

# 芦山 7.0 级地震前后岩石圈磁场异常变化研究<sup>\*</sup>

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

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 73000;  
3. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要:** 利用 2011 ~ 2013 年南北地震带 104 个地磁测点 3 期流动地磁矢量测量的可靠资料, 获得了 2 期该区域岩石圈磁场的动态变化。分析了 2013 年 4 月 20 日四川芦山 7.0 级地震前后岩石圈局部磁场的动态变化特征, 研究这种演化特征与该地震的关系。结果表明: (1) 地震前岩石圈磁场各要素均表现出异常特征, 震后异常消失; (2) 孕震过程中所产生的地震地磁异常空间大致以震中为圆心, 半径约 125 km; (3) 孕震过程中垂直矢量的方向与龙门山断裂的构造运动呈反向, 其矢量值在发震地点附近最小, 这可能与该地震的类型为纯逆冲型有关。

**关键词:** 地磁测量; 岩石圈磁场; 芦山地震; 龙门山断裂

中图分类号: P318.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)01-0061-05

## 0 引言

地磁场是由主磁场、变化磁场、感应磁场和岩石圈磁场组成的 (Campbell, 2003; 徐文耀, 2009)。岩石圈磁场由地下介质的磁化强度 (感应磁化强度和剩余磁化强度) 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 (Thebaud *et al*, 2010)。

对于地震磁异常的观测与研究, 相关的专家学者十分关注。中、美、日、俄等国都在地震活动区开展了震磁效应的观测研究, 并积极探索地震预测, 获得了良好进展 (祁贵仲, 1977; Shapiro, Abdullabekov, 1982; 云南省地震局前兆室流磁组, 1984; Rikitake, Honkura, 1985; Sasai, Ishikawa, 1991; Johnston, 1997; 詹志佳等, 2000; 顾左文等, 2006; Johnston *et al*, 2006; Gu *et al*, 2006a, b)。

由于许多具有破坏性的浅源地震发生在岩石圈, 在地震的孕育和发生过程中, 会引起局部岩石圈的地质结构、温度与应力状态等因素的变化, 从而导致岩石圈磁异常。分析岩石圈磁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, 对研究震磁前兆

信息与分析区域震情都具有重要意义。实际上, 在地震活动区与构造活动带, 已观测到了与地震活动、地质构造有关的岩石圈磁异常 (顾春雷等, 2010, 2012; 闫素萍等, 2010)。

2013 年 4 月 20 日四川芦山发生 7.0 级地震, 震中位于龙门山断裂的南端。2011 ~ 2013 年中国地震局地球物理研究所、甘肃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。本文通过磁测数据处理、模型计算和地磁异常判别等过程, 建立了相关岩石圈磁场的动态变化, 研判了其异常空间变化的分布特征。

## 1 地磁资料及数据处理

本文研究区域为南北地震带中部的局部地区 (27° ~ 34°N、98° ~ 108°E), 共有地磁测点 104 个 (图 1)。地磁测量采用 G-856AX 质子旋进磁力仪、CTM-DI 磁力仪、ProMark2 差分 GPS, 获得了该区域可靠的地磁矢量数据。对所得数据进行统一计算处理, 地磁日变化的改正采用南北地震带上 6 个地磁台的分钟值, 地磁长期变化的改正采用 “1995.0 - 2013.0 中国地区地磁场非线性变化模型 (NOC)” (顾左文等, 2009; 陈斌, 2011), 将上述地磁数据统一归算至 2010.0 年代。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013-07-18.

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) 和 2013 年度青年震情跟踪课题 (2013020405) 共同资助。

地磁内源场由主磁场与岩石圈磁场组成。获取岩石圈磁场需要从地磁内源场中剥离掉由核幔边界磁流体发电机产生的主磁场。因此,本文选取了与中国地区吻合得最好的中国地磁参考场模型(CGRF)作为南北地震带的主磁场,通过对其剥离获得岩石圈磁场;再经过一次差分计算得到了相邻测期岩石圈磁场的动态变化模型。

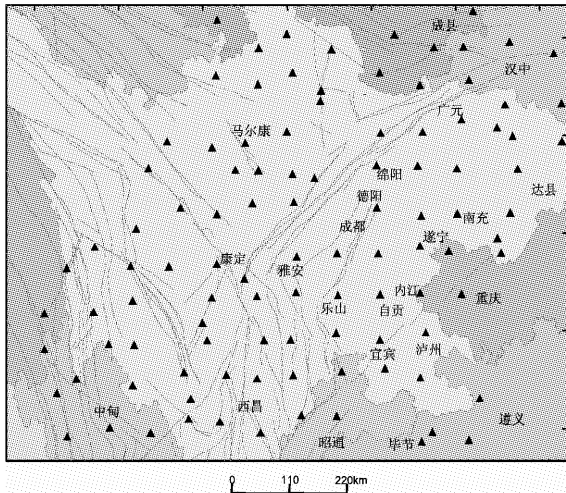


图1 研究区地磁测点的分布

Fig. 1 Distribution of geomagnetic stations in study area

## 2 岩石圈磁场局部变化特征

南北地震带地磁测量的时间分别为2011年4月、2012年4~5月和2013年5月。通过建立岩石圈磁场的变化模型,绘制该区域2011~2012年、2012~2013年芦山地震前后水平矢量变化、垂直矢量变化和总强度 $F$ 、磁偏角 $D$ 、垂直分量 $Z$ 的等变线空间分布(图2)。从图2可以分析得到芦山地震前后岩石圈磁场的局部变化特征。

### 2.1 水平矢量的空间变化

图2a、b为地震前后水平矢量变化空间分布图。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为最小;震后该区域水平矢量方向的整体趋势被打破,其量值随之也发生了改变。在鲜水河断裂东北区域、理塘—德巫至峨边断裂的中间区域,水平矢量方向呈现出向北的整体趋势。其它区域

矢量方向呈现出散乱状态。

### 2.2 垂直矢量的空间变化

图2c、d为地震前后垂直矢量变化的空间分布图。震前垂直矢量方向大致以龙门山至甘洛—竹核断裂分界,呈现出西侧向下,东侧向上的整体趋势,龙门山断裂南端矢量方向表现为反向且量值也较小;震后以上述两条断裂带分界的整体趋势消失,垂直矢量方向趋于一致且表现为向下,而矢量值从震区向西北、东南方向逐渐增大。

### 2.3 总强度的空间变化

图2e、f为地震前后总强度 $F$ 变化的空间分布图。震前该区域的 $F$ 以正值区域为主,南部的负值区覆盖到龙门山断裂南端。 $F$ 正负量值的均值约为10 nT,未出现高梯度带的区域。震后 $F$ 的负值区域占据了龙门山断裂南端,并向东西两侧扩展,在华容山断裂处出现了 $F$ 正值区的高梯度带。

### 2.4 磁偏角的空间变化

图2g、h为地震前后磁偏角 $D$ 变化的空间分布图。震前大致以龙门山—鲜水河断裂为界,北部为 $D$ 的负值区,南部为 $D$ 的正值区。龙门山断裂南端表现为 $D$ 高梯度带的延缓区域;震后以 $D$ 负值区为主,小面积的正值区被负值区包围。

### 2.5 垂直分量的空间变化

图2i、j为地震前后垂直分量 $Z$ 变化的空间分布图。震前大致以龙门山断裂到甘洛—竹核断裂为界, $Z$ 的正负值区域各占一半,西部为 $Z$ 的负值区,东部为 $Z$ 的正值区,正负量值的均值约为10 nT。震后以负值区为主,其量值的均值约为10 nT。

## 3 芦山地震与地磁矢量异常的关系

### 3.1 地磁矢量与构造的关系

从芦山地震前的水平、垂直矢量变化图可以看出,相应矢量的方向、大小在龙门山断裂南端均发生了改变。整个水平矢量方向呈现出西南—北—西北的整体趋势性,在龙门山断裂南端处产生转向,且与周围地区相比,其量值为最小。整个垂直矢量方向呈现出西侧向下、东侧向上,在龙门山断裂南端处产生明显的反向,且与周围地区相比,其量值也最小。

岩石磁学的实验室结果(Jelenska, 1975)表明,磁场矢量方向与应力存在着近似反向的关系。

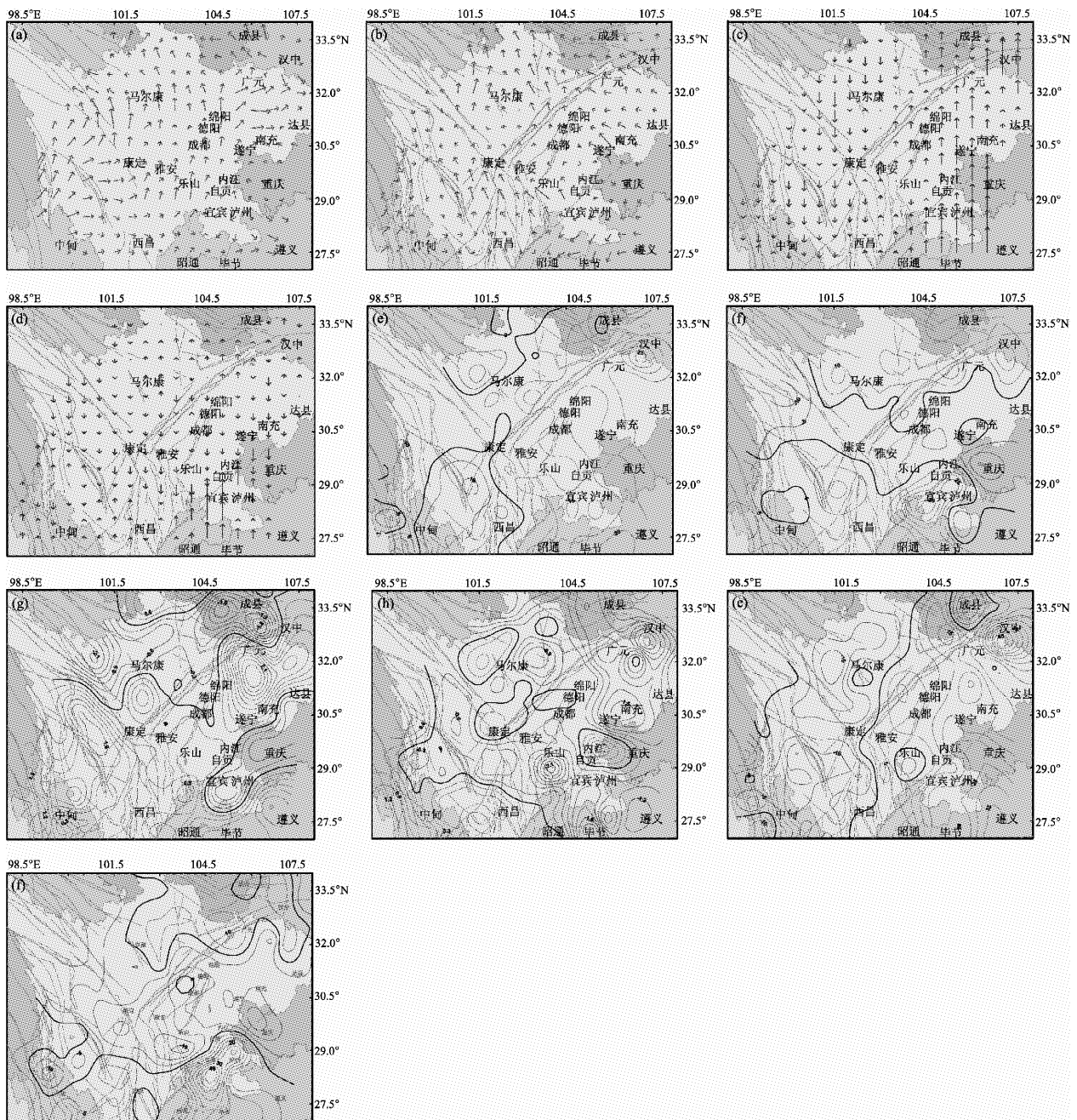


图2 芦山地震前后岩石圈磁场各要素的空间分布

(a) 地震前水平矢量变化分布 (2011 ~ 2012 年) (b) 地震后水平矢量变化分布 (2012 ~ 2013 年); (c) 地震前垂直矢量变化分布 (2011 ~ 2012 年); (d) 地震后垂直矢量变化分布 (2012 ~ 2013 年); (e) 地震前总强度变化分布 (2011 ~ 2012 年); (f) 地震后总强度变化分布 (2012 ~ 2013 年); (g) 地震前磁偏角变化分布 (2011 ~ 2012 年); (h) 地震后磁偏角变化分布 (2012 ~ 2013 年); (i) 地震前垂直分量变化分布 (2011 ~ 2012 年); (j) 地震后垂直分量变化分布 (2012 ~ 2013 年)

Fig. 2 The spatial distribution of each element of lithospheric magnetic field before and after the Lushan  $M7.0$  earthquake

(a) change distribution of the horizontal vector before the earthquake (2011 ~ 2012); (b) change distribution of the horizontal vector after the earthquake (2012 ~ 2013); (c) change distribution of the vertical vector before the earthquake (2011 ~ 2012); (d) change distribution of the vertical vector after the earthquake (2012 ~ 2013); (e) change distribution of total intensity before the earthquake (2011 ~ 2012); (f) change distribution of total intensity after the earthquake (2012 ~ 2013); (g) change distribution of the magnetic declination before the earthquake (2011 ~ 2012); (h) change distribution of the magnetic declination after the earthquake (2012 ~ 2013); (i) change distribution of the vertical component before the earthquake (2011 ~ 2012); (j) The change distribution of the vertical component after the earthquake (2012 ~ 2013)

基于这种关系,可以推测水平应力的力源可能来自青藏高原,应力通道可能为西北—南—西南;龙门山断裂南端西侧的垂直应力向上,东侧垂直应力向下。而且水平、垂直的量值在龙门山断裂南端均值为最小。分析认为,应该存在某种“力”,对其进行了阻挡,造成其量值减小。

### 3.2 地磁矢量与地震序列的关系

图3为芦山7.0级地震序列投影到岩石圈磁场的两种矢量变化图。从图3可以清晰看出,该地震序列集中在水平、垂直矢量方向和量值发生改变的区域里。换言之,此次芦山地震的地磁异常空

间范围是以震中为圆心,半径约125 km。由此推测,这是芦山地震孕育过程中1年前所产生的地震地磁异常空间范围。

## 4 讨论与结论

综上所述,应用2011~2013年南北地震带104个测点可靠的地磁矢量数据,分析2013年4月20日四川芦山7.0级地震前后岩石圈磁场的动态变化特征,研究了这种变化特征与该地震的关系。结果表明:

(1) 芦山地震类型为纯逆冲型(吕坚等,2013),它与岩石圈磁场垂直矢量在龙门山断裂带南端的异常现象具有一定的相关性。应用岩石圈磁场的变化来进行发震地点上的预测,需要将磁场的变化特征与构造运动结合起来分析,并需要更深入地掌握对地震地磁异常现象的识别。

(2) 芦山7.0级地震序列与岩石圈磁场矢量变化的分析结果表明,在芦山7.0级地震发震前1年或稍长时间,以该震中为中心的125 km的范围里,出现了地磁异常。

(3) 芦山地震前岩石圈磁场各个要素表现出的异常形式均不同。震中位于总强度、垂直分量为正负值交界的零值线附近,而位于磁偏角的高梯度带边缘。这些变化特征为今后研究地震磁异常现象提供了依据。

(4) 相比芦山地震前岩石圈磁场各要素的变化特征,震后类似的变化特征完全改变,表明震前各要素的异常现象已消失,这对震后的震情研判具有参考意义。

(5) 芦山地震与岩石圈磁异常的关系,尚不能作出准确的定性与定量的物理解释,其机理有待于今后深入的分析与研究。

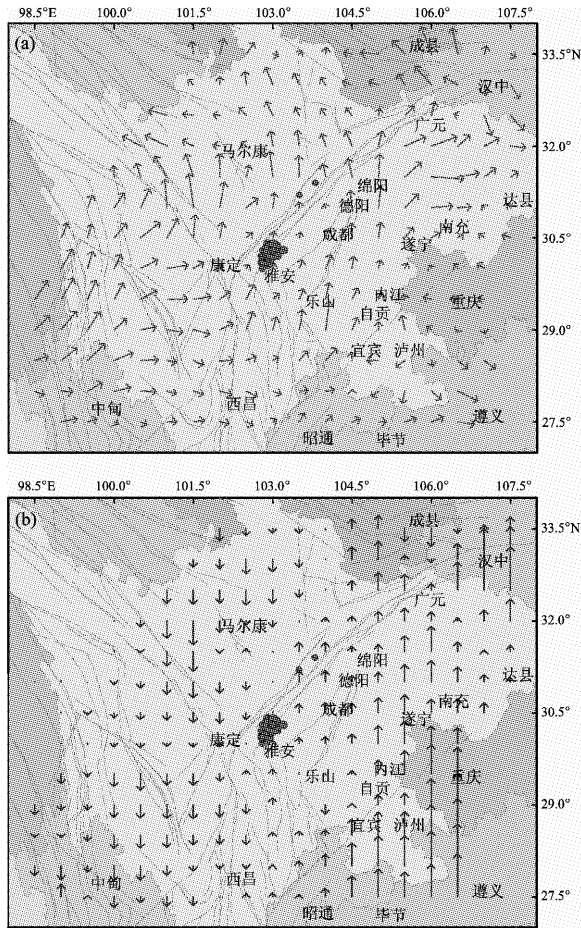


图3 芦山地震序列在震前岩石圈磁场矢量变化中的空间位置

(a) 岩石圈磁场水平矢量变化;(b) 岩石圈磁场垂直矢量变化

Fig. 3 The spatial position of Lushan  $M_{7.0}$  earthquake sequences in the vector change of lithospheric magnetic field before the earthquake  
(a) the horizontal vector change of lithospheric magnetic field;  
(b) the vertical vector change of lithospheric magnetic field

### 参考文献:

- 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.
- 顾左文, 张毅, 姚同起, 等. 2006. 九江—瑞昌  $M_{5.7}$  地震地磁异常的观测与分析[J]. 地震学报, 28(6): 611-621.

- 吕坚, 王晓山, 苏金蓉, 等. 2013. 芦山 7.0 级地震序列的震源位置与震源机制解特征[J]. 地球物理学报, 56(5): 1753–1763.
- 祁贵仲. 1977. 地磁场的空间相关性及其在地震预报中的应用[J]. 地球物理学报, 20(3): 169–184.
- 徐文耀. 2009. 地球电磁现象物理学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社.
- 闫素萍, 张毅, 张有林, 等. 2010. 东大别构造带地震地磁监测试验区岩石圈磁场特征分析[J]. 地球物理学进展, 25(5): 1599–1604.
- 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.
- Campbell W. 2003. Introduction to Geomagnetic Field[M]. New York: Cambridge University Press.
- Gu Z., Zhan Z., Gao J., *et al.* 2006a. Geomagnetic Survey and Geomagnetic Model research in China[J]. Earth Planets Space, 58: 741–750.
- Gu Z., Zhan Z., Gao J., *et al.* 2006b. Seismomagnetic Research in Beijing and Its Adjacent Area, China[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 31(4–9): 258–267.
- Jelenska M. 1975. Stress dependence of magnetization and magnetic properties of igneous rocks[J]. Pure Appl. Geophys., 113(1): 635–649.
- Johnston M., Sasai Y., Egbert G., *et al.* 2006. Seismomagnetic effects from the long-awaited 28 September 2004  $M_6.0$  Parkfield earthquake[J]. Bull. Seismo. Soc. Am., 96(4B): 5206–5220.
- Johnston M. 1997. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity[J]. Surveys in Geophysics, 18(1): 441–475.
- Rikitake T., Honkura Y. 1985. Solid Earth Geomagnetism[M]. Tokyo: Terra Scientific Publishing.
- Sasai Y., Ishikawa Y. 1991. Tectonomagnetic signals related to the seismic-volcanic activity in the Izu Peninsula[J]. J. Phys. Earth, 39: 299–319.
- Shapiro V., Abdullabekov K. 1982. Anomalous variations of geomagnetic field in East Fergana-magnetic precursors of the Alay earthquake with  $M = 7.0$  (1978, Nov. 2)[J]. Geophys. J. R. Astron. Soc., 68(1): 1–5.
- Thebaud 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.

## Research on Anomalies Variation of Lithosphere Magnetic Field Before and After Lushan $M_s7.0$ Earthquake

NI Zhe<sup>1</sup>, CHEN Shuang-gui<sup>2</sup>, YUAN Jie-hao<sup>3</sup>, YI Wei<sup>1</sup>, WANG Can<sup>3</sup>

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

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

(3. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)

### Abstract

Using the 3-term flow geomagnetic vector data recorded by 104 geomagnetic measuring sites in the north-south seismic belt during 2010 and 2013, we obtained the dynamic variation of the 2-term lithosphere magnetic, and analyzed the dynamic variation characteristics of the lithosphere local magnetic field before and after Lushan  $M_s7.0$  earthquake on Apr. 20, 2013 in Sichuan to research its relationship with the earthquake. The results showed that: (1) Anomalous characteristics was appeared in the magnetic elements of the lithosphere magnetic field before Lushan  $M_s7.0$  earthquake and disappeared after the earthquake; (2) The anomalous space distribution of the horizontal vector before the earthquake showed that the space of geomagnetic anomaly is in the range of 125 km from the epicenters in the process of earthquake preparation. (3) The direction of the vertical vector and tectonic movement of Longmenshan Fault were opposite in the process of earthquake preparation, and vertical vector value is minimum nearby the epicenter, which might be related to the Lushan  $M_s7.0$  earthquake of pure thrust type.

**Key words:** geomagnetic measuring; lithosphere magnetic field; Lushan  $M_s7.0$  earthquake; Longmenshan Fault