

强震前短周期地磁谐波振幅比变化特征^{*}

倪晓寅, 陈莹

(福建省地震局, 福建 福州 350003)

摘要: 采用成都台和天水台 GM4 磁通门磁力仪秒采样地磁数据, 计算得到这 2 个台站的 20 ~ 230 s 周期的谐波振幅比, 发现该周期范围内的谐波振幅比在地震前出现的异常与 10 ~ 60 min 周期的谐波振幅比类似, 主要表现为下降—转折—恢复上升的变化形态。成都台的谐波振幅比异常呈现南北方向和长短周期均不同步的特征, 而天水台只有长短周期之间出现不同步现象。根据异常特征推测天水台位于岷县—漳县 6.6 级地震前的高导体区域内, 而成都台则位于芦山 7.0 级地震前的高导体东侧边界附近。

关键词: 地磁场; 谐波振幅比; 岷县—漳县 6.6 级; 芦山 7.0 级地震

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)03-0431-06

0 引言

地磁场的内源场部分和地下介质电磁性质息息相关, 使用各种计算方法提取反应地下介质电磁性质变化是利用地磁场预报地震的常用途径。各种基于电磁感应理论通过研究地磁场短周期部分变化的计算方法, 可以一定程度上获取孕震区深部电阻率的变化信息 (冯志生等, 2013)。Rikitake 和 Yokuyama (1952)、Parkinson (1959) 引入了地磁转换函数的概念, 不同频率的转换函数反映了不同深度的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 年代初, 在日本柳原一夫研究了 1897—1970 年柿冈地磁台 A 值变化与 1923 年关东 7.9 级大地震的关系后 (Yanagihara, 1972), 关于地磁转换函数的变化与地震相对应方面的研究逐渐增多, 并在国内研究了很多对应震例 (徐文耀等, 1978; 曾小苹, 林云芳, 1995)。

地磁谐波振幅比是冯志生等 (2004) 在地磁转换函数理论上提出的概念, 是一种基于地表观测到的地磁三分量 Z 、 H 和 D 短周期变化, 计算结果能反映地下深处介质电阻率变化信息的地磁预测方法。冯志生等 (2004) 在对崇明台、余

山台地磁谐波振幅比的研究中发现, 中强地震发生前后地磁谐波振幅比与地电阻率的趋势性地震异常特征相似, 主要表现为下降—转折—恢复上升的变化过程, 地震基本发生在趋势性下降异常后的转折期、恢复上升期或恢复后的初期阶段, 异常持续时间与震级关系符合地电阻率的异常持续时间与震级关系, 时间越长, 震级越高。冯志生等 (2009, 2013) 在喀什台和通海台的谐波振幅比研究中进一步分析探讨了异常形态与震中距的关系, 结果认为: 仅有短周期出现异常时, 未来地震发震地点距台站较近, 一般在 100 ~ 300 km 范围内; 长短周期都出现异常时, 若南北向与东西向变化同步、长短周期变化也同步时, 未来地震发震地点距离台站较远, 一般在 300 ~ 500 km 范围, 甚至更远; 而当南北向与东西向变化不同步或长短周期变化不同步时, 未来地震发震地点距台站较近, 一般在 100 ~ 300 km 范围内。戴勇等 (2016) 基于甘肃地磁台阵分钟值数据计算分析谐波振幅比的结果也验证了上述结论。

目前有关谐波振幅比的研究成果均是基于分钟值采样数据, 其研究的谐波振幅比周期范围主要是 10 ~ 60 min, 其异常对应的地震的发震地点范围可达 200 ~ 300 km 甚至 300 km 以上。而随着地磁观测技术的不断进步, 秒采样观测仪器也已经

^{*} 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 2015 年度中国地震局青年震情跟踪课题《基于秒数据的地磁转换函数强震前变化特征研究》(2015010407) 资助.

在全国地磁台站普及。根据电磁感应的趋肤效应理论,电磁波的周期越短,其穿透的深度越浅,如使用秒采样数据计算谐波振幅比,我们可以得到几百秒以内周期的谐波振幅比变化,并据此分析更浅层介质的性质变化。

岷县—漳县 6.6 级地震和芦山 7.0 级地震是 2013 年发生在我国大陆地区的 2 次显著强震,本文将采用距 2 次地震较近的天水台和成都台 GM4 磁通门磁力仪秒采样数据,计算并分析这 2 次地震前天水台和成都台短周期谐波振幅比的异常变化特征。

1 分析方法和计算过程

1.1 方法原理

对于随时间周期变化的不均匀场源,在地球介质为均匀各向同性的平面导体的条件下:

$$\frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} = \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} = i \frac{\lambda}{\theta} \tag{1}$$

$$\theta^2 = \sigma \mu \omega \cdot i + \lambda^2 \tag{2}$$

式中: $Z(\omega)$ 、 $H_x(\omega)$ 和 $H_y(\omega)$ 分别是地磁场的垂直分量、北向和东向水平分量的频谱值; μ 为磁导率; σ 为电导率; ω 为圆频率; λ 是变化磁场的波数,是反映场源尺度的参数。在 (1) 式中, $\frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)}$ 与 $\frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)}$ 没有差异。但是,实际的地球介质是不均匀的,也是各向异性的,此时 $\frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \neq \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)}$ 。地磁谐波比的定义为:

$$Y_{ZH_x} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \right|, \quad Y_{ZH_y} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} \right| \tag{3}$$

由 (1) 和 (2) 式可见, Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 与介质的电阻率呈正比 (与电导率呈反比), 即当地球介质电阻率下降时, Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 也下降。 Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 分别为谐波振幅比的南北向和东西向。

1.2 资料选取

天水台和成都台分别是距离岷县—漳县 6.6 级地震和芦山 7.0 级地震最近的台站,震中距分别为 154 km 和 100 km (图 1)。

本文采用 2009 年 4 月—2015 年 6 月成都台和 2007 年 12 月—2015 年 6 月天水台 GM4 磁通门磁

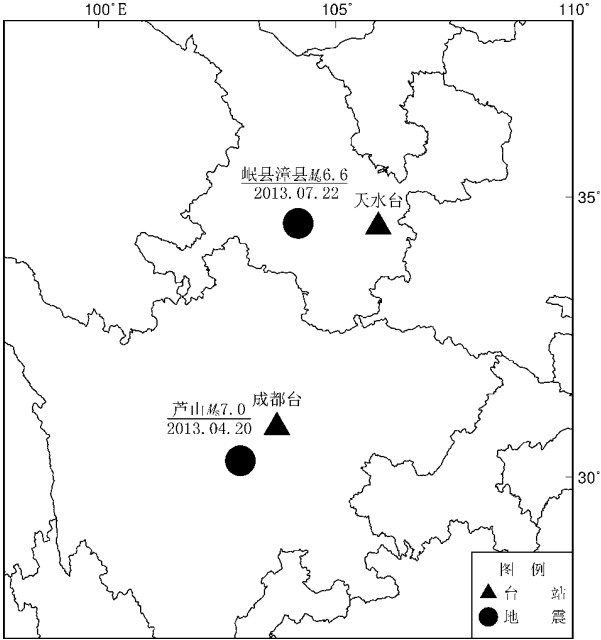


图 1 台站与震中分布

Fig. 1 Distribution of seismic stations and earthquake epicenters used in the study

力仪地磁三分量秒采样数据进行谐波振幅比计算。首先对三分量时间序列数据进行傅氏谱计算; 根据傅氏谱计算谱比 $Y_{ZH_x} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \right|$, $Y_{ZH_y} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} \right|$, 按指定周期 (20 ~ 230 s, 30 s 间隔, 共 8 个周期) 计算逐日值文件, 对逐日值进行滑动滤波, 后得到去年变的谐波振幅比结果。

2 计算结果和异常特征

2.1 成都台谐波振幅比

由图 2 可见, 成都台谐波振幅比在芦山 7.0 级地震前出现了明显的下降—转折—恢复上升异常变化, 南北向所有周期都出现了异常, 东西向异常则分布在 50 s 和 140 ~ 230 s; 同一方向的长短周期、同一周期的南北向和东西向谐波振幅比均出现了趋势变化不一致的情况; 地震发生在谐波振幅比南北向 20 ~ 170 s 和 230 s、东西向 50 s 和 140 s 上升至最高拐点值附近, 南北向 200 s 和东西向 200 s、230 s 谐波振幅比则在地震发生后仍然持续上升。表 1 为成都台谐波振幅比的异常参数, 可以看到: 异常幅度在 0.06 ~ 0.2 之间, 东西向的异常幅度明显大于南北向; 南北向相对较长的周期

(140 ~ 230 s) 转折上升时间早于相对较短的周期 (20 ~ 110 s)。由于 2009 年 10 月谐波振幅比已经处于趋势下降状态，推测震前的异常持续时间应该在 3.5 a 以上。

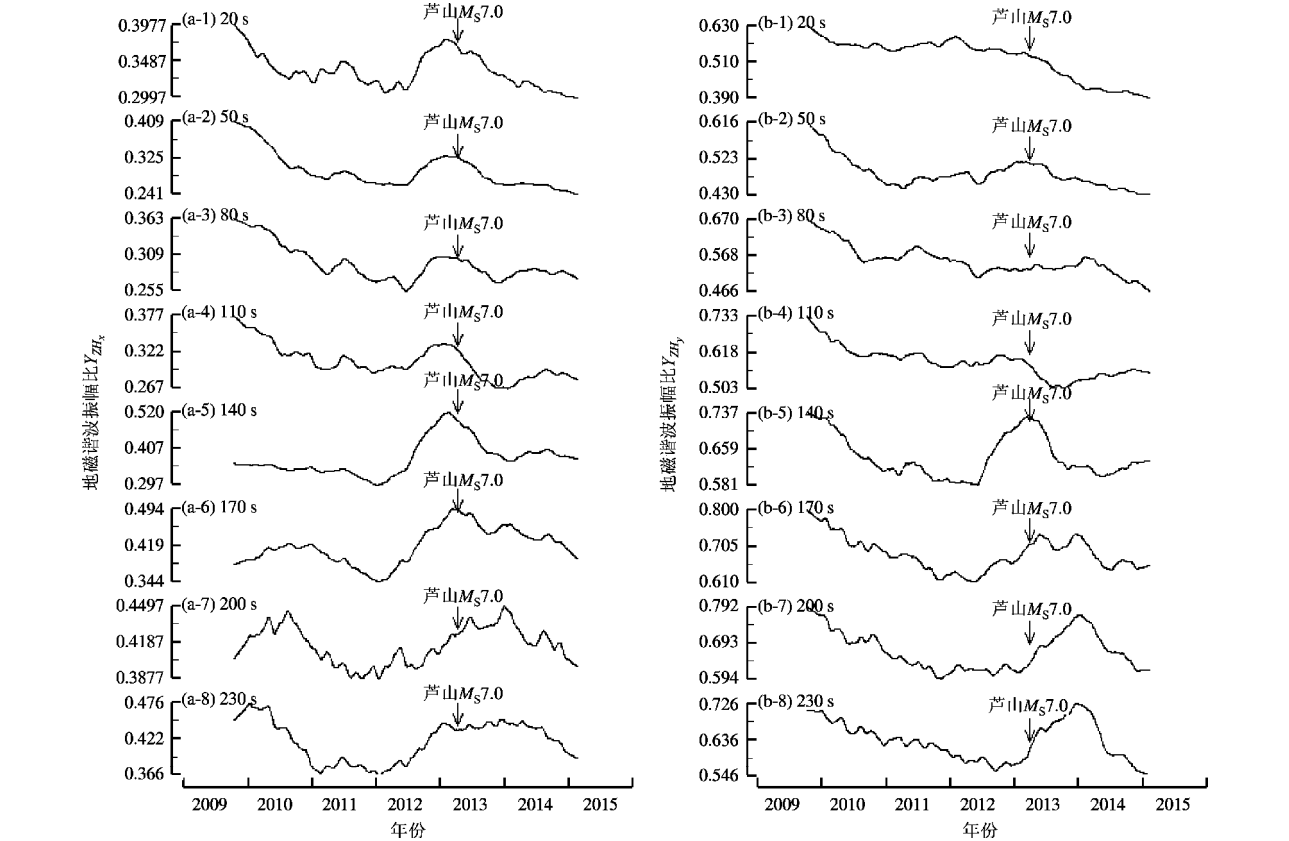


图 2 芦山 7.0 级地震前成都台南北向 (a)、东西向 (b) 20 ~ 230 s 周期的谐波振幅比

Fig. 2 The geomagnetic harmonic wave amplitude ratio of NS (a) and EW (b) at the period of 20 ~ 230 s at the Chengdu station before the Lushan M_s 7.0 earthquake

表 1 成都台谐波振幅比异常参数

Tab. 1 The abnormal parameters of harmonic wave amplitude ratio at the Chengdu station

周期/s	方向	异常幅度	转折上升日期	周期/s	方向	异常幅度	转折上升日期
20	南北向	0.09	2012 - 03	20	东西向	无	无
50	南北向	0.14	2012 - 06	50	东西向	0.16	2011 - 04
80	南北向	0.11	2012 - 06	80	东西向	无	无
110	南北向	0.09	2012 - 06	110	东西向	无	无
140	南北向	0.07	2012 - 01	140	东西向	0.15	2012 - 06
170	南北向	0.08	2012 - 01	170	东西向	0.19	2012 - 06
200	南北向	0.06	2012 - 01	200	东西向	0.2	2012 - 10
230	南北向	0.11	2012 - 01	230	东西向	0.16	2012 - 10

2.2 天水台谐波振幅比

由图 3 可见，天水台地磁谐波振幅比在岷县—漳县 6.6 级地震前同样出现了下降—转折—恢复上升的异常变化。南北向和东西向谐波振幅比在所有周期均有出现异常，受图 2 中坐

标轴纵轴幅度压制影响，20 ~ 110 s 南北向和 20 ~ 140 s 东西向的下降趋势较为平缓，显示不明显；南北向 140 s 在震前出现了一次较短时间的下降—转折—上升变化；不同周期的异常起始日期大致在 2009 年 8 月—2010 年 1 月之间，

异常持续最长时间近 4 年；地震发生在谐波振幅比最高拐点值之前；南北向和东西向的长短周期在异常期间出现趋势变化不同步的现象，但同一周期的 2 个方向趋势基本一致；而 170 ~

230 s 周期谐波振幅比在地震发生前出现了 2 次下降—转折—上升变化；异常幅度变化范围在 0.02 ~ 0.12 之间（表 2），南北向和东西向的异常幅度差异较小。

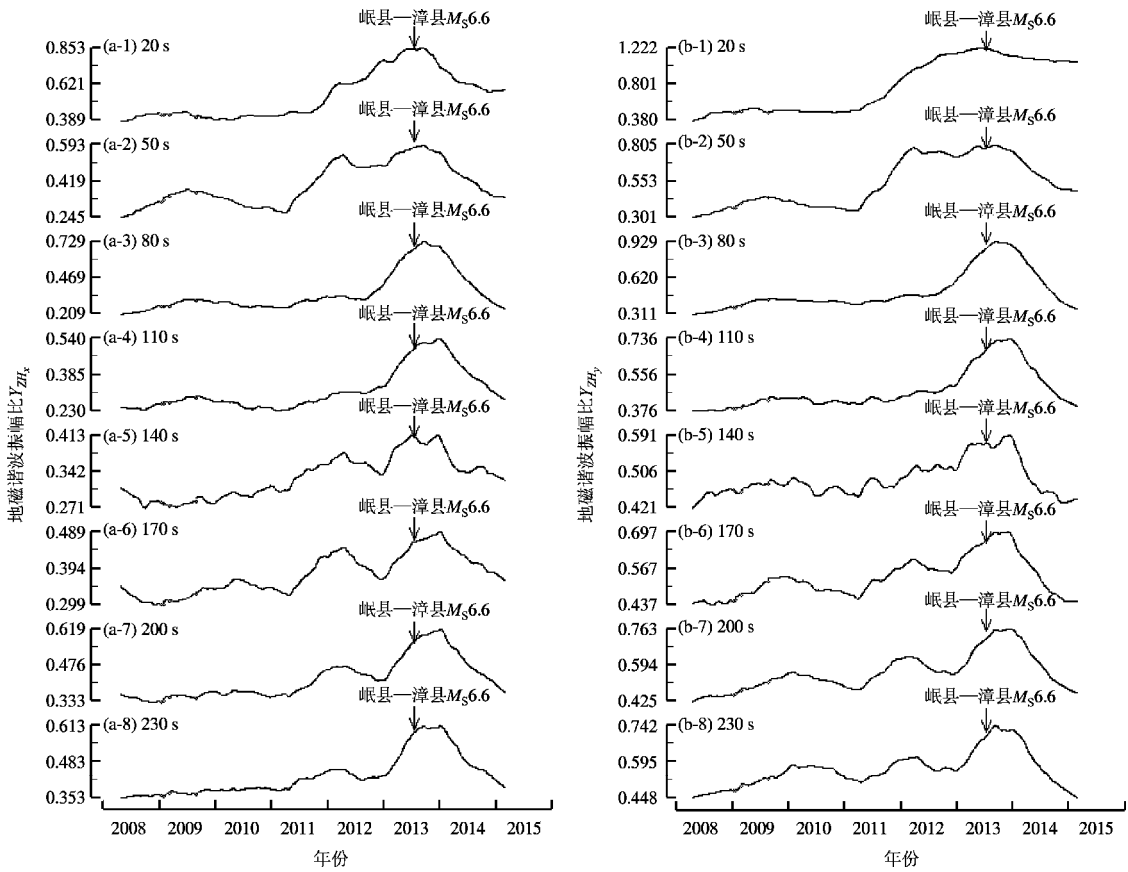


图 3 岷县—漳县 6.6 级地震前天水台南北向 (a)、东西向 (b) 20 ~ 230 s 周期的谐波振幅比
Fig. 3 The geomagnetic harmonic wave amplitude ratio of NS (a) and EW (b) in the period of 20 ~ 230 s at the Tianshui station before the M_s6.6 earthquake

表 2 天水台谐波振幅比异常参数

Tab. 2 The abnormal parameters of harmonic wave amplitude ratio at the Tianshui station

周期/s	方向	异常幅度	转折上升日期	周期/s	方向	异常幅度	转折上升日期
20	南北向	0.06	2010-04	20	东西向	0.05	2011-04
50	南北向	0.12	2011-04	50	东西向	0.1	2011-04
80	南北向	0.07	2011-04	80	东西向	0.07	2011-04
110	南北向	0.07	2011-04	110	东西向	0.05	2011-04
140	南北向	0.05	2012-12	140	东西向	0.04	2011-04
170	南北向	0.05、0.09	2011-04 2012-12	170	东西向	0.08、0.05	2011-04 2012-12
200	南北向	0.03、0.07	2011-04 2012-12	200	东西向	0.09、0.09	2011-04 2012-12
230	南北向	0.02、0.05	2011-04 2012-12	230	东西向	0.08、0.06	2011-04 2012-12

3 讨论

通过研究我们发现,秒值数据 20 ~ 230 s 周期的谐波振幅比(以下简称秒值谐波振幅比)在地震前的异常形态与基于分钟值得到的较长周期的谐波振幅比(以下简称分钟值谐波振幅比)一致,均呈现下降—转折—恢复上升的趋势变化,2 次地震都发生在最高点拐点附近,异常持续时间在 3.5 年以上。天水台距离岷县—漳县地震震中 154 km,成都台距离芦山地震震中 100 km,二者在震前都出现了趋势不同步变化,这符合分钟值谐波振幅比的研究成果:当南北向与东西向变化不同步或长短周期变化不同步时,未来地震的发震地点一般在距离台站 100 ~ 300 km 范围内。

2014 年 11 月 22 日康定 6.3 级地震震中距离成都台 210 km,地震前成都台秒值谐波振幅比处于整体下降趋势,未出现异常,这应该与秒值谐波振幅比的周期较短有关。根据电磁波趋肤深度公式(丁鉴海等,1994),230 s 周期电磁波在沉积岩介质中的穿透深度为 76 km,康定地震距离成都台的震中距远大于 76 km,因此成都台的秒值谐波振幅比没有出现异常。60 min 周期电磁波在沉积岩介质中的趋肤深度理论上可达 302 km,因此,当分钟值谐波振幅比出现整体的同步异常变化时,其映震距离可达 500 km 甚至更远。

成都台和天水台在 2 次地震前的异常特征不尽相同。成都台同一周期的南北向和东西向、同一方向的长短周期谐波振幅比均出现了趋势变化不同步现象,而天水台同一周期的 2 个方向趋势变化一致,但同一方向的长短周期不同步。笔者认为造成两个台异常变化特征不同的原因是成都台和天水台位于地震前形成的高导异常体的不同区域:天水台两个方向趋势变化一致,但同一方向的长短周期不同步,其位置应该位于高导异常体区域内,因此其异常特征主要表现为垂直向的差异变化(高导体位于台站下方,其上边界两侧的介质电阻率会出现差异而水平向差异不大);成都台则位于高导异常体区域边界附近,因此其秒值谐波振幅比在水平向和垂直向均出现差异变化。根据流动地磁的研究成果,芦山地震孕育 1 年前所产生的岩石圈地磁异常空间范围是以震中为圆心,半径约 125 km(倪喆等,2014),这一结果也符合成

都台位于地震前高导异常体区域边界附近的推论。

芦山地震震中位于成都台西南方向,而成都台东西向的异常幅度明显大于南北向,可以推测成都台所处位置为高导体东侧边界附近。根据电磁感应理论,谐波振幅比东西向反映的应该是南北向地电阻率,这与高导体东侧边界走向优势方向是一致的(块体东侧边界走向优势方向应为南北向)。

4 结论

本文计算了成都台和天水台 20 ~ 230 s 周期的谐波振幅比,分析了两者在芦山 7.0 级和岷县—漳县 6.6 级地震前的变化特征,主要得出以下结论:

(1) 成都台和天水台秒值谐波振幅比在芦山 7.0 级地震和岷县—漳县 6.6 级地震前分别出现了典型的类地电阻率异常,即震前的下降—转折—恢复上升变化,这与分钟值谐波振幅比的研究结果一致。

(2) 秒值谐波振幅比的映震范围相对较小,成都台在康定 6.3 级地震前未出现异常变化(震中距 210 km),这与电磁波趋肤效应有关,较短周期的电磁波穿透的介质深度更浅。

(3) 成都台和天水台不同的异常特征反映了二者处于地震前异常高导体的不同位置。

通过本文的研究可以认为,秒值谐波振幅比也能较好地捕捉到距离台站较强的强震前兆异常,但由于本文的震例仅有 2 个,结论中的第(2)和第(3)点有待于后续研究增加震例进一步的佐证和补充。

冯志生研究员为本研究提供计算程序,并在本研究开展过程及论文撰写过程中给予了很多帮助和理论指导,在此表示感谢。

参考文献:

- 戴勇,高立新,张立丰. 2016. 甘—青地区地磁谐波振幅比分析[J]. 地震工程学报,38(1):12-18.
- 丁鉴海,卢振业,黄雪香. 1994. 地震地磁学[M]. 北京:地震出版社,131.
- 冯志生,居海华,李鸿宇,等. 2009. 地磁谐波振幅比异常特征的进一步研究及定性解释[J]. 华南地震,29(1):17-23.
- 冯志生,李鸿宇,张秀霞,等. 2013. 地磁谐波振幅比异常和强地震[J]. 华南地震,33(3):9-15.
- 冯志生,梅卫萍,张秀霞,等. 2004. 中强震前地磁谐波振幅比的变化特征初步研究[J]. 西北地震学报,26(1):50-56.

倪喆,陈双贵,袁浩浩,等. 2014. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈磁场异常变化研究[J]. 地震研究,37(1):61–65.

徐文耀,祁睭,王仕明. 1978. 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,21(3):218–223.

曾小苹,林云芳. 1995. 地磁短周期变化异常对中国中强地震的响应[J]. 地震,15(1):29–36.

PARKINSON W D. 1959. Directions of rapid geomagnetic fluctuations[J]. Geophys J R Astr Soc,2(1):1–14.

RIDITAKE T, YOKUYAMA. 1952. 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,31(2):89–100.

YANAGIHARA K. 1972. Secular Variations of the electrical conductivity anomaly in the central part of Japan[J]. Mem Kakioka Mag Obs,15(1):1–11.

The Variation Characteristics of Short-Period Geomagnetic Harmonic Wave Amplitude Ratio before Strong Earthquakes

NI Xiaoyin, CHEN Ying
(Fujian Earthquake Agency, Fuzhou 350003, Fujian, China)

Abstract

This paper calculates the geomagnetic harmonic wave amplitude ratio with periods of 20 ~ 230 s by using the data of GM4 fluxgate magnetometer at the Chengdu station and Tianshui station. We find that the abnormal variations of geomagnetic harmonic wave amplitude ratio with periods of 20 ~ 230 s showed the characteristics of down-turning-recovery before earthquakes, which were same as the abnormal variations of geomagnetic harmonic wave amplitude ratio with periods of 10 ~ 60 min. At the Chengdu station, there was asynchronization between north-south direction and west-east direction, and also between long-period and short-period. However, the asynchronous phenomenon at the Tianshui station only existed between long-period and short-period. According to the anomaly characteristics, we infer that the Tianshui station was located in the high conductive body before the Minxian-Zhangxian *M*6.6 earthquake, and the Chengdu station located near the east border of the high conductive body before the Lushan *M*7.0 earthquake.

Keywords: geomagnetic field; harmonic wave amplitude ratio; the Minxian-Zhangxian *M*6.6 earthquake; the Lushan *M*7.0 earthquake