

蒋延林、袁桂平、李鸿宇等,2016,高邮-宝应 4.9 级地震地磁谐波振幅比异常特征初步分析,中国地震,32(1),143~150。

# 高邮-宝应 4.9 级地震地磁谐波振幅比 异常特征初步分析

蒋延林<sup>1)</sup> 袁桂平<sup>2)</sup> 李鸿宇<sup>2)</sup> 唐廷梅<sup>3)</sup> 赵卫红<sup>1)</sup>

1) 江苏省地震局高邮地震台,江苏省高邮市南郊地震台路 2 号 225601

2) 江苏省地震局,南京 210014

3) 山东省地震局,济南 250014

**摘要** 针对高邮-宝应 4.9 级地震发生前后附近地区未发生其它中等以上地震、地震事件孤立及周边地磁台站分布较密有利于研究地震地磁异常时空特征的特点,较为系统地分析总结了该地震发生前后地磁谐波振幅比的变化特征。研究结果进一步验证了目前对地磁谐波振幅比异常特征的认识,即地磁谐波振幅比异常特征表现出与地电阻率类似的下降-转折-恢复上升的异常变化过程,地震一般发生在异常转折或恢复上升过程中,距震中较近的台站会出现不同步现象,即 SN 向与 EW 向的不同步以及长短周期的不同步。

**关键词:** 地磁 异常 振幅比 高邮-宝应 4.9 级地震

[文章编号] 1001-4683(2016)01-0143-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

在地震孕育过程中,随着孕震区应力的增加,孕震区介质电阻率一般会发生下降变化。冯志生等(2009)指出,基于电磁感应理论的各种计算方法可用于探测孕震区深部电阻率变化信息,但对于提取与地震孕育过程有关的异常变化信息这一目标而言,在目前对地震孕育过程中深部电阻率异常变化的机理并不十分清楚、深部电阻率异常变化所引起的变化磁场的异常很微弱的情况下,所采用的计算方法对实际地球介质的假定和约束应越少越好,而地磁谐波振幅比则是能满足该条件的较好的方法。冯志生等(2004)初步研究表明,地磁谐波振幅比异常变化特征与(直流)地电阻率的变化特征类似,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间的关系符合地电阻率的异常持续时间与震级间的关系,即时间越长,震级越高,但同震级地震的地磁谐波振幅比异常持续时间比地电阻率异常持续时间长。冯志生等(2013)进一步研究发现,地震一般发生在异常恢复上升期出现 SN 向与 EW 向不同步或长短周期不同步现象的台站附近 300km 范围内以及仅有短周期出现异常且异常持续时间仅 1~2 年的台站附近 300km 范围内,但此情况下震级一般仅为 5 级左右。

[收稿日期] 2015-12-27; [修定日期] 2016-01-04

[项目类别] 2015 年度电磁学科技术管理组常规任务“高压直流对地磁观测干扰日常识别与跟踪”资助

[作者简介] 蒋延林,男,1960 年生,高级工程师,主要从事地震电磁监测预报研究。E-mail: 779854091@qq.com

在以往一些研究中,研究区域内、时段内地震较多,地震与异常的一一对应关系不明显,此情形对提取异常特征和判据可能会产生干扰,而与此不同的是,孤立地震事件则有利于提取地震前后的异常特征。2012年7月20日江苏省高邮市与宝应市交界发生4.9级地震,该地震周边200km范围内地磁台站分布较密,其中高邮台、盐城台和淮安台的震中距分别仅为37、57、67km,同时该地震发生前后附近地区也未发生其他中等以上地震,此情形为研究地震地磁异常时空特征提供了便利。本文初步研究了该地震周围地磁谐波振幅比异常特征并对其进行了定性解释。

## 1 基本原理、资料处理与结果

地磁谐波振幅比  $Y_{Zhx}$ (NS) 和  $Y_{Zhy}$ (EW) 的定义为

$$Y_{Zhx}(\text{NS}) = \left| \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \right| / KY_{Zhy}(\text{EW}) = \left| \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} \right| \quad (1)$$

其中,  $Z(\omega)$ 、 $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$  分别为地磁场的垂直分量、水平分量 SN 向和 EW 向谱;  $\omega$  为圆频率。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,则有

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} = \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} = i \frac{\lambda}{\theta} \\ \theta^2 = \sigma\mu\omega \cdot i + \lambda^2 \end{array} \right. \quad (2)$$

式中,  $\mu$  为磁导率;  $\sigma$  为电导率;  $\omega$  为圆频率;  $\lambda$  为常数,是变化磁场的波数。在这种情况下,  $Y_{Zhx}$ (NS) 和  $Y_{Zhy}$ (EW) 与地下介质的电阻率  $\rho$  呈正比,当  $Y_{Zhx}$ (NS) 和  $Y_{Zhy}$ (EW) 下降时,可能对应了地下介质的电阻率  $\rho$  的下降。

FHD 质子矢量磁力仪采用质子磁力仪与线圈组合观测原理(钱家栋等,2010),每分钟观测 1 组地磁总场  $F$ 、水平分量(水平分量全矢量)  $H$  和磁偏角  $D$ ,其中  $F$  和  $H$  为绝对值,  $D$  为相对值,  $F$ 、 $H$ 、 $D$  的观测精度分别为 0.3nT、0.6nT、0.1'。本次计算分析采用的是地震周围台站 FHD 质子矢量磁力仪分钟值三分量观测资料,地震震中与台站分布见图 1,各台站 FHD 磁力仪开始观测时间见表 1,其中无锡台资料质量一直不佳,海安台 2009 年资料不稳定,凌阳台 2010 年资料不稳定,崇明台一直受地铁干扰,故以上 4 个台的资料均未参与计算分析。

资料处理及计算过程采用冯志生编制的软件<sup>①</sup>,具体计算步骤为:①将每日  $F$ 、 $H$  和  $D$  资料转换为  $Z$ 、 $H_x$  和  $H_y$ ;②去噪声、线性去倾、加汉宁窗;③按周期等间隔计算 5~65min 的每分钟的三分量富氏谱  $Z(\omega)$ 、 $H_x(\omega)$  和  $H_y(\omega)$ ;④按每 10min 一个频带计算谱的频带均值;⑤计算各频带(10、20、30、40、50、60min)的地磁谐波振幅比;⑥计算年滑动平均,消除年变化。各台站计算结果如图 2 所示。

## 2 异常特征

图 2(a)高邮台震中距 37km,各周期的地磁谐波振幅比约自 2010 年初开始出现下降,转折时间大部分出现在 2010 年底,但除  $Y_{Zhx}$ (NS) 的 10、20、30min 出现完整的下降-转折-恢复

① 冯志生,2012,地磁谐波振幅比地磁转换函数专用计算程序

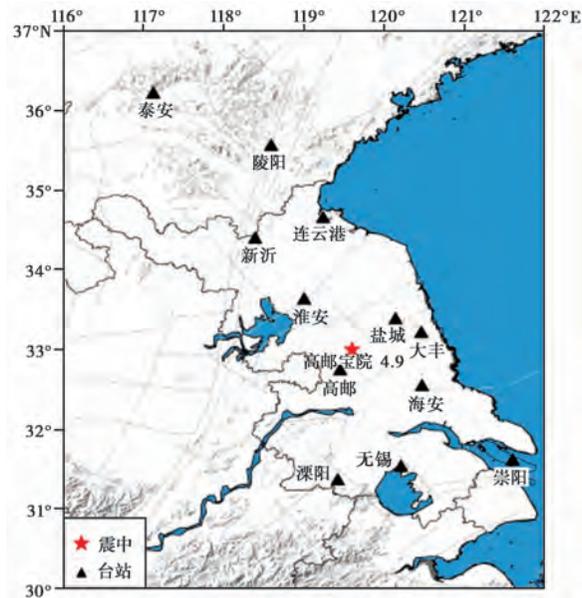


图 1 高邮-宝应 4.9 级地震震中与地磁台站分布

表 1 地磁台站观测开始时间

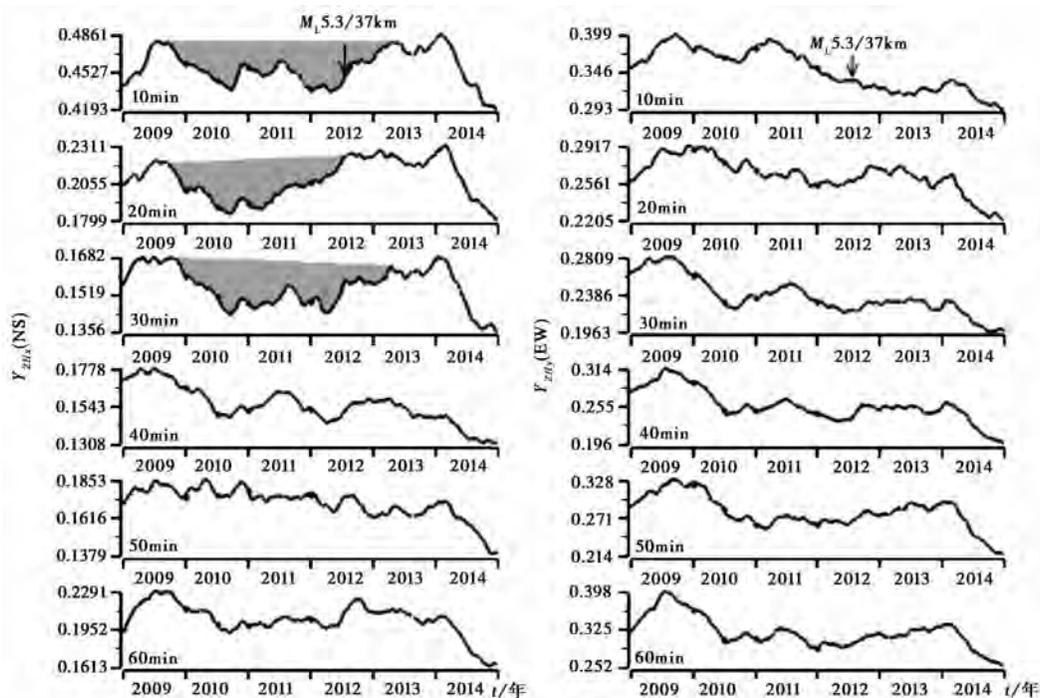
台站	新沂台	连云港台	高邮台	溧阳台	淮安台	盐城台
观测开始时间/ 年-月-日	2001-03-08	2001-03-08	2008-08-15	2010-12-15	2002-01-01	2002-01-01
台站	海安台	泰安台	崇明台	无锡台	大丰台	陵阳台
观测开始时间/ 年-月-日	2007-06-15	2010-12-29	2009-03-10	2002-06-01	2011-12-01	2007-06-01

回升变化,并于震后的 2013 年初恢复到原有水平(图 2(a)中阴影部分),其它基本没有出现恢复回升变化,即恢复阶段不同步。另外, $Y_{Zhx}$ (NS)50min 未出现下降-转折-恢复回升变化。

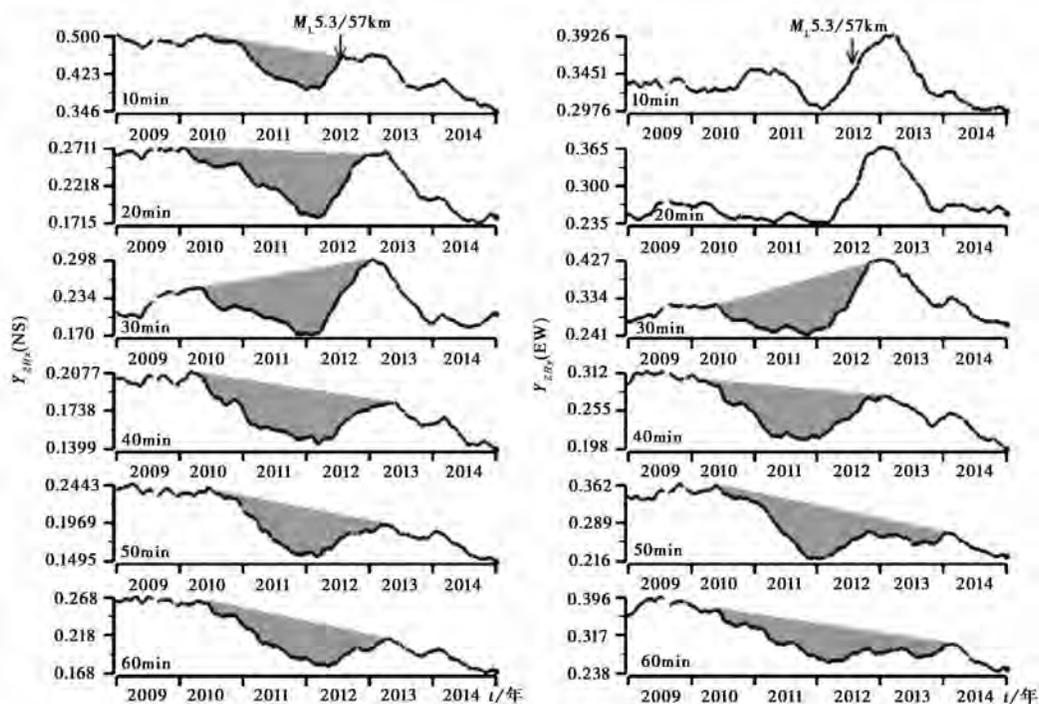
图 2(b)盐城台震中距 57km,各周期的地磁谐波振幅比下降出现时间前后跨度大,约从 2009 年底~2010 年底,转折时间大部分出现在 2011 年底,比高邮台晚约 1 年,恢复时间大部分出现在震后的 2012 年底~2013 年初,与高邮台恢复时间大体一致,但恢复水平或不完全或过头(图 2(b)中阴影部分)。另, $Y_{Zhx}$ (NS)10min 一直到 2011 年中才出现小幅下降变化,而  $Y_{Zhy}$ (EW)20min 无下降变化。

图 2(c)淮安台震中距 67km, $Y_{Zhy}$ (EW)10、20、30、40min 未出现下降-转折-恢复回升变化或变化不明显,其他周期从 2010 年初开始出现下降变化,2011 年先后发生转折,恢复时间大部分出现在震后的 2012 年底~2013 年初,除  $Y_{Zhx}$ (NS)10、20min 外,其他周期都未能恢复到原有水平(图 2(c)中阴影部分)。

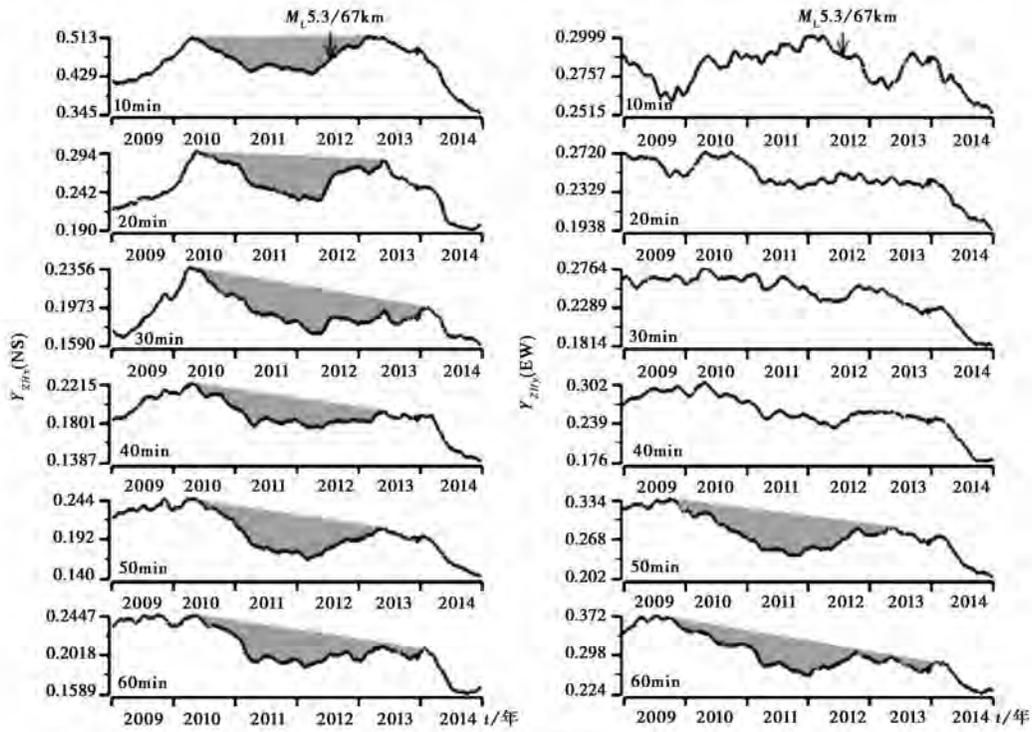
图 2(d)连云港台震中距 178km, $Y_{Zhx}$ (NS)各周期都出现了下降-转折-恢复回升变化且形态完整,下降时间基本出现在 2009 年下半年,2012 年先后发生转折,恢复时间出现在震后的 2012 年底~2013 年。 $Y_{Zhy}$ (EW)各周期都出现了下降和转折,且与  $Y_{Zhx}$ (NS)同步,但未出现恢复回升变化或恢复回升变化不明显。



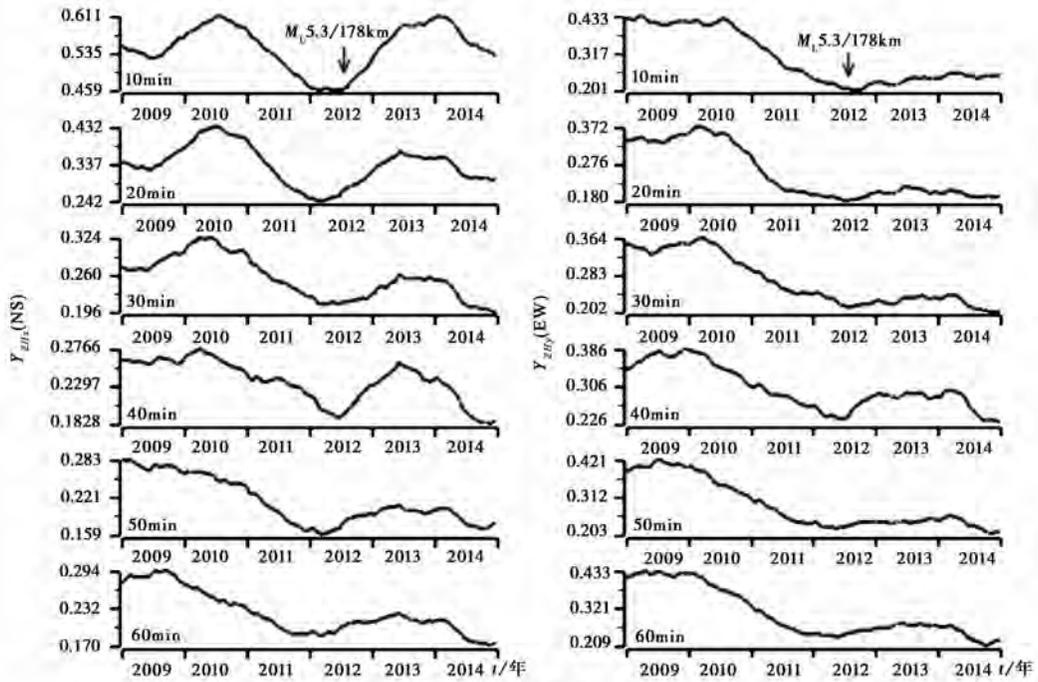
(a) 高邮台(震中距37km)



(b) 盐城台(震中距57km)



(c) 淮安台(震中距67km)



(d) 连云港台(震中距178km)

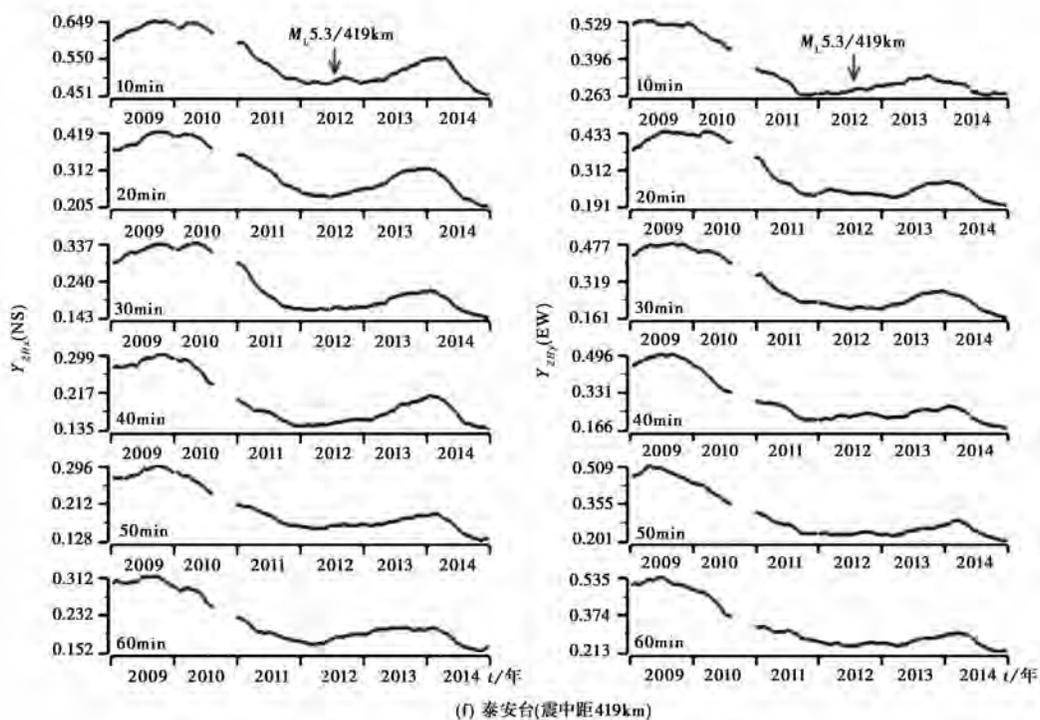
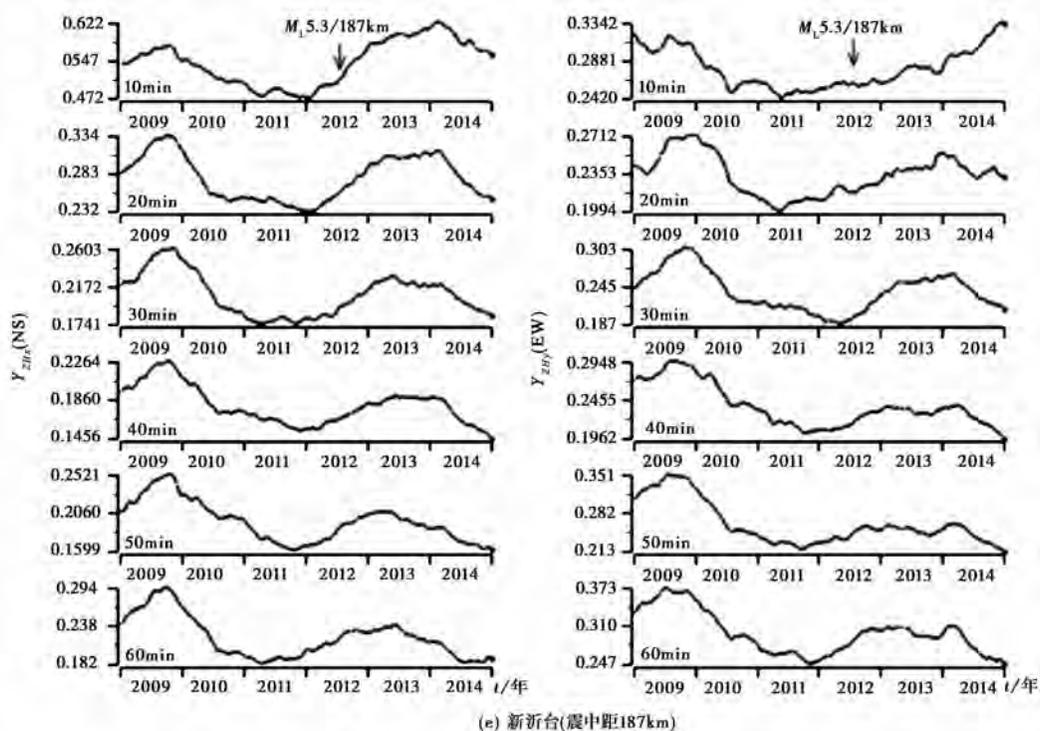


图2 地磁谐波振幅比变化与地震

图 2(e)新沂台震中距 187km,各周期地磁谐波振幅比都出现了下降-转折-恢复回升变化且形态完整,下降时间基本出现在 2009 年下半年,2011 年先后发生转折,恢复时间出现在震后的 2012 年底~2013 年。

图 2(f)泰安台震中距 419km,各周期地磁谐波振幅比都出现了下降-转折-恢复回升变化且形态完整,恢复回升同步性较好。

### 3 定性解释

上述地磁谐波振幅比异常变化特征可概括为:基本变化形态为下降-转折-恢复上升,其中,下降时间为 2009~2010 年,转折时间为 2011 年,恢复上升时间为 2012~2013 年,高邮-宝应 4.9 级地震发生在恢复上升期。距该地震震中较近的高邮、盐城和淮安等台站异常恢复期不同步现象明显,距震中较远的新沂台和泰安台异常形态完整,恢复期没有出现不同步现象。

龚绍京等(2001)应用三维有限差分法对长方形高导体的地磁转换函数分布特征进行了数值模拟计算,根据计算结果的空间分布立体图,地磁转换函数  $A$  和  $B$  在高导体中央的变化小,极值主要分布在高导体 4 个犄角和边界附近,且  $A$  与  $B$  在高导体 4 个犄角和边界附近的变化分布明显不同。由于地磁转换函数  $A$  和  $B$  分别与地磁谐波振幅比  $Y_{ZHx}$  和  $Y_{ZHy}$  对应,因此该模拟计算结果很好地解释了地震附近台站地磁谐波振幅比  $Y_{ZHx}$  和  $Y_{ZHy}$  的不同步现象,即当孕震区出现高导异常后,位于高导异常体边界附近台站的地磁谐波振幅比  $Y_{ZHx}$  和  $Y_{ZHy}$  会出现不同步现象,故利用地磁谐波振幅比  $Y_{ZHx}$  和  $Y_{ZHy}$  出现不同步现象可以初步界定高导异常的边界位置。

### 4 结语

本文通过孤立地震事件研究,进一步验证了地磁谐波振幅比的异常时空特征,即地磁谐波振幅比异常特征表现出与地电阻率类似的下降-转折-恢复上升的异常变化过程,地震一般发生在异常转折或恢复上升的过程中,距震中较近的台站会出现不同步现象——SN 向与 EW 向的不同步以及长短周期的不同步。

### 参考文献

- 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,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与强地震,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趋势性变化特征初步研究,西北地震学报,26(1),50~56。  
龚绍京、陈化然,2001,水平场转换函数空间分布特征的数值模拟,地震学报,23(6),637~644。  
钱家栋、杨冬梅、熊仲华等,2010,地震电磁学理论基础与观测技术,370~374,北京:地震出版社。

## The preliminary analysis on the characteristics of geomagnetic harmonic wave amplitude ratios before the Gaoyou-Baoying $M_s4.9$ earthquake

*Jiang Yanlin*<sup>1)</sup> *Yuan Guiping*<sup>2)</sup> *Li Hongyu*<sup>2)</sup> *Tang Tingmei*<sup>3)</sup> *Zhao Weihong*<sup>1)</sup>

1) Gaoyou Seismic Station of Earthquake Administration of Jiangsu Province, Gaoyou 225601, Jiangsu, China

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

3) Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, China

**Abstract** In this paper, the Gaoyou-Baoying  $M_s4.9$  earthquake was analyzed by the geomagnetic harmonic wave amplitude ratios method. As the earthquake was an isolated seismic event, before and after which there were no other earthquake occurring in this region, and the distribution of geomagnetic observation stations was dense, there is an advantageous condition for the characteristics analysis of the geomagnetic harmonic amplitude ratio. The analysis results verify the former knowledge about anomaly characteristics of the geomagnetic harmonic amplitude ratio, that is, the anomalous characteristics of the earthquake mostly appeared in the twist-recovery process. The results also show that the observation stations close to the epicenter didn't show the same phenomena. The anomalous characteristics were different between the northern stations to the southern stations. The difference also existed between the long and short periods.

**Key words:** Geomagnetic Anomaly Harmonic wave Gaoyou-Baoying  $M_s4.9$  earthquake