

# 极化方法应用于地磁台阵的震例分析<sup>1</sup>

李琪<sup>1)</sup> 杨星<sup>2)</sup> 蔡绍平<sup>2)</sup>

1) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2) 云南省地震局监测中心, 昆明 650224

**摘要** 利用云南地磁台阵 5 个测点的秒采样观测数据, 提取了发生在云南台阵附近宾川  $M_S 5.0$  级地震前的地磁异常信号。通过对地震前后 2 个月内各个测点极化值  $S_Z/S_H$  时间序列的分析, 发现极化值  $S_Z/S_H$  的幅度在震前半个月有明显的增强, 而且异常幅度和震中距成反比。同时, 通过 4 个测点极化值  $S_Z/S_H$  时间序列与 Dst 指数的对比, 确定了这种异常幅度的增强并不是由空间电流体系引起的。

**关键词:** 极化方法 地磁台阵 震例分析

## 引言

地磁台站记录到的地磁变化信号主要受到外源场和内源场两种场源的影响。其中: 外源场起源于地表以上的空间电流体系, 这些电流体系主要分布在电离层、磁层和行星际空间; 而内源场则包括地球岩石剩余磁化强度和在地磁场磁化作用下的感应磁化强度。提取地震发生前地磁异常信号的前提条件, 最重要的是突出源于震源区的异常信号和抑制来源于外源场的信号。由于地震引起的地磁异常信号的幅度很小, 所以在对地磁资料进行预处理之后, 还需要采用相对复杂的数学分析才能提取到震前的地磁异常变化。在短周期地磁异常信号的提取方面, 极化方法是国际上用得最多, 被普遍认为是地磁异常提取效果很好的方法 (Hayakawa 等, 1996; Akinaga 等, 2001)。所谓极化是指  $S_Z/S_H$  或  $S_Z/S_G$  的比值, 其中  $S_Z$ 、 $S_H$  和  $S_G$  分别为地磁场垂直分量  $Z$ 、水平分量  $H$  和总水平分量  $G = \sqrt{D^2 + H^2}$  的谱密度。极化方法利用岩石圈 ULF (Ultra Low Frequency: 超低频信号, 频段为 0.005—10Hz) 电磁信号的特征, 即垂直分量  $Z$  比水平分量  $H$  相对较大, 从而把岩石圈 ULF 电磁信号与源于空间电离层的 ULF 电磁信号区别开来。例如 Li 等 (2011) 利用新疆喀什和天津静海的数据, 计算了 2 个不同震例发生前后的极化值, 提取到了比较可靠的地磁异常信号。

如果只有 1 个台站观测到了震前的地磁异常信号, 这种异常的可靠性经常被人质疑。过去采用极化方法分析的震例, 由于受地磁台站数目和间距的限制, 只能分析震中附近 1 个台站的观测数据。由于中国大陆位于全球的中纬度地区, 所以引起地磁场短周期变化的外源场

**1 基金项目** 中国地震局地球物理研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项项目 DQJB12C07 和地震行业科研专项项目 200708033 联合资助。

**[收稿日期]** 2014-04-09

**[作者简介]** 李琪, 女, 生于 1975 年。博士, 副研。主要从事震磁关系和空间天气方面的研究工作, 并参与中国地震局地磁台网的技术管理。E-mail: darcyli@163.com

在地面很大范围内是近似均匀的, 如果在震中附近有多个地磁台站, 而且这些地磁台站监测到了不同幅度大小的震前异常信号, 无疑会大大增加这种地磁异常信号的可信度。但由于极化方法能提取到的震前地磁异常信号范围有限, 只有在震级  $M$  和震中距  $R$  满足  $0.025R \leq M-4$  的情况下, 才有 90% 的地震震前会出现 ULF 异常信号 (Hattori, 2004), 所以只有密集分布的地磁台阵才可能满足在震中周围有多个地磁测点的要求。

在中国地震局地球物理研究所承担的地震行业科研专项“地磁台阵式地震短临跟踪技术研究”支持下, 从 2009 年 3 月开始在云南省陆续建设了多个地磁观测点, 并在云南省的西北角组成了一个较小口径地磁台阵。在地磁台阵运行期间, 2009 年 11 月 2 日在云南省大理白族自治州宾川县发生了  $M_S 5.0$  级地震, 地震震中位于北纬  $26.00^\circ$ 、东经  $100.70^\circ$ 。本文利用上述地磁台阵获取的地磁异常信号对此次地震进行了研究, 文中对云南地磁台阵各个测点的数据采用极化方法进行分析, 并对比了不同台站的极化曲线在地震前后的变化, 以期能得到有意义的研究结果。

## 1 云南地磁台阵概况

在宾川地震发生之前, 建设完成的云南地磁台阵包括布设在云南西北角的 4 个观测点(测点平均间距为 100km 左右) 以及云南南部的一个观测点, 台阵布设及宾川地震震中位置如图 1 所示。各个测点的经纬度以及距离宾川地震的震中距如表 1 所示。

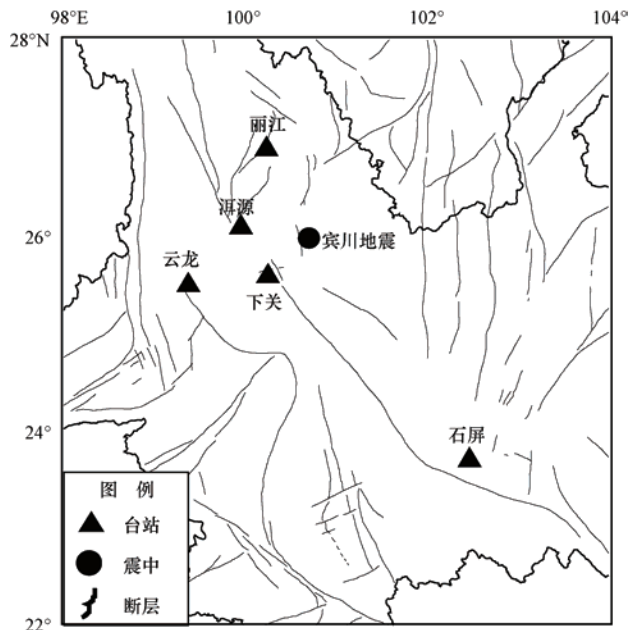


图 1 云南地磁台阵和宾川地震震中分布图

Fig. 1 Location of the geomagnetic stations and the epicenter of Binchuan earthquake

在堪选过程中对云南台阵各个观测点的磁场梯度和背景噪声进行了严格测试, 测点的观测场地满足  $10\text{m} \times 10\text{m}$  范围内地磁场总强度  $F$  分布均匀, 且水平梯度  $\Delta F_h \leq 5\text{nT/m}$ , 电磁环境满足背景噪声小于  $0.1\text{nT}$  的要求, 符合地磁三级固定观测网的技术指标。同时, 在每个观测

点都安装了一套由中国地震局地球物理研究所研制生产的 GM4 磁通门磁力仪, 其采样间隔为 1s, 观测周期从 2s 到数 10min, 可覆盖 ULF 信号的周期范围, 该仪器的“峰-峰”值噪声小于 0.1nT, 低于历史震例发现的震前 ULF 地磁异常信号的幅度(李琪等, 2008), 适于 ULF 地磁异常信号的提取。

地磁台阵的各个测点于 2009 年 3 月至 2009 年 9 月陆续建成(其中最晚建成的一个测点是下关), 并从 2009 年 9 月 12 日开始正式产出观测数据, 所以, 本文的分析是从 2009 年 9 月开始。另外, 由于原始观测数据不可避免地会受到一些外界人为活动的干扰, 所以对原始观测数据进行了预处理, 删除了一些明显不属于天然磁场的尖峰和台阶, 生成了预处理秒采样数据。下文进行的数据分析都是基于预处理秒采样数据完成的。

表 1 滇西北地磁台阵经纬度以及距离宾川地震的震中距

Table 1 Location of geomagnetic stations and distance to the epicenter of Binchuan earthquake

测点名称	东经 (°)	北纬 (°)	震中距 (km)
下关	100.25	25.61	62.28
洱源	99.95	26.11	76.17
丽江	100.23	26.90	109.87
云龙	99.37	25.52	143.34
石屏	102.47	23.72	310.53

## 2 计算方法

为避开日间的人为和工业干扰, 笔者选取当地时间的子夜 0—2 点(也就是世界时的 17:00:00—18:59:59)的数据进行计算, 具体计算流程为: ①以 30min, 也就是 1800s 为分段长度, 对各个测点垂直分量  $Z$ 、水平分量  $H$  和总水平分量  $G = \sqrt{D^2 + H^2}$  的预处理秒数据进行分段, 这样每天的数据就包括 4 个 30min 的数据段; ②计算出每段数据的傅立叶谱幅值, 并把每天 4 段数据计算出的幅值在频率域求平均; ③计算垂直分量  $Z$ 、水平分量  $H$  和总水平分量  $G$  在频段 0.007—0.015Hz 内的谱值积分, 可得到对应的谱密度  $S_Z$ 、 $S_H$  和  $S_G$ ; ④计算每天的极化值  $S_Z/S_H$  和  $S_Z/S_G$ , 并进行 3 日滑动平均得到最后的计算结果。

## 3 震例分析

根据对过去典型震例的统计可知, 极化方法提取到的地磁异常变化通常在震前 2 个月到数天出现(李琪等, 2008)。图 2 给出了此次地震前后 2 个月内各个地磁测点的极化值  $S_Z/S_H$  时间序列和  $Dst$  变化曲线, 图中箭头所指为发震日期。文中把均值加上 3 倍均方差作为阈值, 在图 2 中用横虚线标示。另外, 从图 2 中可以看到, 在震前半个月下关、洱源和丽江的极化值出现高于阈值的异常变化, 而距离较远的云龙和石屏整体虽然在震前半个月的数据变化形态和前面 3 个测点差不多, 但是扰动水平不高。把位置相对较为集中的下关、洱源、丽江和云龙 4 个测点震前的极化值  $S_Z/S_H$  变化的峰值提取出来, 图 3 为这 4 个测点震前异常幅度与震中距的对应关系。从图 3 可以看到, 异常幅度和震中距呈负相关, 其相关系数为 -0.71; 距离震中越近, 异常幅度越大, 反之, 异常幅度越小; 同时二者的关系近似于线性相关。另外, 考虑到极化值  $S_Z/S_G$  的时间序列变化曲线和极化值  $S_Z/S_H$  类似, 这里不再赘述。

为了排除外源场的影响，图 2 中最下面的子图还给出了和极化值同时段的 Dst 指数。中低纬地磁场活动强度常用 Dst 指数来表示，Dst 指数每小时 1 个，大于-30 表示地磁场处于平静状态，Dst 指数越大，说明磁场越平静。对比各个测点的极化值与 Dst 指数的变化情况可以看出，震前极化值的增强与外源场的变化没有关系，各个测点的极化值  $S_z/S_H$  与 Dst 指数的相关系数最高也不超过 0.28。

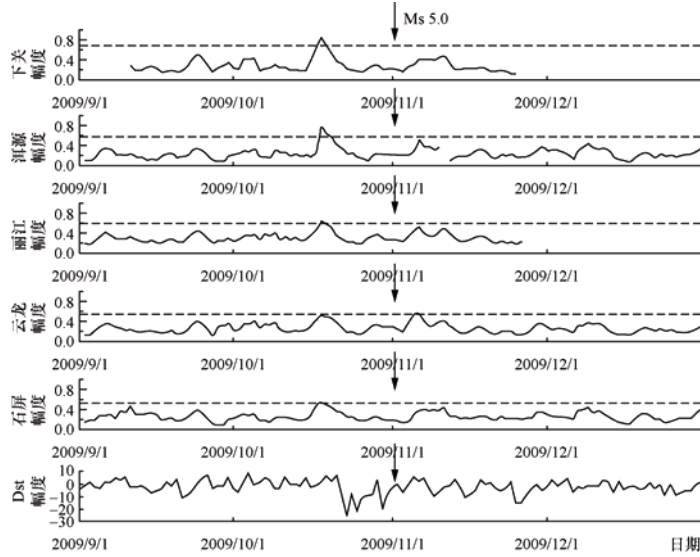


图 2 各个测点的极化值  $S_z/S_H$  时间序列和 Dst 变化曲线

Fig. 2 Temporal variation of Dst index and polarization ratios ( $S_z/S_H$ ) for each geomagnetic station from September to December of 2009

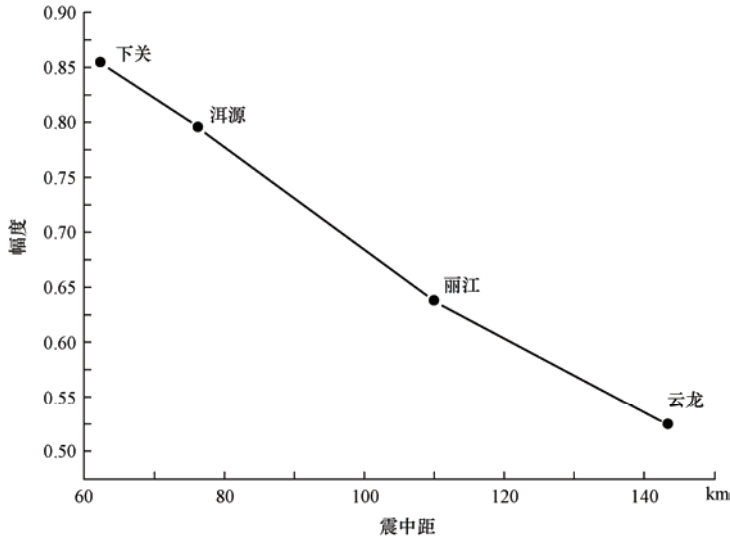


图 3 4 个测点的震中距与震前异常幅度的关系

Fig. 3 Scatter diagrams for the peak value of polarization ratio with epicentral distance for 4 geomagnetic stations

## 4 讨论和结论

本文分析了云南台阵各个测点的极化值  $S_z/S_H$  在宾川  $M_S5.0$  级地震前后的变化后发现, 极化值  $S_z/S_H$  的幅度在震前半个月有明显的增强, 而且异常幅度和震中距成反比。通过各个测点的极化值  $S_z/S_H$  时间序列与 Dst 指数的对比可以确定, 这种异常幅度的增强不是由空间电流体系引起的。

根据国外震例的统计结果, 在震级  $M$  和震中距  $R$  满足  $0.025R \leq M-4$  的情况下, 有 90% 的地震在发生前会出现 ULF 异常信号 (Hattori, 2004)。按照这个公式计算, 此次宾川  $M_S5.0$  级地震易于发现异常的距离在震中距为 40km 的范围内, 虽然本文用于研究的云南台阵的各个测点距宾川  $M_S5.0$  级地震的震中距都在 40km 之外, 但在震中距不大于 75km 的下关和洱源还是发现了较为明显的异常, 甚至在震中距为 110km 的丽江也能看到极化值幅度大于阈值的异常。另外, 在震中距更大的云龙和石屏测点, 震前半个月处的极化幅度和其他时段的变化相差不大, 同时从图 3 中也可明显地看出异常幅度和震中距的关系, 这说明震前 ULF 电磁异常信号的传播范围是有限的。

由于地质构造的不同将导致孕震环境的不同, 所以某种地震预测方法是否普遍适用还需要更多震例的验证。而且, 地震预测研究也是一个震例积累的过程, 只有积累了足够多的成功震例, 才能证明该方法的有效性。因此, 本文的观测结果还需要在以后的研究工作中继续探索。

## 参考文献

- 李琪, 李军辉, 杨冬梅等, 2008. 地磁 ULF 前兆信息研究简述. 地震地磁观测与研究, **29** (6): 170—176.
- Akinaga Y., Hayakawa M., Liu J.Y. et al., 2001. A precursory ULF signature for the Chi-Chi earthquake in Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (1): 33—36.
- 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.
- Hattori K., 2004. ULF geomagnetic changes associated with large earthquakes. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, **15** (3): 329—360.
- Li Qi, Zhu Peiyu, Alimjan Mamatemin et al., 2011. Detection of ULF electromagnetic emissions as a precursor to two earthquakes in China. *Earthquake Science*, **24** (6): 601—607.

## Case Study of Applying Polarization Method to Geomagnetic Array Data

Li Qi<sup>1)</sup>, Yang Xing<sup>2)</sup> and Cai Shaoping<sup>2)</sup>

1) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

2) Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, China

**Abstract** Based on the 1-second sampling data derived from five stations of geomagnetic array in Yunnan Province, the possible seismo-electromagnetic phenomena before the  $M_S5.0$  Binchuan earthquake was analyzed. By checking temporal variation of the polarization ratio (as the ratio of vertical magnetic field component to the horizontal one) for each geomagnetic station from 2 months before to 2 months after the  $M_S5.0$  Binchuan earthquake, we found that polarization ratio were enhanced just half month before the earthquake, and the peak value of polarization ratio of each station was inversely proportional to the epicentral distance. After comparing the Dst variation with the polarization ratio, we found that the enhanced polarization ratio was not caused by the space current system.

**Key words:** Polarization method; Geomagnetic array; Case study