

汤筱麒, 陈政宇, 赵育飞, 等. 2010—2017 年甘川交界地震前震磁异常特征分析[J]. 华南地震, 2019, 39(4):69-74. [TANG Xiaopi, CHEN Zhengyu, ZHAO Yufei, et al. Analysis of Seismic Magnetic Anomalies Characteristics before Earthquake in Gansu-Sichuan Junction area from 2010 to 2017[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(4):69-74]

2010—2017 年甘川交界地震前震磁异常特征分析

汤筱麒, 陈政宇, 赵育飞, 喻世贤
(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 有效的识别孕震发震过程当中的物理变化是提升地震预报水平的必经之路, 其物理变化的重现可以形成有效的预测指标。以甘川交界地区 2010—2017 年流动地磁观测资料和 3 次 5 级以上地震进行综合分析。结果表明: 在川滇交界地区, 6 级以上地震前岩石圈磁场水平矢量方向整体趋势由南北两个方向向中间汇聚并形成弱化区域, 地震发生在弱化区域边界; 6 级以下地震前岩石圈磁场水平矢量方向整体趋势由北至南(或由南至北)中间局部有弱化区域, 地震也发生弱化区边界; 无震则表现为在整体趋势由北至南(或由南至北)中间无弱化区域。

关键词: 九寨沟 $M7.0$ 地震; 岷县漳县 $M6.7$ 地震; 广元 $M5.4$ 地震; 甘广元交界; 流动地磁观测

中图分类号: P315.721 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662(2019)04-0069-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.04.010

Analysis of Seismic Magnetic Anomalies Characteristics before Earthquake in Gansu-Sichuan Junction area from 2010 to 2017

TANG Xiaopi, CHEN Zhengyu, ZHAO Yufei, YU Shixian
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China)

Abstract: Effectively identifying the physical changes in the seis-mogenic process is the only way to improve the level of earthquake prediction, and the reappearance of its physical changes can form an effective predictive index. In this paper, a comprehensive analysis is carried out based on mobile geomagnetic observation data and three earthquakes with $M>5$ in the Gansu-Sichuan junction area from 2010 to 2017. The results show that: in the Sichuan-Yunnan border area, the overall trend of the horizontal vector direction of the lithosphere magnetic field before earthquakes with $M>6$ converges from the north and south directions to its middle region and forms a weakened area, and the earthquakes usually occurred at the boundary of the weakened area; before earthquakes with $M<6$, the overall trend of the horizontal vector direction of the lithospheric magnetic field from north to south (or from south to north) forms a weakened area in the middle region, and earthquakes also occur at the

收稿日期: 2019-05-10

基金项目: 2019 年中国地震局地震监测运维综合地球物理场观测项目

作者简介: 汤筱麒(1972-), 男, 工程师, 主要从事综合地球物理场流动观测和地震应急工作。

E-mail: xbelzx2018@163.com.

boundary of the weakened area; when there is no earthquake, there is no a weakened area within its overall trend.

Keywords: Jiuzhaigou *M*7 earthquake; Minxian–Zhangxian *M*6.7 earthquake; Guangyuan *M*5.4 earthquake; Gansu–Sichuan junction area; Mobile geomagnetic observation

0 引言

地球内部的“不可入性”、大地震的“非频发性”，以及地震物理过程的“复杂性”是地震难以预测成功的主要3点因素^[1]。现阶段，地震监测手段主要有地震观测、地壳形变观测、地磁地电观测和地下流体观测共4类。这4类监测手段都在寻找地震物理过程以期能准确的进行地震预报。然而，在这个寻找过程当中发现每个地震发震之前都存在着不同形式的前兆异常，给地震预报的分析研判工作带来了同样的“复杂性”，这导致常常出现误报、漏报等现象。近年来，部分科研工作者对地震物理过程从重力、地磁等地球物理场观测方面进行了研究分析。流动重力观测资料能较好地反映出地震孕育发生过程中的重力异常变化^[2]，曾经对2013年四川芦山7.0级、2014年新疆于田7.3级和2017年四川九寨沟7.0级等大震均进行了较好的年度中期预测^[3-4]。流动地磁观测资料通过模型计算所获取的岩石圈磁场变化也能反映出地震孕育发生过程中的震磁异常信息，这些震磁异常信息通常表现为4种情况，它们分别是在震中周围区域会出现磁场的高梯度带^[5]，或者是磁偏角零变线穿过震中区域^[6-9]，或者是岩石圈磁场水平矢量在震中附近发生改变^[10-11]，或者是地下介质的磁化率发生改变^[12]，通过以上震磁异常信息的综合分析，流动地磁观测可以较为准确的圈出异常区。以2014年鲁甸6.5级地震为例，流动地磁观测的异常区域较地震活动增强区域预测时间短、区域小^[13]。因此，地球物理场观测是发现地震物理过程的可行之路之一。

汶川8.0级地震之后，中国地震局监测预报司正式提出了地球物理场监测应该“成场”“成网”的改革思路。作为地磁地电观测分支之一的流动地磁观测手段率先根据这个改革思路调整了传统的监测模式和测网布局。2010年起，中国地震局流动地磁技术团队先后在大华北地区、南北地震带、南北天山地区大范围地展开了流动地磁三分量的年度观测，开启了区域地磁场的地震监测和地震预报的探索之路，近年来该手段在地点预测中表现出良好的预报能力。与此同时，获取的震

前年度变化异常特征从某种程度上应反映了对应地震的物理过程。

2010—2017年，中国地震局地球物理所、云南省地震局、四川省地震局和甘肃省地震局共同承担了南北地震带229个野外地磁三分量测量点的测量工作。本文将选取南北地震带中北部岩石圈磁场水平矢量2010—2017年共7个相邻期的年度变化，重点讨论分析甘川交界地区的3次5级以上地震在其7个年度变化中的异同点。总结同一个区域中不同震级前出现的不同水平矢量异常特征，从中提炼出中强地震与强震发生前不同的震磁信息，有助于提高今后在甘川交界地区的地震预测能力。

1 研究区域与数据获取

本文研究区域是南北地震带中北部(99°E~109°E, 28°N~39°N)。该区域地处青藏高原东北缘，是巴颜喀拉、柴达木、祁连、华南和鄂尔多斯等块体的交汇区域，在该区域南侧历史上，在该区域及周边发生过1927年5月23日甘肃古浪8级地震、1933年8月25日四川茂县叠溪镇7.5级等多次大地震。

研究区域里共有地磁三分量观测点132个，测点分布以网格状进行均匀布设，测点平均间距约70 km，最远点间距达100 km。观测周期为每年1期，每个测点上采集地磁场总强度 F 、磁偏角 D 和磁倾角 I 的绝对值数据。使用的仪器分别是GMS-19T质子旋进磁力仪(分辨率为0.01 nT, 精度为0.2 nT)测量地磁场总强度 F ；使用CTM-DI磁力仪(分辨率为0.1′, 精度为0.2′)测量磁方位角和磁倾角 I 。使用阿什泰克单频GPS仪(定位精度：水平为5 mm+1 ppm, 垂直为10 mm+1 ppm, 测量方位角的精度为0.2′)测量地理方位角，以及地磁测点的经度、纬度和高程^[14]。其中，磁偏角 D 的绝对值数据是用磁方位角与地理方位角进行差值计算获得。整个观测流程与方法按照《流动地磁测量基本技术要求及附录执行》。

本文的研究对象是甘川交界区域2011年6月至2017年8月之间的3个 M 5.0以上地震(根据中国台网正式地震目录)。分别为：2011年11月

1日四川广元 M 5.2 地震; 2013年7月22日甘肃岷县漳县 M 6.7 和 M 5.6 地震; 2017年8月8日

四川九寨沟 M 7.0 地震。由于岷县漳县 M 5.6 是紧接着 M 6.7 之后发生的, 因此本文只分析 M 6.7。

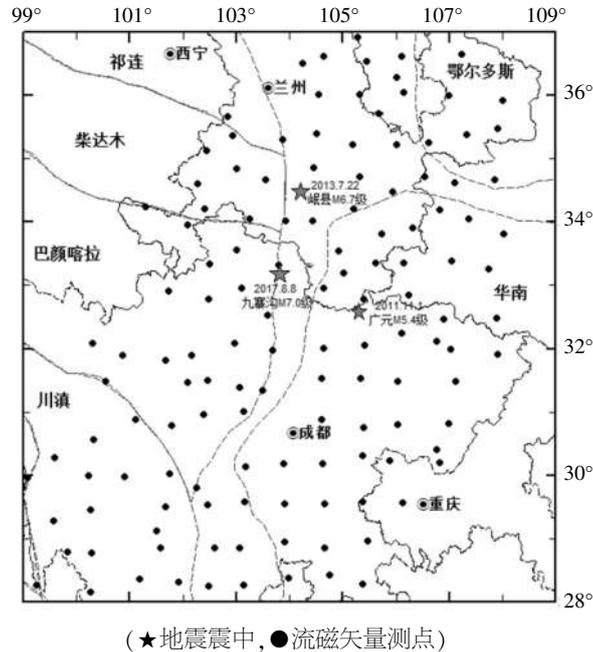


图1 南北带中北部流磁矢量测点分布图

Fig.1 Observation points distribution of mobile geomagnetism vector in the north-central part of the North-South belt

2 数据处理

地磁场的组成可进一步分为主磁场、岩石圈磁场、变化磁场和感应磁场。为了获得岩石圈磁场的年度变化数据, 我们主要是通过数据校验、消除地磁场日变化和主磁场长期变, 以及剥离主磁场和相邻期差值计算等5个步骤来完成:

(1)数据预处理。首先对野外原始资料进行检查和校对, 无误后将各期纸介质资料录入成电子数据; 将相邻期同点号但不同位置的测点剔除, 每相邻期中约有3%~5%的测点因不同位置而被删除。

(2)日变通化改正。利用距野外测点最近地磁台的连续分钟值数据进行日变通化改正, 即单台参照法。通化零日选择观测时间段内磁场变化相对平稳的一天, 通化零时选择为北京时00:00~03:00。通过此步骤可消除流动地磁观测数据中所包含的地磁场日变化等外源场成分。

(3)长期变改正。采用“1995年1月1日~2017年9月20日中国大陆地区地磁场非线性变化模型(NOC)”^[15]。使用该模型对日变化通化改正后的数据集进行长期变化改正。通化的标准地磁年代为2015.0年代。通过此步骤可消除观测数据中所包含的地球主磁场长期变化成分。

(4)获取岩石圈磁场。以IGRF-12为该区域的

地球主磁场模型, 将上述各期2015.0年代长期变改正数据与IGRF-12主磁场模型的2015.0数据进行差值计算, 可以获得2015.0年代各期的岩石圈磁场数据。

(5)经过一次差分计算即可以得到相邻测期岩石圈磁场的变化。

3 甘川地区3个地震与岩石圈磁场变化特征

在地震孕育和发生的过程当中, 岩石圈受温度、应力等因素影响改变了其岩石磁化率, 进而导致了岩石圈磁场的变化^[16-17]。经过多次的震例总结表明, 笔者认为岩石圈磁场中水平矢量的年度变化能清晰的反映地震孕育过程, 矢量的方向代表能量传递的方向, 矢量的长短代表能量的大小。因此, 本文利用南北带中北部岩石圈磁场水平矢量的年度变化来分析与甘川交界地区的中强地震的关系, 重点分析2011年广元 M 5.2、2013年岷县漳县 M 6.7和2017年九寨沟 M 7.0这3个地震前该区域岩石圈磁场年度变化特征。

图2为7个相邻期的岩石圈磁场水平矢量年度变化分布图, 从图中可以看出2010—2011和2014—2015的岩石圈磁场水平矢量方向是由北至

南, 2011—2012 和 2013—2014 的岩石圈磁场水平矢量方向是由南至北, 2012—2013 和 2015—2016、2016—2017 的岩石圈磁场水平矢量方向是南北相对的。以上变化形态可以大致分为两种: 一种是水平矢量方向整体的由北至南或是由南至北横穿了甘川交界区域, 横穿的整体当中局部有小范围的弱化区; 另一种是其方向由南和北分别

向甘川交界区域汇聚, 在该区域中间形成了较大范围的弱化区。

将 3 个地震震中投到当年的变化图中, 可以看到 2011 年广元 $M 5.2$ 级地震前岩石圈磁场水平矢量是由北向南, 在震中附近有局部弱化区, 2013 年岷县漳县 $M 6.7$ 级和 2017 年九寨沟 $M 7.0$ 级前其水平矢量方向分别由南北两个方向向中间汇聚。

表 1 甘川交界区域岩石圈磁场水平矢量特征与地震的对应关系

Table 1 Corresponding relationship between the characteristics of horizontal vector of lithosphere magnetic field and earthquakes in Gansu-Sichuan junction area

年度变化	水平矢量显著特征	对应地震
2010—2011	整体趋势由北向南, 中间局部有弱化	广元 $M 5.2$
2011—2012	整体趋势由南向北, 边界局部有弱化	无
2012—2013	整体趋势由分别由南北向向中间汇聚, 中间大部有弱化	岷县漳县 $M 6.7$
2013—2014	整体趋势由南向北, 边界有弱化	无
2014—2015	整体趋势由北向南, 边界有弱化区	无
2015—2016	整体趋势由分别由南北向向中间汇聚, 中间大范围有弱化	无
2016—2017	整体趋势由分别由南北向向中间汇聚, 中间大范围有弱化	九寨沟 $M 7.0$

从表 1 可以看出, 当甘川交界区域出现一定的弱化区, 且弱化区是由南、北两个方向向中间汇聚形成时, 在该区域就有 6 级及其以上地震的发生; 当甘川交界区域均处在整体趋势由南至北或由北至南时, 如在整体趋势中间有局部弱化区时, 则有 6 级以下地震或无地震发生。

4 结论与讨论

本文对甘川交界地区的岩石圈磁场水平矢量年度变化特征和 3 个 5 级以上地震进行对应分析, 得出以下结论:

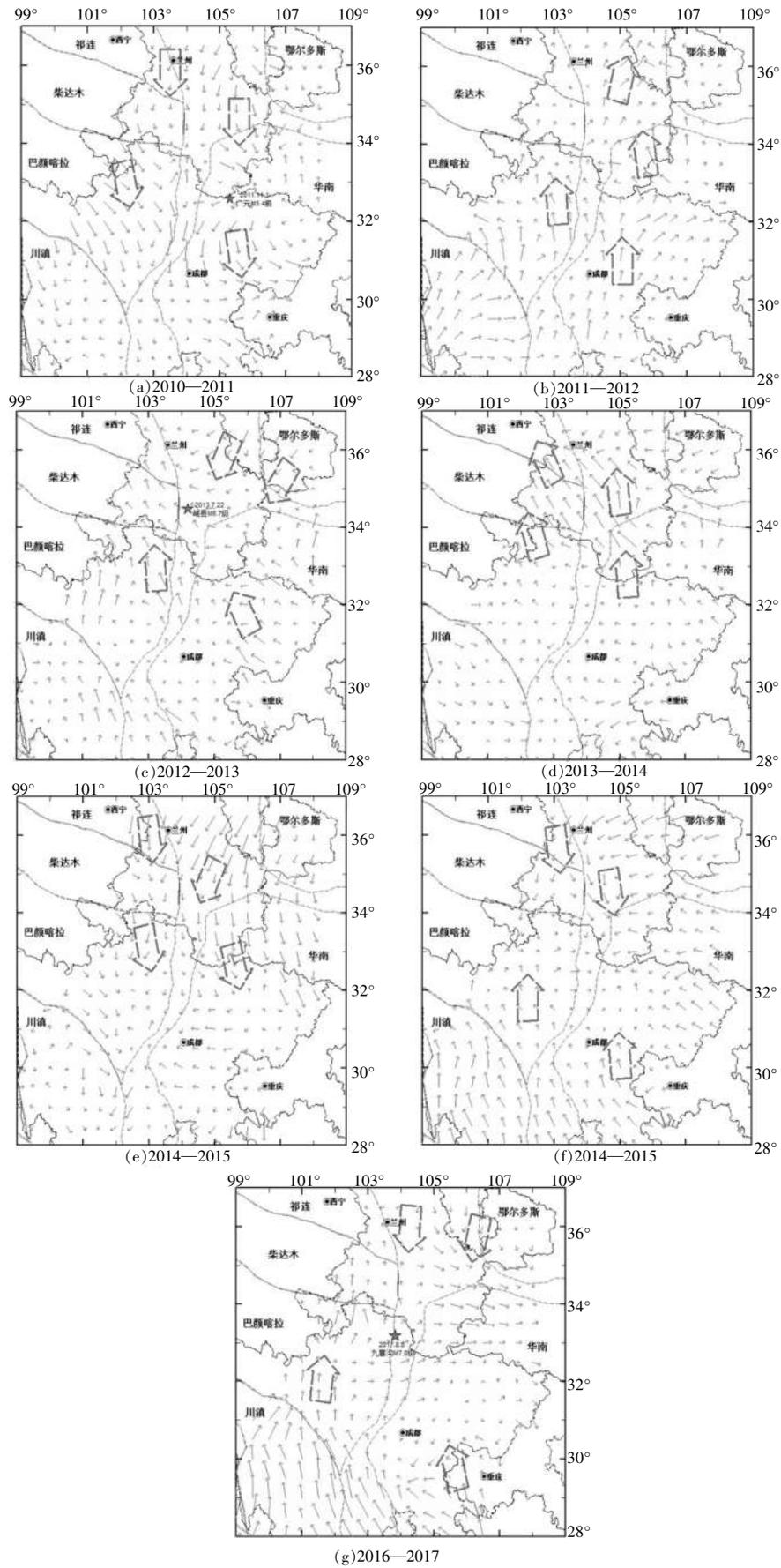
(1) 2 次 6 级以上地震前岩石圈磁场水平矢量方向呈现出南北相对中间大部有弱化区, 2 次地震均发生在弱化区边界上; 1 次 6 级以下地震前其水平矢量方向整体趋势为由北向南中间局部有弱化区, 该地震发生在弱化区边界上。

(2) 在无论水平矢量方向整体趋势是由南向北还是由北至南, 只要在整体趋势的中间局部中没有弱化区, 或者弱化区在整体趋势的边界上, 则甘川交界地区没有 5 级以上地震的发生。

(3) 对于九寨沟 $M 7.0$ 级地震而言, 2016—2017 年中分别由岩石圈磁场水平矢量南、北向汇

聚到甘川交界地区并产生了大范围的弱化区, 随后在弱化区边界上发生地震。与其相比, 2015—2016 年中已经出现同样的弱化区, 但区别在于南边水平矢量量级较弱。这表明一个 7 级地震孕育的时间过程从开始出现异常特征到发震, 至少有 3 年以上的时间。

(4) 地震物理过程的“复杂性”是制约地震预测发展最为关键、最为瓶颈的科学问题。笔者认为它的“复杂性”可以表现在 3 个方面: 一是同一地点上发震, 各种监测手段在地震前获得的前兆信息不一致; 二是相同地点上重复发震, 各种监测手段在每一次地震前获得的前兆信息不一致; 三是同一地点不同震级的地震, 各种监测手段获得的前兆信息也不一致; 这种“不一致”导致了无法能准确无误地识别地震前兆异常, 也就不能准确地预报地震三要素(发震时间、发震地点和震级)。正因为如此, 基于 3 个 5 级以上地震在甘川交界地区的岩石圈磁场水平矢量年度变化中呈现出的显著特性正好消除了地震物理过程的“复杂性”, 对在该地区进行地震预报工作提供了唯一一种磁异常识别指标, 极大提升了该地区地震预报水平的能力。



(★)地震震中, 岩石圈磁场变化水平矢量的整体趋势方向

图 2 2010—2017 年南北带中北部相邻期岩石圈磁场变化分布图

Fig.2 Distribution of lithosphere magnetic field variation in the north-central part of the North-South belt from 2010 to 2017

本文仅列举了3个震例来说明在甘川交界地区岩石圈磁场水平矢量特征作为该区域的地震预测指标,虽不足以少盖全,但这几个震例确实是震前可以重复识别的异常信息,可以对该地区的地震预测起到支撑作用。另外,类似于甘川交界的震例及其震前特征,在全国的异常分析中是否适应是否能推广到其他地区。

致谢:感谢中国地震局流动地磁技术团队提供基本数据。感谢云南省地震局倪喆高级工程师给予了大力的指导与支持。

参考文献:

- [1] 陈运泰. 地震预测要知难而进[J]. 求是, 2008(15):58-60.
- [2] 祝意青. 我国流动重力监测预报发展之再思考[J]. 大地测量与地球动力学, 2018, 38(5):441-446.
- [3] 祝意青, 闻学泽, 孙和平, 等. 2013年四川庐山 M_s 7.0 地震前的重力变化[J]. 地球物理学报, 2013, 56(6):1887-1994.
- [4] 祝意青, 梁伟锋, 赵云峰, 等. 2017年四川九寨沟 M_s 7.0 地震前区域重力场变化[J]. 地球物理学报, 2017, 60(10): 4124-4131.
- [5] 顾春雷. 区域地磁异常与地震关系研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
- [6] 倪喆. 洱源 5.5 级地震前后岩石圈磁场变化异常特征分析[J]. 地震研究, 2014, 7(3):426-432.
- [7] 倪喆, 陈双贵, 袁浩浩, 等. 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, 2014, 37(1):61-65.
- [8] 倪喆, 袁浩浩, 王粲, 等. 2014年鲁甸 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, 2014, 37(4):537-541.
- [9] 苏树朋, 赵慧琴, 李博, 等. 大华北地区岩石圈磁场空间分布与地震地质特征[J]. 地震研究, 2017, 40(3):345-351.
- [10] 宋成科, 倪喆, 苏树朋, 等. 岩石圈磁场异常变化与岩石圈结构的关系[J]. 地震研究, 2017, 40(3):357-361.
- [11] 丁新娟, 杨福喜, 贾璐, 等. 2015年新疆皮山 6.5 级地震前岩石圈磁场局部异常特征分析[J]. 地震研究, 2017, 40(3):362-367.
- [12] 倪喆, 陈斌, 崔兴平, 等. 地震孕育过程中地下磁化率结构的变化分析[J]. 地震研究, 2017, 40(3):382-387.
- [13] 付虹, 倪喆. 从云南地震预报实践探讨地震中短期预测的新途径[J]. 国际地震动态, 2017(6):1-8.
- [14] 赵慧琴, 云萌, 苏树朋, 等. 2015—2016年大华北地区岩石圈磁场变化及震前异常特征[J]. 地震研究, 2017, 40(3):368-371.
- [15] 顾左文, 陈斌, 高金田, 等. 应用 NOC 方法研究中国地区地磁时空变化[J]. 地球物理学报, 2009, 52(2):2602-2612.
- [16] 郝锦绮, 黄平章, 周建国. 岩石流变磁效应-震磁效应的一种可能机理[J]. 中国地震, 1992, 8(2):53-60.
- [17] 郝锦绮, 黄平章, 周建国. 微破裂对岩石剩磁的影响-对地震预报的意义[J]. 地球物理学报, 1993, 36(2):203-211.