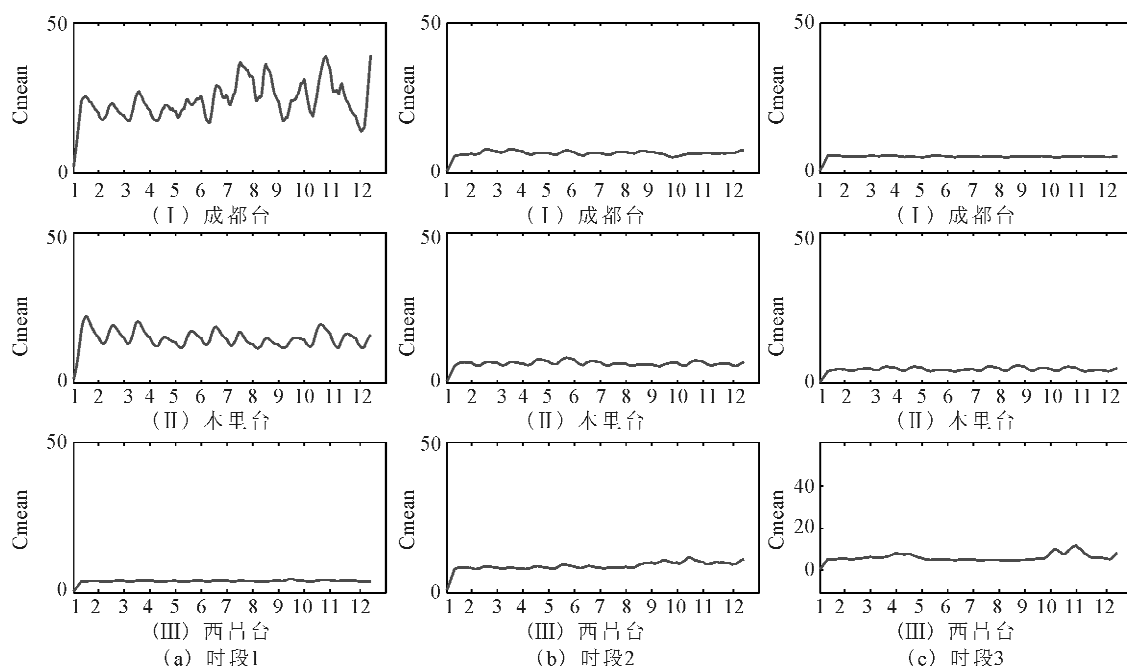


图2 3个台三个时段地磁Z分量平均谱质心时序图

Fig.2 The timing diagrams of average spectral centroid at three periods

现代地磁学认为地磁场是一个矢量场,是关于地理位置和时间的函数,地磁场的场强 $F(r,t)$ 由三部分组成^[2]:

$$F(r,t) = F_m(r,t) + F_c(r,t) + F_d(r,t)$$

其中, $F_m(r,t)$ 是主磁场,处在地幔与外核之间; $F_c(r,t)$ 为感应磁场,主要来自岩石中的铁磁性物质; $F_d(r,t)$ 为外源场,源于磁层和电离层^[8]。

由表1不同时段、不同地理位置的结果相比较,时段1成都台的变化幅度是最大的,木里台和西昌台相比,木里台的变化幅度较大。由此可见两点,一是较大的变化并非来自外空间,二是结果差异含有区域背景磁场的变化的差异。但我们注意到两点重要信息,一是成都台的变化幅度量值上远大于木里台;二是变化形态不同,成都台资料存在一个变化幅值不断激增的过程,而木里台虽有变化,但变化是相对较为恒稳的,表征两种不同的物理过程。时段2和时段3的结果相比较,各台虽有差异存在,但变化均在同一数量级之内,也表现出过程的相对恒稳性。

从上述结果看,我们虽不能完全剔除非地震因素对结果的影响,但结果量值的较大差异、动态过程的差异及对地理位置的综合分析,认为成都台的结果中包含有与汶川地震有关的重要信息。

4 结论

(1) 不同台站和不同时段的结果表明,成

都台在2008年5月上旬存在地磁Z分量的谱质心急剧变化的现象,这个特征信息包含汶川地震孕育过程中的信息,是进一步研究地震孕育过程的重要参量。

(2) 震前地磁Z分量的谱质心变化异常的现象只在邻近震中(成都台震中距35 km)的观测资料中提取到,这个信息对于孕震区域位置的预测具有参考意义。

(3) 震前地磁Z分量的谱质心随时间变化呈现出逐渐升高,变化幅度逐渐增大的基本趋势。表明存在震前地磁频谱中高频成分逐渐增多的物理过程,其机理需进一步深入研究。

参考文献 (References)

- [1] More G W. Magnetic Disturbances Preceding 1964 Alaska Earthquake[J]. *Nature*, 1964, 203: 508-509.
 - [2] Frase-Smith A G, Bernardi A, McDill P R, et al. Low-frequency Magnetic Field Measurements Near the Epicenter of the $M_s 7.1$ Loma Prieta Earthquake[J]. *Geophys Res Lett*, 1990, 17 (9): 1465-1468.
 - [3] K Hattori, I Takahashi, C Yoshino, 等. 日本超低频地磁场测量及关于1998年Ikwaken Nairiku Hokubu地震的近期研究成果[J]. *国际地震动态*, 2005, (11): 33-44.
- K Hattori, I Takahashi, C Yoshino, et al. ULF Geomagnetic Field Measurements in Japan and Some Recent Results Associated with Ikwaken Nairiku Hokubu Earthquake in 1998 [J]. *Recent Developments in World Seismology*, 2005, (11): 33-44.

- (in Chinese)
- [4] Katsumi Hattori, Aya Serita, Kaoru Gotoh, 等. 超低频地磁异常与2000日本伊豆诸岛震群的关系[J]. 国际地震动态, 2005, (11): 10-21.
Katsumi Hattori, Aya Serita, Kaoru Gotoh, et al. ULF Geomagnetic Anomaly Associated with 2000 Izu Islands Earthquake Swarm, Japan[J]. Recent Developments in World Seismology, 2005, (11): 10-21. (in Chinese)
- [5] Fitterman D V. Theory of Electrokinetic-magnetic Anomalies in Faulted Half-space[J]. Geophys Res Lett, 1979, 84(B11): 6031-6040.
- [6] K Hattori, I Takahashi, M Hayakawa, 等. 与地壳活动有关的ULF地磁变化:RIKEN-NASDA项目概要和最新结果[J]. 世界地震译丛, 2005, (3): 50-53.
K Hattori, I Takahashi, M Hayakawa, et al. ULF Geomagnetic Changes Associated with Crustal Active, Summary of RIKEN - NASDA Project and the Latest Results [J]. Translated World Seismology, 2005, (3): 50-53. (in Chinese)
- [7] 曾小苹, 郑古盎, 王墨斌, 等. 震前特大地磁异常及其短临预警意义[J]. 中国工程科学, 2011, 13(4): 48-53.
ZENG Xiao-ping, ZHENG Ji-ying, WANG Zhao-yi, et al. Large Geomagnetic Anomaly of Impending Earthquake Gives a Possibility in Earthquake Early Warning[J]. Engineering Science, 2011, 13(4): 48-53. (in Chinese)
- [8] 车满德. 地磁场起源学说与地震的关系[J]. 甘肃科技纵横, 2011, 40(2): 78-82.
CHE Man-de. Relationship with the Geomagnetic Field Theory of the Origin of Earthquakes [J]. Gansu Science and Technology Aspect, 2011, 40(2): 78-82. (in Chinese)
- [9] 杨涛, 刘庆生, 付媛媛, 等. 震磁效应研究及进展[J]. 地震地磁观测与研究, 2004, 25(6): 63-71.
YANG Tao, LIU Qing-sheng, FU Yuan-yuan, et al. Study and Development of Seismo-magnetic Effects[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2004, 25(6): 63-71. (in Chinese)
- [10] 郝锦琦, 钱书清, 高金田, 等. 岩石破裂过程中的超低频电磁异常[J]. 地震学报, 2003, 25(1): 102-111.
HAO Jin-qi, QIAN Shu-qing, GAO Jin-tian, et al. Ulf Electric and Magnetic Anomalies Accompanying the Cracking of Rock Sample[J]. Acta Seismologica Sinica, 2003, 25(1): 102-111. (in Chinese)
- [11] 管志宁. 地磁场和磁力勘探[M]. 北京:地质出版社, 2005: 3-25.
GUAN Zhi-ning. Geomagnetic Field and Magnetic Exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 3-25. (in Chinese)
- [12] 董蕾, 杨立明. 汶川地震前数字地震仪位移地脉动低频异常现象研究[J]. 西北地震学报, 2012, 34(3): 268-273.
DONG Lei, YANG Li-ming. Research on Low-frequency Anomalies of Microtremor Displacement Recorded by Digital Seismograph Before the Wenchuan Earthquake [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(3): 268-273. (in Chinese)
- [13] 许康生. 地震信号的时频分析[J]. 西北地震学报, 2000, 22(4): 479-482.
XU Kang-sheng. Time-frequency Analysis of The Earthquake Signals[J]. Northwestern Seismological Journal, 2000, 22(4): 479-482. (in Chinese)
- [14] 李发, 戚浩, 程鑫, 等. 郯庐断裂带南段及邻区中小地震地震波衰减特征研究[J]. 华南地震, 2012, 32(4): 37-44.
LI Fa, QI Hao, CHENG Xin, et al. Study on Attenuation Characteristics of Seismic Wave of Mid-small Earthquakes in the Southern Segment of Tanlu Fault Zone and Its Adjacent Areas[J]. South China Journal of Seismology, 2012, 32(4): 37-44. (in Chinese)
- [15] 顾春蕾, 张毅, 顾佐文, 等. 华北地震区岩石圈磁异常场零值线与中强震震中分布关系[J]. 西北地震学报, 2012, 34(2): 174-179.
GU Chun-lei, ZHANG Yi, GU Zuo-wen, et al. Relationship Between Zero-value-line of Abnormal Geomagnetic Field in Lithosphere and Strong-moderate Earthquake Epicenters in North China Seismic Region[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(2): 174-179. (in Chinese)
- [16] 姚家骏, 杨立明, 冯建刚. 常用时频分析方法在数字地震波特征量分析中的应用[J]. 西北地震学报, 2011, 33(2): 105-110.
YAO Jia-jun, YANG Li-ming, FENG Jian-gang. Application of Common Time-frequency Analysis Methods in Analyzing Characteristic Quantity of Digital Seismic Wave[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(2): 105-110. (in Chinese)