

何畅、廖晓峰、祁玉萍等,2017,2017年8月8日九寨沟 M_s 7.0地震前成都台地磁谐波振幅比异常分析,中国地震,33(4), 575~581。

2017年8月8日九寨沟 M_s 7.0地震前 成都台地磁谐波振幅比异常分析

何畅 廖晓峰 祁玉萍 邱桂兰 任越霞

四川省地震局,成都市人民南路三段29号 610000

摘要 2017年8月8日四川省九寨沟县发生 M_s 7.0地震,成都地震基准台距此次地震震中约255km,震前该台地磁谐波振幅比出现趋势性异常。对成都台GM4磁通门磁力仪秒数据进行谐波振幅比计算,结果显示,谐波振幅比在九寨沟 M_s 7.0地震前表现出下降—转折—恢复上升的异常变化形态,地震发生在异常恢复期,同时,异常表现出由长周期向短周期迁移、SN向与EW向变化不同步的特征,芦山 M_s 7.0地震前成都台地磁谐波振幅比亦呈现了相似的异常变化特征。

关键词: 九寨沟 M_s 7.0地震 谐波振幅比 成都台GM4磁通门磁力仪

[文章编号] 1001-4683(2017)04-0575-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

据中国地震台网测定,2017年8月8日21时19分46秒四川省阿坝州九寨沟县(33.20°N,103.82°E)发生 M_s 7.0地震,震源深度20km。此次地震发生在青藏高原东缘巴颜喀拉块体的北边界东昆仑断裂带东端与东边界岷山构造带交汇区域(易桂喜等,2017),在该块体的东边界龙门山断裂带上曾发生了2008年汶川 M_s 8.0、2013年芦山 M_s 7.0地震。

九寨沟 M_s 7.0地震震区位于川、甘交界高海拔地区,距震中5km范围内平均海拔3827m,震区属于前兆监测能力较弱地区,距震中300km范围内,有四川前兆固定观测台站5个,其中,0~100km范围内台站1个,101~200km范围内台站1个,201~300km范围内台站3个(图1)。成都台距九寨沟 M_s 7.0地震震中约255km,震前其地磁谐波振幅比出现趋势性异常。

地震孕震过程中,震源体及其附近区域的应力逐渐积累,地下岩石的电导率也会随之产生变化,而地下介质电导率的变化必然会引起地磁场内场强度变化,进而引起外场与内场比值的改变,这种变化可以通过地磁谐波振幅比反映出来(丁鉴海等,1994)。对于简单均匀的分层介质,地磁谐波振幅比与地下介质的视电阻率成正比,利用谐波振幅比随时间的变化可以直观地了解地下视电阻率的变化(李琪等,2016);冯志生等(2004)在对上海崇明台、余山

[收稿日期] 2017-10-28; [修定日期] 2017-12-29

[项目类别] 川滇国家地震监测预报实验场项目(2016CESE0102)、中国地震局震情跟踪定向工作任务(2018010410)共同资助

[作者简介] 何畅,女,1988年生,工程师,主要从事地震电磁关系和地震预测研究。E-mail:hechang5131105@163.com

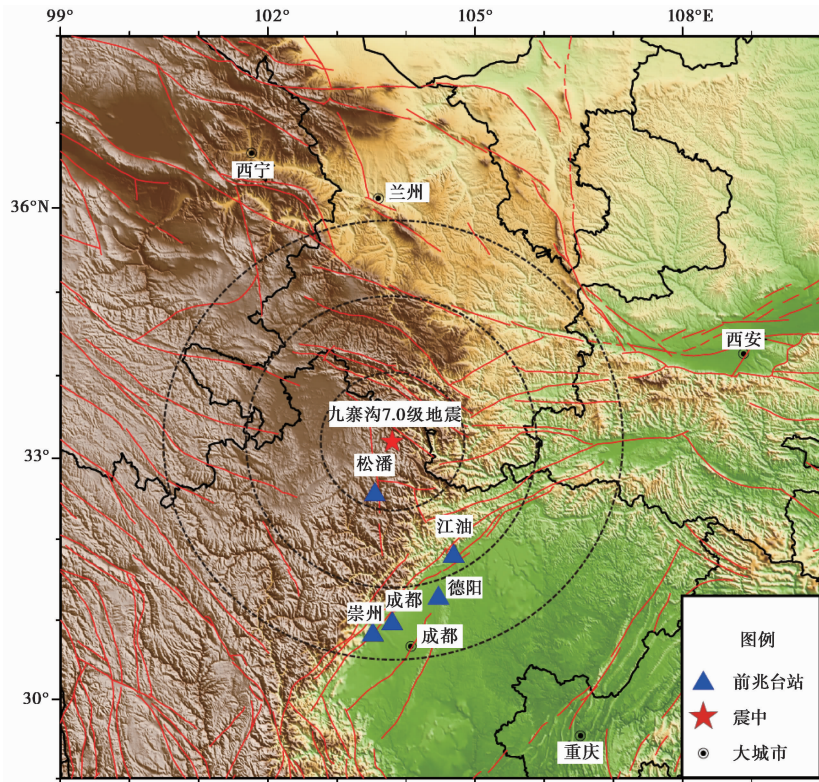


图1 九寨沟 M_s 7.0 地震前震中附近四川定点前兆台站分布
黑色虚线圆分别代表九寨沟地震震中距 100、200、300km 范围

台的地磁短周期谐波振幅比进行分析的过程中,初步得到地震前地磁谐波振幅比的趋势性异常变化特征与地电阻率的异常特征相似的结果,其表现为下降—转折—恢复的变化趋势;冯志生等(2009、2013)对中强震前的谐波振幅比异常特征进行了进一步研究,结果表明,地震基本发生在趋势性异常下降之后的转折期、恢复上升期及恢复后的初期阶段,异常持续时间为1~3年,7级以上强震的异常持续时间一般大于4年,异常幅度较大,一般大于0.10~0.20;近年来,国内的研究人员应用谐波振幅比方法对地磁数据开展了相关分析,积累了一定数量的地震地磁前兆异常案例(李琪等,2016;戴勇等,2016;倪晓寅等,2016、2017)。本文利用成都台 GM4 磁通门磁力仪秒采样资料,分析了2017年8月8日九寨沟 M_s 7.0 地震前该台地磁谐波振幅比异常变化特征。

1 台站概况

成都地震基准台位于龙门山构造带东侧前缘的成都新生代凹陷盆地内(图2),距龙门山构造带约20km,西距安县-灌县断裂20余千米,东距龙泉山断裂约60km,周围广泛分布第四纪冲积层(何畅等,2017)。成都台地磁观测始建于1971年,为国家级地磁基准台,台址的观测环境良好,岩性为白垩系底部砾岩,坚实稳定,观测室内磁场梯度小于1nT/m。

2008年5月20日成都地磁台安装了GM4磁通门磁力仪用于地磁场相对观测,该仪器

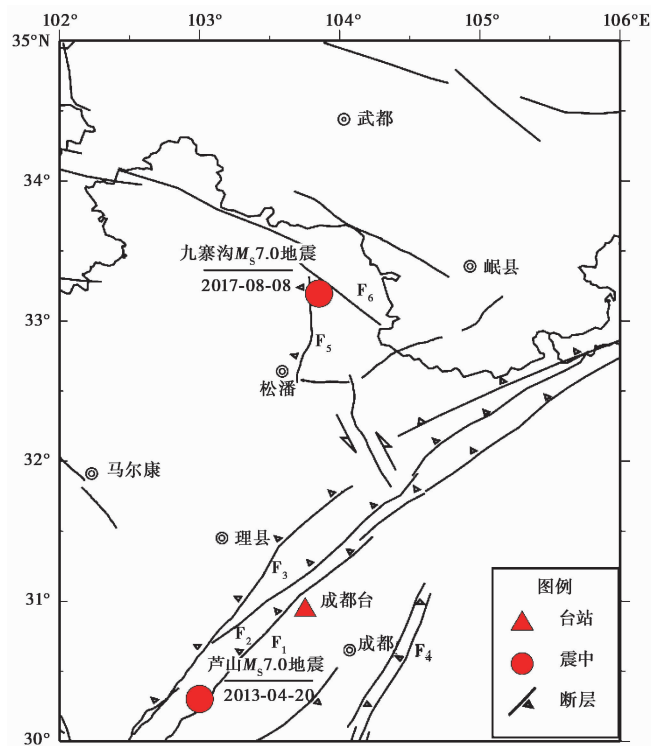


图 2 成都台周边区域构造与 2010 年以来强震 ($M_s \geq 6.5$) 震中分布

F_1 : 灌县-安县断裂; F_2 : 映秀-北川断裂; F_3 : 汶川-茂汶断裂; F_4 : 龙泉山断裂; F_5 : 岷江断裂; F_6 : 塔藏断裂

可测量地磁场水平分量 H 、垂直分量 Z 和偏角的变化, 同时还能监视探头温度 T , 仪器产出的为秒采样数据(廖绍欢等, 2016)。2009 年仪器多次出现故障, 经返厂维修, 2010 年开始仪器总体工作状态稳定。本文选取成都台 GM4 磁通门磁力仪自 2010 年以来的地磁三分量秒数据进行研究。

2 计算方法

地磁谐波振幅比可分为 SN 向谐波振幅比 Y_{ZH_x} 和 EW 向谐波振幅比 Y_{ZH_y} , 分别定义为(冯志生等, 2009)

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

其中, $Z(\omega)$ 为地磁场垂直分量的频谱; $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$ 分别为地磁场 SN 向、EW 向水平分量的频谱。

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, 满足

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

其中, ω 为圆频率; σ 为电导率; μ 为磁导率; κ 为常数, 是变化磁场的波数。在该条件下, Y_{ZH_x} 、 Y_{ZH_y} 与地球介质的视电阻率成正比, 即 Y_{ZH_x} 、 Y_{ZH_y} 随介质视电阻率的起伏变化而变化, 并且该参量不受地表降雨等气象因素和人为因素的影响(冯志生等, 2013)。

本文选取成都台 GM4 磁通门磁力仪的地磁三分量秒数据进行谐波振幅比计算, 具体计算流程为: 使用“九五”格式数据, 以 15min 为分段长度, 每天包含 96 段。首先, 对数据进行预处理, 对粗差较大、缺数较多的数据文件进行删除; 然后, 对三分量数据进行虚实傅氏谱计算, 根据谱值结果计算谱比, 再按照指定周期(20~230s, 间隔 30s, 共 8 个周期)计算谐波振幅比逐日值; 最后, 进行窗长 365 天滑动滤波处理, 得到消除年变的谐波振幅比结果。

3 结果分析

成都台地磁谐波振幅比在九寨沟 M_s 7.0 地震前出现了明显的趋势性异常, 异常形态表现为下降—转折—恢复—上升变化(图 3)。由图 3 可见, 2014 年开始, 谐波振幅比处于缓慢下降状态, 2015 年 2 月 SN 向谐波振幅比长周期(170、200、230s)结果开始出现转折变化, 随后 SN 向较短周期(140、80、50s)结果相继出现转折上升变化; EW 向谐波振幅比转折时间晚于 SN 向, 2015 年 11 月 EW 向谐波振幅比长周期(200、230s)结果开始出现明显转折变化, 2016 年 6 月 EW 向较短周期(170、140、110、80s)结果呈现转折上升形态, 至 2017 年 8 月成都台谐波振幅比维持高值波动状态, 8 月 8 日九寨沟 M_s 7.0 地震发生, 震前异常持续时间长达 3.6

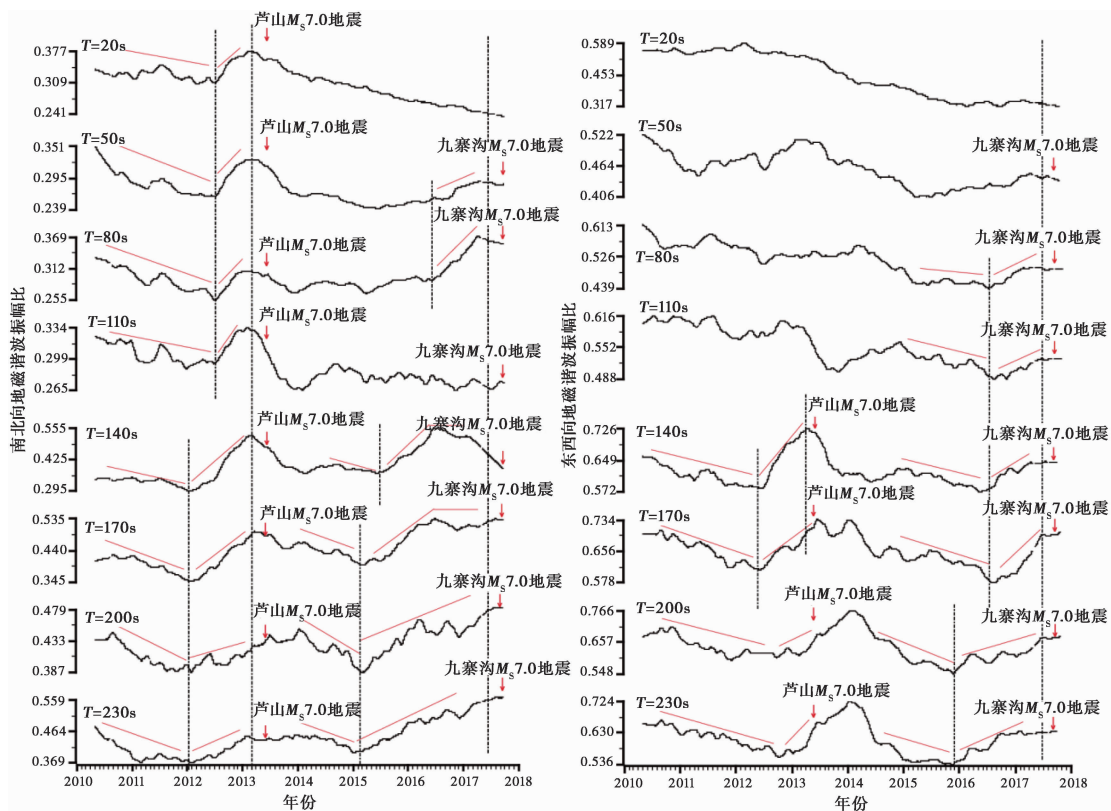


图 3 成都台地磁谐波振幅比变化

年,其间周期为 20s 的谐波振幅比异常变化形态不明显。表 1 给出了九寨沟 $M_s7.0$ 地震前成都台谐波振幅比的异常参数。由表 1 可见,EW 向谐波振幅比异常幅度大于 SN 向,最大异常幅度为 0.11。

2013 年 4 月 20 日芦山发生 $M_s7.0$ 地震,震中距成都台约 100km,震前成都台地磁谐波振幅比曾出现与九寨沟 $M_s7.0$ 地震前形态相似的趋势性异常。如图 3 所示,SN 向谐波振幅比自 2010 年以来缓慢下降,至 2012 年初较长周期(110、140、170、200、230s)的结果出现明显转折变化,周期为 20、50、80s 的谐波振幅比于 2012 年 6 月开始转折上升,2013 年 2 月各周期均达到峰值,4 月 20 日即发生芦山 $M_s7.0$ 地震,震前 EW 向谐波振幅比仅在 140~230s 的周期内出现了较明显异常。

表 1 成都台谐波振幅比异常参数

方位	周期/s	异常幅度	转折日期 (年-月)
SN 向	50	0.02	2016-03
	80	0.02	2016-03
	110	无	无
	140	0.03	2015-04
	170	0.07	2015-02
	200	0.06	2015-02
	230	0.07	2015-02
EW 向	50	0.07	2016-06
	80	0.11	2016-06
	110	0.07	2016-06
	140	0.06	2016-06
	170	0.08	2016-06
	200	0.11	2015-11
	230	0.06	2015-11

4 讨论与结论

本文利用成都台 GM4 磁通门磁力仪秒采样资料,分析了 2017 年 8 月 8 日九寨沟 $M_s7.0$ 地震前该台地磁谐波振幅比随时间的变化,结果显示,九寨沟 $M_s7.0$ 地震前谐波振幅比表现出下降—转折—恢复上升的变化,地震发生在恢复期,由谐波振幅比与地电阻率变化之间关系的震例研究结果可知,上述变化趋势正是震前谐波振幅比异常的变化特征,与地电阻率趋势性异常变化特征相似(冯志生等,2013);在地球介质为均匀各向同性的平面导体的情况下,谐波振幅比与介质的电阻率成正比。因此,从理论上讲,谐波振幅比的变化反映了地下深部介质电阻率的变化。

成都台地磁谐波振幅比异常表现出了由长周期向短周期迁移的现象(图 3),考虑到台站与异常高导体位置间的关系(冯志生等,2009),认为成都台可能位于高导体的边界,在高导体形成初期,台站位于其外侧较远区域,谐波振幅比长周期先观测到异常,伴随异常体不断向台站方向扩展,短周期结果相继出现异常变化。

震前同周期 SN 向谐波振幅比与 EW 向谐波振幅比表现出了明显的不同步现象,这体现了台站地下电性结构的不均匀性,式(2)的结果是在假设地球介质为均匀各向同性的条件下得到的,而当地下介质电阻率各向异性很强烈时,会导致 2 个方向的异常变化形态的差异(杜学彬等,2015)。

九寨沟 $M_s7.0$ 地震前成都台谐波振幅比趋势性异常持续时间为 3.6 年,最大异常幅度达到 0.11,与冯志生等(2013)给出的强震前异常持续时间(4 年)、异常幅度(0.10~0.20)相吻合;此次异常与芦山 $M_s7.0$ 地震前的谐波振幅比异常相似,倪喆等(2014)对芦山地震前岩石圈磁场动态变化特征进行分析,结果表明,震前 1 年或稍长时间,包含成都台在内的距震中

125km 范围内曾出现地磁异常,这从另一方面增加了成都台地磁异常的可靠性。

地磁谐波振幅比的变化源于地磁感应磁场的变化,而地下介质电导率的横向不均匀性会引起感应电流的畸变和重新分布,进而产生局部的感应磁场异常,同时,全球各地观测到了许多同局部电磁场异常相联系的地壳和上地幔的电性结构异常,并且这些电性异常多与构造活动带和地震带相对应(徐文耀,2009)。因此,初步分析认为,九寨沟 $M_s7.0$ 地震前成都台谐波振幅比异常是孕震过程中地下局部电性结构异常的一种反映。成都台邻近地磁台站的数据积累时间较短,无法对谐波振幅比逐日结果进行去年变处理,因此,未能给出震前不同台站间的对比结果,在今后的研究中仍需加强台站间的对比分析工作。

致谢: 冯志生研究员为本研究提供计算程序,并在本文研究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的趋势性变化特征初步研究,地震工程学报,**38**(1),12~18。
- 丁鉴海、卢振业、黄雪香,1994,地震电磁学,30~42,北京:地震出版社。
- 杜学彬、刘君、崔腾发等,2015,两次近距离大震前成都台视电阻率重现性、相似性和各向异性变化,地球物理学报,**58**(2),576~588。
- 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。
- 何畅、冯志生,2017,极化方法在成都地磁台的应用研究,地震学报,**39**(4),558~564。
- 李琪、袁伊人、杨星等,2016,2013年3月3日洱源 $M_s5.5$ 地震前地磁谐波振幅比异常研究,地震学报,**38**(1),122~129。
- 廖绍欢、李雪浩、胡俊明等,2016,成都地震基准台 FHDZ-M15 仪与 GM4 仪观测资料对比分析,四川地震,(4),15~20。
- 倪晓寅、陈莹,2016,福建地磁谐波振幅比异常与台湾强震的关系研究,华南地震,**36**(3),56~60。
- 倪晓寅、陈莹,2017,强震前短周期地磁谐波比变化特征,地震研究,**40**(3),431~436。
- 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,地震研究,**37**(1),61~64。
- 徐文耀,2009,地球电磁现象物理学,448~452,合肥:中国科学技术大学出版社。
- 易桂喜、龙锋、梁明剑等,2017,2017年8月8日九寨沟 $M7.0$ 地震及余震震源机制解与发震构造分析,地球物理学报,**60**(10),4083~4097。

Study on anomalous variation of the geomagnetic harmonic wave amplitude ratios of the Chengdu seismic station before the $M_s7.0$ Jiuzhaigou earthquake on August 8, 2017

He Chang Liao Xiaofeng Qi Yuping Qiu Guilan Ren Yuexia

Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610000, China

Abstract On August 8, 2017, an $M_s7.0$ earthquake occurred in Jiuzhaigou County, Sichuan Province. The Chengdu seismic station is 255km away from the epicentre, and there were tendency anomalies of the amplitude ratios of geomagnetic harmonic wave of the station before the $M_s7.0$ earthquake. Based on the 1-second sampling data derived from the GM4 magnetometer of the Chengdu seismic station, the temporal variation of the geomagnetic harmonic wave amplitude ratios were analyzed, and the results show that the anomalous characteristics had a down-turning-recovery tendency before the $M_s7.0$ earthquake, and there was asynchronization between long-period and short-period, and also between north-south direction and west-east direction. The similar variation appeared for the amplitude ratios of the Chengdu seismic station before the $M_s7.0$ Lushan earthquake.

Key words: $M_s7.0$ Jiuzhaigou earthquake; Harmonic wave amplitude ratios; GM4 magnetometer of Chengdu seismic station