

苏树朋, 李博, 云萌. 应用趋势面分析法去除流磁观测成果中的区域性变化成分[J]. 地震工程学报, 2019, 41(3): 740-744. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.740

SU Shupeng, LI Bo, YUN Meng. Application of the Trend Surface Analysis Method to Removing the Regional Variation Components from Mobile Geomagnetic Observation Results[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(3): 740-744. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.740

应用趋势面分析法去除流磁观测成果中的 区域性变化成分

苏树朋, 李 博, 云 萌

(河北省地震局, 河北 保定 071000)

摘要: 采用相关地磁总强度加密区观测资料, 利用趋势面分析方法对监测区岩石圈磁场变化中的区域性成分进行研究和讨论。结果表明, 利用趋势面分析方法可以有效确定和去除监测区岩石圈磁场的区域性变化成分, 使局部异常成分的空间分布形态更加明确、合理, 有助于我们对前兆异常进行识别。

关键词: 趋势面; 岩石圈磁场; 局部异常; 地震

中图分类号: P318

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)03-0740-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.740

Application of the Trend Surface Analysis Method to Removing the Regional Variation Components from Mobile Geomagnetic Observation Results

SU Shupeng, LI Bo, YUN Meng

(Earthquake Agency of Hebei Province, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: The results of mobile geomagnetic data processing may contain significant trend components, which interfere with the identification of anomalous information, and their removal thus becomes necessary. In this paper, the trend surface analysis method was applied to determine and strip the trend components from mobile geomagnetic data processing results. The results showed that the trend surface analysis method could effectively determine and remove the regional variation components of the lithosphere magnetic field in the monitoring area, and make the spatial distribution of the local anomalous components clearer and more reasonable. This is helpful for the identification of precursory anomalies. The technological ideas adopted in this paper are innovative, and the process of technological treatment is relatively simple, operable, and clear in its physical significance.

收稿日期: 2018-08-20

基金项目: “河北省地震局监测、预测、科研三结合课题——京津冀地区小空间尺度岩石圈磁场地震地质特征研究”; “地震监测预报经常性项目——河北省地震局流动地磁 2018 年度常规监测任务”

第一作者简介: 苏树朋(1975—), 男, 河北博野人, 高级工程师, 主要从事流动地磁监测预报工作。E-mail: ssp-11@163.com。

Keywords: trend surface; lithosphere magnetic field; local anomaly; earthquake

0 引言

流动地磁测量的目的是研究局部地区的地磁场在 地震前的空间分布和时间变化特征,为地震预报工 作服务^[1]。随着地震与地磁关系研究工作的深入,很多专家、学者发现地震的孕育、发生过程能够 引起地球磁场的时、空异常变化,地磁场特别是其岩 石圈地磁场成分,与地震关系密切^[2-8]。流动地磁测 量数据经过日变通化改正、主磁场长期变化改正、主 磁场剥离等技术处理过程后,可获取当期监测区岩 石圈磁异常场数据集,两期岩石圈磁场数据集相减, 即可获得 2 期测量间的岩石圈磁场变化数据集^[9]。 在观测资料的实际应用过程中,由于通化零日选择的 随机性、长期变模型计算偏差、台站数据局部异常 变化等问题的影响,监测区岩石圈磁场变化结果经 常残存区域性变化成分,严重时会出现大区域、系统 性变化的情况,具体表现为岩石圈磁场变化正、负 异常区控制面积严重失衡,测区内各测点岩石圈磁 场变化均值明显偏离 0 值,甚至出现全部测点的变 化值整体为正或负的极端情况,严重影响了局部异 常的识别工作。基于此,本文拟通过测量实例和相 关地震实例,应用趋势面分析方法确定并去除监测 区岩石圈磁场变化的区域性成分,以使其局部异常

成分的显示更加明确、合理,有助于前兆异常研判 工作。

1 观测实例与处理方法

1.1 观测实例

“晋冀蒙”地磁总强度加密区建于 2014 年,其布 设的目的为弥补大华北地区流动地磁矢量测量时间 分辨率和空间分辨率的不足,强化该地区的流动地 磁监测工作。加密区测点总数为 134 个,平均点距 约 20 km,重复监测周期为 2 期/年,观测作业执行 《流动地磁测量基本技术要求》及其规范性附录^①。 通过野外测量作业,形成该区域的观测数据集,进 而建立该监测区不同时间断面的岩石圈磁异常场模 型及其变化模型,主要用于描述时间尺度为半年的岩 石圈磁场局部异常变化,为该地区的震情会商工作 提供地磁学基础依据和判定。

测网建成后,于 2014 年 4 月、2014 年 9 月完 成了前 2 期测量工作,所产出的观测数据集经过日变 通化改正、长期变化改正、主磁场剥离、2 期岩石圈 磁场差值计算等技术处理后,获取 2 次测量期间的 监测区岩石圈磁场变化数据集,其空间分布形态如 图 1 所示。

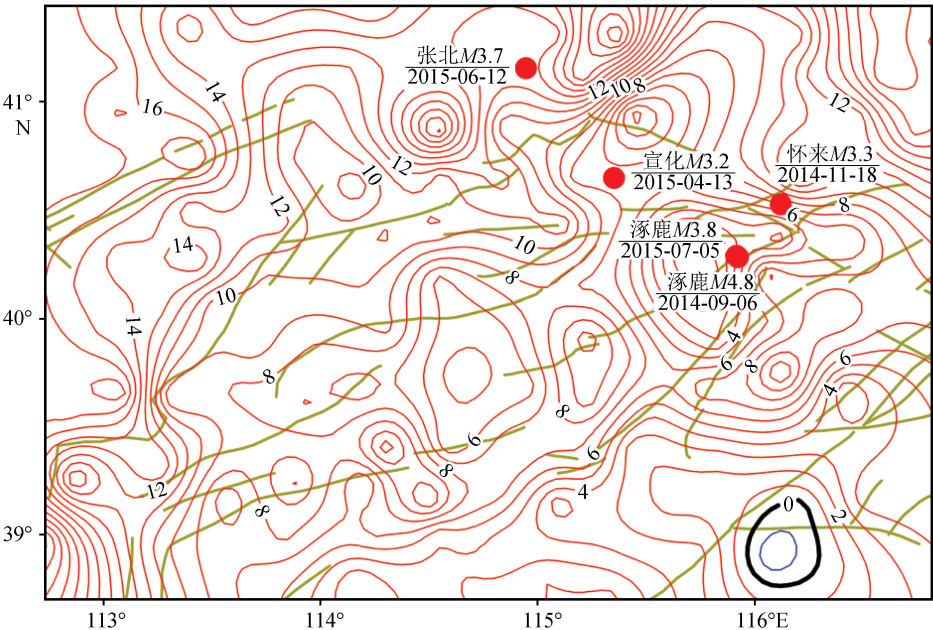


图 1 2014 年 4—9 月监测区岩石圈磁场变化空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of lithosphere magnetic field changes in the monitoring area from April to September, 2014

① 中国地震局监测司.关于印发《流动地磁测量基本技术要求(试行)》的通知(中震测函[2015]39 号),2015.

为更好地展示拟采用处理方法的实际应用效果,我们将结合第 2 期观测完成后 1 年(2014 年 9 月—2015 年 9 月)期间发生在监测区内的 5 次 3.0 级以上地震进行讨论。5 次地震基本情况如表 1 所列。

表 1 2014 年 9 月—2015 年 9 月测区内发生的 3.0 级以上地震

Table 1 $M_L>3$ earthquakes occurred in the study area from September 2014 to September 2015

序号	日期	经度 /(°)	纬度 /(°)	震级 / M_L	参考地点
1	2014-09-06	115.428	40.278	4.8	河北涿鹿
2	2014-11-18	115.625	40.522	3.3	河北怀来
3	2015-04-13	114.856	40.644	3.2	河北宣化
4	2015-06-12	114.450	41.150	3.7	河北张北
5	2015-07-05	115.421	40.284	3.8	河北涿鹿

从图 1 中可以看到:

(1) 测区岩石圈磁场变化值范围为 $-2.0\sim+21.5$ nT,平均值为 $+9.1$ nT。除个别测点外,测区岩石圈磁场出现整体性的上升变化;

(2) 测区岩石圈磁场变化数值总体存在自东南向西北增大的趋势;

(3) 在 5 次 3.0 级以上地震中,2014 年 9 月 6 日河北涿鹿 $M_L4.8$ 、2014 年 11 月 18 日河北怀来 $M_L3.3$ 及 2015 年 7 月 5 日河北涿鹿 $M_L3.8$ 地震位于岩石圈磁场变化高梯级带上,其他 2 次地震震中的位置特征则不明显。

通过上述特征可知,本期监测区岩石圈磁场变化处理结果中包含明显的区域性成分,具体表现为整体性上升变化和方向明确的空间趋势性变化,并且由于该成分的存在,影响到了观测异常的识别工作,有必要通过某种合理的技术处理方法对其进行确定和去除。

1.2 趋势面分析方法

趋势面分析是利用数学曲面模拟地理系统要素在空间上的分布及变化趋势的一种数学方法。其实质是通过回归分析原理,运用最小二乘法拟合一个二元非线性函数,模拟地理要素在空间上的分布规律,展示地理要素在地域空间上的变化趋势。当所讨论的区域并非很大时,可以认为地球主磁场长期变是由统一的场源所控制的,这样便为用一个连续的解析函数描述长期变的空分分布提供了物理依据^[10]。

趋势面分析的观测面由趋势面部分和残差部分

组成。在监测区岩石圈磁场变化结果中,趋势面部分反映区域性大范围的变化情况,即区域性异常成分;残差部分是实测值与相应趋势函数值之差,反映局部变化情况,即局部异常成分。如将测区岩石圈磁场变化量 $F_i(x_i,y_i)(i=1,2,\cdots,134)$ 作为因变量,地理位置坐标 (x_i,y_i) 作为自变量,趋势面拟合值为 $\hat{F}_i(x_i,y_i),\epsilon_i$ 为残差,则有:

$$F_i(x_i,y_i)=\hat{F}_i(x_i,y_i)+\epsilon_i \tag{1}$$

式中: $\hat{F}_i(x_i,y_i)$ 可视为岩石圈磁场变化区域性成分; ϵ_i 可视为局部异常成分。

进而从各测点岩石圈磁场变化数值出发推算趋势面,采用回归分析方法,使残差平方和趋于最小,即:

$$Q=\sum_{i=1}^n\epsilon_i^2=\sum_{i=1}^n[F_i(X_i,Y_i)-\hat{F}(X_i,Y_i)]^2\rightarrow\min \tag{2}$$

结合测区的实际情况,选取二次趋势合面^[10]进行非线性拟合,拟合方程为:

$$Z(X,Y)=aX^2+bY^2+cXY+dX+eY+f \tag{3}$$

进而应用各测点岩石圈磁场变化值,通过最小二乘法确定式(3)中的 6 个待定系数。

2 处理结果

2.1 监测区趋势面拟合结果与主要特征

应用各测点岩石圈磁场变化数值,对测区岩石圈磁场变化数据集进行二次趋势面拟合处理,最终获得本期趋势面二次拟合方程式为:

$$\begin{aligned} Z(X,Y)= & 1.043\ 281\ 4X^2+0.798\ 572\ 2Y^2+ \\ & 0.964\ 159\ 2XY-279.245\ 29X- \\ & 170.880\ 28Y+19\ 444.143 \end{aligned} \tag{4}$$

进而计算各测点处的残差值,随机选取 10 个测点,将拟合效果列于表 2。

从表 2 可知,各测点处的二次拟合趋势值与残差值相加,与原始岩石圈磁场变化值差值的绝对值最大为 0.2 nT,在我们的异常识别工作允许范围内,其拟合数学偏差可以接受。

应用前述的二次趋势面拟合方程,获得本期监测区岩石圈磁场变化的二次拟合趋势面空间分布形态(图 2)。从图 2 中我们可以看到:

(1) 本期测区岩石圈磁场变化存在高量值的区域性变化成分,其等值线的空间分布形态连续、平缓;

表 2 部分测点的趋势面拟合结果

Table 2 Fitting results of the trend surface of some measuring points							
序号	测点编号	经度 /(°)	纬度 /(°)	岩石圈磁场 变化值/nT	二次拟合 趋势值/nT	残差值 /nT	分解结果与原始 值差值/nT
1	QJ JM003	114.396 7	39.397 3	8.1	5.1	3.1	0.0
2	QJ JM011	114.119 4	39.741 5	4.5	6.7	-2.2	0.0
3	QJ JM016	115.626 4	39.748 5	11.4	4.8	6.4	-0.1
4	QJ JM032	114.989 7	40.046 0	5.0	6.1	-1.2	0.0
5	QJ JM043	115.613 7	40.374 1	2.2	7.7	-5.6	-0.1
6	QJ JM063	116.234 8	40.838 4	16.2	11.5	4.5	-0.2
7	QJ JM071	115.757 4	41.126 0	12.3	12.2	0.0	-0.1
8	QJ JM096	114.342 7	38.957 2	4.4	4.4	0.0	0.0
9	QJ JM121	113.213 7	41.152 4	12.7	14.2	-1.4	0.0
10	QJ JM134	113.333 2	38.984 5	8.2	8.6	-0.4	0.0

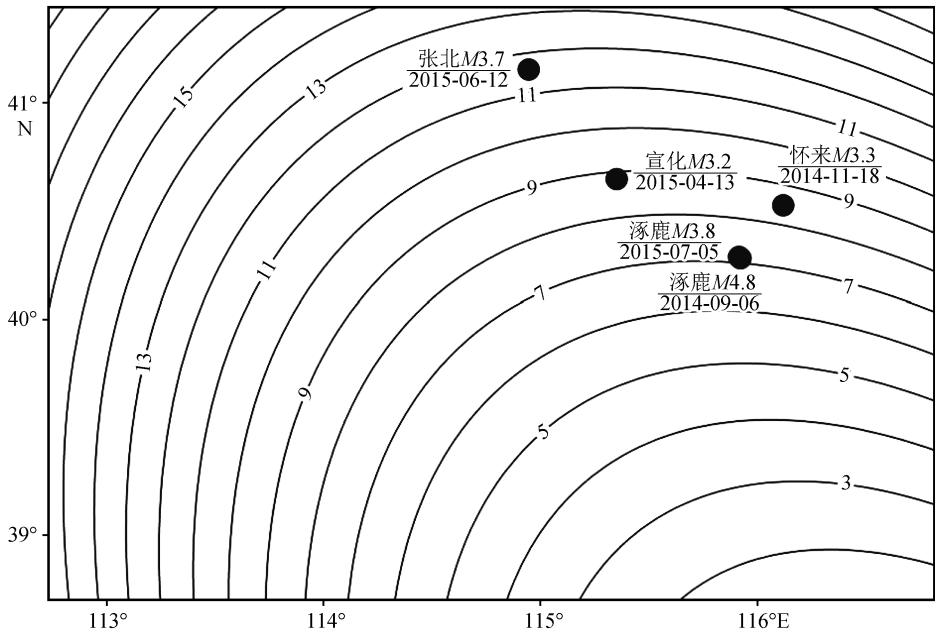


图 2 二次趋势面空间分布图

Fig.2 Spatial distribution map of quadratic trend surface

(2) 其数值范围为+1.4~+17.8 nT,平均值为9.1 nT;

(3) 存在明显的空间趋势性,数值自东南向西北方向连续增大。

显然,所得二次趋势面的主要特征与之前所讨论的监测区岩石圈磁场变化的总体特征(即其区域性成分的主要特征)基本相符。

2.2 变化值残差

以各测点处岩石圈磁场变化初始值减去对应趋势面拟合值,得到相应残差值,即岩石圈磁场变化局部异常成分(图 3)。相比本期监测区岩石圈磁场的原始变化(图 1),其主要空间分布特征表现为:

(1) 正、负异常区相间分布,能量相当。测区变化值范围为-8.0~+9.0 nT,全部测点平均值为0.0 nT;

(2) 局部异常的等值线分布形态与原始岩石圈磁场变化相似,但量值变化明显,“0”值线的显现规模较之前有了极大程度的增加;

(3) 最显著的负异常区出现在测区东北部,呈蝴蝶状。5 次地震的震中有 4 个位于该异常区内部,其余 1 个位于其附近;5 次地震的震中均位于“0”值线附近。该异常区对几次地震具有良好的空间位置表征作用。

3 结论与讨论

通过二次拟合趋势面方法较好地确定和去除了该测量实例中岩石圈磁场的区域性变化成分,处理结果客观、合理,使本期监测区岩石圈磁场变化的局部异常成分有了更加明确、直观的展现,有助于我们进行前兆异常的识别。该方法具备良好的推广应用前景。

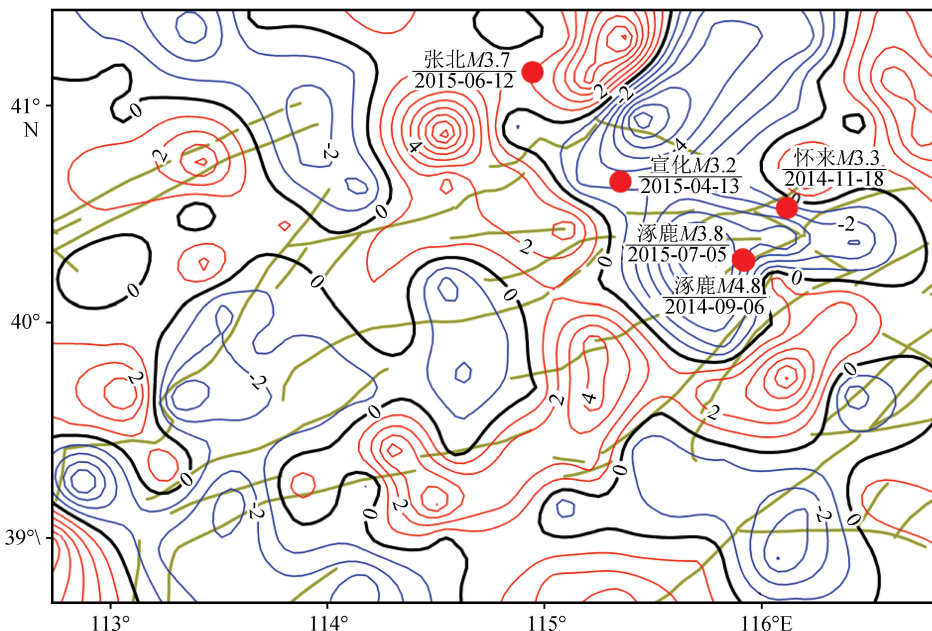


图3 监测区岩石圈磁场变化局部异常空间分布图

Fig.3 Local anomaly spatial distribution of lithosphere magnetic field in the monitoring area

由于样本数量的限制,本方法所表现的结果可能具有一定的特殊性,有待更多的观测实例对其合理性及适用性进行充分的验证。

参考文献(References)

- [1] 国家地震局.地震地磁野外测量规范[M].北京:地震出版社,1994.
State Seismological Bureau. Earthquake Geomagnetic Field Survey Norms[M]. Beijing: Seismological Press, 1994.
- [2] 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.
- [3] 顾左文,张毅,姚同起,等.九江—瑞昌 $M_s=5.7$ 地震地磁异常的观测与分析[J].地震学报,2006,28(6):611-621.
GU Zuowen, ZHANG Yi, YAO Tongqi, et al. Observation and Analysis of Geomagnetic Abnormity Associated with the $M_s=5.7$ Jiujiang—Ruichang Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 2006, 28(6): 611-621.
- [4] 张毅,顾左文,顾春雷,等.《2005.0 中国地磁图》在地震监测预报中的应用[J].地震地磁观测与研究,2007,28(3):1-7.
ZHANG Yi, GU Zuowen, GU Chunlei, et al. The Application of “Map of the Geomagnetic in China 2005.0” in Earthquake Forecast[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2007, 28(3): 1-7.
- [5] 乔子云,张建国,焦成丽,等.冀豫环流动磁异常与中等地震关系研究[J].地震地磁观测与研究,2009,30(4):1-6.
QIAO Ziyun, ZHANG Jianguo, JIAO Chengli, et al. 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, 30(4): 1-6.
- [6] 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.
CHEN Bin. Application of the Natural Orthogonal Components Method to the Seismic Geomagnetic Monitoring[J]. Journal of Seismological Research, 2011, 34(4): 466-469.
- [7] 倪喆,陈双贵,袁洁浩,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.
NI Zhe, CHEN Shuanggui, YUAN Jiehao, et al. Research on Anomalies Variation of Lithosphere Magnetic Field before and after Lushan $M_s 7.0$ Earthquake[J]. Journal of Seismological Research, 2014, 37(1): 61-65.
- [8] 倪喆,袁洁浩,王桢,等.2014 年云南鲁甸 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.
NI Zhe, YUAN Jiehao, WANG Can, et al. Analysis of Local Anomalous Characteristics of Lithospheric Magnetic Field before Ludian $M 6.5$ and Yongshan $M 5.0$ Earthquakes in Yunnan in 2014[J]. Journal of Seismological Research, 2014, 37(4): 537-541.
- [9] 陈斌,顾左文,狄传芝,等.2009—2010 年大华北岩石圈磁异常分布及其变化特征[J].云南大学学报(自然科学版),2011,33(5):548-553.
CHEN Bin, GU Zuowen, DI Chuanzhi, et al. Distributions of the Lithospheric Magnetic Anomalies and Its Variations in North China from 2009 to 2010[J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences), 2011, 33(5): 548-553.
- [10] 丁鉴海,卢振业,黄雪香.地震地磁学[M].北京:地震出版社,1994.
DING Jianhai, LU Zhenye, HUANG Xuexiang. Seismogeomagnetism[M]. Beijing: Seismological Press, 1994.