

贺曼秋,李翠平,魏红梅,等,2021. 2017 年 11 月 23 日重庆武隆 5.0 级地震前地磁谐波振幅比异常研究. 中国地震, 37(4):789~796.

# 2017 年 11 月 23 日重庆武隆 5.0 级地震前 地磁谐波振幅比异常研究

贺曼秋 李翠平 魏红梅 唐晋

重庆市地震局,重庆 401147

**摘要** 近年来,地磁谐波振幅比方法在国内得到较广泛的应用,并成为一种较为有效的地震预测方法。本文利用谐波振幅比方法,对 2017 年 11 月 23 日重庆武隆 5.0 级地震震中附近台站的地磁三分量数据进行计算,并分析了各台站 10~60min 周期谐波振幅比值异常特征。研究发现,异常台站几乎均位于震源机制解的拉张区(P 波向下的区域),具有象限分布特征;异常台站 NS 向谐波振幅比值变化存在分层现象,短周期(浅部)的变化与长周期(深部)变化成相反相位,从电磁学机理看,浅部与深部之间存在 EW 向的面电流;近震中台站的异常低点时间存在由长周期(深部)向短周期(浅部)迁移的现象。

**关键词:** 地磁异常 谐波振幅比 武隆 5.0 级地震

[文章编号] 1001-4683(2021)04-0789-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

岩石压力实验表明,岩石的电阻率随压力的改变有显著变化。一般认为,在地震发生之前存在一个应力积累的过程,在积累过程中,地下物质的电导率逐渐发生变化。冯志生等(2004、2009)基于磁测深原理提出了地磁谐波振幅比方法,总结了中强震、强震前地磁谐波振幅比的异常特征(冯志生等,2004、2009、2013)。研究表明,地震发生前后地磁谐波振幅比的趋势性异常变化特征与直流地电阻率的特征相似,表现为下降变化,并有转折—恢复的变化过程特征,地震基本发生在趋势性下降变化后的转折或恢复过程中。5 级左右的地震异常持续总时间为 1~2 年,震前异常为 0.5~2 年;而 6 级左右地震的异常持续总时间为 2~3 年,震前异常为 1~2 年;7 级以上地震的地磁谐波振幅比异常震前持续时间均在 4 年以上。异常最关键的特征为同一周期 2 个方向出现不同步变化,并至少有 2 个周期出现不同步变化。同时,异常低点时间具有随周期迁移的特征。

地磁谐波振幅比方法对实际地球介质的假定和约束较少,目前对于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,在深部电阻率异常变化所引起的变化磁场异常可能很微弱的情况下,该方法相对电磁感应的各种正反演方法和地磁转换函数来说可能具有

[收稿日期] 2020-06-24 [修定日期] 2020-07-27

[项目类别] 地震科技星火计划项目“地震地磁垂直强度极化异常空间特征研究”(XH20062)资助

[作者简介] 贺曼秋,女,1979 年生,副研究员,主要从事地震地磁预测研究工作。E-mail:15893804@qq.com

一定意义(冯志生等,2004)。目前,国内越来越多的学者参与到地磁谐波振幅比的研究工作中,并总结积累了更多的震例(李琪等,2016;蒋延林等,2016;戴勇等,2016;倪晓寅等,2016;何畅等,2017;艾萨等,2017;刘长生等,2017)。然而,这些研究工作基本均为单台异常特征分析总结,对震中附近多个台站的异常时空变化特征综合分析工作则开展较少。

2017年11月23日重庆武隆发生5.0级地震,震中附近多个台站出现异常。本文分析了这些台站异常的时空变化综合特征,研究结果作为谐波振幅比方法的重要进展,对今后应用该方法开展地震分析预报工作具有一定借鉴意义。

### 1 资料、基本原理及计算方法

武隆地震500km范围内的地磁台站分别为涪陵江东台、武隆仙女山台、石柱黄水台、万州天星台、奉节荆竹台、巫山建坪台、四川成都台、巴中台、江油台和湖北恩施台(图1)。本文采用上述台站的磁通门磁力仪(仪器型号GM4,采样率1s)分钟值数据进行计算。

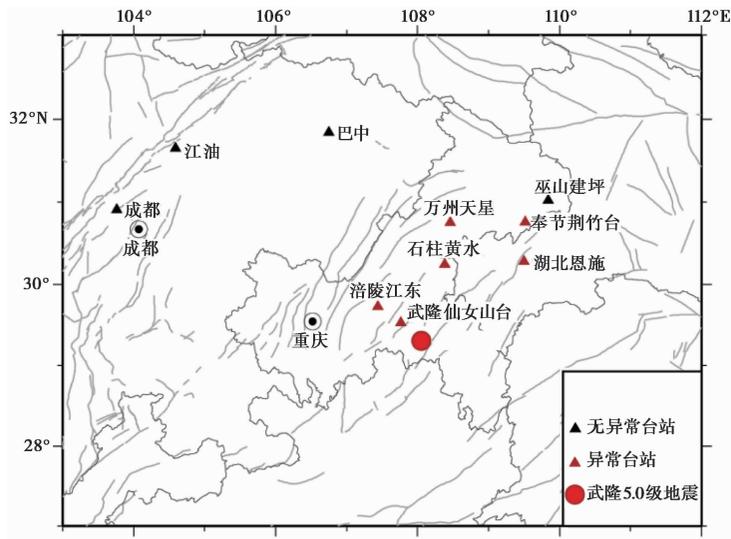


图1 武隆5.0级地震震中及地磁台站分布

地磁谐波振幅比可表示为

$$\begin{cases} Y_{ZHx} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \right| \\ Y_{ZHy} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} \right| \end{cases} \quad (1)$$

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

其中,  $Y_{ZHx}$  为 NS 向谐波振幅比值,  $Y_{ZHy}$  为 EW 向谐波振幅比值;  $Z(\omega)$ 、 $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$  分别为地磁垂直分量、SN 向水平分量和 EW 向水平分量的观测谱值;  $\mu$  为磁导率,  $\sigma$  为电导率,  $\omega$  为圆频率,  $\lambda$  为变化磁场的波数(常数),  $\theta$  为与  $\lambda$ 、 $\omega$ 、 $\sigma$  有关的常数,  $i$  为虚数单位。

具体计算步骤为:①将每天的分钟采样数据分成4段,计算每段5~65min周期所有频点的傅里叶谱(FFT);②分别计算各段各频点的谐波振幅比,对其进行平均和365天滑动平均,消除噪声和年变。

## 2 计算结果及初步分析

根据上述计算原理及步骤,计算结果如图2所示,其中涪陵江东台、武隆仙女山台、石柱黄水台、万州天星台、奉节荆竹台和湖北恩施台存在震前异常,巫山建坪台数据干扰较大,故在文中未做分析。距离较远的四川巴中台、江油台和成都台异常特征不明显。

对NS向谐波振幅比值( $Y_{zhx}$ )和EW向谐波振幅比值( $Y_{zhy}$ )异常特征更为详细的定量描述和统计见表1、表2。

## 3 异常特征分析

### 3.1 异常时空同步性变化特征

由图2、表1和表2可以发现:

(1)各台站的NS向谐波振幅比值( $Y_{zhx}$ )10min、20min和30min周期自2016年开始出现同步下降变化,2017年开始部分台站部分周期恢复上升;而40min、50min和60min周期的变化与此相反,自2016年开始出现同步上升变化,2017年开始部分台站部分周期变为下降变化。10min、20min和30min周期的变化与40min、50min和60min周期的变化为反相位,在30~40min之间似乎存在分层现象,短周期(浅部)的变化与长周期(深部)变化反相位,依据电磁学原理,认为在30~40min之间存在一个EW向的面电流。

(2)除万州天星台外,其他5个同台站EW向谐波振幅比值( $Y_{zhy}$ )各周期自2017年开始几乎均为上升变化,万州天星台与此相反。

(3)自2015年开始,距离震中最近的武隆仙女山台(20km)、涪陵江东台(58km)和石柱黄水台(105km)EW向谐波振幅比值( $Y_{zhy}$ )低点时间存在由长周期(深部)向短周期(浅部)迁移的现象,距离震中较远的万州天星台(160km)、湖北恩施台(180km)和奉节荆竹台(223km)未出现这种迁移现象。

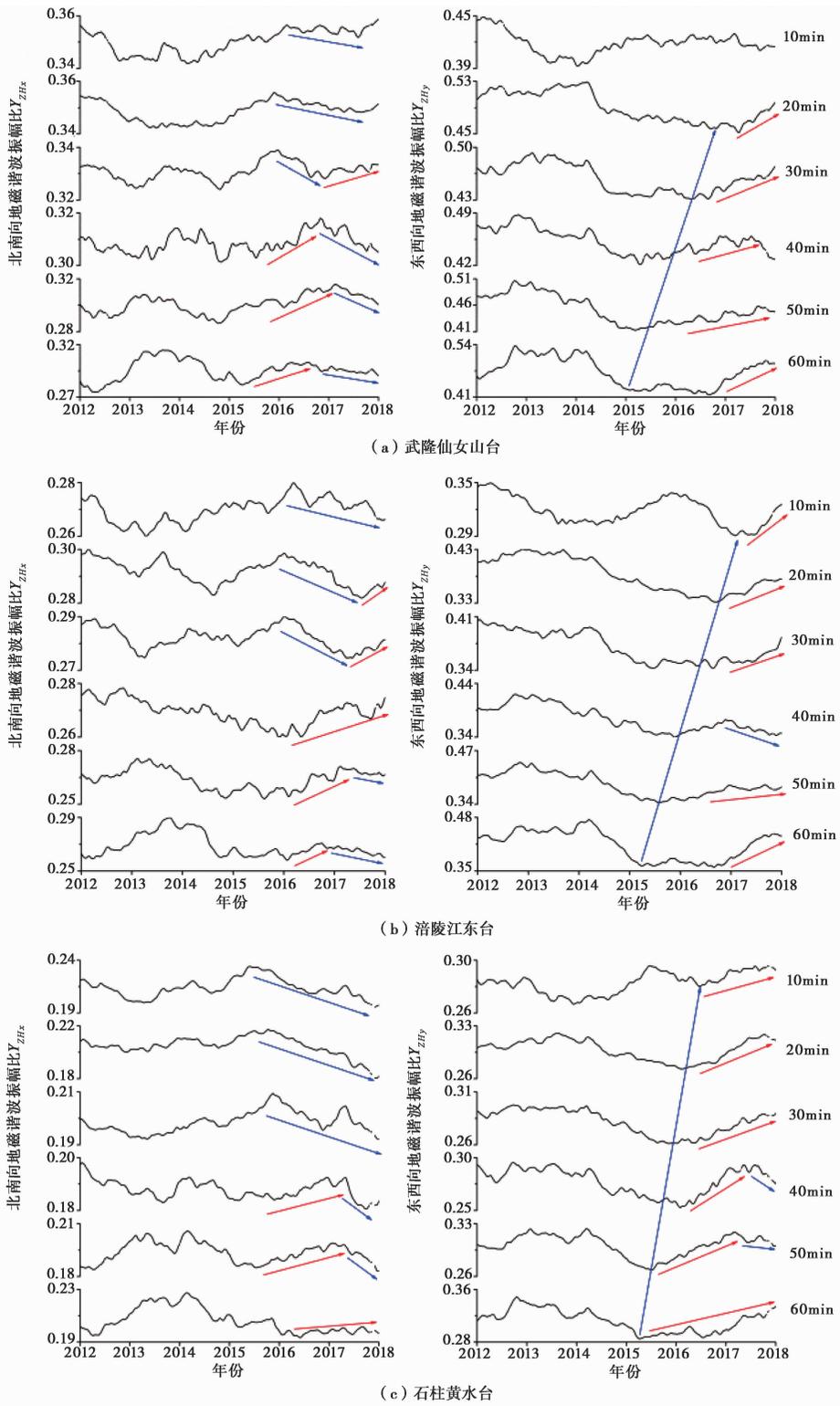
另外,从目前的分析来看,谐波振幅比值幅度与地震三要素关系不十分密切,但作为地震异常分析惯例,一般需要给出异常幅度,其结果或可用于后续的研究。

### 3.2 异常空间分布与震源机制

从台站及震中分布(图1)可以看到,异常台站在空间上分布较为集中,主要分布在震中以北及北东区域。距离震中最近的异常台站为武隆仙女山台,震中距约20km;最远的为奉节台,震中距约223km;震中距280km及以上的巴中、江油和成都台无异常;震中距223~280km之间无台站,说明此次5.0级地震可能引起的异常范围不超过280km。

李翠平等(2018)利用CAP方法最终反演得到的武隆5.0级地震的震源机制解(图3):节面I走向 $24^\circ$ 、倾角 $16^\circ$ 、滑动角 $-108^\circ$ ;节面II走向 $223^\circ$ 、倾角 $75^\circ$ 、滑动角 $-85^\circ$ ;P轴方位 $140^\circ$ 、仰角 $60^\circ$ ;T轴方位 $309^\circ$ 、仰角 $30^\circ$ 。结果显示此次地震主要是因NW-SE向的拉张作用而发生的。

我们计算了地磁台站的方位角(极坐标下的极角)和离源角(极坐标下的极径),将台站



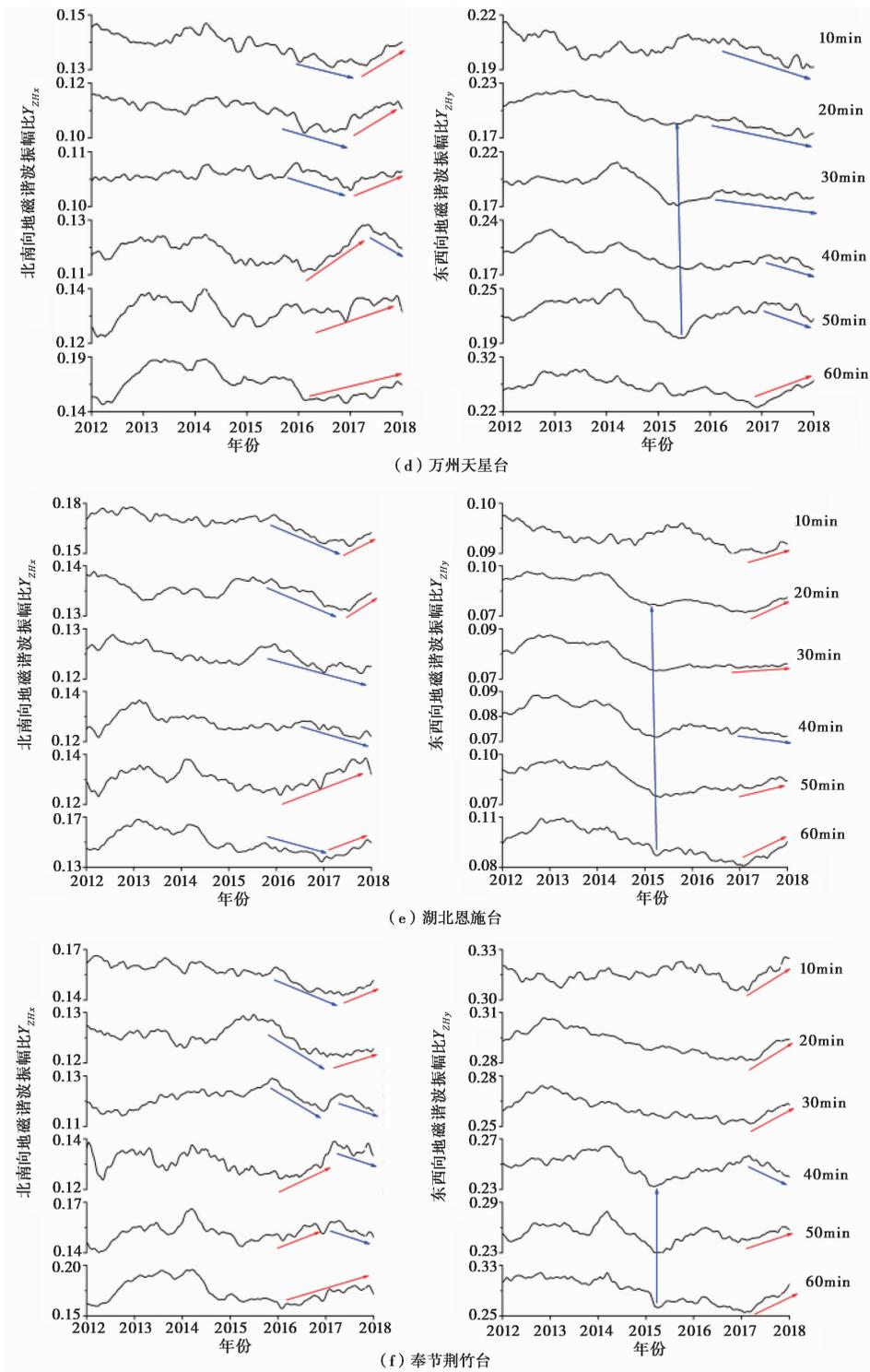


图 2 各异常地磁台 10~60min 周期  $Y_{ZHx}$ 、 $Y_{ZHy}$  变化曲线

蓝色、红色箭头分别表示向下、向上变化

表 1 各台站  $Y_{ZHx}$  异常特征统计

台站名	震中距 /km	是否出现异常	异常出现时间 (年-月)	转折上升时间迁移特征	不同步时间 (年-月)	再次转折时间 (年-月)	20~60min 周期最大异常幅度				
							20min	30min	40min	50min	60min
武隆仙女山台	20	是	2014-03		2015-12	2017-01	0.0107	0.0106	0.0106	0.0250	0.0250
涪陵江东台	58	是	2014-03		2016-01	2017-01	0.0135	0.0124	0.0111	0.0150	0.0300
石柱黄水台	105	是	2014-03	迁移特征不明显	2015-10	2017-01	0.0110	0.0130	0.0090	0.0130	0.0380
万州天星台	160	是	2014-03		2015-12	2016-12	0.0080	0.0074	0.0169	0.0177	0.0400
湖北恩施台	180	是	2014-03		2015-12	2017-01	0.0095	0.0140	0.0070	0.0145	0.0173
奉节荆竹台	223	是	2014-03		2015-11	2017-01	0.0130	0.0130	0.0100	0.0214	0.0370
四川巴中台	280	否									
四川江油台	410	否									
四川成都台	450	否									

表 2 各台站  $Y_{ZHx}$  异常特征统计

台站名	震中距 /km	是否出现异常	下降异常出现时间 (年-月)	转折上升时间迁移特征	转折上升过程中不同步时间 (年-月)	20~60min 周期最大异常幅度				
						20min	30min	40min	50min	60min
武隆仙女山台	20	是	2014-03		2017-01	0.0719	0.0515	0.0500	0.0580	0.1021
涪陵江东台	58	是	2014-03	深部向浅部迁移	2017-01	0.0940	0.0530	0.0490	0.0796	0.1107
石柱黄水台	105	是	2014-03		2017-01	0.0417	0.0340	0.0366	0.0490	0.0443
万州天星台	160	是	2014-03		2017-01	0.0213	0.0320	0.0310	0.0530	0.0550
湖北恩施台	180	是	2014-03	迁移特征不明显	2017-01	0.0157	0.0113	0.0145	0.0171	0.0190
奉节荆竹台	223	是	2014-03		2017-01	0.0176	0.0150	0.0350	0.0452	0.0525
四川巴中台	280	否								
四川江油台	410	否								
四川成都台	450	否								

与震源机制在同一坐标系叠加,结果如图 3 所示,可以看出,异常台站几乎均位于震源机制解的拉张区(P 波向下的区域),其中 4 个台站在拉张区域内,2 个台站在拉张区域边界,奉节荆竹台和湖北恩施台的投影位置重叠。

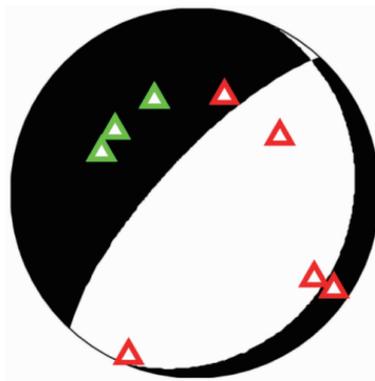


图 3 震源机制解和台站分布  
红色三角表示谱波振幅比异常台站;绿色三角表示非异常台站

## 4 结论与讨论

(1)异常台站在空间上分布集中,几乎均位于地震震中的东北侧,且从台站在震源机制解图上的投影分布看,异常台站几乎均位于震源机制解的拉张区(P波向下的区域),有象限分布的特征。钱复业等(1982)在对1976年唐山7.8级地震前电阻率异常特征分析时发现,电阻率下降的异常台站位于P波初动向下的区域,异常台站呈象限分布;冯志生等(2013)研究认为,谐波振幅比异常变化特征与直流电阻率相似。本文研究结果也存在象限分布的特征,与前人研究较为一致。

(2)各台站NS向地磁谐波振幅比值( $Y_{ZHX}$ )变化存在分层现象,10~30min短周期(浅部)的变化与40~60min长周期(深部)变化反相位,从电磁学机理看,在30~40min周期之间存在一个EW向的面电流。

(3)近震中台站的异常低点时间有由长周期(深部)向短周期(浅部)迁移的现象,该现象若有普遍性,则对今后判定震中有一定意义。

综上所述,本文分析发现的异常空间分布与震源机制解关系、异常在周期上的分层现象以及近震中台站异常低点时间由长周期向短周期的迁移现象,作为谐波振幅比方法的重要进展,首次利用地磁台阵分析了不同震中距台站的异常特征。上述研究是否具有普遍性,需要积累更多的震例进一步分析。

**致谢:** 本文在撰写过程中得到冯志生研究员、李鸿宇高级工程师、龙锋高级工程师的帮助,在此表示衷心感谢。

## 参考文献

- 艾萨·伊斯马伊力,黄恩贤,高丽娟,2017. 2017年精河  $M_s$ 6.6地震前地磁异常特征分析. 中国地震, **33**(4):764~770.
- 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):12~18,25.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 李翠平,唐茂云,郭卫英,2018. 2017年11月23日重庆武隆  $M_s$ 5.0地震发震构造分析. 国际地震动态, (8):83~84.
- 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.
- 刘长生,赵焯,张明东,等,2017. 吉林松原  $M \geq 5.0$ 震群前地磁谐波振幅比异常特征. 地震地磁观测与研究, **38**(2):81~88.
- 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.
- 钱复业,赵玉林,于谋明,等,1982. 地震前地电阻率的异常变化. 中国科学:(B辑), (9):831~839.

## Variation of the Geomagnetic Harmonic Wave Amplitude Ration before the Wulong $M_s5.0$ Earthquake

He Manqiu Li Cuiping Wei Hongmei Tang Jin

Chongqing Earthquake Agency, Chongqing 401147, China

**Abstract** On November 23, 2017,  $M_s5.0$  earthquake occurred in Wulong, Chongqing. In this paper, we calculated the three component data of the geomagnetic station by using the harmonic amplitude ratio method, and obtained the ratio of 10~60min period harmonic amplitude, and then discussed the variation characteristics of the deep resistivity before the earthquake. The results show that the distance of anomalies of geomagnetic harmonic amplitude ratio before wulong  $M_s5.0$  earthquake is less than 280km, where the stations with anomalies are concentrated in space and distributed on the side of the epicenter of the earthquake. On the projection of the source mechanism solutions, the anomalies are all located in the region under the initial p-wave movement, with a quadrant distribution feature. The  $Y_{ZH_y}$  harmonic amplitude ratio of the stations with anomalies are characterized of decreasing variation similar to the anomalous resistivity. In the process of descending change, the harmonic amplitude ratio of  $Y_{ZH_x}$  and  $Y_{ZH_y}$  show different turning points.  $Y_{ZH_x}$  experienced two asynchronous transitions, in which the first about 1.8~2 years before the earthquake, and the second about 1 year before the earthquake.  $Y_{ZH_y}$  of the stations within 100km from the epicentre of the earthquake appeared the phenomenon of transition time from deep to shallow in the transition process.  $Y_{ZH_y}$  anomaly amplitude shows that the anomaly amplitude of 20~60min generally decreases with the increase of the epicenter and increases with the increase of the period. The amplitude of  $Y_{ZH_x}$  anomaly does not change with the epicenter or the period.

**Keywords:** Geomagnetic anomaly; Harmonic wave amplitude ratio; The Wulong  $M_s5.0$  earthquake