

张建国, 张双凤, 段吉超. 小波频谱分析在地震地磁扰动提取中应用研究[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 28-30. [ZHANG Jianguo, ZHANG Shuangfeng, DUAN Jichao. Application of Wavelet Spectrum Analysis in Seismic Geomagnetic Disturbance Extraction[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 28-30]

# 小波频谱分析在地震地磁扰动提取中应用研究

张建国, 张双凤, 段吉超

(邯郸地震监测中心站, 河北 邯郸 056001)

## Application of Wavelet Spectrum Analysis in Seismic Geomagnetic Disturbance Extraction

ZHANG Jianguo, ZHANG Shuangfeng, DUAN Jichao

(Handan Central Seismic Station, Hebei Earthquake Ageacy, Handan 056001, China)

关键词: 小波分析; 功率谱; 地磁扰动; 地震预测

Keywords: Wavelet Analysis; Power spectrum; Geomagnetic disturbance; Earthquake prediction

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0028-03

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.11

### 0 研究背景

Morlet小波作为一种分解工具和检测长时间序列中多尺度突变的方法, 同时具有时域和频域的良好局部化特征, 而且随着信号不同频率成分在时间(空间)域取样的疏密, 调节其放大倍数, 可以清楚地分析信号在各个层次上的变化, 从而聚焦到分析信号的细节。该方法在地震异常提取中得到了广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。

本研究基于地磁秒值观测数据, 利用Morlet小波包对移除地球主磁场和地壳磁场三分量 $H$ ,  $D$ ,  $Z$ 进行小波分析, 得到扰动频率低于0.006 Hz的频谱变化特征, 并将地磁场扰动与地磁Dst指数和地震活动做对比, 发现地震活动会引起地磁场 $Z$ 分量剧烈扰动, 而与 $H$ 、 $D$ 分量扰动无直接关系, 而 $H$ 和 $D$ 分量扰动主要是由磁层环电流扰动所引起的。

### 1 研究方法概述

Morlet小波是一个由Gauss函数调制的连续性平面波<sup>[3]</sup>, 其母函数为

$$\Psi(t) = e^{ict} (e^{-\frac{t^2}{2}} - \sqrt{2} e^{-\frac{c^2}{4}} e^{-t^2}) \quad (1)$$

离散小波变换公式为

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^N f(i\delta t) \psi^* \left( \frac{i\delta t - b}{a} \right) \quad (2)$$

式中,  $*$ 表示复共轭;  $a$ 为尺度因子(与周期和频率有关);  $b$ 为平移因子(时间位置);  $i$ 为资料序列时间位置标号;  $f(t)$ 为变量时间序列;  $W_f(a, b)$ 为小波系数;  $\delta t$ 为变量序列时间间隔。

而小波功率谱定义为

$$E_{a,b} = |W_f(a, b)|^2 \quad (3)$$

总体小波功率谱 $E_a$ 表征不同尺度 $a$ 对应的能量密度, 定义为

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41274079)

作者简介: 张建国(1974-), 男, 博士, 正高级工程师, 主要从事地震电磁学、地震预测等研究工作。

E-mail: zhangjg\_909@163.com

$$E_a = \frac{1}{N} \sum_{b=1}^N |W_f(a, b)|^2 \quad (4)$$

Morlet小波尺度  $a$  与周期  $T$  有如下对应关系为,

$$T = \frac{4\pi a}{c + \sqrt{2 + c^2}} \approx 1.033a \quad (5)$$

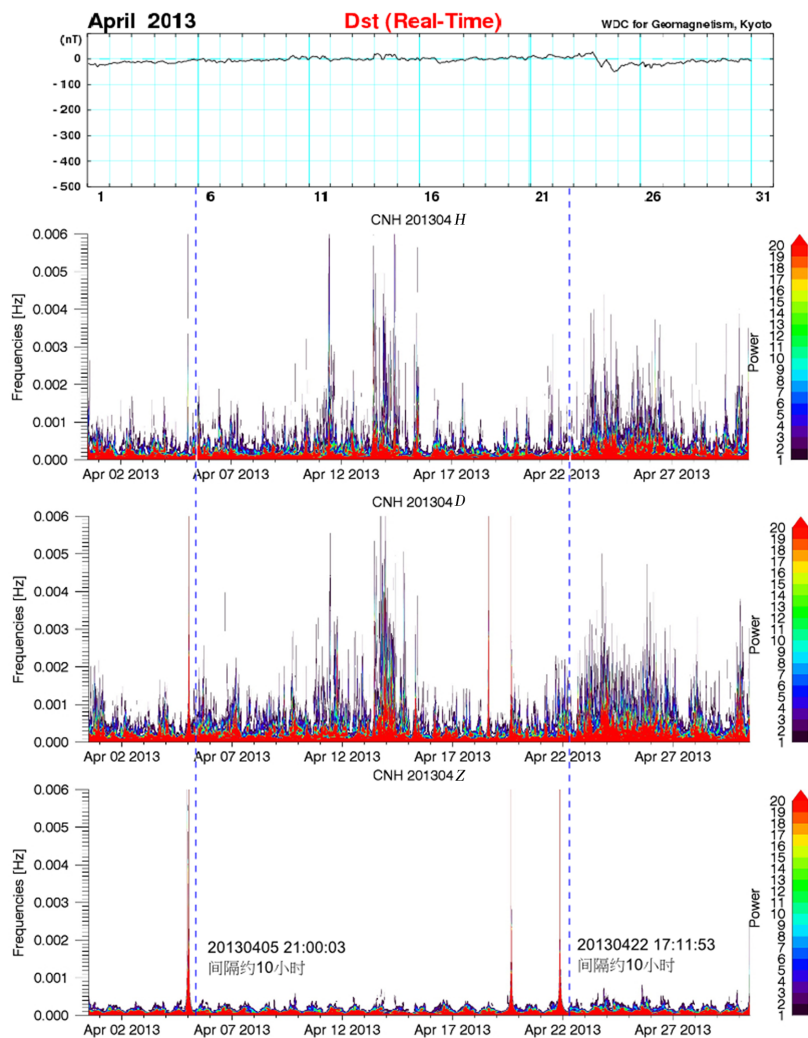
式(5)中,  $c$  为无维度的频率, 为满足容许性条件, 将  $c$  值取为6。

## 2 研究结果分析

2013年4月5日、22日, 在长春地磁台周边的中、俄交界, 内蒙古通辽市科尔沁左翼后旗与辽宁省彰武县交界分别发生了6.5级、5.3级地震。本研究利用长春地磁台  $H$ 、 $D$ 、 $Z$  地磁三分量的秒值数据做小波计算, 将所得小波频谱与该两次地震

活动情况及 Dst 指数进行对比分析, 来研究地磁三分量频谱扰动与地震活动之间的关系。

图1给出了长春地磁台站在2013年4月地磁三分量( $H$ 、 $D$ 、 $Z$ )小波分析的功率谱变化, 其中  $H$ 、 $D$  为水平分量、 $Z$  为垂直分量, 最上面小图为 Dst 指数变化。从图中可以看出,  $H$ 、 $D$  分量地磁扰动变化明显并与 Dst 指数变化相关, 而  $Z$  分量的剧烈扰动主要是和地震活动相关, 而在  $H$ 、 $D$  分量的扰动中无法明确辨别和地震活动相关。 $Z$  分量的剧烈地磁扰动发生在2013年4月5日21点和2013年4月22日17点, 即地震前10 h左右。进而从 Dst 指数的对比可以看出,  $Z$  分量的剧烈扰动不是由磁层电流体系扰动引起的, 也不是由电离层扰动电流体系引起的, 而由地震活动引发的可能性最大。



蓝色虚线为两次地震的发震时刻

图1 2013年4月长春台地磁场  $H$ 、 $D$ 、 $Z$  分量小波频谱变化与地震活动及 Dst 指数变化对比

Fig.1 Comparison of wavelet spectrum changes of  $H$ ,  $D$  and  $Z$  components of geomagnetic field with seismic activity and Dst index changes in Changchun station in April 2013

### 3 结语

研究结果认为,两次地震活动有可能为地磁 $Z$ 分量扰动临震的前兆信号,地震前间隔时间约为10 h,地震活动主要是和地磁 $Z$ 分量剧烈扰动相关,而和 $H$ 、 $D$ 分量扰动无直接关系, $H$ 和 $D$ 分量扰动主要是由磁层环电流扰动所引起的。

基于地磁扰动观测数据,运用Morlet小波包对移除地球主磁场和地壳磁场的地磁三分量 $H$ 、 $D$ 、 $Z$ 进行小波频谱分析,得到扰动频率低于0.006赫兹的扰动时频变化。移除地球主磁场和地壳磁场的地磁扰动主要包括磁层、电离层电流体系引起的感应磁场及其相应的地下电导率地磁感应,并把地磁变化磁场扰动与地磁Dst指数和地震活动做对比,分析地震时地磁扰动的状态,得出了地磁扰动地震前兆信息。而Dst指数是表征地球磁层环电流的扰动情况,通过长春地磁台秒值观测数据计算得到,该台站均远离本次对比研究的地磁台站,因此Dst指数变化可以表征磁层环电流扰动而

不受到选取地磁台站附近地震活动的干扰。而研究用到的长春台位于中低纬地区,因此受到的磁层和电离层电流体系扰动影响主要来源于环电流和向阳面电离层日均变化电流体系影响,而电离层日均变化电流体系的扰动周期为1天以下,重复日变化,其扰动规律在地磁扰动中较为规则,而磁层环电流扰动在一年内的分布状况无太多规律,因此采用了与Dst指数可视化对比的方法来检验地磁小波频谱中哪些地磁分量扰动是由磁层环电流扰动所引起的。

### 参考文献

- [1] 白春华,徐文耀.主磁场长期变化十年至百年尺度的周期[J].地球物理学报,2010,53(4):904-911.
- [2] 尹继尧,朱元清,宋治平,等.Morlet小波显著性检验和精度分析在地磁场和地震活动性周期分析中的应用[J].地震学报,2011,33(5):663-671.
- [3] Torrence C, Compo G P A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull Amer Meteorol Soc., 1998, 79(1): 61-78.