

# 2014年云南鲁甸6.5级、永善5.0级地震前 岩石圈磁场局部异常特征分析\*

倪 喆<sup>1</sup>, 袁浩浩<sup>2</sup>, 王 粲<sup>2</sup>, 陈双贵<sup>3</sup>, 闫万生<sup>3</sup>

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081;  
3. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 利用2012~2014年南北地震带3期流动地磁矢量测量的准确可靠资料, 计算得到了2012~2013年和2013~2014年相邻期岩石圈磁场的分布。分析结果表明, 2014年8月3日鲁甸6.5级地震、8月17日永善5.0级地震前, 川滇交界东部均存在岩石圈磁场的异常变化。同时, 异常持续时间、空间范围与震级大小有一定关系, 鲁甸地震前岩石圈磁场异常持续时间长、空间范围广, 而永善地震则反之。

**关键词:** 地磁测量; 岩石圈磁场; 局部异常; 鲁甸6.5级地震; 永善5.0级地震

**中图分类号:** P318

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2014)04-0537-05

## 0 引言

根据云南地区 $M \geq 6.7$ 地震10年尺度活跃—平静分期特征, 缅甸孟帕亚7.2级地震标志着云南地区已进入新一轮强震活跃期(皇甫岗等, 2014)。2012~2014年, 滇东北地区已发生了彝良5.7、5.6级地震、永善5.3、5.0级地震和鲁甸6.5级地震等多次中强地震。在严峻的震情形势和地震多发的情况下, 在地震频发区域开展地球物理场观测, 并进行地震前后的物理场现象的对比分析, 能有效促进对地震机制和物理机理的理解和认识, 为地震异常的辨别提供宝贵的资料和经验。中国地震局地球物理研究所和云南省地震局等单位在大华北、南北地震带、南北天山地区已开展了多期以流动地磁为手段的地震监测, 获取了监测区域内局部空间磁场的变化, 对比了若干个地震前后岩石圈磁场的分布及其变化, 积累了一定数量的地震地磁案例。

近年来, 国内地震地磁研究者对汶川地震、芦山地震、洱源地震前后的岩石圈磁场特征变化开展了相关分析(顾春雷等, 2010, 2012; 倪喆等, 2014a, b)。结果表明, 岩石圈磁场异常空间分布与中强地震的发震地点具有一定对应关系。

虽然不同区域的异常变化各有其特点, 但是孕震区与非孕震区相比具有显著磁场差异的特征, 这可能是地震孕育过程中改变了区域磁场原有的、正常的分布, 利用这种特征可以为研判发震地点提供岩石圈磁场异常的事实依据。本文简述了地磁测量及其数据处理的简况, 并分析了2014年8月3日鲁甸6.5级地震、8月17日永善5.0级地震前岩石圈磁场的异常特征。

## 1 地磁测量及数据处理

自2010年起, 每年的3~5月云南省地震局在南北地震带都会开展一期流动地磁矢量观测。本文使用2012~2014年共3期资料, 分析了云南及周边地区相邻期岩石圈磁场变化特征。图1为研究区域( $21^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$ ,  $97^{\circ} \sim 107^{\circ} \text{E}$ )内118个地磁矢量测点的分布。每个测点使用G-856AX质子旋进磁力仪(分辨率为0.1 nT, 精度为0.5 nT)测量地磁总强度 $F$ ; 应用CTM-DI磁力仪(分辨率为0.1', 精度为0.2')测量磁偏角 $D$ 和磁倾角 $I$ 。以差分GPS仪(水平的定位精度为5 mm + 1 ppm, 垂直的定位精度为10 mm + 1 ppm, 测量方位角的精度为0.2')测量地磁测点的地理方位角以及经度、纬度与海拔高度(Gu *et al.*, 2006a, b)。

\* 收稿日期: 2014-09-23.

**基金项目:** 2014年度中国综合大陆地球物理场观测项目(1521404300051)和2012年度地震行业科研专项“中国综合地球物理场观测—鄂尔多斯地块周缘地区”(201208009)联合资助。

需对原始磁测数据进行统一通化处理, 日变化改正采用通海、西昌 2 个地磁台的分钟值, 各测期磁测数据经通化处理,  $F$  的均方差小于 1.5 nT,  $D$  与  $I$  的均方差都小于 0.5'。地磁场长期变化改正使用“1995.0 – 2014.5 中国地区地磁场非线性变化模型 (NOC)” (顾左文等, 2009), 将日变化改正后的数据统一归算至 2010.0 年代。

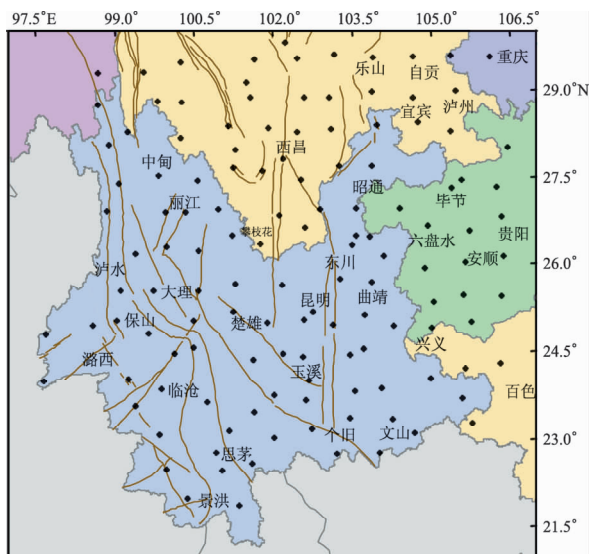


图 1 云南及周边地区流动地磁矢量测点分布

Fig. 1 Distribution of flow geomagnetic vector measuring points in Yunnan and its adjacent area

地磁观测数据包含了地磁内源场和外源场的变化, 内源场又由主磁场和岩石圈磁场构成。观测数据进行日变化改正可以消除地磁外源场部分, 日变化改正后的数据再归算至 2010.0 地磁标准年代可以消除地磁场的长期变化。本文选取 2010.0 年代中国地磁参考场球冠谐和模型 (CGRF – SCH) 计算研究区域的主磁场 (陈斌等, 2011a), 通过剥离主磁场而获得其岩石圈磁场, 经过一次差分计算得到了相邻测期岩石圈磁场的变化。

笔者使用 2012 ~ 2014 年 3 期准确可靠的磁测资料, 分析川滇交界地区相邻测期岩石圈磁场变化特征。

## 2 地震前岩石圈磁场异常分布

### 2.1 鲁甸 6.5 级地震

2014 年 8 月 3 日, 云南鲁甸发生 6.5 级地震, 震中位于北西向包谷垭—小河断裂<sup>①</sup>, 该断裂与昭通—鲁甸断裂近似垂直。2013 和 2014 年 5 月观测结束时, 在川滇交界东部岩石圈磁场均出现了多要素的异常现象, 其中以水平、垂直矢量和总强度尤为突出。2012 ~ 2013 年 (图 2)、2013 ~ 2014 年 (图 3) 岩石圈磁场变化的空间局部异常范围均涵盖了鲁甸地震震中。

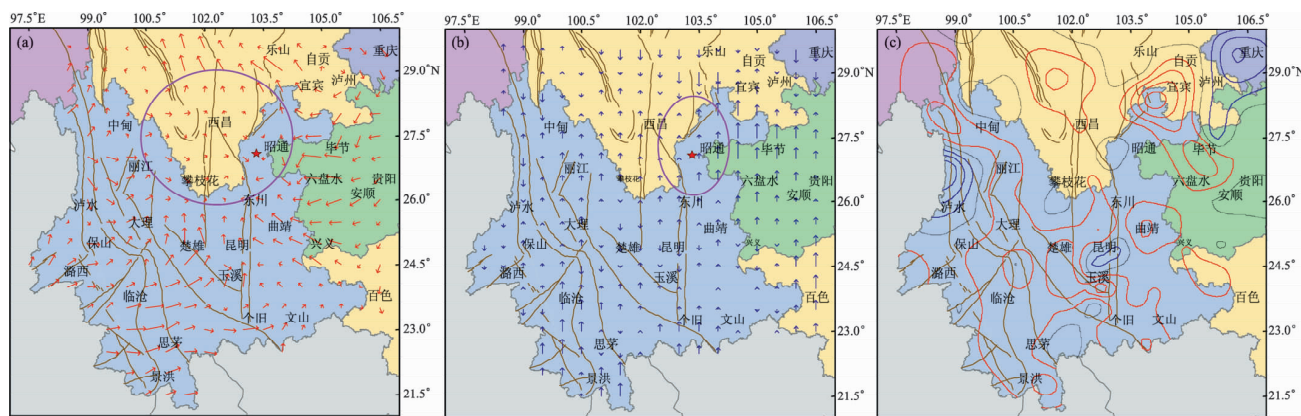


图 2 2012 ~ 2013 年云南及周边地区岩石圈磁场分布 (○: 鲁甸地震岩石圈磁场异常范围; ★: 地震震中)  
(a) 水平矢量; (b) 垂直矢量 (c) 总强度

Fig. 2 The distribution of lithosphere magnetic field in Yunnan and its adjacent area during 2012 and 2013  
(○: the anomalous spatial extension of lithosphere magnetic field before Ludian  $M_s 6.5$  earthquake; ★: epicenter)  
(a) horizontal vector; (b) vertical vector; (c) total intensity

① 房立华, 吴建平, 王未来, 等. 2014. 云南鲁甸  $M_s 6.5$  地震余震重定位及其发震构造研究. 地震地质 (待刊).

2012~2013年在鲁甸地震前岩石圈磁场分布的异常描述如下: 水平矢量在红河断裂带以西呈现由西向东的展布, 小江断裂带以东呈现由东向西的展布, 小江断裂带北端东侧出现了一个显著的转向, 元谋—绿枝江断裂中北端的東西两侧呈现出由南向北的展布(图2a), 这3个区域的变化量级较为接近, 在川滇交界围成的范围内量级较小; 垂直矢量表现为小江断裂北端往北和元谋—绿枝江断裂东西两侧方向呈现出相向, 在这个区域内从川渝交界至川滇交界量级逐渐减小, 在小江断裂北端量级最小(图2b); 研究区域内总强度仅在川滇交界东部形成了正值高值区域(图2c)。从以上3个要素共同的异常分布区域来看, 岩石圈磁场异常主要集中分布于小江断裂中北部、则木河断裂以西的川滇交界东部地区。

与2012~2013年相比, 2013~2014年岩石圈

磁场分布存在如下演变: 水平矢量在小江断裂带北端东侧出现的转向现象消失, 演变成为由东向西, 其量级较南北两侧的大(图3a); 垂直矢量沿小江断裂北端到元谋—绿枝江断裂东西两侧的方向呈现出相向, 其异常空间范围向南产生了偏移, 并且范围有所减小, 在小江断裂北端一带, 即鲁甸震区量级最小(图3b); 总强度在川滇交界东部的正负高值区域交替出现, 负值高值区与正值高值区相比, 其西南边界更加靠近鲁甸震区(图3c)。根据这3个要素的演化过程来看, 异常区主要集中于小江断裂北端地区。

综上所述, 鲁甸6.5级地震前岩石圈磁场的异常分布存在于2012~2013年、2013~2014年, 异常的空间范围从2012~2013年覆盖了川滇交界的大部分区域演变到2013~2014年覆盖了川滇交界东部区域。

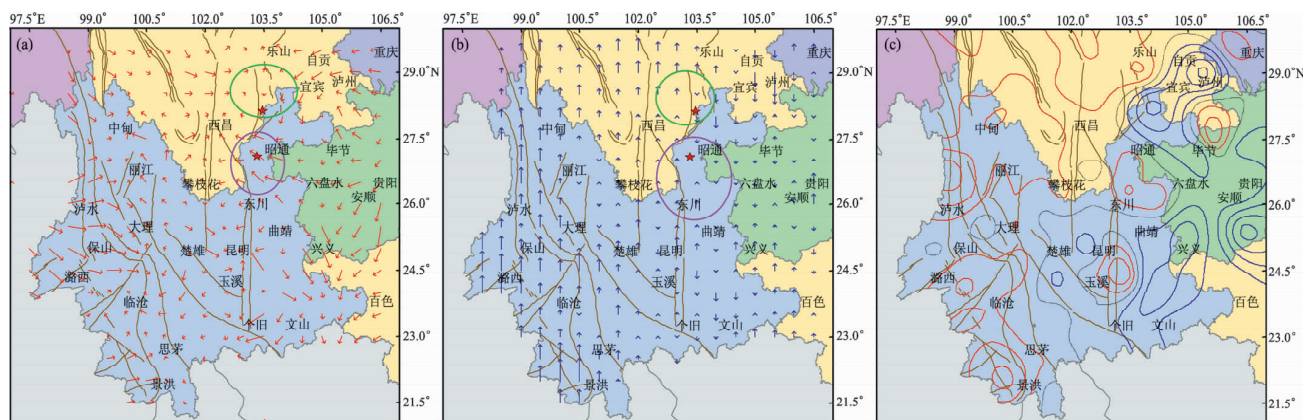


图3 2013~2014年云南及周边地区岩石圈磁场分布

(○鲁甸地震前岩石圈磁场异常范围; □永善地震前岩石圈磁场异常范围; ★地震震中)

(a) 水平矢量; (b) 垂直矢量 (c) 总强度

Fig. 3 The distribution of lithosphere magnetic field in Yunnan and its adjacent area during 2013 and 2014

(○: the anomalous spatial extension of lithosphere magnetic field before the Ludian  $M_{6.5}$  earthquake; □: the anomalous spatial extension of lithosphere magnetic field before the Yongshan  $M_{5.0}$  earthquake; ★: epicenter)

(a) horizontal vector; (b) vertical vector; (c) total intensity

## 2.2 永善5.0级地震

2014年8月17日, 云南昭通永善发生5.0级地震, 震中位于北东向莲峰断裂和南北向马边—大关断裂带交汇区附近, 和鲁甸6.5级地震属不同的地质构造带, 目前尚未发现两次地震有必然联系(皇甫岗, 2014)。笔者认为, 在川滇交界东部2013~2014年岩石圈磁场变化中新出现的水平、垂直矢量和总强度等要素的异常范围均涵盖了永善地震震中。

在永善5.0级地震前, 2013~2014年岩石圈磁场分布的异常如下: 水平矢量大致以从四川宜宾和云南曲靖由2股整体趋势一致的方向在川滇交界东部, 即云南彝良和四川雷波, 发生了转折, 转折后向西昌方向延伸, 其中明显可见水平矢量进入四川境内后, 其方向呈现凌乱、量级减小(图3a)。垂直矢量在川滇交界地区西部由西向东展布, 方向整体一致向上, 接近川滇交界东部, 量级突然变小; 穿过川滇交界东部后, 该矢量方

向发生转向,大部分垂直矢量又整体向下(图3b)。总强度在川滇交界东部地区存在明显的负值高值区,其零等变线穿过川滇交界东部区域(图3c)。3个要素共同的异常分布区域来看,主要集中于马边一大关断裂、莲峰断裂周边地区。永善地震前岩石圈磁场的异常分布时间为2013~2014年,异常的空间范围在川滇交界东部区域。

### 3 讨论与结论

2012~2014年,在南北地震带进行了地磁测量。在地磁测量中,使用了性能稳定、精度高的仪器,获得了准确可靠的地磁数据。笔者以这些准确可靠的地磁数据为基础资料,分析了川滇交界地区岩石圈磁场异常分布及其与2014年8月3日鲁甸6.5级地震、8月17日永善5.0级地震的关系,所获得的结果如下:

2012~2014年两个相邻期岩石圈磁场变化中,鲁甸6.5级地震在2012~2013、2013~2014年中均有岩石圈磁场异常现象对应,其异常时间大约持续1~2a,各要素的异常形态在川滇交界区域的分布范围大;而永善5.0级地震仅在2013~2014年中有岩石圈磁场异常现象对应,其异常时间大约持续有0.5~1a、各要素的异常形态在川滇交界区域的分布范围小。笔者认为,异常持续时间和空间范围应与震级大小有关:震级大,磁异常持续的时间长、空间范围大;震级小,则磁异常持续时间短、空间范围小。

岩石圈磁场是地磁场的重要组成部分(Morner, 1986; Langel, Hinze, 1998; Maus *et al.*, 2006; Thebault *et al.*, 2010)。分析研究表明,岩石圈磁场异常与相应的区域地质构造、岩性、地震活动性、剩余磁化强度、磁化率等因素都具有一定的相关性<sup>①</sup>(顾春雷等, 2010, 2012; 陈斌, 2011b; 袁洁浩等, 2014; Yuan *et al.*, 2013; Ni, Yi, 2013)在岩石圈中,经常发生破坏性地震。在地震的孕育和发生的过程中,由于震源区地下介质的物性变化,会引起局部岩石圈的地质结构、温度与应力状态、介质电磁性质等因素的变化,从而导致岩石圈磁场异常。分析岩石圈磁场异常

变化与地质构造的关系,研究与地震相关的构造活动所产生的岩石圈磁场变化特征,对分析震磁前兆信息与研讨区域地震活动性都具有重要意义。因此,分析研究岩石圈磁场异常变化与地震的关系是震磁研究中的重要探索途径。在今后的探索研究中,应当加强地震活动区的地磁观测,深入分析岩石圈磁场及其变化,研究岩石圈磁场异常变化与地震的关系,探讨其震磁信息与物理机制,不断推进岩石圈磁场异常变化的地震监测预报研究。

本文在撰写过程中,中国地磁台网中心提供台站数据,顾左文研究员给予了指导与支持,詹志佳研究员和陈斌博士提出了宝贵意见,在此一并表示感谢。

### 参考文献:

- 陈斌,顾左文,高金田,等. 2011a. 2005.0年代中国地区地磁场及其长期变化球冠谐和分析[J]. 地球物理学报, 54(3): 771-779.
- 陈斌. 2011b. 自然正交方法在地震地磁监测中的应用[J]. 地震研究, 34(4): 466-469.
- 顾春雷,张毅,顾左文,等. 2012. 华北地震区岩石圈磁异常场零值线与中强震震中分布关系[J]. 西北地震学报, 25(2): 174-179.
- 顾春雷,张毅,徐如刚,等. 2010. 地震前后岩石圈磁场变化特征分析[J]. 地球物理学进展, 25(2): 472-477.
- 顾左文,陈斌,高金田,等. 2009. 应用NOC方法研究中国地区地磁时空变化[J]. 地球物理学报, 52(10): 2602-2612.
- 皇甫岗,苏有锦,张建国,等. 2014. 新世纪滇缅交界大震活动研究[M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 皇甫岗. 2014. 永善5.0级地震与鲁甸6.5级地震属不同地质构造带[EB/OL]. (2014-08-17) [2014-09-23]. [http://yn.yunnan.cn/html/2014-08/17/content\\_3330961.htm](http://yn.yunnan.cn/html/2014-08/17/content_3330961.htm).
- 倪喆,陈双贵,伊炜,等. 2014a. 芦山7.0级地震前后岩石圈地磁变化异常的研究[J]. 地震研究, 37(1): 61-65.
- 倪喆. 2014b. 洱源5.5级地震前后磁场变化异常特征分析[J]. 地震研究, 37(3): 471-476.
- 袁洁浩,陈斌,王粲,等. 2014. 2013年IAGA科学大会与岩石圈磁异常研究进展[J]. 国际地震动态, (3): 32-38.
- Gu Z., Zhan Z., Gao J., *et al.* 2006a. Application of GPS in Geomagnetic Survey[J]. Earth Planets Space, 58: 72-79.
- Gu Z., Zhan Z., Gao J., *et al.* 2006b. Geomagnetic Survey and Geomagnetic Model[J]. Earth Planets Space, 58: 741-750.
- Langel R. A., Hinze W. J.. 1998. The Magnetic Field of the Earth's Lithosphere[M]. New York: Cambridge University Press.

① 袁洁浩,顾左文,高金田,等. 2014. 沿蒙古S-D剖面的岩石圈磁异常观测研究. 地震学报, (待刊).

- Maus S. , Rother M. , Hermant K. , *et al.* 2006. Earth's Lithospheric Magnetic Field Determined to Spherical Harmonic Degree 90 from CHAMP Satellite Measurements[J]. *Geophys. J. Int.* , 164 ( 2 ) : 319 – 330.
- Morner N. 1986. The Lithospheric Geomagnetic Field: Origin and Dynamics[J]. *Phys. Earth Planet. Inter.* , 44 ( 4 ) : 366 – 372.
- Ni Z. , Yi W. . 2013. Lithospheric Magnetic Anomalous Area and Earthquake[C]. Merida, Mexico; 12th IAGA Scientific Assembly, 291.
- Thebault E. , Purucker M. , Whaler A. , *et al.* 2010. The Magnetic Field of the Earth's Lithosphere[J]. *Space Science Reviews*, 155 ( 1 – 4 ) : 95 – 127.
- Yuan J. , Gu Z. , Chen B. , *et al.* 2013. The Lithospheric Magnetic Field along the Pingba – Lijiang Profile, China[C]. Merida, Mexico; 12th IAGA Scientific Assembly, 285.

## Analysis of Local Anomalous Characteristics of Lithospheric Magnetic Field before Ludian M6.5 and Yongshan M5.0 Earthquakes in Yunnan in 2014

NI Zhe<sup>1</sup>, YUAN Jie-hao<sup>2</sup>, WANG Can<sup>2</sup>, CHEN Shuang-gui<sup>3</sup>, YAN Wan-sheng<sup>3</sup>

(1. *Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

(2. *Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China*)

(3. *Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China*)

### Abstract

By using the accurate and reliable three-phases mobile geomagnetic vector observation data in the north-south seismic belt during 2012 and 2014, we had got the distribution of the lithosphere magnetic field in the adjacent phases from 2012 to 2013 and from 2013 to 2014. The analysis results showed that there were the anomalous change of the lithosphere magnetic field before Ludian M6.5 earthquake on Aug. 3 and Yongshan M5.0 earthquake on Aug. 17 in 2014 in the eastern part at the junction of Sichuan and Yunnan. At the same time, we considered that there is a certain relationship between anomalous duration or spatial extension and magnitude. The anomalous of lithosphere magnetic field occurred over a large area and lasted for a long time before Ludian M6.5 earthquake, conversely, it occurred over a small area and lasted for a short time before the Yongshan M5.0 earthquake.

**Key words:** geomagnetic survey; lithosphere magnetic field; local anomalous; Yunnan Ludian M6.5 earthquake; Yongshan M5.0 earthquake