

倪晓寅, 洪旭瑜. 华南地区地磁预测方法预测指标体系的初步应用[J]. 华南地震, 2022, 42(4): 60–66. [NI Xiaoyin, HONG Xuyu. Preliminary Application of Prediction Index System of Geomagnetic Prediction Method in South China[J]. South China journal of seismology, 2022, 42(4): 60–66]

# 华南地区地磁预测方法预测指标体系的初步应用

倪晓寅, 洪旭瑜

(福建省地震局, 福州 350003)

**摘要:** 2016—2017年华南地区地磁分析方法预测指标体系初步建立, 包括地磁低点位移法、地磁加卸载响应比法、地磁逐日比法和地磁测深视电阻率法, 介绍了这些方法指标体系建立以来, 华南地区5级以上地震前这些方法的异常情况, 分析和讨论了地磁异常与地震间的关系, 并对华南地区地磁预测指标的改进和应用给出了建议。

**关键词:** 华南; 地震; 地磁; 预测指标; 异常

中图分类号: P315.721

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2022)04-0060-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2022.04.09

## Preliminary Application of Prediction Index System of Geomagnetic Prediction Method in South China

NI Xiaoyin, HONG Xuyu

(Fujian Earthquake Agency, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** From 2016 to 2017, the prediction index system of geomagnetic analysis methods in South China was preliminarily established, including geomagnetic low point displacement method, geomagnetic loading and unloading response ratio method, geomagnetic daily ratio method and geomagnetic sounding apparent resistivity method. This paper introduces the anomalies of these methods before earthquakes with  $M \geq 5$  in South China since the establishment of the index system of these methods, analyzes and discusses the relationship between geomagnetic anomalies and earthquakes, and gives suggestions for the improvement and application of geomagnetic prediction indexes in South China.

**Keywords:** South China; Earthquake; Geomagnetism; Prediction index; Anomaly

### 0 引言

2016年, 中国地震局监测预报司决定开展新一轮地震预测指标体系清理和建设。2017年

开始, 由福建省地震局预报中心牵头, 集中福建、江西、广东、海南、广西和湖南六省区分析预报骨干人员, 开展了华南地区地震预测指标体系清理和建设。2017年10月, 华南地区各学科预测指标清理建设工作基本完成并投入应用, 同时

收稿日期: 2022-03-10

基金项目: 中国地震局2021年度震情跟踪定向工作任务(2021010401)

作者简介: 倪晓寅(1981-), 男, 高级工程师, 主要从事地震地磁预测研究工作。

E-mail: 16465074@qq.com

开始编写《华南地区地震预测指标体系》一书<sup>[1]</sup>,书中依据华南地区2008—2016年的异常和震例,介绍了包括地磁低点位移法、地磁加卸载响应比法、地磁逐日比法和地磁测深视电阻率法等地磁预测方法,目前该书已经编写完成并出版。

2017年华南地区电磁学科预测指标建立并应用于震情跟踪之后,华南地区陆续发生了多次中强以上地震,特别是2018年11月24日台湾海峡6.4级的发生,标志着东南沿海地震带进入了新一轮5级以上地震活跃幕,之后华南地区相继发生了2019年10月12日广西北流5.2级和广西靖西5.2级地震。

本文将在《华南地区地震预测指标体系》<sup>[1]</sup>和

《地震电磁分析预测技术方法工作手册》<sup>[2]</sup>总结的地磁方法预测指标基础上,梳理和分析2018年以来华南地区5级以上地震前的地磁异常,并对华南地区地磁预测指标进行讨论和完善。

1 资料和地震

研究的地震为2018—2021年华南地区(16°~30°N, 104°~121°E)的5级以上地震(表1,图1)。

采用资料:本文使用的数据为中国地磁台网全国157个地磁台站产出的地磁三分量分钟采样数据(图1),这些观测资料分别来自于FHD质子矢量磁力仪和磁通门磁力仪。

表1 华南地区2018—2021年5级以上地震

Table 1 Earthquakes with  $M \geq 5$  in south China from 2018 to 2021

时间/年-月-日	经度/(°)	纬度/(°)	震级/ $M$	地名
2018-11-26	118.6	23.28	6.2	台湾海峡
2019-10-12	110.51	22.18	5.2	广西北流
2019-11-25	106.65	22.89	5.2	广西靖西

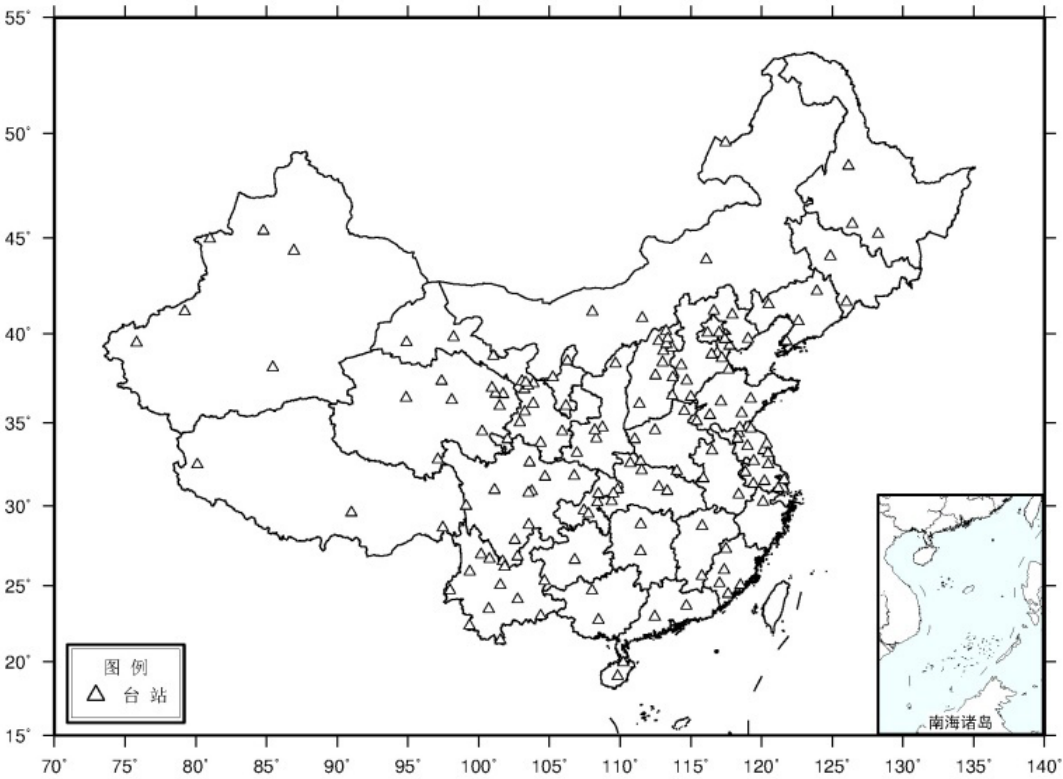


图1 地磁台站分布

Fig.1 Distribution of geomagnetic stations

## 2 方法介绍

此处给出华南地区4种地磁预测方法的定义、异常判据和预测规则。

### 2.1 地磁低点位移法

地磁低点位移法采用的分析资料是地磁垂直分量日变化极小值时间,简称低点时间。“低点位移”是指一个大区域各台的低点时间明显与另一个大区域各台的低点时间不同,而每个大区域内部低点时间又相对一致,两个区域之间突变分界线的低点时间相差2 h以上<sup>[3]</sup>。

其预测规则为①发震时间:异常出现后60 d内;②发震地点:异常预测线附近300 km范围;③发震强度:5.0级以上地震。

### 2.2 地磁加卸载响应比法

地磁加卸载响应比:

$$P(Z) = \frac{R_z(\max)}{R_z(\min)} \quad (1)$$

式(1)中, $R_z(\max)$ 为地磁垂直分量日变幅极大值,称为加载响应,日期为加载日; $R_z(\min)$ 为地磁垂直分量日变幅极大值之后第一个极小值,称为卸载响应,日期为卸载日,卸载日视为加卸载响应比异常日期。该方法的异常判据是,当3个或3个以上台站的加卸载响应比出现同步超阈值(3.0),异常面积大于 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,且加载日Dst指数大于-30 nT。

预测规则为①发震时间:异常出现后9个月内;②发震地点:阈值线两侧尤其是高曲率段两侧300 km内(即预测区为外突尖或内凹最深点为圆心半径300 km的圆);同一天两个相距不超过400 km的异常区之间(预测区为两个异常区之间中心点为圆心的椭圆,椭圆短轴300 km,长轴450 km);③发震强度:5.0级以上,异常面积越大,震级越大。

### 2.3 地磁逐日比法

地磁逐日比:

$$P(Z) = \frac{R_z(t_1)}{R_z(t_2)} \quad (2)$$

$$t_2 = t_1 + 1 \quad (3)$$

式(2)、(3)中, $R_z$ 为地磁垂直分量日变化幅度, $t$ 为观测日期。异常日期以 $t_2$ 日期为准,即分母数据的日期为异常日期。

异常判据:2个或2个以上的相邻台站逐日比

出现同步超阈值(南北带3.0,东北2.9,华北2.9,华南2.8),异常前一天Dst指数大于-70 nT,且异常面积大于 $11 \times 10^4 \text{ km}^2$ 时作为异常。

预测规则同地磁加卸载响应比。

### 2.4 地磁测深视电阻率法

地磁测深视电阻率(旧称地磁谐波振幅比) $Y_{\text{ZHX}}$ 和 $Y_{\text{ZHY}}$ 的定义为<sup>[4]</sup>

$$Y_{\text{ZHX}} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \right|, Y_{\text{ZHY}} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} \right| \quad (4)$$

式(4)中, $Z(\omega)$ 、 $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$ 分别为地磁垂直分量、水平分量北向和水平分量东向的频谱值。对于随时间周期变化的不均匀场源,在地球介质为均匀各向同性平面导体的条件下,其满足

$$\begin{cases} \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} = \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} = i \frac{k}{\theta} \\ \theta^2 = \sigma \mu \omega \cdot i + k^2 \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中, $\mu$ 为磁导率; $\sigma$ 为电导率; $\omega$ 为圆周率; $k$ 为变化磁场的波数,此处为常量; $Y_{\text{ZHX}}$ 和 $Y_{\text{ZHY}}$ 称为地磁测深视电阻率的南北向和东西向,其与介质的电阻率呈正比,即当地球介质电阻率下降时, $Y_{\text{ZHX}}$ 和 $Y_{\text{ZHY}}$ 也随之下降。

地磁测深视电阻率的计算结果为10~60 min 6个周期(10 min间隔)2个方向共12条时序曲线,其异常形态一般表现为同一周期的2个方向趋势变化不同步,因此可通过计算同一个周期2个方向的速率累加曲线(一个周期一条曲线)来辅助判断是否出现异常,速率累加曲线的概念和计算过程参考文献[2],本文不再赘述,其异常判据为:速率累加曲线持续上升为正常,持续下降和水平波动为异常,异常持续时间大于1年,6条曲线(周期)至少2条曲线出现异常为异常成立。

地磁测深视电阻率的预测规则为:①发震时间:速率累加异常确认后2年内发震;②发震地点与发震强度震级与震中距存在线性关系,4~5级250 km以内、5~6级300 km以内、6级以上400 km以内。

## 3 震前异常

表1列出的4个地震前,共有3种方法在震前出现了异常,这3种方法分别是地磁低点位移法、地磁加卸载响应比法和地磁测深视电阻率,以下将对出现的异常进行列举说明。

### 3.1 台湾海峡6.2级地震

震前出现一项地磁异常,为漳州台地磁测深视电阻率异常(图2,计算使用FHD-2B分钟值数据)。异常表现为10、20和30 min周期的地磁测深视电阻率南北向和东西向趋势变化不同步,10、20和30 min周期的速率累加曲线2016年1月开始出现趋势下降和水平波动,持续至震后的2018年12月结

束。该异常为震前提出,震前分析认为此次异常对应漳州台200 km范围内的5.0级左右地震或台湾西带的6.0级以上地震,考虑到距离漳州台最近的西北方向龙岩台未出现异常,地震发生在漳州台东南侧海域(图2红色月牙型区域,以漳州台200 km范围内的圆形区域去掉以龙岩台为圆心200 km直径的区域。)或台湾西带的可能性更大,后续地震发生在预测区内,距离台站159 km。

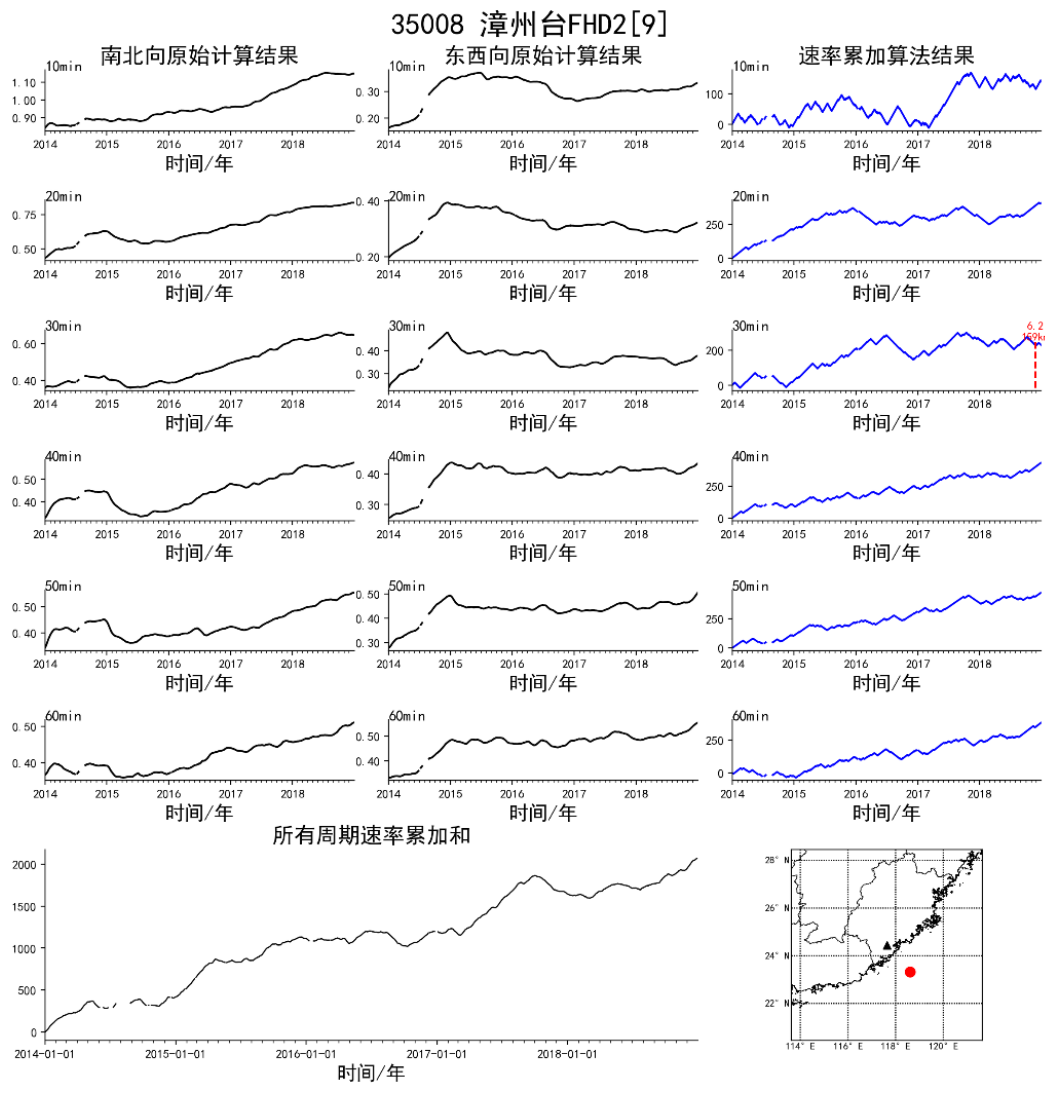


图2 漳州台地磁测深视电阻率和速率累加曲线(2014—2019年)

Fig.2 Curve of apparent resistivity of geomagnetic sounding and it's rate accumulation at Zhangzhou Station from 2014 to 2019

### 3.2 广西北流5.2级地震

震前于2018年12月4日出现了一次地磁加卸载响应比异常,异常区域位于广西及其周边地区,异常阈值等值线(3.0)在北部湾出现了显著的内凹,按照该方法预测规则将内凹中心点为圆心半径300 km的区域作为预测区域,在预测区内相继发生了

三亚4.0级和北流5.2级地震。北流5.2级地震发生的时间略超出了2018年12月4日地磁加卸载响应比的异常有效期(预测时间截止2019年9月4日),但考虑到地震发生的位置位于预测区内且华南地区属于少震弱震区,所以仍然认为该异常对应了北流5.2级地震。



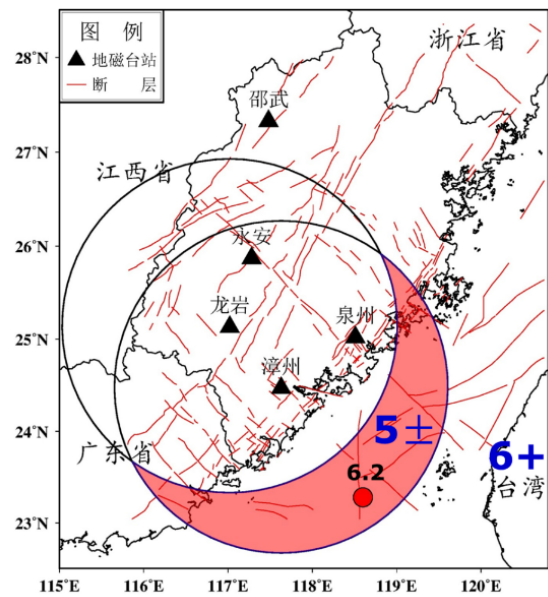


图3 漳州台地磁测深视电阻率异常预测区域和预测震级

Fig.3 Predicted area and predicted magnitude based on the anomaly of apparent resistivity of geomagnetic sounding at Zhangzhou Station

3.3 广西靖西 5.2 级地震

震前 2 d(2019 年 11 月 23 日)出现了 1 次低点位

移异常，异常线经过滇西—川滇交界—滇桂交界，在异常线的东端附近发生了广西靖西 5.2 级地震。

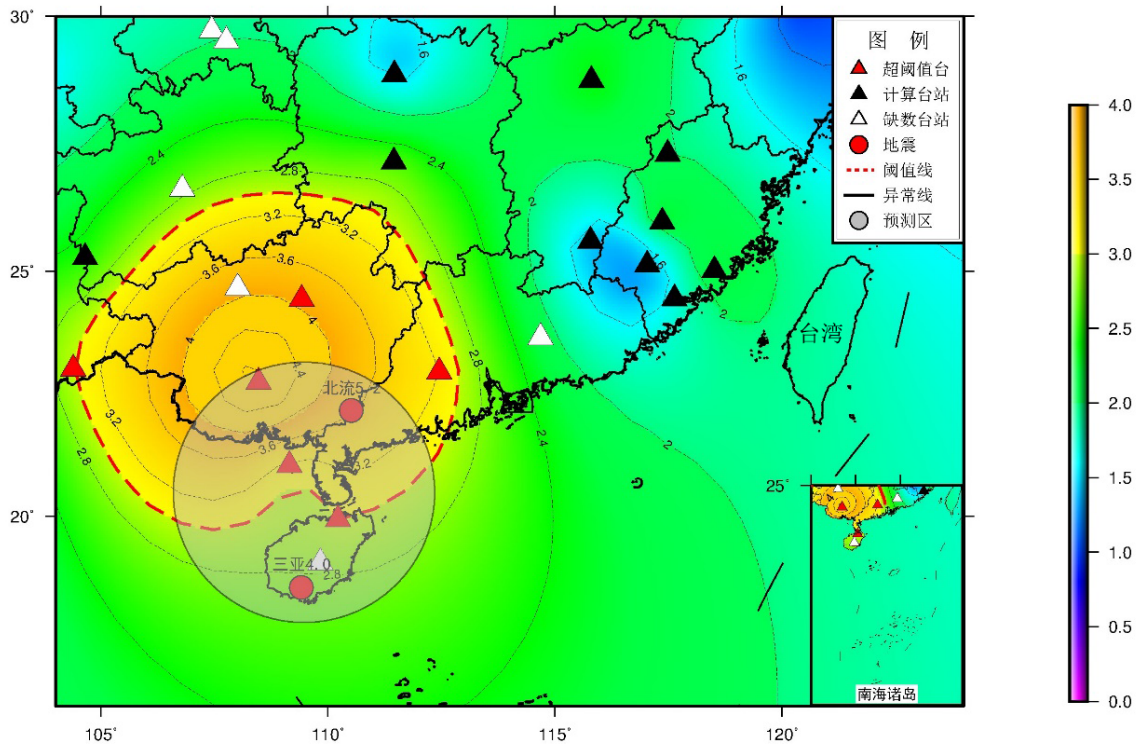


图4 2018 年 12 月 4 日地磁加卸载响应比异常空间分布和预测区

Fig.4 Spatial distribution of the load–unload response ratio anomaly and the predicted area on December 4<sup>th</sup>, 2019

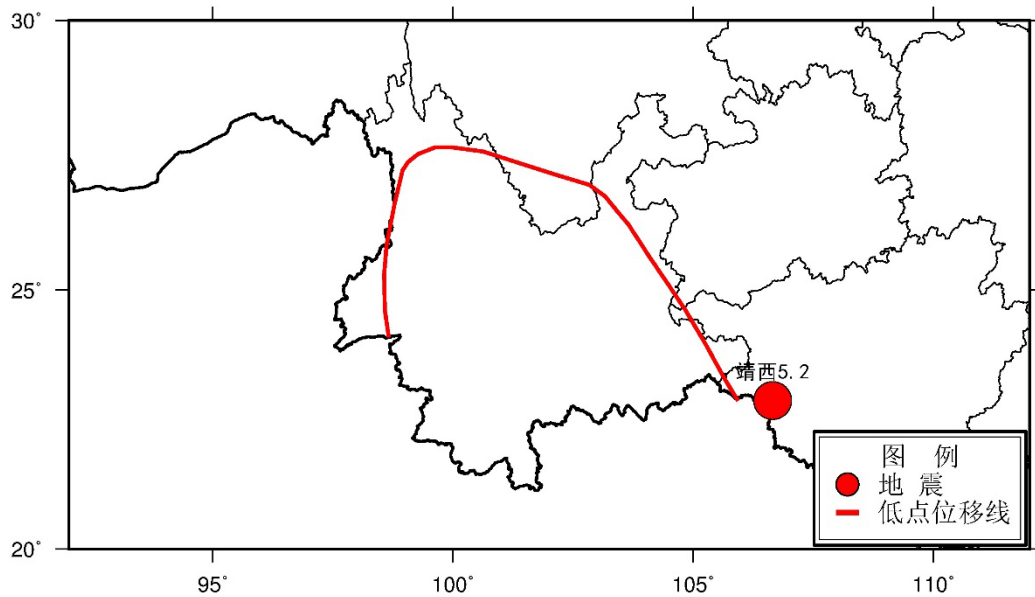


图5 2019年11月23日地磁低点位移异常

Fig.5 Displacement anomaly of geomagnetic low-point on November 23<sup>rd</sup>, 2019

## 4 分析和讨论

地磁场的周期成分非常丰富,各个周期成分的变化反映了地球内部与外空场中各种电磁物理变化过程,所以强震的孕育和发生过程中发生的地下介质电磁性质变化和其他伴生电磁现象往往能从地磁场中提取到信号,地磁预测方法就是提取震前地磁场中异常信息的方法。在这些方法中,地磁测深视电阻率异常反映的是地下介质电阻率的各向异性变化,而地磁加卸载响应比、逐日比和地磁低点位移属于地磁日变化异常,异常期间的日变化形态均存在不同程度的地磁垂直分量“反相位”现象,反相位的分界线往往与地磁低点位移线、加卸载响应比和逐日比的阈值线走向相关,理论上这些异常现象都是由异常线附近孕震过程中出现的地下短时感应电流引起的<sup>[2]</sup>,因此此类地磁日变化异常的异常线往往与地壳和上地幔中的高导带走向一致<sup>[5]</sup>。

在总结预测指标和实际应用过程中我们发现,华南地区在半年时间内出现地磁加卸载响应比和逐日比异常频次增高现象时,后续地震活动水平会显著上升。根据统计,2008—2020年华南地区共出现了9次地磁加卸载响应比和8次逐日比异常,平均3年出现4次异常。但2012年8月至2013年2月半年时间内连续出现了4次地磁加卸载响应比、逐日比异常,对应了2012年8月—2013年9月华南地

区的4次4.0级以上地震;2018年12月至2019年2月共出现了5次地磁加卸载响应比、逐日比异常,2019年华南地区发生了3次4.5级以上地震。而在这两个时段前,华南地区还分别出现了2次地磁测深视电阻率和1次地磁测深视电阻率异常。上述现象说明,在地震孕育过程中,孕震区及其周边地下介质由于构造运动的差异性其电性首先出现了各向异性变化,这种各向异性变化反映在地磁测深视电阻率上就表现为同一周期不同方向的趋势变化不同步。而整个地震孕育过程的区域差异性运动,使得地下物质(包括地下流体和热物质)不断地发生运移和性质改变,孕震区流体或热物质的侵入使得高导层(带)的分布不断发生变化,当有短时感应电流在高导层(带)通过时,电流的感应磁场叠加在地磁场信号中被地表台站记录,从而在地表台站出现各类地磁日变化异常。

华南地区地磁预测指标体系自建立并开始应用以来,共出现地磁加卸载响应比1次、地磁逐日比异常5次、地磁低点位移异常5次以及地磁测深视电阻率2次,虚报率分别为0、40%、80%和50%,漏报率分别为67%、100%、67%和67%(表2)。其中地磁逐日比报对的2次异常为跨区域异常,对应的地震并不位于华南地区,因此漏报率为100%。

从全国范围内地磁预测方法的实际应用上看,大量的震例表明强震前地磁异常对发震地点的指示意义较好,在西部6级以上和中国大陆东部5级以

表2 华南地区地磁预测方法应用情况(2018—2021年)  
Table 2 Application statistics of geomagnetic prediction methods in South China from 2018 to 2021

方法	异常 总数	报对 异常数	虚报率/(%)	应报地震数 ( $M\geq 5$ )	报对 地震数	漏报率/(%)
地磁加卸载响应比	1	1	0	3	1	67
地磁逐日比	4	2	50	3	0	100
地磁低点位移	4	1	75	3	1	67
地磁测深视电阻率	2	1	50	3	1	67

上地震前往往会出现多次地磁异常<sup>[6-9]</sup>, 可通过综合分析这些异常分布及其预测区的方式对未来的发震震中进行判定。但受地理位置影响, 华南地区大部分中强以上地震发生在沿海地区及其海域, 震中多位于地磁台网边界或者网外区域, 因此不利于震前的异常提取。2018年以来华南地区发生的3次5级以上地震在震前均只提取到一项地磁异常, 和这3次地震发生在地磁台网边界附近或台网外存在一定的关系。

5 结论

2018—2021年华南地区发生了3次5级地震, 3次地震前均在震前提出了地磁异常, 这证明了我们建立的地磁预测方法和预测指标得到了实际的检验。但这些指标仍然存在很大缺陷, 也并不是固定不变的, 未来随着震情的发展和研究的深入会不断对这些预测方法及其预测指标进行改进和完善。华南地区属于少震弱震区, 地磁台站分布相对比较稀疏, 又位于中国大陆边界, 中强以上地震多发生在海域, 不利于震前地磁异常的提取。未来应深入开展地震地磁物理机制的研究, 进一步增强发震地点判定的精确度, 同时在应用过程中可以放宽预测指标的时间和震级, 适当延长预测时间和降低预测震级。

致谢: 文中用到的地磁数据来自于中国地震局地球物理研究所国家地磁台网中心, 中国地震台网中心姚丽提供了低点位移数据和震例, 江苏省地震局李鸿宇提供了磁测深视电阻率计算绘图程序, 在此一并表示感谢!

参考文献

[1] 周峥嵘, 吕坚, 周斌, 等. 华南地区地震预测指标体系[M]. 北京:地震出版社, 2021.

[2] 中国地震局监测预报司. 地震电磁分析预测技术方法工作手册[M]. 北京:地震出版社, 2020.

[3] 丁鉴海, 黄雪香, 邢如英, 等. 地磁“低点位移”现象及其与地震的关系[J]. 地震学报, 1988, 10(4):406-414.

[4] 冯志生, 居海华, 李鸿宇, 等. 地磁谐波振幅比异常特征的进一步研究及定性解释[J]. 华南地震, 2009, 29(1):17-23.

[5] 冯志生, 姜楚峰, 冯丽丽, 等. 短期重现性地磁日变化感应电流集中分布与地震关系初步研究[J]. 中国地震, 2020, 36(3):502-516.

[6] 艾萨·伊斯马伊力, 黄恩贤, 高丽娟. 2017年精河 $M_s6.6$ 地震前地磁异常特征分析[J]. 中国地震, 2017, 33(4):764-770.

[7] 李鸿宇, 朱培育, 冯志生, 等. 2013年前郭5.8级震群的地磁多方法异常分析[J]. 地震研究, 2018, 41(1):111-117.

[8] 倪晓寅, 赖见深, 朱培育, 等. 汶川8.0级地震前地磁日变化异常综合分析[J]. 中国地震, 2019, 35(1):65-75.

[9] 戴苗, 冯志生, 刘坚, 等. 2020-07唐山 $M5.1$ 级地震前电磁资料综合分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2021, 41(11):1146-1151.