

2013 年岷县 6.6 级地震前天水台磁通门 秒数据异常提取分析^①

倪晓寅¹, 冯志生², 陈莹¹

(1.福建省地震局, 福建 福州 350003; 2.江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要:基于 GM4 磁通门磁力仪秒数据, 分析研究了 2008—2014 年天水地磁台的地磁极化值和转换函数变化, 结果表明在 2013 年岷县 6.6 级地震前天水台地磁极化值和转换函数存在不同程度的异常: (1) 转换函数 $|A|$ 和 $|B|$ 在震前均出现了下降-转折-上升的异常变化, 在上升至最高点时发生了岷县 6.6 级地震; (2) 较短的周期转折上升变化更明显, 幅度也更大, 如 $|A|$ 的 20~80 s 和 $|B|$ 的 20~110 s; (3) 3.20 s、50 s 和 80 s 周期的帕金森矢量方位角在震前出现转向并指向震中的现象; (4) 4.5~100 s 周期的极化值 Y_{zh} 在震前 3 个月出现 2 次超 3 倍均方差的高值异常。

关键词: 地磁场; 秒采样; 转换函数; 极化; 地震

中图分类号: P315.721

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)增刊 2-0203-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2016.Supp.2.0203

Extraction and Analysis of Anomalies of the Second Data from GM4 Fluxgate Magnetometer at Tianshui Station before the 2013 Minxian $M_s6.6$ Earthquake

NI Xiao-yin¹, FENG Zhi-sheng², CHEN Ying¹

(1. Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China;

2. Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract: On July 22, 2013, an earthquake occurred in Minxian County, Gansu Province, whose epicenter was located 154 km from the Tianshui seismic station. Geomagnetic three-component second sample observations at Tianshui station were initiated in 2007 through a GM4 fluxgate magnetometer. Here, we analyze the change of the geomagnetic polarization value and the transform function at Tianshui station from 2008 to 2014 based on the second data of GM4 fluxgate magnetometer. The results indicate that the geomagnetic polarization value and the transform function show different degrees of anomaly before the Minxian $M_s6.6$ earthquake. (1) The transform function exhibited down turning recovery before the earthquake. In fact, the earthquake occurred just as the transform function reached the maximum. (2) The short-term increase was more obvious than the long-term trend, and the rising amplitude was larger. (3) Before the earthquake, the Parkinson vector azimuth in the periods of 20 s, 50 s, and 80 s was rotated and directed to the epicenter. (4) In April 2013, three months before the earthquake, the geomagnetic polarization at Tianshui station showed two anomalies of high values exceeding three times the mean square de-

① 收稿日期: 2016-02-05

基金项目: 2015 年度震情跟踪定向工作任务“基于秒数据的地磁转换函数强震前变化特征研究”(2015010407)

作者简介: 倪晓寅(1981—), 男, 工程师, 主要从事电磁数据分析和地震预报研究工作。E-mail: 16465074@qq.com。

通信作者: 冯志生, 男, 研究员, 主要从事地震电磁关系和前兆台网观测研究。E-mail: fengzs2001@sohu.com。

viation.

Key words: geomagnetic field; second sample; transform function; polarization; earthquake

0 引言

在地磁实现数字化观测,尤其是实现秒采样观测后,可以很轻松地开展基于谱分析的地震磁扰异常信息提取及基于电磁感应理论的地下深部介质电阻率异常信息的提取,如地磁转换函数^[1]和地磁谐波振幅比^[2]。

近年来利用高频磁场信息研究地震电磁辐射机理并提取震前可靠异常发展得比较迅速,其中以对 ULF 磁场信息的研究较为突出,研究方法有极化法^[3]、主成分分析法^[4]、分形法^[5]等。极化法是国际上用得最多,也是被普遍认为提取异常效果很好的方法^[6]。Hayakawa 等^[3]选取子夜时段的磁通门秒资料进行分析,提取到了 1993 年 8 月 8 日关岛 8.1 级地震的极化值异常;冯志生等^[7]采用磁通门秒资料计算了喀什台 5~100 s 周期的极化值,发现消除半年以上变化周期的极化值在台站周边地震前多次出现高值异常;杨少峰等^[8]还开展过水平分量极化值的研究,其结果表明水平极化方向可用来确定未来震中方位。

地磁转换函数是基于电磁感应理论的一种研究方法,不同频率的转换函数反映不同深度地下介质电性的变化。将地磁短周期转换函数用于磁震关系的分析研究始于 20 世纪 70 年代。在日本柳原一夫^[9]研究了柿冈地磁台 1897—1970 年的 A 值变化与 1923 年关东 7.9 级大地震的关系后,关于地磁转换函数的变化与地震的对应方面的研究逐渐增多,并在国内取得了很多震例,如 1976 年唐山 7.8 级地震^[10]、1979 年溧阳 6.0 级地震^[11]、1983 年菏泽 5.9 级地震等^[12]。同时还开展了地磁转换函数法研究区域地下电性结构的应用^[13-15]。这些研究主要采用的是几分钟—数小时周期的地磁变化信息,而基于秒数据的短周期地磁变化研究较少。

2013 年 7 月 22 日甘肃岷县发生了 6.6 级地震,震中距离天水地震台 154 km。该台于 2007 年布设了 GM4 磁通门磁力仪进行地磁三分量秒采样观测,其数据质量较好,观测环境无干扰。分析研究该台站的短周期地磁异常,有助于我们了解地磁场短周期成分在强震发生前有可能出现的异常特征。本文将采用天水台 GM4 磁通门磁力仪秒数据,计算地磁转换函数和极化值,提取和分析 2013 年 7 月

22 日岷县 6.6 级地震前天水台的地磁短周期变化异常。

1 方法和原理

1.1 转换函数

1955 年 Rikitake 等^[16]、1959 年 Parkinson^[17]证实了地磁短周期变化的垂直分量变化量 ΔZ 、水平分量变化量 ΔH 和磁偏角变化量 ΔD 具有以下稳定线性关系:

$$\Delta Z = A \cdot \Delta H + B \cdot \Delta D \cdots \cdots (1)$$

其中: A 和 B 是转换函数。对地面各测点记录到的天然磁场信号进行分析得到的转换函数 A 和 B 是地点(λ, φ)、深度(h)、频率(ω)或周期(T)的函数。如果 Z 分量有外源场部分,则转换函数 A 和 B 一般为复数,称为复转换函数:

$$A = A_r + iA_i, B = B_r + iB_i \cdots \cdots (2)$$

式(1)可表示为:

$$\Delta Z = (A_r + iA_i)\Delta H + (B_r + iB_i)\Delta D \cdots \cdots (3)$$

式(2)和(3)中:下角标 r 和 i 分别表示转换函数的实部和虚部。根据式(2)和(3),转换函数各参量定义如下:

(1) 复转换函数的模 $|A|$ 和 $|B|$:

$$\left. \begin{aligned} |A| &= \sqrt{A_r^2 + A_i^2} \\ |B| &= \sqrt{B_r^2 + B_i^2} \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (4)$$

(2) 帕金森(Parkinson)矢量的磁方位角 α_p :

$$\alpha_p = \tan^{-1}(B_r/A_r) \cdots \cdots (5)$$

其中: α_p 指向良导体。

分析和研究 A 、 B 和 α_p 随时间的变化,可了解和监测地震活动区地下电性结构和环境的变化。

1.2 极化值

地磁极化值 Y_{zh} ,即地磁垂直分量与水平分量全矢量谱比值,其定义为:

$$Y_{zh} = |Z(\omega)/H(\omega)| \cdots \cdots (6)$$

式中: $Z(\omega)$ 为地磁垂直分量的谱值; $H(\omega)$ 为地磁水平分量的谱值。

观测和分析表明,来自高空电离层和磁层的 ULF 磁场极化值 Y_{zh} 一般都小于 1,而来自震前震源区磁场的 $Y_{zh} \approx 1$ 或 $Y_{zh} > 1$,因此认为 Y_{zh} 是区分磁场信息来自高空还是震源区地下的关键,它可能是提取与地震破裂有关的电磁辐射信息的重要参数。许多学者分析了 Y_{zh} 在地震前后的变化,发现

震前 Y_{zh} 增高的现象很普遍^[7]。

2 计算过程

本文采用 2007 年 12 月—2015 年 6 月天水台 GM4 磁通门磁力仪秒采样地磁三分量数据,首先按 15 min 一段,每天分 96 段计算 5~245 s 各周期虚实傅氏谱,然后再计算得到转换函数各参量和极化值 Y_{zh} 。具体计算步骤如下:

2.1 转换函数

(1) 将各周期 96 段虚实傅氏谱值组成 96 行数组,在复数域迭代计算各周期的转换函数 A 、 B 。

(2) 按指定周期(20~230 s,30 s 间隔,共 8 个周期)分别计算转换函数各参量,生成各参量逐日值文件。

(3) 对转换函数虚数部进行 31 天滑动平均和

365 天滑动平均,消除噪声和年变,再计算模和方位角。

2.2 极化值

(1) 计算各周期虚实傅氏谱的日均值。

(2) 根据虚实谱日均值计算 5~100 s 极化值的日值。

(3) 用傅氏拟合滤除半年以下周期成分,再计算日值和滤波后的残差。

3 计算结果和异常分析

3.1 转换函数

图 1 为天水台 20~230 s(30 s 间隔,共 8 个周期)转换函数 $|A|$ 、 $|B|$ 的滑动平均去年变逐日变化。可以看到在岷县 6.6 级地震前转换函数出现了很明显的异常变化,异常变化具有如下特征:

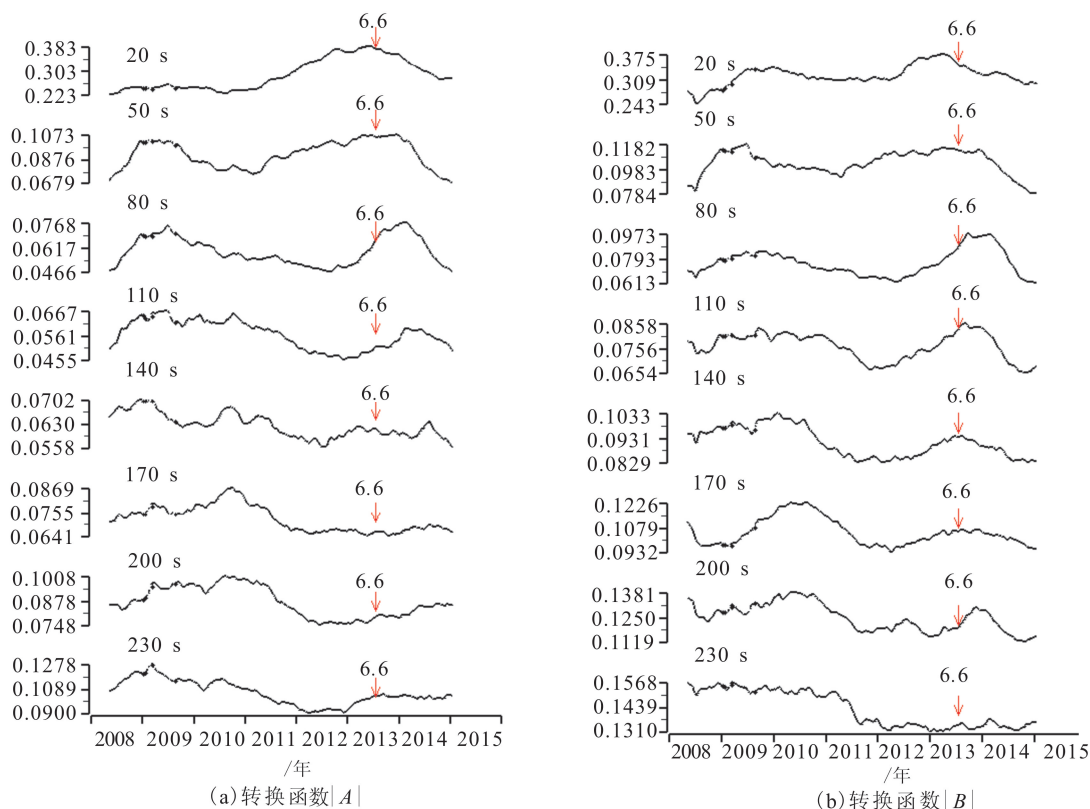


图 1 天水台转换函数 $|A|$ 及 $|B|$

(1) 异常形态主要表现为震前明显的下降-转折-上升现象:2009—2010 年转换函数开始趋势下降;20 s 和 50 s 周期分别于 2010 年和 2011 年转折上升,其他周期在 2012 年转折上升;在上升至最高点附近时发生地震,震后则有所恢复。

(2) 较短的周期转折上升变化更加明显,幅度更大,如 $|A|$ 的 20~80 s 和 $|B|$ 的 20~110 s。根据电磁感应的趋肤效应理论,更短周期的转换函数

反映了距台站更近、更浅层介质的电性变化。岷县地震距离天水台 154 km,震源深度在 7 km 左右,其余震的深度也分布在 10 km 以内^[18],属于发生在台站近处的浅源地震,因此天水台转换函数震前的这种异常现象也反映了未来地震的一些性质。

(3) 天水台 20 s、50 s 和 80 s 周期的帕金森矢量方位角 α_p 在岷县 6.6 级地震有旋转并指向震中的现象。图 2 显示了地震前后这 3 个周期的方位角

变化:20 s 周期方位角在 2011 年 1 月指向震中相反的方向,在 2012 年 1 月旋转至指向震中方位,地震当月和震后指向震中偏北位置;50 s 和 80 s 周期方位角震前 2 年指向台站西南,2013 年地震发生当月旋转至指向台站西部近似震中方位,震后则有所恢复。帕金森矢量方位角 α_p 有指向良导体的特

性^[14],而地震前震中地区地下介质微破裂增多导致地下水注入断层裂隙而使电导率上升,则 α_p 有可能在震前指向震中位置。方位角震前旋转指向震中的周期与 $|A|$ 震前出现异常的周期相同,表明这些周期对应深度范围的震中区地下介质在孕震过程中发生了明显的电性结构异常变化。

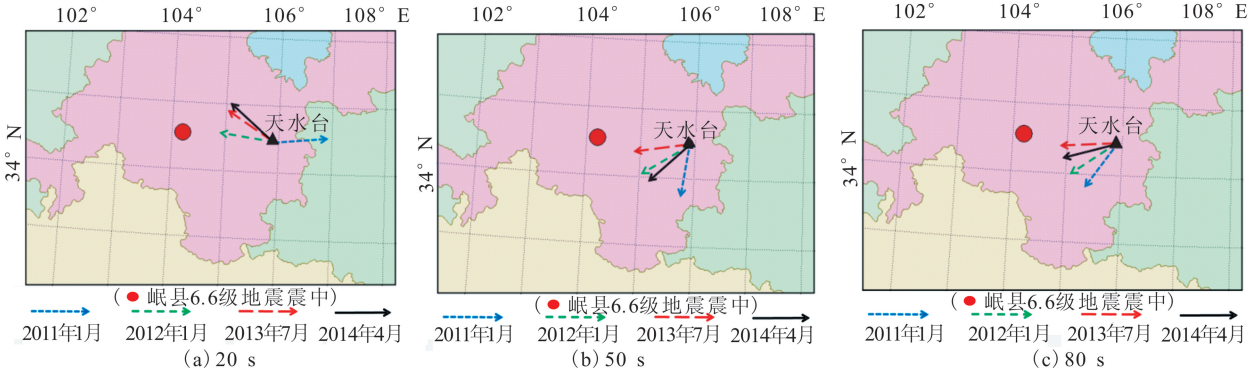


图 2 天水台不同周期方位角 α_p

(4) 转换函数下降和转折上升的时间短周期要早于长周期,20 s 和 50 s 周期的 $|A|$ 、 $|B|$ 震前最低值分别出现在 2010 年和 2011 年初,而其他周期最低值的出现时间则都在 2011 年底以后,这可能意味着震前地下介质出现了由浅至深的异常变化。方位角在震前的变化也出现了类似情况,20 s 周期的方位角指向震中的时间要早于 50 s 和 80 s。转换函数出现这种异常从短周期发展到长周期的现象也

和岷县地震的震源深度较浅有关:震源区周边的介质性质先发生了改变,随着地震孕育过程中应力的积累,这种变化逐渐从震源区向外围和深部扩散。

3.2 极化值

基于天水台 GM4 磁通门磁力仪地磁三分量秒数据,计算得到 5~100 s 磁场极化值 Y_{zh} 。图 3(a) 为极化值 Y_{zh} 5 日滑动均值,可以看到在岷县 6.6 级地震前 3 个月,即 2013 年 4 月出现了 2 次超 3 倍均

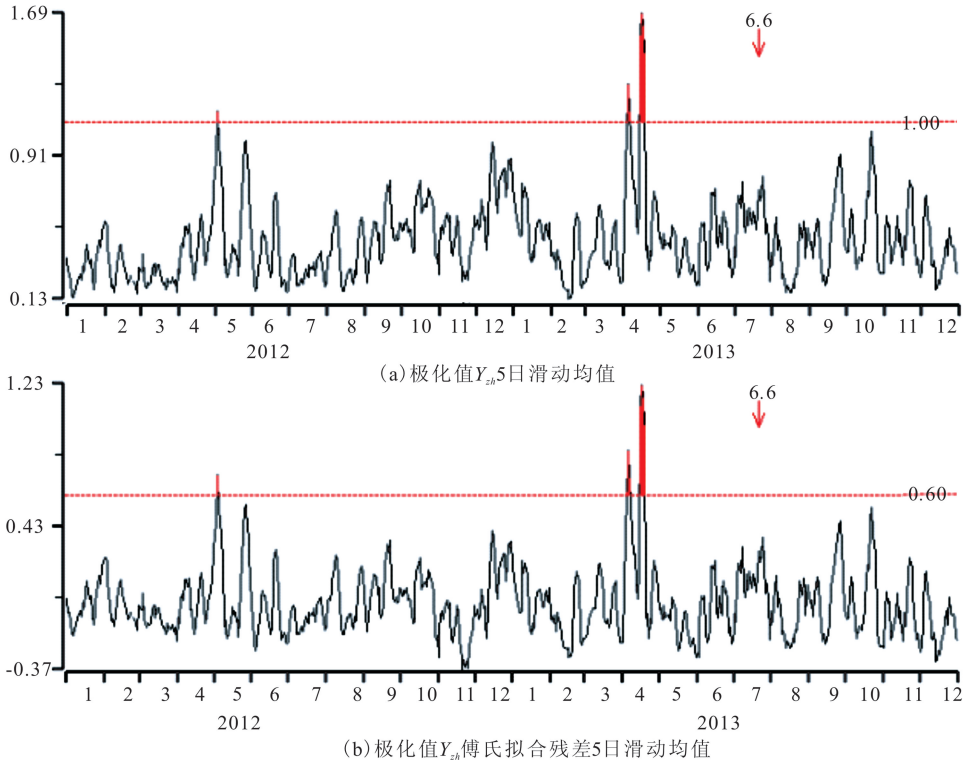


图 3 天水台极化值 Y_{zh}

方差的高值异常,累计持续时间达到了 9 天。由于极化值 Y_{zh} 存在半年和年变现象^[7],为消除高值受长周期变化的叠加影响,使用傅氏拟合计算其残差。图 3(b)为消除了半年以上周期后的残差 5 日滑动均值,可见 2 次高值异常仍然存在。

震前大量震例表明地震前地表仪器可以接收来自震源区的电磁辐射信号,这些来自地下震源区的辐射信号会叠加在地磁场之中,连续观测地磁仪器记录的地磁场变化中包含了这些信息。极化值 Y_{zh} 的增大代表来自地下的信号增多,这些信号很有可能是震源区孕震过程中岩石破裂产生的辐射信号。文献[18]统计了 ULF、ELF、VLF 和 LF 信号传播最大距离 $D_{\max}$ 和震级 M 的关系: $M = -0.87 + 2.61 \lg D_{\max}$,即地震震级越大,可观测到的电磁信号距离越远。根据该公式计算,岷县 6.6 级地震震前震源区发射的电磁信号发射距离可达 700 km 以上,天水台距震中仅 154 km,很明显位于其辐射范围内。

4 结论

基于天水台 GM4 磁通门磁力仪地磁三分量秒数据计算得到的转换函数各参量和极化值在岷县 6.6 级地震前均出现了不同程度的异常现象。转换函数的异常变化表明震前天水台周边一定深度范围内地下介质电性结构发生了改变;帕金森矢量方位角指示了产生这种变化可能的方位; Y_{zh} 的高值则表明地磁场中来自地下的辐射信号增多。震前这种多个参量的异常对未来地震三要素的判定具有重要的指示意义。

参考文献

- [1] 曾小苹,林云芳.地磁短周期变化异常对中国中强地震的响应[J].地震,1995,15(1):29-36.
- [2] 冯志生,梅卫萍,张秀霞,等.中强震前地磁谐波振幅比的趋势性变化特征初步研究[J].西北地震学报,2004,26(1):50-56.

- [3] Hayakawa M, Kawate R, Molchanov O A, et al. Results of Ultra-low-frequency Magnetic Field Measurements during the Guam Earthquake of 8 August 1993[J]. Geophys Res Lett, 1996, 23: 241-244.
- [4] 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.
- [5] Hayakawa M, Itoh T, Smirnova N. Fractal Analysis of ULF Geomagnetic Data Associated with the Guam Earthquake on 8 August 1993[J]. Geophys Res Lett, 1999, 26(18): 2797-2800.
- [6] 李琪,李军辉,杨冬梅,等.地磁 ULF 前兆信息研究简述[J].地震地磁观测与研究,2008,29(6):170-176.
- [7] 冯志生,李琪,卢军,等.基于磁通门秒值数据的地震 ULF 磁场可靠信息提取研究[J].华南地震,2010,30(2):1-7.
- [8] 杨少峰,杜爱民.新疆喀什地区 1996 年 11 月震前超低频电磁辐射异常与震源方向的关系[J].地球物理学报,2002,45(1):101-108.
- [9] Yanagihara K. Secular Variations of the Electrical Conductivity Anomaly in the Central Part of Japan[J]. Mem Kakioka Mag Obs, 1972, 15(1): 1-11.
- [10] 龚绍京,陈化然,张翠芬,等.地磁水平场转换函数在唐山地震前的异常反应[J].地震学报,1997,19(1):51-58.
- [11] 严大华.1979 年溧阳地震前后的转换函数变化[J].地震学报, 1986, 8(4): 412-420.
- [12] 王琦.与 1983 年 11 月 7 日菏泽 5.9 级地震可能有关的菏泽台地磁转换函数异常变化[J].地震学报,1988,10(1):49-57.
- [13] 徐文耀,祁睽,王仕明.甘肃省东部地区短周期地磁变化异常及其与地震的关系[J].地球物理学报,1978,21(3):218-223.
- [14] 龚绍京,杨桂群,田山.帕金森矢量、转换函数及地下电性结构[J].地震学刊,1989(4):21-25.
- [15] 曾小苹,林云芳,赵跃辰.中国南极长城站的地下电性结构[J].地震学报,1995,17(2):247-252.
- [16] Rikitake T, Yokuyama. A Preliminary Study on the Anomalous Behavior of Geomagnetic Variations of Short Period in Japan and Its Relation to the Subterranean Structure[J]. Bull Earthq Res Inst Univ Tokyo, 1955, 33: 297-331.
- [17] Parkinson W D. Directions of Rapid Geomagnetic Fluctuations[J]. Geophys J R astr Soc, 1959, 2: 1-14.
- [18] Rikitake T. Nature of Electromagnetic Emission Precursory to an Earthquake[J]. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, 1997, 49: 1153-1163.