

# 广西地区地磁异常与地震关系的研究<sup>\*</sup>

阎春恒<sup>1</sup>, 孙学军<sup>1</sup>, 齐贵华<sup>2</sup>, 韦仕根<sup>3</sup>, 黄惠宁<sup>1</sup>, 向 巍<sup>1</sup>

(1. 广西壮族自治区地震局, 广西 南宁 530022; 2. 广西壮族自治区地震局 邕宁地震台, 广西 南宁 530200;  
3. 广西壮族自治区地震局 河池地震台, 广西 河池 547000)

**摘要:** 采用空间相关法计算了1987~2013年广西邕宁地震台和河池地震台的地磁 $Z$ 分量日变化幅度相对海南琼中地震台的空间相关系数, 分析了研究时段内空间相关曲线异常变化特征与广西及北部湾海域中强地震的关系。结果表明, 广西及北部湾海域中强地震通常发生在邕宁地震台和河池地震台的空间相关曲线同步出现低值异常持续过程中或异常结束后3个月内, 且低值异常持续时间超过1个月、异常最小幅值 $\leq 0.9$ 。预报效能检验结果显示, 该方法对广西地区 $M \geq 4.4$ 地震具有较好的映震效果, 可为该地区短临地震趋势分析提供定量判据。

**关键词:** 地磁异常;  $Z$ 分量日变化幅度; 空间相关性; 震磁关系; 广西地区

**中图分类号:** P318

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2015)04-0606-07

## 0 引言

地震的发生不仅与震源区的孕震过程有关, 而且与地体环境及日地空间环境因素密切相关, 而变化磁场是把两者联系起来的天然媒介(丁鉴海, 1988)。地球变化磁场 $Z$ 分量日变化幅度, 包含了地球变化磁场的外场及地球内部电性介质感应生成的变化内场的信息, 因此其可以反映地球内部介质电性性质的变化(冯志生等, 2001)。震例研究表明, 地磁场 $Z$ 分量与地下介质的关系最密切, 特别是在中低纬度地区, 地震的磁异常主要表现为地磁 $Z$ 分量异常(冯志生等, 2000, 2006)。基于此, 我国学者积极探讨有关地磁日变方面的变化与地震的关系, 如 $Z$ 分量日变的低点位移与地震的关系(丁鉴海, 1988),  $Z$ 分量静日变幅月均值与地震的关系(姚法章, 任丽君, 1988), 地磁垂直分量日变幅逐日比及其与地震的关系(冯志生等, 2001)。诸多研究表明, 中强地震前存在可靠的地磁短临前兆(刘心恒, 周隽生, 1995; 鲁跃等, 1999; 李树华, 陈燕, 2003; 李树华, 赵小艳, 2011; 丁鉴海等, 2004; 韩鹏等, 2009; 王武星等, 2009; 袁浩浩等, 2014)。利用

变化磁场特别是 $Z$ 分量日变幅异常场预报地震, 已成为我国日常地震短临监视预报有效的方法之一(丁鉴海等, 2006)。

广西邕宁和河池地震台已连续观测近30年, 期间广西及邻区发生了多次中强地震, 为本研究积累了宝贵的基础资料。本文基于广西邕宁、河池地震台和海南琼中地震台连续的地磁相对观测资料, 采用空间相关法分析3个台站周边中强地震前地磁 $Z$ 分量日变化幅度变化特征, 提取可能存在的异常指标, 为该地区中强地震的中短期趋势预测和研究提供参考。

## 1 台站概况及资料选取

广西邕宁地震台建于1972年5月, 地处北西向百色—合浦断裂带附近, 出露岩石为白云质灰岩, 属国家基准台。广西河池地震台于1986年10月开始正式记录, 位于山字型宜山—柳城断裂带附近, 出露地层为石灰系薄状灰岩, 属区域台。海南琼中地震台建于1976年11月, 位于五指山隆起岩体的北东距五指山20多千米处, 基岩岩性为中生代第二期酸性弱磁性花岗岩, 属国家基准台。3个台站均为有人值守台, 不同时段相对观测使用

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014-07-30.

**基金项目:** 广西科技攻关计划项目(14124004-4-8、12426001)、地震科技星火计划项目(XH142003Y)和中国地震局“三结合”课题(龙滩水库中等地震前兆特征分析)共同资助。

的仪器基本相同（表 1），每年开展地磁梯度测量，观测环境和数据质量均符合要求。琼中台（QZ）距离邕宁台（YN）约 440 km，距离河池台（HC）约 660 km（图 1），3 个台站所处地理位置相近，观测资料具有较好的同步性，选用这 3 个台站的变化记录对地磁  $Z$  分量日变幅数据开展分析，能够

提取局部地磁异常场的信息。选取邕宁台和琼中台资料研究时段为 1984-01-01~2013-12-31，河池台资料研究时段为 1993-01-01~2013-12-31。除 2005-06~2007-09 海南琼中台因数字化改造出现部分时段缺数，其余时段 3 个台站的资料连续率好，可靠性高（图 2）。

自 1984 年有地磁观测资料以来，挑选这 3 个台站周边一定范围内的地震作为研究震例，挑选原则是  $M_{4.4} \sim 4.9$ 、 $M_{5.0} \sim 5.9$ 、 $M_{6.0} \sim 6.9$  地震到台站的距离分别不超过 200 km、300 km、500 km，获得 7 次震例共 10 个  $M \geq 4.4$  地震，其中 1 个为双震，2 个为  $M \geq 5$  强余震（图 1、表 2），震中位于广西及北部湾海域。

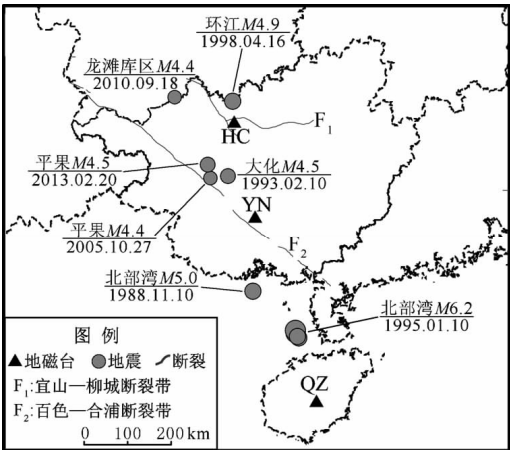


图 1 研究区断裂、地震和台站分布图

Fig. 1 Distribution map of faults, earthquakes and stations in the study region

表 1 河池、邕宁和琼中台不同时期相对观测设备信息表  
Tab. 1 Relative observation equipment information of Hechi, Yongning and Qiongzong stations in different period

| 设备型号 | CB-3        | GM-3        | GM-4        | FHDZ-M15 |
|------|-------------|-------------|-------------|----------|
| 河池台  | 1992~2007 年 | —           | 2007 年至今    | —        |
| 邕宁台  | 1984~2007 年 | 2001~2013 年 | 2013 年至今    | 2007 年至今 |
| 琼中台  | 1977~2003 年 | 2003~2007 年 | 2003~2008 年 | 2007 年至今 |

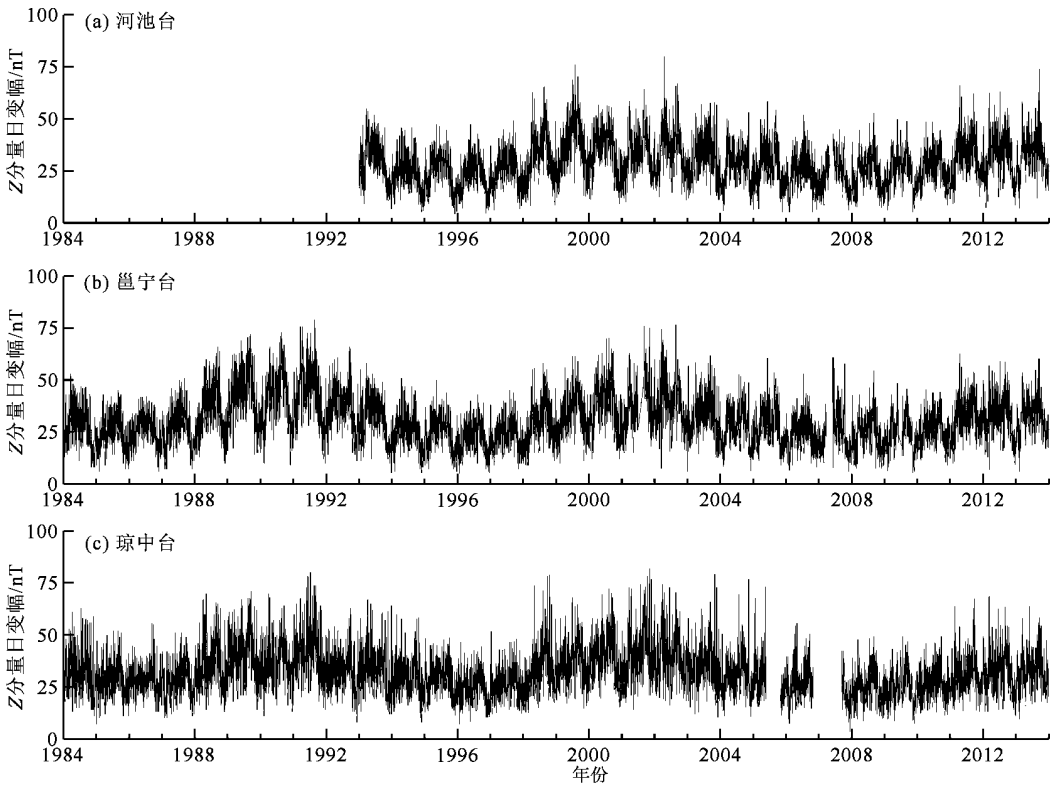


图 2 地磁  $Z$  分量日变化幅度曲线

Fig. 2 Daily variation amplitude curve of geomagnetic  $Z$  component

表 2 1984~2013 年广西及北部湾海域中强震例

Tab. 2 The selected moderate and strong earthquakes in Guangxi and Beibu Gulf from 1984 to 2013

| 序号 | 发震时间       | 震中位置                   |                        |      | 震级<br>(M) |
|----|------------|------------------------|------------------------|------|-----------|
|    | 年-月-日      | $\varphi_N/(^{\circ})$ | $\lambda_E/(^{\circ})$ | 参考地点 |           |
| 1  | 1988-11-10 | 21.28                  | 108.42                 | 北部湾  | 5.0       |
| 2  | 1993-02-10 | 23.63                  | 107.88                 | 广西大化 | 4.5       |
| 3  | 1994-12-31 | 20.43                  | 109.35                 | 北部湾  | 6.1       |
|    | 1995-01-10 | 20.48                  | 109.35                 | 北部湾  | 6.2       |
|    | 1995-03-23 | 20.33                  | 109.43                 | 北部湾  | 5.1       |
|    | 1995-05-07 | 20.35                  | 109.40                 | 北部湾  | 5.2       |
| 4  | 1998-04-16 | 25.12                  | 107.99                 | 广西环江 | 4.9       |
| 5  | 2005-10-27 | 23.58                  | 107.50                 | 广西平果 | 4.4       |
| 6  | 2010-09-18 | 25.20                  | 106.73                 | 龙滩库区 | 4.4       |
| 7  | 2013-02-20 | 23.85                  | 107.45                 | 广西平果 | 4.5       |

## 2 空间相关法

地磁正常背景场的分布与变化具有空间上的相关性和时间上的延拓性。单台地磁日变幅逐日变化很复杂,即使变化很大也不能算作地震前的异常,必须消除地磁正常背景场的变化,突出与地震相关的磁异常(丁鉴海等,2004)。采用空间相关法分析异常体内外同时观测到的地磁场  $Z$  分量资料,可得到异常体的地震磁异常信息(冯志生等,2005;蒋延林等,2005)。该方法的优点是即使两个台站距离较大或长期变化不太一致,也能较好地消除正常背景场和长期变化的影响,进而反映出微弱的震磁信息。

设 A、B 两个台站地磁垂直分量日变化幅度为  $Z_A$ 、 $Z_B$ ,且成线性相关(冯志生等,2000),即

$$Z_{Bi} = bZ_{Ai} + a \quad (i = 1, 2, \dots, N). \quad (1)$$

其中,  $b = L_{BB}/L_{AA}$ ,  $a = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N Z_{Bi} - b \sum_{i=1}^N Z_{Ai} \right)$ ,  $N$  为计算相关系数窗长。

相关系数 CI (correlation index) 为

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

标准偏差为

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

其中,  $L_{AA} = \sum_{i=1}^N (Z_{Ai})^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N Z_{Ai} \right)^2$ ,  $L_{BB} = \sum_{i=1}^N (Z_{Bi})^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N Z_{Bi} \right)^2$ ,  $L_{AB} = \sum_{i=1}^N (Z_{Ai} \cdot Z_{Bi}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_{Ai} \sum_{i=1}^N Z_{Bi}$ 。相关系数 CI 越接近 1,表示相关性越强,剩余标准偏差  $\sigma$  是对数据离散程度的估计量,越小越好。

## 3 结果分析

采用磁电异常分析软件,选取窗长  $N$  为 21 d (冯志生等,2000),计算了邕宁台和河池台  $Z$  分量日变化幅度相对海南琼中台  $Z$  分量日变化幅度的空间相关系数(图 3)。统计每次中强震例前后空间相关系数是否存在显著异常、异常持续时间及其变化与地震活动的相关性,所选取的 7 次震例前地磁空间相关曲线异常特征及其映震信息见表 3,表中  $\Delta$  表示震中距,  $T_0$  为发震时间,  $T_b$  为异常开始时间,  $T_e$  为异常结束时间,  $(T_e - T_b)$  为异常持续时间,  $(T_0 - T_b)$  为出现异常至发震的时间间隔,  $R_m$  为空间相关异常的最小值,  $R_0$  为发震时刻的空间相关系数。最后分析地震异常与中强地震的关系,并对空间相关法预报效能进行评估。

### 3.1 中强地震前地磁空间相关曲线变化特征

(1) 1988 年 11 月 10 日北部湾 5.0 级地震前约 1 个月邕宁台空间相关曲线迅速下降至 0.87,此后缓慢恢复,低值异常持续近 2 个月,在异常回升过程中发生 5.0 级地震,发震时刻相关系数为 0.93,震后近半年内曲线出现较大幅度的波动。

(2) 1993 年 2 月 10 日大化 4.5 级地震前两个多月,邕宁台空间相关曲线出现持续近 1 个月的低值异常,异常最低幅值为 0.9,异常结束后 45 d,在大化水库库区发生 4.5 级地震,震后空间相关曲线出现小幅波动并很快恢复正常。此次地震发生时河池台只积累了 2 个多月的观测资料,从震前该台的空间相关曲线来看,与邕宁台存在同步性很好的低值异常变化过程。

(3) 1994 年 12 月 31 日和 1995 年 1 月 10 日,北部湾先后发生了 6.1、6.2 级地震,并分别在 3

月 23 日和 5 月 7 日发生 5.1 级和 5.2 级强余震。4 次地震前，河池台和邕宁台空间相关系数均出现不同程度的异常变化。6.1 级地震前 26 d，河池台和邕宁台同步出现低值异常，持续时间为 1 个月，最低异常值分别为 0.83 和 0.89，在低值异常转折回升过程中，发生了北部湾 6.1、6.2 级双震。震后较长时间内空间相关曲线出现波动，3 月 7 日至 5 月 17 日出现了两次同步性较好、幅值低于 0.9 的异常变化过程，在低值异常转折回升过程中，分别发生了 5.1 和 5.2 级强余震。

(4) 1998 年 3 月 4 日起，河池台和邕宁台空间相关曲线同步出现快速的大幅下降，最低值分别降至 0.8 和 0.76，此后缓慢恢复，4 月 25 日回归正常状态，整个过程持续近两个月。在曲线恢复过程中，发生环江 4.9 级地震。

(5) 2005 年 10 月 27 日平果 4.4 级地震前 6 d，河池和邕宁台空间相关曲线出现趋势下降，降至 0.96 时，发生了 4.4 级地震，震后空间相关曲线仍持续近 1 个多月的下降，分别降至最低值 0.77、0.88。2 个月后，空间相关曲线逐渐恢复正常。

(6) 2010 年 9 月 18 日龙滩库区 4.4 级地震前 5 个月，河池台空间相关曲线出现明显低值异常，持续时间近 2 个月，出现 0.89、0.88 两次低值异常过程；邕宁台空间相关系数也出现了相同形态的下降过程，两次下降过程的最低值分别为 0.92 和 0.94，异常幅度较河池台的略小。异常结束后 100 d，龙滩库区发生 4.4 级地震。

(7) 2012 年 10 月 10 日起，河池台和邕宁台同步出现空间相关系数低值异常，异常持续时间近 3 个月，初期波动性缓慢下降，至 12 月上旬分别达到最低值 0.86 和 0.87，此后缓慢回升至背景值。异常结束后 45 d，平果地区发生 4.5 级地震。

3.2 地磁空间相关异常与中强地震关系分析

表 3 统计信息显示，研究震例震中距  $\Delta$  介于 50 ~ 505 km。当  $\Delta < 270$  km 时，空间相关异常最小值在 0.76 ~ 0.90 之间，平均为 0.84。当  $\Delta > 270$  km 时，空间相关异常最小值在 0.83 ~ 0.92 之间，平均 0.88。即异常幅度与震中距呈负相关性，当震中距相对较小时，观测到的异常幅度相对较大。

表 3 邕宁和河池台空间相关系数异常信息统计

Tab. 3 Abnormal information statistics of spatial correlation index of Yongning and Hechi stations

| 序号 | 台名 | 震级<br>( <i>M</i> ) | $\Delta$<br>/km | $T_o$<br>/年-月-日 | $T_b$<br>/年-月-日 | $T_e$<br>/年-月-日 | $(T_e - T_b)$<br>/d | $(T_o - T_b)$<br>/d | $R_m$ | $R_o$ | 异常特征                |
|----|----|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|-------|-------|---------------------|
| 1  | YN | 5.0                | 164             | 1988-11-10      | 1988-10-12      | 1988-12-06      | 55                  | 29                  | 0.87  | 0.93  | 低值异常,异常恢复过程中发震      |
| 2  | HC | 4.5                | 116             | 1993-02-20      | 1992-12-13      | 1993-01-06      | 24                  | 69                  | 0.9   | 0.96  | 低值异常,异常结束后 45 d 发震  |
|    | YN | 4.5                | 113             | 1993-02-20      | 1992-12-13      | 1993-01-06      | 24                  | 69                  | 0.9   | 0.96  | 低值异常,异常结束后 45 d 发震  |
| 3  | HC | 6.1                | 486             | 1994-12-31      | 1994-12-05      | 1995-01-06      | 32                  | 26                  | 0.83  | 0.94  | 低值异常,异常恢复过程中发震      |
|    | YN |                    | 270             | 1994-12-31      | 1994-12-05      | 1995-01-06      | 32                  | 26                  | 0.89  | 0.97  |                     |
|    | HC | 6.2                | 491             | 1995-01-10      | 1994-12-05      | 1995-01-10      | 36                  | 36                  | 0.83  | 0.97  | 低值异常,异常恢复过程中发震      |
|    | YN |                    | 274             | 1995-01-10      | 1994-12-05      | 1995-01-10      | 36                  | 36                  | 0.89  | 0.98  |                     |
| 3  | HC | 5.1                | 501             | 1995-03-23      | 1995-03-07      | 1995-03-30      | 23                  | 16                  | 0.90  | 0.91  | 低值异常,异常恢复过程中发震      |
|    | YN |                    | 284             | 1995-03-23      | 1995-03-07      | 1995-03-30      | 23                  | 16                  | 0.89  | 0.95  |                     |
|    | HC | 5.2                | 505             | 1995-05-07      | 1995-03-30      | 1995-05-17      | 48                  | 38                  | 0.86  | 0.96  | 低值异常,异常恢复过程中发震      |
|    | YN |                    | 290             | 1995-05-07      | 1995-3-30       | 1995-05-17      | 48                  | 38                  | 0.90  | 0.96  |                     |
| 4  | HC | 4.9                | 50              | 1998-04-16      | 1998-03-04      | 1998-04-25      | 52                  | 43                  | 0.80  | 0.97  | 低值异常,异常恢复过程中发震      |
|    | YN |                    | 266             | 1998-04-16      | 1998-03-04      | 1998-04-25      | 52                  | 43                  | 0.76  | 0.98  |                     |
| 5  | HC | 4.4                | 133             | 2005-10-27      | 2005-10-21      | 2006-01-07      | 78                  | 6                   | 0.77  | 0.97  | 低值异常,异常下降过程中发震      |
|    | YN |                    | 134             | 2005-10-27      | 2005-10-21      | 2006-01-07      | 78                  | 6                   | 0.88  | 0.96  |                     |
| 6  | HC | 4.4                | 143             | 2010-09-18      | 2010-04-16      | 2010-06-10      | 55                  | 155                 | 0.88  | 0.98  | 低值异常,异常结束后 100 d 发震 |
|    | YN |                    | 325             | 2010-09-18      | 2010-04-16      | 2010-06-10      | 55                  | 155                 | 0.92  | 0.98  |                     |
| 7  | HC | 4.5                | 107             | 2013-02-20      | 2012-10-10      | 2013-01-06      | 88                  | 133                 | 0.86  | 0.97  | 低值异常,异常结束后 45 d 发震  |
|    | YN |                    | 159             | 2013-02-20      | 2012-10-10      | 2013-01-06      | 88                  | 133                 | 0.87  | 0.98  |                     |

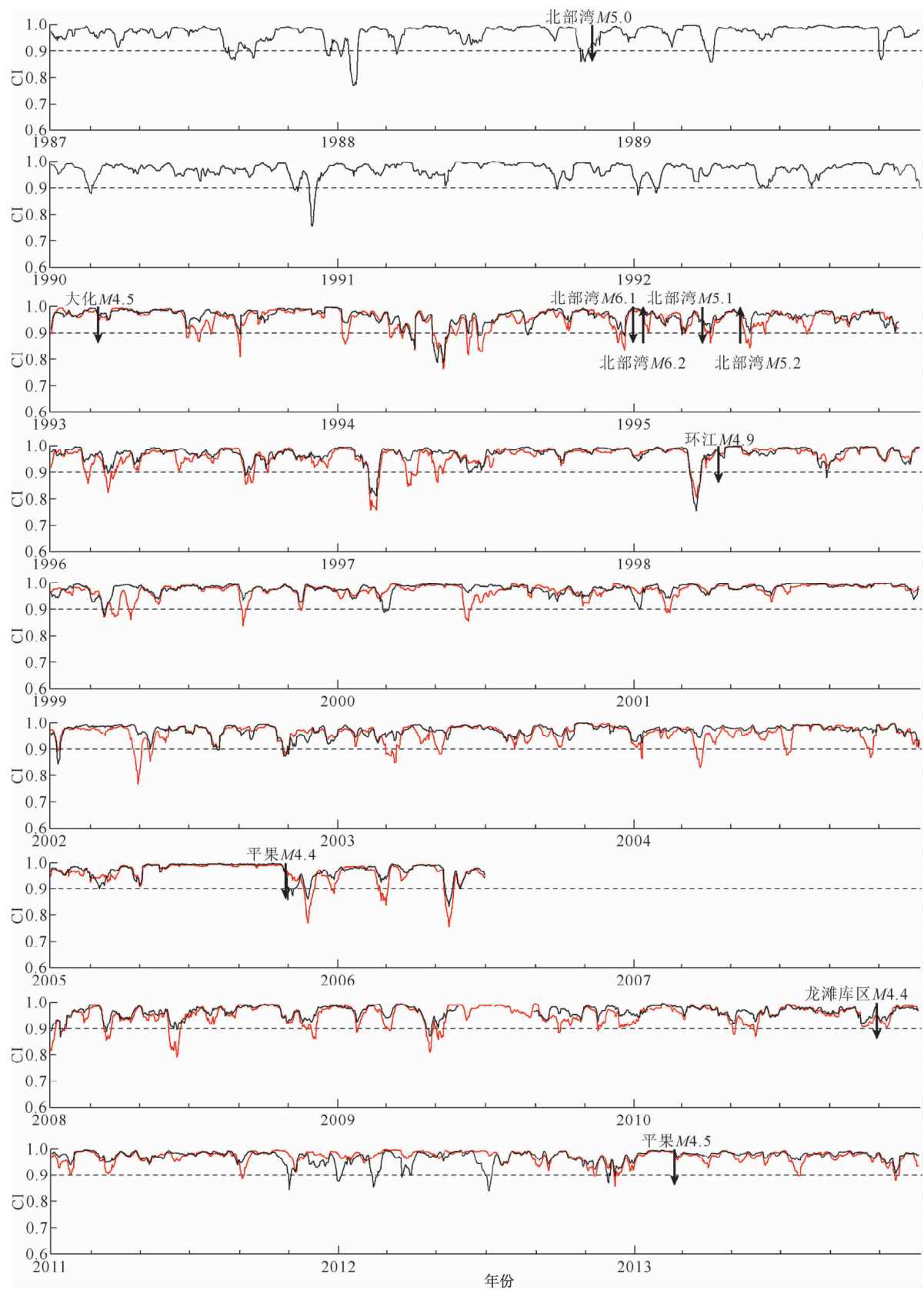


图3 邕宁台(黑色线)、河池台(红色线)相对琼中台的地磁Z分量日变化幅度空间相关曲线  
Fig. 3 Spatail correlation curve of daily variation amplitude of geomagnetic Z components of Yongning Station (black line), Hechi Station (red line) relative to that of Qiongzong Station

$M \leq 5$  地震的空间相关系数低值异常持续时间为 24 ~ 88 d, 平均 2 个月; 空间相关异常最小值为 0.76 ~ 0.92, 平均为 0.85。  $M > 5$  地震空间相关系数低值异常持续时间为 23 ~ 48 d, 平均 37 d; 空间相关异常最小值为 0.83 ~ 0.90, 平均 0.87。进一步对比发现,  $M \leq 5$  地震均位于陆区 (其中大化 4.5 级和龙滩 4.4 级地震位于水库地区), 而  $M > 5$  地震均位于北部湾海域。以上统计结果可能反映, 不同震例前地磁空间相关曲线变化特征, 不仅与震级及震中距有关, 可能还与地震孕育环境有关。

综上所述, 广西及北部湾海域发生显著地震前, 广西河池台和邕宁台地磁  $Z$  分量日变幅空间相关曲线均出现了不同程度的低值异常变化, 异常持续时间通常为 1 ~ 3 个月, 异常最低幅值为 0.76 ~ 0.92, 发震时刻的空间相关系数在 0.91 ~ 0.98 之间。7 次震例对应的空间相关曲线异常形态存在差异, 1 次在异常下降过程中、3 次在异常恢复过程中及 3 次在异常结束后 3 个月内发震, 即广西及北部湾海域中强地震通常发生在邕宁台和河池台的空间相关曲线同步出现低值异常持续过程中或异常结束后 3 个月内, 且低值异常持续时间超过 1 个月、异常最小幅值  $\leq 0.9$ 。该定量指标可供研究区震情跟踪参考。

### 3.3 地磁空间相关法在广西及邻区的预报效能评估

为了衡量地震预测水平和检验地震短期预报效能, 目前多使用  $R$  评分的办法 (许绍燮, 1989):

$$R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}} \quad (4)$$

式中,  $R$  值为扣除了随机概率的预报成功率。 $R$  值越大, 预报效果越好。1993 ~ 2013 年 3 个台站均有资料记录, 研究区内应预报震例 6 次, 报对 6 次; 预报研究的总时间为 19.5 年 (扣除 2006 - 07 - 01 ~ 2007 - 12 - 31 台站数字化改造时段), 期间邕宁台和河池台出现了 14 次空间相关系数小于 0.9、持续时间 1 ~ 3 个月的同步异常, 考虑异常跟踪过程的持续性, 按平均每次异常持续过程为 4 个月进行统计, 则空间相关法对广西地区  $M \geq 4.4$  地震的预报效能检验  $R$  值为 0.76, 表明该方法对广西地区中强地震具有较好的映震效果。

## 4 讨论与结论

本文采用空间相关法计算了 1987 ~ 2013 年广西邕宁台和河池台的地磁  $Z$  分量日变化幅度相对海南琼中台的空间相关系数, 分析了空间相关曲线异常变化特征与广西及北部湾海域中强地震的关系, 在此基础上对地磁空间相关法在广西及邻区的预报效能开展了评估。研究结果表明:

(1) 广西邕宁台、河池台和海南琼中台的地质构造条件和地理位置相近, 这 3 个台站进行空间相关结果, 能够灵敏地反映局部地区地磁场的微弱变化, 发现潜在的震磁信息。统计结果显示, 广西及北部湾海域发生显著地震前, 广西邕宁台和河池台地磁  $Z$  分量日变幅空间相关曲线均出现了不同程度的低值异常, 异常变化特征与震级、震中距、孕震环境等因素相关。鉴于本研究区分震级和震中距的地震样本量偏少, 此方面更深入的分析研究有待进一步开展。

(2) 本文获取的量化指标对广西及北部湾海域中强地震的预报效能评分为 0.76, 具有较好的映震效果。需要指出的是, 有 7 次同步的低值异常出现后研究区未发生中强地震。通常孕震区的分布范围、地球物理场异常持续时间与未来主震震级相关。因此, 这些未对应广西及北部湾海域中强地震活动的显著低值异常, 可能反映了震中位于研究区外的强震的磁异常信息。

(3) 本文对研究区内地磁  $Z$  分量日变幅空间相关曲线异常特征与地震活动之间可能存在的内在关系开展初步研究, 并对获取的量化指标开展了预报效能分析评估, 然而利用日变化异常预测地震的机理仍是一个复杂的科学问题, 需要长期不懈的探索和科学资料的积累。

江苏省地震局冯志生研究员为本研究提供了空间互相关计算程序及相关指导, 海南省地震局叶向顶高级工程师提供了海南琼中台地磁观测资料, 审稿专家提出了中肯的修改意见和建议, 在此表示衷心感谢!

### 参考文献:

- 丁鉴海, 刘杰, 余素荣, 等. 2004. 地磁日变化异常与强震的关系[J]. 地震学报, 26(增刊): 79 - 87.

- 丁鉴海, 申旭辉, 潘威炎, 等. 2006. 地震电磁前兆研究进展[J]. 电波科学学报, 21(5): 791–801.
- 丁鉴海. 1988. 地磁预报地震方法探索[A]//地震监测与预报方法清理成果汇编, 地磁、地电分册[M]. 北京: 地震出版社, 108–122.
- 冯志生, 范桂英, 居海华, 等. 2006. 江苏及周边地区中强震电磁异常综合特征分析[J]. 华南地震, 26(3): 16–25.
- 冯志生, 梅卫萍, 张苏平, 等. 2005. 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, 25(3): 1–7.
- 冯志生, 王建宇, 蒋延林, 等. 2001. 地磁垂直分量日变幅逐日比及其与地震关系的探讨[J]. 华南地震, 21(2): 20–27.
- 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[J]. 地震地磁观测与研究, 21(1): 44–49.
- 韩鹏, 黄清华, 修济刚. 2009. 地磁日变与地震活动关系的主成分分析——以日本岩手县北部 6.1 级地震为例[J]. 地球物理学报, 52(6): 1556–1563, DOI: 10.3969/j.issn.0001-5733.2009.06.017.
- 蒋延林, 赵卫红, 赵永红, 等. 2005. 高邮地震台地磁异常与江苏及邻区地震关系的研究[J]. 华北地震科学, 23(1): 32–36.
- 李树华, 陈燕. 2003. 云南地区地磁加卸载响应比短临异常特征[J]. 地震研究, 26(supp.): 133–139.
- 李树华, 赵小艳. 2011. 通海地磁 Z 分量拟合差及月距平与云南强震危险性分析[J]. 地震研究, 34(3): 262–265.
- 刘心恒, 周隽生. 1995. 地磁对比求异法[J]. 地震研究, 18(3): 264–271.
- 鲁跃, 宋治平, 张洪魁, 等. 1999. 张北地震前地磁空间相关异常特征[J]. 地震地磁观测与研究, 20(1): 39–45.
- 王武星, 丁鉴海, 余素荣, 等. 2009. 汶川  $M_s 8.0$  地震前地磁短临异常与强震预测探索[J]. 地震学报, 31(2): 172–179.
- 许绍燮. 1989. 地震预报能力评分[A]//国家地震局科技监测司编. 地震预报方法实用化研究论文集[C]. 北京: 学术期刊出版社, 586–590.
- 姚法章, 任丽君. 1988. 华北及川滇地区  $M_s \geq 7$  地震前的地磁日变特征[J]. 中国地震, 4(2): 106–112.
- 袁洁浩, 顾左文, 陈斌, 等. 2014. 美国的震磁观测与研究[J]. 地震研究, 37(1): 163–169.

## Research on Relationship between Geomagnetic Anomaly and Earthquakes in Guangxi Region

YAN Chun-heng<sup>1</sup>, SUN Xue-jun<sup>1</sup>, QI Gui-hua<sup>2</sup>, WEI Shi-gen<sup>3</sup>, HUANG Hui-ning<sup>1</sup>, XIANG Wei<sup>1</sup>

(1. Earthquake Administration of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, Guangxi, China)

(2. Yongning Seismic Station, Earthquake Administration of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530200, Guangxi, China)

(3. Hechi Seismic Station, Earthquake Administration of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Hechi 547000, Guangxi, China)

### Abstract

The spatial-correlation method was applied to calculating the spatial-correlation coefficients of the daily geomagnetic variation data in Z component at Yongning Seismic and Hechi seismic Station in Guangxi Province relative to the geomagnetic data in Z component at Qiongzong Seismic station in Hainan Province from 1987 to 2013. Then the relationship between abnormal variation of the spatial-correlation curves and the moderate and strong earthquakes in Guangxi and its adjacent Beibu Gulf was analyzed. The analysis suggests that the moderate and strong earthquakes in Guangxi and its adjacent Beibu Gulf usually occurred on the following conditions: the spatial-correlation curves appeared simultaneously in the process of low-value anomaly or three months after the anomaly ended, and low-value anomaly lasted more than a month and the minimum amplitude of abnormal value was less than or equal to 0.9 at Yongning Seismic Station and Hechi Seismic Station. The prediction efficiency test proved that the spatial-correlation method, which has a good effect of predicting  $M \geq 4.4$  earthquakes in Guangxi region, is able to provide quantitative identification for short-term and impending earthquake prediction.

**Key words:** geomagnetic anomaly; daily variation amplitude of Z component; spatial correlation; seismomagnetic relationship; Guangxi region