

李鸿宇、王维、袁桂平,2018,两次4.0级地震前高邮台和盐城台地磁谐波振幅比异常分析,中国地震,34(2),364~370.

两次4.0级地震前高邮台和盐城台地磁谐波振幅比异常分析

李鸿宇 王维 袁桂平

江苏省地震局,南京市卫岗3号 210014

摘要 使用江苏地区9个地磁台站2009年1月~2016年10月的分钟值数据,计算得到各台站的地磁谐波振幅比时间序列变化曲线。分析发现,2012年7月20日高邮4.9级地震、2016年10月20日射阳4.4级地震前,高邮台和盐城台地磁谐波振幅比 Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 分别出现了长短周期不同步的异常变化。其异常特征表现为:①异常的长期变化形态为“下降—转折—恢复”,在恢复过程中出现不同步现象,异常持续时间近3年,异常幅度为0.02~0.17;② Y_{ZH_y} 向的异常幅度大于 Y_{ZH_x} 向,同时,2次地震主震的主压应力方向为EW向,存在异常幅度较大方向与主压应力方向一致的特点。

关键词: 地磁 谐波振幅比 地震 异常

[文章编号] 1001-4683(2018)02-0364-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

岩石破裂实验表明,岩石电导率与应力应变关系密切(郝锦琦等,1989)。地震过程是震源体及附近岩体应力应变逐渐积累的过程,伴随这一过程岩石电阻率将发生变化,尤其是在存有流体的地方,岩石在应力作用下达到其破裂强度的 $1/3 \sim 1/2$ 时会产生大量微裂隙,流体特别是含有电解质的流体会填充到这些裂隙中,岩石电阻率将发生变化。根据电磁感应理论,这种变化将使地表感应磁场分布产生相应的变化(丁鉴海等,1994),因此,研究地表磁场的变化有助于我们了解孕震区地下介质电导率在地震发生前的变化情况。

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,地磁谐波振幅比与地下介质的电阻率间成正比关系(北京大学等,1986;冯志生等,2004),因此,通过地磁谐波振幅比的时间变化可以直观地了解地下介质电阻率的变化情况。冯志生等(2004、2009、2013)对不同强度地震前地磁谐波振幅比异常变化特征进行了研究,结果表明地震前地磁谐波振幅比的趋势性异常表现为下降—转折—恢复,这也表明地磁谐波振幅比异常与地电阻率趋势性异常具有相似性。李琪等(2016)通过研究2013年3月3日洱源5.5级地震的地磁谐波振幅比异常认为,地磁谐波振幅比的计算结果与台站地区地下电性结

[收稿日期] 2017-06-22; [修定日期] 2017-09-19

[项目类别] 中国地震局2018年度震情跟踪定向工作任务(2018010404)、江苏省科技支撑-社会发展项目(BE2016804)共同资助

[作者简介] 李鸿宇,男,1982年生,助理研究员,主要从事电磁学与地震预报研究工作。E-mail:27587295@qq.com

构吻合。此外,地磁谐波振幅比方法在甘肃、青海及江苏地区也积累了一些震例(戴勇等,2016;蒋延林等,2016),研究者通过对地磁谐波振幅比异常的总结和分析,进一步验证了地磁谐波振幅比异常特征与地电阻率异常特征类似的现象。

本文利用江苏地区地磁台站 2009 年以来的地磁分钟值数据,计算了 2012 年 7 月 20 日高邮 4.9 级地震和 2016 年 10 月 20 日射阳 4.4 级地震前后地磁谐波振幅比变化,给出了具体的异常幅度变化数值,分析了谐波振幅比异常的长期变化特征和异常幅度的特征,探讨了地磁谐波振幅比异常与地震孕育间的关系。

1 计算方法与资料

1.1 计算方法

地磁谐波振幅比 Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 的定义为(冯志生等,2013)

$$Y_{ZH_x} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \right|, Y_{ZH_y} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} \right| \quad (1)$$

其中, $Z(\omega)$ 、 $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$ 分别为地磁垂直分量、水平分量北向和水平分量东向的频谱值。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平面导体的条件下,其满足

$$\begin{cases} \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} = \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} = i \frac{k}{\theta} \\ \theta^2 = \sigma\mu\omega \cdot i + k^2 \end{cases} \quad (2)$$

式中, μ 为磁导率; σ 为电导率; ω 为圆周率; k 为变化磁场的波数,此处为常量;由式(2)可知, Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 与介质的电阻率呈正比,即当地球介质电阻率下降时, Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 也随之下降。地磁谐波振幅比异常反映的主要是深部地电阻率异常,不受地表、气象等因素的影响。已有的震例研究表明,在 5~6 级地震前后,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,且异常持续时间与震级大小之间存在正相关性(冯志生等,2004、2009、2013)。

1.2 资料选取及处理

江苏地区共有 13 个地磁台站,台站布设情况如图 1 所示。江苏地区各地磁台站 2002 年起陆续开始使用新沂市经纬电子仪器有限公司研制生产的 FHD 质子矢量磁力仪,其分辨力为 0.1nT,采样间隔为 1min,可用于观测地磁总场 F 、水平分量 H ,磁偏角 D 等。

本文选择连续观测性较好的高邮、盐城、淮安、新沂、连云港、无锡、海安、溧阳和大丰等共 9 个地磁台站,分别计算了 2009 年 1 月~2016 年 10 月的地磁谐波振幅比。

具体计算过程如下:①选取台站每天的垂直分量 Z 、水平分量 H 和磁偏角 D 的分钟值采样数据,计算 H_x 和 H_y ;②将每天数据分成 4 段(每 15min 一段),计算 5~65min 各周期的 Z 、 H_x 、 H_y 等 3 个分量虚实傅氏谱;③计算 5~65min 各周期的谐波振幅比,并计算其幅度;④按 10min 周期为 1 个频带,计算周期分别为 10、20、30、40、50、60min 的频带均值,形成其逐日顺序文件;⑤对逐日顺序文件进行去高频(31 天滑动平均)和消除年变(365 天滑动平均)处理。

2 计算结果与分析

2.1 高邮台地磁谐波振幅比分析

2012 年 7 月 20 日在距高邮台 37km 处的高邮市与宝应市交界发生 4.9 级地震,由于

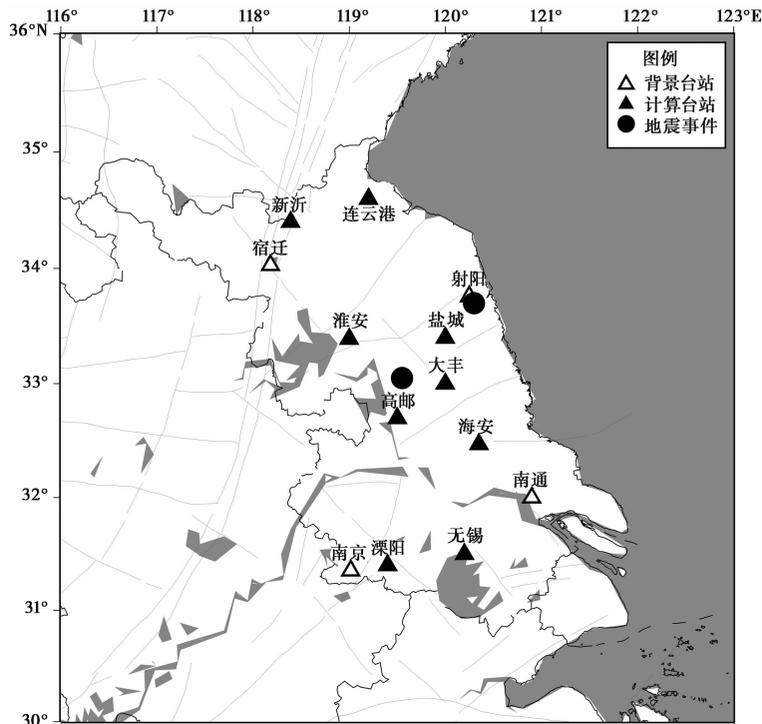


图1 江苏地磁台站及地震分布

2014年高邮台地磁谐波振幅比变化幅度较大(蒋延林等,2016),为方便分析该地震前高邮台的异常变化,此处只给出了2009~2013年的地磁谐波振幅比曲线(图2)。由图2可见,高邮台谐波振幅比 Y_{ZH_x} 向与 Y_{ZH_y} 向(以下简称NS向与EW向)均从2009年6月开始出现下降,在2010年10月份前后2个方向大部分周期曲线开始出现转折恢复变化,而在随后的恢复过程中(2010年10月至发震前),谐波振幅比 Y_{ZH_x} 方向的10、30、40、60min周期出现上升—下降变化,20min周期持续上升,50min周期持续下降;谐波振幅比 Y_{ZH_y} 方向的10、30、40min周期出现上升—下降变化,20min周期持续下降,50、60min周期基本不变。高邮台地磁谐波振幅比这一“下降—转折—恢复”(2009年7月至发震前)且在恢复过程中不同步的现象与冯志生等(2009)的研究结果一致,因此,分析认为高邮台地磁谐波振幅比存在异常。

表1给出了各周期异常信息统计结果。由表1可见,除了上述时间进程中的异常形态外,异常幅度上也存在NS向各周期和EW向各周期数值都具有有一致性的特点,20min周期的NS向和EW向异常幅度相近,但其它周期的EW向异常幅度远大于NS向的异常幅度,部分周期接近2倍。其中,异常起始时间为地磁谐波振幅比异常变化形态(下降—转折—恢复)中下降的起始点,异常幅度为数据下降的起始点与数据转折点之间的差。

2.2 盐城台地磁谐波振幅比分析

2016年10月20日在距盐城台34km处的射阳市发生4.4级地震,图3给出了2009~2016年的地磁谐波振幅比。由图3可见,在2013年初大部分周期开始出现同步的下降变化,谐波振幅比 Y_{ZH_x} 向与 Y_{ZH_y} 向10、20、30min周期于2015年2月前后开始转折恢复上升,但

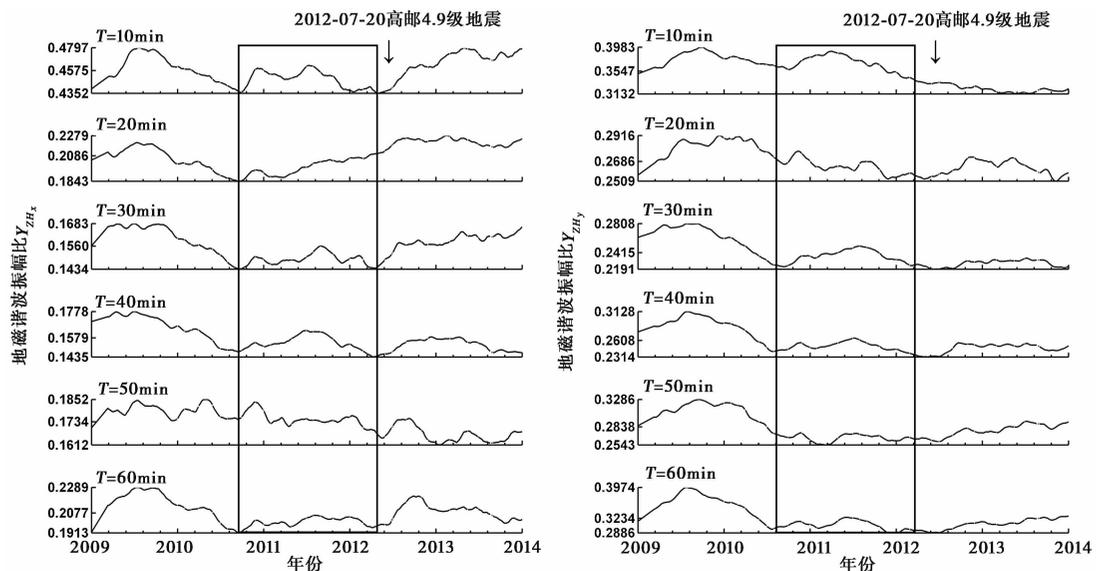


图 2 高邮台地磁谐波振幅比计算结果
黑色线框区域为地震前地磁谐波振幅比各周期不同步时段

表 1 高邮台谐波振幅比异常参数表

方向	周期 /min	异常起始时间 (年-月)	转折恢复时间 (年-月)	不同步变化时间 (年-月)	异常幅度	方向	周期 /min	异常起始时间 (年-月)	转折恢复时间 (年-月)	不同步变化时间 (年-月)	异常幅度
Y _{zh_x} (NS)	10	2009-07	2010-09	2012-04	0.0446	Y _{zh_y} (EW)	10	2009-09	2010-10		0.0764
	20	2009-07	2010-09	—	0.0370		20	2009-12	2011-11		0.0388
	30	2009-07	2010-09	2012-04	0.0248		30	2009-09	2010-09	2012-06	0.0616
	40	2009-07	2010-09	2012-04	0.0342		40	2009-07	2010-07	2012-05	0.0814
	50	2009-07			0.0232		50	2009-09	2011-02		0.0742
	60	2009-07	2010-09	2012-04	0.0376		60	2009-07	2010-07	2011-12	0.1080

40、50、60min 周期的下降变化一直持续。该异常形态与高邮 4.9 级地震前高邮台谐波振幅比异常类似,也符合以往震例研究的结果。

表 2 给出了盐城台谐波振幅比异常的详细信息。由表 2 可见,类似于高邮台谐波振幅比异常的特点,在不同步变化的时间点后各周期变化的不一致性凸显。从异常幅度上看,10、20min 的周期 NS 向和 EW 向异常幅度相近,但其它周期 EW 向的异常幅度远大于 NS 向的异常幅度。

3 地磁谐波振幅比异常与地震孕育间的关系

高邮台和盐城台地磁谐波振幅比震前异常存在一个较为明显的现象,即 EW 向的异常幅度大于 NS 向的异常幅度,高邮地震前 EW 向和 NS 向平均异常幅度分别为 0.0734、0.0336,射阳地震前分别为 0.1113、0.0818。表 3 给出了高邮地震(孙业君等,2012)和射阳地震(李锋等,2017)的震源机制解参数。由表 3 可见,2 次地震的主压应力方向都近似于 EW

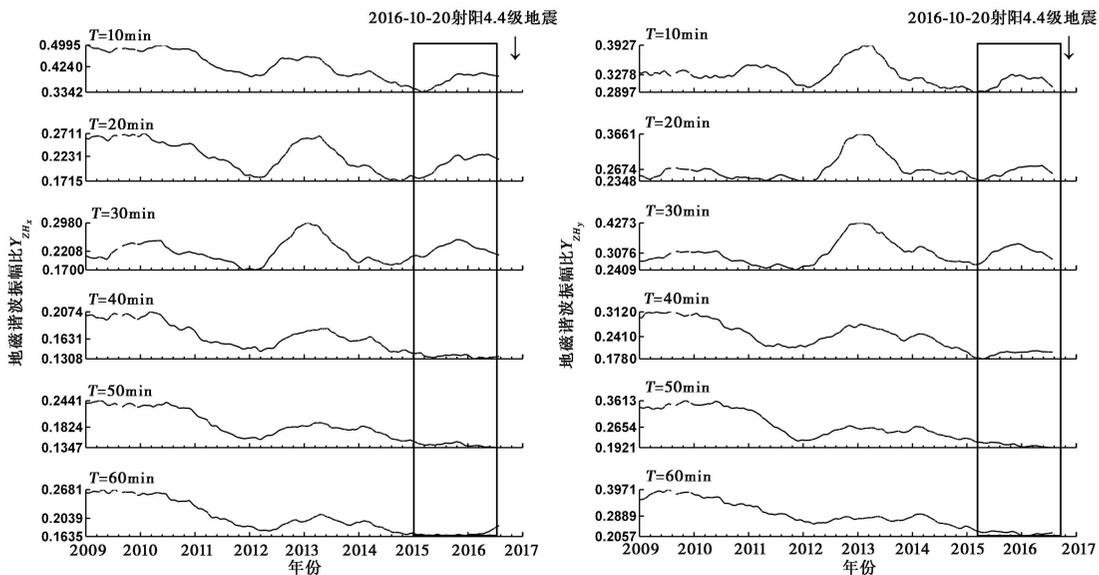


图3 盐城台地磁谐波振幅比计算结果
黑色线框区域为地震前地磁谐波振幅比各周期不同步时段

表 2

盐城台谐波振幅比异常参数表

方向	周期 /min	异常起始时间 (年-月)	转折恢复时间 (年-月)	不同步变化时间 (年-月)	异常幅度	方向	周期 /min	异常起始时间 (年-月)	转折恢复时间 (年-月)	不同步变化时间 (年-月)	异常幅度
Y_{zh_x} (NS)	10	2013-04	2015-03	2015-11	0.126	Y_{zh_y} (EW)	10	2013-04	2015-02	2015-11	0.104
	20	2013-04	2014-10	2015-11	0.0942		20	2013-03	2015-03		0.13
	30	2013-01	2014-08	2015-11	0.114		30	2013-01	2015-02	2015-11	0.166
	40	2013-06		2016-02	0.0494		40	2013-01	2015-04		0.0984
	50	2013-04	2015-03	2015-11	0.058		50	2014-01			0.0784
	60	2013-04		2015-09	0.049		60	2014-01		2016-01	0.0912

表 3

高邮 4.9 级地震与射阳 4.4 级地震震源机制参数

发震时间、地点、震级	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴	
	走向 /($^{\circ}$)	倾角 /($^{\circ}$)	滑动角 /($^{\circ}$)	走向 /($^{\circ}$)	倾角 /($^{\circ}$)	滑动角 /($^{\circ}$)	方位角	仰角	方位角	仰角
2012-7-20 高邮 4.9 级地震	208	80	151	302	62	11	258	12	162	27
2016-10-20 射阳 4.4 级地震	304	53	0	214	90	143	265	25	163	25

向。计算结果显示,地磁谐波振幅比异常幅度较大的方向与主压应力方向间存在一致性。

地磁谐波振幅比 Y_{zh_x} 向与 Y_{zh_y} 向分别代表了 EW 向和 NS 向 2 个正交方向上的视电阻率

变化,本文地磁谐波振幅比 Y_{zn} 方向异常幅度较大,说明 NS 向的视电阻率出现了极大变化,因此推测,EW 向为应力加载方向或主压应力方向,这一推断与震源机制解结果一致。震例研究表明,与 P 轴方位正交或近于正交的测道,显示快速、大幅度的视电阻率变化;沿 P 轴方位或近于该方位的变化幅度则较小(杜学彬,2010);李琪等(2016)研究认为,谐波振幅比异常显著的方向与高导带的走向一致,以上结果均与本文的研究结果一致。该现象进一步证明了地下应力、地下介质电导率以及地磁谐波振幅比异常间存在着密切的联系。

4 讨论与结论

本文分析了 2012 年 7 月 20 日高邮 4.9 级地震和 2016 年 10 月 20 日射阳 4.4 级地震前高邮台和盐城台的地磁谐波振幅比异常特征,主要得到以下结论。

(1) 江苏地区中等地震前存在地磁谐波振幅比异常,异常形态类似于直流地电阻率变化形态,即“下降—转折—恢复”,地震发生在地磁谐波振幅比恢复阶段,异常持续时间为 3 年,异常幅度一般为 0.02~0.17,该结果与以往中强地震震例总结的结果类似,并未发现中等地震前的异常与强地震前的异常有明显区别。

(2) 2 次显著地震前谐波振幅比异常幅度都表现出了 EW 向大于 NS 向的特点,异常幅度较大的方向与 2 次主震主压应力方向一致,进一步证明了地下应力、地下介质电导率以及地磁谐波振幅比异常间存在密切的联系。

(3) 在研究 2012 年 7 月 20 日高邮 4.9 级地震地磁谐波振幅比异常时,对比图 2、3 可以看出,震前远场台站(盐城台)并无异常表现(不同步现象),而近场台站(高邮台)异常表现明显,该现象在一定程度上佐证了高邮台地磁谐波振幅比异常的可信度。

(4) 在高邮台和盐城台出现地磁谐波振幅比异常时段内,高邮 4.9 级地震和射阳 4.4 级地震是江苏陆地 2 次孤立的地震事件(4 级以上),且地震震中与异常台站距离较近(35km 左右),地磁谐波振幅比异常形态清晰,因此,笔者认为讨论 2 次地震前的异常特征对于研究江苏地区的地震-地磁关系有一定意义。

本文研究样本量较少,以上的结论是否具有普遍性还需要更多震例的验证。

致谢: 冯志生研究员为本研究提供计算程序;在本文撰写过程中李琪副研究员、孙业君高级工程师、杨云高级工程师、李锋工程师给予了无私的帮助,在此一并表示感谢。

参考文献

- 北京大学、中国科学技术大学地球物理教研室,1986,地磁学教程,288~297,北京:地震出版社.
- 戴勇、高立新、张立丰,2016,甘-青地区地磁谐波振幅比分析,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,132~135,北京:地震出版社.
- 杜学彬,2010,在地震预报中的两类视电阻率变化,中国科学:地球科学,40(10),1321~1330.
- 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.
- 郝锦绮、黄平章、张天中等,1989,岩石剩余磁化强度的应力效应,地震学报,11(4),381~391.
- 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.
- 李锋、李迎春、李强等,2017,2016 年 10 月 20 日射阳 $M_s 4.4$ 地震的震源机制与地震序列的时空分布特征,地震学报,39

(5), 659~668.

李琪、袁伊人、杨星等, 2016, 2013年3月3日洱源 $M_s 5.5$ 地震前地磁谐波振幅比异常研究, 地震学报, **38**(1), 122~129.

孙业君、王俊、黄耘, 2012, 2012年7月20日江苏省高邮-宝应 $M 4.9$ 地震震源机制解, 防灾减灾工程学报, **32**(4), 521~522.

Analysis on the Seismic Anomaly of Geomagnetic Harmonic Wave Amplitude Ratios of Gaoyou Station and Yancheng Station before Two Earthquakes with $M 4.0$

Li Hongyu Wang Wei Yuan Guiping

Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China

Abstract The series of geomagnetic harmonic wave amplitude ratios are calculated in this paper, by using minute sampling data of 9 stations in Jiangsu from January 2009 to October 2016. The asynchronous changes of the long period and the short period of geomagnetic harmonic wave amplitude ratios are considered anomalous observed before earthquake. The geomagnetic harmonic wave amplitude ratio anomaly of Gaoyou station was found before the Gaoyou $M 4.9$ earthquake, July 20, 2012. And that of Yancheng station was found before the Sheyang $M 4.4$ earthquake, October 20, 2016. There are three anomaly features. The first one is asynchronous changes in the anomaly recovery period. The duration of anomaly is about 3 years and the amplitude of anomaly is between 0.02 and 0.17. The second, the amplitude of Y_{ZH_y} is larger than Y_{ZH_x} in two anomalies. The E-W direction is the principal compressive stress direction in the Gaoyou earthquake and the Sheyang earthquake. The direction of larger amplitude is considered to be consistent with the principal compressive stress direction.

Key words: Geomagnetic; Geomagnetic harmonic wave amplitude ratios; The earthquake; Anomaly