

# 川滇地区岩石圈磁场及其与强震关系研究\*

冯丽丽<sup>1</sup>, 张忠龙<sup>2</sup>, 陈 斌<sup>3</sup>, 袁浩浩<sup>3</sup>, 王 粲<sup>3</sup>

(1. 青海省地震局, 青海 西宁 810001; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224;  
3. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要:** 利用《2010 中国地磁参考场模型》, 计算川滇地区岩石圈磁场  $\Delta X$  分量、 $\Delta Y$  分量及  $\Delta Z$  分量, 绘制岩石圈磁场图。将 1970 年以来川滇地区 8 次 7 级以上强震震中投影到岩石圈磁场图上, 分析强震震中附近岩石圈磁场宏观分布特征。并对 8 次强震的震中岩石圈磁场强度进行了统计分析。结果表明, 川滇地区块体分界与岩石圈磁场分布有着良好的对应关系, 正负异常区的分界线大多沿断裂带分布; 强震震中多位于岩石圈磁场负值区, 大多沿正负异常区的分界线分布。

**关键词:** 川滇地区; 岩石圈磁场; 强震

**中图分类号:** P318

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)03-0352-05

## 0 引言

在印度板块向北推挤的作用下, 青藏高原物质发生东移。川滇地区由于地处青藏高原东北缘, 在此过程中经历了强烈的变形和断裂作用, 导致该区地质构造复杂, 深大断裂发育。在地震活动性方面, 该区处于南北地震带的中南段, 是我国大陆内部地震活动最强烈的地区之一。2008 年汶川 8.0 级地震就是发生在该区内的龙门山断裂上。许多学者利用地磁场、重力场资料, 对该地区的地球物理场进行了大量研究(张先等, 1996; 楼海, 王椿镛, 2005; 张季生等, 2009; 姜文亮, 张景发, 2011; 杨锐等, 2012; 祝意青等, 2015)。

岩石圈磁场, 或称磁异常场, 能够反映地壳内部磁性矿物的分布情况, 同时能够反映地壳内的地质结构、构造。强烈地震孕育、发生地区的磁异常特征是值得探索的重要问题, 康国发等(2010, 2013)曾对川滇地区岩石圈磁场特征进行过细致研究。近年来, 对该地区的流动地磁测量任务也在有序开展。与此同时, 地磁场与强震活动的关系研究正逐渐成为地震地磁学者研究的热点问题。倪喆等(2014a, b)的研究结果表明, 在显著地震前 1 年左右时间内, 岩石圈磁场会发生强度及方向的微弱变化。以上结果对认识岩石圈磁场与强震活动关系具有重要的推进作

用。然而, 对于川滇地区, 强震震中的岩石圈磁场背景研究相对缺乏。本文基于《2010 中国地磁参考场模型》, 计算得到川滇地区岩石圈磁场, 并选取 1970 年 1 月 1 日至今川滇地区  $M_s \geq 7.0$  强震, 研究震中周围的岩石圈磁场特征。由于岩石圈磁场强度随时间的变化十分微弱(徐文耀, 2003), 因此选取该模型来分析以往地震的岩石圈磁场背景是合理的。

## 1 数据来源

### 1.1 岩石圈磁场

2008—2009 年, 中国地震局地球物理所承担了中国大陆地区共 851 个野外地磁三分量测量点的测量工作(陈斌, 2013)。这些测点的观测数据是《2010 中国地磁参考场模型》的主要数据来源, 也是本文所讨论的川滇地区地磁数据的主要来源, 测点位置见图 1。除此之外, 还补充了 2002—2004 年中国大陆 431 个测点流动磁测数据、邻近海岛及周边国家 190 个测点的历史地磁观测数据、以及 32 个国内地磁台、11 个周边国家地磁台的观测数据(陈斌等, 2016)。

对上述数据进行日变通化改正、长期变化改正以及消除主磁场(冯丽丽等, 2015), 即可得到 2010.0 年代中国地区岩石圈磁场, 以下统称 CGRF2010 (Chinese reference geomagnetic field on

\* 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 2017 年度震情跟踪定向任务-南北地震带岩石圈磁场变化分析(2017010402)资助.

2010 epoch, 简称为 CGRF2010) 模型。

1.2 强震资料选取

根据中国地震台网地震目录, 选取 1970 年 1 月 1 日至今川滇地区 ( $97^{\circ} \sim 107^{\circ} \text{E}$ ,  $21^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{N}$ )  $M_s \geq 7.0$  地震共 9 个, 分别为: 1970 年 1 月 5 日云南通海  $M_s 7.8$  地震, 1973 年 2 月 6 日四川炉霍  $M_s 7.9$  地震, 1974 年 5 月 11 日云南永善—大关  $M_s 7.1$  地震, 1976 年 5 月 29 日云南龙陵  $M_s 7.3$ 、 $7.4$  双震, 1976 年 8 月 16 日四川松潘  $M_s 7.2$  地震, 1976 年 8 月 23 日四川松潘  $M_s 7.2$  地震, 2008 年 5 月 12 日四川汶川  $M_s 8.0$  地震, 2013 年 4 月 20 日四川芦山  $M_s 7.0$  地震 (图 2)。对这 9 个强震的主震震中岩石圈磁场强度进行统计, 并分析震中附近岩石圈磁场特征。

2 川滇地区岩石圈磁场特征

川滇地区区主要断裂有鲜水河断裂、小江断裂、金沙江断裂、红河断裂、澜沧江断裂、小金河断裂等。上述断裂将该区分为松潘—甘孜地块、扬子地块、川滇菱形块体和滇西块体 4 个部分。图 2 给出了川滇地区岩石圈磁场  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  及  $\Delta Z$  分量分布图。

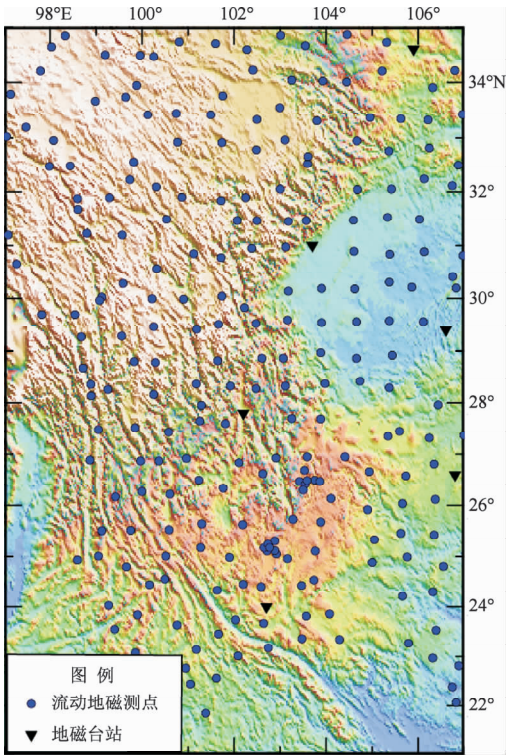


图 1 CGRF2010 模型所使用的川滇地区测点  
Fig. 1 Geomagnetic observation sites in Sichuan – Yunnan region which were used in the CGRF 2010 model

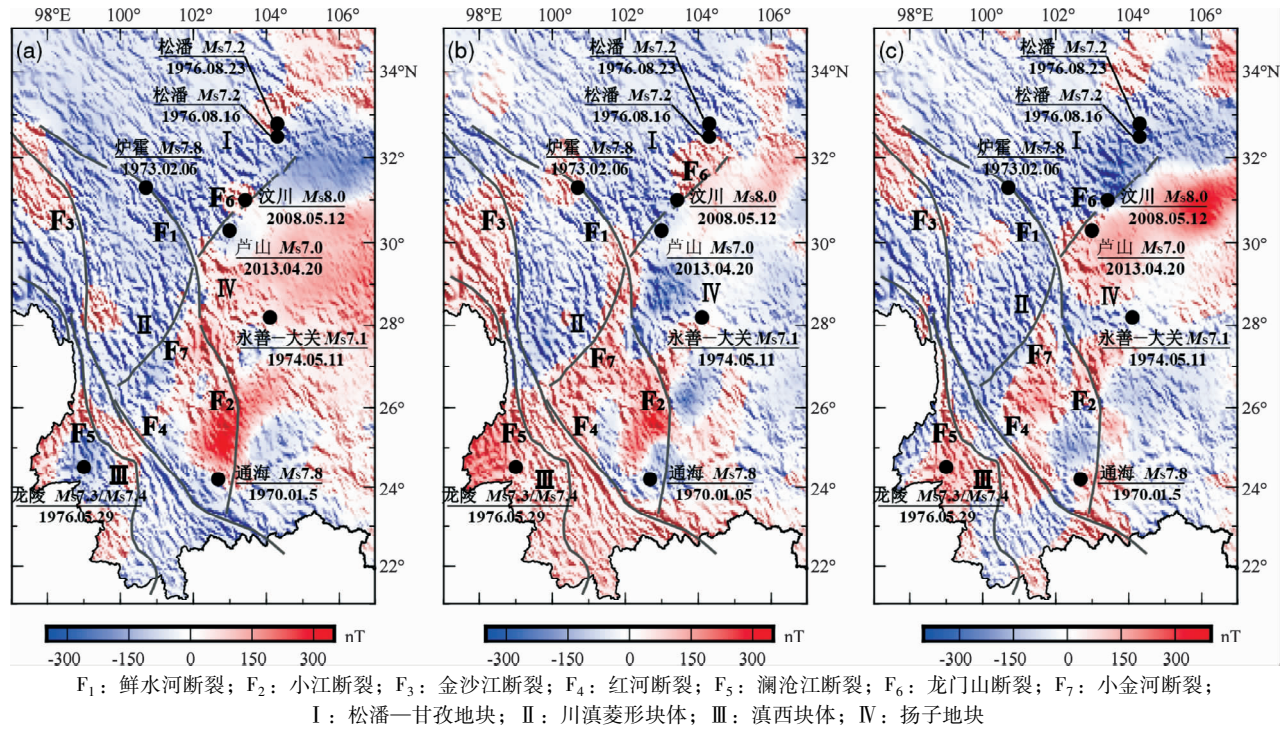


图 2 川滇地区岩石圈磁场  $\Delta X$  分量 (a)、 $\Delta Y$  分量 (b)、 $\Delta Z$  分量 (c) 分布图  
Fig. 2 Distribution map showing lithospheric magnetic field of  $\Delta X$  component (a),  $\Delta Y$  component (b) and  $\Delta Z$  component (c) in Sichuan – Yunnan region

图 2a 显示, 以小金河断裂以及龙门山断裂为界, 其东南地区  $\Delta X$  以正值为主, 西北地区为广泛宽缓的负异常区。但在龙门山断裂东北段, 负值区域跨越了龙门山断裂并持续向东延伸, 在四川盆地北部形成较为显著的负异常区域。在川滇菱形块体内部, 小金河断裂两侧呈现十分显著的差异特征, 其北部以负异常为主, 南部则表现出正负交织的特征。该特征显示了川滇菱形块体南部地壳 (或岩石圈) 内部岩石圈磁性不均匀特征。图 2b 显示的岩石圈磁场  $\Delta Y$  在川滇菱形块体与  $\Delta X$  分量有相似的特征。但在小江断裂及龙门山断裂以东的扬子地块,  $\Delta Y$  强度普遍较低且未见明显的正负异常分区; 尤其是在四川盆地区域未见显著区域性异常。但在金沙江断裂和红河断裂以西正异常特征较为显著。

图 2c 显示的岩石圈磁场  $\Delta Z$  在龙门山断裂带东南侧的四川盆地、小金河断裂以南的川滇菱形块体以及红河断裂以西的滇西块体存在 3 个主要的正异常区。四川盆地正异常强度大, 范围广。在龙门山断裂带两侧由东南到西北  $\Delta Z$  磁异常由强正异常迅速转变为强负异常, 正负异常区分界线与龙门山断裂高度吻合。这说明龙门山断裂带两侧基底性质存在巨大差异。以小金河断裂带为界, 川滇菱形块体北部和南部磁异常特征存在显著差异, 北部川西地块为广阔宽缓的弱异常区, 而南部滇中地块为形态复杂的团状异常区。松潘—甘孜地块整体表现为负磁异常, 局部地区出现小范围正异常。滇西块体岩石圈磁场特征复杂, 形态多变, 但强度不大。在靠近川滇菱形块体的地区, 块体边界两侧磁异常形态与强度都没有显著变化。

川滇地区区域构造的边界基本都能够从磁异常图上分辨出来, 且在不同分量的磁异常图上, 各个块体间的分界有不同的体现。但是在川滇菱形块体南部小江断裂带东西磁场特征基本一致, 未呈现显著差异。川滇菱形块体南部正负相间的团状异常一直向东延伸到了  $106^{\circ}\text{E}$  附近。川滇菱形块体北部磁异常特征与相邻的松潘—甘孜地块相比未见明显变化。

### 3 强震震中附近岩石圈磁场特征分析

#### 3.1 宏观特征

如图 2 所示 2008 年以后的 2 次  $M \geq 7.0$  强震均

位于龙门山断裂带及附近区域。该地区  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  及  $\Delta Z$  均为正负交汇地带。其余 6 次强震均发生在 1976 年以前。其中 1976 年 8 月 2 次松潘地震震中位置距离较近, 在  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  图上均位于正负值交界位置; 但在  $\Delta Z$  图上位于负值区。1976 年龙陵双震震中位于滇西块体, 位于  $\Delta X$  负值区和  $\Delta Y$ 、 $\Delta Z$  正值区。1973 年四川炉霍地震震中位于鲜水河断裂带附近, 该区域  $\Delta X$ 、 $\Delta Z$  均为正值,  $\Delta Y$  位于正负交界区。另外 2 次地震 (1974 年永善—大关地震和 1970 年通海地震) 虽然震中位置位于不同的块体和断裂上, 但其震中位置均位于  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  及  $\Delta Z$  正负交汇地带。

总体而言, 8 次地震震中位置的 3 个岩石圈磁场分量大部分位于正负交界区。较为例外的是 1976 年龙陵双震, 岩石圈磁场 3 分量均不在正负交界区域。

#### 3.2 统计特征

川滇地区岩石圈磁场极值点统计见表 1。其中平均强度为岩石圈磁场强度取绝对值后进行平均得到。

表 1 川滇地区岩石圈磁场强度极值表  
Tab. 1 Maximum and minimum values of lithospheric magnetic field in Sichuan – Yunnan region

岩石圈磁场 分量	川滇地区岩石圈 磁场强度/nT	$\lambda_{\text{E}}/(^{\circ})$	$\varphi_{\text{N}}/(^{\circ})$
$\Delta X$	最大正异常 349	102. 82	25. 02
	最大负异常 -188	106. 66	31. 91
	平均强度 48. 6	—	—
$\Delta Y$	最大正异常 349	102. 8	25. 6
	最大负异常 -328	103	28. 8
	平均强度 37. 2	—	—
$\Delta Z$	最大正异常 396	106. 03	30. 76
	最大负异常 -368	103. 6	31. 8
	平均强度 41. 5	—	—

表 1 结果显示, 川滇地区岩石圈磁场  $\Delta X$  最大正异常强度约 349 nT, 极值位置在昆明附近; 最大负异常强度约 -188 nT, 极值位置在四川巴中附近。该区域内岩石圈磁场  $\Delta X$  平均强度为 48. 6 nT。  $\Delta Y$  最大正异常强度约为 349 nT, 极值位置在昆明附近; 最大负异常强度约为 -328 nT, 极值位置在四川甘洛县附近。该区域内岩石圈磁场  $\Delta Y$  平均强度为 37. 2 nT。  $\Delta Z$  最大正异常强度约为 396 nT,

极值位置在四川南充附近；最大负异常强度约为  $-368\text{ nT}$ ，极值位置在四川茂县附近。该区域内岩石圈磁场  $\Delta Z$  平均强度为  $41.5\text{ nT}$ 。

对 1970 年以来的 8 次  $M_s \geq 7.0$  强震震中岩石圈磁场  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  及  $\Delta Z$  分量强度进行统计，并计算其平均强度（对每个震中的岩石圈磁场强度取绝对值后再进行平均）统计结果见表 2。统计结果表明，上述 8 次地震中，震中位于  $\Delta X$  正值的有 4 次，比例为 50%；震中位于  $\Delta Y$  正值的有 3 次，比例为 37.5%；震中位于  $\Delta Z$  正值的有 3 次，比例为 37.5%。可见 7 级以上强震震中多位于  $\Delta Y$ 、 $\Delta Z$  负异常区，而对于  $\Delta X$  分量则无显著倾向。8 次强震震中的岩石圈磁场各分量强度统计显示， $\Delta X$  最大

正异常与最大负异常分别为 1976 年永善—大关地震（ $50\text{ nT}$ ）和 1976 年龙陵地震（ $-125\text{ nT}$ ）； $\Delta Y$  最大正异常与最大负异常分别为 1976 年龙陵地震（ $70\text{ nT}$ ）和 2013 年雅安地震（ $-47\text{ nT}$ ）； $\Delta Z$  最大正异常与最大负异常分别为 1976 年龙陵地震（ $137\text{ nT}$ ）和 2008 年汶川地震（ $-156\text{ nT}$ ）。结合表 1 结果可知，强震发震位置均不在区域岩石圈磁场强度最强处，即强震震中处岩石圈磁场强度一般远低于该区域最大正异常及最大负异常强度。

结合表 1 结果进行分析可知，8 次地震  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  平均强度均低于川滇地区平均强度，而  $\Delta Z$  平均强度高于川滇地区平均强度。其主要原因是其中几次地震均发生在  $\Delta Z$  负值较大的区域。

表 2 川滇地区 1970 年以来  $M_s \geq 7.0$  强震震中岩石圈磁场强度  
Tab. 2 Lithospheric magnetic field intensity of  $M_s \geq 7.0$  strong earthquakes in Sichuan – Yunnan region since 1970

序号	发震时间/年 – 月 – 日	$\lambda_E / (^\circ)$	$\varphi_N / (^\circ)$	震级 ( $M_s$ )	$\Delta X/\text{nT}$	$\Delta Y/\text{nT}$	$\Delta Z/\text{nT}$	参考位置
1	2013 – 04 – 20	102.99	30.30	7.0	– 40	– 47	71	四川雅安
2	2008 – 05 – 12	103.42	31.01	8.2	19	– 26	– 156	四川汶川
3	1976 – 08 – 23	104.30	32.50	7.2	– 18	0	– 128	四川松潘
4	1976 – 08 – 16	104.30	32.80	7.2	15	– 17	– 87	四川松潘
5	1976 – 05 – 29	99.00	24.50	7.3	– 125	70	137	云南龙陵
6	1974 – 05 – 11	104.10	28.20	7.1	50	– 1	– 26	永善大关
7	1973 – 02 – 06	100.70	31.30	7.9	– 35	10	– 35	四川炉霍
8	1970 – 01 – 05	102.68	24.20	7.8	15	– 35	37	云南通海
平均强度	—	—	—	—	39.6	25.7	75.5	—

4 结论与讨论

川滇地区块体分界与岩石圈磁场分布有着良好的对应关系，磁异常区的分界线大多沿断裂带分布。龙门山负异常、四川盆地正异常以及川滇菱形块体南部的团状异常显著而独特。

对 1970 年以来川滇地区 8 次  $M_s \geq 7.0$  强震与岩石圈磁场的关系研究表明，强震多发于岩石圈磁场正负交界处。根据岩石圈磁场分布特征分析，一些深大断裂也多位于岩石圈磁场正负分界区域。

1970 年以来川滇地区  $M_s \geq 7.0$  强震发生在负异常区的概率略高于正异常区。强震震中处岩石圈磁场强度一般远低于该区域最大正异常及最大负异常强度。所研究的 8 次地震  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  平均强度均低于川滇地区平均强度，而  $\Delta Z$  平均强度高于川滇地区平均强度。

由于岩石圈磁场模型为 2010 年结果，因此，对于 2008 年汶川地震及 2013 年雅安地震的分析更为可靠。出于此种考虑，下一步可继续进行对 2000 年以来川滇地区 6 级以上强震的研究分析工作。

感谢中国地震局各流磁测量团队对数据获取所作出的重要贡献。感谢中国地震台网中心提供地震目录。感谢在数据处理前期作出贡献的单位和个人。感谢 GMT (The Generic Mapping Tools) 团队提供免费绘图软件。

参考文献：

陈斌. 2013. 区域地磁场时空变化特征及模型研究[D]. 北京: 中国地震局地球物理研究所, 52 – 60.  
陈斌, 倪喆, 徐如刚, 等. 2016. 2010. 0 年中国及邻近地区地磁场[J]. 地球物理学报, 59(4): 1446 – 1456.



冯丽丽,王桢,陈斌,等. 2015. 基于 MF6、EMM2010 与 CGRF2010 模型的中国大陆地壳磁异常特征[J]. 地震学报, 37(6): 997-1010.

姜文亮,张景发. 2011. 川滇地区重力场与深部结构特征[J]. 地球物理学进展, 26(6): 1915-1924.

康国发,高国明,白春华,等. 2013. 喜马拉雅东构造结周边地区地壳磁异常分布特征研究[J]. 地球物理学报, 56(11): 3877-3886.

康国发,高国明,白春华. 2010. 川滇地区地壳磁异常的分布特征[C]//中国地球物理学会年会、中国地震学会第十三次学术大会.

楼海,王椿镛. 2005. 川滇地区重力异常的小波分解与解释[J]. 地震学报, 27(5): 515-523.

倪喆,陈双贵,袁洁浩,等. 2014a. 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,袁洁浩,王桢,等. 2014b. 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.

徐文耀. 2003. 地磁学[M]. 北京:地震出版社, 55-56.

杨锐,张文清,边学峰,等. 2012. 川滇地区岩石圈磁场的小波多尺度分析[J]. 防灾科技学院学报, 14(3): 6-11.

张季生,高锐,曾令森,等. 2009. 龙门山及邻区重、磁异常特征及与地震关系的研究[J]. 地球物理学报, 52(2): 572-578.

张先,虎喜凤,沈京秀,等. 1996. 四川盆地及其西部边缘震区居里等温面的研究[J]. 地震学报, 18(1): 83-88.

祝意青,刘芳,李铁明,等. 2015. 川滇地区重力场动态变化及其强震危险含义[J]. 地球物理学报, 58(11): 4187-4196.

Lithospheric Magnetic Field Feature of Sichuan – Yunnan Region  
and its Relationship with Strong Earthquakes

FENG Lili<sup>1</sup>, ZHANG Zhonglong<sup>2</sup>, CHEN Bin<sup>3</sup>, YUAN Jiehao<sup>3</sup>, WANG Can<sup>3</sup>

- (1. Qinghai Earthquake Agency, Xining 810001, Qinghai, China)
- (2. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)
- (3. Institute of Geophysics, CEA, Beijing, 100081, China)

Abstract

The CGRF2010 (Chinese reference geomagnetic field on 2010 epoch) was used in this paper to calculate the lithospheric magnetic field ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  and  $\Delta Z$  components) of Sichuan – Yunnan region. And the lithospheric magnetic field was mapped. We put all 8 strong earthquakes epicenters with  $M \geq 7$  from 1970 on the lithospheric magnetic field map, and analyze the general characteristic of the distribution. And magnitude of the lithospheric magnetic field around the 8 strong earthquakes was counted and analyzed. The results indicated that the block boundaries of the Sichuan – Yunnan region matched the lithospheric magnetic field distribution very well, and boundaries between positive area and negative area mostly distribute along local faults. The epicenters of the strong earthquakes also distributed along the boundaries between positive area and negative area, and mostly in lithospheric magnetic field negative area.

**Keywords:** Sichuan – Yunnan region; lithospheric magnetic field; strong earthquakes