

艾萨·伊斯马伊力,毛志强,冯丽丽.2018年精河5.4级地震前地磁日变化畸变异常分析[J].地震工程学报,2020,42(2):368-375.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.368
Aisa Yisimayili, MAO Zhiqiang, FENG Lili. Distortion Anomalies in Geomagnetic Diurnal Variation before the Jinghe M5.4 Earthquake in 2018[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2020, 42(2): 368-375. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.368

2018年精河5.4级地震前地磁日变化畸变异常分析

艾萨·伊斯马伊力¹, 毛志强², 冯丽丽³

(1. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074;
3. 青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 2018年10月16日新疆精河5.4级地震发生时,震中附近的台站不同程度上记录了地磁日变化畸变异常,如地磁总强度 F_{02} 时每日一值空间相关异常、地磁垂直分量加卸载响应比异常、地磁低点位移以及地磁日变化空间相关异常等。统计震前观测到的所有地磁异常,并分析研究了其震前异常变化特征。得到如下结论:(1)从全国每日一值相关分析结果看,震前114天出现每日一值空间相关异常,异常高值台为乌鲁木齐和克拉玛依;(2)震前59天沿北天山断裂带分布的地磁台站加卸载响应比均成组出现超限的高值,且异常高值的空间分布跟震中位置有一定关联;(3)中国大陆地磁台站震前37天出现低点位移突变分界线,且异常集中于震中附近;(4)震前出现地磁垂直分量日变化空间相关异常,异常台站空间上也主要集中于北天山地区。因此地磁垂直分量日变形态及有关的计算方法短期内具有一定的预报效能,可为今后利用地磁方法预测地震积累经验 and 震例。

关键词: 精河地震; 地磁异常; 加卸载响应比; 日变化空间相关; 低点位移

中图分类号: P319.56

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2020)02-0368-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.368

Distortion Anomalies in Geomagnetic Diurnal Variation before the Jinghe M5.4 Earthquake in 2018

Aisa Yisimayili¹, MAO Zhiqiang², FENG Lili³

(1. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China;

2. China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China;

3. Earthquake Agency of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract: The comprehensive characteristics of geomagnetic anomalies before the Jinghe M5.4 earthquake on October 16, 2018 were obtained and analyzed using a series of geomagnetic methods such as the geomagnetic daily value spatial correlation, geomagnetic load-unload response ratio, spatial correlation of daily variation of the geomagnetic vertical component, and geomagnetic low-point displacement. These methods showed that there were middle and short-term anomalies before the earthquake. Additionally, the results showed the following aspects. (1) Before the earthquake, multiple anomalies existed, which enhanced the credibility of the methods. (2) The

收稿日期: 2019-01-24

基金项目: 新疆地震科学基金(202001); 中国地震局2019年震情跟踪青年课题(2019010409); 中国地震局监测、预报、科研三结合课题(3JH-201901097)

第一作者简介: 艾萨·伊斯马伊力(1985-),男(维吾尔族),工程师,主要从事数据处理与地震预测预报研究方面的工作。

E-mail: 372455621@qq.com.

anomalies considerably increased closer to when the earthquake erupted demonstrating that seismicogenic probability increased in this area. (3) Compared with a single method, a comprehensive analysis method to identify earthquake locations, can reduce the time scale of prediction. (4) Anomalies in the spatial correlation of the daily variation of the geomagnetic vertical component mainly appeared in the northern Tianshan area before the earthquake. The comprehensive anomalies observed in the Jinghe earthquake illustrated that geomagnetic analysis methods had a certain forecast effectiveness in short-term earthquake prediction.

Keywords: Jinghe earthquake; geomagnetic anomaly; load-unload response ratio; spatial correlation of daily variation; low-point displacement

0 引言

理论和震例表明,地震孕育过程中地下介质电磁参数会发生变化,从而产生能探测到的震磁短临前兆现象^[1]。地震地磁场异常处理方法主要包括地震地磁场日变化异常分析方法、地震磁扰动异常分析方法和基于磁测深的地震异常分析方法(谐波振幅比等),现已被国内外学者广泛应用^[2]。

目前基于地震地磁场日变化异常分析的方法主要有地磁加卸载响应比法^[3-4]、地磁逐日比法^[5]、地磁低点位移法^[2]、地磁日变化空间相关^[6]和地磁每日一值空间相关法^[7]。地震地磁场日变化异常分析方法已在国内推广使用并做了大量的研究工作^[8-12]。基于磁测深的地震异常分析方法主要有地磁转换函数和地磁谐波振幅比^[13-14]。地震地磁扰动异常分析方法有特定波形综合判定法、垂直强度极化法和水平分量椭圆极化法等^[13-16],近年来地磁垂直强

度极化法和谐波振幅比法的研究应用较多^[17-19]。本文综合以上分析方法对 2018 年精河 5.4 级地震前地震地磁场日变化畸变异常进行归纳与分析,以期地震地磁学在地震预报中的应用提供震例。

1 发震构造与地磁测项概况

据新疆地震台网测定,北京时间 2018 年 10 月 16 日 10 时 10 分,新疆博尔塔拉蒙古自治州精河县(44.19°N,82.53°E)发生 5.4 级地震,震源深度约 10 km,震中宏观位置和震源机制解初步判定发震断裂为科古琴断裂。地震发生后新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州、博乐市、克拉玛依市等地区有强烈震感。该地震是新疆北天山地区 2018 年发生的一次最强的地震活动(图 1),研究其前兆异常对该地区的地震预测研究具有重要意义。

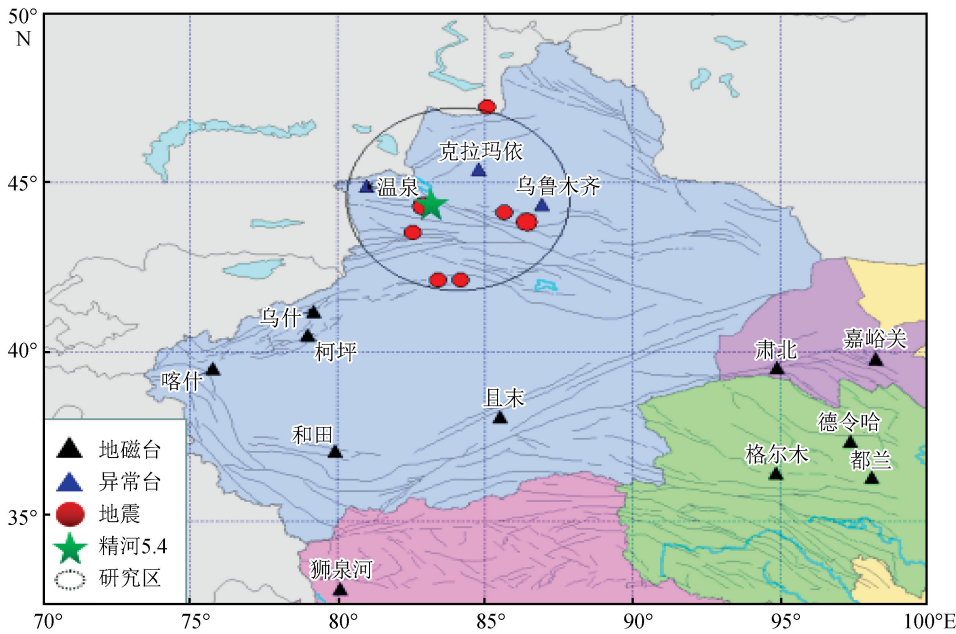


图 1 震中区构造及地磁台站分布图

Fig.1 Structure of epicenter area and distribution map of geomagnetic stations

新疆地区可供分析的地磁台站主要有北天山地区乌鲁木齐、克拉玛依和温泉台,南天山西段乌什和喀什台,新甘藏交界区域肃北、嘉峪关、且末、格尔木和狮泉河台,共计 10 个地磁台站。表 1 为震中距 400 km 范围内地磁台站基本情况。因为地磁异常

多为区域性异常,为了进一步明确精河 5.4 级地震前异常区域的大小以及异常分布特征,在计算时使用了新疆及邻近地区 2018 年不同构造上所有地磁台站数据。图 1 为震中附近主要异常显示的地磁台站基本信息。

表 1 震中周围异常地磁台站资料信息

Table 1 Information of the anomalous geomagnetic stations around epicenter

台站	仪器类型	观测分量	采样率	震中距/km	开始观测年份	观测重要事件
乌鲁木齐	FHZD-M15 型	$F、H、D、Z$	秒采样	292	1984 年	2013 年迁到呼图壁观测点
	GM4 型	$H、D、Z$	秒采样	292	2014 年	
克拉玛依	FHD 型	$F、H、D$	分采样	216	2008 年	2012 年更换变压器
温泉	GM4 型	$H、D、Z$	秒采样	167	2008 年	2015 年 11 月更换仪器
乌什	FHD 型	$F、H、D$	分采样	216	2008 年	

2 计算方法及原理

2.1 地磁每日一值空间相关法

假设 A、B 两个台站的地磁总场 F 分别记为 $F_A、F_B$,它们是线性相关的,即:

$$F_{Bi}=BF_{Ai}+a \quad i=1,2,\cdots,n \tag{1}$$

式中: F_{Ai} 和 F_{Bi} 分别是两个台站地磁总场的时间序列; B 是回归系数; a 为回归截距。

定义相关系数 r (衡量 $F_A、F_B$ 两个量的相关度)为:

$$r=\frac{l_{AB}}{\sqrt{l_{AA}\cdot l_{BB}}} \tag{2}$$

式中:

$$\begin{aligned} l_{AA}&= \sum_{i=1}^n F_{Ai}^2 - \frac{1}{n}(\sum_{i=1}^n F_{Ai})^2 \\ l_{BB}&= \sum_{i=1}^n F_{Bi}^2 - \frac{1}{n}(\sum_{i=1}^n F_{Bi})^2 \\ l_{AB}&= \sum_{i=1}^n F_{Ai}F_{Bi} - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^n F_{Ai}F_{Bi} \end{aligned} \tag{3}$$

r 的取值范围是 $0\leq|r|\leq1$, $|r|$ 越接近 0,说明两组观测数据之间的相关度越小, $|r|$ 越接近 1,表示两组观测数据之间的相关度越密切。

当不同参考台的计算结果中有 3 个以上台站相关系数在同一时段出现连续 10 天以上低于阈值(2 倍均方差)的现象,则视为异常。

异常出现后其预测规则为:(1)发震时间:以异常结束时间为起算时间,在 4 个月内发震;(2)发震地点:异常幅度最大台站 300 km 范围内;(3)发震强度:5 级及以上地震^[7]。

2.2 地磁垂直分量加卸载响应比

地磁加卸载响应比将磁扰过程作为地球磁场对太阳风加载和卸载响应的过程。以垂直分量 Z 为

例,取 Z 分量的日变幅度作为计算加卸载响应比的参量,定义响应比:

$$P(Z)=\Delta Z_{+}/\Delta Z_{-} \tag{4}$$

式中:下角标“+”号表示加载,“—”表示卸载。

该方法提取异常为短期异常,地震一般发生在异常后 3 个月内。应用该方法判定异常时,阈值选取是关键。冯志生等^[4]、戴勇等^[15] 和戴苗等^[8] 先后在华东、甘—青和南北地震带应用加卸载响应比法研究其映震效果,结果表明加卸载响应比值高值与邻区中强震有一定对应关系。上述学者的研究结果表明,根据不同地区测点的加卸载响应比 $P(Z)$ 值时序曲线,由其附近的震例可找出震前 $P(Z)$ 异常的最低值即阈值 $P_0(Z)$ 。当 $P(Z)<P_0(Z)$ 时为正常;当 $P(Z)>P_0(Z)$ 时为异常,即有可能与其后发生的中强地震相对应。据文献[20-21],正常情况下新疆及邻区地磁垂直分量日变幅加卸载响应比值 $P(Z)$ 一般在 1.0~2.0 间。若地磁响应比值 $P(Z)\geq3.3$,且震中区内至少有 2 个或 2 个以上台站的地磁垂直分量加卸载响应比阈值 $P_0(Z)$ 超过最低异常值,就可作为判据。

加卸载响应比异常出现后的预测规则为:(1)发震时间:异常当日及之后 3 个月内发震;(2)发震地点:异常台站分布边缘;(3)发震强度:5 级及以上地震^①。

2.3 地磁垂直分量日变化空间相关法

地磁垂直分量日变化空间相关法计算原理跟地磁每日一值空间相关大致一样,均是求得两个台站的相关系数,区别在于后者计算窗长为 21 天(21 个数据)、步长 1 天的滑动计算结果,而前者计算的是

① 艾萨·伊斯马伊力.新疆维吾尔自治区地震局 2017 年度青年局基金工作任务成果,2017.

一天内分钟值(整点值)的相关系数,相当于窗长为 1 天(1 440 个数据)。另外,地磁日变化是一种依赖于地方时的周期变化,因此在计算日变化空间相关系数时需要做延时计算^[6]。对于地磁垂直分量日变化空间相关法,多个参考台计算结果中,若新疆地区同一个构造上 2 个以上相邻计算台的相关系数曲线(滑动)在同时段出现下降幅度超过 2 倍均方差,且持续时间达到 5 天以上的变化就认为存在日变化空间相关异常。

异常出现后其预测规则为:(1)发震时间:异常出现后 4 个月内,其中 2 个月为优势发震时段;(2)发震地点:异常台站集中区域边界(边界附近等值线作为参考边界线)附近;(3)发震强度:5 级以上强

震^[12]。

3 资料处理及结果分析

3.1 地磁每日一值空间相关法

选取中国地磁台网内地磁总场(F)北京时间 02 时的时刻值作为计算对象,计算窗长为 21 天,步长为 1 天。图 2(a)为 2018 年地磁总强度每日一值空间相关系数的连续曲线。文中北京时间 02 点值作为计算研究对象,是因为夜间 02 点值计算结果比较稳定且可以避开白天人为干扰等电磁干扰^[7]。

从图 2(a)中可以看出,在 2018 年 6 月 11—26 日出现了一次每日一值空间相关系数低值异常现象(图中黑色填充部分)。异常表现为多台同步变化,

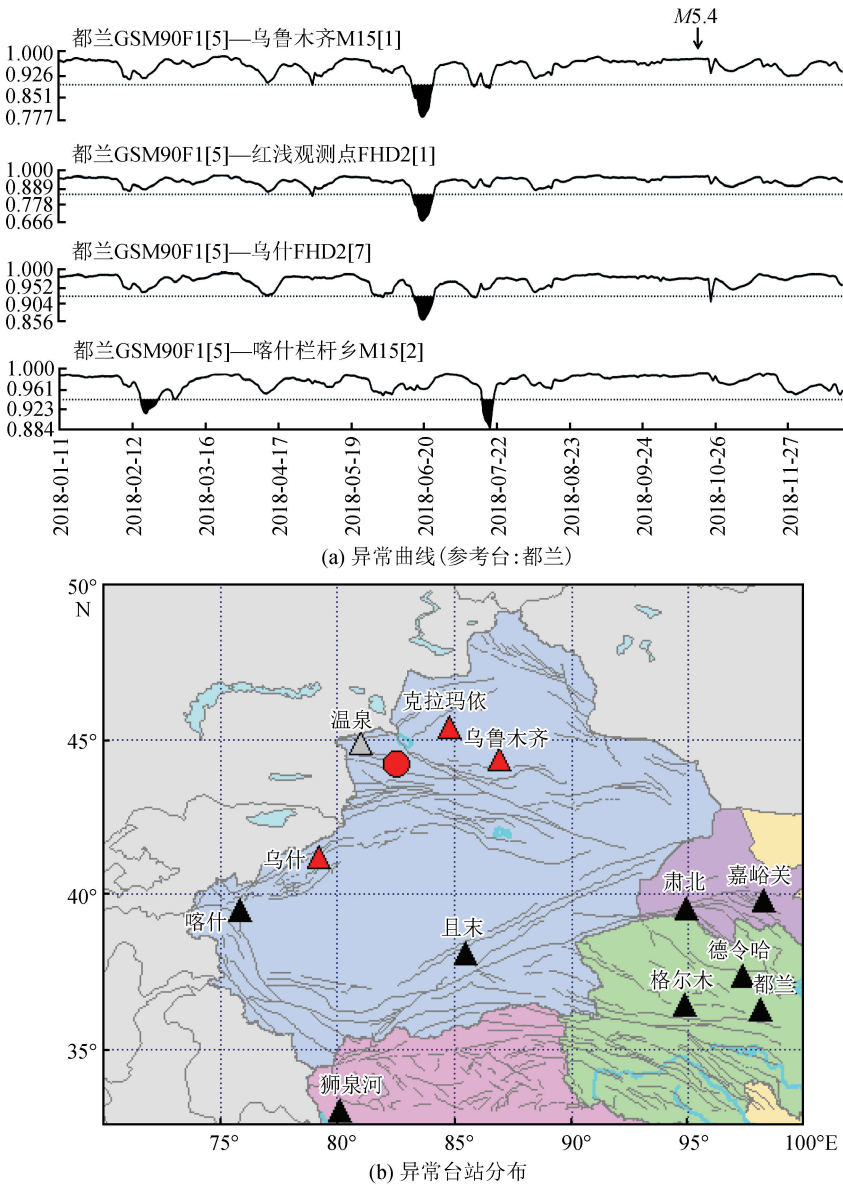


图 2 地磁 F_{02} 值每日一值空间相关计算结果

Fig.2 Spatial-correlation calculation results of geomagnetic F_{02} daily value

且变化形态一致,符合该方法的异常判据指标。图中个别超阈值现象不符合异常判据指标。

异常台站分布[图 2(b)]显示,地震发生在异常台站包裹的异常区中心,距离异常高值台站很近。该方法对发震地点有较好的预测效果,但预测的范围较大。

3.2 地磁垂直分量加卸载响应比

选取新疆及邻近地区内所有地磁垂直分量(Z 分量)作为计算数据。从结算结果[图 3(a)]看,2018 年 8 月 17 日乌鲁木齐组合型磁力仪(M15)和磁通门磁力仪(GM4),以及克拉玛依台质子磁力仪

(FHD)出现了超阈值异常,其他计算台站有明显同步变化,该异常同样符合异常判据指标。

地磁垂直分量日变幅加卸载响应比异常等值线[图 3(b)]显示,地震并未发生在异常阈值线[图 3(b)中红线]上,而是发生在距阈值直线约 50 km 处。该异常出现 59 天后发生 5.4 级地震,该时段内无人为或自然环境干扰。结合震例^[8,20-21],可判定该异常为 5.4 级地震的前兆异常,震中位于异常台和无异常显示台边界附近的断裂上(图 1)。对比 2017 年精河 6.6 地震异常,本次地震前只有两个台同步出现超限高值,这可能与震级和震中位置有一定关联。

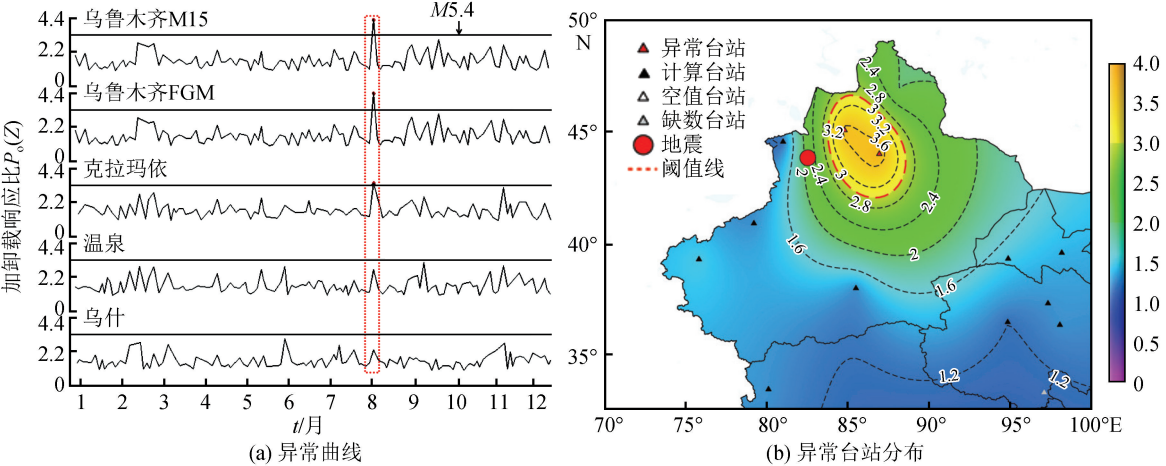


图 3 Z 分量日变幅加卸载响应比

Fig.3 Geomagnetic load-unload response ratio $P_o(Z)$ of daily geomagnetic variation of Z component

3.3 地磁低点位移

丁鉴海等^[2]利用中国地磁台网多年资料,研究了地磁垂直分量日变极小值出现的时间(低点时间)在空间分布的异常特征,即“低点位移”现象。这种少见的地磁异常现象与地震发生有较好的相关性,其发震时间绝大多数为异常日以后的 1~2 个月内,发震地区在低点位移突变分界线附近。2018 年 9 月 8 日中国大陆地磁场出现低点位移异常,低点位移线大致沿北天山地震带走向分布且异常区集中于新疆中西部地区。2018 年 10 月 16 日精河 5.4 级地震发生在低点位移突变分界线附近,低点位移预测时间为 10 月 5 日或 12 月 15 日前后四天,基本符合该方法预报地震的规律(图 4)。

3.4 地磁垂直分量日变化空间相关法

本文选取垂直分量整点值作为计算对象,每天求得一个相关系数。图 5 为地磁日变化空间相关系数的连续曲线。

从图 5 中可以看出,2018 年 9 月 18—28 日出现相关系数低值异常,且该时段的变化是全年最为

突出的相关系数低值现象。这种现象在多个台站同步出现,符合该方法的异常判据指标。从文献[6]可知,该方法冬季无效,因此冬季时段出现的相关系数低值现象不作为异常^[6]。精河 5.4 级地震发生在异常台站即温泉和乌鲁木齐台之间,两台分别距震中约 167 km 和 300 km。异常至地震发生约 18 天。此次异常跟精河 5.4 级地震时空上都有一定的关联性,可以作为该地震的短临异常。

4 异常综合分析

就单个分析方法而言,时间轴上的异常均为一段时间的持续变化,而临近地震发生的时段内并没有明显的短期异常变化(地点位移除外),因此时间预测上发震的危险性随时间的变化不明显;同时,发震地点的预测上均是较大范围预测,明确性不够。

而多方法的综合分析显示,在时间预测上地震与异常的对应情况较好(图 6)。首先自 2018 年 6 月开始天山中段地区出现较大范围的地磁每日一值空间相关异常,预示着天山中段地区有发生 5 级以

上地震的可能,发震时间预测进程上进入中短期;其次在 2018 年 8 月地磁垂直分量日变幅加卸载响应比出现异常,预示着发震概率的进一步增加,发震时间预测进程进入短临阶段;最后在 9 月 8 日地磁低

点位移和 9 月 18 日地磁垂直分量日变化空间相关出现异常,预示着发震倒计时开始。而后在 10 月 16 日发生了精河 5.4 级地震,这一时间上的渐进式变化体现了多方法综合预测的优势。

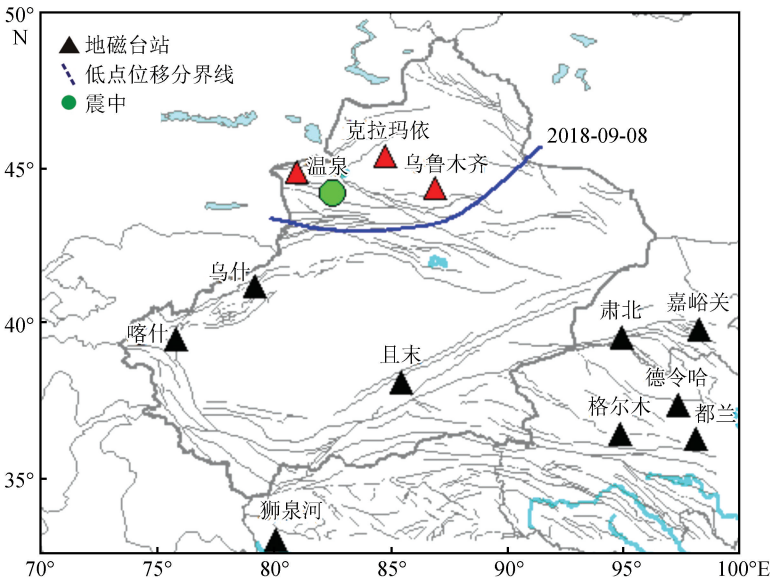


图 4 精河 5.4 级地震前地磁低点位移

Fig.4 Geomagnetic low-point displacement before Jinghe M5.4 earthquake

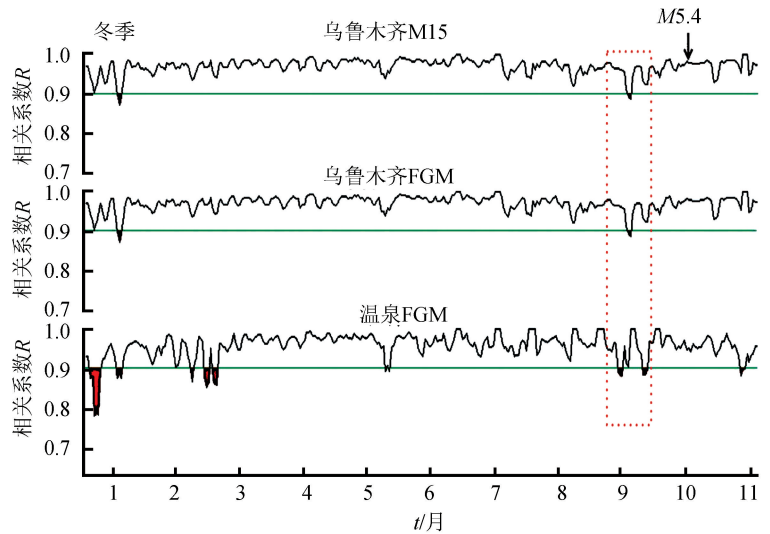


图 5 地磁日变化空间相关时序曲线

Fig.5 Spatial-correlation time-series curves of geomagnetic daily variationont



图 6 精河 5.4 级地震异常时间预报进程

Fig.6 Time prediction process of anomalies of Jinghe M5.4 earthquake

从发震地点的综合预测来看,精河 5.4 级地震发生于以上 4 个方法交汇或异常幅度最高的台站附近。以多方法重叠来判断预测地点,其结果相对单方法的预测范围有所减小,且更为可信。

5 结论与讨论

从地磁资料长时间变化形态和异常时间、异常台站等特征来看,精河 5.4 级地震前确实存在地磁

异常,其中地磁每日一值空间相关法可作为中短期预测指标,地磁加卸载响应比、地磁地点位移和地磁日变化空间相关法则属于短期预测指标。

本文通过 4 个地磁异常分析方法的综合分析,获得以下结论:

(1) 精河 5.4 级地震前多种地磁分析方法均发现异常,异常数量的增多提高了各地磁分析方法异常的可信度,同时反映了北天山地区整体区域构造应力情况。

(2) 震前地磁异常时空演化特征较明显,即距离发震时间越近异常数量增加越明显,预示着该地区发震概率的增大。2017 年精河 6.6 级地震前也出现过类似地磁异常变化^[20]。两次异常可为今后震中周围地区用地磁资料预报地震提供参考。

(3) 地磁日变化综合预测相对于单方法预测而言可以缩小预测时间和预测范围。

综上所述,地磁日变化综合预测具有可信度高、简便易行等独特优势,但是综合多方法进行预测的震例较少,需要进一步分析研究。而单个方法预测标准的准确性在其中的重要性也不容忽视。同时,期望本文结果能为将来该区域内震情判定提供一定的参考依据。

致谢:在本文撰写过程中,冯志生研究员给予了无私的指导和帮助,在此表示感谢!

参考文献(References)

- [1] 张国民,傅征祥,桂燮泰.地震预报引论[M].北京:科学出版社,2001.
ZHANG Guomin, FU Zhengxiang, GUI Xietai, et al. Introduction to Earthquake Prediction[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [2] 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.
DING Jianhai, CHE Shi, YU Surong, et al. Earthquake Prediction Method of Geomagnetic Diurnal Variation and Its Earthquake Cases[M]. Beijing: Seismological Press, 2009.
- [3] 曾小苹,续春荣,赵明,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):49-53.
ZENG Xiaoping, XU Chunrong, ZHAO Ming, et al. The Load-unload Response of Geomagnetic Field to Solar Wind and Earthquake Prediction[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 1996, 17(1): 49-53.
- [4] 冯志生,林云芳,王建宇,等.江苏地磁加卸载响应比的异常标志体系[J].地震,2000,20(2):61-68.
FENG Zhisheng, LIN Yunfang, WANG Jianyu, et al. Anomaly Index System of Geomagnetic Load-Unloading Response Ratio

- in Jiangsu Area[J]. Earthquake, 2000, 20(2): 61-68.
- [5] 冯志生,王建宇,蒋延林,等.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.
FENG Zhisheng, WANG Jianyu, JIANG Yanlin, et al. Ratio of Daily Variation Amplitude of Geomagnetic Vertical Component and Its Relation with Earthquake[J]. South China Journal of Seismology, 2001, 21(2): 20-27.
- [6] 冯志生,王建宇,梅卫萍,等.江苏地区地磁 Z_{21} 测值空间相关异常及其标志体系[J].地震地磁观测与研究,2000,21(1):44-49.
FENG Zhisheng, WANG Jianyu, MEI Weiping, et al. The Anomaly Index of Spatial Correlation of Geomagnetic Z_{21} Value in Jiangsu Area[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2000, 21(1): 44-49.
- [7] 李鸿宇,袁桂平.强震前地磁总场 F_{02} 测值的空间相关特征研究[J].地震,2018,38(1):157-166.
LI Hongyu, YUAN Guiping. Spatial Correlation Characteristics of Geomagnetic Total Field before Strong Earthquakes[J]. Earthquake, 2018, 38(1): 157-166.
- [8] 戴苗,冯志生,刘坚,等.南北地震带地磁加卸载响应比应用研究[J].地质科技情报,2017,36(4):222-227,249.
DAI Miao, FENG Zhisheng, LIU Jian, et al. Application of Geomagnetic Load-Unload Response Ratio Method in North-South Seismic Belt[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(4): 222-227, 249.
- [9] 朱燕,史勇军,巴克,等.地磁加卸载响应比方法应用初探[J].内陆地震,2001,15(3):232-239.
ZHU Yan, SHI Yongjun, BA Ke, et al. Application of Loading/Unloading Response Ratio to Geomagnetism[J]. Inland Earthquake, 2001, 15(3): 232-239.
- [10] 马亮,张博.2016 年青海门源 $M_s 6.4$ 地震前的地磁变化[J].地震工程学报,2016,38(增刊 2):197-202.
MA Liang, ZHANG Bo. The Variations of Geomagnetic before the Menyuan $M_s 6.4$ Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(Supp2): 197-202.
- [11] 袁桂平,张学民,吴迎燕,等.汶川 8.0 级地震前地磁低点位移与内外源 S_q 等效电流体系关系的研究[J].地震,2015,35(3):102-112.
YUAN Guiping, ZHANG Xuemin, WU Yingyan, et al. Minimum Point Shift of the Geomagnetic Vertical Component in Diurnal Variation and the Internal-external Equivalent Current System S_q before the 2008 Wenchuan $M_s 8.0$ Earthquake[J]. Earthquake, 2015, 35(3): 102-112.
- [12] 戴勇,冯志生,杨彦明,等.2014 年云南盈江 6.1 和鲁甸 6.5 级地震前地磁垂直分量日变化空间相关异常特征[J].地震,2017,37(3):138-147.
DAI Yong, FENG Zhisheng, YANG Yanming, et al. Spatial Correlation Anomalies of Geomagnetic Vertical Component Diurnal Variation before Yingjiang $M 6.1$ and Ludian $M 6.5$ Earthquakes[J]. Earthquake, 2017, 37(3): 138-147.

- [13] 冯志生,梅卫萍,张秀霞,等.中强震前地磁谐波振幅比的趋势性变化特征初步研究[J].西北地震学报,2004,26(1):50-56.
FENG Zhisheng, MEI Weiping, ZHANG Xiuxia, et al. Preliminary Study on the Characteristics of Long and Medium Term Variation for the Amplitude Ratio of Geomagnetic Humorous Wave before Moderate-strong Earthquakes[J]. Northwestern Seismological Journal, 2004, 26(1): 50-56.
- [14] 龚绍京,陈化然,张翠芬,等.地磁水平场转换函数在唐山地震前的异常反应[J].地震学报,1997,19(1):51-58.
GONG Shaojing, CHEN Huaran, ZHANG Cuifen, et al. Abnormal Reaction of Geomagnetic Horizontal Field Transfer Functions before Tangshan Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 1997, 19(1): 51-58.
- [15] 戴勇,高立新,张立丰.甘—青地区地磁谐波振幅比分析[J].地震工程学报,2016,38(1):12-18,25.
DAI Yong, GAO Lixin, ZHANG Lifeng. Study on the Amplitude Ratio of Geomagnetic Harmonic Wave in Gansu—Qinghai Region[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(1): 12-18, 25.
- [16] 刘素珍,李自红,刘瑞春.2016 年 3 月 12 日运城 $M_s4.4$ 地震地磁谐波振幅比异常分析[J].地震地磁观测与研究,2018,39(2):50-56.
LIU Suzhen, LI Zihong, LIU Ruichun. Anomaly Analysis of the Amplitude Ratio of Geomagnetic Humorous for $M_s4.4$ Yuncheng Earthquake in 2016[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2018, 39(2): 50-56.
- [17] 倪晓寅,冯志生,陈莹.2013 年岷县 6.6 级地震前天水台磁通门秒数据异常提取分析[J].地震工程学报,2016,38(增刊 2):203-207.
NI Xiaoyin, FENG Zhisheng, CHEN Ying. Extraction and Analysis of Anomalies of the Second Data from GM4 Fluxgate Magnetometer at Tianshui Station before the 2013 Minxian $M_s6.6$ Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2016, 38(Supp2): 203-207.
- [18] 何畅,冯志生.极化方法在成都地磁台的应用研究[J].地震学报,2017,39(4):558-564,633.
HE Chang, FENG Zhisheng. Application of Polarization Method to Geomagnetic Data from the Station Chengdu[J]. Acta Seismologica Sinica, 2017, 39(4): 558-564, 633.
- [19] 张敏,赵石柱,贾路.2016—2017 年新疆区域震磁异常信息提取[J].内陆地震,2018,32(3):206-212.
ZHANG Min, ZHAO Shizhu, JIA Lu. Extract Seismic Anomaly before Xinjiang Earthquake from 2016 to 2017[J]. Inland Earthquake, 2018, 32(3): 206-212.
- [20] 艾萨·伊斯马伊力,高丽娟,邢喜民.2016 年 12 月 8 日呼图壁 $M_s6.2$ 地震前地磁异常[J].内陆地震,2017,31(3):270-275.
AISA · YISIMAYILI, GAO Lijuan, XING Ximin. Geomagnetic Anomalies before Hutubi Earthquake with $M_s6.2$ on December 8th, 2016[J]. Inland Earthquake, 2017, 31(3): 270-275.
- [21] 艾萨·伊斯马伊力,黄恩贤,高丽娟.2017 年精河 $M_s6.6$ 地震前地磁异常特征分析[J].中国地震,2017,33(4):764-770.
AISA · YISIMAYILI, HUANG Enxian, GAO Lijuan. Analysis on Geomagnetic before the Jinghe $M_s6.6$ Earthquake in 2017[J]. Earthquake Research in China, 2017, 33(4): 764-770.