

崔泽岩,张肖,王慧,等.河北省流动地磁观测异常特征分析[J].地震工程学报,2018,40(2):329-334.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.02.329

CUI Zeyan,ZHANG Xiao,WANG Hui, et al. Anomaly Characteristics of Mobile Geomagnetic Observation in Hebei Province [J].China Earthquake Engineering Journal,2018,40(2):329-334.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.02.329

河北省流动地磁观测异常特征分析^①

崔泽岩¹,张肖¹,王慧¹,刘静²,李金³,苏树朋¹

(1. 河北省地震局流动测量队,河北保定071000; 2. 河北省地震局石家庄中心台,河北石家庄050021;
3. 河北省地震局唐山中心台,河北唐山063200)

摘要:运用1986—2009年河北省流动地磁观测资料,分析其地磁总场强度测值时间变化与空间分布特征,找出流磁异常特征。结果表明:流动地磁变化与该区的地震活动存在一定关系,且震前异常多在震前1—2年出现, δ_F 值存在“连续大幅上升—临震大幅转折下降”的异常变化特征。

关键词:流动地磁;地磁场总强度;异常特征

中图分类号:P315

文献标志码:A

文章编号:1000-0844(2018)02-0329-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.02.329

Anomaly Characteristics of Mobile Geomagnetic Observation in Hebei Province

CUI Zeyan¹, ZHANG Xiao¹, WANG Hui¹, LIU Jing², LI Jin³, SU Shupeng¹

(1. Mobile Survey Team of Earthquake Agency of Hebei Province, Baoding 071000, Hebei, China;
2. Shijiazhuang Seismic Station, Earthquake Agency of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, Hebei, China;
3. Tangshan Seismic Station, Earthquake Agency of Hebei Province, Tangshan 063200, Hebei, China)

Abstract: In this study, the temporal variation and spatial distribution characteristics of geomagnetic total intensity in mobile geomagnetic observation were analyzed using the mobile geomagnetic observation data from Hebei province between 1986 and 2009; in addition, the characteristics of mobile geomagnetic anomalies were discussed. The results show that there is a certain relation between the mobile geomagnetic changes and earthquakes in the area. The precursory anomalies usually appear 1~2 years before the earthquake. The δ_F value has the variation characteristic of “continuous sharp rise—impending sharp decline.” The bigger the magnitude the larger is the geomagnetic anomaly. In this study, only $M_L \geq 4.0$ earthquakes occurring in the monitoring area can reveal seismic change information that can better predict the earthquake.

Key words: mobile geomagnetic; geomagnetic total intensity; anomaly characteristics

0 引言

流动地磁观测作为地磁观测手段之一,是应用

高精度磁力仪在监测区域进行高密度布设。其是对区域定点地磁观测台网的有力补充,可以较好地反映出局地区地磁场的变化信息^[1]。研究局

① 收稿日期:2016-11-15

作者简介:崔泽岩,男,助理工程师,主要从事流动地磁学科监测与分析预报工作。E-mail:56274871@qq.com。

部地区地磁场在震前的空间分布和时间变化特征,对分析研究该区域地磁场的变化有重要的意义。本文运用监测区域内 28 个流动地磁测点的 F 测值和 δ_F 为信息源进行分析,进而探讨河北地区流动地磁场变化特征与地震的关系。

1 河北流动地磁测量概况

河北省流动地磁观测始于 1973 年,现有区域监

测测点网络两个(图 1):“华北环流动地磁观测测网”(简称“华北环”)和“冀豫环流动地磁测网”(简称“冀豫环”)。“华北环”有石家庄、沧州、唐山、北京、张家口、廊坊等 14 个测点,其地处华北地区,包括太行断裂、燕山沧东断裂等。该测网监视着京津唐张地区的地震活动,为全国重点监测区;“冀豫环”主要有邯郸、安阳、大名、南乐、内黄、邢台、林县、涉县、武安共 14 个测点,其主要构造带有磁县、大名、紫山—

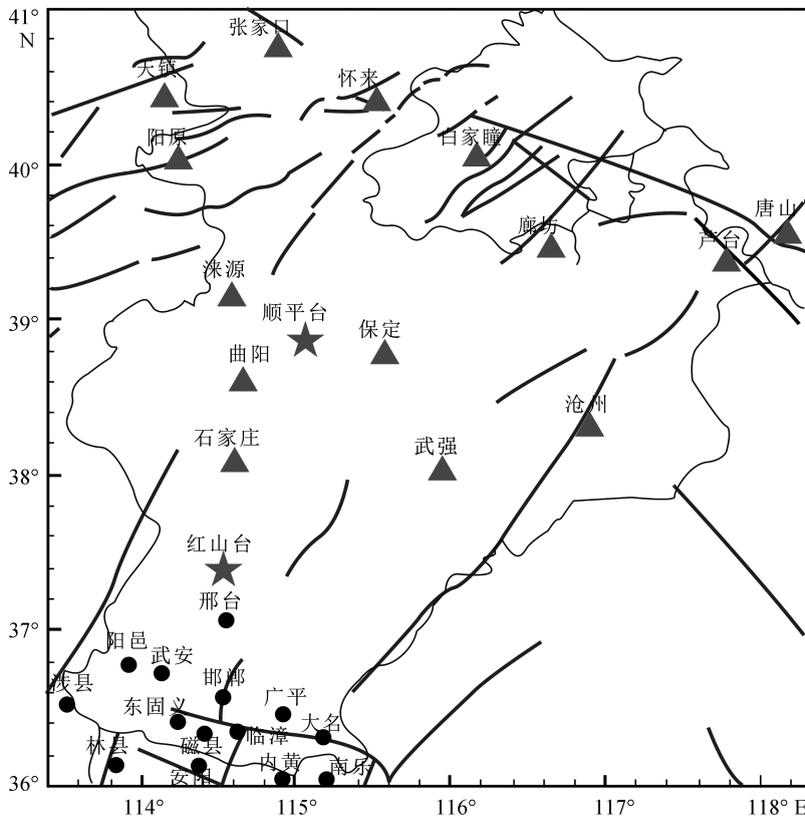


图 1 河北省流动地磁测点分布示意图(三角形符号代表华北环测点,圆形符号代表冀豫环测点,五星符号为通化及对比台)

Fig.1 Distribution of mobile geomagnetic observation stations in Hebei province

鼓山断裂等,该测网每年两期。河北省流动测量目前使用美国 G-856 型质子旋进式磁力仪。

2 资料处理情况

地磁场是由各种不同起源的磁场叠加而成的。就观测频段范围而言(磁场变化频率小于分钟),观测数据所描述的主要磁场成分包括:(1)外援变化磁场,其源为磁层和电离层电流体系;(2)地球主磁场及长期变化,其源为地球液体外核的磁流体动力过程;(3)岩石圈磁场,其源为岩石圈物质的感应磁化强度和剩余磁化强度之和,其分布和时间变化受岩石圈物质磁化率参数、地质构造及其运动历史、岩石

圈温度和应力状态等的控制^[2]。

地震监测预报的研究对象为岩石圈磁场的时空分布变化异常,因此需要对观测数据进行处理。通过对地磁场成分进行逐层剥离,剔除其他地磁场成分,以期获得监测区域岩石圈磁场的空间分布及时间变化信息。

测量数据的处理过程:

(1) 日变通化

借助日变站同步观测资料,将各野外地磁测点测值统一归算到同一时刻值。通过地磁日变通化降低或消除地磁观测数据中所包含的地磁短周期变化及地磁日变化(S_q)成份。为消除流动地磁观测数

据包含的地磁场日变化等外源场成份,以测距点最近距离为原则,采用单台参照法,利用观测区及周边地磁台站连续观测分钟值,对野外观测数据进行日变通化改正。本测区两测网的日变通化站同时作为测网的对比站(参考基准点),分别设于磁测环境良好的顺平台、红山台。其中顺平台测点为华北环的通化台及对比台,红山台测点为冀豫环通化台及对比台。通化日为观测周期内磁情变化相对最平静日,通化零时为北京时 00:00—03:00。

(2) 对比差值

通过计算测点与对比点通化值的差值,突出两点间内源场的差异,从中提取震磁信息。

3 流磁异常特征分析

3.1 测区地磁场总强度测值的时序变化

研究 1986 年 1 月—2009 年 12 月“华北环”测区部分测点的 F 通化值时序变化过程(图 2),从中可以看到该时段测区地磁场的变化过程具有如下特点:

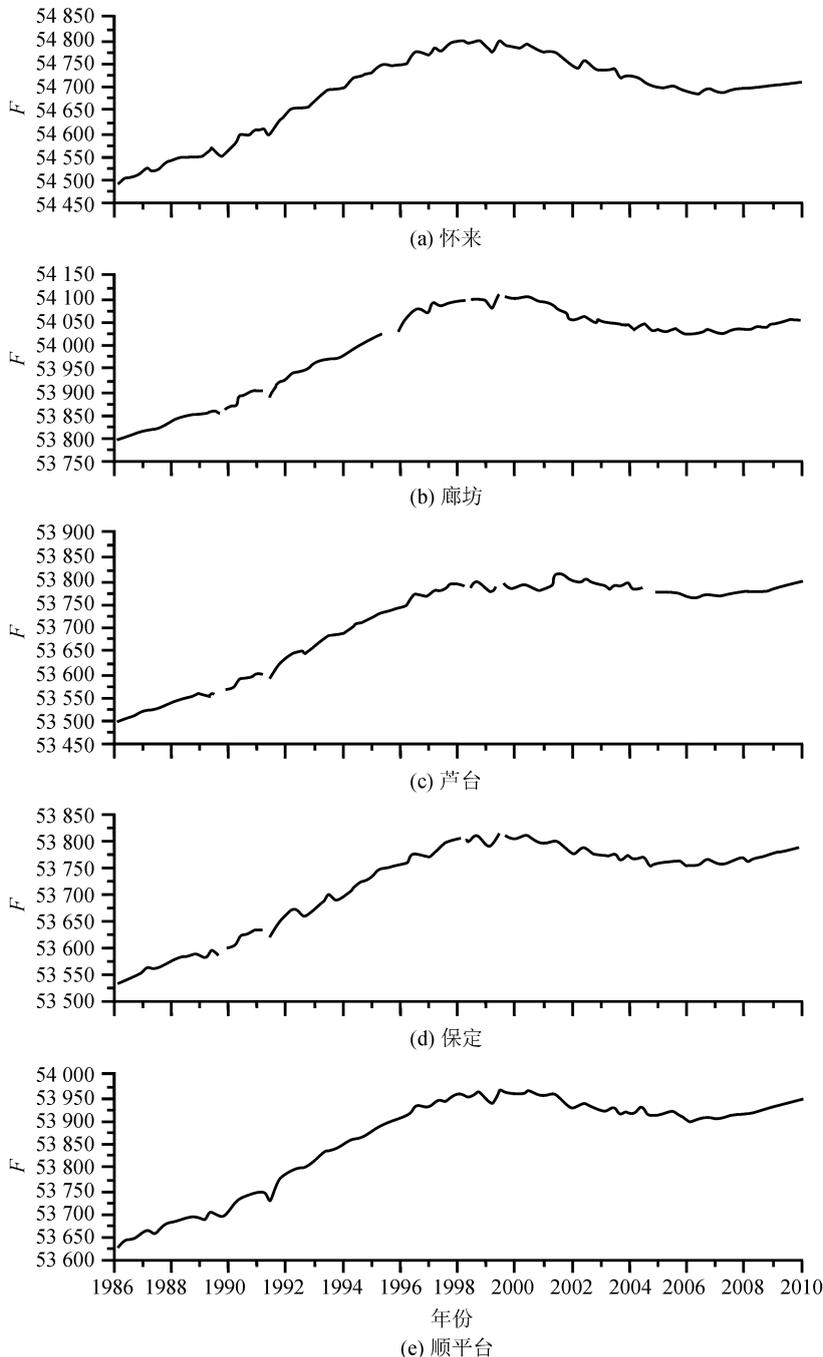


图 2 “华北环”流动地磁观测点 F 观测值的时序变化图

(1) 各测点地磁场总强度的变化过程同步性良好,体现了地磁场长期变化在局部空间具有一致性和相关性。

(2) 1986—2009年测区地磁场总强度的主要变化过程可分为三个阶段:① 1986—1998年, F 值呈稳定的准线性上升变化,平均年变率约为 26 nT/a ;② 1999—2005年, F 值缓慢下降,平均年变率约为 -5 nT/a ;③ 2006—2009年, F 值平缓上升,平均年变率约为 3 nT/a 。 F 值的变化过程与解用明等^[3]利用台站磁测资料得到的地磁场长期变化过程基本一致。

(3) 1998年1月10日尚义6.2级地震、2006年7月4日文安5.5级地震是近年来网区内震级最大的地震,均出现在 F 值转折变化时期。由此可见, F 值的转折变化可能与地震的发生存在一定关系。

(4) 各测点地磁场长期变化并不完全一致,其变化速率存在一定差异。如1999—2005年内,怀来测点 F 值下降速率明显高于其他测点,而芦台测点则低于其他测点。

从图2中还可看到,相对于几至十几nT的震磁信息量,地磁场无论本身的绝对值还是相对变化量值均远远超出该幅值范围,因此相对于震磁信息而言,地磁场本身是一个强干扰背景场,若要从中提取震磁异常信息,必须对地磁场本身正常变化采用适当的数学物理方法进行消除。

3.2 测区 F 测值的空间分布状态

通过研究“华北环”和“冀豫环”两测区的 F 通化观测值(“华北环”通化时间为2009年12月14日21时,“冀豫环”的通化时间为2009年10月5日21时)空间分布状态(图3)可以看出:

(1) 两测区的 F 值基本沿纬向分布,由低纬度区向高纬度地区递增,总体与全国地磁场分布特征一致。

(2) 两测区均有测点位于局部磁异常区,如“华北环”中白家疃、阳原测点位于正异常区,涞源测点位于负异常区;“冀豫环”中部($113.9^{\circ}\sim 114.4^{\circ}\text{E}$, $36.4^{\circ}\sim 36.8^{\circ}\text{N}$)存在显著正异常区(内有阳邑、武安、东固义测点),而南乐、安阳测点则位于负异常区。

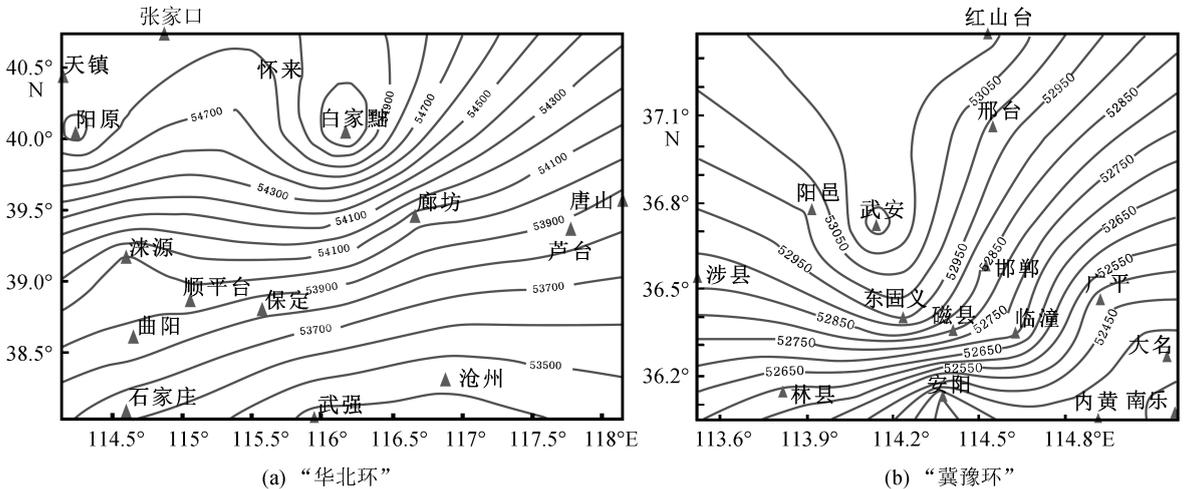


图3 两测区 F 测值空间分布

Fig.3 Spatial distribution of F values from the two-surveying areas

3.3 震磁异常特征讨论

3.3.1 典型震例分析

震磁信息在地理空间上的分布具有区域性强、流动地磁测网测点空间分布密度相对较大的特点,因此有利于捕捉震磁信息^[4]。通过结合震例对测区通化差值变化过程的初步探讨,发现一些中强震例前相应地区测点曾出现较为明显的异常变化过程,与地震的对应关系较好。具体讨论如下:

(1) 1988年7月26日丰南4.9级地震(118.08°E , 39.57°N),距震中最近的唐山测点 δ_F 震前持续大幅

上升,临震转折下降,具备突出的异常表现。1991年5月30日唐山5.6级地震(118.27°E , 39.68°N),震前唐山测点 δ_F 已连续3期呈持续上升变化,表现出一定的趋势性异常[图4(a)]。

(2) 1989年10月19日山西大同6.1级地震(113.82°E , 39.95°N),震前天镇、张家口测点 δ_F 持续两期大幅上升,转折下降过程中发生地震[图4(b)]。

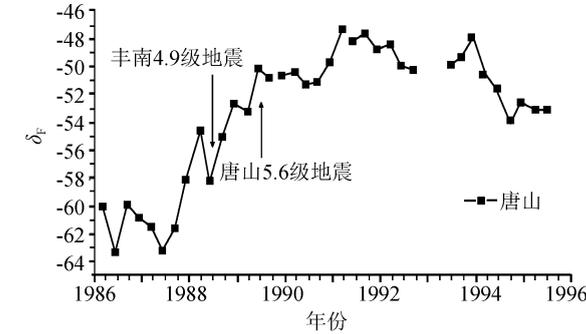
(3) 1994年12月23日怀来4.3级地震(115.55°E , 40.47°N),震前怀来测点 δ_F 曾持续4期

快速下降,在转折点发生地震,表现出突出的异常变化过程[图 4(c)].

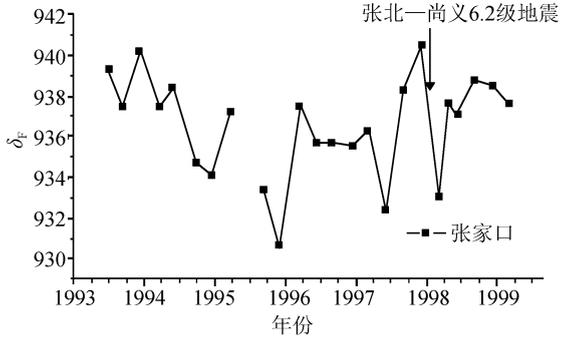
(4) 1998 年 1 月 10 日张北—尚义 6.2 级地震 (114.3°E,41.1°N),震前张家口测点 δ_F 大幅上升,在转折下降过程中发生地震[图 4(d)].

E,39.68°N),震前与其相距最近的唐山、芦台测点 δ_F 同步出现“连续大幅上升—临震大幅转折下降”的异常变化过程[图 4(e)].

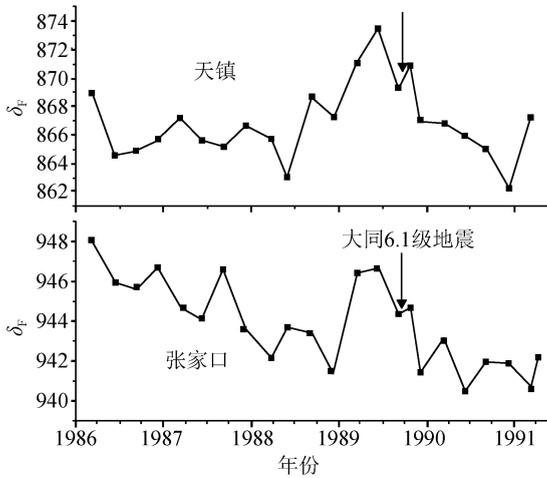
(6) 2003 年 4 月 24 日天津宁河 4.7 级地震 (117.65°E,39.35°N),芦台点 δ_F 曾连续多期出现下降变化过程[图 4(f)].



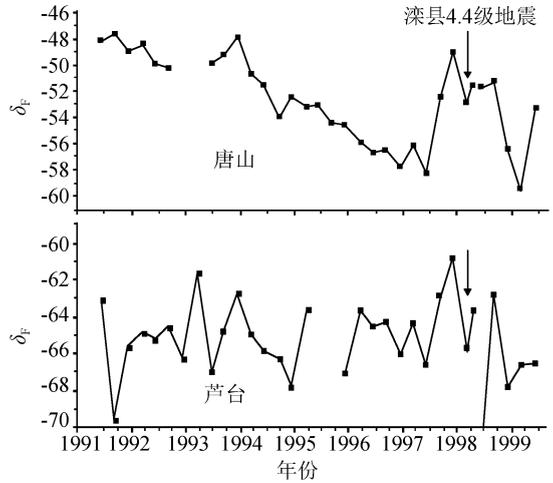
(a) 丰南 4.9、唐山 5.6 级地震



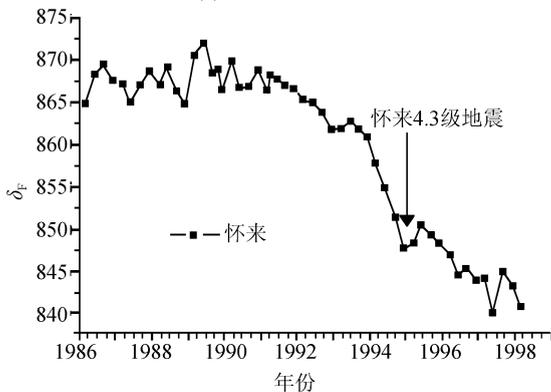
(d) 张北—尚义 6.2 级地震



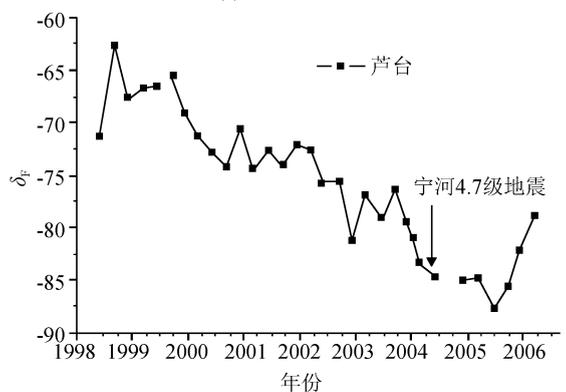
(b) 山西大同 6.1 级地震



(e) 滦县 4.4 级地震



(c) 怀来 4.3 级地震



(f) 宁河 4.7 级地震

图 4 地震前测点 δ_F 时序变化

Fig.4 Time series change of δ_F before the earthquakes

从上述震例讨论中可知,通过通化差值方法提取的震磁异常具有如下特点:

年时间;

(2) 震磁异常表现出较强的区域性,出现明显震磁异常变化的测点多集中于地震震中附近;

(1) 较明显的震前异常一般多出现于震前 1~2

(3) 多数测点 δ_F 值存在“连续大幅上升—临震大幅转折下降”的异常变化过程;一些测点在持续大幅变化的过程中发震。

此外,在其他部分地震发生前,尽管相应测点的趋势性异常变化过程不突出,但震中位置的 δ_F 空间变化分布具有一定的特点,有一定程度的空间

异常表现,如1988年3月至6月,网区 δ_F 中、东部呈现下降变化,1988年7月23日阳原5.0级地震(114.22°E,40.08°N)、1988年7月26日丰南4.9级地震(118.08°E,39.57°N)、1988年8月3日滦县4.6级地震(118.65°E,39.6°N)震中均分布于 δ_F 局部下降区极值区附近(图5),具有较明确的位置特征。

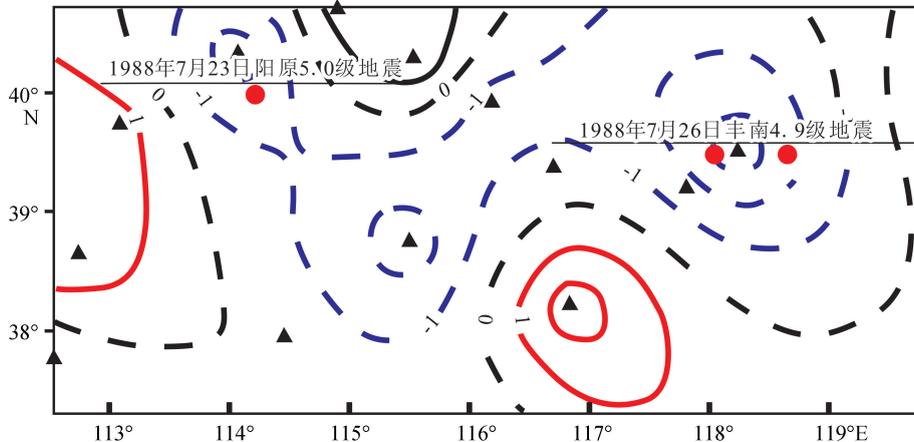


图5 1983年3月—1983年6月华北环测区 δ_F 变化空间分布

Fig.5 Spatial distribution of δ_F changes in North China rim during March to June, 1983

4 结论与讨论

地震前存在一定的震磁前兆信息,震级越大,受区域应力场及构造展布控制的地磁异常展布范围越大,磁异常信息也越显著^[5]。在此次研究中,监测区域 $M_L 4.0$ 级以上地震具有一定的震磁变化信息,与地震的对应关系较好。

(1) 各测点地磁场总强度的变化过程同步性良好,基本沿纬向分布,且由低纬度区向高纬度地区递增。

(2) 1986—2009年测区地磁场总强度的变化过程分为三个阶段:①1986—1998年, F 值呈稳定的准线性上升变化,平均年变率约为26 nT/a;②1999—2005年, F 值缓慢下降,平均年变率约为-5 nT/a;③2006—2009年, F 值平缓上升,平均年变率约为3 nT/a。

(3) 多数测点 δ_F 值存在“连续大幅上升—临震大幅转折下降”的异常变化过程,一些测点在持续大幅变化的过程中发生地震,且在震前1~2年时间出现较明显的震前异常。

(4) 震中附近测点的 δ_F 空间变化分布有一定程度的空间异常表现,具有较明显的位置特征。

(5) 中强地震发生前,河北省流动地磁监测区

域 δ_F 值出现较为明显的异常变化,与地震的对应关系较好,且与震级、震中距有一定的关系,震级越大,距离震中距越近,异常信息越明显。

参考文献(References)

- [1] 许仪西,陈新泽,方韦华,等.福建沿海地区流动地磁观测对大于 $M_L 4.0$ 级地震的映震能力分析[J].华南地震,2008,28(4):149-155.
XU Yixi, CHEN Xinze, FANG Weihua, et al. Analysis of $M_L 4.0$ Earthquake Reflecting Ability of Mobile Geomagnetic Observation in Fujian Coastal Areas[J]. South China Journal of Seismology, 2008, 28(4): 149-155.
- [2] 苏树朋,李博,宋志刚,等.晋冀蒙地磁总强度加密区观测资料分析[J].地震地磁观测与研究,2016,37(2):84-89.
SU Shupeng, LI Bo, SONG Zhigang, et al. Analysis and Application of the Observation Data of Hebei, Shanxi and Inner Mongolia Geomagnetic Total Intensity Encryption Region[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2016, 37(2): 84-89.
- [3] 解用明,高登平,王艳荣,等.近年地磁场的长期变化特征[J].华北地震科学,2007,25(1):1-5.
XIE Yongming, GAO Dengping, WANG Yanrong, et al. Characteristics of Long Term Variation of Geomagnetic Field in Recent Years[J]. North China Earthquake Sciences, 2007, 25(1): 1-5.

- CHAI Shaobo, LI Jianchun, LI Haibo, et al. Study of P-wave Propagation Across a Natural Structural Plane and Its Influence of Ground Motion[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(Supp2): 3888-3895.
- [16] 柴少波, 李建春, 李海波. 柱面波在节理岩体中的传播特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(3): 523-530.
- CHAI Shaobo, LI Jianchun, LI Haibo. Propagation Characteristics of Cylindrical Wave in Joint Rock Masses[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(3): 523-530.
- [17] LI Jianchun, MA Guowei, ZHAO Jian. Analysis of Stochastic Seismic Wave Interaction with a Slippery Rock Fault[J]. Rock Mech Rock Eng, 2011, 44: 85-92.
- [18] 刘天云, 刘光廷. 拱坝河谷三维地震动分析[J]. 水利学报, 2000(9): 79-85.
- LIU Tianyun, LIU Guangting. The Seismic Field Analysis of Arch Dam Canyon[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(9): 79-85.
- [19] 苑韦虹. 地裂缝计算模型及参数研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- YUAN Weihong. Study on Calculating Model and Parameters of Ground Fissure[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014
- [20] LI J C, LIU T T, LI H B, et al. Shear Wave Propagation Across Filled Joints with the Effect of Interfacial Shear Strength[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2015, 48(4): 1547-1557.
- [21] SCHOENBERG M. Elastic Wave Behavior Across Linear Slip Interfaces [J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1980, 68(5): 1516-1521.
- [22] ZHAO X B, ZHAO J, HEFNY A M, et al. Normal Transmission of S-wave Across Parallel Fractures with Coulomb Slip Behavior[J]. Journal of Engineering Mechanics, 2006, 132(6): 641-650.
- [23] LI J C. Wave Propagation Across Non-linear Rock Joints Based on Time-domain Recursive Method[J]. Geophysical Journal International, 2013, 193(2): 970-985.
- *****
- (上接第 334 页)
- [4] 苏树朋. 流动地磁异常信息提取的参考值确定[J]. 大地测量与地球动力学, 2010, 30(增刊 I): 44-49.
- SU Shupeng. Determination of Reference Value for Abnormal Information Extraction in Mobile Geomagnetic Survey[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, 30(Supp.I): 44-49.
- [5] 乔子云, 张建国, 焦成丽. 冀豫环流地磁观测异常与中等地震关系研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2009, 4(30): 1-6.
- QIAO Ziyun, ZHANG Jianguo, JIAO Chenli. Relationship of the Mobile Geomagnetic Anomalies in Hebei and Henan Circulation with Medium Earthquake in Surrounding Area[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2009, 4(30): 1-6.
- [6] 靳玉贞, 林木金, 范晓瑜, 等. 山西流动地磁观测异常与中等地震关系研究[J]. 山西地震, 2015(3): 1-6.
- JIN Yuzhen, LIN Mujin, FAN Xiaoyu, et al. Relationship between Anomalies of Mobile Geomagnetic Observation and Moderately Strong Earthquakes in Shanxi [J]. Earthquake Reserarch in Shanxi, 2005(3): 1-6.
- [7] 刘义高, 胡诚, 张明, 等. 流动地磁测量中地震异常信息的探索[J]. 西北地震学报, 2004, 26(4): 353-356.
- LIU Yigao, HU Cheng, ZHANG Ming, et al. Exploration for Anomalous Information in Mobile Geomagnetic Survey [J]. Northwestern Seismological Journal, 2004, 26(4): 353-356.
- [8] 李华, 黄莉菁, 许仪西. 2007 年 3 月 3 日福建顺昌 4.9、4.7 级地震前福建流动地磁观测资料异常分析[J]. 西北地震学报, 2009, 29(3): 267-274.
- LI Hua, HUANG Lijing, XU Yixi. Analysis on the Anomalies in Mobile Geomagnetic Survey Before Shunchang M4.9、4.7 Earthquakes on March 13, 2007 in Fujian Province [J]. Northwestern Seismological Journal, 2009, 29(3): 267-274.
- [9] 赵从利, 詹志佳, 高金田, 等. 北京地磁测网调整与地震预测研究[J]. 西北地震学报, 2003, 25(3): 275-280.
- ZHAO Congli, ZHAN Zhijia, GAO Jintian, et al. Readjustment of Geomagnetic Survey Network and Research on Earthquake Prediction in Beijing Area [J]. Northwestern Seismological Journal, 2003, 25(3): 275-280.
- [10] 詹志佳, 高金田, 赵从利, 等. G856 质子旋进磁力仪及其在野外震磁测量中的应用[J]. 西北地震学报, 2000, 22(1): 74-78.
- ZHAN Zhijia, GAO Jintian, ZHAO Congli, et al. G-856 Proton Precession Magnetometer and Its Application in Field Seismomagnetic Survey [J]. Northwestern Seismological Journal, 2000, 22(1): 74-78.