

张娜, 龚燕民, 苏树朋. 河北永清 4.3 级地震重、磁异常分析 [J]. 华南地震, 2020, 40 (3): 49-54. [ZHANG Na, GONG Yanmin, SU Shupeng. Analysis of the Gravity and Magnetic Anomalies of the Yongqing M4.3 Earthquake in Hebei [J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (3): 49-54]

河北永清 4.3 级地震重、磁异常分析

张 娜¹, 龚燕民², 苏树朋¹

(1. 保定地震中心台, 河北 保定 071051; 2. 易县地震台, 河北 易县 071051)

摘要: 对永清 4.3 级地震进行重力场、流磁场的空间分析, 结果表明: 地震前重力场、岩石圈磁场均出现异常; 岩石圈磁场震前异常明显, 震后异常减弱、消失; 重力场震前一般持续下降转而上升中, 将会发生地震。

关键词: 流动重力; 流动地磁; 异常; 永清地震

中图分类号: P318.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2020) 03-0049-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.03.07

Analysis of the Gravity and Magnetic Anomalies of the Yongqing M4.3 Earthquake in Hebei

ZHANG Na¹, GONG Yanmin², SU Shupeng¹

(1. Baoding Center Seismic Station, Baoding 071051, China; 2. Yixian Seismic Station, Yixian 071051, China)

Abstract: The article conducted a spatial analysis of the gravity field and flow magnetic field of the Yongqing M4.3 earthquake, and the results showed that the gravity field and the lithospheric magnetic field were abnormal before the earthquake; the anomaly of lithospheric magnetic field was obvious before the earthquake, and the anomaly weakened and disappeared after the earthquake; before the earthquake, gravity field generally continued to decline and then rise, and there will be an earthquake.

Keywords: Flow gravity; Flow geomagnetic; Abnormality; Yongqing earthquake

0 引言

地震的孕育及发生过程中, 地下能量的积累与释放过程必然会引起质量迁移、地壳形变、岩石圈介质变形, 从而导致地球重力场、岩石圈磁场的变化^[1-4]。流动重力及流动地磁这两种手段已经是地震监测预报比较成熟的手段之一, 流重和岩石圈磁场矢量定期重复的测量可为中短期地震趋势预测提供有力的依据^[5]。近年来,

对南北带、新疆地区、川藏地区 6 级以上的地震有着较好的中期预测, 特别是 2008 年汶川 8.0 级地震、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^[6-10]。

2018 年 2 月 12 日河北永清发生 4.3 级地震, 这是河北自 2016 年 9 月 10 日河北开平 M4.7 级地震后相隔 17 个月后又一次 4.0 级地震, 震中位置 (116.67°E、39.37°N) 位于流动重力大华

收稿日期: 2019-11-05

基金项目: 2014 年河北省地震局星火计划项目 (DZ20140710032)

作者简介: 张娜 (1984-), 女, 工程师, 主要从事数字形变学科、流体学科、流动重力、流动地磁数据分析与研究工作。

E-mail: zhangnayaomu@163.com

北测区河北测网及流动地磁河北测网，震前重力场、岩石圈磁场观测资料都有一定的异常反应，并在河北省地震局年度会商时给与提出，震后其趋势已恢复正常。本报告主要对这两种观测资料进行异常分析与研究，为今后地震研判积累经验。

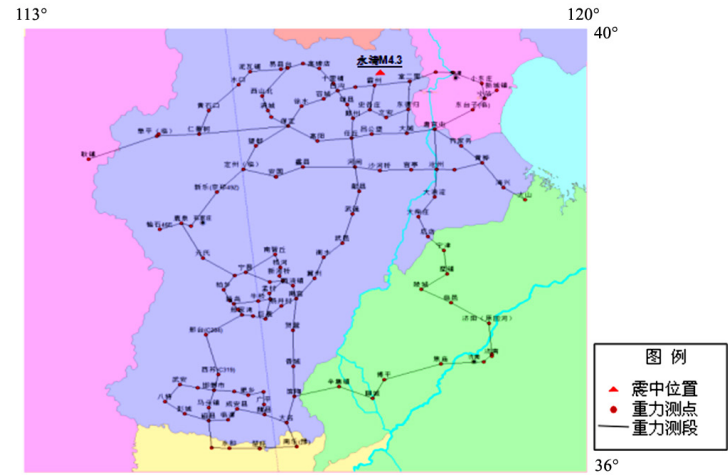


图 1 河北省流动重力测点分布
Fig.1 Distribution of mobile gravity measuring points

1 流动重力观测资料的异常分析

1.1 流动重力观测网的资料概况

大华北地区流动重力测量在 1966 年邢台地震后开始的。河北省地震局流动测量队测网原为火车、文霸、邢台、邯安 4 个重力测网，2009 年下半年根据监测范围需扩大的要求，在华北地区陆续增设了 65 个测点。现全测网共有 131 个测点，组成 143 个测段。河北流动重力测网主要覆盖河北及临近地区，测网每年 3 月、9 月两期进行测量，现在河北省流动测量队重力测点空间分布见图 1。

1.2 点值时序曲线异常分析

选取永清附近 150 km 内的唐官屯、霸州、堂二里、满城、保定、郑州、板家窝、大城及文安 9 个流动重力测点，以 2014 年第二期各测点的自由网或拟稳网平差差下获得的相对重力值，自 2015 年后 7 期重力测点值与其比较，得到差值变化绘图，从图 2 可以明确的看出 9 个测点重力值变化基本一致，2018 年 2 月 12 日永清 4.3 级地震前 2016 年第二期开始重力值持续下降，到 2017 年第二期转而上升，上升过程中发生地震。其测值震前两期、震后一期变化的具体指标见表 1。

表 1 大华北测网部分流动重力点位震前、后的测值变化
Table 1 Variations of measured values before and after earthquakes at some mobile gravity measuring points in the North China Network

测点名称	震中距 /(km)	震前 2 期资料		震前 1 期资料		震后 1 期资料	
		观测周期	变化值 / (μGal)	观测周期	变化值 / (μGal)	观测周期	变化值 / (μGal)
唐官屯	72		-28.4		0.5		21.6
霸州	65.6		-24.9		-54.4		67.8
堂二里	31.2		-19		-32.7		59.3
满城	132	2016 年 8 月 —	-64.7	2017 年 5 月 —2017 年 10 月	-5.2	2017 年 10 月 —2018 年 5 月	45.5
保定	122	2017 年 5 月	-39.4		0.9		32.7
郑州	135		-33.7		-14		30.5
板家窝	42.9		-36.5		-19.5		88.1
大城	127		-42.7		-4.5		28.2

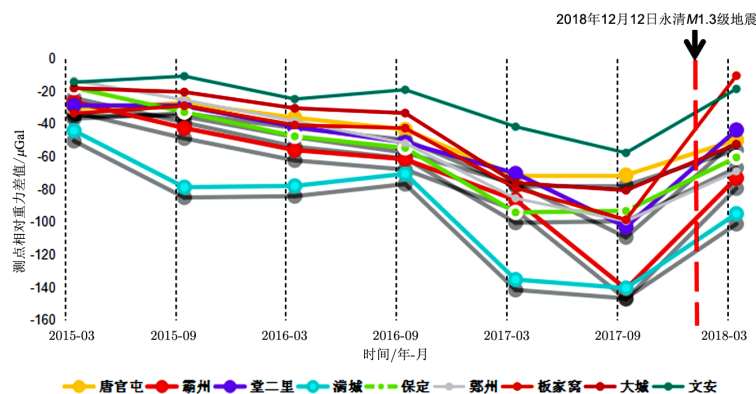


图 2 重力测点时序图
Fig.2 Sequence diagram of gravity measuring points

1.3 重力场空间异常分析

通过对流动重力测网相邻两期的测点重力值变化，即相邻两期的测点重力值相减而得到，绘制成等值线图来反映整个测网的重力场的空间变化。通过 2016 年 9 月—2017 年 3 月相邻两期重力等值线图可以清晰地看出重力测网自“0”重力等值线以北重力值呈现下降趋势，而以南地区重力值为高异常区，永清地震震中附近文安、霸州地区主要是低异常，值大约在 20~35 μ Gal；而 2017 年 3 月—2017 年 9 月 (图

3b) 整个测网与上一期 (图 3a) 重力值相比，发生了反转，测网北部呈现高异常区，南部呈现负异常区，但是永清地震震中附近文安、霸州地区依旧持续低异常，因此该地区值得我们注意。永清地震前至地震发生 (图 3c) 整个流动重力网测区在“0”重力等值线右侧为正高异常，左侧为负异常，永清地震震中附近地区没有持续下降，而转为正异常，继而发生永清 4.3 级地震。

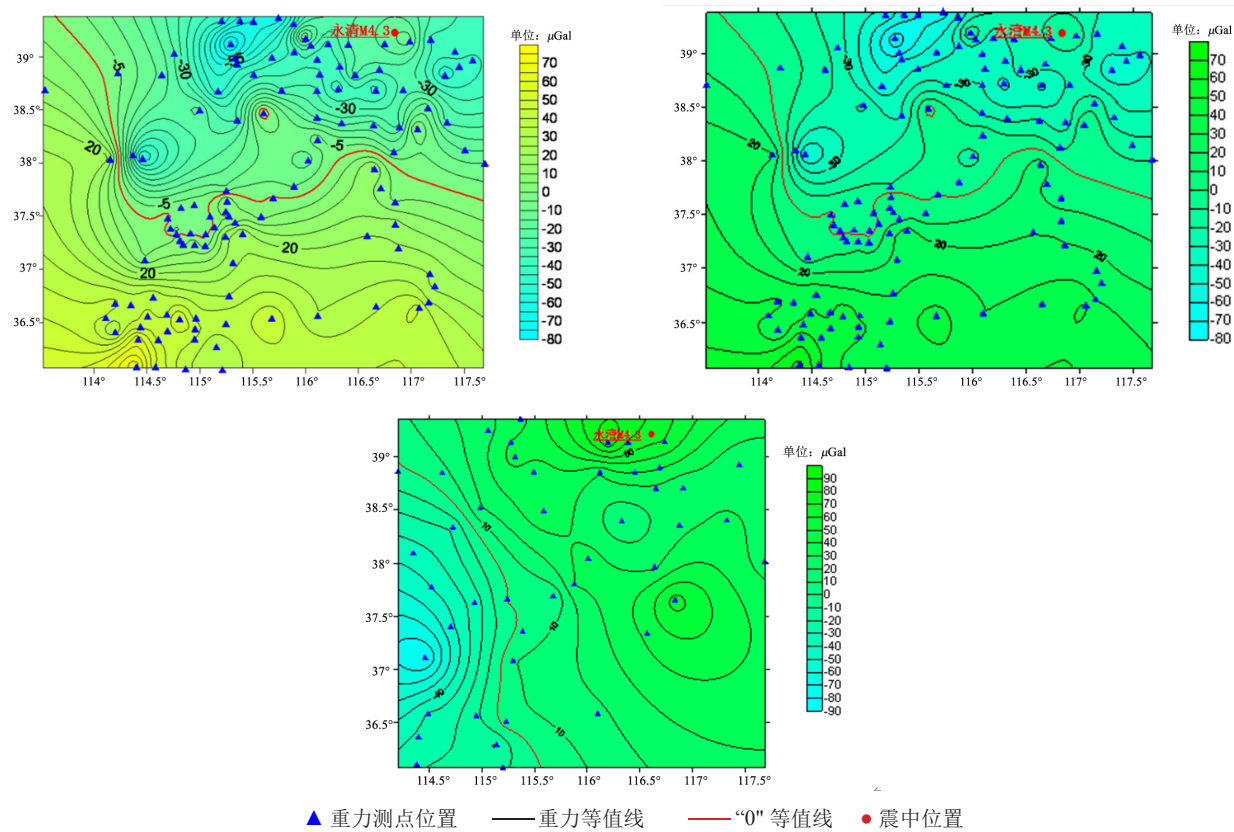


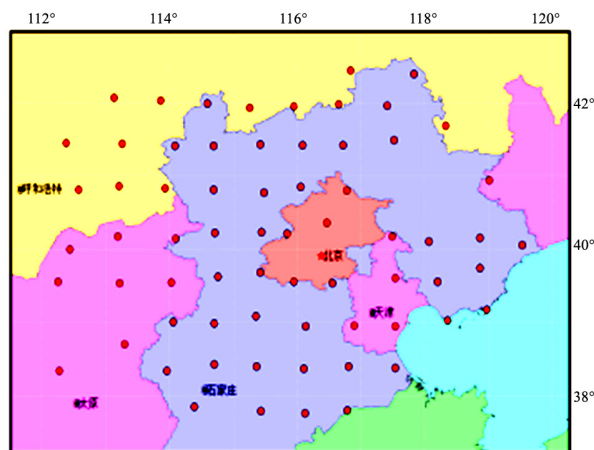
图 3 重力测网相邻两期等值线图
Fig.3 Contour maps of two adjacent periods of gravity network

2 流动地磁数据异常分析

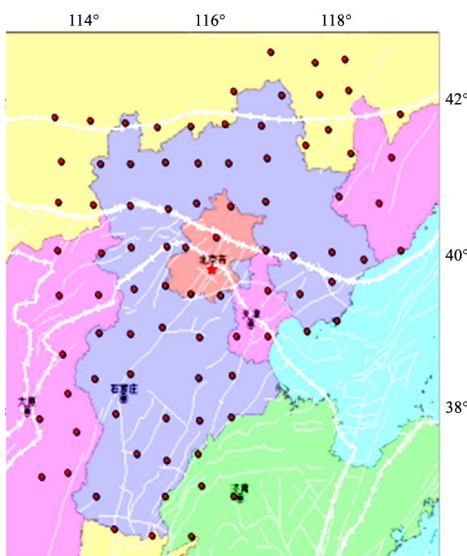
2.1 流动地磁测网情况介绍

大华北地区流动地磁矢量河北省相关测区共计 92 个测点, 涵盖整个河北地区及邻近地区, 平均点距约为 30 km, 其中 2017 年测区排除迁点、个别孤立异常测点后, 最终数据处理模型计算及异常分析所采用的测点个数为 67 个 (图 4a), 测量时段为 2017-08-20—2017-09-30, 地磁

日变通化零日选择为 2017-09-23; 2018 年在数据处理过程中排除 5 个新迁测点, 最终数据处理模型计算及异常分析所采用的测点个数为 87 个 (图 4b), 测量时段为 2018-03-06—2018-04-29, 地磁日变通化零日选择为 2018-04-16。流动地磁数据异常判定主要针对相邻两期半年长及一年长的监测区岩石圈磁场的变化模型计算, 综合 F 、 H 、 Z 、 D 、 I 要素及 H 、 Z 矢量 7 个要素进行异常判定及分析。作者此次选定其中的 H 、 Z 矢量及 F 、 D 分量进行具体分析。



(a) 2017-08-20—2017-09-30 资料处理所采用的地磁矢量测点



(b) 2018-03-06—2018-04-29 资料处理所采用的地磁矢量测点

图 4 流动地磁河北及邻区矢量测点分布图 (为矢量测点)

Fig.4 Distribution map of vector points of mobile geomagnetic in Hebei and its adjacent areas

2.2 流动地磁矢量数据异常分析

2.2.1 H 矢量异常分析

岩石圈磁场 H 矢量数据通过 H 要素模型计算出来的, 通过监测区岩石圈磁场 H 矢量自 2017 年 3 月—2018 年 4 月相邻两期可以看出

2017 年 3 月到 2017 年 9 月 (图 5a), 整个测区东、北部 H 矢量总体表现为西向方向, 幅值较小; 测区西部 H 矢量则表现为均匀、高幅值、西北方向, 测区中部 H 矢量则方向较为散乱, 幅值较低出现京西北晋、冀、蒙三省交界地区、京

西南冀中地区、津南冀津交界地区（以下简称“晋冀蒙”、“冀中”、“津南”异常区）。而 2017 年 9 月—2018 年 4 月（图 5b），测网幅值较低，相对比较散乱，晋冀蒙异常比较明

显，冀中异常相对弱化，可能与 2.12 永清 4.3 级地震发生后，整体岩石圈磁场恢复有关，而津南异常消失。

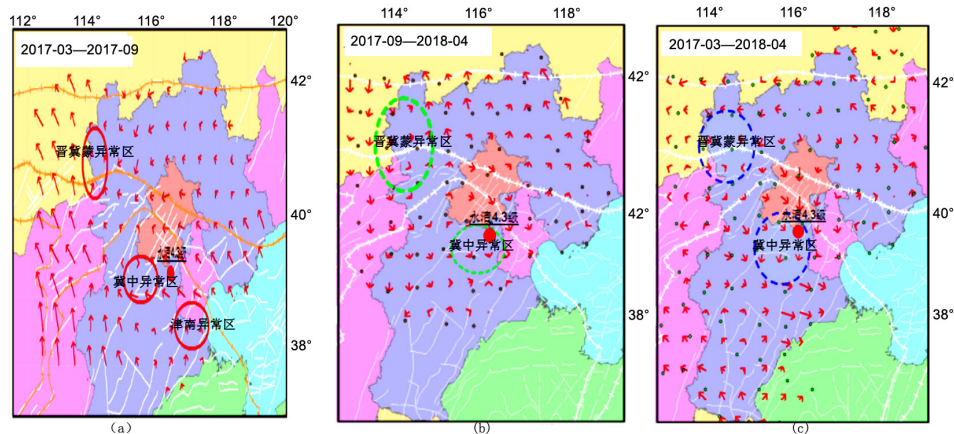


图 5 监测区岩石圈磁场 H 分量变化矢量图

Fig.5 Vector map of H component variation of lithospheric magnetic field in monitoring area

H 矢量 2017 年 3 月—2018 年 4 月模型计算结果 H 要素等值线间隔为 2 nT（图 5c）可以清晰地看出测网整体分布形态较为散乱，幅值变化较小，与测区内的主要地震地质构造的空间相关性不强；河北省南部的 H 矢量较为平顺，异常表现弱于中、北部地区；相对明显的异常变化出现在晋冀蒙及冀中地区，该 2 个部位均出现 H 矢量方向与幅值变化现象。

2.2.2 Z 矢量异常分析

监测区岩石圈磁场 Z 矢量相邻两期 Z 要素数据模型计算出来的，2017 年 3 月到 2017 年 9 月（图 6a），整个测区除京南及天津大部外，测区其它部位 Z 矢量均呈上升变化，西北部幅值

较高。“晋冀蒙异常区”部位 Z 矢量幅值突变，“京西南异常区”部位 Z 矢量反向，“津南异常区”部位则同时存在 Z 矢量反向与幅值突变现象；2017 年 9 月—2018 年 4 月（图 6b）， Z 矢量均保持相对散乱、低幅值特征，与 H 矢量模型计算结果图比较相像，在永清 4.3 级地震后冀中异常逐渐减弱。 Z 矢量自 2017 年 3 月—2018 年 4 月（图 6c），整体变化幅值较低，其空间分布形态与主要地震地质构造的相关性不强，以测区中间为界，测区可分为总体上升区和下降区；相对而言，河北省南部 Z 变化矢量较为均匀一致；晋冀蒙及冀中地区均出现 Z 矢量方向与幅值变化现象。

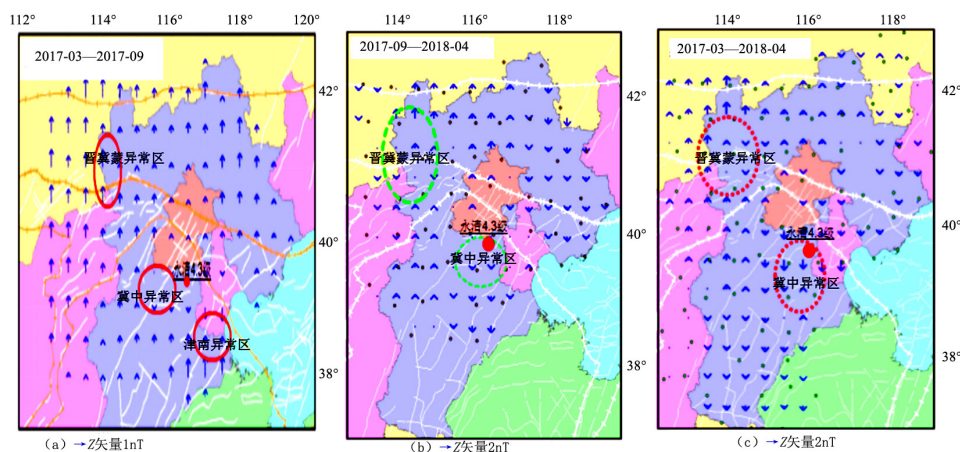


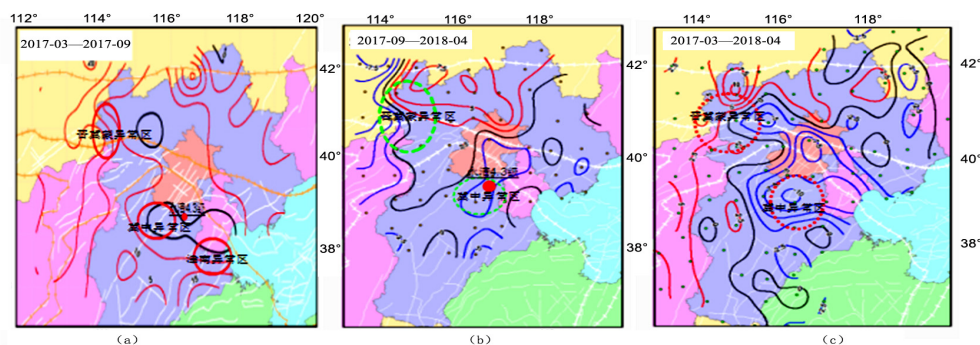
图 6 监测区岩石圈磁场 Z 分量变化矢量图

Fig.6 Vector map of Z component variation of lithospheric magnetic field in monitoring area

2.2.3 F 要素

监测区 F 要素 2017 年 3—9 月图 7a) 总体呈现上升变化, 最大值超过 20 nT, 仅在京南、天津一带、京西北局部出现小范围负异常区。“晋冀蒙异常区”位于 F 要素变化高梯级带, “京西南异常区”位于“0”等值线上, “津南异常区”则同时具备“0”等值线与高梯级带特征; 而 2017 年 9 月—2018 年 4 月 (图 7b) 晋冀蒙地

区的地磁异常变化仍然存在, 冀中地区的异常现象则明显消退、弱化。 F 要素 2017 年 3 月—2018 年 4 月 (图 7c) 变化幅值较低, 在 +10~10 nT 之间; 最显著的异常变化集中出现在测区中部的西北—东南走向的高值负异常区及其周围伴生的磁场变化高梯级带一带, 晋冀蒙及冀中地区分别位于正、负异常区交汇处的高梯级带及负值变化核心区。



(单位: 分) 等值线间隔为 0.3 分

图 8 监测区岩石圈磁场 D 分量变化图

Fig.8 D component variation of lithospheric magnetic field in the monitoring area (unit: minute)

3 分析与讨论

通过对 2018 年 2 月 12 日永清 $M_{4.3}$ 地震震前、震后流动重力及岩石圈磁场的具体分析, 可以清晰地得到以几点:

(1) 永清地震震前流动重力、岩石圈磁场的观测资料均出现前兆异常, 地震发生在重力场持续加速下降转折上升的过程中, 岩石圈磁场在震前该地区异常特征表现突出, 4 个要素基本同时出现异常。

(2) 地震发生在重力场、岩石圈磁场正负变化的“0”等值线附近, 特别是重力场震前出现高异常的警示区。

(3) 岩石圈磁场在永清地震后“冀中地区”的异常现象较为则弱化、消失, 应与永清 4.3 级地震的震中位置与发震时间有关。

(4) 震前的流动重力、地磁资料异常变化主要以中短期异常有关, 变化幅度很大, 这与我们习惯性认知的趋势性前兆异常的有所不同。主要是因为产生前兆异常的原因复杂性, 单一的流动测量时间上、空间上、方法上具有局限性, 因而前兆异常的判定, 需要我们结合多种观测资料、多种分析方法进行综合判定, 更好的捕捉前兆信息, 为地震预报添砖加瓦。

参考文献

- [1] 苏树朋, 张跃刚, 史彦华, 等. 邢台 5.4 级地震前的流动重力和地磁异常初步研究 [J]. 地震地磁观测与研究, 2009, 30 (1): 56-63.
- [2] 顾春雷, 张毅, 顾左文, 等. 华北地震区岩石圈磁异常场零值线与中强震震中分布关系 [J]. 地震工程学报, 2012, 34 (2): 174-179.
- [3] 刘义高, 胡斌, 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.
- [4] 陈斌. 自然正交分量方法在地震地磁监测中的应用 [J]. 地震研究, 2011, 34 (4): 466-469.
- [5] 罗兰格, 韩渭宾, 刘耀炜. 强地震中短期预报方法及其效能研究 [M]. 北京: 地震出版社, 2002: 166-176.
- [6] 孙少安, 项爱民, 李辉. 滇西和北京区域重力场演化及其与地震关系的探讨 [J]. 地震, 1999, 19 (1): 97-106.
- [7] 申重阳, 李辉, 孙少安, 等. 2008 年于田 $M_{7.3}$ 地震前重力场动态变化特征分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2010, 30 (4): 1-7.
- [8] 祝意青, 陈兵, 张希, 等. 景泰 5.9 级地震前后的重力变化研究 [J]. 中国地震, 2001, 17 (4): 356-363.
- [9] 祝意青, 胡斌, 张永志. 永登 5.8 级地震前后的重力场动态图象特征研究 [J]. 地壳形变与地震, 1999, 19 (1): 71-77.
- [10] 祝意青, 申重阳, 张国庆, 等. 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.