

刘吉平. 地磁加卸载响应比在广东省地震预测中的应用[J]. 华南地震, 2019, 39(2): 92–99. [LIU Jiping. Application of Geomagnetic Load–unload Response Ratio to Earthquake Prediction in Guangdong Province[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(2): 92–99]

## 地磁加卸载响应比在广东省地震预测中的应用

刘吉平<sup>1,2</sup>

(1.中国科学技术大学, 合肥 230026; 2.广东省地震局, 广州 510070)

**摘要:** 选取广东省数字化地磁观测以来的地磁资料和一定震中距的显著地震事件, 计算地震前 1~2 年的地磁垂直分量加卸载响应比, 结果显示, 显著地震前 1 个月至 1 年不等, 地磁加卸载响应比值有明显超经验阈值 2.8 的现象。

**关键词:** 广东; 地磁; 加卸载响应比; 地震预测

**中图分类号:** F272      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-8662(2019)02-0092-08

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2019.02.014

## Application of Geomagnetic Load–unload Response Ratio to Earthquake Prediction in Guangdong Province

LIU Jiping<sup>1,2</sup>

(*University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China*)

**Abstract:** Geomagnetic data since the digital geomagnetic observation in Guangdong Province and the significant earthquake events with a certain epicenter distance are selected to calculate the load–unload response ratio of the geomagnetic vertical component 1–2 years before the an earthquake. Results show that the ratio of geomagnetic load–unload response exceeds obviously the empirical threshold of 2.8 about one month or one year before a significant earthquake.

**Keywords:** Guangdong Province; Geomagnetism; Load–unload response ratio; Earthquake

收稿日期: 2018-05-30

基金项目: 广东沿海地震海啸危险区评介系统建设(2019B020208014)

作者简介: 刘吉平(1981–), 男, 硕士, 主要从事地震前兆数据分析处理工作。

E-mail: jipingliu@163.com.

## 0 引言

东南沿海地震带是我国华南地震活动相对频繁的地带,广东省在全国范围来说不属于地震多发和强震活跃地区,但就东南沿海地震带的范围而言,又是一个中强地震较为多发的地区,历史上曾经发生过数次7级以上强地震,新中国成立后在省内陆地还发生过1962年新丰江6.1级地震和1969年阳江6.4级地震,造成了一定数量的人员伤亡和经济损失<sup>[1]</sup>。

对前兆资料分析是地震预报的手段之一,地磁资料已经成为地震前兆的一项重要内容,地震的磁效应已经得到了物理实验和理论研究的支持,地震地磁关系的研究具有较长的历史并且发展出了很多方法<sup>[2-3]</sup>。

1966年河北邢台地震后,为了地震预报工作的需要,我国开展了震磁关系探索研究<sup>[4-9]</sup>,根据其物理效应的不同发展了众多方法,尹祥础<sup>[6]</sup>和尹灿提出在地震预测中的加卸载响应比法后,有学者在该方法的基础上发展了地磁场的加卸载响应比法<sup>[7-8]</sup>。

本文拟选取广东省内肇庆和新丰江两个地磁台站的资料,使用地磁加卸载响应比法,寻求在显著地震前可能出现的异常。

## 1 广东省地磁观测概况

广东省从1957年开始进行地磁观测,2001年在肇庆地磁台开始数字化的地磁资料记录,2007年在新丰江地震台和韶关地震台增加了数字化的地磁测项,2013年韶关地磁停测。

### 1.1 肇庆地磁

肇庆地磁台位于广州以西约100 km的肇庆市高要市(县级)莲塘镇深塘村(E112.45°、N22.97°),海拔25 m,占地0.043 km<sup>2</sup>亩,南距莲塘镇1.5 km,北距深塘村500 m,西距三茂铁路约3 km,是中国地震局地磁观测台网中第一个高标准、纯数字化的地磁台。

台站场址所处大地构造部位为NE—SW向吴川—四会断裂带的南东侧,次级构造为近东西向的白土—马鞍凹陷的南缘。在场址的南侧分布有上第三系砂砾岩和大面积的奥陶系石英砂岩。场址基岩岩性为下侏罗—上三迭统褐红色、褐黄色砂砾岩,风化层较厚。

1997年9月初和1998年6月进行了磁场梯度的测量,结果表明观测场地符合国家I类地磁台选址的标准要求,其地磁场总强度的水平梯度 $\leq 1$  nT/m。当基建工程全部完成后,于2003年3月,再次对观测区进行了全面的磁场梯度复测,测量结果表明,场区内磁场水平梯度大多在3.0~3.5 nT/10 m范围内变化,仪器区磁场水平梯度基本保持在零点几至1 nT/10 m范围内,地磁场总强度的水平梯度均 $\leq 1$  nT/m,完全符合《地磁台站观测规范》(1990)的要求<sup>[9]</sup>。

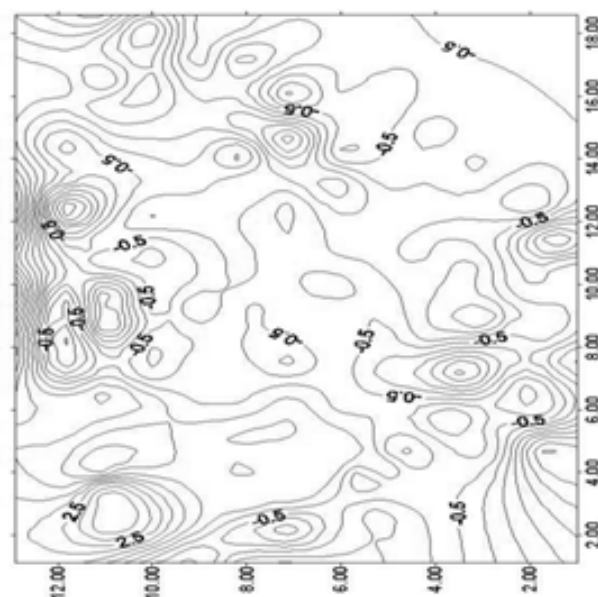


图1 肇庆地磁观测区磁场分布等值线图(方位:上北下南)

Fig.1 Contour map of magnetic field distribution in Zhaoqing geomagnetic observatory (azimuth: upper north, lower south)

### 1.2 新丰江双塘地磁

新丰江地磁观测项目在新丰江地震台双塘观测站(E114.68°、N23.67°),位于河源—邵武断裂带中部的河源断裂“S”形构造特殊部位上。距新丰大坝约500 m。

新丰江地区的地质构造十分复杂,既有褶皱,又有断裂,还有多期岩浆活动。新丰江地震台构造上处于河源断裂之东侧,台站东面和南侧为新生代河源盆地,起伏不平的低山丘陵地貌,比高30~50 m,盆地内部沉积为第三系丹霞群红色粗碎屑岩,深度愈4000 m,台站西、北面为中生代燕末期花岗岩体,形成中高山丘陵地貌,比高100~200 m。水位随季节变化,雨季接近河流水位,少雨期下降1~2 m左右<sup>[10]</sup>。丹霞群岩石空隙度大,渗透性强,含水较为丰富,其潜水面距地表0.5~6 m,比较适合地磁综合观测,磁场梯度较大(图2)。

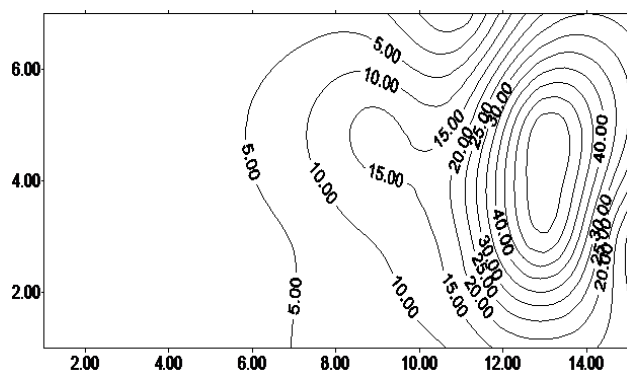


图2 新丰江双塘地磁场观测站总强度等值线图

Fig.2 Total strength contour map of shuangtang geomagnetic field observatory in Xinfeng river

新丰江和韶关的地磁观测均为“十五”期间新增设项目。2003 年完成台站技术方案设计, 2004 年完成基建设计, 2005 年 4 月完成土建工程, 2007 年 3 月完成仪器安装, 2007 年 6 月 1 日正式开始试运行。观测仪器为江苏新沂市经纬电子有限公司生产的 FHD-2B 分量质子磁力仪。

## 2 地磁加卸载响应比方法简介

尹祥础<sup>[1]</sup>和陈学忠<sup>[2]</sup>提出了岩石力学预报地震的加卸载响应比法, 王亶文<sup>[3]</sup>、林云芳<sup>[4]</sup>和曾小苹<sup>[5]</sup>等学者在岩石破裂的加卸载响应比  $S_a$  法基础上, 提出和发展了地磁加卸载响应比法。

表 1 广东省地磁观测汇总表

Table 1 Geomagnetic observation table in Guangdong province

台站	经度/(°)	纬度/(°)	观测起止时间	使用仪器	改造记录
肇庆	112.45	22.97	2002 年至今	GM3	2014 年 12 月更换仪器为 FGM-01
新丰江	114.68	23.67	2007 年至今	FHD-2B	2017 年 6 月更换仪器为 FGM-01
韶关	113.58	24.85	2007—2013 年	FHD-2B	

太阳以粒子辐射和紫外线辐射的方式影响地球磁场, 粒子辐射主要形成  $S_q$  场, 紫外线辐射主要形成磁扰动场  $D$ , 扰动场可分为以下几部分:

$$D=D_{st}+D_s+D_p \quad (1)$$

式(1)中,  $D_{st}$  为暴时变化,  $D_s$  为扰日变化,  $D_p$  为极区亚暴。

将磁扰过程作为地球磁场对太阳风加载和卸载响应的过程, 由于地磁垂直分量  $Z$  与地下介质及其变化较其它地磁分量的关系更密切, 故取  $Z$  分量的扰动场作为计算加卸载响应比的参量<sup>[13]</sup>, 如果用变幅定义响应比:

$$P(Z)=\Delta Z_+/\Delta Z_- \quad (2)$$

式中, 下角标“+”和“-”分别表示加载和卸载。

加卸载响应比值  $P(Z)$  是测点位置( $\lambda, \Phi$ )和地下电导率( $\sigma$ )的函数, 如果某测点正处于孕震地区, 则会使地下电导率改变, 导致  $P(Z)$  增大<sup>[14]</sup>。从算出的  $P(Z)$  值中找出震前  $P(Z)$  异常值的最小值——阈值  $P(Z)_0$ , 例如北京地区的  $P(Z)_0=3.8$ , 海南岛的  $P(Z)_0=3.2$ 。如果  $P(Z) \geq P(Z)_0$ , 则有可

能与 1~10 个月以后的地震有关<sup>[15]</sup>。

## 3 广东及邻区 2003 年以来的显著地震事件

2003 年以来, 广东及邻区和近海共发生显著地震事件( $M_L \geq 4.0$ )共 21 次, 剔除震级较小和震中距较大的地震, 选取 4 次  $M5$  级以上地震和 2 次河源地区  $M4.0$  级地震作为研究对象, 查看一年尺度前地磁加卸载响应比的变化(图 3)。

## 4 地震事件和加卸载响应比的对应关系

根据所选取的地震事件, 使用江苏省地震局和上海市地震局合作开发的《地磁分析预报程序》计算加卸载响应比, 具体为选择地震事件当年及前一年的地磁垂直分量  $Z$  数据, 先求出日变幅, 根据日变幅的变化计算加载日和卸载日的比值根据前人学者研究结果, 阈值选为 2.8, 实际操作时, 剔除大于 5.0 的值, 尽量选两个台站出现同步超出阈值时间为异常。

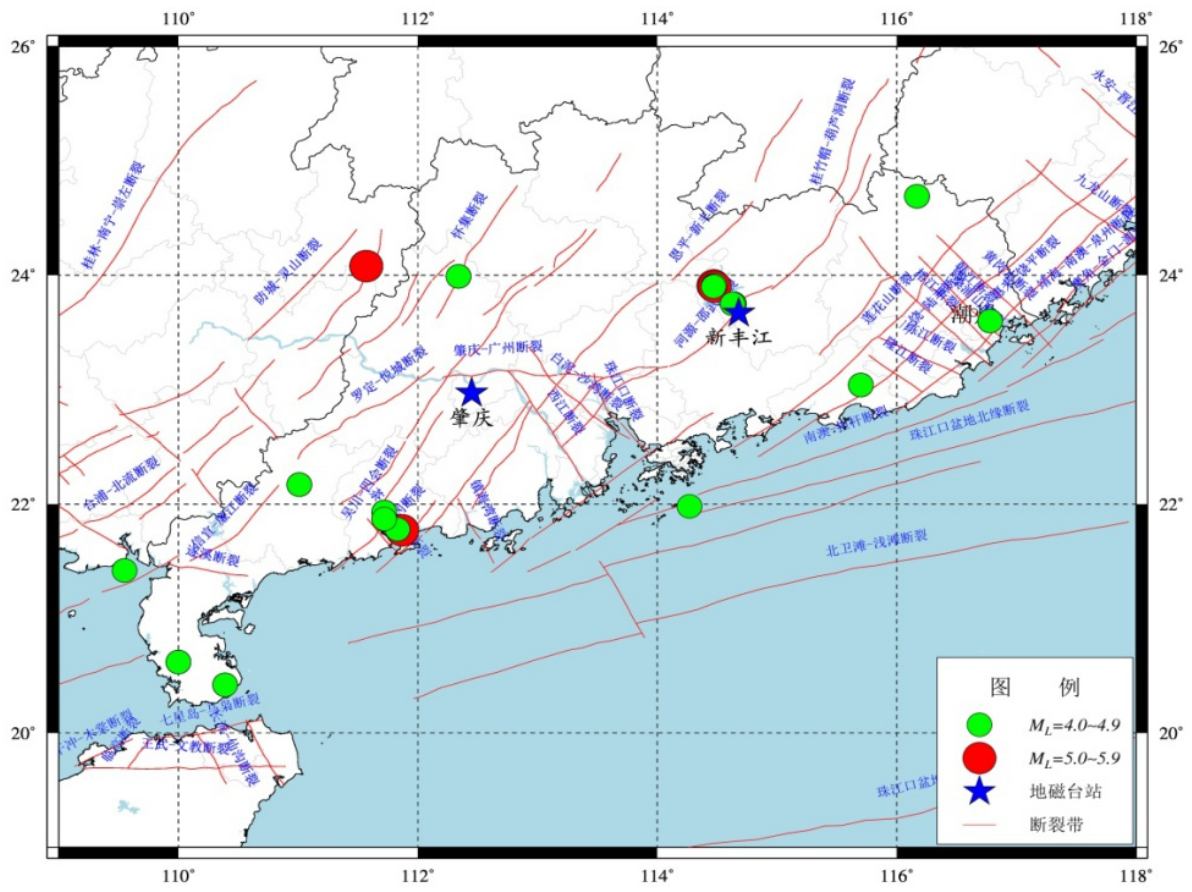


图 3 2003 年以来广东及邻区和近海显著地震震中分布

Fig.3 Epicenter Distribution of significant earthquakes in Guangdong and its adjacent and offshore areas since 2003

表 2 2003 年以来广东省显著地震事件

Table 2 Significant earthquake events in Guangdong province since 2003

发震日期	震中位置		震级/( <i>M</i> )	地名	肇庆台震中距/km	新丰江台震中距/km
	经度/(°)	纬度/(°)				
2004-01-16	116.78	23.60	3.7	澄海	440	—
2004-09-17	111.87	21.77	4.9	阳江	150	—
2004-11-11	111.83	21.78	3.4	阳江	150	—
2006-09-14	114.27	21.98	3.4	担杆列岛	210	—
2006-09-17	109.55	21.42	4.0	北部湾	350	—
2007-12-04	111.72	21.93	4.0	广东阳西	140	—
2012-02-16	114.47	23.91	4.8	广东东源	240	40
2012-02-17	114.47	23.91	3.7	广东东源	240	40
2012-08-31	114.64	23.75	4.0	广东河源	240	10
2012-09-02	114.63	23.75	3.7	广东河源	240	10
2013-02-22	114.48	23.90	4.7	广东东源	240	40
2013-12-06	111.01	22.17	3.7	广东高州	170	410
2014-04-25	114.48	23.91	3.9	广东东源	240	40
2014-07-11	114.47	23.90	4.0	广东东源	240	40

(转下表)

(接表 1)

发震日期	震中位置		震级/( <i>M</i> )	地名	肇庆台震中距/km	新丰江台震中距/km
	经度/(°)	纬度/(°)				
2014-10-23	112.34	23.99	3.6	广东怀集	110	240
2015-09-24	115.70	23.04	3.8	广东陆丰	330	120
2015-11-22	110.39	20.42	3.7	广东徐闻	350	570
2016-07-31	111.57	24.08	5.4	广西苍梧	150	320
2016-10-31	116.17	24.69	3.4	广东蕉岭	430	190
2018-03-20	111.72	21.87	3.7	广东阳西	130	350
2019-03-05	110.00	20.62	3.6	广东雷州	360	590

4.1 2004 年 9 月 17 日阳江 4.9 级地震<sup>[16-17]</sup>

2004 年 7 月 29 日，肇庆地磁垂直分量加卸载

响应比值为 4.33，是 2003 年观测以来唯一一次显著超出阈值 2.8，50 天后的 9 月 17 日，台站西南方向 150 km 处的阳江发生 4.9 级地震(图 4)。

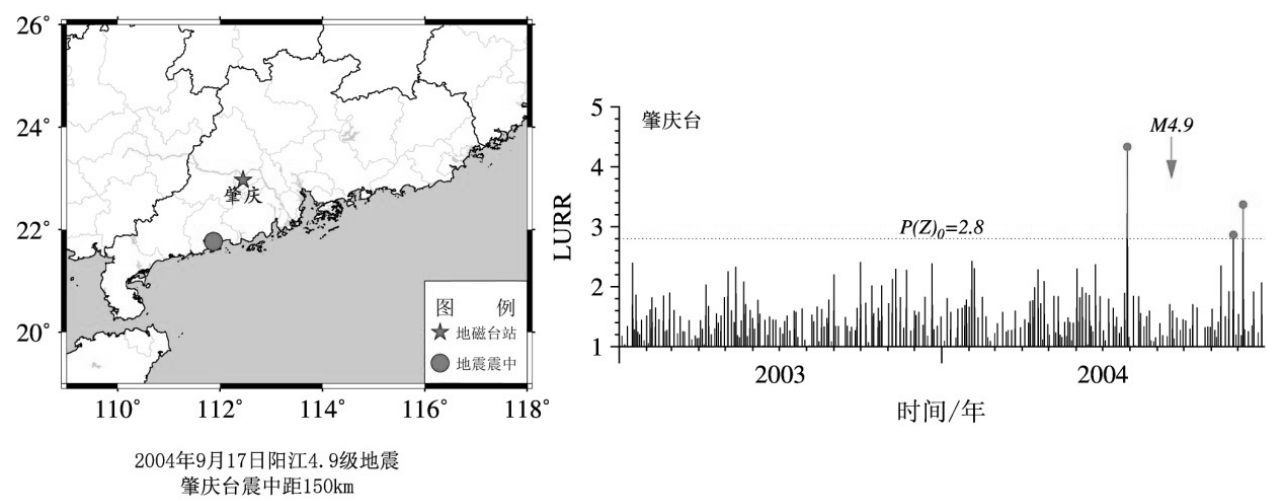


图 4 2004 年 9 月 17 日阳江 4.9 级地震和地磁加卸载响应比变化曲线

Fig.4 Variation curves of Yangjiang M4.9 earthquake and geomagnetic load-unload response ratio on September 17<sup>th</sup>, 2004

4.2 2012 年 2 月 16 日东源 4.8 级地震<sup>[18-19]</sup>

2012 年 2 月 16 日东源 4.8 级地震前 1 年多，两个地磁台均未出现超阈值变化，但在 2 月 16 日地震当天，肇庆和新丰江的地磁加卸载响应比值分别为 2.8、2.6，明显高于前一年多内其他时间的值(图 5)。2012 年 8 月 10 日，肇庆和新丰江的值分别为 3.9 和 3.7，8 月 22 日，肇庆和新丰江的值分别为 3.7 和 2.6，8 月 31 日发生了河源源城区 4.0 级地震，短期内的两次变化是否为本次地震的震前异常？

4.3 2013 年 2 月 22 日东源 4.7 级地震<sup>[20]</sup>

在 2013 年 2 月 22 日前一周年内，共有 3 次异

常，其中两次在 2012 年 8 月份，另一次在 2013 年 2 月 9 日，肇庆和新丰江分别为 2.4 和 3.1(图 6)。

4.4 2016 年 7 月 31 日广西苍梧 5.4 级地震<sup>[21]</sup>

2015 年后新丰江地磁仪器不稳定，数据质量较差，选择两个台站有同步异常的时间，2015 年 4 月 27 日，肇庆和新丰江分别为 4.0 和 3.3，出现在地震前约 1 年 3 个月。其他时间均无同步或者近似同步的超阈值变化(图 7)。

4.5 2014 年 7 月 11 日东源 4.0 级地震

在 2014 年 7 月 11 日 4.0 级地震前，两个台站地磁加卸载响应比值在一周年时间前均无明显超经验阈值现象(图 8)。

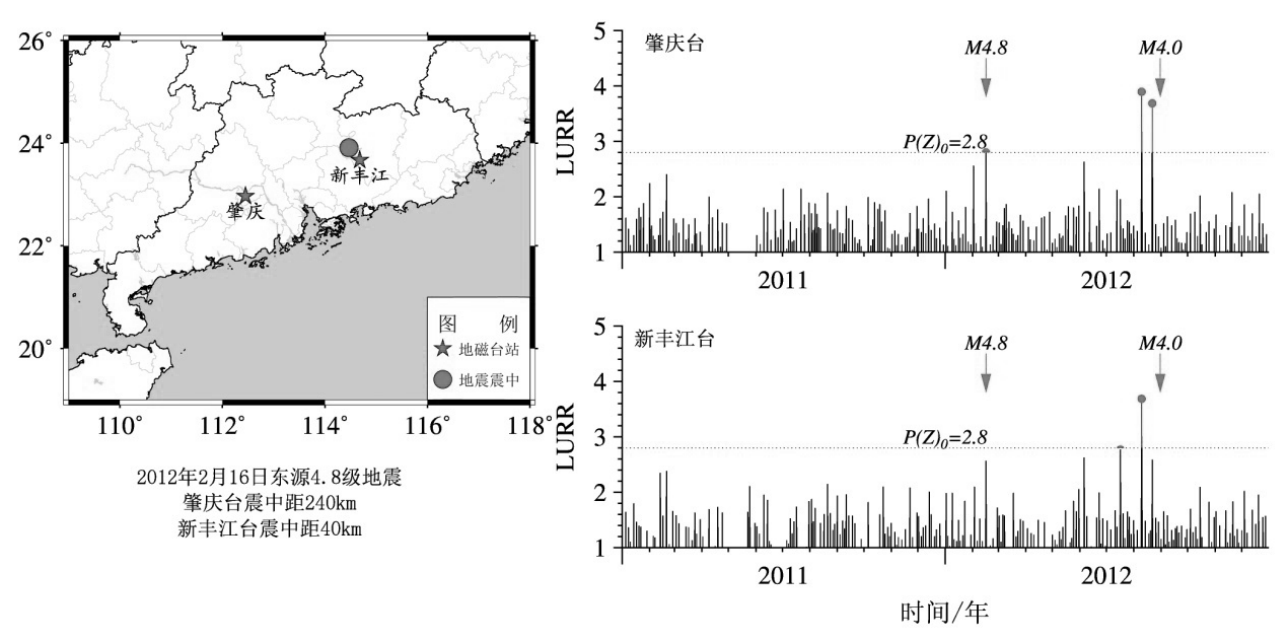


图 5 2012 年 2 月 16 日东源 4.8 级地震和地磁加卸载响应比变化曲线  
Fig.5 Variation curves of Dongyuan  $M4.8$  earthquake and geomagnetic load-unload response ratio on February 16<sup>th</sup>, 2012

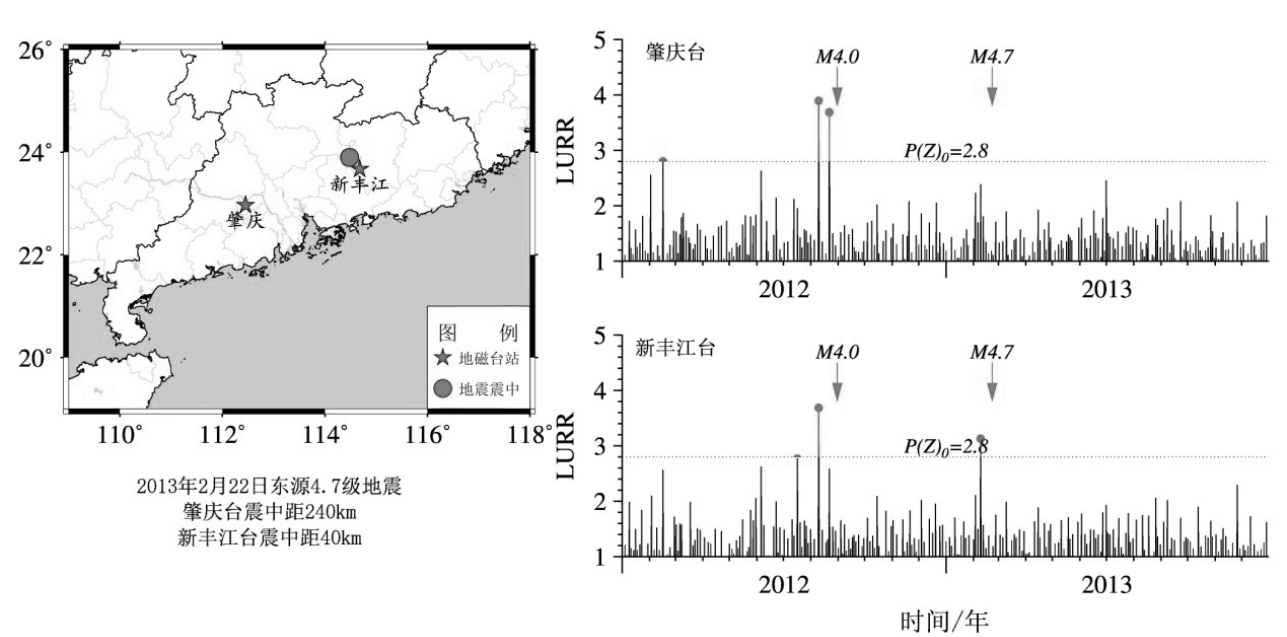


图 6 2013 年 2 月 22 日东源 4.7 级地震和地磁加卸载响应比变化曲线  
Fig.6 Variation curves of Dongyuan  $M4.7$  earthquake and geomagnetic load-unload response ratio on February 22<sup>th</sup>, 2013

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

(1)地磁加卸载响应比在中强地震前会出现超阈值异常, 异常出现至地震发生的时间间隔 (异常积累时间) 不确定, 可能在当天, 也可能有一年多。

(2)台站的异常幅度和震中距正相关不明显。

(3)根据前人研究的结果, 在华南地区阈值取为  $P(Z)=2.8$ , 但在很多超阈值的情况下并无显著地震发生, 认为这可能是和气象因素或者其他地球物理事件有关。

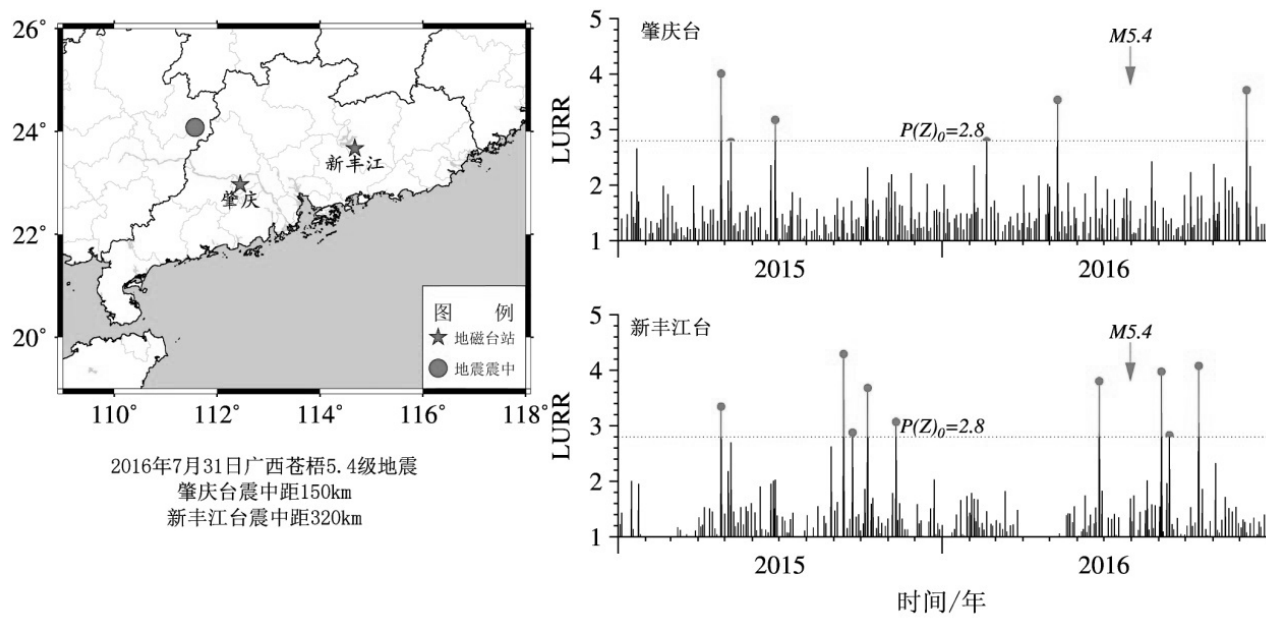


图 7 2016 年 7 月 31 日广西苍梧 5.4 级地震和地磁加卸载响应比变化曲线

Fig.7 Variation curves of Cangwu  $M5.4$  earthquake in Guangxi Province and geomagnetic load-unload response ratio on July 31<sup>st</sup>, 2016

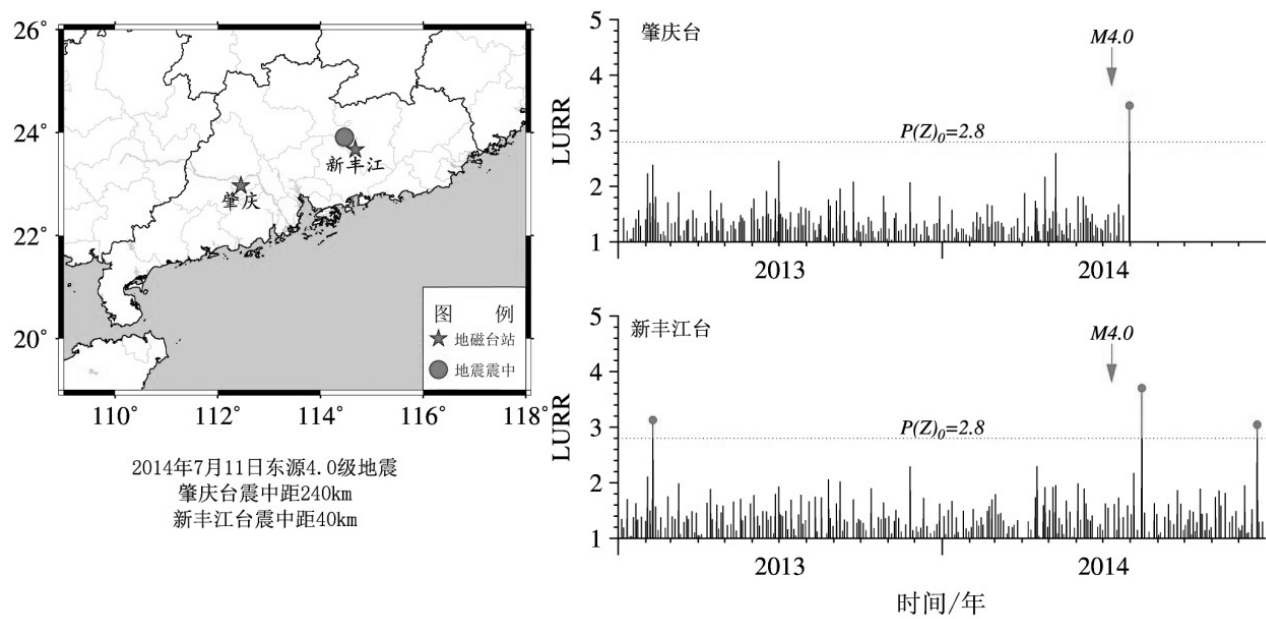


图 8 2014 年 7 月 11 日东源 4.0 级地震和地磁加卸载响应比变化曲线

Fig.8 Variation curves of Dongyuan  $M4.0$  earthquake and geomagnetic load-unload response ratio on July 11<sup>th</sup>, 2014

5.2 讨论

(1)地磁加卸载响应比法是以外空太阳风对地球磁场作用的临界变化现象的应用，是地磁预报中物理意义比较明确的方法，得到的异常信息相对明显，容易判断和操作，但具体工作中对阈值的选取难以确定，如何选取排除比较合理需要进一步研究。

(2)随着工业和城市化发展，地磁观测环境受到的干扰越来越多，发展深井地磁观测是一条解决干扰问题的途径，广东省在阳江市建了一个深井地磁台，仪器放置在 200 m 深井下，从运行一年的数据来看，正常时期和地面观测数据比较一致，但在有磁暴的情况下，其变化则不如地面观测数据明显。而加卸载响应比法是建立在以太阳

风的加载和卸载基础上, 如何对深井地磁数据使用该方法进行处理, 是个值得探讨的工作。

### 参考文献:

- [1] 魏柏林主编. 东南沿海地震活动特征[M]. 北京:地震出版社,2001.
- [2] 姚远, 李琪, 姚休义, 等. 云南景谷  $M_s$  6.6 地震前地磁 ULF 异常信号变化[J]. 华北地震科学, 2018, 36(4): 49–54.
- [3] 张亮娥, 闫计明, 陈常俊, 等. 主成分分析在山西地磁台阵数据分析中的应用[J]. 华北地震科学, 2018, 36(1): 64–68.
- [4] 宋昭, 罗娜, 赵志远, 等. 红山台 ELF 电磁场功率谱密度的时间分布特征[J]. 华北地震科学, 2017, 35(1): 67–72.
- [5] 董博, 纪春玲, 张环曦, 等. 河北地区近年地磁场变化特征[J]. 华北地震科学, 2017, 35(4): 22–28.
- [6] 尹祥础, 尹灿. 非线性系统失稳的前兆与地震预报——响应比理论及其应用[J]. 中国科学 (B 辑 化学 生命科学 地学), 1991(05): 512–518.
- [7] 王亶文. 加卸载响应比理论在以磁报震中的应用探索[J]. 地震地磁观测与研究, 1995, 16(03): 26–30.
- [8] 曾小苹, 续春荣, 赵明, 等. 地球磁场对太阳风的加卸载响应与地震[J]. 地震地磁观测与研究, 1996, 17(01): 49–53.
- [9] 陆镜辉, 黎晓之, 邱洪伟, 等. 肇庆地磁台 diDd 矢量磁力仪与 GM3 相对记录仪的对比分析研究[J]. 华南地震, 2007, 27(02): 76–85.
- [10] 广东省地震局. 广东省地震监测志[M]. 北京:地震出版社, 2005.
- [11] 尹祥础, 陈学忠, 宋治平, 等. 加卸载响应比——一种新的地震预报方法[J]. 地球物理学报, 1994, 47(06): 767–775.
- [12] 林云芳, 续春荣, 张继红, 等. 地球磁场对太阳风的加卸载响应与华北地震[J]. 空间科学学报, 1996, 16(S1): 17–21.
- [13] 朱燕, 史勇军, 巴克, 等. 地磁加卸载响应比方法应用初探[J]. 内陆地震, 2001, 15(03): 232–239.
- [14] 续春荣, 林云芳, 吕桂芳, 等. 地球磁场对太阳风的加卸载响应与川滇中强地震[J]. 中国地震, 1998, 14(02): 92–98.
- [15] 王建格, 丹增, 黎晓之, 等. 肇庆台数字化地磁观测资料震磁关系的分析研究[J]. 华南地震, 2007, 27(01): 60–69.
- [16] 叶秀薇, 杨马陵, 叶东华, 等. 2004 年 9 月 17 日阳江 4.9 级地震概述[J]. 华南地震, 2005, 25(03): 69–77.
- [17] 康英, 杨选, 吕金水, 等. 2004 年阳江  $M_s$  4.9 地震震源参数分析[J]. 地震, 2005(03): 109–114.
- [18] 钟貽军, 陈庞龙, 王维亮, 等. 2012 年 2 月 16 日河源  $M$  4.8 级地震[J]. 华南地震, 2012, 32(02): 9–19.
- [19] 刘特培, 刘吉平, 李键梅, 等. 2012 年河源  $M$  4.8 级地震活动特征及预测研究[J]. 华南地震, 2012, 32(02): 20–36.
- [20] 叶东华, 陈大庆, 杨马陵, 等. 2012 年和 2013 年广东河源 4.8 和 4.7 级地震和异常特征[J]. 华南地震, 2018, 38(04): 1–9.
- [21] 周依, 阎春恒, 向巍, 等. 2016 年 7 月 31 日广西苍梧  $M_s$  5.4 地震震源参数[J]. 地震地质, 2019, 41(01): 150–161.