

基于小波变换对地磁场变化特征的分析

田文通, 孙军杰, 陈双贵, 闫万生

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:选用 db5 小波基函数对嘉峪关、兰州两个台站地磁垂直分量 Z 进行了小波分解, 分析了不同台站间低频(概貌部分)和低频(细节部分)的相关性。结果显示:地磁 Z 分量在不同台站低频成分相关性较好, 而高频部分相关性不明显, 其高频部分可能与当地地下介质、地下电导率水平以及观测环境密切相关。

关键词:地磁台; 地磁垂直分量; 小波变换; 变化特征

中图分类号: P315.72⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0844(2013)增刊-0073-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.增刊.0073

Research on Variation Characteristics of Geomagnetic Field Based on Wavelet Transform

TIAN Wen-tong, SUN Jun-jie, CHEN Shuang-gui, YAN Wan-sheng

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: It is an important basic work to correctly identify the variation characteristics of the background field of the geomagnetic data. In this article, a wavelet decomposition was conducted to the geomagnetic vertical component Z of Jiayuguan station and Lanzhou station by using DB5 wavelet basis function, and then the relativity between low frequency (overview section) part and high frequency (detail section) part of two stations was analyzed. The results show that: the geomagnetic Z component between low frequency components of different stations are well related, while the correlation between high frequency components, which may be closely related to the local underground medium, underground conductivity and observation environment, is not obvious.

Key words: Geomagnetic Station; geomagnetic vertical component; wavelet transform; variation characteristics

0 引言

地球磁场具有谱成分丰富、频带较宽的性质。地震过程是一种非线性的变化过程, 获得强震前地磁异常信号的突变时刻及突变时刻所对应的频率成分, 是地震监测中亟待解决的关键科学问题之一^[1-2]。因此, 正确认识背景场的变化显得尤为重要。地下电导率的改变, 将引起地磁感应场的变化。

尽管震中区从孕震到发震过程中能量在不断积累, 但它的强度是非常微弱的, 以致单凭原始记录数据进行简单数理统计难以观察到地磁效应的明显变化。为了从原始记录中提取出真正有价值的信息, 基于小波变换对地磁前兆信号在不同频率段内进行分解分析是有效的方法。基于以上理论, 陈伯舫^[3]利用小波变换研究了 1986 年花莲地震、1999 集集

收稿日期: 2013-05-03

基金项目: 甘肃省地震科技发展基金(2012082); 中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2013IESLZ01); 中国地震局三结合基金(2010203)

作者简介: 田文通(1977-), 男, 甘肃天水人, 工程师, 主要从事地震监测和岩土地震工程研究工作. E-mail: tianwt@gssb.gov.cn

地震前后仓坪太地磁变化特征;李琪等^[1-2]利用小波变换提取了张北地震的震磁效应;邢西淳等^[4]提取了泾阳地震前的磁异常;范国华等^[5]将小波分析应用于地磁数据处理当中。以上研究主要是基于模拟记录而开展的,处理结果一定程度受采样率的限制,目前基于小波变换对数字化资料的分析处理鲜有报道,此外对于地磁背景场进行静日、扰日以及多台之间小波分析结果对比分析的细致研究目前开展工作很少。

数字化资料为小波变换所需高采样率提供了基础。2000 年以来,兰州和嘉峪关台均架设了 GM3 秒采样磁通门磁力仪,两个台站运行良好。兰州台在 2001 年以来国家局资料评比中已经取得 5 次前三名,嘉峪关 4 次前三名,资料具有可靠质量和应用价值^[6]。因此,对于开展基于小波变换分析地磁场变化规律研究提供了资料支撑。笔者^[7]曾经应用简单统计方法研究了甘肃几个地磁台资料概貌上的变化特征,对地磁垂直分量日变幅度和日变低点时间的变化特征取得了良好效果,但对日变形态所包含丰富细微信息无法得到良好结果。基于此本文将通过小波变换方法对资料进行多尺度分析来研究不同台站细微变化特征的差异,对于正确认识地磁背景场具有重要意义。

1 小波变换特点

信号处理的任务之一是认识客观世界中存在的信号的本质特征,并找出规律。从不同的角度去认识和分析信号有助于了解信号的本质特征。地磁信号是以时间的形式表达的。除了时间之外,频率是一种表示信号特征的重要方式。小波变换是一种时间-尺度分析方法,在时间、尺度(频率)两域都具有表征信号局部的能力,在低频部分具有较低的时间分辨率和较高的频率分辨力,在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率,很适合探测地磁正常信号中夹带的瞬间反常现象并展示其成分。因此,基于小波变换能够提取地磁场概貌(低频)和细节(高频)成分,对于认识地磁背景场变化是一种有力工具。

2 资料选取

本文选取了甘肃嘉峪关、兰州地磁台 2002—2004 年地磁垂直分量 Z 的 GM3 磁力仪分钟值数据,期间仪器运行良好,观测环境稳定。磁静扰日根据中国地磁台网网站公布国际地磁静扰日日期选

定,每月选取最平静和最扰动各 1 天,具体日期见表 1。台站位置见图 1。

表 1 静扰日数据处理选定的具体日期

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2002 年静日	30	14	17	8	24	28	14	6	23	13	8	18
扰日	19	28	24	20	23	2	6	2	7	24	21	27
2003 年静日	9	13	13	6	4	12	8	31	28	11	28	19
扰日	25	15	17	30	29	18	11	18	17	29	20	10
2004 年静日	8	26	24	2	26	22	8	4	11	17	6	4
扰日	22	12	10	3	7	29	27	30	14	13	10	12

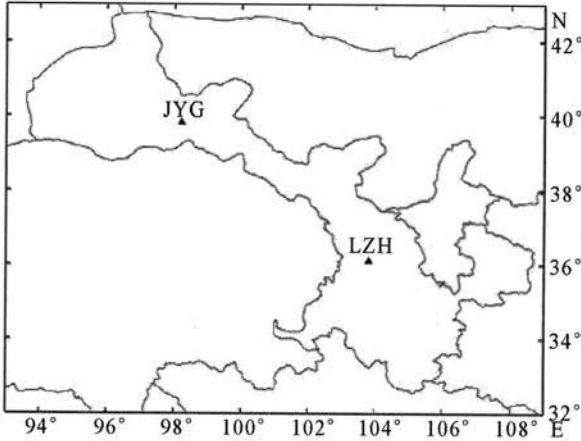


图 1 嘉峪关(JYG)、兰州(LZH)地理位置分布
Fig. 1 Locations of Jiayuguan station and Lanzhou station

3 数据处理

3.1 小波基的选取和应用

常用的小波中,db 系列有限紧支正交小波在时域上有限支撑,频域 $\Psi(\omega)$ 在 $\omega=0$ 处有 N 阶零点,适用于信号的多尺度分析。文中采用 db5 小波对原始信号进行分解。经一次分解后,得到一阶尺度系数 CA1 和一阶小波系数 CD1。尺度系数 CA1 代表原始信号中低频的成分,即原始信号的概貌部分;小波系数 CD1 代表了原始信号中相对高频的部分,即原始信号的细节部分。由于尺度系数 CA1 中仍然包含着许多细节的部分,于是把尺度系数 CA1 再做分解,得到二阶尺度系数 CA2 和二阶小波系数 CD2。

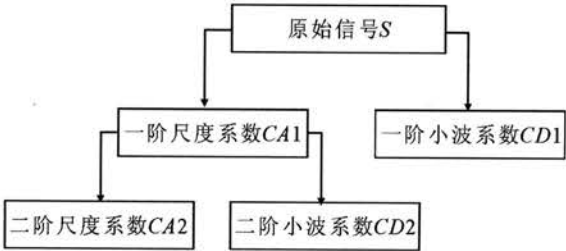


图 2 原始信号的小波分解流程图
Fig. 2 Flow chart of original signal in wavelet decomposition

CD2。二阶尺度系数 CA2 代表一阶尺度系数 CA1 中相对低频的成分,即原始信号中更为概貌的成分;而小波系数 CD2 代表尺度系数 CA1 中相对高频的成分,即比小波系数 CD1 更为粗糙的细节成分。依次类推,把尺度系数分解下去,不同频率段的细节成分就能被提取出来。分解流程见图 2。本文做了二阶小波分解,提取了一阶尺度系数 CA1,一阶小波系数 CD1,二阶尺度系数 CA2 和二阶小波系数 CD2。

为了检验所选用小波分解所采取的 db5 小波基函数是否恰当,对原始数据 S 进行二阶分解后进行

了重构。令原始信号为 S1,重构后的数据为 S2,计算 S1 和 S2 之间最大差值。

磁静日以 2003 年 5 月 4 日为例结果为:
嘉峪关: $\max(S1 - S2) = 2.955\ 9e - 012$
兰 州: $\max(S1 - S2) = 1.193\ 7e - 012$
磁扰日以 2003 年 7 月 11 日为例结果为:
嘉峪关: $\max(S1 - S2) = 2.955\ 9e - 012$
兰 州: $\max(S1 - S2) = 7.332\ 8e - 012$
做了几天的数据都得到了类似结果。结果显示重构信号和原始信号只存在极其细微差别(图 3)。因此,选用 db5 小波基函数进行分解是可靠的。

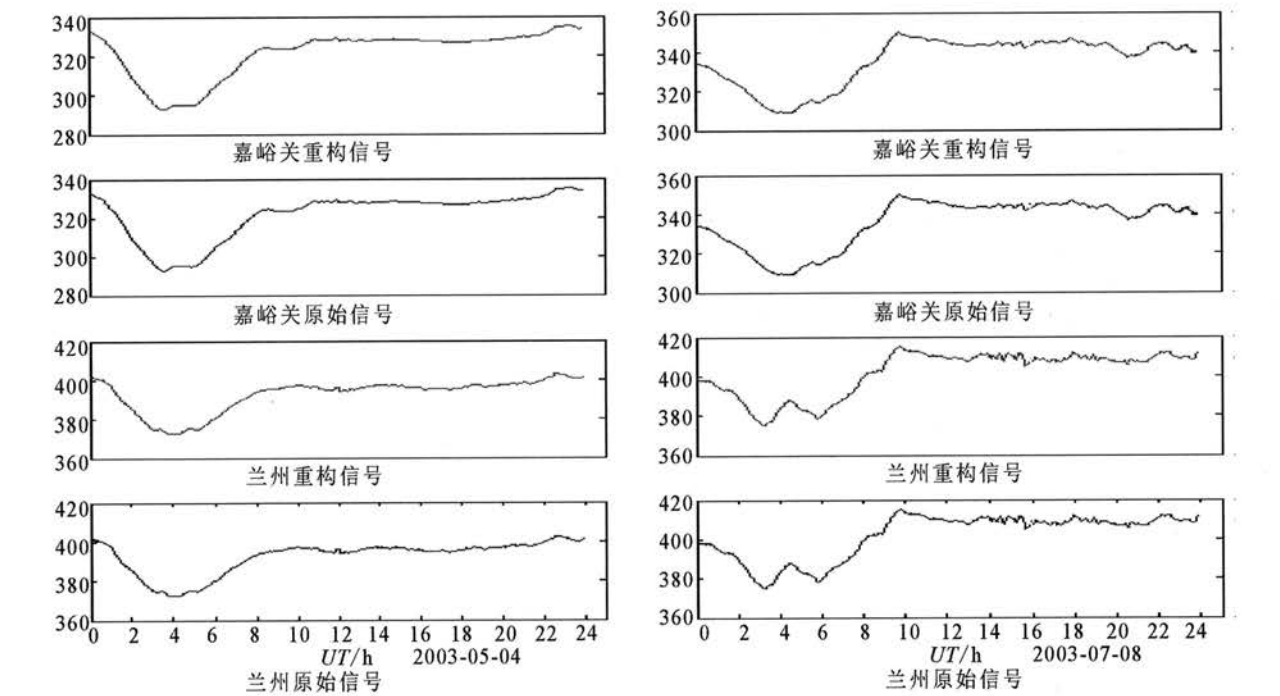


图 3 原始信号与重构信号对比图

Fig. 3 Comparison of original signals and reconstructed signals

利用 db5 小波基对前文选定资料进行了二阶小波分解,以磁扰日 2003 年 7 月 11 日的数据为例,结果见图 4。

3.2 嘉峪关、兰州地磁 Z 分量原始数据和小波变换结果的相关性分析

3.2.1 原始数据的相关性分析

为了研究嘉峪关、兰州台地磁垂直分量 Z 原始数据的相关关系,本文对两台所选定的静扰日(表 1)原始数据逐日进行了相关分析,做出了两台的相关系数,结果见图 5。结果显示,相关系数基本在 0.8~1.0 之间,两台原始曲线具有显著的相关性;磁扰日期间相关略优于磁静日。从时间角度分析,其相关性没有明显的季节性变化。

3.2.2 小波系数 CD1、CD2 相关性分析

本文分别对两台磁静扰日一阶和二阶小波系数做了相关性分析,其结果(图 6)反应了两台在高频(细节)部分的相关程度。

由图 6(a)可知,CD1 在两台之间的相关系数大致介于 0.3 之内,其相关性不显著,说明在地磁场一阶尺度系数细节变化中两台具有差异性,各自具有不同的地域特色。图 6(b)表明其相关系数 R 值在磁静日期间在 -0.1~0.1 之间,说明其相关性不显著;其次,在磁扰日期间,其相关系数 R 值波动较大,有部分 R 值超过 0.5,甚至达到接近 0.8,说明其细节(高频)部分在两个台站之间具有一定的相关性,可能解释为磁扰日期间地磁场的扰动事件具有大尺度地域的同步性。

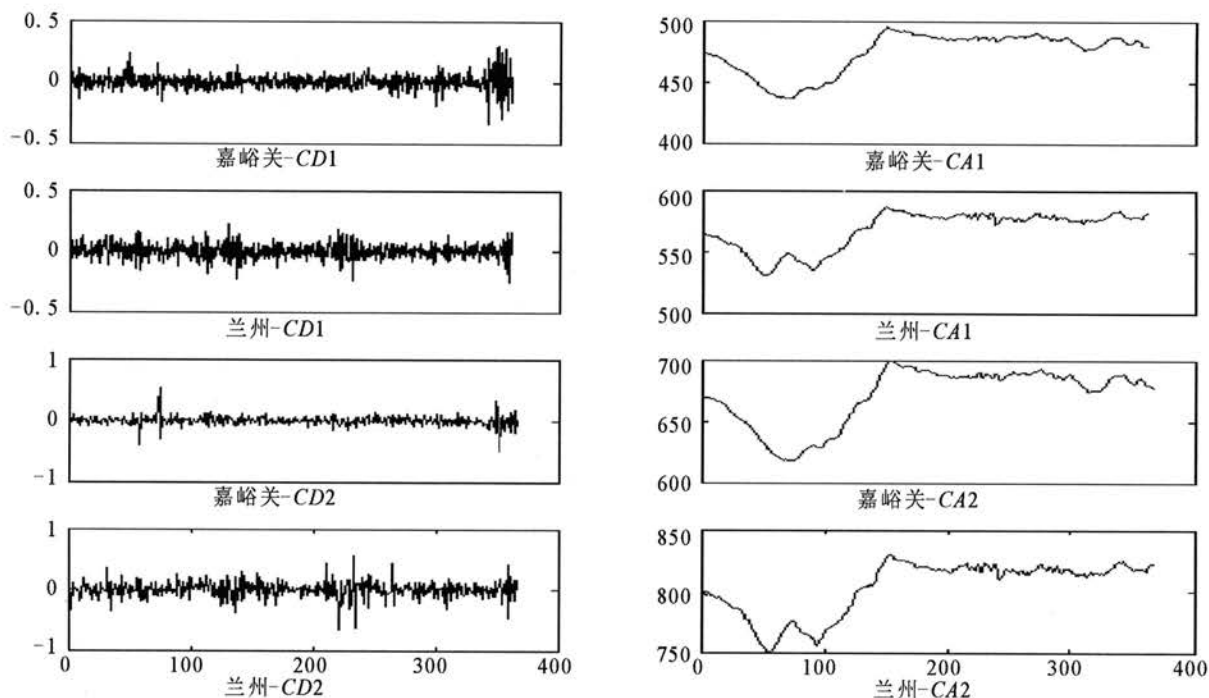


图 4 2003 年 7 月 11 日信号分解结果图

Fig. 4 Results of signal decomposition on July 11, 2003

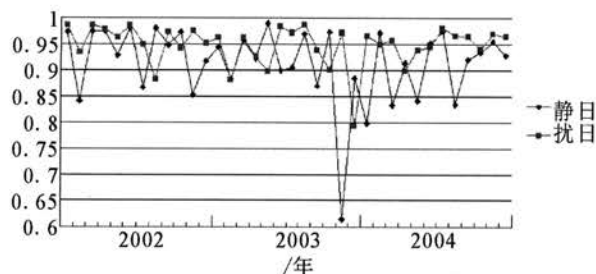


图 5 嘉峪关、兰州原始数据相关系数

Fig. 5 Correlation coefficients of raw data at Jiayuguan and Lanzhou stations

3.2.3 尺度系数 CA1、CA2 相关性分析

本文对两台 CA2 代表 CA1 信号中相对概貌(低频)的部分进行了相关分析,用以明确两台变化特征,结果见图 7。

由图 7(a)可知,嘉峪关和兰州一阶尺度系数 CA1 相关系数值基本在 0.8 以上,说明 CA1 在两台之间显著相关。换言之,嘉峪关和兰州地磁场在概貌(低频)部分具有非常显著的相关关系。另外,相关系数 R 的大小没有明显的季节变化特征。磁扰日期间的相关系数 R 波动小于磁静日。图 7(b)变化特征与图 7(a)类似,两台相关性显著,不具备明显的季节性变化特征,说明一阶尺度系数 CA1 中概貌(低频)成分在嘉峪关和兰州之间显著相关。

总之,通过上述对嘉峪关和兰州台地磁 Z 分量原始信号和经过对原始信号的两阶小波分解变换所

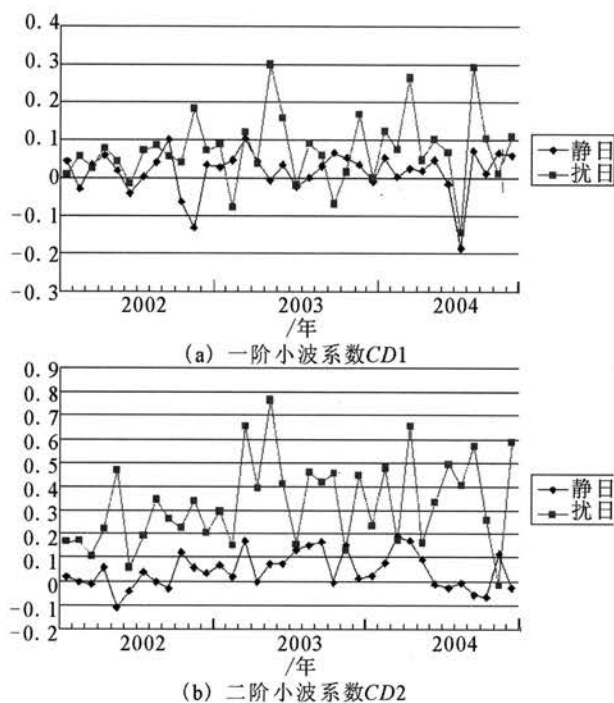


图 6 嘉峪关、兰州小波系数相关系数

Fig. 6 Correlation coefficients of wavelet coefficients at Jiayuguan and Lanzhou stations

提取的尺度系数和小波系数的相关性分析得知,两台原始信号 S 以及一阶和二阶尺度系数 CA1、CA2 相关性显著;而小波系数 CD1、CD2 不具备良好的相关性;原始信号 S 、尺度系数 CA1 和 CA2、小波系数 CD1 和 CD2 的相关性没有明显的季节性变化特征。

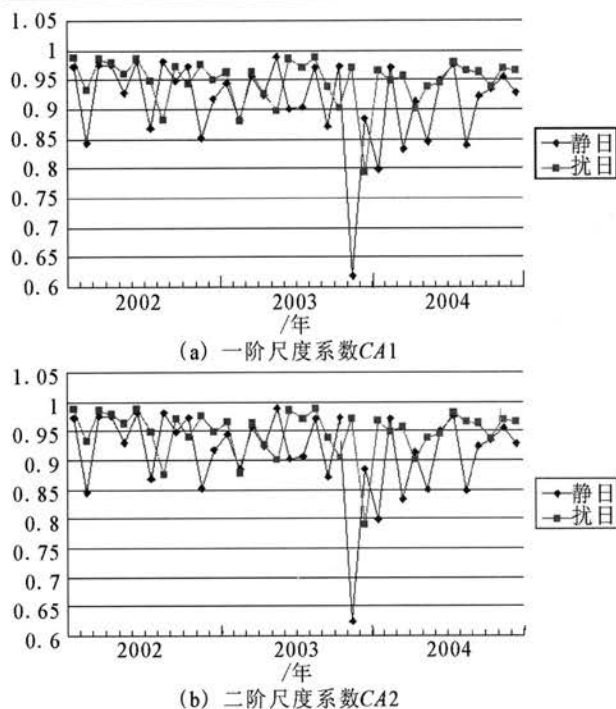


图 7 嘉峪关、兰州尺度系数相关系数

Fig. 7 Correlation coefficients of scale coefficients at Jiayuguan and Lanzhou stations

4 结论与讨论

(1) 本文应用 db5 小波基函数对嘉峪关、兰州台地磁垂直分量 Z 原始数据进行了小波分解变换和信号重构。结果表明原始信号和重构信号具有良好的一致性,因此,采用 db5 小波基函数处理地磁数据时是可靠和适合的。

(2) 通过对嘉峪关、兰州地磁 Z 分量原始数据和尺度系数 CA1、CA2 的相关性分析表明,两台之间具有显著相关关系,其相关程度没有明显的季节性变化特征。说明在不同台站间低频(概貌)部分的磁场变化显著空间相关。

(3) 通过对小波系数 CD1、CD2 相关性分析发现嘉峪关和兰州相关系数 R 值很小,不存在明显的相关关系,说明不同台站地磁场 Z 分量在细节(高频)成分上不具有密切关系,各自反映了其地域特性。其可能原因为:首先是台站仪器和观测环境自身噪声水平的反应;其次是台站所处的地理环境中地下介质和地下电导率水平不同,由于扰动的地磁外源场在地球内部介质中产生相应的感应电流,从而产生一个感应的内源场,地下介质和电导率水平不同,所产生的内源场强度也不同。

总之,通过小波变换对不同台站地磁 Z 分量的分析结果可以看出,相对于低频(概貌)部分,高频(细节)部分更能够反映不同台站之间的地域特点,为进一步开展震磁异常的提取具有重要的借鉴意义。

参考文献

- [1] 李琪. 小波分析及地震磁效应[J]. 国际地震动态, 2002, (2): 31, 61.
- [2] 李琪, 林云芳, 等. 应用小波变换提取张北地震的震磁效应[J]. 地球物理学报, 2006, 49(3), 855-863.
- [3] 陈伯舫. 用小波法研究台湾省两次 7.6 级大震前后仑坪台的地磁变化[J]. 地震地磁观测与研究, 2006, 27(1): 45-48.
- [4] 邢西淳, 邵成辉, 等. 小波变换在地磁数据分析中的应用[J]. 地震地磁观测与研究, 2005, 26(2), 38-42.
- [5] 范国华, 姚同起, 韩克礼. 子波变换在地磁不规则脉动频谱分析中的应用[G]//中国地震学会成立 20 周年纪念文集. 1999.
- [6] 田文通, 杨冬梅, 辛长江, 等. 兰州地磁台 GM3 磁力仪基线值变化特征和处理方法探讨[J]. 地震研究, 2005, 28(3): 251-255.
- [7] 田文通, 辛长江, 薛锋, 等. 甘肃不同台站地磁垂直分量变化特征分析[J]. 防灾科技学院学报, 2011, 13(4): 35-39.