

地磁空间相关法在河北省的应用研究

张建国^{1,2}, 乔子云³, 张新东¹, 孙 晴^{1,2}

(1. 河北省地震局邯郸中心台, 河北 邯郸 056001; 2. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026; 3. 河北省地震局, 河北 石家庄 050021)

摘要:通过对河北省境内8个地磁台站1981—2006年 Z_{21} 地磁资料的相关分析,发现地磁 Z_{21} 相关系数异常与河北省及邻区 $M_s \geq 5.0$ 地震有较好的对应关系:26年内共出现了符合判据标准的异常18次,在其后10个月内对应地震13次,应报15个,虚报3次,漏报2次。初步给出了适合该区域的地震预报参数。

关键词:地磁异常;空间相关;地震预报;河北

中图分类号: P315.72⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2007)04-0371-06

Application of the Method of Geomagnetic Spatial Correlation in Hebei Province

ZHANG Jian-guo^{1,2}, QIAO Zi-yun³, ZHANG Xin-dong¹, SUN Qing^{1,2}

(1. Central Seismic Station of Handan, Hebei Handan 056001, China;

2. College of Geoprospection Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China;

3. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: By using the method of correlation analysis to geomagnetic data Z_{21} recorded in 8 geomagnetic stations in Hebei Province from 1981 to 2006. It is found that abnormal correlation coefficient have good relationship with the earthquakes of magnitude $M_s \geq 5.0$ in Hebei and neighboring area. In 26 years 18 abnormal events appeared, in which 13 events respond to $M_s \geq 5.0$ earthquake in 10 months. In this way, 15 earthquakes should be predicted, 3 were falsed for prediction and 2 were missed. A initial and quota parameter suitable for the earthquake prediction in Hebei Province is suggested.

Key words: Geomagnetic anomaly; Spatial correlation; Earthquake forecasting; Hebei Province

0 引言

简单地讲,地球磁场=基本磁场+变化磁场+地壳磁异常,其中基本磁场及变化磁场在一个不大的空间范围内是均匀的,其变化是基本同步的,即它们在空间上是相关的,至少在100~200 km范围内是如此^[1-2]。而地壳磁异常场主要是指局部磁异常,其中也包括地震磁异常,与异常体之外的磁场相关程度低。因此,人们可以在异常体内外同时观测地磁场,并通过相关运算获得了这些异常体的一些信息^[3-6]。通过理论分析和震例分析发现,地磁场 Z 分量与地下介质的关系最为密切^[5-8]。

本文利用河北省红山、昌黎等(图1)8个地磁台站1981年1月1日—2006年12月31日(有些台站缺数据)的 Z 分量每日21点(北京时)绝对观测值,研究它们之间的相关系数变化与发生在河北省及邻区1982—2006年 $M_s \geq 5.0$ 地震(图1)之间的关系,给出适合于该区域的地震预报参数指标,并对其内检效能进行评价。

1 原理与方法

设A、B两台每日北京时21点的地磁场垂直分

收稿日期:2007-01-17

基金项目:中国地震局“三结合”课题资助(中震测函[2006]295号)

作者简介:张建国(1974—),男(汉族),河南濮阳人,硕士研究生,工程师,主要从事地震监测工作。

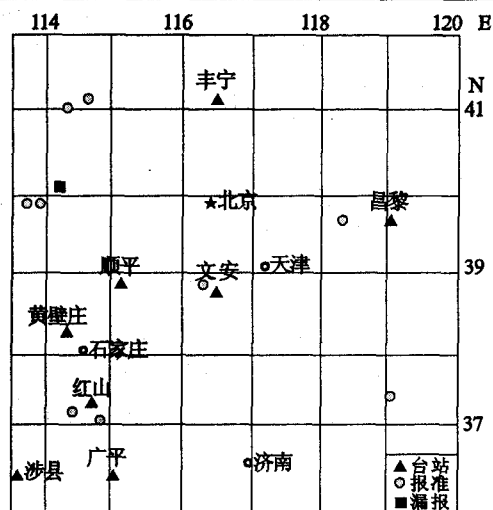


图1 河北省地磁台站及震中分布

Fig. 1 Distribution of geomagnetic stations and epicenters of earthquake in Hebei Province.

量绝对观测值为 Z_A 、 Z_B ，它们线性相关，即

$$Z_{Bi} = bZ_{Ai} + a \quad (1)$$

($i=1, 2, \dots, N$, N 为计算相关系数窗长)

其中

$$b = \frac{L_{BB}}{L_{AA}}, \quad a = \frac{\sum_{i=1}^N Z_{Bi}}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^N Z_{Ai}}{N}$$

它们的相关系数和标准偏差为

$$R = \frac{L_{AB}}{(L_{AA} * L_{BB})^{1/2}} \quad (2)$$

$$\sigma = \left[\frac{(1-R)^2 L_{BB}}{N-2} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{其中, } L_{AA} = \sum_{i=1}^N (Z_{Ai})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N Z_{Ai} \right)^2$$

$$L_{BB} = \sum_{i=1}^N (Z_{Bi})^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N Z_{Bi} \right)^2$$

$$L_{AB} = \sum_{i=1}^N (Z_{Ai} * Z_{Bi}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{Ai} \sum_{i=1}^N Z_{Bi}$$

相关系数 R 越接近 1, 表示相关性越强。剩余标准差 σ 是对数据离散程度的估计量, 越小越好。

2 计算结果及分析

2.1 初步分析

为了突出前面的异常趋势, 我们从 1981 年开始计算(有些台站无数据)。根据实际计算效果, 选取窗长 N 为 21 天^[7]。为了避免因参考台观测数据质量不佳而导致各台逐日相关系数的普遍性下降, 我们分别以这 8 个台站为参考台, 分别和其他 7 个台

站进行相关计算(a: 以广平为参考台; b: 涉县台; c: 昌黎台; d: 丰宁台; e: 红山台; f: 黄壁庄台; g: 顺平台; h: 文安台)。通过逐日向后滑动计算窗, 可以获得两两台站之间的逐日相关系数, 在进行相关系数运算之前首先对两台观测数据进行干扰剔除, 计算得到的逐日相关系数绘成图 2。

从地磁空间相关系数变化曲线图可知, 在异常判别时阈值的选取是关键。资料分析来看, $R(Z)$ 值大部分在 0.85~1.0 之间波动。笔者尝试依次选取不同的阈值进行了反复的计算分析, 认为选取 $R_0(Z)=0.75$ (图 2 中的横线) 为异常判别的阈值比较合理, 即凡是 $R(Z) \leq 0.75$ 视为异常指标。经对应河北省内及其邻近地区 1 年内所发生的 $M_s \geq 5.0$ 地震, 发现满足异常判别标准 $R(Z)$ 的比较多, 而其 1 年内无地震发生也不在少数, 因此必须对异常指标做出修正。

2.2 异常指标修正

根据实际分析效果, 对河北省地磁台网地磁空间相关的异常指标修正如下:

(1) $R(Z)$ 的阈值 $R_0(Z)=0.75$ (图 2 中的横线)。

(2) 至少有 2 个或 2 个以上台站同时满足 $R(Z) \leq R_0(Z)$ 。

(3) 并且在条件(2)中至少有一个台站连续变化在 20 天以上。在实际计算过程中发现满足异常连续变化天数多少不等, 有 5 天、10 天、20 天以上等等, 通过依次尝试选用不同的异常天数来对应以后发生的地震, 发现选取 20 天以上较合适。

(4) 从一组异常的异常开始时间计算, 在其后的 10 个月内, 在异常高值点附近半径 400 km 的范围内有发生 $M_s \geq 5.0$ 地震的可能性。

根据以上判据, 则满足这种异常要求的变化共有 18 次, 在其后的 10 个月内大部分发生地震, 其中对应地震 13 次, 应报 15 次, 虚报 3 次, 漏报 2 次(图 2、表 1), 说明空间相关异常信度还是较高的(为保证异常的可靠性, 并排除由于参考台的数据不稳定可能引起的相关系数较低的现象, 表 2 中的各台相关系数是以该台为参考台与其他所有台站相关系数之和的平均值)。

2.3 异常高值区与震中的关系

丁鉴海等^[9]指出, 除在震中区出现集中异常分布外, 同时还存在部分远场异常点, 但在远场地区异常台站与正常台站的比例远小于异常集中区。图 3 给出了表 2 中对应地震异常值的空间等值线分布

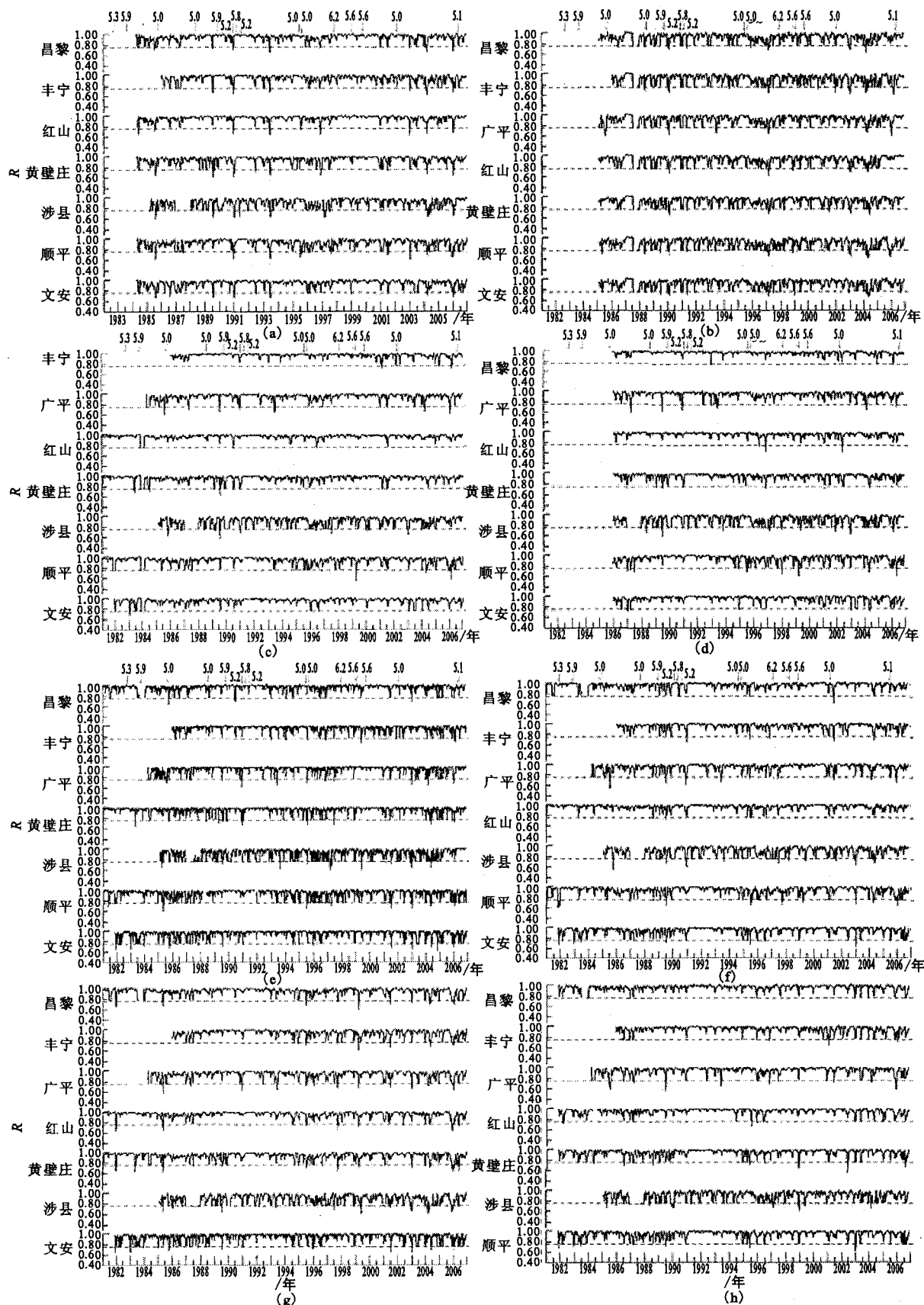
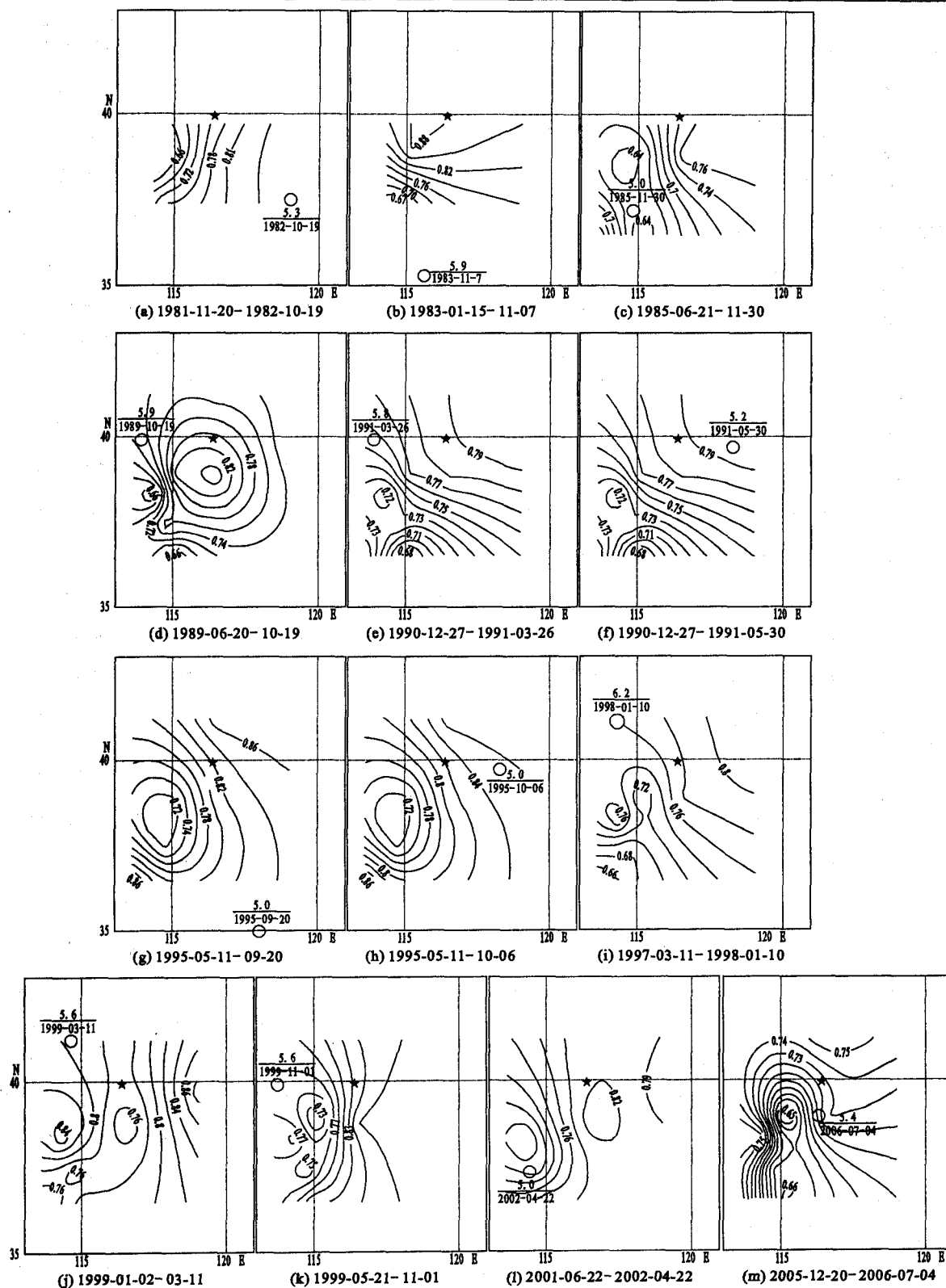


图 2 参考台与各台逐日相关系数变化曲线(横线为阈值 $R=0.75$)

Fig. 2 Variation curves of daily correlation coefficient among the reference station and each stations (Horizontal line is $R=0.75$).

图3 地磁相关系数 $R(Z)$ 的空间分布与震中位置关系Fig. 3 Distribution of geomagnet response ratio $R(Z)$ and earthquake epicenters.

及与地震震中位置关系。由表2和图3可以看出, 大部分地震震中集中在异常的高值区(异常的小值), 而且似乎看出各参考台站相关系数随震中距的

减小而减小。但期间也有一部分高值区(异常的小值)远离震中的现象, 这些可能是远场异常点的情况。

表1 河北地区地磁垂直分量 Z_{21} 相关系数与 $M_s \geq 5.0$ 地震对应情况统计表

序号	异常开始日期	各台站地磁垂直分量 Z_{21} 相关系数								对应地震		异常提前 天数/d
		广平	涉县	红山	黄壁庄	顺平	文安	昌黎	丰宁	时间	地点 震级/ M_s	
1	1981-12-20—1982-01-30			0.75	0.63	0.65	0.80	0.86		1982-10-19	卢龙 5.3	299
2	1983-01-15—1983-02-07			0.64	0.74	0.88	0.85	0.85		1983-11-07	菏泽 5.9	293
3	1985-06-21—1985-08-19	0.62	0.76	0.65	0.63	0.64	0.77	0.78		1985-11-30	任县 5.0	160
4	无异常									1988-07-23	阳原 5.0	漏报
5	1989-06-20—1989-07-16	0.65	0.73	0.77	0.64	0.83	0.85	0.72	0.75	1989-10-19	大同 5.9	120
6	无异常									1991-01-29	沂州 5.2	漏报
7	1990-12-27—1991-02-03	0.67	0.75	0.73	0.71	0.77	0.78	0.80	0.79	1991-03-26	大同 5.8	90
8	1990-12-27—1991-02-03	0.67	0.75	0.73	0.71	0.77	0.78	0.80	0.79	1991-05-30	唐山 5.2	153
9	1993-05-15—1993-06-17	0.67	0.80	0.72	0.82	0.80	0.83	0.84	0.81		虚报	
10	1995-05-11—1995-06-17	0.80	0.87	0.72	0.70	0.72	0.81	0.86	0.87	1995-09-20	苍山 5.0	129
11	1995-05-11—1995-06-17	0.80	0.87	0.72	0.70	0.72	0.81	0.86	0.87	1995-10-06	唐山 5.0	144
12	1997-03-11—1997-04-25	0.68	0.64	0.68	0.78	0.70	0.78	0.81	0.79	1998-01-10	张北 6.2	299
13	1999-01-02—1999-02-07	0.79	0.74	0.75	0.85	0.82	0.74	0.89	0.77	1999-03-11	张北 5.6	69
14	1999-05-21—1999-06-18	0.83	0.76	0.73	0.80	0.70	0.87	0.88	0.85	1999-11-01	大同 5.6	160
15	2001-06-22—2001-07-21	0.78	0.75	0.65	0.61	0.73	0.84	0.77	0.82	2002-04-22	隆尧 5.0	300
16	2002-12-22—2003-01-20	0.73	0.68	0.70	0.76	0.72	0.69	0.85	0.78		虚报	
17	2004-03-17—2004-04-23	0.70	0.64	0.73	0.74	0.72	0.86	0.78	0.76		虚报	
18	2005-12-20—2006-01-31	0.66	0.76	0.67	0.77	0.63	0.73	0.73	0.76	2006-07-04	文安 5.1	194

注:①“对应地震”来源于中国地震局大华北交换目录;②黑体字为异常数值。

3 内检效能评价

从1981年1月1日—2006年12月31日共有18组异常,其中对应地震13次,漏报2次,期间应报15个,虚报3次(见表2)。按照上面的分析,河北省地磁台网Z分量21点观测值空间相关法的内检地震预报能力可用下式估计^[9]:

$$R = \frac{\text{报对地震次数}}{\text{应报地震总次数}} - \frac{\text{报对占用时段}}{\text{预报研究总时段}}$$

其中报对地震的预报时间即为提前时间。虚报的预报时间为10个月,预报占用的时段为110.3个月,预报研究的总时段为312个月,所以计算求得R值为0.52。通过查“具有97.5%置信水平的R值表^[10]”, R_0 值为0.258,显然R值大于 R_0 值,通过检验。

4 结论

(1) 河北省地处燕山褶断带、太行山山前断裂带和华北平原沉积带,是构造部位敏感地区。由表2可以看出,大部分震前台站地磁场有异常波动,可能反映孕震过程中地球介质深部电阻率下降^[11]或台站及周围地区的外空磁场发生了变化^[7]。对应地震的时间一般是震前10月内。

(2) 初步提出至少有两个或两个以上台站的相关系数同时低于0.75,并至少有一个台站连续变化20天以上才能被认定为地震异常标准的判定条件是可行的。一方面说明只有当大面积的相关系数异

常才能引发 $M_s \geq 5.0$ 地震,同时也可以避免因观测台数据受干扰引起的相关系数下降变化被视为地震异常,从而提高了异常的可信度。

(3) 从1982年1月1日—2006年12月31日的25年中,总共发生 $M_s \geq 5.0$ 的地震15个,满足以上判别标准异常为18次,一般在震前10个月内。其中对应地震13次,漏报2次,虚报3次,对应率为72%,是较高的。其内检预报效能R为0.52,通过内检检验。

(4) 由图3和表2可以看出,大多数地震之前的异常极大值(相关系数极小值)空间分布都相对集中于震中区附近,这对未来震中区域的判定有一定的参考价值。

(5) 从表2看出,异常量和异常台站数与地震震级似乎存在正比关系(有些台站缺数据),地震越大,异常量R越大(即相关系数越低),异常台站数越多,异常区规模越大,反之亦然。这对地震的震级判断有一定的帮助。

[参考文献]

- [1] 冯志生,梅卫萍,张苏平,等. FHD磁力仪Z分量分钟值日变化空间相关性的初步应用[J]. 华南地震,2005,25(3):1-7.
- [2] 肖武军,余素荣,丁鉴海. 强震前的地磁异常现象[J]. 地震,2006,26(4):52-57.
- [3] 曾小苹,林云芳,续春荣,等. 1991年3月26日大同5.8级地震的磁效应初探[J]. 地震,1992,13(2):44-52.
- [4] 祁贵仲,侯作中. 地磁场的空间相关性及其在地震预报中的应

- 用[J]. 地球物理学报, 1997, 20(3): 145-149.
- [5] 冯志生, 王建宇, 蒋延林, 等. 地磁 z 分量整点值空间相关法在江苏地区地震预报中的初步应用[J]. 地震学刊, 1998, (3): 1-5.
- [6] 林美, 沈斌. 地磁场垂直分量相关分析与地震的对应关系[J]. 地震研究, 1982, 5(2): 1-5.
- [7] 冯志生, 王建宇, 梅卫萍, 等. 江苏地区地磁 Z21 测值空间相关异常及其标志体系[J]. 地震地磁观测与研究, 2000, 21(1): 44-49.
- [8] 冯志生, 张苏平, 梅卫萍, 等. 基于数字地磁资料的滤波幅相法初步应用研究[J]. 地震, 2006, 26(1): 93-98.
- [9] 丁鉴海, 卢振业, 黄雪香. 地震地磁学[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
- [10] 陆远忠, 陈章立. 地震预报的地震学方法[M]. 北京: 地震出版社, 1985: 252.
- [11] 徐常芳. 地壳内高导层成因、高温高压下及电阻率(二)[J]. 地震学报, 1996, 18(3): 287-291.

(上接 356 页)

[参考文献]

- [1] 孙东坡, 彭文启, 刘培斌. 河流交叉工程平面二维水沙数值模拟[J]. 水利学报, 1999(2): 62-66.
- [2] 赵海燕, 周鸿钧, 邓莉辉. 三维节理元在倒虹吸结构中的应用[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(6): 731-733.
- [3] 赵海燕, 邓莉辉. 南水北调工程倒虹吸结构三维节理元计算模型的建立[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(4): 517-519.
- [4] 赵顺波, 李晓克, 胡志远, 等. 大型倒虹吸预应力混凝土结构模型试验研究[J]. 水力发电学报, 2006, 25(1): 40-44.
- [5] 李晓克, 赵顺波, 刘树玉, 等. 大型倒虹吸结构预应力钢筋张拉施工顺序研究[J]. 水利水电技术, 2005, 36(6): 68-71.
- [6] 郑颖人, 沈珠江, 龚晓南. 岩土塑性力学原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [7] 尚守平, 刘方成, 王海东. 基于阻尼的地震循环荷载作用下黏土非线性模型[J]. 土木工程学报, 2007, 40(3): 74-82.
- [8] 中华人民共和国水利部. 水工建筑物抗震设计规范(SL203-97)[S]. 北京: 中国水利电力出版社, 1997.