

樊文杰,姚休义,廖晓峰,2020. 2018年云南通海 $M_s5.0$ 和墨江 $M_s5.9$ 地震前地磁垂直强度极化异常时空特征研究. 中国地震, 36(2): 276~283.

2018年云南通海 $M_s5.0$ 和墨江 $M_s5.9$ 地震前地磁垂直强度极化异常时空特征研究

樊文杰¹⁾ 姚休义¹⁾ 廖晓峰²⁾

1) 云南省地震局, 昆明 650224

2) 四川省地震局, 成都 610041

摘要 利用云南11个地磁台站的秒采样观测数据, 计算和分析了地磁垂直强度极化值 Y_{zh} 在2019年8月13日、14日通海 $M_s5.0$ 地震前及2019年9月8日墨江 $M_s5.9$ 地震前的时空变化特征。研究表明, 地磁台站 Y_{zh} 值的幅度在震前会出现同步增强现象。而与以往的极化震例研究相比, Y_{zh} 值的高值异常在震前出现时间要更早些, 可能会在震前2~5个月出现, 距发震时间越近, 产生的异常幅值可能越大, 异常持续时间也越长。同时, 研究还发现2次地震主要发生在异常空间等值线的高值区内, 尤其在零值阈值线附近, 这可能会对今后发震地点的预测有一定的指示意义。对比异常产生时段内的 D_s 指数, 认为该高值异常并非由空间电流体系所引起。

关键词: 通海地震 墨江地震 地磁极化 异常时空特征

[文章编号] 1001-4683(2020)02-0276-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

大量的岩石破裂实验和天然地震前的观测研究均表明, 地震孕育和发生过程中伴随着不同程度的电磁辐射异常(郝锦琦等, 2003)。与地震有关的周期小于几百秒的电场和磁场信号通常称为电磁波、地震电磁波, 有时也称之为电磁扰动或地震电磁扰动(Zhang et al, 1988; Tsutsui, 2014), 对其进行研究时通常具体指定波段, 如超低频(ULF)、甚低频(VLF)、极低频(ELF)等。

突出源于震源区的地磁异常信号及压制来自外源场的干扰, 是提取震前地磁扰动异常信号的关键所在。Molchanov等(1995)通过数值模拟对频段在 $10^2\text{s} \sim 10^3\text{Hz}$ 的地磁信号进行研究, 结果表明在地表观测到的来自地壳内地磁信号的垂直分量幅度大于或接近于水平分量, 即来自地壳内的磁场垂直分量幅度与水平分量幅度的比值大于或接近于1。Hayakawa等(1996)由此发展出了地磁垂直分量与水平分量幅度比值分析方法, 即地磁垂直强度极化法, 该方法可以区分来自电离层的外空磁场信号与地壳处的磁场信号。Hayakawa等(1996)

[收稿日期] 2020-01-02; [修定日期] 2020-04-17

[项目类别] 国家重点研发计划(2018YFC1503806)资助

[作者简介] 樊文杰, 男, 1990年生, 硕士, 工程师, 主要从事震磁关系和构造应力等方面的研究。

E-mail: fan_095011106@126.com

利用震中距 65km 的日本关岛地磁台的观测资料,分析了 1993 年 8 月 8 日关岛 8.0 级地震前后地磁垂直强度极化值 Y_{zh} 的变化特征,发现震前 2 个月 0.01~0.05Hz (100~20s) 频段的 Y_{zh} 值逐渐增大,发震时达到最大,震后逐渐恢复。随后的众多震例研究表明,在震前数天至震前 3 个月内会出现高极化值的异常特征 (Hayakawa et al, 2000; Molchanov et al, 2003; Hattori et al, 2004; 李琪等, 2015, 姚休义等, 2017; 何畅等, 2017)。冯志生等 (2010) 研究表明,地磁垂直强度极化值 Y_{zh} 具有年变化特征,在提取极化高值异常前应予以消除,并发现消除年变化后的喀什台极化值高值与其后 2 个月内台站周边的地震有较好的对应关系,且大部分地震发生在 1 个月内;分析还发现极化值异常持续时间一般为 3~5 天,与外空磁场剧烈活动没有关系。目前,垂直强度极化方法在国际上已被广泛使用,被认为是地磁异常提取效果较好的方法之一。

2018 年 8 月 13 日、14 日云南省玉溪市通海县 (24.19°N, 102.71°E) 相继发生了 2 次 $M_s5.0$ 地震,震源深度分别为 7km 和 6km。同年 9 月 8 日,云南省普洱市墨江县 (23.26°N, 101.53°E) 又发生了 $M_s5.9$ 地震,震源深度为 11km。本文基于云南省内 11 个地磁台站的秒钟值数据,利用垂直强度极化分析方法,计算了各台站的 Y_{zh} 值,并通过对比各台站的极化值时序曲线,分析了通海 $M_s5.0$ 和墨江 $M_s5.9$ 地震前的地磁垂直强度极化异常随时间的变化特征以及异常空间分布与地震震中的关系,初步获得了与 2 组地震有关的极化异常演化特征,为进一步探索地磁异常与地震发震时间和地点的关系积累了研究震例,对地磁极化分析方法也取得了一些新认识。

1 观测数据

云南省内通海、楚雄和永胜 3 个地震台于 2008 年开始进行地磁数据观测工作。随着“十二五背景场”的建设,云南省又陆续增加了景谷、勐腊、富源等 8 个地磁观测点,为在云南地区开展地磁 ULF 异常信号提取工作提供了数据基础。

本文搜集了 2018 年云南省内通海、楚雄等 11 个台站的地磁秒采样观测数据,除楚雄和永胜台的仪器为 GSM-19FD 型 dIdD 矢量磁力仪外,其余台站仪器均为 GM4 磁通门磁力仪,台站与地震分布情况见图 1 和表 1。其中,由于西盟台数据缺失严重,未获得全时段计算结果;而楚雄和永胜台由于仪器老化,工作不稳定,数据与其他台差异较大,故计算结果未采用。

2 计算方法及过程

地磁垂直强度极化值 Y_{zh} 通常定义为地磁垂直分量 Z 与水平分量 H 的全矢量谱值之比

$$Y_{zh} = \left| \frac{Z(\omega)}{H(\omega)} \right| \quad (1)$$

$$H(\omega) = \sqrt{H_x^2(\omega) + H_y^2(\omega)} \quad (2)$$

式中, $Z(\omega)$ 、 $H(\omega)$ 分别为地磁垂直分量和水平分量全矢量的谱幅度值; $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$ 为地磁水平分量 SN 向和 EW 向谱值; ω 为圆频率。

具体计算过程为:①按 15min 一段,将每天秒采样数据分为 96 段,计算各段 5~100s 周期内的振幅谱、极化值及其日均值,获得 5~100s 极化值的逐日变化序列;②对极化值日均值

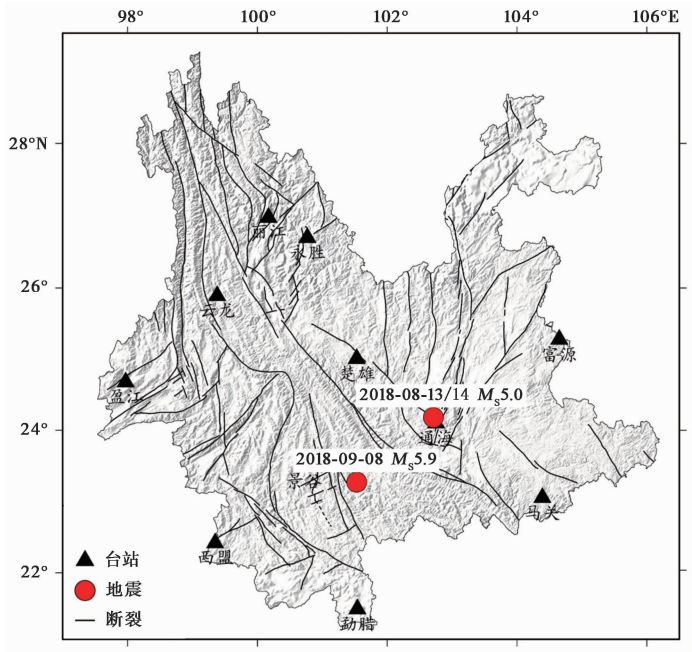


图 1 云南地磁台站分布

表 1 云南各地磁台站距通海和墨江地震的震中距

台站	仪器型号	经度/(°E)	纬度/(°N)	与通海地震的震中距/km	与墨江地震的震中距/km
永胜	dIdD-GSM19FD	100.8	26.7	337.50	385.01
楚雄	dIdD-GSM19FD	101.5	25.0	150.60	189.24
通海	GM4-XL	102.8	24.1	15.07	159.65
景谷	GM4-XL	100.7	23.5	218.02	84.71
马关	GM4-XL	104.4	23.0	218.89	298.69
富源	GM4-XL	104.7	25.3	236.37	393.63
勐腊	GM4-XL	101.5	21.4	335.13	211.50
云龙	GM4-XL	99.4	25.9	382.81	359.07
西盟	GM4-XL	99.4	22.4	392.38	237.57
丽江	GM4-XL	100.2	27.0	400.14	432.19
盈江	GM4-XL	98.0	24.7	479.49	388.53

进行傅立叶拟合,获得半年以上周期的傅立叶拟合曲线、残差及均方差;③以傅立叶拟合曲线加残差的 2 倍均方差作为具有季节变化特征的阈值线,剔除每天各段频点极化值低于阈值的极化值,获得高于阈值的极化值日均值;④对高于阈值的极化值日均值再次进行半年以上周期的傅立叶拟合,并计算其残差以消除极化值的季节变化,最后对残差进行 5 日滑动平均以消除短期噪声,高于 2 倍均方差则视为异常。

3 计算结果及震例分析

3.1 地磁垂直强度极化异常的时间变化特征

为了分析通海 $M_s5.0$ 和墨江 $M_s5.9$ 地震前地磁垂直强度极化值的变化情况,计算了

2018年1月1日~12月31日的云南省内11个台站的 Y_{zh} 值。由于部分台站数据缺失和仪器问题,最终获得了云龙等8个台站的计算结果,各台站异常极化值和磁暴环电流指数(D_{st} 指数)随时间的变化曲线如图2所示。根据震例总结和冯志生等(2010)的研究成果,将均值加上2倍均方差线作为阈值线,在图2中用红色虚线标注。

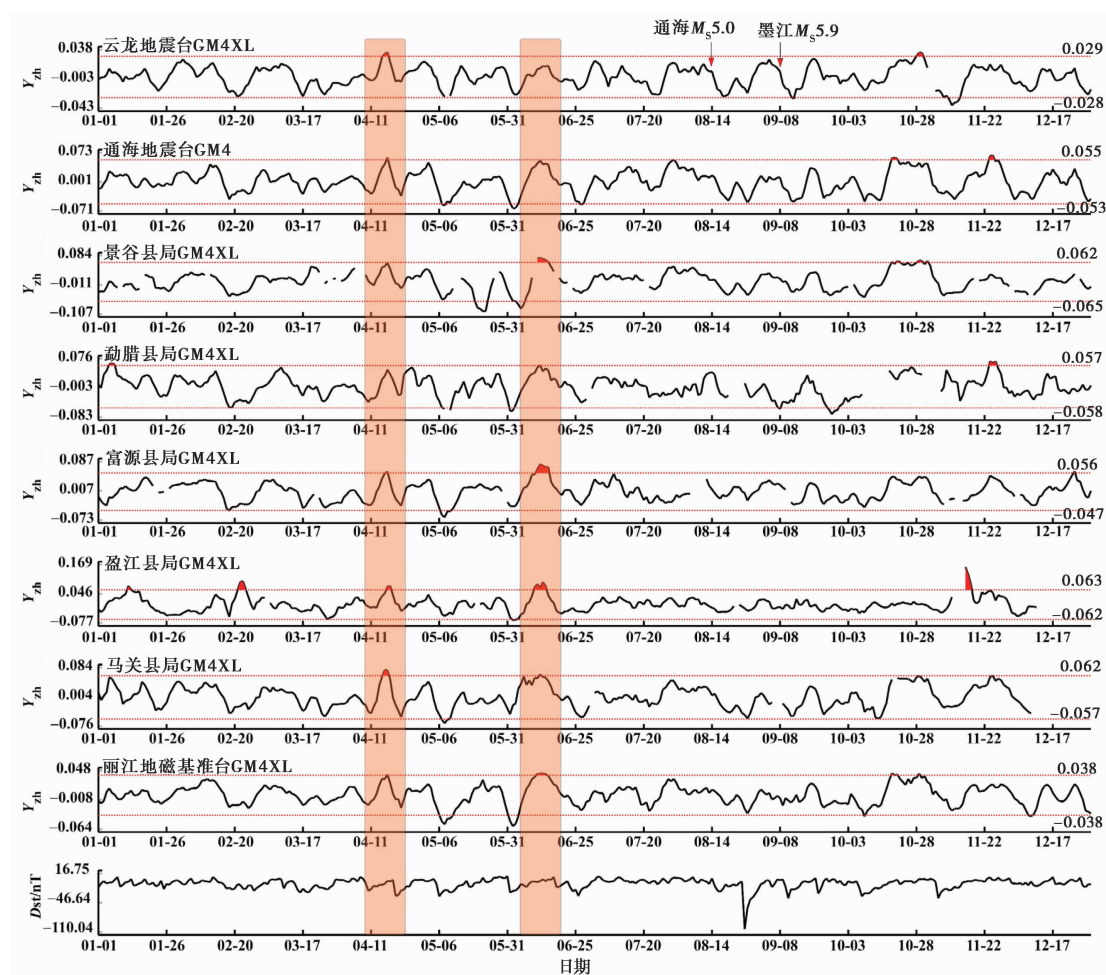


图2 各异常台站极化值和 D_{st} 指数随时间变化曲线(2018年)

由图2可以看出,各个地磁异常台站观测数据随时间的变化形态基本一致。计算结果显示,云南省通海、景谷等8个台站在2018年的4月和6月同步出现1次 Y_{zh} 值高值异常,6月高值异常的出现距通海 $M_s5.0$ 地震的发震时间约2个月,4月高值异常的出现距墨江 $M_s5.9$ 地震的发震时间相隔最久,约5个月,即这2次地磁垂直强度极化异常出现在通海 $M_s5.0$ 和墨江 $M_s5.9$ 地震前的2~5个月左右(图2方框所示)。

同时,由图2还可以发现,2次异常出现时,不同台站在时间上具有较好的同步性。分析结果显示,垂直强度极化异常的持续时间在1~5天左右,距离发震时间更近的6月的各台站异常持续时间较4月偏长一些;6月异常持续时间在1~5天左右,多为5天,而4月异常持

续时间在 1~4 天左右。研究还发现,2 次异常的最大幅度逐渐增大,6 月各台站异常最大幅度较 4 月偏高一些;6 月异常最大幅度为 0.0953,而 4 月异常最大幅度为 0.0760。从同一台站的 2 次异常最大幅值来看,这种现象亦较为明显,如富源台第 1 次异常的最大幅值为 0.0599,第 2 次异常的最大幅值为 0.0795,各台站的异常统计情况见表 2。结合表 1、表 2 进行分析,认为 2 次异常的持续时间和最大异常幅度与通海 $M_s5.0$ 和墨江 $M_s5.9$ 地震的震中距未见有明显的相关性。

表 2 各地磁台站异常统计情况

台站	经度 /(°E)	纬度 /(°N)	4 月		6 月	
			持续时间/天	最大幅度	持续时间/天	最大幅度
通海	102.8	24.1	1	0.0604		
景谷	100.7	23.5			5	0.0758
马关	104.4	23.0	4	0.0760	1	0.0652
富源	104.7	25.3	2	0.0599	5	0.0795
勐腊	101.5	21.4			1	0.0579
云龙	99.4	25.9	3	0.0343		
丽江	100.2	27.0	1	0.0401	5	0.0416
盈江	98.0	24.7	3	0.0758	5	0.0953

为了证明计算结果与外源场没有关系,图 2 同时给出了同时段内的 D_{st} 指数情况。中低纬度磁暴活动强度常用 D_{st} 指数来表示, D_{st} 指数每小时产出 1 个数值,数值高于 -30nT 表示地磁场处于平静状态,无明显磁暴活动。对比出现异常时段的 D_{st} 指数变化情况可以看出,此时段的 D_{st} 指数范围在 -8~4nT 之间,表明异常时段内无磁暴等强磁扰活动。因此,地磁垂直强度极化值的增大与外源场的变化没有关系。

3.2 地磁垂直强度极化异常的空间变化特征

由表 2 和图 2 可以看出,垂直强度极化异常很微弱。为避免台站场地条件和仪器差异导致的噪声对分析极化值空间分布的影响,将台站极化异常值减均值后再除以 2 倍均方差使其归一化,并将归一化极化值减 1,得到归一置零极化值。此时,高于“0”的高值异常即为高于 2 倍均方差的高值异常,即以零值线作为阈值线(图 3 红色实线所示),然后进行数据网格化,最终绘制出归一置零极化值的空间等值线图,如图 3(a)、3(b)所示。由于 2 次异常出现时间距离较近,相隔不到 2 个月,可视为 1 组异常,因此,将 2 次异常极化值进行叠加后再绘制空间等值线图,如图 3(c)所示。

由图 3 可以看出,在 2018 年 4 月的异常空间等值线分布中,通海 $M_s5.0$ 地震震中位于红色的异常高值区内,墨江 $M_s5.9$ 地震震中位于异常高值区边缘(红色阈值线附近);而在 2018 年 6 月的异常空间等值线分布中,墨江 $M_s5.9$ 地震震中位于红色的异常高值区内,通海 $M_s5.0$ 地震震中位于异常高值区边缘(红色阈值线附近)。从 2 次异常叠加的等值线分布情况(图 3(c))可以看出,通海 $M_s5.0$ 和墨江 $M_s5.9$ 地震均发生在红色的异常高值区内,距离红色阈值线也较近。值得一提的是,3 幅归一置零极化值空间等值线图均显示出,2 次地震主要发生在异常高值区内,尤其在红色阈值线附近,这可能意味着在地磁垂直强度极化高值

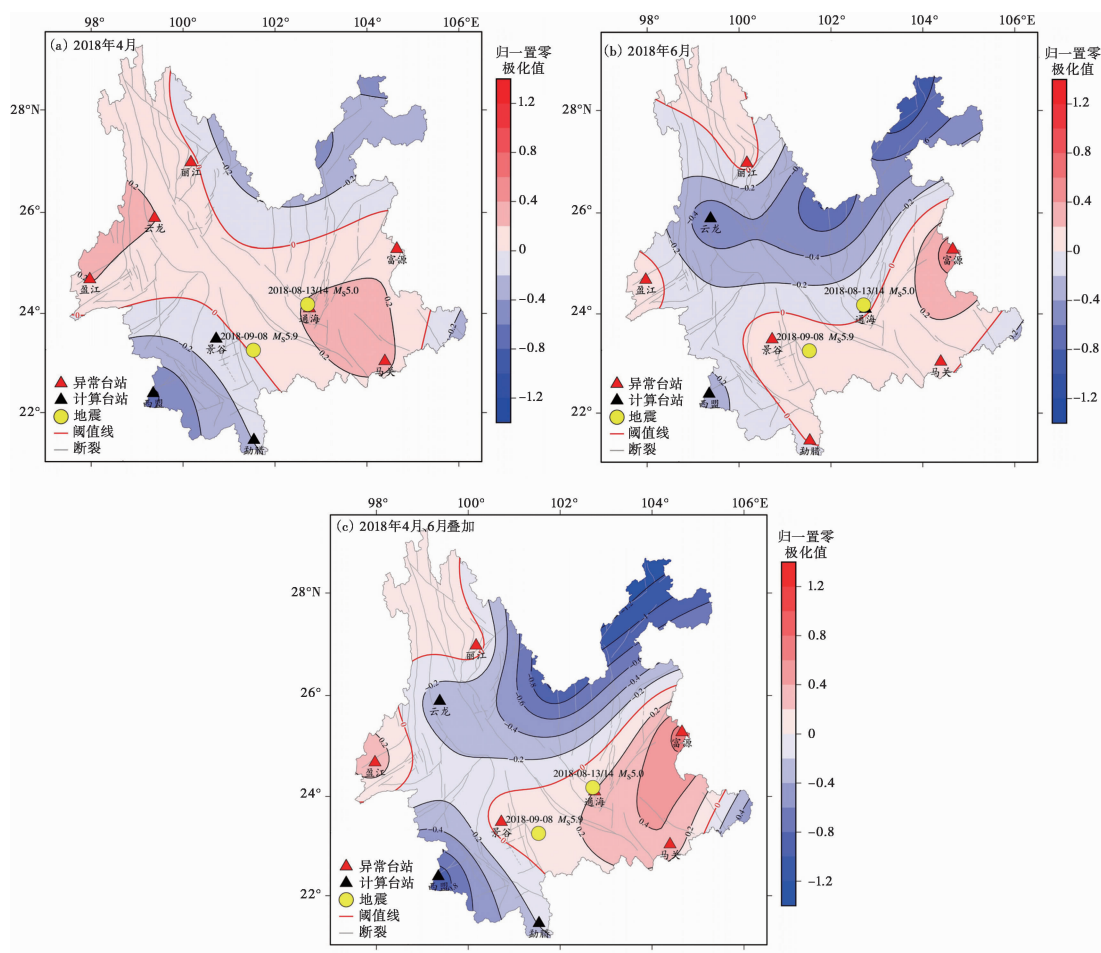


图3 各异常台站地磁归一置零极化值空间等值线

异常出现后,阈值线附近是未来地震的易发生区域,这对今后发震地点的预测有一定的指示意义。

4 结论与讨论

本文计算和分析了云南 11 个地磁台站秒钟值数据的垂直强度极化值 Y_{zh} 在通海 $M_s5.0$ 和墨江 $M_s5.9$ 地震前的时空变化特征,研究发现,多数地磁台站资料的极化值在地震前数月会出现高值异常,时间同步性较好,与前人的研究结果一致。廖晓峰等(2019)通过研究阿拉善 $M_s5.0$ 地震前的极化异常发现,地磁极化多台站异常不同于单台异常,而是区域性异常,这种大范围的极化超阈值同步变化可能不止对应一个地震,与本文所得到的认识相一致。

同时,从 2 次异常以及叠加结果的异常台站空间分布情况上看,2 次地震主要发生在异常空间等值线的高值区内,尤其是在零值阈值线附近,这可能对今后发震地点的预测有一定的指示意义。

而与以往的极化震例研究相比,垂直强度极化值的幅度在震前出现明显增强的时间要

更早些,可能会在震前 2~5 个月出现高值异常,距离发震时间越近,产生的电磁异常信号幅值可能越大,异常持续时间也越长。以往震例大多是针对单个地震,而通海和墨江地震时间相距较近,这种成组地震的震前可能会出现多次异常成组现象,并且由于区域孕震环境及地质条件的不同,可能导致震前出现异常的时间更早。杜爱民等(2004)研究发现,孕震区的地下电荷在地壳挤压变形的作用下不断积累,当震区地壳岩石相互作用十分激烈,电偶极子上积累的电荷过高时就会发生强烈的放电现象,形成临震前的强随机电磁辐射现象。地下电荷的不断积累使得能量逐渐增大,这似乎也可以解释距离发震时间越近,电磁异常信号的幅值越大、异常持续时间也越长的现象。然而,在本文的分析结果中,未发现异常幅度和异常持续时间与震中距有明显的相关性,如距离 2 次地震较远的丽江、盈江等台也出现了高值异常,且盈江台的异常幅度较大。这可能是由于电磁信号的传播途径、地质构造和发震机制的差异导致了电磁异常现象的不同(Hattori,2004)。对比异常产生时段内的 D_{st} 指数,极化值幅度增强的高值异常并非由空间电流体系变化引起。

另外,本文得到的结果和认识较为初步,对于震中与异常台站分布的具体关系及其产生机理,还需进行更深入细致的研究。

参考文献

- 杜爱民,周志坚,徐文耀,等,2004. 新疆和田 $M_L 7.1$ 地震前 ULF 电磁辐射的激发机理. 地球物理学报, **47**(5):832~837.
- 冯志生,李琪,卢军,等,2010. 基于磁通门秒值数据的地震 ULF 磁场可靠信息提取研究. 华南地震, **30**(2):1~7.
- 郝锦绮,钱书清,高金田,等,2003. 岩石破裂过程中的超低频电磁异常. 地震学报, **25**(1):102~111.
- 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,杨星,蔡绍平,2015. 极化方法应用于地磁台阵的震例分析. 震灾防御技术, **10**(2):412~417.
- 廖晓峰,冯丽丽,祁玉萍,等,2019. 地磁极化方法在阿拉善 5.0 级地震中的应用研究. 地震, **39**(4):127~135.
- 姚休义,滕云田,2017. 2010 年元谋 $M_s 5.2$ 地震前地磁极化异常研究. 地震研究, **40**(3):444~448.
- Hattori K,2004. ULF geomagnetic changes associated with large earthquakes. Terr, Atmos Ocean Sci, **15**(3):329~360.
- Hayakawa M, Itoh T, Hattori K, et al,2000. ULF electromagnetic precursors for an earthquake at Biak, Indonesia on February 17, 1996. Geophys Res Lett, **27**(10):1531~1534.
- Hayakawa M, Kawate R, Molchanov O A, et al,1996. Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993. Geophys Res Lett, **23**(3):241~244.
- Molchanov O, Schekotov A, Fedorov E, et al,2003. Preseismic ULF electromagnetic effect from observation at Kamchatka. Nat Hazards Earth Syst Sci, **3**(3~4):203~209.
- Molchanov O A, Hayakawa M, Rafalsky V A,1995. Penetration characteristics of electromagnetic emissions from an underground seismic source into the atmosphere, ionosphere, and magnetosphere. J Geophys Res, **100**(A2):1691~1712.
- Tsutsui M,2014. Behaviors of electromagnetic waves directly excited by earthquakes. IEEE Geosci Remote Sens Lett, **11**(11):1961~1965.
- Zhang D Q, Wang S F, Zhang N X,1988. Observations and studies of electromagnetic waves during the approaching of earthquakes. Acta Seismol Sin, **1**(4):103~112.

Spatial-temporal Variations of Geomagnetic Vertical Intensity Polarization Value Associated with the 2018 Tonghai $M_s5.0$ and Mojiang $M_s5.9$ Earthquake in Yunnan Province

*Fan Wenjie*¹⁾ *Yao Xiuyi*¹⁾ *Liao Xiaofeng*²⁾

1) Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China

2) Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610041, China

Abstract Based on the 1-second sampling data derived from 11 geomagnetic stations in Yunnan Province, we calculated and analyzed spatial-temporal variations of vertical geomagnetic intensity polarization value (Y_{zh}) before Tonghai $M_s5.0$ on August 13th and 14th, 2018 and Mojiang $M_s5.9$ on September 8th, 2019. The result shows that there exists an obvious enhancement of Y_{zh} amplitude in most geomagnetic stations before the earthquakes. However, compared with the previous studies of earthquake cases, the high-value anomaly of polarization value appeared even earlier, probably 2~5 months before the earthquake. The closer the time is to the earthquake, the larger the amplitude of the anomaly may have and the longer the duration of the anomaly will be. Moreover, it is found that these two earthquakes mainly occur near the zero threshold line of the spatial contour. This may be of significance of indication for the prediction of the earthquake location in the future. Compared with the D_{st} index in the period of anomaly generation, the high-value anomaly was not caused by the space current system.

Keywords: Tonghai earthquake; Mojiang earthquake; Geomagnetic polarization; Spatio-temporal variations