

2016 年青海门源 $M_S 6.4$ 地震前的地磁变化^①

马 亮, 张 博

(甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 2016 年青海门源 $M_S 6.4$ 地震发生时, 地震影响范围内的台站均出现了多种地磁异常, 如 Z 分量加卸载响应比、 Z 分量日变幅逐日比、 Z 分量 21 点值的空间相关、地磁低点时间存在偏移等。统计震前与震后观测到的所有地磁异常现象, 提取并分析其地磁异常, 可为今后利用地磁方法预测地震积累经验 and 震例。

关键词: 冷龙岭断裂; 加卸载响应比; 日变幅逐日比; 空间相关分析; 地磁低点位移

中图分类号: P315.72⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)增刊 2-0197-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2016.Supp.2.0197

The Variations of Geomagnetic before the Menyuan $M_S 6.4$ Earthquake

MA Liang, ZHANG Bo

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

Abstract: A variety of geomagnetic anomaly was appeared in the geomagnetic stations around epicenter before Menyuan $M_S 6.4$ earthquake. For example, There are abnormalities in the Z component LURR (load/unload response ratio), the Z component daily variation ratio, the Z component 21 integral hour values spatial correlation and geomagnetic low-point time offset. Analyzing the geomagnetic anomalies before and after the earthquake is beneficial to accumulate experience and examples for prediction earthquake by geomagnetic method for the future. In this article, all geomagnetic anomalies observed before and after the earthquake are counted. During demonstrate the relationship between geomagnetic anomaly and the earthquake, spatial relation between geomagnetic stations and epicenter of the earthquake, time relation of anomalies and the earthquake was analyzed. Finally we summed up an example using geomagnetic analysis method in earthquake prediction.

Key words: Lenglongling fault zone; LURR; daily variation ratio method; spatial correlation analysis; geomagnetic low-point displacement

0 引言

地震磁效应被广泛应用于地震预测, 在短临预报工作中已有深入的研究。其原理可以简述为: 在孕震阶段后期, 断层的岩体进入非弹性变形阶段^[1], 岩体内产生微小裂缝并开始扩展, 岩体的拉应力和压应力被部分释放而出现应力下降、应变增加, 地下流体进入微小裂缝引起岩体电磁性质的变化, 高温物质上涌, 这一过程中伴随有压磁效应、感应磁效应、动电磁效应、热磁效应和电磁辐射与应力电磁效应^[2], 从而

产生能探测到的震磁短临前兆现象。

追踪地磁数据的变化并提取异常、分析地磁异常对地震的调制和触发作用, 是地震预报研究的主要方向之一。而从地磁日变的原始数据中很难观测到前兆异常, 需要对原始数据进行处理和计算。这些处理方法可分为中期预报方法和短临预报, 中期预报方法有谐波振幅比处理法、转换函数处理法、傅里叶谱的极化值处理法, 而短临预报方法有地磁低点位移法、

① 收稿日期: 2016-11-10

基金项目: 甘肃省地震局地震科技发展基金(2015Q07); 中国地震局监测预报司 2016 年度震情跟踪定向工作任务资助项目(2016010414)

作者简介: 马亮(1985-), 男, 硕士, 研究实习员, 从事地震预报、防灾减灾与防护工程的研究。E-mail: 1430566771@qq.com。

加卸载响应比处理法、日变幅逐日比处理法、Z21点值空间相关法、地磁幅相等。以上方法可以结合使用,其中加卸载响应比处理法由尹祥础在1984年提出^[3],后宋治平将其应用于地震预报领域^[4],现已被国内外学者广泛应用,例如用该方法预测了1994年美国Northridge地震和1996年日本关东地震;日变幅逐日比处理法在本世纪初由冯志生等^[5-6]提出,地磁空间相关法由中国科学院地球物理研究所第十研究室一组在1977年提出^[7],这两种方法已在国内推广使用并做了大量研究工作^[8-10]。本文综合以上方法对门源地震的前兆进行归纳与分析,为地磁学在地震预报中的应用提供震例。

1 台站概况与地震参数

1990年中国地震局对中国大陆的地磁观测台站

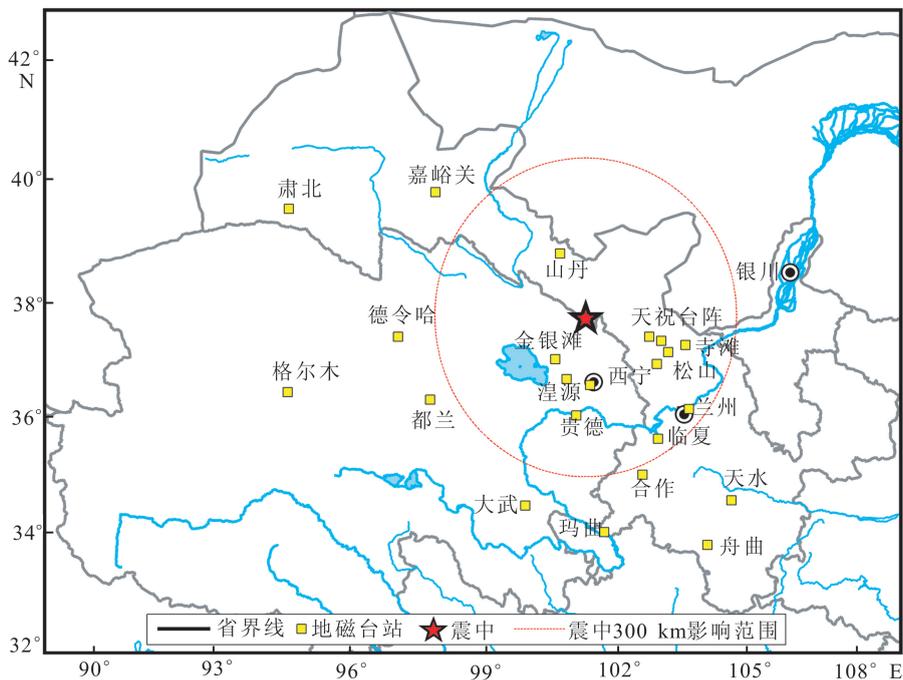


图1 门源地震300 km影响范围内的地磁台站

在震前30天内,震中附近30 km范围内未发生0级以上地震,且断层活动非常平静,测震学领域未出现有用的预测信息。而在地磁学领域出现了一些有价值的前兆信息,此次地震发生前的2015年12月23日,中国地震局台网中心在甘肃、青海地区观测到了较明显的地磁低点时间偏移现象,并在周会商中提出,此时距离地震发生有29天。震后发现,震中位于低点时间突变分界线附近,地震影响范围内的台站的加卸载响应比、日变幅逐日比、空间相关法在震前存在显著的异常。

对震前地磁数据进行计算和处理的结果表明,这

做了调整,在“十五”期间进行了数字化改造,至2008年地磁台站总数为156个。其中甘肃省的地磁观测台站由十五数字化改造前的3个(嘉峪关台,兰州台,天水台)增加到17个,为地磁法预测地震的研究工作提供了丰富的数据,也为短临预报创造了良好的条件。2016年门源地震发生时,震中周围300 km范围内共有地磁台站12个,其中山丹、黄羊、横梁、寺滩、松山、英鸽、兰州、临夏台属于甘肃地磁台网,金银滩、湟源、西宁、贵德台属于青海地磁台网(图1)。

2016年1月21日1时13分12秒在青海省海北藏族自治州门源回族自治县北部(37.68°N, 101.62°E)发生 $M_s6.4$ ($M_w5.9$)地震。此次地震的震源深度10 km(中国地震台网的测定),震中到冷龙岭断裂带主断层的距离小于8 km,距门源县城约33.7 km(图2),震中烈度8.5度,加速度为85.8 gal。

12个台中部分台站的垂直分量数据的日变幅逐日比、加卸载响应比或垂直分量的Z21点值存在异常。鉴于本文方法的局限性,现阶段不能依据异常参数计算出地震三要素及给出异常出现与地震之间的定量关系的物理解释与计算公式,只能依靠对异常与地震参数的统计来建立异常与地震之间的对应关系,为基于地磁学的短临预报工作的创造条件。

2 震前Z分量加卸载响应比异常

力学上的加卸载响应比被用于衡量材料的塑性,即形变之后的恢复能力。介质处于弹性正常状态下

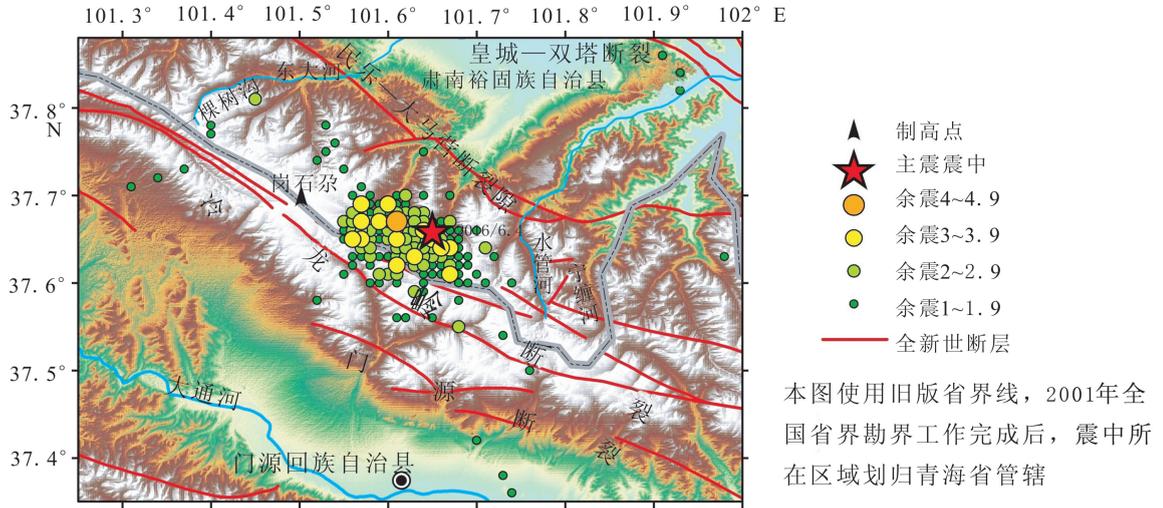


图 2 门源 $M_S6.4$ 地震构造图

时其加载与卸载的响应量(一般指变形量及其与此有关的物理量)的比值为 1;介质处于临界破裂时(其弹性性质已不成立),其加载与卸载的响应比大于 1。震磁学中的加卸载响应比(又称极值比),用于衡量地磁数据每日变化幅度的大小。冯志生等^[5]选择 3~4 天内加卸载响应比一个极大/极小值进行计算,步长不相等;王谭文^[11]选择 1 天内一个极大极小值进行计算,步长为 1 天。

加卸载响应比理论的出发点是基于对震源区介质损伤程度的刻画。由于地磁垂直分量 Z 的变化比

其他分量敏感,所以将其极值比作为加卸载响应比参量 $P(Z)$ 。若在一个时间段内,地磁垂直分量的日变幅极大值为 A_{max} ,极小值为 A_{min} ,那么地磁场的加卸载响应比参量 $P(Z)$ 就等于前者与后者的比值,即

$$P(Z) = \frac{A_{max}}{A_{min}} \quad (1)$$

据岳明生等^[12]的研究结果,加卸载响应比异常出现后 3~5 个月内台站附近 500 km 内可能发生中强地震,当有多个台站出现异常时,震中位于异常值最高的台站附近。由于门源地震震中周边设有密集

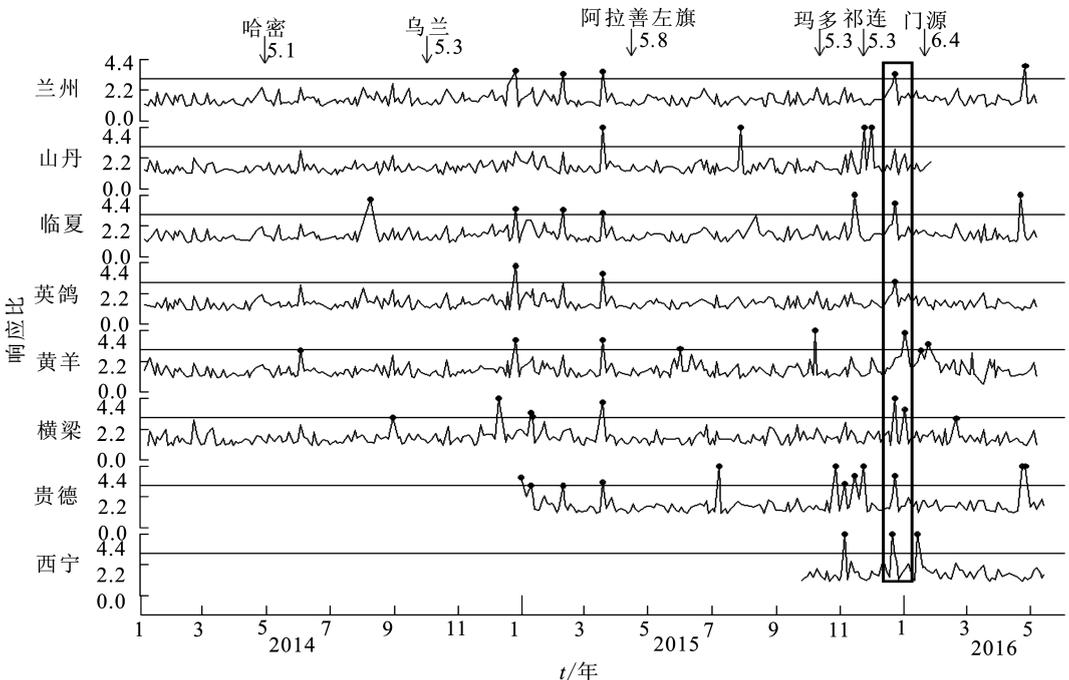


图 3 震前地磁 Z 分量的加卸载响应比异常(阈值为 3.0)

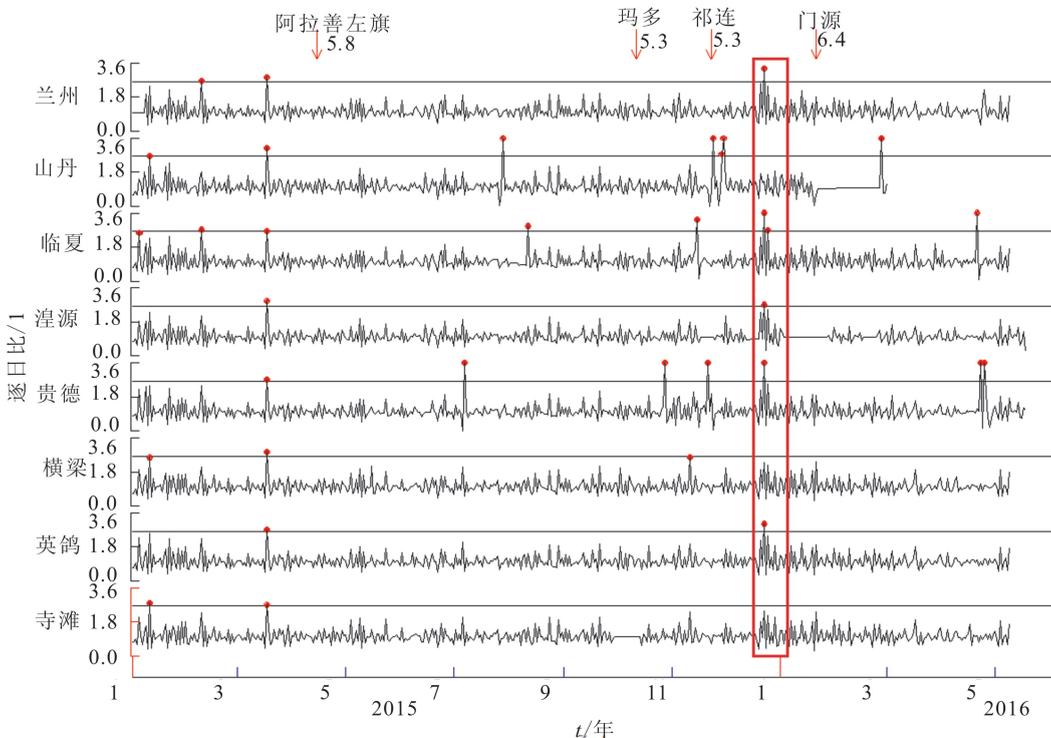


图4 震前地磁Z分量的日变幅逐日比异常(阈值为2.6)

的地磁台网,所以本文仅需选取 300 km 范围内台站的数据进行计算,而金银滩、湟源、英鸽及寺滩台缺数较多,计算结果不准确,所以没有可视化其数据。

计算结果见图 3,多个台站在震前均有明显的加卸载响应比异常,这些异常出现的时刻略有差异,但在震前 15~35 日内最密集,距离震中最近的西宁、横梁台的反应尤为明显,所以认为这些异常变化与震前的地震磁效应有关。

3 震前 Z 分量日变幅逐日比异常

据曾小苹等^[13]的研究结果,日变幅逐日比出现高值时与区域周围地震有良好的对应关系,它的异常判别指数与纬度有关,本文取 2.6 为阈值。与谐波振幅比相类似,这种对应与发震前孕震区地下介质电阻率的变化有关。

Z 分量日变幅逐日比 Y 的定义为:当天日变化幅度 $A(d_1)$ 与后一天日变化幅度 $A(d_2)$ 之比(d_i 为观测日期且 $d_2 = d_1 + 1$),即

$$Y = \frac{A(d_1)}{A(d_2)} \quad (2)$$

与加卸载响应比的分析方法类似,所以本文仅需选取 300 km 范围内的台站的数据进行计算,且数据质量较差的台站未列出。

其计算结果见图 4。由图 4 可看出,多个台站在

震前均有明显的日变幅逐日比的异常,这些异常出现的时刻略比日变幅逐日比要集中,均出现在震前 30 天左右。临夏、贵德、兰州、英鸽台的反应尤为明显。即便数据没有超越阈值的台站,在震前也有非常明显的阶跃,如横梁、寺滩台,所以认为地震发生前震源区附近的日变幅逐日比异常与地震的孕育过程中的磁效应有关。

4 震前 Z21 点值的空间相关异常

地磁场最显著的特点就是空间上的同步性。例如在当地时间 12 点,相距较近的台站的地磁各分量同时出现低值,随后又同步回升;如果发生磁暴,这两个台站会同时出现阶跃,这样周而复始。当这种同步性被打破时,视为出现了与地震相关的异常^[14]。为了定量描述这种同步性被打破的变化,取地磁总强度 F 或垂直分量 Z 的每日一值的序列作为分析对象(在北方,总强度 F 的效果较好),每日一值通常取北京时间 21 时的整点值,选取一个参考台站(本文取嘉峪关台),计算两台的相关系数 R 。若 A 为观测台, B 为参考台,其总强度 F 的北京时间 21 时的整点值序列为 F_{Ai} 、 F_{Bi} ($i=1,2,3,\dots,N$ 。 N 为计算相关系数的窗长),那么它们的相关系数为

$$R = \frac{L_{AB}}{\sqrt{L_{AA} \cdot L_{BB}}} \quad (3)$$

其中

$$L_{AB} = \sum_{i=1}^N (Z_{Ai} \cdot Z_{Bi}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{Ai} \cdot \sum_{i=1}^N Z_{Bi} \quad (4)$$

$$L_{AA} = \sum_{i=1}^N (Z_{Ai})^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N Z_{Ai})^2 \quad (5)$$

$$L_{BB} = \sum_{i=1}^N (Z_{Bi})^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N Z_{Bi})^2 \quad (6)$$

式中: R 就是运算结果和分析对象。由于零漂周期一般大于一月,为了避免零漂,相关窗长定为 21 天。

若两个台站经度相差小于 5° ,可直接计算相关;大于 5° 时,将经度小的台站的数据序列向前延时再行计算。延时量为每经度 4 分钟。

计算结果见图 5。震中 300 km 范围内的多个台站在震前均有明显的 Z21 点值相关的低值异常,这些异常出现的时刻略有差异,但都出现在震前 25~50 天。兰州、黄羊、松山及寺滩台的反应尤为明显。山丹台的低值虽没有超过阈值,但形态上与其他台站类似。

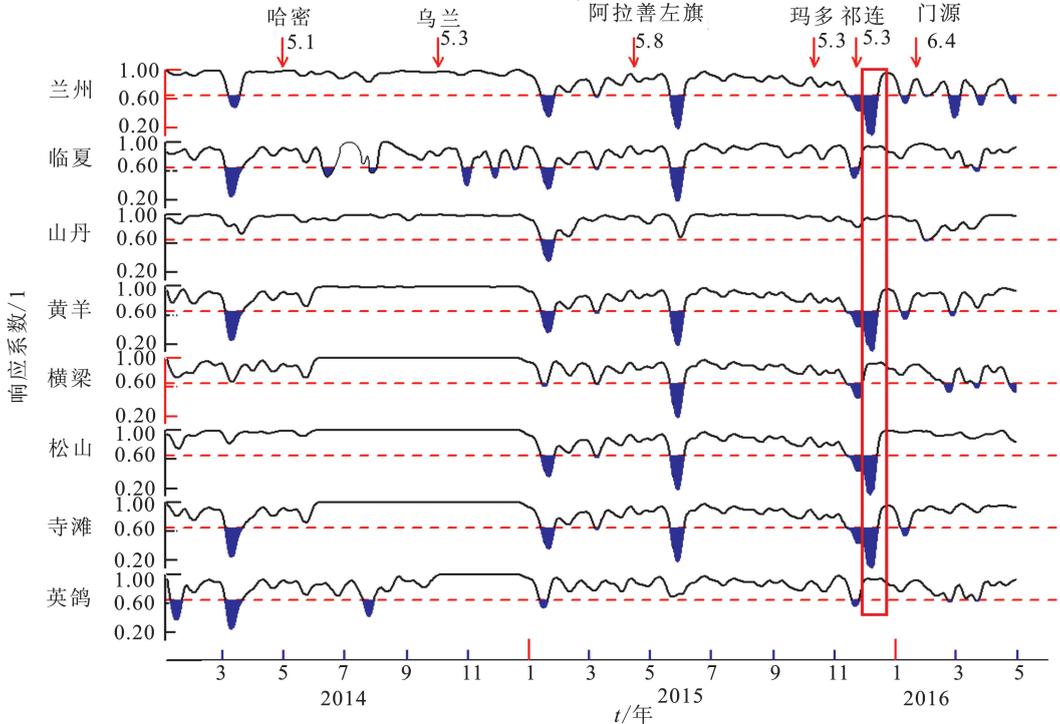


图 5 震前 Z21 点值空间相关分析的异常(阈值为 0.65)

5 震前的地磁低点时间偏移现象

2015 年 12 月 23 日出现了一次地磁地点时间偏移现象,突变界限穿越了甘肃、陕西、山西、山东地区,甘肃境内的突变界线从酒泉沿着祁连山南侧伸展到玛曲,门源地震的震中距此突变界线约 200 km。

此次变化随即被台网中心捕捉到,并在周会商中提出,定义为与门源地震相关的异常。从空间对应上看,震中位于低点时间突变分界线附近;从时间对应上看,门源地震发生在地磁地点位移后的第 29 天,完全符合时间上的对应关系。但是调用原始数据后发现,地磁地点位移当日甘肃,青海地区的所有地磁台站的数据出现畸变,正常日变形态消失,当日的 K 指数仅为 2。地磁日变形态消失后正常的低

点时间随之紊乱,如湟源、嘉峪关台的地磁地点时间甚至达到了 23 时(格林尼治时间),严重偏离当地时间 12 点左右的范围,所以本文认为 2015 年 12 月 23 日出现的地磁地点时间偏移现象不能定义为地磁地点位移现象。

6 结论

本文首先分析了门源 $M_s6.4$ 地震的震源参数和地震影响范围内的地磁台站的布设情况,然后对震前的磁扰状态、Z 分量加卸载响应比、Z 分量日变幅逐日比、Z21 点值的空间相关和地磁低点时间偏移的参数进行统计与计算,汇总后得到以下结论:

(1) 地震影响范围内的地磁台的 Z 分量加卸载响应比、Z 分量日变幅逐日比曲线在震前的 15~35 天里出现阶跃并超过阈值而出现异常。各台站异常

的阶跃幅度有差异,距震中越近异常幅度越明显。

(2) 地震影响范围内的地磁台的 Z 分量 21 点值空间相关曲线在震前 25~50 天出现不同程度的低值异常,各台低值持续时间不相同,距震中近的兰州台和天祝台阵持续时间较长。

(3) 震前 29 天(即 2015 年 12 月 23 日)出现地磁地点时间偏移,由于当日的地磁日变形态消失、地磁地点时间出现紊乱,所以不能定义为地磁低点位移现象。

参考文献

- [1] 丁鉴海,车时,余素荣,等.地磁日变地震预报方法及其震例研究[M].北京:地震出版社,2009:2.
- [2] 徐文耀.地磁学[M].北京:地震出版社,2003.
- [3] 尹祥础,张浪平,张辉晖.加卸载响应比 20 年及其展望[J].国际地震动态,2008(4):1-4.
- [4] 宋治平,尹祥础,陈学忠.加卸载响应比的时空演变特征及其对地震三要素的预测意义[J].地震学报,1996,18(2):179-186.
- [5] 冯志生,王建宇,蒋延林.地磁垂直分量日变幅逐日比及其与地震关系的探讨[J].华南地震,2001,21(2):20-27.
- [6] 戴勇,高立新,杨彦明.甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比、逐日比分析[J].华南地震,2015,35(3):1-6.
- [7] 中国科学院地球物理研究所第十研究室一组.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,1977,20(3):169-184.
- [8] 温少妍,唐兰兰,刘月,等.新疆中强地震前加卸载响应比时空演化特征分析与检验[J].地震工程学报,2016,38(1):65-70.
- [9] 王必显,刘鸿斌,李健康,等.玉树地震的地磁预测研究[J].西北地震学报,2013,35(增刊):89-97.
- [10] 邱桂兰,何跃,王登伟,等.地磁 Z 分量分钟值空间相关法在四川地区地震预报中的应用[J].高原地震,2014,26(1):1-7.
- [11] 王宣文.地磁日变规律的破坏与地震的关系研究[J].地震地磁观测与研究,2003,24(1):1-6.
- [12] 岳明生.地震预测研究发展战略几点思考[J].国际地震动态,2005,317(5):7-21.
- [13] 曾小苹,续春荣,赵敏等.地球磁场对太阳风的加卸载响应与地震[J].地震地磁观测与研究,1996,17(1):49-54.
- [14] 冯志生,王建宇,蒋延林.观测时间对地磁绝对观测值的空间相关性影响研究[J].地震,2003,23(3):126-130.