

# 洱源 5.5 级地震前后地磁场变化异常特征分析<sup>\*</sup>

倪 喆

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 利用 2013 年 3 月 3 日洱源 5.5 级地震前后所获得的 2 种流动地磁资料, 分析了地磁总强度与矢量观测的异常变化特征。(1) 地磁总强度观测结果表明: 地震前, 测区内相邻期总强度变化的正负值区大致均衡, 逐渐演变为整个测区都是正值并出现高梯度带, 正值的高梯度带再演变为正负值交界的高梯度带, 此时震中位于正值高梯度带的边缘; 地震后, 正负值交界的高梯度带远离震中, 正负值区又大致均衡; (2) 地磁矢量观测结果表明: 地震前, 岩石圈磁场变化的水平矢量、垂直矢量在震区均有显著差异, 磁偏角、磁倾角和总强度变化的零等变线均在震区周边穿过; 地震后, 岩石圈磁场变化的水平、垂直矢量在震区的显著差异消失, 磁偏角和总强度在震区正负值交界的高梯度带逐渐消失, 磁偏角的零等变线在震区未出现。

**关键词:** 流动地磁; 地磁总强度; 地磁矢量; 洱源地震

**中图分类号:** P318.62

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2014)03-0426-07

## 0 引言

地磁观测可以分为空间观测和地表观测, 地表观测又分为固定台站和流动观测。地磁场是矢量场, 在直角坐标系、球坐标系和圆柱坐标系下, 地磁矢量的投影要素各有 3 个, 其中不重复要素共有 7 个, 分别是地磁总强度、磁偏角、磁倾角、水平分量、垂直分量、北向分量和东向分量。实际观测中有单要素与多要素观测之分。单要素观测常常仅观测总强度, 而多要素观测一般采用总强度、磁偏角、磁倾角或者是水平分量、垂直分量、磁偏角等 3 个要素的组合 (也称为矢量观测)。一般情况下, 地磁总强度观测操作简单、耗时短; 而地磁矢量观测的程序繁多, 操作复杂、耗时长。在地震地磁的监测中, 矢量观测传递的磁异常信息远比单要素丰富, 还具有更多的表现形式。

20 世纪 80 年代, 云南省地震局等 10 余家单位开展了以流动地磁总强度观测为手段的地震监测, 同时也开展了相应的地震预测探索研究 (祁贵仲等, 1981; 詹志佳等, 2000; 云南省地震局前兆室流磁组, 1984), 根据磁场变化异常特征, 获得了一些较为成功的地震预测案例, 为深入的研究提供了经验与基础 (Johnston *et al.*, 1985; 詹志佳等, 1991; Shapiro *et al.*, 1994)。从 21 世纪初

开始, 中国地震局地球物理研究所等单位依托中国地磁图项目, 经过 10 多年的不断探索与不懈努力, 使流动地磁矢量观测运用于地震监测并取得了长足进步, 通过研究中强地震前后岩石圈磁场的异常变化, 探索并分析其各个要素的异常特征, 不断积累和总结了更多的地震地磁震例 (顾左文等, 2006; 倪喆等, 2014)。

2013 年 3 月 3 日云南洱源发生 5.5 级地震, 震中位于维西—乔后断裂附近。中国地震局地球物理研究所和云南省地震局基于此次地震震中及周边地区积累的数年流动地磁总强度和矢量观测资料, 经过数据处理与分析, 认为这两种资料在震前均表现出了异常现象, 并在震后异常消失。本文就地磁总强度和矢量资料表现出的异常变化特征分别进行论述, 探讨了与该地震相关的地震地磁信息。

## 1 地磁资料与计算方法

地磁总强度观测是在滇西地震预报实验场 (24.9° ~ 27.0°N、99.4° ~ 101.6°E) 开展。图 1 为滇西地震预报实验场地磁总强度测点的分布, 该区域内沿多条断裂带布设有 49 个测点, 每个测点周围环境良好, 没有电磁干扰, 测点周围的磁场梯度较小 (< 2 nT/m), 每个测点由主桩与副桩

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014-04-30.

基金项目: 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) 资助.

组成, 其主、副桩相距 30 ~ 50 m。每个地磁测点上, 使用 G-AX856 质子旋进磁力仪 (分辨率为 0.1 nT, 精度为 0.5 nT) 在主、副桩上同时观测 30 个总强度值; 然后交换仪器后再同时观测 30 个总强度值。每 10 个总强度值计算一个平均值, 共获得 6 个总强度值的平均值。在测量现场, 计算并对比点位差与仪器差, 以保证地磁测量数据的质量 (中国地震局, 2001)。每年的 2 月和 9 月对滇西地震预报实验场各进行 1 次地磁总强度观测, 每期 1 个野外组观测用时约 15 天。

地磁总强度数据的处理过程为: 首先对野外观测数据做日变化改正, 选取当期测区均值 (对所有测点日变化改正后的绝对值求和再平均) 作为对比值; 其次各个测点的日变化改正值与当期的对比值相减, 以求出当期每个测点相对于对比值的差值; 最后计算前后两期各测点差值的变化。

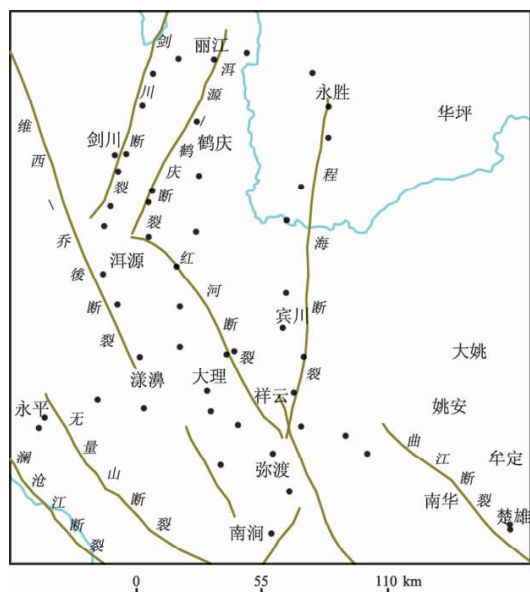


图 1 滇西地震预报实验场地磁总强度测点分布

Fig. 1 Distribution of measuring points of geomagnetic total intensity in Western Yunnan Earthquake Prediction Study Area

地磁矢量观测是在中国南北地震带开展, 本文绘制的范围是云南及周边地区 (21.5° ~ 28.5°N, 97.5° ~ 106.5°E), 而关注区则为滇西地区如图 2 所示。云南及周边地区布设有 108 个测点, 每个测点观测的要素为: 地磁总强度  $F$ 、磁偏角  $D$  与磁倾角  $I$ 。使用 G-AX856 质子旋进磁力仪测量地磁场总强度, DI 磁力仪 (分辨率为 0.1', 精度为 0.2')

用于测量磁方位角与磁倾角, ASHTECH ProMark2 GPS 仪 (方位角测量精度 <0.1') 用于测量地理方位角, 以确定磁偏角。每年的 3 ~ 4 月对该区域进行 1 期地磁矢量观测, 2 个野外组观测用时约 55 天。

地磁矢量数据的处理过程为: 首先选择离野外测点最近的地磁台数据进行日变化改正; 再对日变化改正之后的数据进行长期变化改正; 然后利用 2010.0 年代中国地磁参考场球冠谐和模型计算出相应的岩石圈磁场; 最后求出相邻观测期岩石圈磁场的变化。对于地磁矢量资料, 选取了通海、西昌地磁台的资料作为日变化改正数据, 长期变化改正采用的是“1995.0 - 2013.0 中国地区地磁场非线性变化模型 (NOC)”, 将日变化改正后数据归算至 2010.0 地磁标准年代, 主磁场采用了国际地磁学与高空物理学协会 (IAGA) 发布的第 11 代国际地磁参考场 (IGRF-11) (陈斌等, 2011, 2012)。

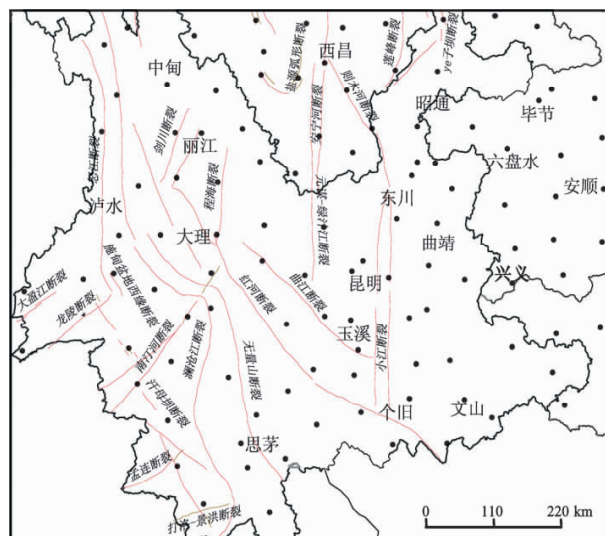


图 2 云南及周边地区地磁矢量测点分布

Fig. 2 Distribution of measuring points of geomagnetic vector in Yunnan and its adjacent region

## 2 地磁总强度的变化

本文利用 2011 年 2 月 ~ 2014 年 2 月共 7 期的地磁观测资料, 分析洱源地震前后滇西地震预报实验场出现的总强度变化异常特征。图 3 为 2011 年 2 月至 2013 年 2 月滇西地震预报实验场相邻期总强度变化分布图。从图 3 可以看出: 2011 年 2 ~

9 月,测区内正值区大致各占一半,而负值区被正值区所包围,正负值的量级范围为  $-2 \sim 2$  nT。2011 年 9 月至 2012 年 2 月,测区内正负值区域仍大致各占一半,相比上期不同的是正值区被负值区所包围,且量值有所增大,其量级范围为  $-3 \sim 3$  nT,但有部分测点绝对值大于 3 nT 的且集中在测区北部,即洱源—鹤庆断裂、剑川断裂和程海断裂的北端。2012 年 2 ~ 9 月,整个测区内没有负值,洱源—鹤庆断裂南段、剑川断裂南段处形成等值线的密集区,以及红河和维西—乔后断裂中间区域形成了总强度正值的高梯度带,沿此密集区和高梯度带分布的测点正值变化均高于 3 nT。2013 年第 1 期(2013 年 2 月)观测于 3 月 2 日结束,数据未计算,第 2 天洱源就发生了 5.5 级地震。2012 年 9 月至 2013 年 2 月,测区内负值区大于正值区,沿维西—乔后断裂和红河断裂中间区

域形成了正负值交界的高梯度带,正值区仍覆盖维西—乔后断裂,震中位于总强度正值高梯度带的边缘。2013 年 2 ~ 9 月,测区内正负值区域大致各占一半,而负值区被正值区所包围,正负值交界的高梯度带远离震中。2013 年 9 月至 2014 年 2 月,测区内正负值区域仍大致各占一半,正负值区相互交错,震中位于负值区。从 2013 年 2 月至 2014 年 2 月,测区内总强度变化的量值呈现增大趋势。

综上所述,洱源地震前后地磁总强度异常特征为:地震前,测区内相邻期总强度变化的正负值区大致均衡,逐渐演变为整个测区都是正值并出现高梯度带,正值的高梯度带再演变为正负值交界的高梯度带,此时震中位于正值高梯度带的边缘;地震后,正负值交界的高梯度带远离震中,正负值区又大致均衡。

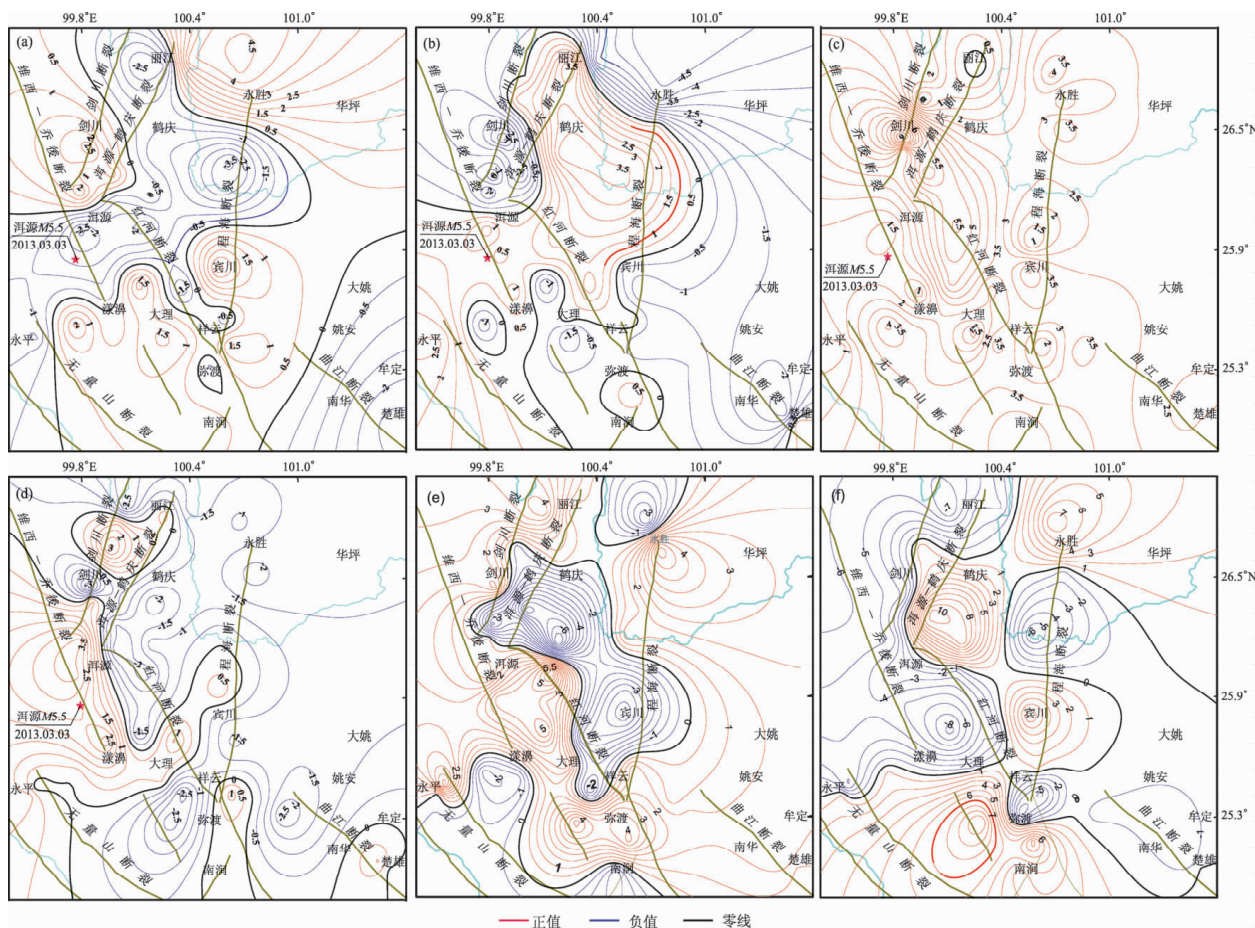


图3 2011年2月~2014年2月滇西地震预报实验场相邻期总强度变化分布图  
(a) 2011-02~2011-09; (b) 2011-09~2012-02; (c) 2012-02~2012-09; (d) 2012-09~2013-02;  
(e) 2013-02~2013-09; (f) 2013-09~2014-02

Fig. 3 Distribution of geomagnetic total intensity in successive period in Western Yunnan Earthquake Prediction Study Area from Feb. , 2011 to Feb. , 2014

### 3 地磁矢量的变化

本文利用2011~2013年的地磁矢量观测资料，经计算后绘制了水平、垂直矢量和磁偏角3个要素

的相邻期岩石圈磁场变化分布图，对其分析与研判，认为地磁各要素在滇西地区，尤其是地震前洱源震区及周边出现了岩石圈磁场的异常现象，地震后异常现象消失。

图4为洱源地震前2011~2012年云南及周边

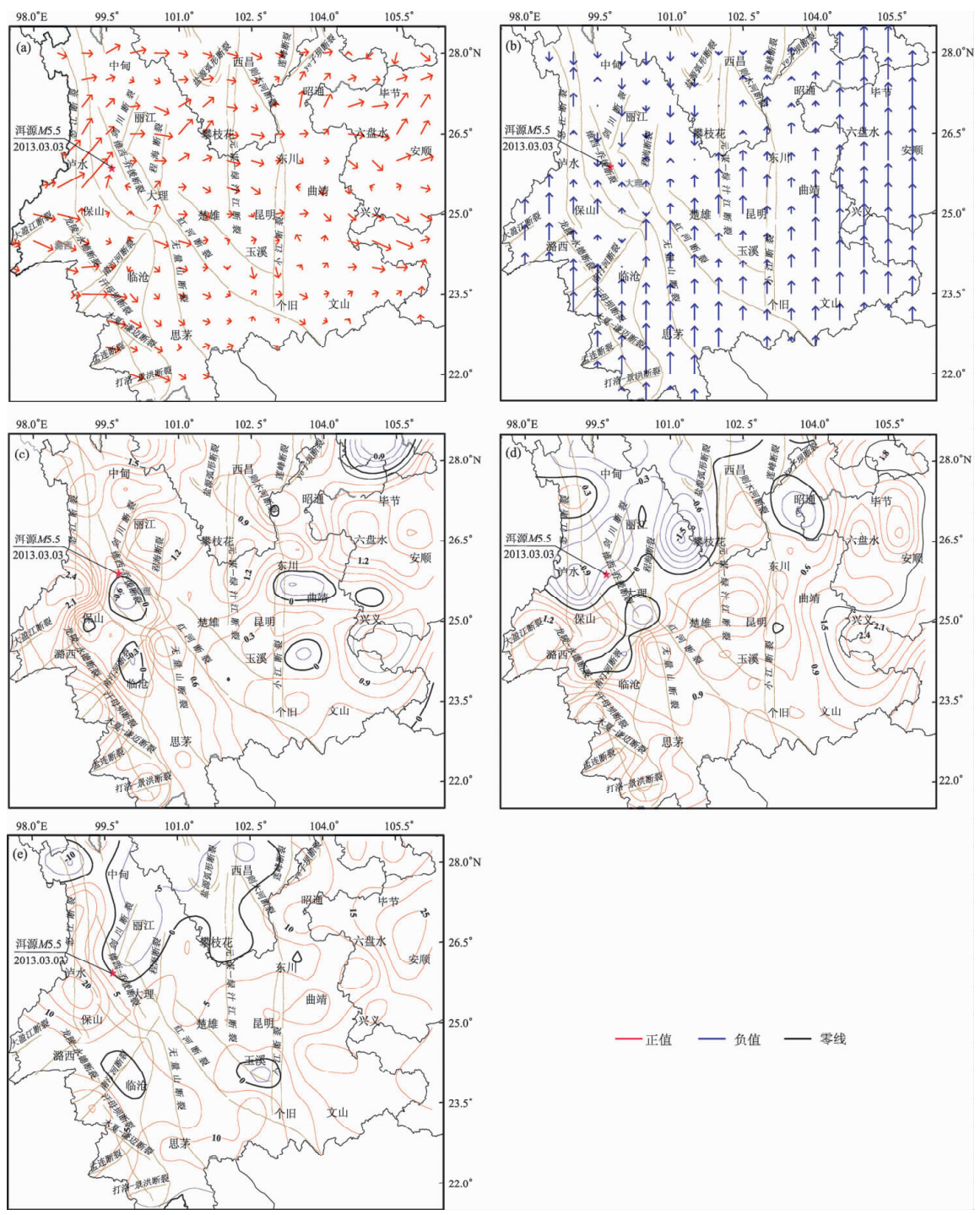


图4 2011~2012年云南及周边地区岩石圈磁场变化分布图

(a) 水平矢量；(b) 垂直矢量；(c) 磁偏角；(d) 磁倾角；(e) 总强度

Fig. 4 The lithosphere magnetic change distribution in Yunnan and its adjacent regions from 2011 to 2012

(a) horizontal vector; (b) vertical vector; (c) magnetic declination;  
(d) magnetic inclination; (e) total intensity

地区岩石圈磁场变化分布图。从图 4a 可以看出水平矢量的方向从小滇西开始向东延展,在保山一带分成了北东向和东向的 2 股。北东向矢量方向和量值在洱源震中及周边均发生显著变化:其方向在洱源—鹤庆、剑川断裂与维西—乔后断裂交汇处发生了明显转折,北东向改变成东西向,其量值随方向的改变也突然减小,大约从 10 nT 减小到了 3 nT。从图 4b 可以看出垂直矢量的方向在滇东、滇南等区域一致向上,而在滇西地区则无明显的规律,在震中及周边还出现了反向或相对。从图 4c 可以看出维西—乔后断裂以西地区出现了磁偏角正值的高梯度带,震中的磁偏角变化为增加,在震区附近存在零等变线。从图 4d 可以看出震中的磁倾角变化为减小,在震区附近也存在零等变线。从图 4e 可以看到大致沿维西—乔后断裂出现了总强度正负值交界的高梯度带,在震区附近同样存在零等变线,且震中的总强度变化接近零值。

图 5 为洱源地震前后 2012 ~ 2013 年云南及周

边地区岩石圈磁场变化分布图。从图 5a 可以看出,在震区及周边水平矢量的方向大致由西向东没有明显的改变,并且量值较小。从图 5b 可以看出,在震区及周边垂直矢量的方向一致向上,且量值也较小。图 5c 与图 4c 相比,在相应区域内的磁偏角高梯度带逐渐消失、零等变线未出现,其变化仍为增加。图 5d 与图 4d 相比,在相应区域内的磁倾角仍存在零等变线,不同的是其变化逐渐增大。图 5e 与图 4e 相比,在相应区域内的总强度正负值交界的高梯度带逐渐消失,但在震区附近仍存在零等变线,相同的是总强度变化也接近零值。

综上所述,洱源地震前后地磁矢量异常特征为:地震前,水平、垂直矢量方向和量值在震区均发生了改变,磁偏角和总强度在震区有正负值交界的高梯度带,磁偏角、磁倾角和总强度的零等变线均在震区穿过;地震后,水平、垂直矢量方向在震区大致一致且量值较小,磁偏角和总强度在震区正负值交界的高梯度带逐渐消失,磁偏角的零等变线在震区未出现。

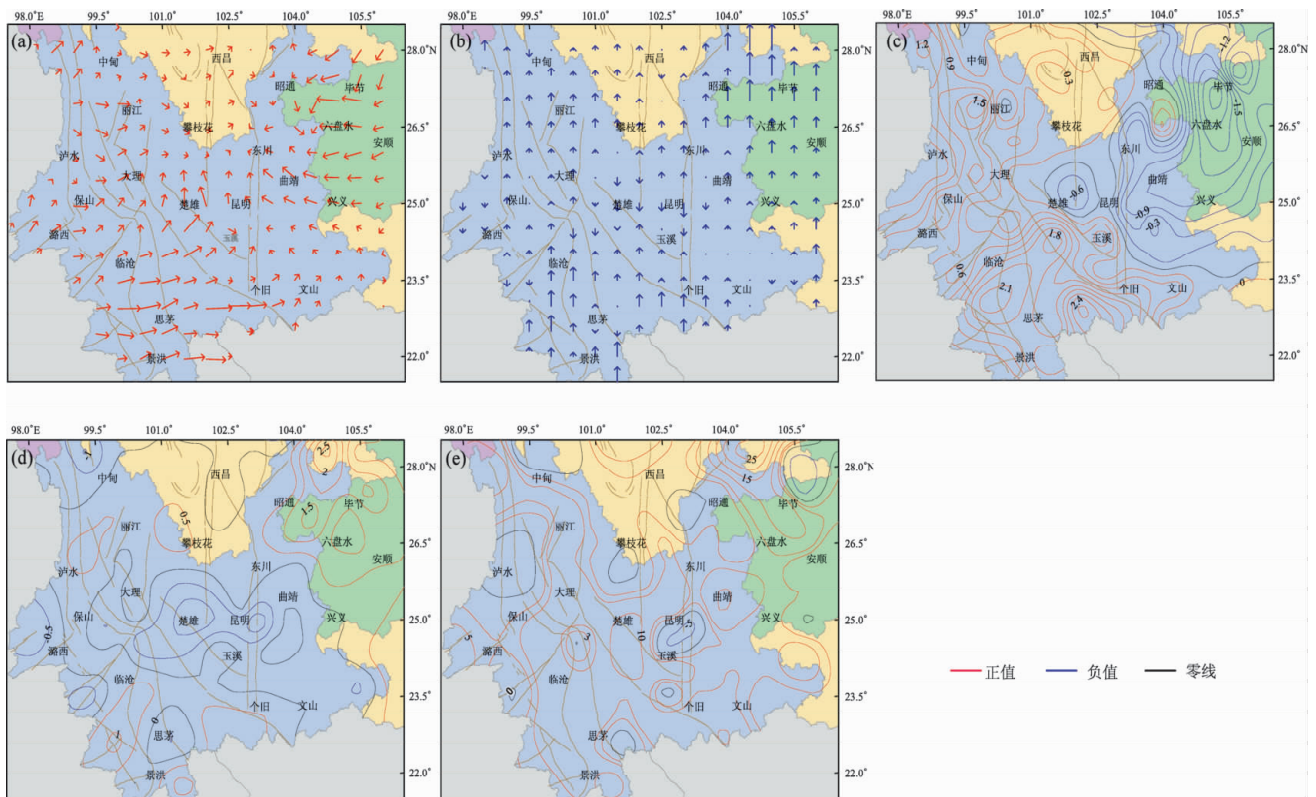


图 5 2012 ~ 2013 年云南及周边地区岩石圈磁场变化分布图

(a) 水平矢量; (b) 垂直矢量; (c) 磁偏角; (d) 磁倾角; (e) 总强度

Fig. 5 The lithosphere magnetic change distribution in Yunnan and its adjacent region from 2012 to 2013

(a) horizontal vector; (b) vertical vector; (c) magnetic declination;

(d) magnetic inclination; (e) total intensity

## 4 结论与讨论

为研究洱源 5.5 级地震震磁异常信息, 本文综合应用了地磁总强度与地磁矢量两种准确可靠的资料, 得到了与洱源地震有关的地磁变化异常特征。2011 年 2 月~2014 年 2 月滇西地震预报实验场地磁总强度的分析研究显示, 其异常特征与该区域内正负值分布、等值线疏密、磁场强弱等方面有关; 2011~2013 年云南地区岩石圈磁场的水平矢量、垂直矢量和磁偏角 3 个要素的变化分析表明, 其异常特征与震区及周边矢量的方向与量值、等值线疏密、零等变线等方面有关, 这些都是与洱源地震有关的地磁变化异常特征的反映。

以流动地磁为监测手段来探索地震预测的新方式, 是对地震重点危险区同时开展地磁单要素和多要素观测的综合。经数据处理后, 如果两种资料磁场变化的异常特征都在同一区域出现, 则该区域未来发生地震的可信度将提高。为提高地震预测的准确性, 笔者认为需要多学科、多手段的共同研究与分析。

通过对洱源 5.5 级地震前地磁场变化异常特征的描述与分析, 我们又积累了一个新的地震地磁震例, 为今后在该区域进行与地震有关的地磁异常判定提供了参考。

## 参考文献:

- 陈斌, 顾左文, 狄传芝, 等. 2012. 第 11 代国际地磁参考场[J]. 国际地震动态, (2): 20-29.
- 陈斌. 2011. 自然正交分量方法在地震地磁监测中的应用[J]. 地震研究, 34(4): 466-469.
- 顾左文, 张毅, 姚同起, 等. 2006. 九江—瑞昌  $M_s 5.7$  地震地磁异常的观测与分析[J]. 地震学报, 28(6): 611-621.
- 倪喆, 陈双贵, 袁洁浩, 等. 2014. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈磁场异常变化研究[J]. 地震研究, 37(1): 61-65.
- 祁贵仲, 詹志佳, 侯作中, 等. 1981. 渤海地区地磁短周期变化异常, 上地幔高导层的分布及其与唐山地震的关系[J]. 中国科学, 11(7): 869-879.
- 云南省地震局前兆室流磁组. 1984. 剑川 5.3 级地震的地磁变化[J]. 地震研究, 7(4): 417-424.
- 詹志佳, 高金田, 赵从利, 等. 2000. 构造磁学及其预测地震研究[J]. 地震, 20(增刊): 126-134.
- 詹志佳, 马森林, 彭纯一, 等. 1991. 地磁趋势变化异常前兆与地震预报方法的研究//国家地震科技监测司, 实用化研究论文集中国地震预报方法研究[M]. 北京: 地震出版社, 321-329.
- 中国地震局. 2001. 地震及前兆数字观测技术规范—电磁观测[M]. 北京: 地震出版社.
- Johnston M., Silverman S., Mueller R., *et al.*. 1985. Secular Variation, Crustal Contribution and Tectonic Activity in California, 1976~1984 [J]. J. Geophys. Res., 90(B10): 8707-8717.
- Shapiro V. A., Muminov M., Abdullabekov K. V. . 1994. The Forecast of the Time, Place and Power of the Earthquakes in Uzbekistan in 1982~1989 on Geomagnetic Data. Hayakawa M. and Fujinawa Y. (Ed.) Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction. 37~46. Tokyo: Terra Sci. Pub. Company.

## Analysis of Anomalous Characteristics of Geomagnetic Change before and after Eryuan *M*5.5 Earthquake

NI Zhe

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

### Abstract

In this paper, the author uses two kinds of mobile geomagnetic data before and after Eryuan *M*5.5 earthquake on Mar. 3, 2013, to analyze the characteristics of anomalous change in total geomagnetic intensity and geomagnetic vectors. (1) The observation results of total geomagnetic intensity show that before the Eryuan *M*5.5 earthquake, in the surveying area, for the successive surveying periods, the positive zones were approximately equal to the negative ones. Then, the whole surveying area gradually evolved into the positive one, and the high gradient belt appeared, which evolved into the high-gradient zone containing positive and negative values. The epicenter of the Eryuan *M*5.5 earthquake was located at the edge of positive high-gradient zone. After the earthquake occurred, the high gradient belt containing the positive and negative values was located far from the epicenter, and the positive and negative areas became balanced again. (2) The observed geomagnetic vector show that before the Eryuan *M*5.5 earthquake, the horizontal and vertical vectors of lithosphere magnetic field had significant variations in earthquake area. The zero lines of the declination, inclination and total intensity all crossed near the earthquake area. After the earthquake occurred, in the earthquake area, the significant variations of these vectors disappeared, and the high-gradient zone containing the positive and negative values gradually disappeared. The inclination and total intensity also disappeared, and the zero line of the declination did not appear in the earthquake area.

**Key words:** mobile geomagnetic; geomagnetic total intensity; geomagnetic vector; Eryuan *M*5.5 earthquake