

任建辉、李继业、胡滨生等 2011, 东北地区中等地震前地磁空间相关性异常特征初步分析, 中国地震 27(4) 438~447.

东北地区中等地震前地磁空间相关性 异常特征初步分析

任建辉 李继业 胡滨生 李昆 孟令蕾 杜天娇 陈长勇

哈尔滨市防震减灾技术中心, 哈尔滨市松北区世纪大道 1 号 150021

摘要 应用黑龙江、吉林、内蒙古和辽宁等省的地磁总场强度 F 北京时 21 点绝对观测值, 研究了其空间相关性在东北地区几次中等地震前的变化。结果显示, 在这些地震前地磁总场 F 的空间相关性会出现下降变化, 本文初步给出了判定异常的指标。

关键词: 地磁 总场 F 空间相关性 地震预测

[文章编号] 1001-4683(2011)04-0438-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地磁异常变化与地震的关系早已被世人所关注, 国内外许多地震震前都发现有地磁异常信号的存在(Molchanov et al, 1992; 丁鉴海等, 1994)。实验室岩石实验也发现, 在岩石破裂过程中, 岩石磁性会发生变化(郝锦琦等, 1993) 或者会有电磁辐射的产生(钱书清等, 2003)。地磁场主要由主磁场和变化磁场构成, 后者变化比较复杂, 其静日变化幅度为 10~40nT, 扰日变化幅度约为 100~1000nT。压磁效应表明, 其产生的磁异常量级只有几个 nT, 所以要从强大的磁场变化背景中捕捉微弱的震磁效应是相当困难的(曾小苹, 1990)。地磁场总强度空间线性相关方法是一种能有效捕捉微弱震磁效应、较好地消除高空干扰的方法。由于高空电离层产生的变化磁场在相当大的范围内几乎是同步的, 而与地震有关的磁异常范围一般较小, 两者间空间同步性差。因此, 该方法在地震监测预测工作中得到了快速的发展。

曾小苹等人(1990) 曾用地磁空间相关法对大同地震进行分析研究, 取得了较好的结果; 杜安娜(1998) 利用地磁空间相关方法对 1995 年武定 $M6.5$ 地震、1996 年丽江 $M7.0$ 地震的预测工作, 在 1995 年 11 月第 11 届中国地球物理年会及 1996 年 8 月亚太地区 IASPEI 大会上都得到了肯定; 1998 年张北 $M6.2$ 地震前, 鲁跃等(1999) 发现了地磁空间相关存在低值异常的现象。而在地磁空间相关性的区域特征研究上, 冯志生等(2000) 对江苏地区 1986~1998 年 $M5.0$ 以上地震进行了震例总结和检验, 给出了空间相关性法在江苏地区的异常判定标准及预测效能; 张建国等(2007) 对河北及邻区 $M5.0$ 以上地震所对应的地磁空

[收稿日期] 2011-03-10

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划(XH12015Y) 资助

[作者简介] 任建辉, 男, 1983 年生, 助理工程师, 主要从事地震活动性及地震预测方法的研究。

E-mail: 84324593@163.com

间相关性异常进行了总结,也初步给出了适合该区域的地震预测参数。除了在地震预测领域中发挥作用以外,地磁空间相关性法在仪器比测、资料补漏中也得到了广泛的应用。

本文对 2008 年以来东北地区 5 次 $M4.5 \sim 5.2$ 中等地震前的地磁空间相关异常进行了提取和分析,发现在东北地区即使对于 5 级左右的中等地震,该方法也能提取到其震前异常变化。

1 资料选取

资料选取于我国东北地区黑龙江、吉林、辽宁及内蒙古东部等 4 个省份观测质量较好的 10 个台站的数据,分别是黑龙江德都台、望奎台、通河台和哈尔滨台,吉林三岗台、通化台,辽宁铁岭台、营口台(朝阳台和大连台 2008 年、2009 年断记较多,故本次研究弃用),内蒙古满洲里台、锡林浩特台,其中德都台和满洲里台为中国地震局 1 类地磁台。由于开展地磁观测技术的时间较晚,积累的数据有限,所以本文以观测质量较好、数据较完整的 2008 年为起始时间,参考台的选取则尽量远离震中异常区域。东北地区中强地震相对较少,2008 年以来共发生 5 次 $M4.5$ 以上地震,台站及震中分布见图 1,5 次地震的具体信息见表 1。

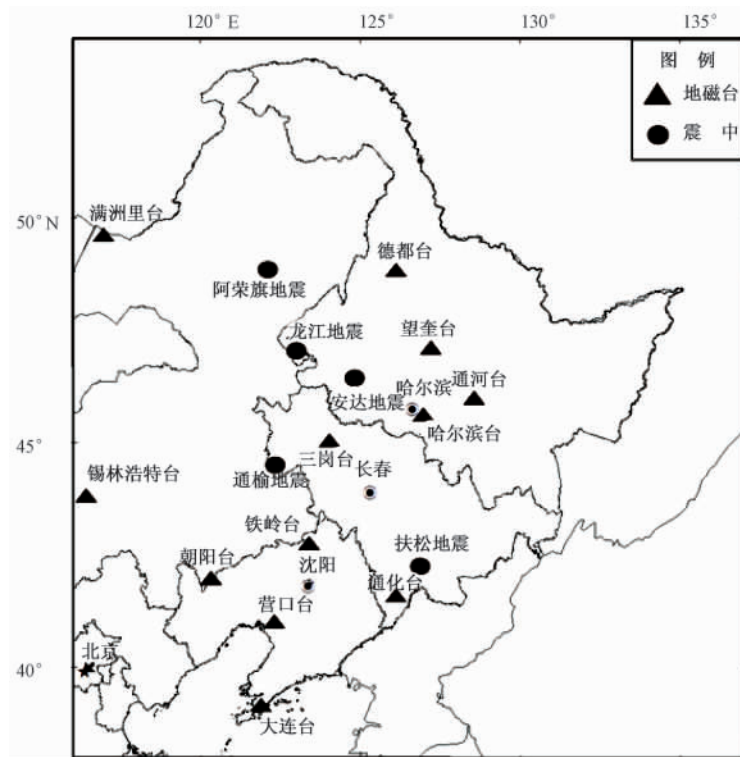


图 1 东北地区地磁台站与震中分布图

2 方法介绍

假设 A、B 二台站地磁场总强度分别记为 F_y 、 F_x , 它们是线性相关, 即

表 1 东北地区 2008 年以来 5 次 M4.5 以上地震的信息表

序号	发震时间 (年-月-日 T 时:分)	东经 (°)	北纬 (°)	震级	震源深度 (km)	参考地点
1	2008-06-10 T14:05	122.7	49.0	5.2	16	内蒙古鄂伦春自治旗与阿荣旗交界
2	2008-07-07 T14:32	123.4	47.0	4.6	14	黑龙江省龙江县
3	2009-05-10 T22:47	125.3	46.8	4.5	7	黑龙江省安达市太平庄镇
4	2009-08-05 T20:08	127.2	42.3	4.6	9	吉林省白山市靖宇县、抚松县交界
5	2009-12-21 T05:31	123.0	44.5	4.7	8	吉林省通榆县、长岭县、内蒙古科尔沁左翼中旗交界

$$F_{yi} = bF_{xi} + a \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

定义相关系数 r (衡量 F_y 、 F_x 2 个量的相关程度) 为

$$r = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx} \cdot l_{yy}}} \quad (2)$$

其中

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n F_{xi}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n F_{xi} \right)^2 \quad (3)$$

$$l_{yy} = \sum_{i=1}^n F_{yi}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n F_{yi} \right)^2 \quad (4)$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^n F_{xi}F_{yi} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{xi}F_{yi} \quad (5)$$

r 的取值范围是 $0 \leq |r| \leq 1$, $|r|$ 越接近 0, 两组观测数据之间的线性相关程度越小; 反之, $|r|$ 越接近 1, 表示两组观测数据之间的线性相关性就越为密切, 线性回归效果就好。

本文采用江苏省地震局冯志生研究员编写的地磁空间相关性分析软件进行计算和绘图, 鉴于研究的地震震级相对较小, 将 r 值异常判定线进行了调整, 经过尝试认为在东北地区参考标准线取 $|r| = 0.95$ 较为适合。而作为判定异常的标准, 需要至少出现两个或两个以上台站同时满足低于标准线, 并且至少连续变化 20 天以上的情况。本文又对地磁空间相关曲线的异常幅度和持续时间等都做出了量化, 对于磁场总强度异常台站与震中位置的关系、异常幅度与强度的关系以及异常时间与未来发震时间的关系等等都进行了细致的分析。

3 异常分析

3.1 阿荣旗 M5.2 地震、龙江 M4.6 地震

2008 年 6 月 10 日 14 时 05 分内蒙古鄂伦春自治旗与阿荣旗交界地区发生 M5.2 地震 (以下简称阿荣旗地震) 2008 年 7 月 7 日 14 时 32 分黑龙江龙江县发生 M4.6 地震 (以下简称龙江地震)。图 2 和表 2 给出了 2008 年 1~10 月以营口台为参考计算得到的各台磁场总强度相关性在地震前后的变化。

由表 2 可见, 在阿荣旗地震和龙江地震前, 有 5 个台站的 r 值出现了 20 天以上低于标准线 0.95 的情况。从空间上来看, 最先出现异常的台站为满洲里台, 相关性曲线在 5 月 10 日出现下降, 接着是德都台、望奎台、哈尔滨台, 最后是通河台出现异常, 三岗台、通化台、锡林浩特台和铁岭台无异常情况出现, 这可能是由于这些台站距离震中位置较远。从异常持续时间上看, 最长的台站为满洲里台, 异常持续了 29 天, 其次是通河台 (28 天)、德都台 (26

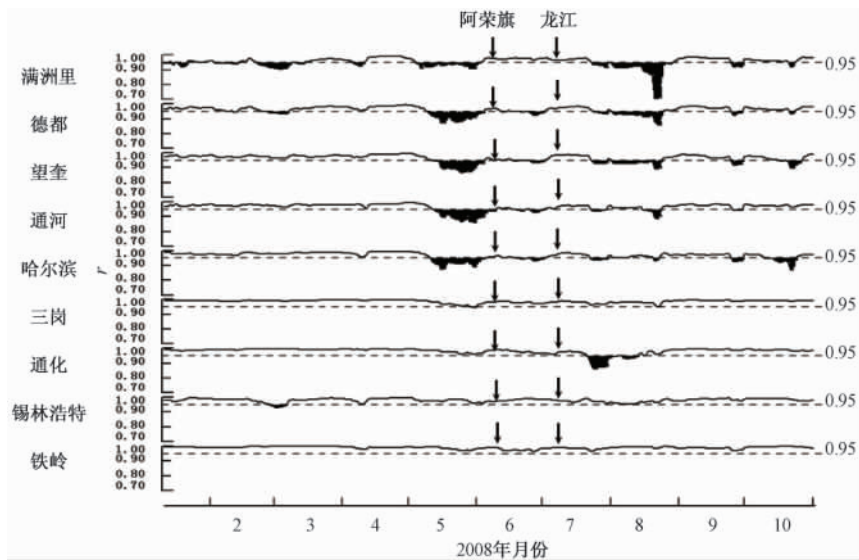


图2 阿荣旗地震、龙江地震磁场总强度相关性异常曲线

表2 阿荣旗地震、龙江地震前各台与营口台的线性相关

序号	台站	异常起止日期 (年-月-日)	异常持 续天数	相关系数 最低值	异常出现到 发震的时间(天)	震中距(km)	
						阿荣旗	龙江
1	满洲里	2008-05-10 ~ 06-07	29	0.908	31	370	515
2	德都	2008-05-15 ~ 06-09	26	0.874	26	260	266
3	望奎	2008-05-17 ~ 06-09	24	0.867	24	370	234
4	通河	2008-05-18 ~ 06-14	28	0.862	23	564	423
5	哈尔滨	2008-05-17 ~ 06-09	24	0.875	24	468	284
6	三岗	无异常	—	—	—	600	373
7	通化	无异常	—	—	—	848	620
8	锡林浩特	无异常	—	—	—	756	665
9	铁岭	无异常	—	—	—	749	524

天) 时间最短的为望奎台和哈尔滨台(24天)。通河台是异常出现后23天发震,其次是哈尔滨台和望奎台,都为24天,德都台和满洲里台分别为26天和31天。而从异常幅度上来看,相关系数 r 最低的是通河台,其次是望奎台、德都台、哈尔滨台和满洲里台。

3.2 安达 M4.5 地震、抚松 M4.6 地震

2009年5月10日22点47分黑龙江绥化市安达发生M4.5地震(以下简称安达地震),图3和表3给出了以营口台为参考计算得到的各台相关性在地震前后的变化;2009年8月5日20点08分在吉林白山市靖宇县、抚松县交界发生M4.6地震(以下简称抚松地震),各台2009年2~11月磁场总强度相关性在地震前后的变化情况见图3和表3、4。

由表3可见,在安达地震前,所有台站都出现异常现象。从空间上来看,最先出现异常的台站为通河台、满洲里台,相关性曲线在2009年4月24日开始下降。异常持续时间最长的是哈尔滨台和铁岭台,持续时间29天,其次是通河台(28天)、德都台(24天)、满洲里台

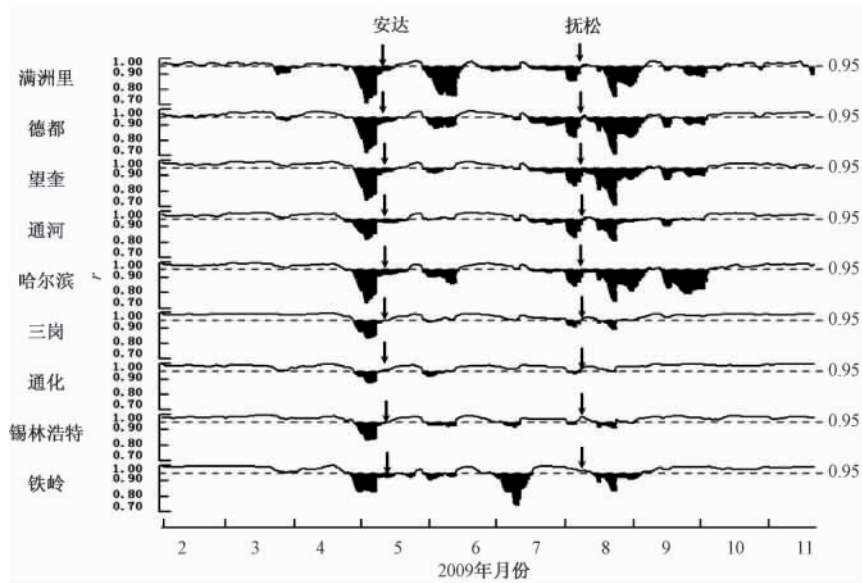


图3 安达地震、抚松地震磁场总强度相关性异常曲线

表3 安达地震前各台与营口台的线性相关

序号	台站	异常起止时间 (年-月-日)	异常持续 天数	相关系数 最低值	异常出现到 发震的时间(天)	震中距 (km)
1	满洲里	2009-04-24 ~ 05-15	22	0.715	16	638
2	德都	2009-04-28 ~ 05-21	24	0.723	12	201
3	望奎	2009-04-28 ~ 05-17	20	0.742	12	89
4	通河	2009-04-24 ~ 05-21	28	0.817	16	279
5	哈尔滨	2009-04-27 ~ 05-25	29	0.736	13	156
6	三岗	2009-04-28 ~ 05-11	14	0.835	12	324
7	通化	2009-04-28 ~ 05-09	12	0.876	12	566
8	锡林浩特	2009-04-28 ~ 05-13	16	0.835	12	787
9	铁岭	2009-04-26 ~ 05-24	29	0.826	14	514

(22天)、望奎台(20天)、锡林浩特台(16天)、三岗台(14天)和通化台(12天)。望奎台、德都台、三岗台、通化台和锡林浩特台是异常出现后12天发震,哈尔滨台异常出现13天后发震,铁岭台异常出现14天后发震,满洲里台和通河台都为异常出现16天后发震。而从异常幅度上来看,相关系数 r 最低的是满洲里台,其次为德都台、哈尔滨台、望奎台、通河台、铁岭台、三岗台和锡林浩特台以及通化台。

由表4可见,抚松地震前最先出现异常的台站为铁岭台,相关性曲线在6月29日开始低于标准线,随后7月16日通河台、望奎台、德都台和满洲里台同时出现异常,哈尔滨台7月17日出现异常,最后8月2日通化台、三岗台和锡林浩特台同时出现异常。异常持续时间最长的台站是望奎台,持续了53天,其次是哈尔滨台(52天)、通河台(25天)、满洲里台和德都台(24天)、铁岭台(18天)、三岗台和通化台(6天),最后是锡林浩特台(4天)。三岗台、通化台和锡林浩特台异常出现后3天发震,哈尔滨台异常出现19天后发震,满洲里

表 4 抚松地震前各台与营口台的线性相关

序号	台站	异常起止时间 (年-月-日)	异常持续 天数	相关系数 最低值	异常出现到 发震的时间(天)	震中距 (km)
1	满洲里	2009-07-16 ~ 08-08	24	0.856	20	1087
2	德都	2009-07-16 ~ 08-08	24	0.823	20	693
3	望奎	2009-07-16 ~ 09-06	53	0.713	20	507
4	通河	2009-07-16 ~ 08-09	25	0.806	20	427
5	哈尔滨	2009-07-17 ~ 09-06	52	0.743	19	384
6	三岗	2009-08-02 ~ 07	6	0.908	3	235
7	通化	2009-08-02 ~ 07	6	0.935	3	124
8	锡林浩特	2009-08-02 ~ 05	4	0.940	3	921
9	铁岭	2009-06-29 ~ 07-16	18	0.743	37	276

台、德都台、望奎台和通河台都是异常出现 20 天后发震,铁岭台异常出现 37 天后发震。而从异常幅度上来看,相关系数 r 最低的是望奎台,其次为铁岭台和哈尔滨台、通河台、德都台、满洲里台、三岗台、通化台和锡林浩特台。

3.3 通榆 M4.7 地震

2009 年 12 月 21 日 05 时 31 分吉林白城市通榆县、松原市长岭县、内蒙古自治区通辽市科尔沁左翼中旗交界发生 M4.7 地震(以下简称通榆地震),图 4 和表 5 给出了 2009 年 10 月~2010 年 5 月以满洲里台为参考计算得到的各台磁场总强度相关性在地震前后的变化。

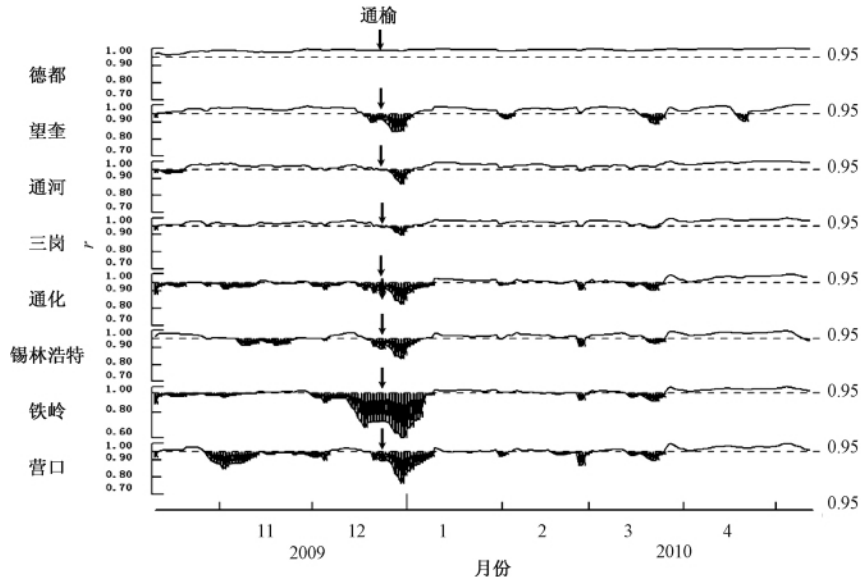


图 4 通榆地震磁场总强度相关性异常曲线

由表 5 可以看出,在通榆地震前,德都台的相关性曲线并没有出现明显的异常波动,哈尔滨台由于数据缺失未给出变化曲线。从空间上来看,最先出现异常的台站为铁岭台和通化台,相关性曲线在 2009 年 12 月 1 日开始下降,接着是望奎台、锡林浩特台、营口台、三岗台,最后是通河台出现异常。异常持续时间最长的台站为铁岭台和通化台,持续了 40 天,其

次是震5

通榆地震前各台与满洲里台的线性相关

序号	台站	异常起止时间 (年-月-日)	异常持续 天数	相关系数 最低值	异常出现到 发震的时间(天)	震中距 (km)
1	德都	无异常	—	—	—	506
2	望奎	2009-12-18 ~ 2010-01-02	16	0.842	3	372
3	通河	2009-12-24 ~ 2010-01-02	10	0.865	地震后出现异常	477
4	哈尔滨	数据缺失	—	—	—	316
5	三岗	2009-12-23 ~ 2010-01-02	11	0.897	地震后出现异常	191
6	通化	2009-12-01 ~ 2010-01-09	40	0.824	20	390
7	锡林浩特	2009-12-19 ~ 2010-01-05	18	0.833	2	556
8	铁岭	2009-12-01 ~ 2010-01-09	40	0.584	20	254
9	营口	2009-12-21 ~ 2010-01-09	20	0.764	0	430

口台(20天)、锡林浩特台(18天)、望奎台(16天)、三岗台(11天)和通河台(10天)。营口台在异常出现当天发震,锡林浩特台在异常出现2天后发震,望奎台在异常出现3天后发震,通化台和铁岭台都在异常出现20天后发震,而三岗台和通河台则分别在地震发生后2天和3天出现异常。而从异常幅度上来看,相关系数 r 最低的是铁岭台,其次为营口台、通化台、锡林浩特台、望奎台、通河台,最高的是三岗台。

4 异常综合特征分析

我们通过对异常持续时间、异常幅度、异常出现与发震时间间隔以及震中距等几个方面的分析,量化出时、空、强的异常特征。

(1) 时间指标。通过异常出现时间与发震时间统计发现,地震基本发生在异常出现后的两个月内,最短的为异常出现当天。

(2) 空间指标。表6给出了最先出现异常台站与主震距离的关系。由表6可见,最先出现异常的台站多数与主震震中距离在300km以内,随后出现大范围的异常区域。我们以最先出现异常的台站为中心,300km为半径作圆,那么,未来主震的震中位置就

表6 最先出现异常台站与主震距离表

异常事件	最先出现异常台站	与震中的距离(km)
阿荣旗地震前异常	满洲里	370
龙江地震前异常	满洲里	515
安达地震前异常	通河	279
抚松地震前异常	铁岭	276
通榆地震前异常	铁岭	254

可能在这个圆圈范围所包含的异常台站在空间上形成的区域内或者附近。在此需要说明两点:第一在阿荣旗地震和龙江地震前,满洲里台最先出现异常,但该台距离两次震中位置分别为370km和515km,超出了300km,经过分析认为,可能与该台周边的地磁观测台站分布太过稀疏有关。因此,在该台最先出现异常的情况下,可适当放大到700~800km作为选取异常台站的半径。第二如果有两个或者两个以上台站在同一天出现异常,那么选择相关系数低的台站作为中心。在安达地震前,通河台和满洲里台同时最先出现异常,且满洲里台的相关系数低于通河台,但考虑到满洲里台周边地磁台站分布稀疏,增大选取半径后对震中位置判定范围加大,故弃用满洲里台,选用通河台作为中心。

安达地震前,最先出现异常的台站是通河台,以通河台为中心,300km为半径作圆,选取

的异常台站包括通河台、望奎台和哈尔滨台, 安达地震发生在这 3 个台站所形成的扇形区域内(图 5(a))。从图 5(b) 中可以看出, 抚松地震的震中位置在圆圈内铁岭台、三岗台和通化台这 3 个异常台站所形成的多边形区域的边缘, 图 5(c) 中通榆地震发生在圆圈内异常台站铁岭台、三岗台、通化台和营口台所形成的多边形区域内。阿荣旗地震和龙江地震前, 满洲里台最先出现异常, 以该台为中心, 700km 为半径选取台站, 其中存在异常的是满洲里台和德都台, 2 次地震的震中位置在满洲里台和德都台所形成的四边形区域内, 见图 5(d)。

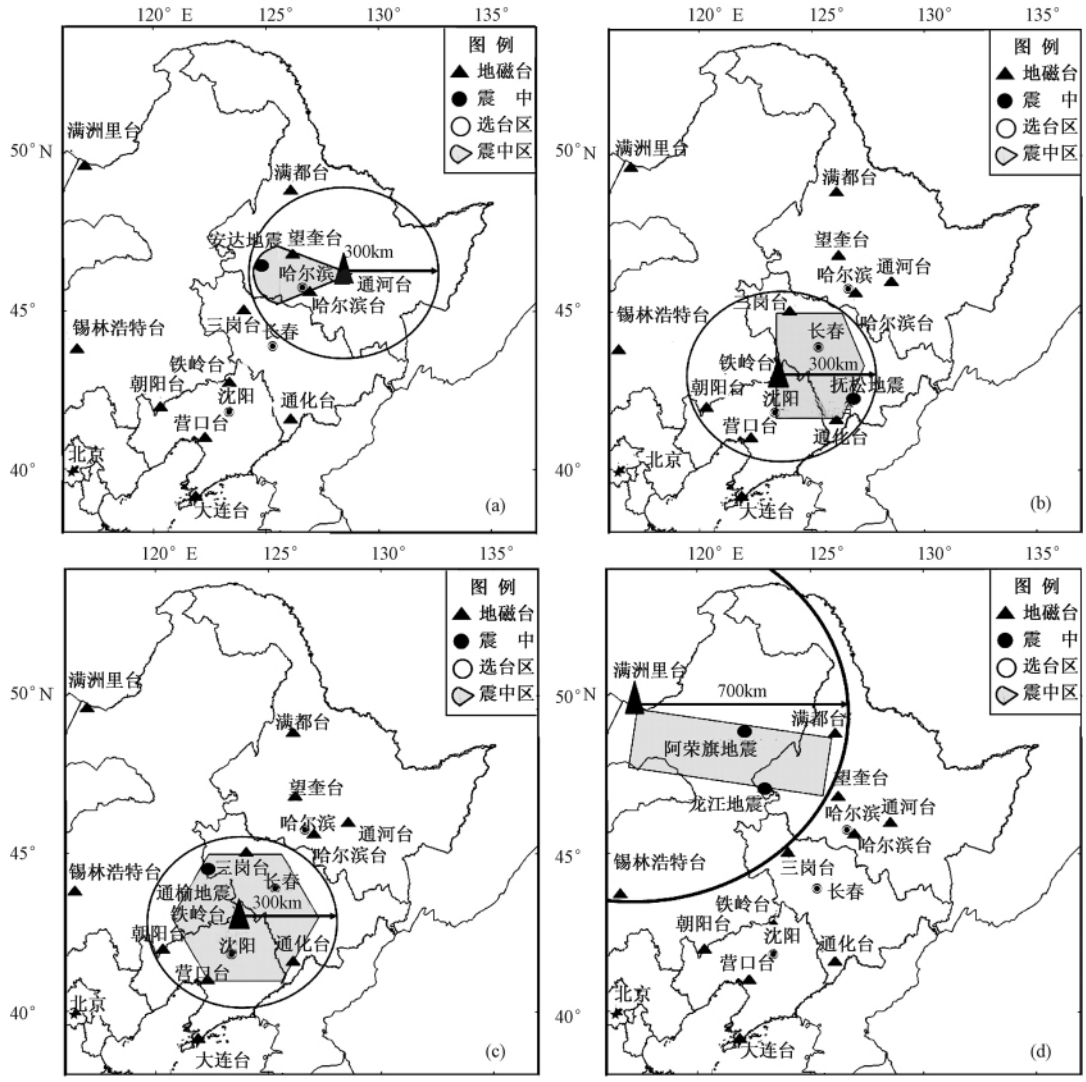


图 5 主震震中与选取异常台站空间分布

(a) 安达地震; (b) 抚松地震; (c) 通榆地震; (d) 阿荣旗地震和龙江地震

(3) 强度指标。表 7 给出了震级与异常幅度关系的统计情况。从表 7 可见, 每组最低相关系数的最小值与震级存在正变关系, 地震越大, 异常越大(即相关系数越低), 异常持续时间越长, 反之亦然。这对地震震级的估计有一定的帮助。需要说明的是, 阿荣旗地震和龙

江地震前异常持续时间最多为 29 天,时间上与安达 M4.5 地震持平,明显少于抚松地震和通榆地震,最低相关系数最小值也明显高于其它几次震级小的地震,这很可能与震中附近地区地磁观测台站距离较远,分布稀疏有关。

表 7 震级与异常幅度关系统计表

异常事件	主震震级	异常持续时间 (天)	每组最低相关 系数最小值
阿荣旗地震前异常	5.2	24~29	0.862
龙江地震前异常	4.6	24~29	0.862
安达地震前异常	4.5	12~29	0.715
抚松地震前异常	4.6	4~53	0.713
通榆地震前异常	4.7	10~40	0.584

5 讨论与结论

通过上述的工作,本文在应用地磁空间相关法时也发现了一些问题。

(1) 无震平静时段。图 6 给出了 2008 年 1 月~2011 年 8 月以营口台为参考各台相关性曲线的长期形态,可见 2010 年和 2011 年无 M4.5 以上地震的阶段,相关性曲线波动不大,基本维持在标准线 0.95 以上。

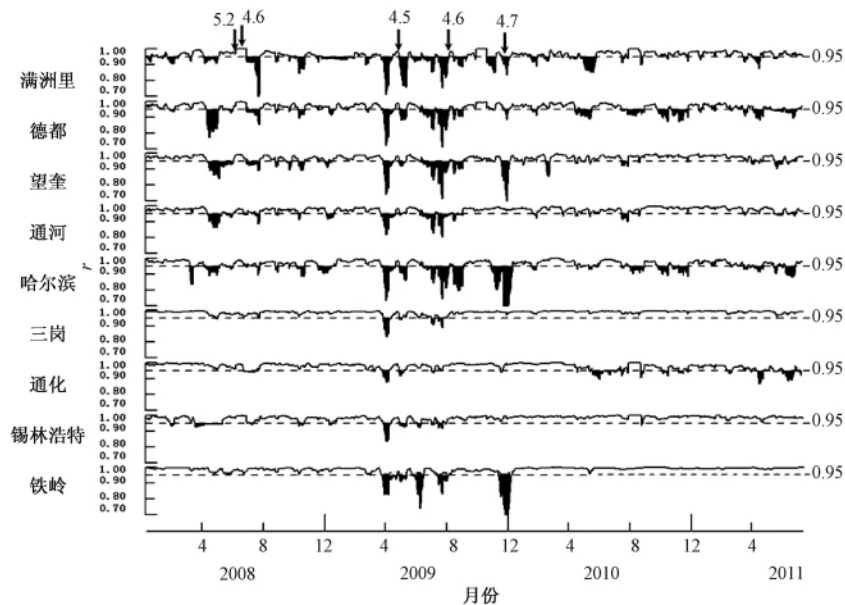


图 6 以营口台为参考各台磁场总强度相关性曲线图

(2) 震后异常现象。在龙江地震和抚松地震后不到 1 个月的时间里,很多台站再次出现异常现象且持续时间一般在 1 个月左右,最长不超过 2 个月。本文认为这是由龙江地震和抚松地震引起的震后效应。首先在时间上,这两次异常发生的时间都是在前面地震发生后不久,一般在 1 个月内,且距离下一次地震的发生时间较长;在异常台站的数量上和异常变化的幅度上都少于和小于前面主震的情况,这可能是由于地震后部分地区磁场缓慢变化和异常恢复所引起的震后效应。

空间相关性分析在地磁观测中可以发挥一定的作用,我国学者从岩石实验、岩体试验、地面电磁波震例观测、电离层扰动观测、模型计算等多方面进行了实践,取得了许多值得肯

定的结果。前人也对地震地磁研究做了许多总结工作,这些成果证明和肯定了地震地磁扰动的存在和可利用性(王继军等,2005)。黑龙江及其周边地区开展地磁观测较晚,在这方面有效的分析预测方法不多,本文通过空间相关性法与东北地区中强地震前的异常特征进行分析,总结该方法在东北地区的预测经验,以期为东北地区的地震预测工作提供一些思路,拓宽该方法在分析预测中的应用空间。但由于研究的震例较少,所以结果只可能是初步的,其认识也是尝试性的。目前,为了能够更好地捕捉到地震前可信度较高的异常,应该开展综合分析,结合测震学科及其它前兆手段,进行点、线、面的研究,也许会收到更佳的效果。

参考文献

- 丁鉴海、黄雪香、卢振业,1994,地震电磁学,北京:地震出版社。
- 杜安娜,1998,地磁场总强度空间线性相关在预报武定、丽江强震中的应用及机理,地震,18(3),308~312。
- 冯志生、王建宇、梅卫萍等,2000,江苏地区地磁 Z21 测值空间相关异常及其标志体系,地震地磁观测与研究,21(1),44~49。
- 郝锦琦、黄平章、周建国,1993,微破裂对岩石剩磁的影响——对地震预报的意义,地球物理学报,36(2),203~211。
- 鲁跃、王科英,1999,张北地震前地磁空间相关异常特征,地震地磁观测与研究,20(1),39~45。
- 钱书清、郝锦琦、周建国等,2003,岩石受压破裂的 ULF 和 LF 电磁前兆信号,中国地震,19(2),109~116。
- 王继军、赵国泽、詹艳等,2005,中国地震电磁现象的观测与研究,大地测量与地球动力学,25(1),11~21。
- 曾小苹、林云芳,1990,回归分析方法在震磁关系和地磁资料处理中的应用,地震地磁观测与研究,11(2),35~43。
- 张建国、乔子云、张新东等,2007,地磁空间相关法在河北省的应用研究,西北地震学报,29(4),371~376。
- Molchanov O A, Kopytenko Y A, Voronov P M et al, 1992, Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak ($M_S = 6.9$) and Loma Prieta ($M_S = 7.1$) earthquakes: comparative analysis, Geophysical Research Letters, 19(14), 1495~1498.

Abnormal characteristics analysis of geomagnetic spatial correlation before medium and strong earthquakes in the northeast China region

Ren Jianhui Li Jiye Hu Binsheng Li Kun Meng Linglei Du Tianjiao Chen Changyong

Earthquake Administration of Harbin City, Harbin 150021, China

Abstract Using the 21 O'clock F component observation data of geomagnetic stations in Heilongjiang, Jilin, Inner Mongolia and Liaoning provinces, the paper researches the changes of spatial correlation before several medium earthquakes and finds that the spatial correlation would decline. We provide the preliminary index for abnormality judgment for the guidance of short-term earthquake forecast in the region.

Key words: Geomagnetic Geomagnetic total field F Spatial correlation Earthquake forecast