

doi: 10.11720/wtyht.2015.4.27

王大勇,朱威,范翠松,等.矿集区大地电磁噪声处理方法及其应用[J].物探与化探,2015,39(4):823-829.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.27

Wang D Y, Zhu W, Fan C S, et al. Noise processing methods and application study of MT in the ore concentration area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(4): 823-829. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.27

矿集区大地电磁噪声处理方法及其应用

王大勇¹, 朱威¹, 范翠松², 姚大为¹

(1. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质调查局 天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要: 通过研究平移、线性插值拟合及基于经验模态分解(EMD)等去噪方法的原理,编写相应的人机联作与 EMD 分解去噪程序来处理实测大地电磁测深数据。发现:传统远参考方法在去除强能量干扰时能力有限,单纯的应用人机联作去噪也存在一定的不足,而在人机联作去噪的基础上再进行 EMD 分解去噪可以有效地压制噪声,从而提高矿集区大地电磁数据的信噪比。对比去噪处理前后的实测剖面反演结果,经过去噪处理的反演结果局部虚假异常得到有效的去除,为地质解释提供了更为准确的地球物理依据。

关键词: 大地电磁; 去噪处理; 信噪比; 人机联作; EMD

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)04-0823-07

目前,我国在某些重点成矿带开展了综合地球物理三维地质填图相关研究工作,利用综合地球物理推断解释的地质剖面构建矿集区深部三维地质结构,为划分成矿远景区及圈定成矿有利部位提供有力的依据。大地电磁测深法具有野外施工简便、探测深度大、垂向分辨能力高、成本低等优势,是综合地球物理三维地质填图中的一种重要工作手段。但在矿集区开展大地电磁测深测量工作,数据采集不可避免地受到各种因素的干扰,因此深入研究去噪方法与技术,获得高质量的测深数据,对提高地球物理解释推断剖面的准确性有着重要的意义。

1 去噪方法原理

1.1 平移去噪方法

信号中某采样点或某段采样时间的幅值突然高出正常值数个量级,噪声波形的突跳形态是该采样点或采样时间段内的数据平行移动远离基线值造成的(图 1a),所以只要将噪声段的数据值平移修正到正常基线值处即可达到去噪目的。改正后的数据在去除原始信号中的方波噪声及脉冲噪声的同时,保留了叠加在噪声信号中的有用信号,使该段采样曲线整体更平稳(图 1b)。该方法适用于去除信号中

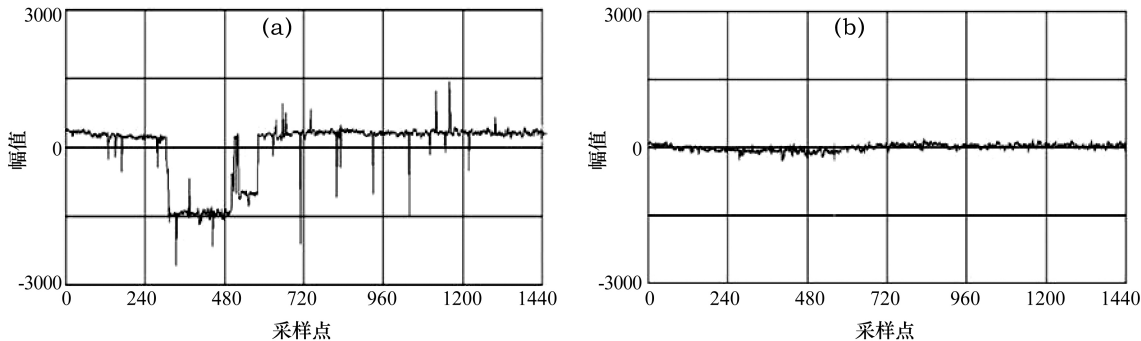


图 1 噪声信号平移去噪前(a)、后(b)对比(采样率:24 Hz)

的方波噪声和脉冲噪声。

1.2 线性插值拟合去噪方法

假设已知两点坐标 (x_0, y_0) 与 (x_1, y_1) ,求得区间内某一位置在直线上的值。根据图 2 所示,可得到斜率: $k = (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)$,并求得: $y = k(x - x_0) + y_0$ 。

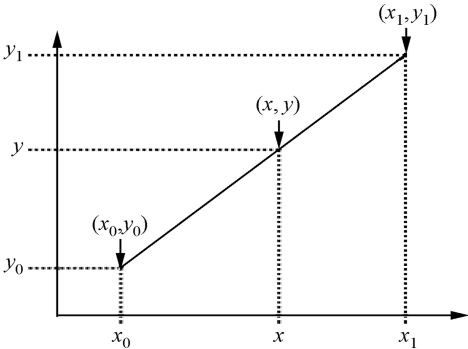


图 2 两点间插值示意

图 3 中 A_i 为曲线段 A_1A_2 上的某点。按上述算法可求得线段 A_1A_2 的斜率,假设 A_0 为最接近基线的点,那么,以它为拟合点可得

$$Y = y_i - \left[\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x_i - x_1) + y_1 \right] + y_0。$$

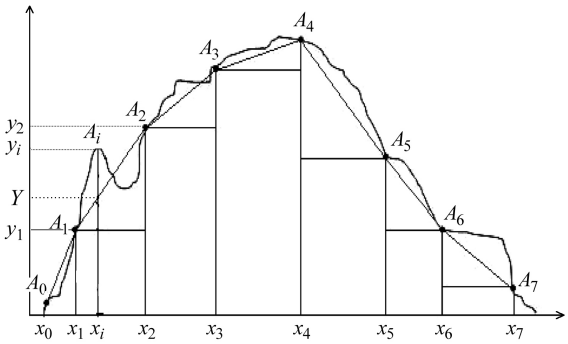


图 3 线性插值拟合示意

通常把信号曲线分成数个合适的区段,对每个区段都运用上式进行计算,这样就能去掉信号中低频成分,保留信号中的高频信息^[1]。将线性插值拟合方法的这种特性应用到大地电磁去噪处理中。图 4a 为一段受干扰的大地电磁时间序列,曲线形态较乱。在进行去噪处理的时候先根据信号的整体形态用多点将时间序列分段标记,然后再进行线性插值拟合计算^[2](图 4b),去噪后的时间序列突跳噪声得到压制,信号形态更为连续稳定。

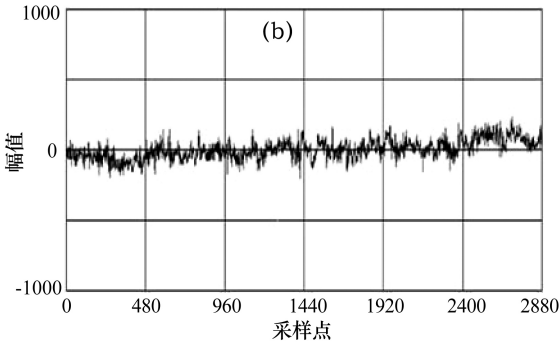
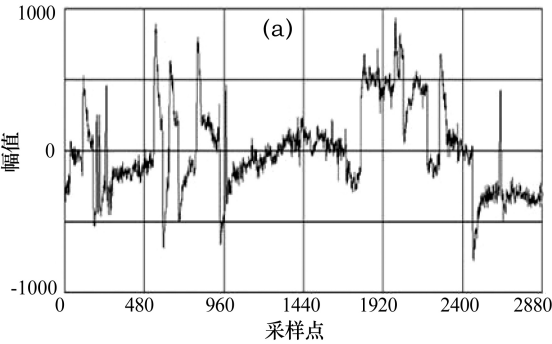


图 4 实测数据线性插值拟合去噪前(a)、后(b)对比

1.3 基于经验模态分解去噪方法

关于经验模态分解(EMD)的原理,分解的完备性、局部正交性和筛选停止准则等已有较多文献介绍^[3-8],此处不再表述。本文中 EMD 分解核心算法采用台湾中央大学数据分析中心公开的开源 HHT 算法,因此,这里仅介绍如何去除 EMD 分解出来的多阶本征模态函数信号(IMF)中的噪声信息。

当噪声为一阶或多阶 IMF 分量时,去除含有噪声的 IMF 后进行信号重构,得到去噪后的信号。把某几个尺度的 IMF 分量完全置零的方法属于强制去噪,仅适用于噪声正好为一阶或多阶 IMF 分量的情况。如果信号和噪声同时存在于一阶或多阶 IMF 分量中,这种方法在滤掉噪声信号的同时也去除了

原信号中的一些有用成分。这种情况可借鉴小波阈值去噪法^[9],按阈值滤除含有噪声信号的 IMF 分量,能够在滤除噪声信息的同时又最大程度地保证了有用信号的完整性。

图 5 中 signal 为实测含充放电模式噪声的大地电磁信号,信号参数统计最大值为 13 128 mV,最小值-13 330 mV,而均值只有-6.1308 mV,方差为 2.469×10^7 。从图中可看出充放电模式噪声信号干扰存在于 EMD 分解出的 IMF3~IMF6 中,且 IMF6 的波形形状与原始信号的突跳形状吻合得较好,说明充放电模式噪声的能量主要存在 IMF6 中。

对 IMF6 强制置零。其他各阶按阈值计算公式计算分别为: IMF1, 1788.73; IMF2, 968.89; IMF3,

1 252.04; IMF4, 3 724.31; IMF5, 5 440.33; IMF7, 2 779.79。用此阈值对各阶 IMF 进行软阈值消噪处理,最后重构得到消噪后的信号(图 6)。信号参数

统计最大值 3 248.06 mV,最小值-2 447.84 mV,均值为 91.66 mV,方差为 9.16×10^5 。去噪后,原信号中的充放电模式形状消失了,信号更为平稳。

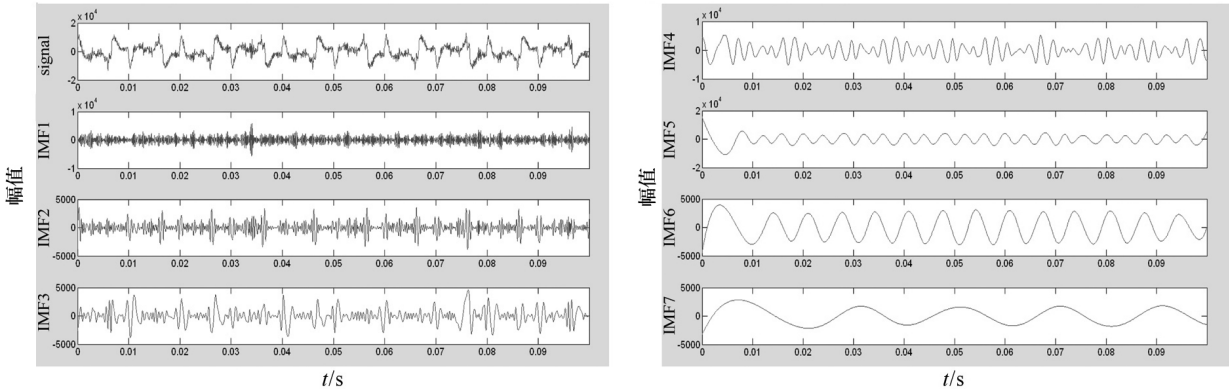


图 5 受脉冲噪声影响电场信号及 EMD 分解示意

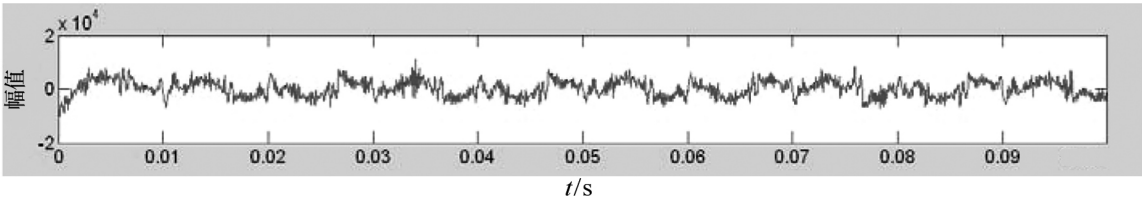


图 6 脉冲噪声抑制后的大地电磁电场信号

2 去噪方法及应用效果

2.1 远参考法去噪效果

远参考法可以很好地提高大地电磁数据的质量^[10,11],但在矿集区应用远参考法时,数据却没有取得很好的改善效果。选取矿集区两个实测 MT 点应用远参考去噪方法进行处理。距离 1 号测点 20 km 处有已知大型开采中铜矿,测点西侧约 1.2 km 为国道。2 号测点西偏北 4 km 处为开采中的金矿,西南方向 6.5 km 处为开采中的大型铜矿。因此,2 号测点受干扰情况较 1 号测点更为严重。

图 7a 中,10 Hz 以上频段 ρ_s 曲线较平稳和连

续,10 Hz 之下的低频段出现了部分频点突跳和上升过快现象,说明该测点在低频段受噪声干扰较严重,进行远参考处理后, ρ_s 曲线在中低频段的突跳、上升过快现象得到明显改善(图 7b)。

图 8a 中,100~10 Hz 频段内的 ρ_s 曲线平稳且光滑;在 10~0.05 Hz 处, ρ_s 值由 320 上升至 100 000 $\Omega \cdot \text{m}$,曲线以近似于 45°角上升,具有明显的近源干扰特征;在低于 0.05 Hz 的低频段,曲线严重突跳且数值急剧下降。使用远参考法对 2 号测点进行处理后,中高频段的曲线得到改善,但 10~0.05 Hz 频段的数据受到近源干扰没有得到压制。

结合对矿集区其他实测点数据的分析结果,认

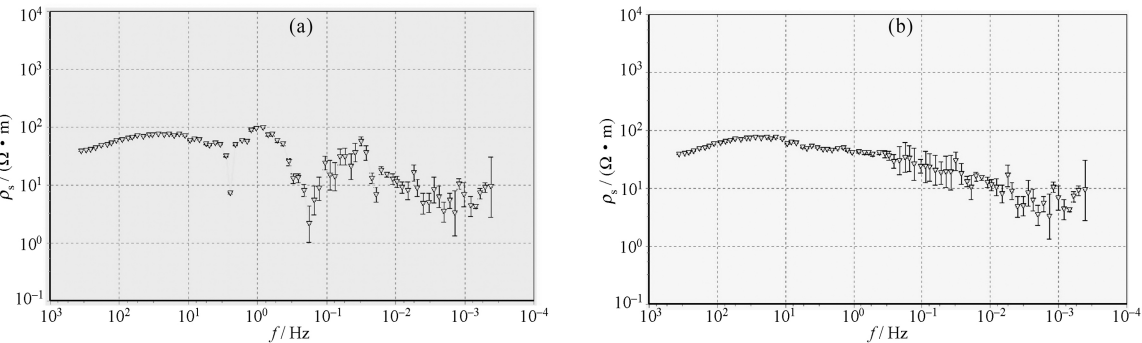


图 7 研究区 1 号测点远参考前(a)、后(b)对比(图中曲线均为 ρ_{xy} 曲线)

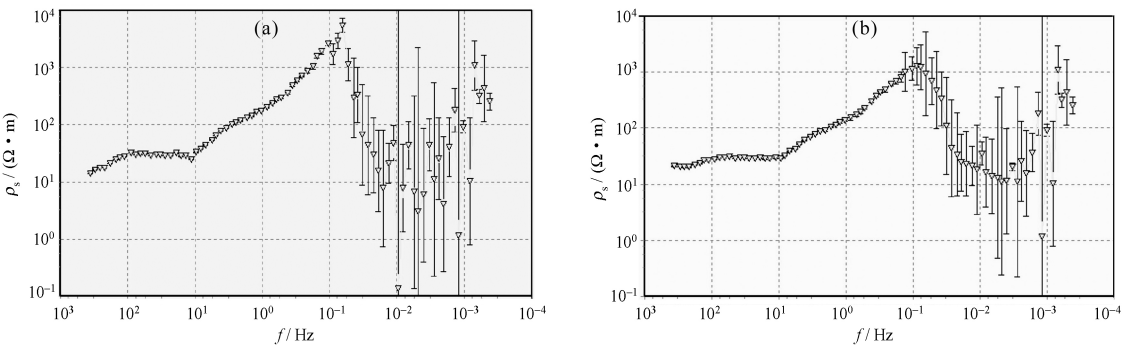


图 8 研究区 2 号测点远参考前 (a)、后 (b) 对比 (图中曲线均为 ρ_{xy} 曲线)

为：

(1)电磁波高频信号在地层中衰减较快,测点和远参考点所受到的高频干扰噪声为不相关噪声,因此对于中高频段 MT 数据应用远参考法有很好的压制效果。

(2)对于能量较小的人文噪声干扰,远参考法同样可以很好地去除,但对时间序列中充满由矿山引起的方波噪声、阶跃噪声、三角波噪声以及充放电模式噪声等强能量干扰时压制能力有限。

2.2 人机联作及 EMD 去噪程序应用效果

在进行平移、线性插值拟合去噪时,对噪声的判别和处理需要由经验丰富的大地电磁数据处理人员进行操作,通过详细观察电阻率曲线整体形态和局部细节,分析电场和磁场信号在时间序列中的特征确定噪声类型,然后针对不同的噪声类型再进行适当的去噪处理。为了实时对大地电磁时间序列信号进行平移、线性插值拟合去噪处理,基于此方法开发了人机联作去噪程序^[1](图 9)。

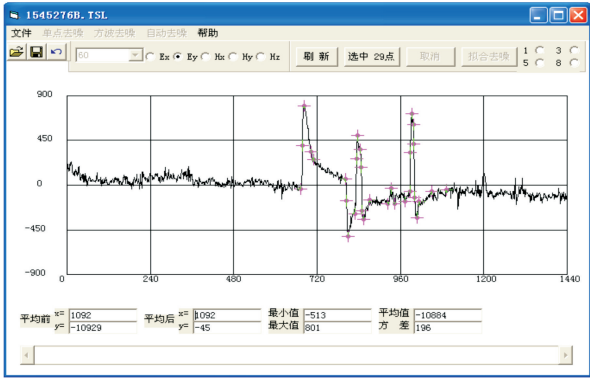


图 9 人机联作程序界面

给出一个九瑞矿集区的应用实例。测区 3 号点的数据采集时长约 12.6 h。测点距封山洞金矿 9.5 km,距鸡笼山金矿 11.4 km,距一小灵通发射基站 1.5 km。

图 10、图 11 分别为 3 号点 5 min 时长的采样曲

线及 ρ_s 曲线去噪前后的结果对比。图 10a 中电道信号受到开采矿山影响,在 302~541 采样点有方波噪声信号特征,由于发射基站的存在引起充放电,磁道信号受三角波干扰较为严重。图 11a 中,去噪前的 ρ_s 曲线在 50 Hz 附近存在工业用电频率干扰,在 5~0.1 Hz 频段受近源干扰影响曲线快速上升。对该测点时间序列使用人机联作去噪程序进行处理,压制了信号中的方波、三角波噪声,被噪声压制的有用信号也得以恢复(图 10b)。处理后进行变换得到的 ρ_s 曲线,原来受近源影响的频段及低频的突跳点得到了较为明显的改善(图 11b)。

经人机联作去噪处理后的 ρ_s 曲线虽然得到了改善,但由于人机联作存在选点不够精细等主观原因,曲线还是呈现部分不连续和误差棒过大的现象(图 12a)。因此,对经过人机联作去噪处理的数据再进行 EMD 去噪处理,使得曲线更为光滑连续且误差棒明显减小,数据质量得到进一步提高(图 12b)。

音频大地电磁测深法 (AMT) 的原理、工作方法均与常规大地电磁测深法 (MT) 相同,只是频率范围不同,AMT 频率从几赫兹到数千赫兹,探测深度较浅。AMT 同 MT 相比,时间序列文件的数据量相对较小,利用人机联作和 EMD 分解方法进行去噪处理更为快速。

选取了“长江中下游重点成矿带综合地球物理立体地质填图示范”项目中在九瑞矿集区实测的一条 AMT 剖面中的部分 AMT 测点进行了去噪处理。图 13~图 15 为实测 AMT 剖面中的 3 个测点,经人机联作和 EMD 去噪处理后的 ρ_s 曲线得到改善;但在音频大地电磁测深法的噪声洞频率区间内 (0.05~7 Hz),由于天然场信号较弱,未得到明显改善。图 16 为使用该剖面去噪处理前、后的数据分别进行反演的结果,可见其整体形态未发生大的变化,但局部特征差别明显:用未经去噪处理的数据反演得到的深部低阻及高阻假异常,在经过去噪处理后均得

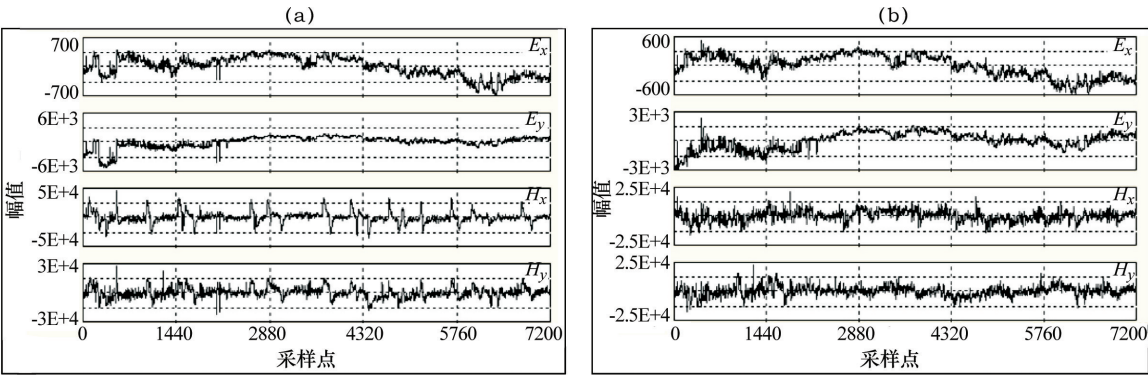


图 10 研究区 3 号测点去噪前 (a)、后 (b) 时间序列对比 (采样率: 24 Hz)

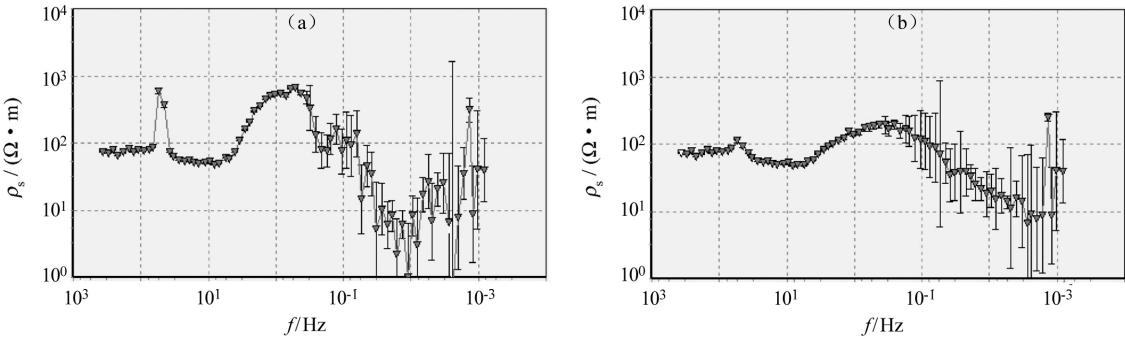


图 11 研究区 3 号测点视电阻率曲线去噪前 (a)、后 (b) 对比

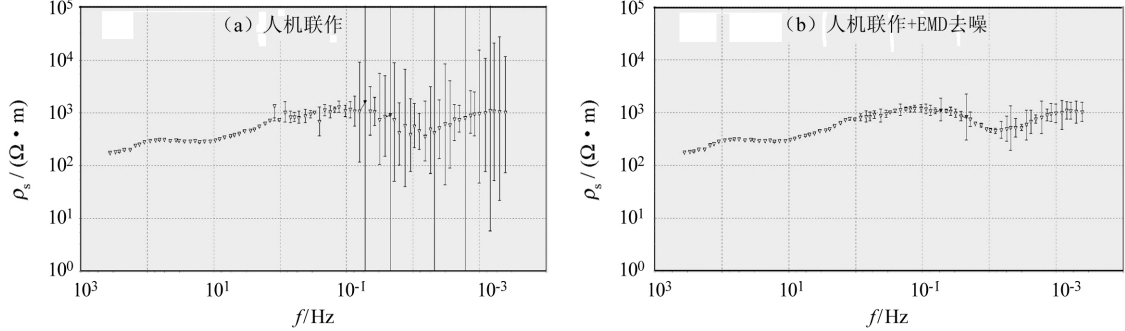


图 12 研究区 4 号测点视电阻率曲线使用不同去噪方法结果对比

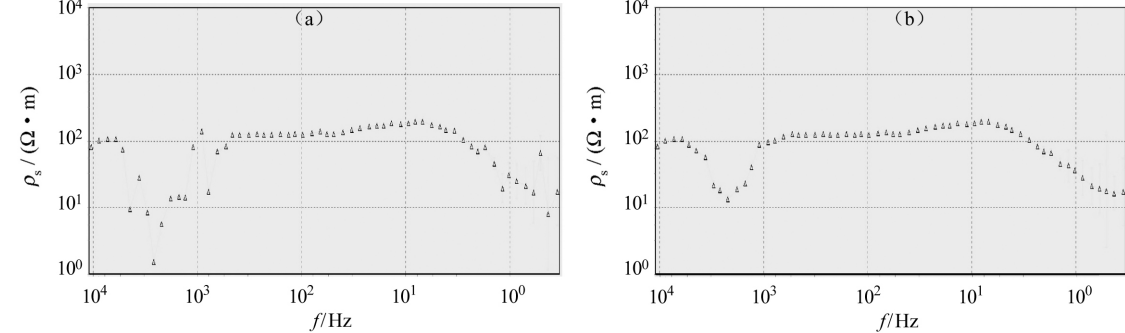


图 13 研究区 2826 号测点视电阻率曲线去噪前 (a)、后 (b) 对比

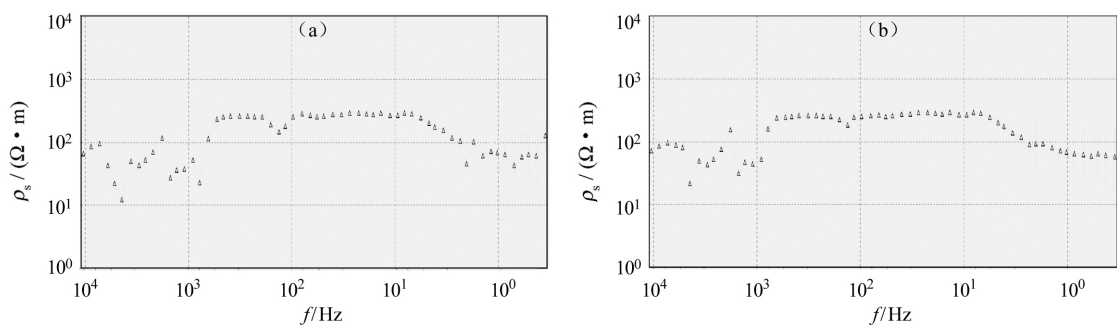


图 14 研究区 2832 号测点视电阻率曲线去噪前 (a)、后 (b) 对比

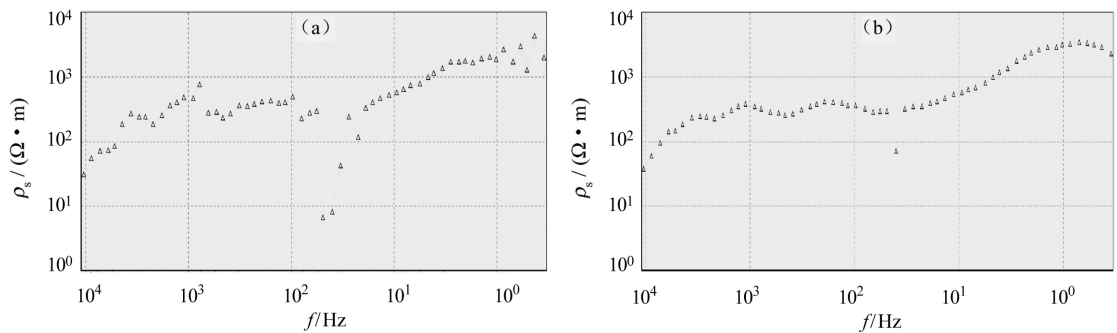


图 15 研究区 2874 号测点视电阻率曲线去噪前 (a)、后 (b) 对比

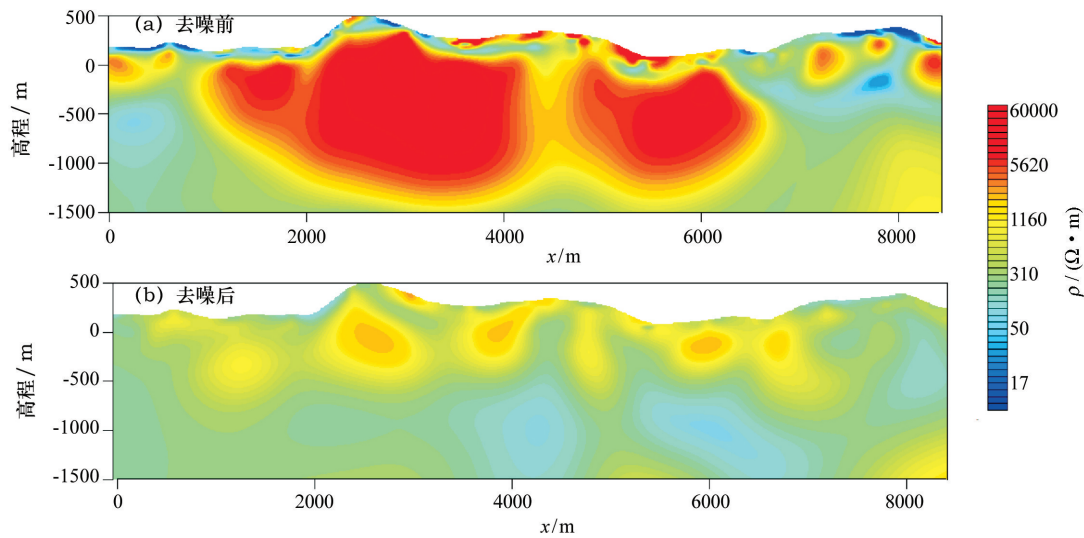


图 16 去噪处理前后 AMT 反演结果对比

到消除,为解释深部地质构造提供了更为准确的地球物理信息。

3 结论与建议

(1)远参考法对矿山、通讯基站造成的近源干扰压制能力有限,因此在矿集区该去噪方法的应用具有一定的局限性。人机联作去噪法能够改善数据质量,但对操作者要求较高,因此人机联作后再进行 EMD 处理的组合去噪方法,可以降低人机联作操作

时主观因素的影响,应用在强干扰大地电磁噪声处理时可以取得较好的效果。

(2)EMD 分解是一个完全自适应的过程,存在曲线拟合、端点效应等问题,需根据信号的具体情况去合理解决,否则不能达到预期的处理结果。同时,EMD 分解是一个循环筛选的过程,在工程领域应用时,如何提高计算效率是一个很重要的问题,尤其用于处理大地电磁测深数据,其计算速度还远未达到工程实用化的要求。

(3)通过阈值去噪能够将每一阶 IMF 中包含的噪声信号去掉,但判断哪一阶信号主要包含噪声信号并将其归置为零的过程还需要根据信号本身的特点进行人工判断。如何减少主观因素的影响,更加智能化地识别和去除噪声信号,其方法和技术有待更深入地研究。

参考文献:

[1] 范翠松.矿集区强干扰大地电磁噪声特点及去噪方法研究 [D].长春:吉林大学,2009.

[2] 王大勇.长江中下游矿集区综合地质地球物理研究 [D].长春:吉林大学,2010.

[3] 蔡剑华,汤井田,王先春.基于经验模态分解的大地电磁资料人文噪声处理[J].中南大学学报:自然科学版,2011(6):1786-1790.

[4] 蔡剑华.基于 Hilbert-Huang 变换的大地电磁信号处理方法与

应用研究[D].长沙:中南大学,2010.

[5] 李光辉.基于希尔伯特黄变换及其改进方法的信号分析研究与应用[D].成都:成都理工大学,2012.

[6] 赵新明.互信息理论在 Hilbert-Huang 变换中的应用[D].太原:太原理工大学,2011.

[7] 侯王宾,刘天琪,李兴源.基于经验模态分解滤波的低频振荡 Prony 分析[J].物理学报,2010(5):3531-3537.

[8] 焦彦军,胡春.基于改进 EEMD 方法的数字滤波器[J].电力自动化设备,2011(11):64-68.

[9] 倪鹏,邓居智,刘庆成,等.基于经验模态分解(EMD)的小波阈值大地电磁信号去噪方法研究[C]//第十届中国国际地球电磁学术讨论会论文集.中国地球物理学会,中国地球物理学会地球电磁专业委员会,2011.

[10] 陈乐寿,王光镔.大地电磁测深法[M].北京:地质出版社,1980.

[11] 杨生,鲍光淑,张全胜.远参考大地电磁测深法应用研究[J].物探与化探,2002,26(1):27-31+49.

Noise processing methods and application study of MT in the ore concentration area

WANG Da-Yong¹, ZHU Wei¹, FAN Cui-Song², YAO Da-Wei¹

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China; 2. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: In this paper, the authors studied the de-noising method theories based on manual translation, linear interpolation fitting and EMD decomposition, compiled corresponding interactive and EMD decomposition de-noising programs, and then processed the measured MT data. Examples given in this paper show that the capacity of traditional remote reference method for removing the strong energy interference is limited, and simple application of interactive de-noising also has certain insufficiency. In contrast, EMD based on interactive de-noising can remove noise effectually and thus improve signal-noise ratio in the ore concentration area. Based on comparing the measured profile inversion results before and after de-noising processing, the authors point out that the false anomaly after de-noising processing can be effectively removed, and hence more accurate geological interpretation basis can be provided.

Key words: MT; de-noise; signal-noise ratio; corresponding interactive; EMD

作者简介: 王大勇(1981-),男,河北乐亭人,博士研究生毕业,主要从事地球物理电法勘探研究工作。