

# Research on Removing Noises in Geoelectric Field Observation at Baoji Station Using Wavelet Transform

Fengying Xue\*, Mingliang Feng, Quanzhi Chen, Wei Xu

Baoji Seismic Station, Earthquake Administration of Shaanxi Province, Baoji Shaanxi  
Email: \*[xfy0423@126.com](mailto:xfy0423@126.com)

Received: Sep. 20<sup>th</sup>, 2015; accepted: Oct. 4<sup>th</sup>, 2015; published: Oct. 8<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Electric field observation is one of the most important observation methods in earthquake precursor prediction, but in actual precursory data monitoring, earth resistivity power supply has caused a great disturbance for electric field data, losing its original value. Based on the advantages of wavelet analysis in the time domain and frequency domain, this paper introduced how to use Matlab simulation software and wavelet toolbox to deal with the electric field observation affected by earth resistivity power supply, from the basic principle of wavelet transform. The study results show that this method is a good way to eliminate interference electric resistivity in the power supply, not only reducing development status of the original signal, but also providing a more reliable data in geoelectric field observation at Baoji station.

## Keywords

Geoelectric Field, Wavelet Analysis, Matlab Simulation Software, Interference in the Power Supply

---

# 小波方法在宝鸡台地电场干扰处理中的分析研究

薛凤英\*, 冯明亮, 陈全智, 许 维

\*通讯作者。

陕西省地震局宝鸡综合地震台, 陕西 宝鸡  
Email: [xfy0423@126.com](mailto:xfy0423@126.com)

收稿日期: 2015年9月20日; 录用日期: 2015年10月4日; 发布日期: 2015年10月8日

## 摘要

地电场观测是地震前兆预报中最重要的观测方法之一, 而实际前兆数据监测中, 地电阻率供电对地电场数据造成了极大干扰, 且使数据失去了原有价值。本文利用小波能够同时在时间域和频率域分辨率分析的特点, 从小波变换的基本原理出发, 结合Matlab仿真软件和小波工具箱, 对受到地电阻率供电干扰的地电场数据进行处理。处理结果表明, 采用此方法可以很好地消除地电场观测数据中地电阻率供电产生的干扰, 还原信号的原始发展状态, 为宝鸡台地电前兆观测提供了更加可靠的数据资料。

## 关键词

地电场, 小波分析, Matlab仿真软件, 供电干扰

## 1. 引言

地电场观测是地震前兆观测中的重要方法之一, 人们很早就对地电场进行了研究, 并研制出了许多数字化仪器, 为前兆观测数据提供了良好的保证, 观测实践表明, 地电场观测区域电磁环境的改变会对数据观测造成很大的影响, 而随着现代化城市的发展与建设, 越来越多的环境改变正在逐渐扩大这种干扰。

地震观测信号是了解地球内部结构最重要的手段之一, 但是地震台接收到的地震波资料中, 由于受到观测环境、测量误差、以及地面微震动等因素影响, 不可避免地含有一些干扰噪声, 因此降噪成为地震资料处理中的重要环节[1]。

目前, 我国大部分台站的地电阻率和地电场同台观测, 而地电阻率供电时产生的人工电场会对地电场观测产生很大影响。宝鸡礆溪地电是地电场和地电阻率同场观测台站, 宝鸡台地电礆溪测区自2014年线路深埋改造, 改造完成后的观测数据受到的主要干扰为地电阻率供电干扰, 每天人为去除这种供电干扰对数据的完整率及连续率造成很大影响, 本文从小波变换角度出发, 用小波方法对受到地电阻率供电干扰的地电场数据进行分析研究, 成功剔除了高频干扰信号, 还原真实信号, 在保证观测数据质量的同时也提高了数据的完整率及连续率, 也为数字化大地电场观测资料的分析处理提供一种新的有效方法。

## 2. 地电场信号及地电阻率供电干扰机制分析

### 2.1. 宝鸡台地电场观测系统

宝鸡台地电场台址位于宝鸡市陈仓区礆溪镇, 地处渭河东西向断裂带与固关-县功北西向断裂带的交汇区。地电场观测采用双“L”型布极方式, 组成南北长、东西长、北西长、南北短、东西短、北西短共6个测道。南北向和东西向长极距均为400 m, 短极距为200 m。观测仪器采用的是中国地震局分析预报中心研制的ZD9A-II大地电场仪, 每分钟观测一组数据(6个测道数据)。该仪器的主要技术性能为: 1) 测量准确度优于 $\pm(0.1\% \text{读数} + 0.02\% \text{满刻度})$ ; 2) 测量分辨能力优于 $10 \mu\text{V}$ ; 3) 频带范围 $\text{DC} \sim 0.1 \text{ Hz}$ ; 4) 动态范围大, 不小于100 dB; 5) 稳定性高, 可靠性好, 抗干扰能力强[2]。

## 2.2. 地电阻率供电干扰信号分析

宝鸡磻溪地电是地电场和地电阻率同场观测台站，地电阻率观测时会向大地供电，产生的人工电场叠加在大地电场上会使地电场观测结果受到很大影响。本台地电阻率使用的仪器是“ZD8B 地电仪”，采用直流等周期双向供电，一个方向上每小时观测 1 次，每次供电时间为 3~5 s，供电次数 5 次以上，1 天供电 24 组，供电时序如图 1 所示[3]。

## 2.3. 地电场观测信号分析

本文分别选取了同一个方向上，无地电阻率供电干扰和有地电阻率供电干扰的部分地电场数据，对它们各自的原始数据曲线和频率特性图进行了对比，结果分别如下面两幅图所示。

图 2 为未受到地电阻率供电干扰时宝鸡台地电场的观测数据及其地电场频率特性，由图可看出地电场信号变化总体较为平稳，采用快速傅里叶变换方法对未受电阻率供电干扰的地电场信号进行频谱特性分析后显示频率主要集中在低频部分。

图 3 为受到地电阻率供电干扰时宝鸡台地电场的观测数据及其地电场频率特性，图中可明显看到由于地电阻率供电干扰，地电场数据已经看不出其原始形态。对比两图的频率特性发现地电场的正常信号和地电阻率供电干扰造成的信号在频率上有部分重叠，给抑制和处理地电场观测信号中的地电阻率供电干扰造成了相当大的难度。所以，研究如何利用小波方法去除供电干扰对我们的地电场数据预处理工作有非常大的帮助，能够有效还原真实数据，为地震的预报分析提供可靠的资料。

## 3. 小波变换

### 3.1. 小波变换理论

小波变换是一种信号的时间 - 尺度(时间 - 频率)分析方法，是继傅立叶分析之后的一个突破性进展，它具有多分辨率的特点，而且在时频两域都具有表征信号局部特性的能力，能在小波域很好地实现信噪分离，它给许多相关领域提供了一种强有力的分析工具。小波变换由于具有优异的时 - 频域分析性质，受到了很多地学工作者的青睐，被广泛应用于地球物理和大地测量学的很多领域[4]。

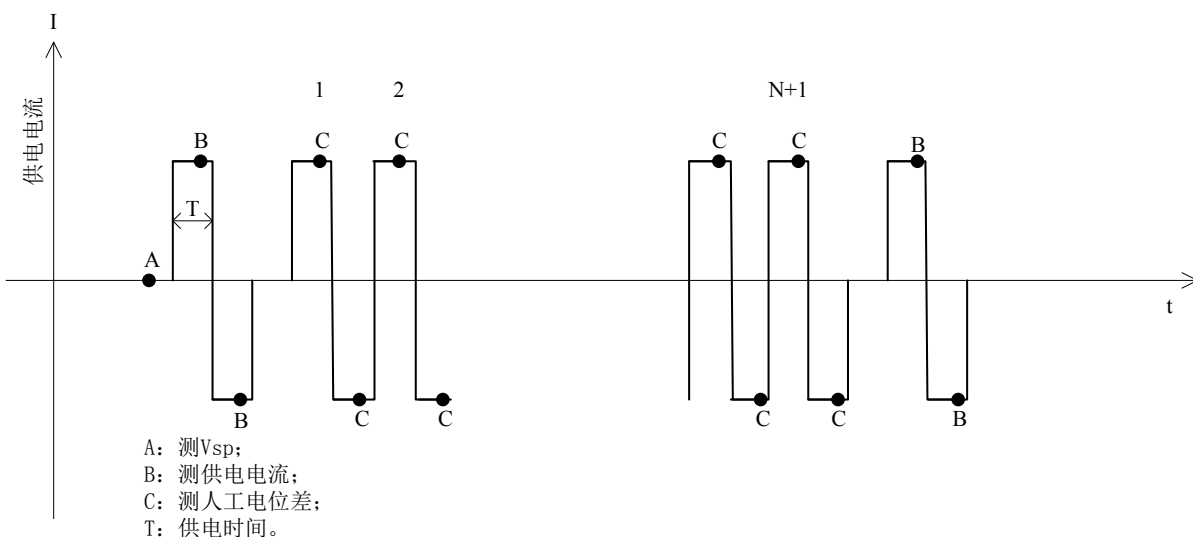


Figure 1. Measuring sequence diagram of ZD8B

图 1. ZD8B 测量时序图

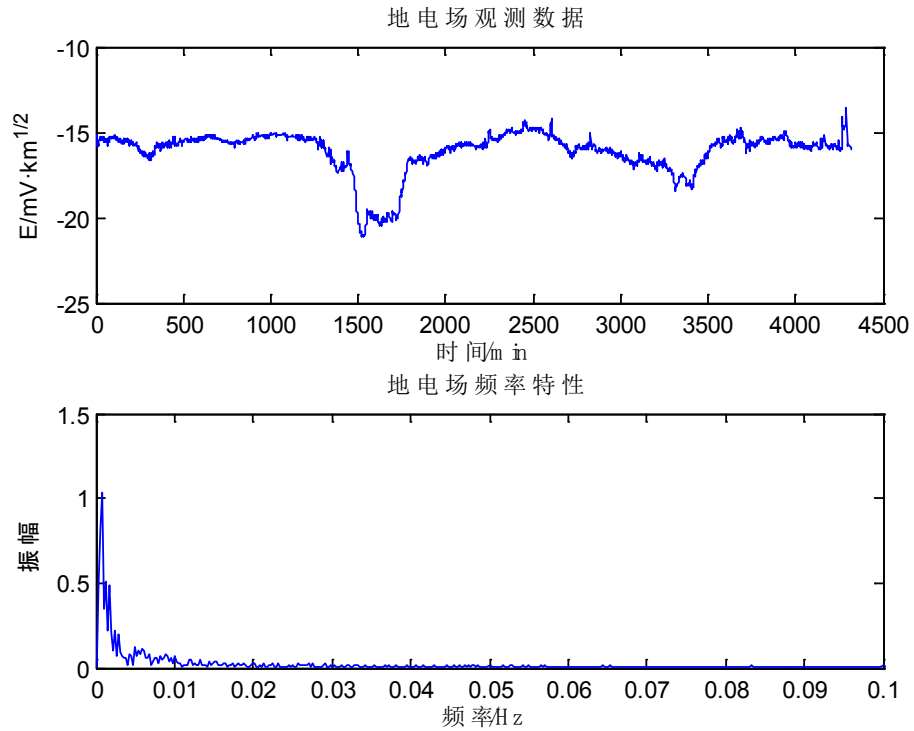


Figure 2. Electric field observation data and its frequency characteristic for no earth resistivity power supply interference  
图 2. 未受电阻率供电干扰的地电场观测数据及其频率特性

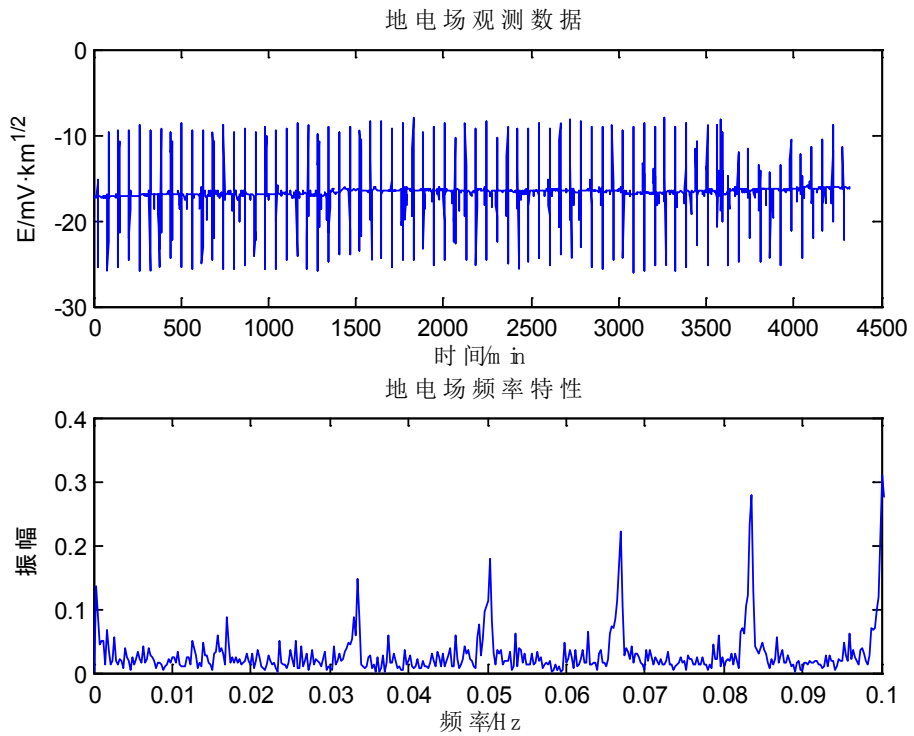


Figure 3. Electric field observation data and its frequency characteristic of earth resistivity power supply interference  
图 3. 受地电阻率供电干扰的地电场观测数据及其频率特性

设  $f(t)$  是平方可积函数, 即  $\forall f(t) \in L^2(R)$ ,  $f(t)$  的连续小波变换(有时也称为积分小波变换)定义为:

$$WT_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi^* \left[ \frac{t-b}{a} \right] dt, (a \neq 0),$$

其中  $a$  为尺度因子,  $b$  为平移因子。

当小波  $\psi(t)$  满足  $C_\psi = \int_0^\infty \frac{|\psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty$  时, 连续小波的逆变换形式为:

$$f(t) = C_\psi^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{a,b}(t) WT_f(a, b) db \frac{da}{|a|^2}$$

这时可以根据信号的小波系数精确恢复原信号。

小波变换的主要特点: ① 时频局部化特性, 能够同时给出信号的时域和频域的信息; ② 多分辨率特性, 可以在不同尺度上描述信号的局部特性, 如边缘、尖峰、断点等; ③ 解相关特性, 小波变换可以对信号解相关, 使信号的能量集中于几个小波系数上, 而噪声能量可能分布于大部分小波系数上; ④ 选基灵活性, 可以针对不同的应用对象选用不同的小波函数[5]。

### 3.2. 小波基的选择和尺度参数的确定

小波变换不同于傅立叶变换, 因为小波分析中所用的小波函数具有多样性, 用不同的小波基分析同一个问题会产生不同的结果, 所以小波变换在工作应用中的一个十分重要的问题就是最优小波基的选取[6]。

本文将运用 Daubechies 小波对地震波资料进行分析。Daubechies 函数是由著名的小波分析学者 Inrid Daubechies 对尺度取 2 的整数幂构造的小波函数。一般简称为 dbN, N 代表小波的阶数。随着 N 的增大, 小波尺度函数和小波函数的光滑性也越来越好, 但紧支撑集中非零项的个数也会相应增加, 这将给信号重构带来一定的不稳定性[7] [8]。

小波分解层数的确定: 在确定小波基后, 对地震波资料进行多尺度降噪分析, 选择降噪效果显著且信号不失真的层数作为小波分解层数。

## 4. 小波方法去除地电阻率供电干扰

由于噪声的污染, 从原始信号中无法观察信号的发展趋势。通过进行多尺度的小波分解, 在小波分解的低频系数重构中可以明显地看到原始信号的发展趋势。这是因为信号的发展趋势往往是信号的低频成分, 在小波变换中对应着最大尺度小波变换的低频系数。此外还可以在低频中理解它, 在进行低频成分的尺度分解时, 随着分解层数的增加, 它所含的高频成分会随之减少, 因此随着尺度的增加, 更多高频的信号被滤掉, 可以看到信号的发展趋势[9]。

本文选取了 16 天含有地电阻率供电干扰的地电场数据, 选择“db4”小波基, 对其进行了 8 层小波分解。图 4 给出其低频信号重构信息, 反映出数据的整体变化趋势。

本文选取的地电阻率供电干扰数据为分钟值数据, 根据原始数据图可看出其干扰周期约为 1 小时, 当分解到第六层时, 其周期内的供电干扰均可去除。同时, 根据图 4 重构后的数据显示, 随着分解尺度的增加, 每层干扰情况逐渐减少, 第六层、第七层、第八层数据形态接近, 曲线光滑, 证明分解到第六层已经可以达到较好的趋势效果。

图 5 为小波变换分解出的高频细节部分, 其中, 第一、二层是频率的最高信息, 为主要的地电阻率供电干扰信息, 分解到第七、八层时的高频信号相较第六层数据变化范围总体变小, 但在曲线末端均出

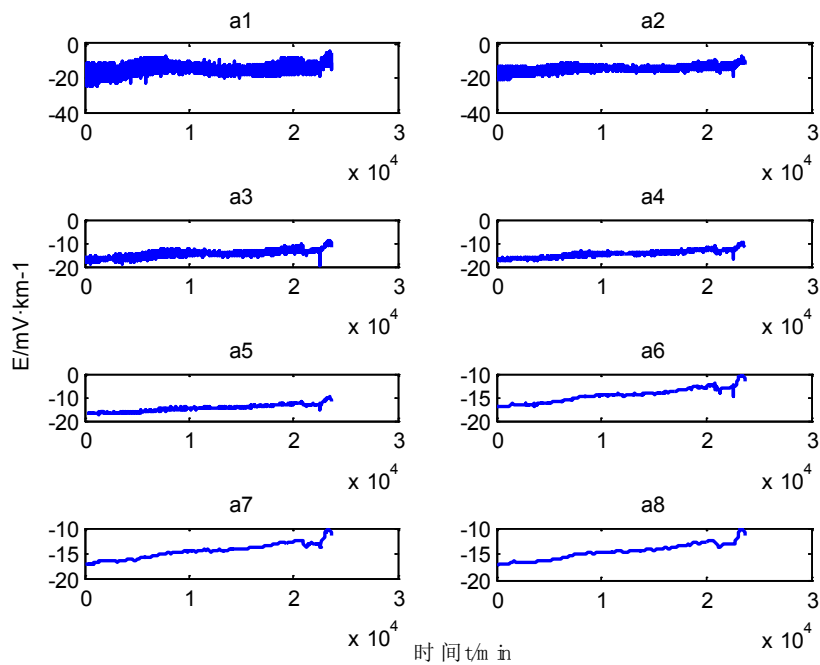


Figure 4. The reconstruction part of low frequency (trend)  
 图 4. 低频重构部分(趋势变化)

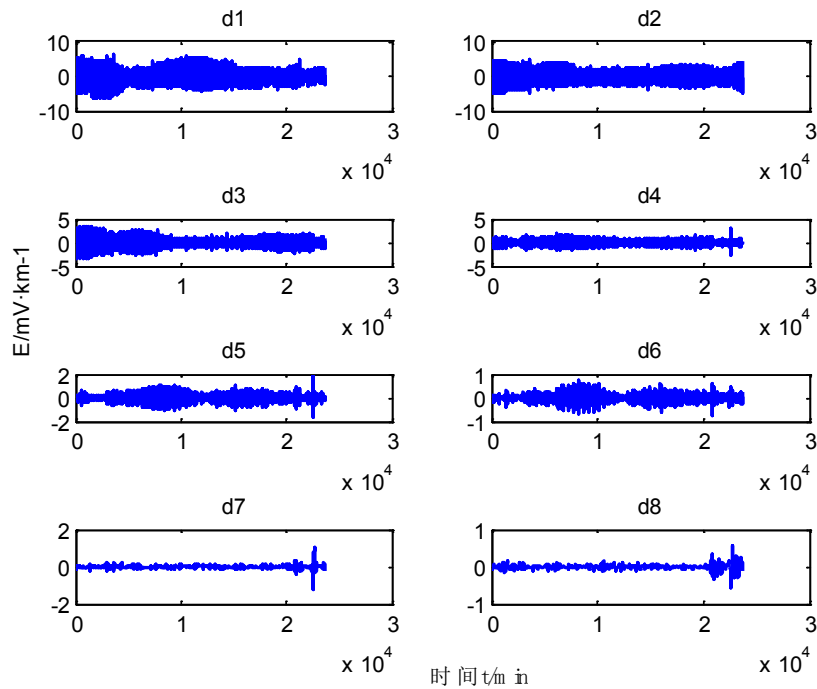
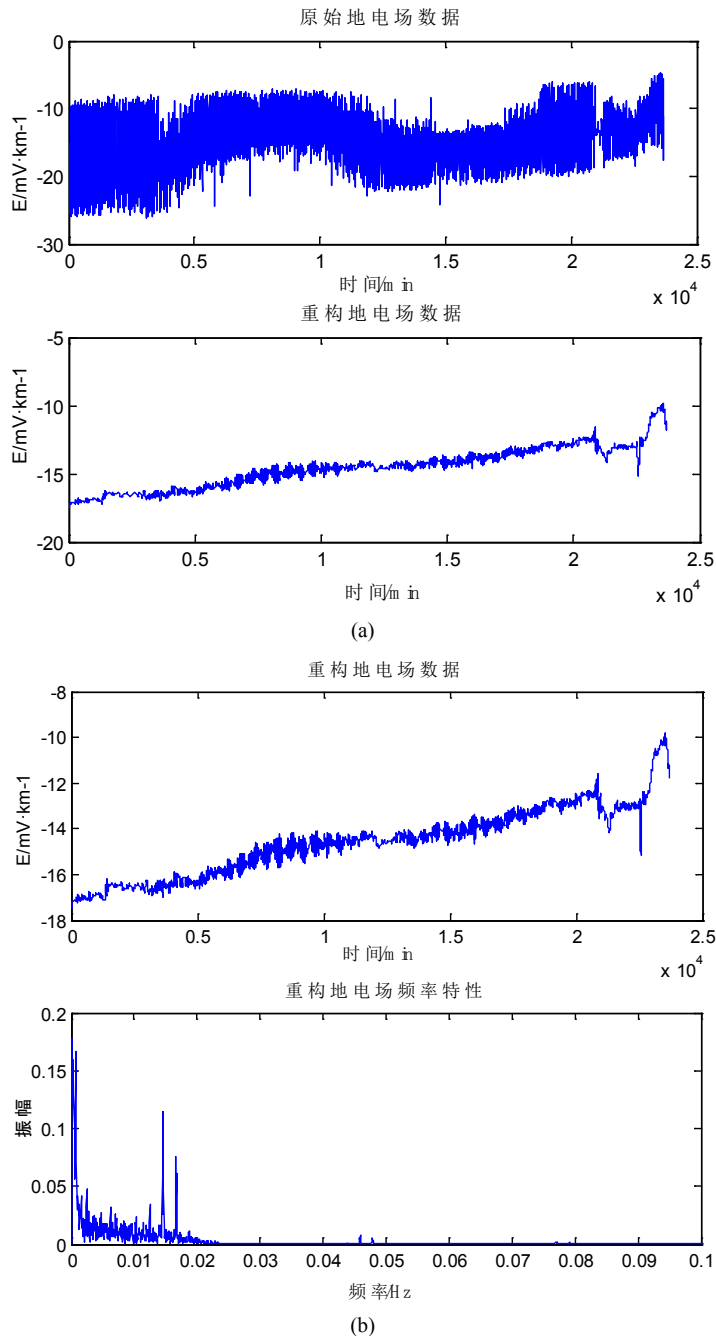


Figure 5. The reconstruction part of low frequency (details)  
 图 5. 高频重构部分(细节部分)

现了一个较大的变化量，这与图 4 趋势变化曲线的走势吻合。原因是由于第一层至第六层代表 1 小时以内干扰信号的变化规律，即供电阻率干扰信号，而第七、八层代表超过 1 小时以上的干扰信号趋势变化量，它不是供电干扰信号，反应的是数据的真实特性，所以我们对原始数据进行 6 层小波分解时就足可

去除其 1 小时以内数据变化规律的干扰信号。可见小波方法不仅能对电场资料的高频与低频信息进行识别，还可以在去除干扰的条件下能保留其内在变化规律。

最后，本文提取了经过 6 层小波分解后的低频信号进行重构，得到的曲线光滑，形态走势明显，我们认为这就是去除了地电阻率供电干扰后接近原始信号的数据，对其进行频谱分析，结果如图 6 所示。



**Figure 6.** The characteristics of refactored electric field data. (a) The contrast figure of original data and refactored data; (b) refactored electric field data and its frequency characteristic

**图 6.** 重构地电场数据特性。(a) 原始数据和重构数据对比图；(b) 重构数据及其频谱特性图

图 6 中, (a)为原始数据和重构数据对比图, (b)为重构数据和其频率特性图, 重构后的信号频谱结果显示大部分高频信号已经被成功剔除, 信号主要集中在低频部分, 为接近原始信号的真实数据。

## 5. 结论与分析

Matlab 语言为工程技术人员提供了强大的数值计算和显示平台, 本文应用 Matlab 语言和小波变换方法对观测资料进行了近似部分(低频)与细节部分(高频)信息分离, 近似部分表明分解到第六层已经可以达到较好的趋势效果, 高频细节部分表明干扰信号主要存在前六层, 第七、八层是非干扰信号, 反应的是地电场信号的真实特性, 最终第六层重构数据结果显示成功去除了地电阻率供电干扰信号, 恢复了电场观测数据波形。

## 参考文献 (References)

- [1] 林向东, 徐平, 鲁跃 (2007) 地电场观测中几种常见干扰. *华北地震科学*, **1**, 16-25.
- [2] 席继楼, 赵家骝, 王燕琼 (2004) 地电场观测技术研究. *地震*, **2**, 68-73.
- [3] 高玉芬, 钱家栋 (2001) 地震及前兆数字观测技术规范(电磁观测). 地震出版社, 北京.
- [4] 马涛, 李斐, 岳建利 (2003) 小波分析在地球物理及大地测量中的应用. *地球物理学进展*, **1**, 49-52.
- [5] 邱颖, 席继楼 (2009) 小波方法在地电场干扰处理中的分析研究. *地震*, **2**, 57-63.
- [6] 柳建新, 韩世礼, 马 (2006) 小波分析在地震资料去噪中的应用. *地球物理学进展*, **2**, 541-545.
- [7] 董菲菲, 曾庆平, 罗桂生 (2012) 小波阈值降噪法在地震波信号处理中的应用. *科技创新与应用*, **6**, 15-16.
- [8] 薛志芳, 于春颂, 李非, 等 (2012) 河北昌黎地震台大地电场数字化观测资料小波分析. *山西地震*, **4**, 22-26.
- [9] 卓越李子 (2012) 小波分析. [http://blog.sina.com.cn/s/blog\\_4bdb170b0101bsdz.html](http://blog.sina.com.cn/s/blog_4bdb170b0101bsdz.html)