

F 子夜均值逐日差空间异常变化与地震的关系研究*

张素琴¹, 胡秀娟², 何宇飞¹, 杨冬梅¹

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 河北省地震局 红山基准台, 河北 邢台 054000)

摘要: 利用2010年1月1日至2014年4月30日我国地磁台网100多个台站的地磁总强度 F 子夜均值数据, 逐一分析了 F 子夜均值逐日差的空间变化趋势。结果表明, 在此期间有18次小区域的异常变化, 其中16次异常与其后几天到半年时间内该区域发生的地震有很好的对应关系, 另外两次新近的异常有待后续进一步验证。我国西北部地区地磁台站稀疏, 布局不合理, 限制了对新疆、青海、西藏等地震多发区震磁关系的研究, 建议这些地区进一步加密台站建设, 优化布局。

关键词: 地磁总强度; F 子夜均值; 逐日差; 震磁关系

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)01-098-07

0 引言

地震电磁现象的研究一直备受关注, 国内外大量学者进行了这方面的探索 (Hayakawa, Fujinawa, 1994; Pulinets, 1998; Molchanov, Hayakawa, 1998; Hayakawa, 1999; Freund, 2000)。Yen 等 (2004) 研究发现在集集地震前的一个多月的时间地磁总强度发生了明显的波动, Chen 等 (2004) 研究发现 F 总强度的零等变线通常出现在 $M_s \geq 6.0$ 地震发生之前的2年内。Zeng 等 (2001) 研究了大量的地震实例发现, 80%以上的地震发生在地磁零等变线出现后的9个月至2.5年的期间内。

震磁关系研究很重要的一点是要从复杂的地磁活动背景中提取出与地震活动有关的信息, 因此研究人员通常会选择地磁场扰动比较小的时段的数据来进行震磁关系研究, 子夜期间的数据就是一个不错的选择。子夜时间, 台站处在地球的背日面电离层电流体系极其微弱几乎可以忽略不计。地磁场模型的建立通常也多选择地球夜晚一侧的资料, 即磁地方时18时以后到凌晨6时之前的数据作为基础数据 (白春华等, 2008)。例如, 综合磁场模型CM4部分基础资料来自超过500 000个地面台站数据, 由1960年至2002年6月期间每

个月最平静的几天凌晨1:00的观测值 (时均值) 组成 (Sabaka *et al.*, 2004)。根据国际地磁与高空物理学协会 (International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 简称IAGA) 的建议, 在中低纬地区, 台站地方时0:00~3:00期间的地磁场相对比较平静 (Newitt *et al.*, 1996)。Hattori 等 (2004) 曾利用Matsushiro台站当地午夜时间 (0:00~4:00) 地磁观测数据研究了Iwateken Nairiku Hokubu地震前ULF的异常现象。张建国等 (2009) 利用中国地磁台网的地磁子夜均值数据研究了子夜均值逐日动态演化特征与汶川大地震的关系。

本文拟采用2010~2014年我国地磁台网100多个台站的 F 总强度子夜均值逐日差 (Daily Variations of Geomagnetic Total Field at Local Midnight, 简称DVFLM) 资料研究地磁异常现象与地震之间的关系。

1 资料的选取和计算

中国地震局“十五”数字化建设和改造完成以后, 我国地磁台网近实时 F 总强度绝对连续观测仪器大幅增加, 为研究工作提供了大量的数据资料, 国家地磁台网中心的观测数据质量4级质量

* 收稿日期: 2014-05-16.

基金项目: 地震监测系统运维项目“全国地磁台网运行维护监督与观测质量监控管理”资助.

审核评价体系也为观测数据的应用提供了质量保障(王建军等, 2010)。

首先, 筛选出经台网中心审核认为数据质量不存在问题的 F 预处理分钟值数据, 经过世界时—地方时转化, 计算出每个选中台站的地方时 0:00~3:00 的平均值, 称之为子夜均值, 这种数据也是地球主磁场及地壳磁场研究中常用的数据 (Schulz, Beblo, 1984)。通过求取地方时 0:00~3:00 期间的平均值, 自然避开了电离层电流体系和大部分磁层电流体系的影响, 可以认为子夜均值只包含了以下因素: (1) 主磁场; (2) 地壳磁场; (3) 受磁尾电流体系影响的磁场; (4) 可能的与地震有关的异常变化。其中, 主磁场变化缓慢, 在逐日差分析中可以忽略其影响; 地壳磁场, 除地质构造活动外无变化; 磁尾电流体系距地球表面数千千米, 可以认为其对夜间地磁总强度变化的控制是大尺度的; 剩余的小尺度但有多个台站支持的异常变化, 我们暂且认为其反映的是与地震有关的地壳磁场的变化。

然后, 利用计算得到的同一个台站当天 F 子夜均值数据减去前一天的子夜均值数据, 得到该台站 F 子夜均值的逐日差。

最后, 利用各个台站 F 子夜均值的逐日差数据绘制全台网的逐日差空间分布图, 以点图的形式表现, 图 1 中各点所在的位置即为每个台站的位置, 逐日差为正值用红点表示, 逐日差为负值用蓝色表示, 并且用点的大小来表示逐日差绝对值的大小, 无点但有台站名称则说明该天此台数据质量不可靠, 未参与计算绘图。

2 数据分析

逐天对比分析了 2010 年 1 月 1 日至 2014 年 4 月 30 日的 1 580 幅地磁总强度 F 夜均值逐日差的空间分布图, 发现其空间分布图主要有 2 种表现形式: (1) 正常有规律的变化; (2) 不符合通常规律的变化。

2.1 正常有规律的变化

通常情况下, F 夜均值逐日差的空间分布呈现规律的趋势性变化, 基本表现为以下几种形态 (图 1); 逐日差值由东南向西北地区逐步增大或减小 (图 1a, b); 逐日差值由南部向北部地区逐步

增大或减小 (图 1c, d); 逐日差值由西南向东北地区逐步增大或减小 (图 1e, f); 逐日差值由东部向西部地区逐步增大或减小 (图 1g, h)。

2.2 不符合通常规律的变化

2010 年 1 月 1 日~2014 年 4 月 30 日, 不符合上述一般规律的图像共 24 幅。主要变化特点为: 不按某方向单调增大或减小、变化尺度较大、跨越多个地区, 此类异常变化可能与磁尾电流体系有关, 有待进一步研究; 小区域内, 异于其周围大趋势的增减变化的共 18 幅, 根据前面资料的选取分析, 剩余的小尺度但有多个台站支持的异常变化, 暂认为其反映的是与地震有关的地壳磁场的变化, 可能与区域性的地下介质变化有关, 因此笔者尝试将小区域性的变化与地震事件联系起来分析。

首先逐一分析小区域异常的具体区域范围及出现异常的具体日期, 然后筛查了异常之后区域内所发生的 4 级以上的地震事件。我国的西北地区新疆、西藏、青海等属于地震多发区, 但由于气候、交通、生活等方面的局限性, 这些地区地磁台站相当稀疏, 从 F 逐日差的空间分布图上可以明显看到, 新疆只有 5 个台站, 西藏只有 2 个台站, 青海有 5 个台站, 且新疆、西藏的台站基本都位于西北部的边界附近, 新疆东南、青海西部、西藏北部的大面积区域台站空缺, 虽然可以用空间插值的方式大致预测地磁场的走势, 但无法准确判断该处地磁场的实际变化趋势, 尤其用来研究地震异常信息不太可靠, 因此本文未对新疆、西藏的地震进行对应分析。表 1 给出了 18 次小区域异常信息的具体日期和区域范围, 同时列出了异常出现一段时间后该区域出现地震的详细信息。从列表中可以看出, 有 16 次小区域异常出现后的几天到半年内在该区域都有 4 级以上地震发生。2014 年 2 月 10 日及 2 月 21 日在山西、宁夏、内蒙临河接邻区域出现的小区域异常, 截至 4 月 30 日在该范围内未有 4 级以上地震发生, 需要后续进一步观察。

受篇幅限制, 本文只给出几次典型的地磁异常变化特征图件。

第一个事件是 2010 年 4 月 14 日玉树 $M_s 7.1$ 地震及其 5 月 29 日 $M_s 5.7$ 余震前的 F 子夜均值逐日差异常 (图 2)。图 2a 中, 2010 年 1 月 15 日, 也

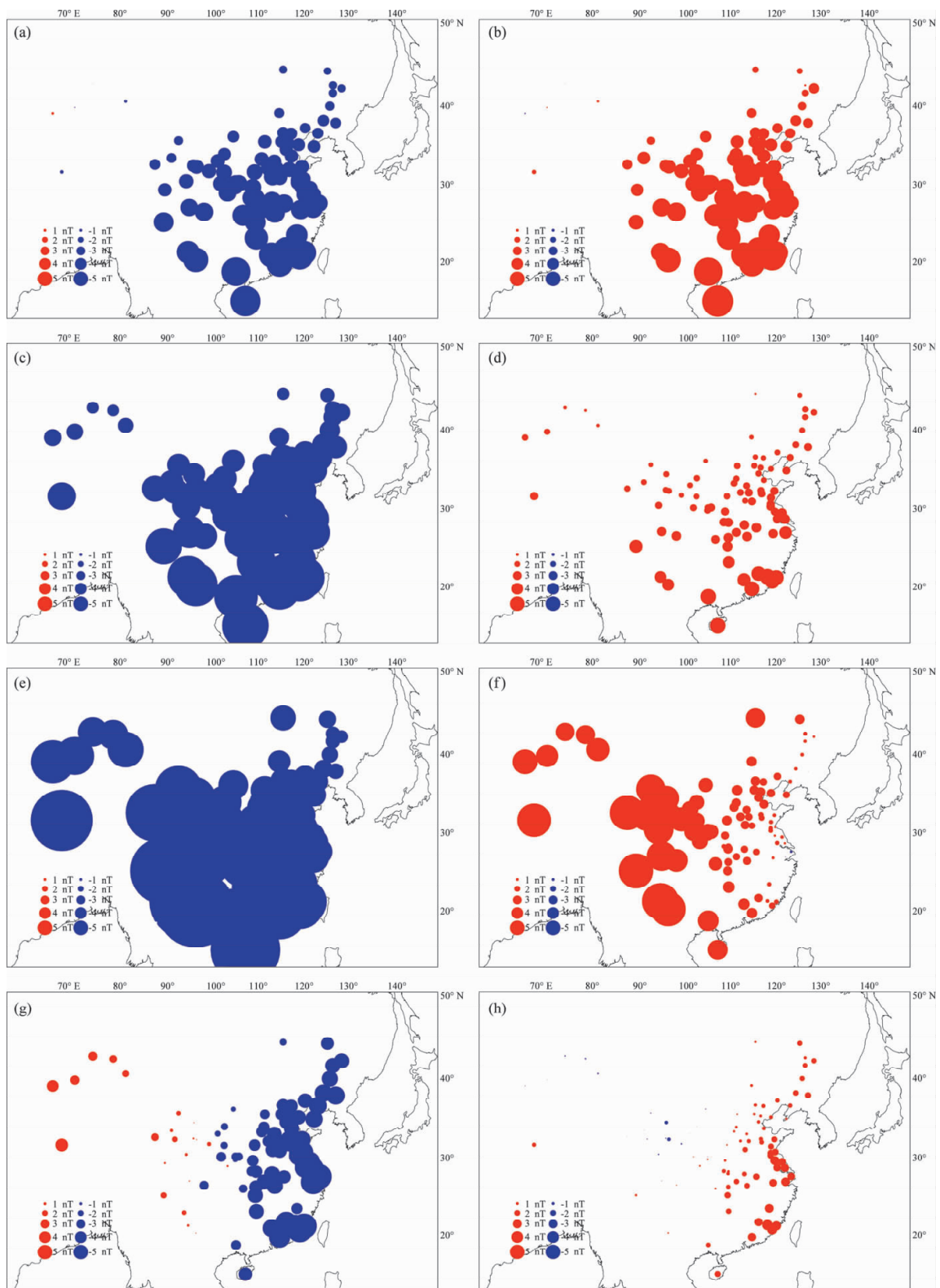


图1 F 子夜均值逐日差的正常规律变化空间分布图

(a) 由东南向西北递增; (b) 由东南向西北递减; (c) 由南向北递增; (d) 由南向北递减; (e) 由西南向东北递增; (f) 由西南向东北递减; (g) 由东向西递增; (h) 由东向西递减

Fig. 1 Spatial distribution of the regular changes of DVFLM

(a) increase from southeast to northwest; (b) decrease from southeast to northwest; (c) increase from south to north; (d) decrease from south to north; (e) increase from southwest to northeast; (f) decrease from southwest to northeast; (g) increase from east to west; (h) decrease from east to west

表 1 地磁异常与地震的对应关系
Tab. 1 Geomagnetic anomaly corresponding to the earthquake

异常日期 /年-月-日	异常区域	异常变化范围	异常幅度 /nT	发震日期 /年-月-日	φ_N /($^{\circ}$)	λ_E /($^{\circ}$)	深度 /km	震级 / M_s	参考地点
2010-01-15	青海地区	(33 $^{\circ}$ ~41 $^{\circ}$ N, 94 $^{\circ}$ ~102 $^{\circ}$ E)	2~3	2010-04-14	33.22	96.59	14	7.1	青海玉树
2010-05-03	青海地区	(33 $^{\circ}$ ~41 $^{\circ}$ N, 94 $^{\circ}$ ~103 $^{\circ}$ E)	2~3	2010-05-29	33.26	96.21	10	5.7	青海玉树
2010-06-09	临河、大同、银川等地	(37 $^{\circ}$ ~42 $^{\circ}$ N, 105 $^{\circ}$ ~113 $^{\circ}$ E)	1~2	2010-06-20	39.89	106.45	10	4.2	内蒙古阿拉善左旗
2010-07-18	环渤海、黄海台站	(36 $^{\circ}$ ~42 $^{\circ}$ N, 117 $^{\circ}$ ~123 $^{\circ}$ E)	1~2	2010-07-19	32.47	121.59	10	4.1	黄海
2010-10-21	成都	(28 $^{\circ}$ ~32 $^{\circ}$ N, 102 $^{\circ}$ ~105 $^{\circ}$ E)	2~3	2011-01-16	31.98	104.48	15	4.1	四川北川
2010-12-8	甘肃、宁夏	(34 $^{\circ}$ ~39 $^{\circ}$ N, 104 $^{\circ}$ ~108 $^{\circ}$ E)	1~2	2011-02-23	34.25	103.84	8	4.2	甘肃迭部
2011-01-09	山西、河北、山东区域	(35 $^{\circ}$ ~41 $^{\circ}$ N, 112 $^{\circ}$ ~120 $^{\circ}$ E)	1~2	2011-03-07	39.01	111.76	6	4.0	山西五寨
2011-07-05	河南、湖北区域	(29 $^{\circ}$ ~35 $^{\circ}$ N, 109 $^{\circ}$ ~115 $^{\circ}$ E)	1~2	2011-09-10	29.70	115.40	13	4.6	江西瑞昌
2011-07-10	河南、湖北区域	(29 $^{\circ}$ ~35 $^{\circ}$ N, 109 $^{\circ}$ ~116 $^{\circ}$ E)	1~2	2011-09-10	29.70	115.40	13	4.6	江西瑞昌
2011-07-14	成都	(28 $^{\circ}$ ~32 $^{\circ}$ N, 102 $^{\circ}$ ~105 $^{\circ}$ E)	2~3	2011-12-26	31.37	103.79	20	4.7	四川彭州
2012-02-05	甘肃、青海	(34 $^{\circ}$ ~39 $^{\circ}$ N, 96 $^{\circ}$ ~101 $^{\circ}$ E)	2~3	2012-05-11	37.75	102.00	16	4.9	甘肃肃南
2012-06-12	山东、江苏	(33 $^{\circ}$ ~36 $^{\circ}$ N, 113 $^{\circ}$ ~120 $^{\circ}$ E)	3~4	2012-07-20	33.04	119.57	15	4.9	江苏宝应
2012-06-14	天津	(38 $^{\circ}$ ~41 $^{\circ}$ N, 116 $^{\circ}$ ~120 $^{\circ}$ E)	2~3	2012-06-18	39.61	117.56	5	4.0	天津宝坻
2013-03-28	甘肃、青海	(34 $^{\circ}$ ~39 $^{\circ}$ N, 94 $^{\circ}$ ~120 $^{\circ}$ E)	2~4	2013-03-29	37.25	97.20	10	4.1	青海德令哈
2013-07-08	山东、山西、河北	(35 $^{\circ}$ ~42 $^{\circ}$ N, 112 $^{\circ}$ ~120 $^{\circ}$ E)	1~2	2014-01-07	36.82	121.67	7	4.2	山东乳山
2013-07-09	东北	(44 $^{\circ}$ ~49 $^{\circ}$ N, 123 $^{\circ}$ ~128 $^{\circ}$ E)	2~3	2013-11-22	44.67	124.13	8	5.3	吉林前郭系列地震
2014-02-10	山西、宁夏、临河								
2014-02-21	山西、宁夏、临河								

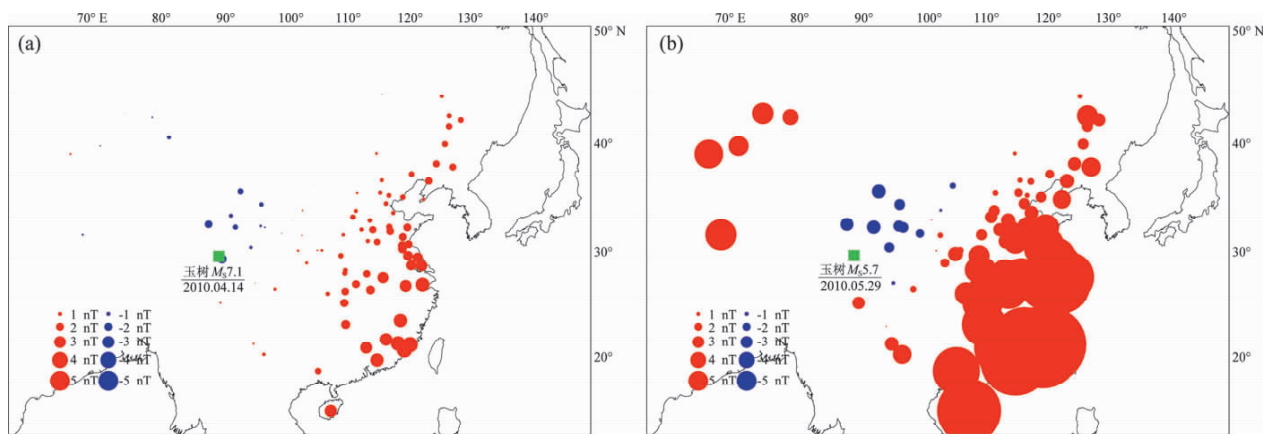


图 2 玉树 $M_s7.1$ 地震及 $M_s5.7$ 余震前地磁异常情况

Tab. 2 Geomagnetic anomalies before Yushu $M_s7.1$ earthquake and its aftershocks

就是玉树震前 3 个月，青海及甘肃西部较周边区域 F 子夜均值逐日差有显著下降。当日磁情平静，最大 K_p 指数为 2 +，最小 Dst 指数为 -12。图 2b 中，2010 年 5 月 29 日玉树 $M_s5.7$ 余震震前 26 天的 5 月 3 日，青海地区 F 子夜均值逐日差变化在周边都上升时继续下降。当日磁情中等扰动，最大 K_p 指数为 5，最小 Dst 指数为 -53。

第二个事件是发生在 2011 年 9 月 10 日的江

西省九江市瑞昌市、湖北省黄石市阳新县交界地区的 $M_s4.6$ 地震，在震前 2 个月的 7 月 5 日震中西北向出现小范围的 F 子夜均值逐日差下降异常，当日磁情较平静，最大 K_p 指数为 4 +，最小 Dst 指数为 -50。紧接着在 7 月 10 日该地区又出现了更大幅度的小范围下降异常，当日磁情较平静，最大 K_p 指数为 3 +，最小 Dst 指数为 -22，异常情况如图 3 所示。

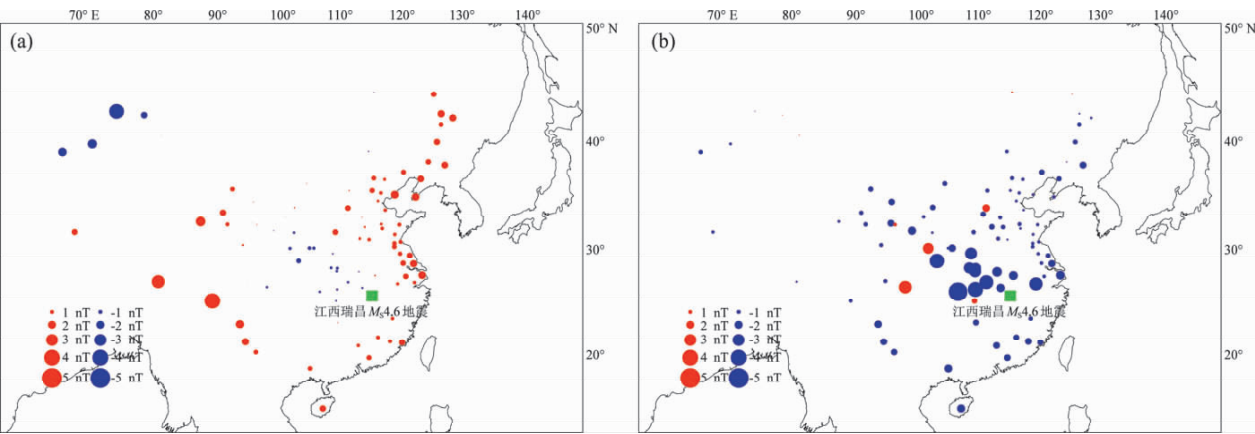


图3 江西瑞昌 $M_s4.5$ 地震前地磁异常情况

Tab. 3 Geomagnetic anomalies before Ruichang $M_s4.5$ earthquake in Jiangxi

第三个事件是2012年7月20日江苏省扬州市高邮市、宝应县交界4.9级地震，震前18天6月12日， F 子夜均值逐日差在山东—江苏交界区域出现了异于正常规律的小范围负异常变化，当日磁情较平静，当天最大 K_p 指数为3+，最小 Dst 指数为-51，异常情况如图4所示。

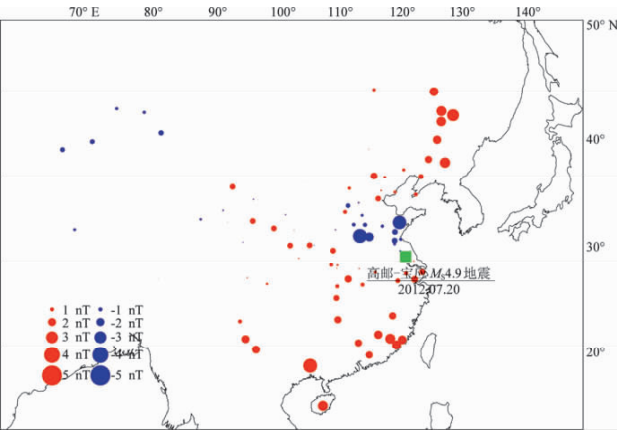


图4 江苏高邮—宝应

$M_s4.9$ 地震前地磁异常情况

Tab. 4 Geomagnetic anomalies before Gaoyou-Baoying $M_s4.9$ earthquake in Jiangsu

第四次事件是2013年11月22日吉林省松原市乾安县与前郭尔罗斯蒙古族自治县交界发生的 $M_s5.3$ 地震，震前的7月9日， F 子夜均值逐日差空间在东北小片地区出现了异于正常规律的负异常变化，当时磁情平静，当天最大 K_p 指数为3+，最小 Dst 指数为0，异常情况见图5。

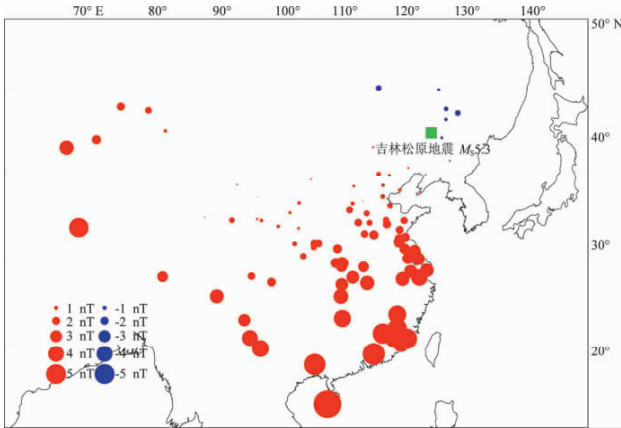


图5 吉林省松原市乾安县与前郭尔罗斯蒙古族自治县交界 $M_s5.3$ 地震前地磁异常情况

Tab. 5 Geomagnetic anomalies before $M_s5.3$ earthquake occurred at the junction of Qiangan Country in Songyuan City in Jilin and Qian Gorlos Mongol Autonomous County

3 结论与讨论

逐天分析2010年1月1日到2014年4月30日我国地磁台网100多个地磁台站的 F 子夜均值逐日差空间分布，在16次地震前发现其空间分布存在小区域异常，最新的在2014年2月10日及2月21日出现的小区域异常是否预示着半年内该区域有4级以上地震发生有待后续验证。16次震例中，除2010年4月14日青海玉树 $M_s7.1$ 地震外，其余15个震例均为4、5级地震，其中4~5级地震为

13 个, 占有震例的 80% 以上, 也就是说从目前的分析来看 F 子夜均值逐日差空间分布异常与 4 ~ 5 级地震有很好的对应关系。

目前的分析侧重于定性的对 F 子夜均值逐日差的分布趋势的判定, 下一步需要积累更多的地磁资料和震例资料进行分析, 希望将异常的识别量化, 深入分析异常范围大小、异常量的大小与地震震级、深度等的关系。本文只是给出了 F 子夜均值逐日差空间分布小区域异常变化与地震活动的一些初步分析结果, 关于这种现象产生的物理机制目前还没有很好的解释, Chen 等 (2004) 认为地壳电导率, 以及地下、电离层电流体系是产生这一现象的重要原因。这也是我们有待于进一步深入努力研究的重要方向。

受到地磁台站分布稀疏、空间分布不均匀等因素影响, 西北部地区新疆、青海、西藏的地磁台站监测能力总体偏低; 中西部的云南、四川以及东北部的内蒙、吉林地区地磁台站相对中、东部地区不足, 监测能力偏弱。这些地区都是未来需要进一步增加地磁台站数量, 优化台网布局的重要区域。

参考文献:

- 白春华, 徐文耀, 康国发. 2008. 地球主磁场模型[J]. 地球物理学进展, 23(4): 1045 - 1057.
- 王建军, 杨冬梅, 张素琴, 等. 2010. 地磁数据预处理质量标注系统[J]. 地震地磁观测与研究, 31(5): 85 - 90.
- 张建国, 陈化然, 刘晓灿. 2009. 地磁场子夜均值逐日动态演化特征及与汶川大地震关系研究[J]. 国际地震动态, (7): 31 - 34.
- Chen C. H., Liu J. Y., Yen H. Y., *et al.* 2004. Changes of Geomagnetic Total Field, Occurrences of Earthquakes in Taiwan [J]. TAO, 15

- (3): 3361 - 370.
- Freund F. 2000. Time Resolved Study of Charge Generation and Propagation in Igneous Rocks[J]. J. Geophys. Res. 105: 11001 - 11019.
- Hattori K., Takahashi I., Yoshino C., *et al.* 2004. ULF Geomagnetic Field Measurements in Japan and Some Recent Results Associated with Iwateken Nairiku Hokubu Earthquake in 1998[J]. Phys Chem Earth, 29(4-9): 481 - 494.
- Hayakawa M. 1999. Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes[M]. Tokyo, Terra Scientific Publishing Company.
- Hayakawa, M., Fujinawa Y. Eds. 1994. Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction[M]. Tokyo: TERRAPUB, 667.
- Yen H. Y., Chen C. H., Yeh Y. H., *et al.* 2004. Geomagnetic fluctuations during the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan[J]. Earth Planets Space, 56: 39 - 45.
- Molchanov O. A., Hayakawa M. 1998. Subionospheric VLF Signal Perturbations Possibly Related to Earthquakes[J]. J. Geophys. Res., 103(17): 489 - 17: 504.
- Newitt L. R., Barton C. E., Bitterly J. 1996. Guide for Magnetic Repeat Station Surveys[M]. 325 Broadway, Boulder, CO USA. International Association of Geomagnetism and Aeronomy J. NOAA Space Environment Center.
- Pulinets S. A. 1998. Seismic Activity as a Source of Ionospheric Variability[J]. Adv. Space Res., 22(6): 903 - 906.
- Sabaka T. J., Olsen N., Purucker M. 2004. Extending Comprehensive Models of the Earth's Magnetic Field with Oersted and CHAMP[J]. Geophys J Int., 159(2): 521 - 547.
- Schulz G., Beblo M. 1984. On the Reduction of Time Variations for Magnetic Repeat Station Measurements[J]. Geophysical Surveys, 6(3-4): 323 - 332.
- Zeng X. P., Lin Y., Xu C., *et al.* 2001. Turning Changes in Evolution of Geomagnetic Field and Infrastructural Analysis of Earthquake Prediction[J]. Kybernetes - Int. J. Systems & Cybernetics, 30: 365 - 377.

Research on Relationship between Spatial Anomaly Variations of Daily Variations of Geomagnetic Total Field F at Local Midnight and Earthquake

ZHANG Su-qin¹, HU Xiu-juan², HE Yu-fei¹, YANG Dong-mei¹

(1. *Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China*)

(2. *Hongshan Seismic Station, Earthquake Administration of Heibe Province, Xingtai 054000, Heibe, China*)

Abstract

Based on the daily geomagnetic absolute averages of geomagnetic total intensity F at local midnight recorded by more than 100 stations in China Geomagnetic Network from Jan. 1, 2010 to Apr. 30, 2014, we analyzed the spatial variation characteristic of daily geomagnetic field F . The results show that there were 18 times abnormal changes of geomagnetic field in small region in the study period, the 16 times abnormal changes of them had the good corresponding relationship with the earthquake which occurred from a few days to six months after the abnormal changes in the study area, and the other two newly abnormal changes should still be observed and verified. The distribution of stations is sparse and their layout is unreasonable in Northwestern region of China, which limited studying the seismic-magnetic relationship in earthquake-prone zones, such as Xinjiang, Qinghai, Tibet etc. . It is suggest that we should make stations density and optimize their layout.

Key words: geomagnetic total intensity; daily geomagnetic absolute averages of F at local midnight; daily variations; seismic-magnetic relationship