

岩石圈磁场异常变化与岩石圈结构的关系*

宋成科¹, 倪喆², 苏树朋³, 闫琳琳¹, 孟宪纲¹

(1. 中国地震局第一监测中心, 天津 300180; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224;
3. 河北省地震局 保定中心台, 河北 保定 071000)

摘要: 概述芦山 $M7.0$ 地震和景谷 $M6.6$ 地震前, 震中及周边区域岩石圈磁场水平矢量分布特征, 并对这 2 次地震震中及周边区域岩石圈结构和介质性质进行分析讨论。结果显示: 芦山 $M7.0$ 地震岩石圈磁场水平矢量方向并不完全一致, 但表现出较好的趋势性, 仅呈现出震中区域矢量值小的特征, 这可能与该地区岩石圈结构相对均匀有关; 景谷 $M6.6$ 地震震中岩石圈磁场水平矢量方向散乱且量值很小, 近场区域岩石圈磁场水平矢量方向依然散乱, 这可能与该区域复杂的岩石圈结构和地质构造有关。

关键词: 岩石圈磁场; 岩石圈结构; 芦山地震; 景谷地震

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)03-0357-05

0 引言

地震和地磁关系的研究已有几十年历史, 较早的成果是在岩石压磁效应的研究获得的 (Stacey, 1964; Nagata, 1970a, b, c; 郝锦琦等, 1989)。1946 年, 日本南海道发生 $M8.1$ 地震时, 胜浦地区地磁偏角变化被作为压磁效应的典型震例 (Nagata, 1972)。地下核爆前后的地磁观测 (Hasbrouck, Allen, 1972; 詹志佳等, 1992)、大当量人工爆破前后地磁观测 (张毅等, 2008) 及水库蓄水过程的地磁场连续观测 (詹志佳等, 1990) 均获得了地磁总强度的异常变化, 对研究压磁效应具有重要参考意义。随着对震源物理过程和地球内部的物理性质探索研究的深入, 研究人员逐渐认识到压磁效应并不是震磁关系的唯一机制, 膨胀磁效应 (祁贵仲, 1978) 和感应磁效应 (中国科学院地球物理研究所第十研究室第二组, 1977; 祁贵仲等, 1981) 相继被提出, 并用于解释地震过程中观测到的地磁场异常变化。

随着野外地磁观测资料的大量积累, 震磁关系的研究逐渐由理论走向实践, 多位研究者利用多期观测资料探讨了唐山地震的震磁效应 (李存梯等, 1980; 任熙宪等, 1984; Zhan, 1989; 蒋邦本等, 1997)。近年来, 中国地震局流动地磁技术

团队通过合理的测点布设 (顾左文等, 2006) 和严谨的数据处理 (张毅等, 2009), 获得了很多地震前后岩石圈磁场的异常变化 (顾春雷等, 2010, 2012; 倪喆, 2014b)。如顾左文等 (2006) 研究认为九江—瑞昌 $M_{\text{s}}5.7$ 地震前在震中附近空间尺度为 100 km 的范围内出现了异常幅度大于 100 nT 的地磁基本场水平分量异常, 并认为这种异常无法直接用压磁效应和膨胀磁效应解释。倪喆等 (2014c) 研究认为岩石圈磁场异常空间分布与中强地震的发震地点有一定对应关系, 孕震区与非孕震区相比具有显著磁场差异特征, 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; 异常持续时间和空间范围应与震级大小有关。在磁异常分析和研判过程中发现不同区域的异常变化不尽相同, 本文将简述 2013 年芦山 $M7.0$ 地震和 2014 年景谷 $M6.6$ 地震前岩石圈磁场水平矢量异常的空间变化特征, 并对这 2 个地震磁场异常变化的差异进行分析讨论。

1 震前磁异常特征

1.1 芦山 $M7.0$ 地震

2013 年 4 月 20 日四川芦山发生 $M7.0$ 地震, 2011—2013 年中国地震局地球物理研究所、甘肃

* 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 中国综合地球物理场观测—大华北地区 (201508009) 和天津市自然科学基金青年项目 (16JCQNJC06500) 共同资助。

省地震局和云南省地震局在南北地震带上共同开展了3期流动地磁矢量观测,倪喆等(2014b)介绍了数据处理过程和岩石圈磁场异常的空间变化研判情况(图1),发现震前在震中附近水平矢量方向发生改变且量值最小。沿龙门山断裂由南向北来看,断裂带南端周围矢量方向呈现由西向东的整体趋势,在震中附近发生改变,在断裂带中段处水平矢量方向呈现由南向北的整体趋势,其矢量值在震中附近最小。简言之,尽管在震中及周边区域,本次地震岩石圈磁场水平矢量方向并不完全一致,但表现出较好的趋势性,仅呈现出震中区域矢量值小的特征。

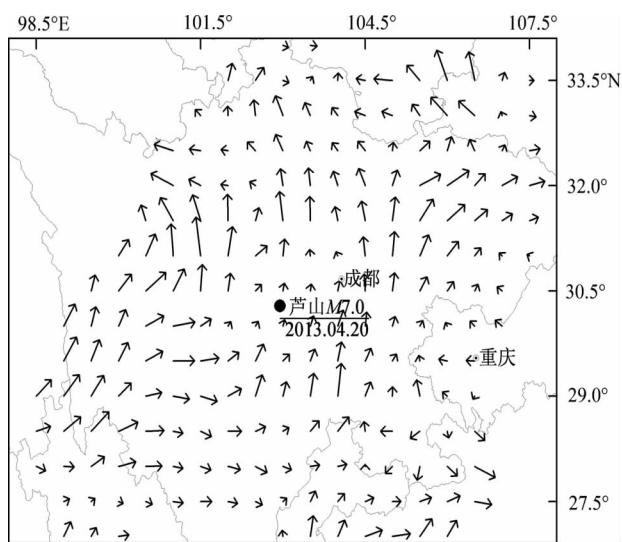


图1 芦山 M7.0 地震前岩石圈磁场水平量分布特征(修改自倪喆等, 2014b)

Fig. 1 The spatial distribution of horizontal vector of lithospheric magnetic field before the Lushan M7.0 earthquake (Modified from Ni *et al.*, 2014b)

1.2 景谷 M6.6 地震

2014年10月7日,云南景谷地区发生 M6.6 地震,2013—2014年中国地震局地球物理研究所和云南省地震局在该地区共同开展了2期流动地磁矢量监测、数据处理和磁异常研判工作(图2),结果表明:震前在震中附近水平矢量方向散乱且量值很小,从较大的区域来看,水平矢量尽管量值较震中区域大,但方向依然散乱,无整体趋势。

通过以上分析可以看出,2次地震共同之处为震中区域水平矢量量值小,而周边区域量值大;不同之处为芦山 M7.0 地震水平矢量方向具有明显的整体趋势性,而景谷 M6.6 地震水平矢量方向则相对散乱。

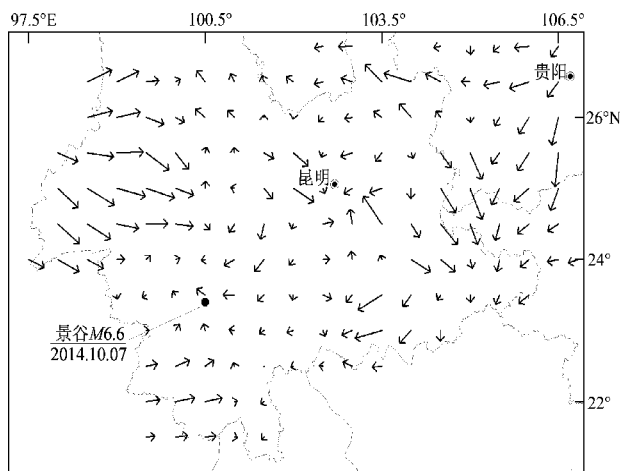


图2 景谷 M6.6 地震前岩石圈磁场水平矢量分布特征(中国地震局流动地磁技术团队提供)

Fig. 2 The spatial distribution of horizontal vector of lithospheric magnetic field before the Jinggu M6.6 earthquake (provided by the geomagnetic technology team of the China Earthquake Administration)

2 讨论

岩石圈磁场由地下介质的磁化强度所产生的磁场构成,它的变化受地质结构、构造环境、构造活动、温度与应力状态等多种因素影响(Thebault *et al.*, 2010; 丁鉴海等, 2011),目前已知的震磁效应(包括压磁效应、膨胀磁效应、感应磁效应等)都是由于地震孕育过程中地下介质的特性(包括孔隙度、含水量、电导率等)发生变化所产生的。本节分析讨论的重点为这2次地震震中及其周边区域岩石圈结构和介质特性。

芦山 M7.0 地震发生在青藏高原东缘的龙门山断裂带西南段(谢祖军等, 2013; 刘成利等, 2013),青藏高原东缘没有显著上地壳缩短,大量的地壳物质可能通过下地壳流的方式导致青藏及周边块体的地壳增厚(Clark, Royden, 2000; Royden *et al.*, 2008)。地壳物质流动受到坚硬的四川盆地的阻挡,导致龙门山两侧平均海拔差高达3.5 km,形成该区域最显著的构造背景。波速结构的研究表明:尽管龙门山断裂带两侧的波速结构具有明显的差别,但龙门山断裂带同侧的波速结构在较大的尺度上一致性较好(雷建设等, 2009; 郑勇等, 2013)。詹艳等(2013)研究认为龙门山

断裂带西南段出现自地表附近到上地幔顶部的龙门山高阻体，其横向范围自双石一大川断裂附近向西扩展到耿达—陇东断裂以西约 10 ~ 15 km 处，宽约 45 km，在高阻体内部不仅没有与西侧地壳高导层相通的地壳低阻层，也没有发现电阻率减小的局部区域（图 3）。以上资料表明，龙门山断裂带及周边区域岩石圈结构尽管在断裂带两侧具有明显差异，但在断裂带同一侧的整体性较好，这也许是芦山地震前震中及周边区域水平矢量方向不尽相同，但具有较好的整体趋势的原因之一。

在区域构造上，景谷 M6.6 地震发生在红河断裂带西侧的兰坪—思茅中生代盆地内，上地壳部分由白垩纪的砂岩、泥岩等组成（蔡麟孙，李兴林，2002），在其形成过程中允许大量含水流体的存在。另一方面，该地震距离澜沧江缝合带只有 30 km 左右，在澜沧江缝合带拼接形成过程中也为上地壳圈闭大量的含水流体提供了可能（李永华等，2014）。澜沧江断裂控制兰坪—思茅盆地的西缘边界断裂，其西侧发育有著名的临沧花岗岩体。地震层析图像研究表明，在澜沧江断裂以东、红河断裂以西思茅—普洱地区中、下地壳广泛存在着高导低速层，而上地壳则为正速度异常（图 4），与红河断裂以东及澜沧江断裂以西截然相反（刘福田等，2000；王椿镛等，2002）。以上资料表明，景谷 M6.6 地震周边区域显然在岩石圈结构和地下介质性质方面存在较大差异，这也许是景谷 M6.6 地震前震中及周边区域水平矢量方向散乱的原因之一。

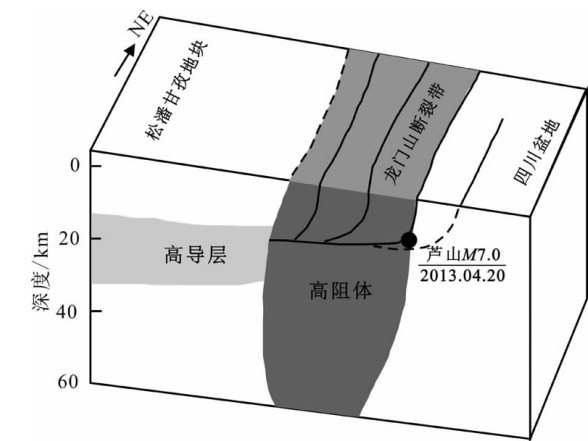


图 3 芦山地震区某一剖面深部结构示意图（修改自詹艳等，2013）

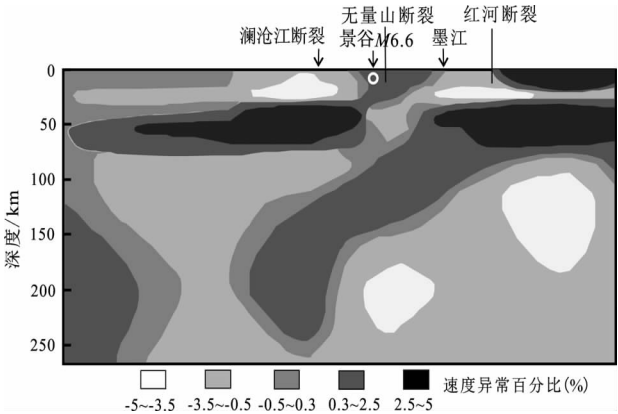


图 4 红河—澜沧江一带地震层析岩石圈剖面（修改自刘福田等，2000）

Fig. 4 Lithosphere profile of Honghe – Lancangjiang area (modified from Liu et al, 2000)

3 结论

通过对芦山 M7.0、景谷 M6.6 地震震中及其周边区域岩石圈磁场异常变化空间特征的总结，发现岩石圈磁场水平矢量的方向与区域岩石圈结构有很好的对应关系：岩石圈结构比较均匀的地区，磁场水平矢量方向的整体趋势性较明显；岩石圈结构不均匀的地区，磁场水平矢量方向更容易呈现散乱状态，这体现介质性质对岩石圈磁场变化的影响。

本文仅从岩石圈结构入手，得出岩石圈磁场异常变化的一些粗浅认识。关于地下介质是如何影响岩石圈磁场的这一问题需要开展更加深入和精细的研究。

感谢中国地震局流动地磁技术团队在流动地磁野外监测、数据处理和异常研判方面做出的努力。

参考文献：

蔡麟孙,李兴林. 2002. 云南省地质图[M]//马丽芳. 中国地质图集. 北京:地质出版社,293 – 300.
丁鉴海,卢振业,余素荣. 2011. 地震地磁学概论[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社.
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,52(10):472 – 477.
顾春雷,张毅,徐如刚,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.
顾左文,张毅,姚同起,等. 2006. 九江—瑞昌 M_s5.7 地震地磁异常

Fig. 3 Schematic diagram of deep structure of a profile in the Lushan earthquake area (modified from Zhan et al, 2013)

- 的观测与分析[J]. 地震学报, 28(6): 611–621.
- 郝锦琦, 黄平章, 张天中, 等. 1989. 岩石剩余磁化强度的应力效应[J]. 地震学报, 11(4): 381–391.
- 蒋邦本, 陈养炎, 阚济生. 1997. 唐山 7.8 级地震的地磁效应[J]. 华北地震科学, 15(1): 17–24.
- 雷建设, 赵大鹏, 苏金蓉, 等. 2009. 龙门山断裂带地壳精细结构与汶川地震发震机理[J]. 地球物理学报, 52(2): 339–345.
- 李存悌, 郑香媛, 邓顺兴. 1980. 唐山地震的震磁效应[J]. 科学通报, 25(15): 706–708.
- 李永华, 徐小明, 张恩会, 等. 2014. 青藏高原东南缘地壳结构及云南鲁甸-景谷地震深部孕震环境[J]. 地震地质, 36(4): 1204–1216.
- 刘成利, 郑勇, 葛荣, 等. 2013. 2013 年芦山 7.0 级地震的动态破裂过程[J]. 中国科学: 地球科学, 43(6): 1020–1026.
- 刘福田, 刘建华, 何建坤, 等. 2000. 滇西特提斯造山带下扬子地块的俯冲板片[J]. 科学通报, 45(1): 79–84.
- 倪喆. 2014a. 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.
- 倪喆, 陈双贵, 袁浩浩, 等. 2014b. 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.
- 倪喆, 袁浩浩, 王黎, 等. 2014c. 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[J]. 地震研究, 37(4): 537–541.
- 祁贵仲, 侯作中, 范国华, 等. 1981. 地震的感应磁效应(二)[J]. 地球物理学报, 24(3): 296–309.
- 祁贵仲. 1978. “膨胀”磁效应[J]. 地球物理学报, 21(1): 18–33.
- 任熙宪, 祁贵仲, 詹志佳. 1984. 唐山地震前后北京地区地磁场总强度的变化[J]. 地震学报, 6(3): 271–286.
- 王椿镛, MOONEY W D, 王溪莉, 等. 2002. 川滇地区地壳上地幔三维速度结构研究[J]. 地震学报, 24(1): 1–16.
- 谢祖军, 金笔凯, 郑勇, 等. 2013. 近远震波形联合反演 2013 年芦山地震震源参数[J]. 中国科学: 地球科学, 43(6): 1010–1019.
- 詹艳, 赵国泽, UNSWORTH M, 等. 2013. 龙门山断裂带西南段 4.20 芦山 7.0 级地震区的深部结构和孕震环境[J]. 科学通报, 58(20): 1917–1924.
- 詹志佳, 高金田, 胡荣盛, 等. 1990. 密云水库的构造磁实验[J]. 地震学报, 12(1): 71–77.
- 詹志佳, 高金田, 胡荣盛, 等. 1992. 地下核爆炸前后的地磁观测及其结果[J]. 地震学报, 14(3): 351–355.
- 张毅, 顾左文, 高金田, 等. 2008. “明灯 1 号”人工爆破地震地磁效应场地试验[J]. 地震地磁观测与研究, 29(4): 38–42.
- 张毅, 顾左文, 顾春雷, 等. 2009. 地震地磁监测试验区研究进展[J]. 西北地震学报, 31(4): 394–402.
- 郑勇, 葛荣, 谢祖军, 等. 2013. 芦山与汶川地震震区地壳上地幔结构及深部孕震环境[J]. 中国科学: 地球科学, 43(6): 1027–1037.
- 中国科学院地球物理研究所第十研究室第二组. 1977. 地震的感应磁效应(一)—三维电磁感应的数值理论[J]. 地球物理学报, 20(1): 70–80.
- CLARK M K, ROYDEN L H. 2000. Topographic ooze: Building the eastern margin of Tibet by lower crustal flow[J]. Geology, 28(8): 703–706.
- HASBROUCK W P, ALLEN J H. 1972. Quasi-static magnetic field changes associated with the Cannikin nuclear explosion[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 62(6): 1479–1487.
- NAGATA T. 1970a. Basic magnetic properties of rocks under the effect of mechanical stresses[J]. Tectonophysics, 9(2–3): 167–195.
- NAGATA T. 1970b. Anisotropic magnetic susceptibility of rocks under mechanical stress[J]. Pure and Applied Geophysics, 78(1): 100–109.
- NAGATA T. 1970c. Effects of a uniaxial compression on remanent magnetization of igneous rocks[J]. Pure and Applied Geophysics, 78(1): 110–122.
- NAGATA T. 1972. Application of tectonomagnetism to earthquake phenomena[J]. Tectonophysics, 14(3–4): 263–27.
- ROYDEN L H, BURCHFIEL B C, HILST R D. 2008. The geological evolution of the Tibetan Plateau[J]. Science, 321(5892): 1054–1058.
- STACEY F D. 1964. These is momagnetic effect[J]. Pure and Applied Geophysics, 58(1): 5–22.
- THEBAULT E, PUNCKER M, WHALER A, et al. 2010. The magnetic field of the Earth's lithosphere[J]. Space Science Reviews, 155(1): 95–127.
- ZHAN Z. 1989. Investigations of tectonomagnetic phenomena in China[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 57(1–2): 11–22.

The Relationship Between Anomalies Variation of Lithosphere Magnetic Field and Structure of Lithosphere Magnetic

SONG Chengke¹, NI Zhe², SU Shupeng³, YAN Linlin¹, MENG Xiangang¹

(1. *The First Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China*)

(2. *Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, Chian*)

(3. *Baoding Central Seismic Station, Hebei Earthquake Agency, Baoding 071000, Hebei, China*)

Abstract

The pre – earthquake horizontal vector of lithosphere magnetic field in earthquake epicenter and its surrounding area of the Lushan $M7.0$ earthquake and the Jinggu $M6.6$ earthquake are summarized. And, lithosphere structure and medium properties of earthquake epicenter and surrounding areas are discussed. For the Lushan $M7.0$ earthquake, the direction of horizontal vector of lithosphere magnetic field was in a good tendency though they were not in a same direction. And, the magnitude of horizontal vector of lithosphere magnetic field shows small magnitude in the epicenter area. This characteristics may be related to the homogenous of lithosphere structure. For the Jinggu $M6.6$ earthquake, the direction of horizontal vector of lithosphere magnetic field was noisy with small magnitude in the epicenter area. And, the direction of the horizontal vector of lithosphere magnetic field was also noisy in the near – field area. This character may be resulted from the complicated lithosphere structure.

Keywords: lithosphere magnetic field; lithosphere structure; Lushan earthquake; Jinggu earthquake