

doi: 10.11720/wtyht.2015.2.27

王刚,王书民,朱威,等.AMT 近源干扰压制方法[J].物探与化探,2015,39(2):371-375.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.27

Wang G, Wang S M, Zhu W, et al. Method of suppressing the adjacent source interference in AMT[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(2): 371-375. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.27

AMT 近源干扰压制方法

王刚,王书民,朱威,张振宇,姚大为,李永博

(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)

摘要: 音频大地电磁法 (AMT) 在野外采集的是包含了多种频率的时间序列数据,这些数据中常含有干扰信号。大量查看音频大地电磁法野外实测时间序列数据,发现测量数据受到严重的近源干扰,但干扰信号不是连续出现的。于是通过分析 V5-2000 大地电磁仪的原始数据格式,根据干扰信号的特征,提出一种自动筛选时间序列数据的方法。宁芜地区的实测资料处理结果表明,该方法能在一定程度上压制近源干扰。

关键词: 音频大地电磁;V5-2000 大地电磁仪;TBL 文件;TSn 文件;近源干扰

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)01-0371-05

音频大地电磁法 (简称 AMT) 是利用天然音频电磁场作为场源,在地面布设仪器测量 5 个分量电磁场来研究地球内部电性结构的一种物探方法,其测量频率范围约为 $10^{-1} \sim 10^4$ Hz。该方法工作方便,成本低,探测深度大,不受高阻层屏蔽,在大地构造勘查、石油和天然气的普查与勘探、地热资源调查、金属矿产勘探等方面取得了很好的效果^[1-2]。

经济发达地区的电磁干扰严重,大地电磁仪采集的数据混入了近处各种电磁干扰的信号,比如通讯发射塔、高压线、矿区干扰等,这些干扰严重影响了 AMT 的应用效果,所以通过适当的方法剔除近源干扰是十分必要的^[3-8]。通过分析应用较广的加拿大凤凰地球物理公司生产的 V5-2000 大地电磁仪

采集的原始数据文件格式^[9-10],根据时间序列曲线的特征规律,提出一种自动筛选时间序列数据的方法,对压制近源干扰有较好的效果。

1 方法技术

1.1 时间序列特征分析

1.1.1 远参考点电磁场特征

图 1 为宁芜远参考点 yc 点的时间序列波形片段,从图上可以看出,整体时间域数据无突跳,符合平稳随机的大地电磁场特征。图 2 显示,yc 点的 E_y 功率谱整体谱值在 $10^1 \sim 10^3$ 之间,而视电阻率和相位曲线全频段都是连续光滑变化的,几乎没有突跳点,误差棒小,符合理论预期。以上分析表明该点质

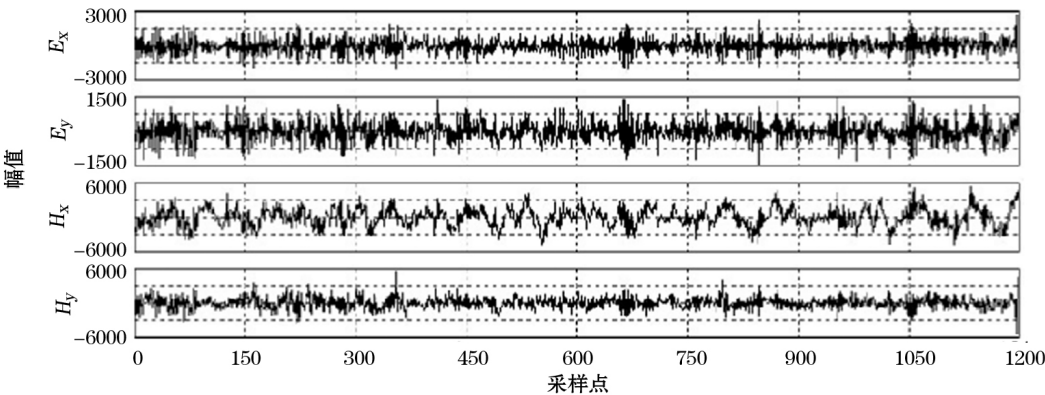


图 1 yc 点时间序列片段 (采样率 150 Hz)

量较好,噪声干扰小。

1.1.2 宁芜地区电磁噪声干扰特征

宁芜地区人口稠密,交通网、电力通信网发达,另外还有许多正在开采的矿山,在音频大地电磁测点周围,也存在许多电磁场源的干扰,称之为近源干扰。宁芜地区电磁噪声干扰主要为似充放电噪声、三角波噪声,频谱分析表明,这些强噪声一般在 0.1~10 Hz 范围对视电阻率和相位产生严重影响。因此,选低频文件 TS4(采样率 150 Hz)分析,以宁芜地区 5146652 测点为例。

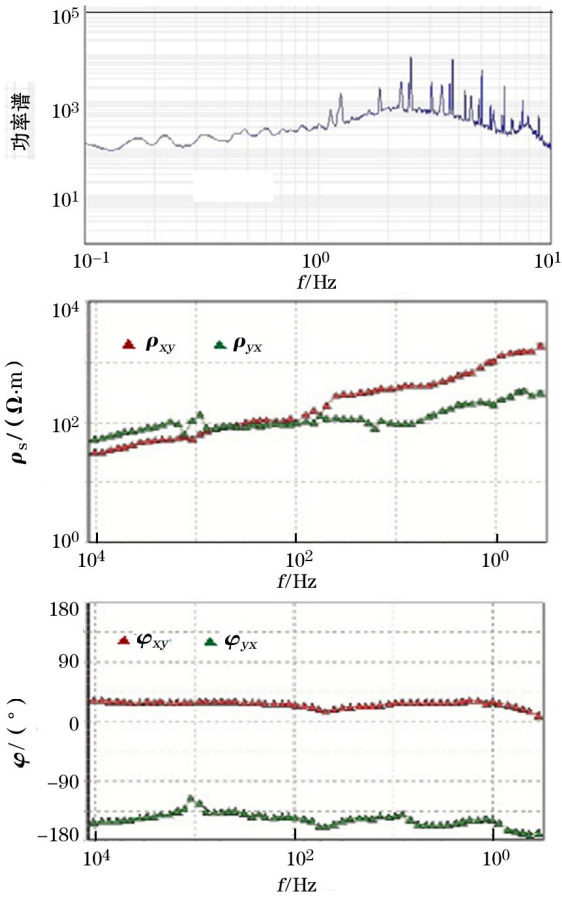


图 2 yc 点功率谱及视电阻率和相位曲线

图 3、4 分别为 5146652 点的 E_y 功率谱、视电阻率、相位及时间序列片段。近源干扰在时间域信号表现为时间序列振幅的增大,其幅值可能比正常信号幅值大几个数量级,图 4 中 E_y 道似充放电噪声的振幅大约 20 000,而远参考点(图 1)正常信号的 E_y 道振幅一般为 1 000 左右,噪声振幅约为远参考点正常信号的 20 倍。图 3 显示的频域谱值相差几个数量级,图中 E_y 道功率谱与图 2 中的相差大约两个数量级;视电阻率曲线在 40 Hz 以下频段几乎呈 45° 直线上升,相位趋于 0°或-180°,

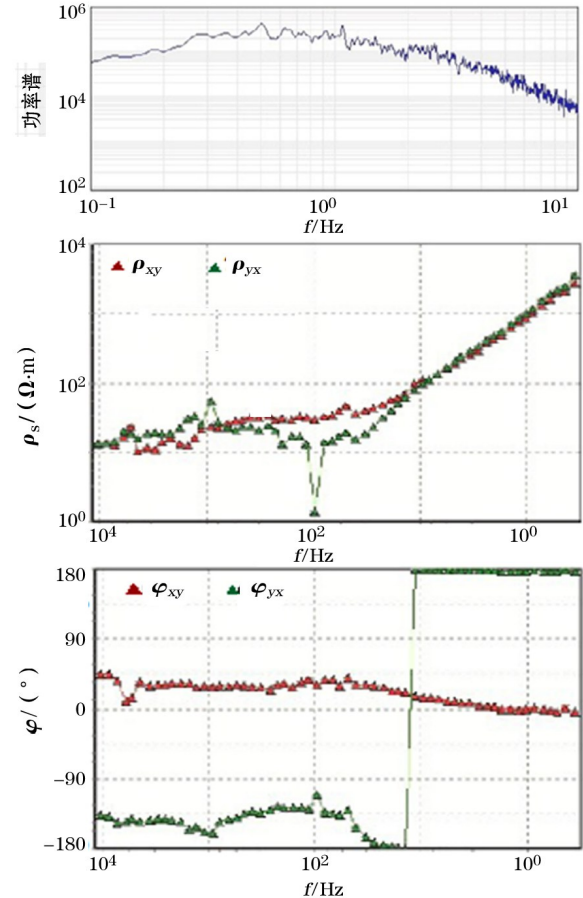


图 3 测点 5146652 的功率谱、视电阻率和相位曲线

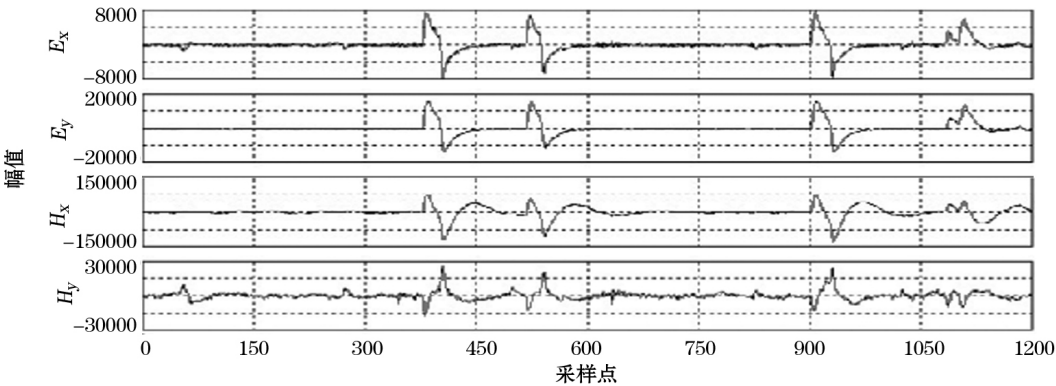


图 4 测点 5146652 的似充放电噪声时间序列片段(采样率 150 Hz)

这与可控源音频大地电磁法的近场区曲线一致。

1.2 V5-2000 原始数据格式

V5-2000 大地电磁仪采集的原始数据文件有: TBL 文件(采集参数文件)、TSn 文件(时间序列文件,包括 TS4、TS3、TS2 文件),各 TSn 文件分别记录了低、中、高频的数据。

TBL 采集参数文件是二进制文件,记录了相关的采集参数,比如点号、坐标、开始采集时间、结束采集时间等。每项记录的长度为 25 个字节,具体的单个记录格式见表 1。

表 1 单个记录的格式

字节段	数据类型	字节数	名称
1~5	String	5	记录名
6~7	Integer	2	MTU 程序控制
8~11	Long	4	MTU 程序控制
12	String	1	记录的数据类型
13~25	可变	13	记录的内容

TBL 文件记录的内容数据类型有: Integer(整型占 2 字节)、Long(长整型占 4 个字节)、Double(双精度型占 8 个字节)、String(字符串型占 8 个字节)、Date(日期型占 8 个字节)、Float(浮点型占 8 个字节)。

这样就可以读取常用的信息了。下面是用 matlab 编制的读取 TBL 文件记录名的程序代码,读取到的记录名存入 Rname 数组中,便可查找出各个信息存储的位置,各版本的仪器的 TBL 文件存储信息的位置不同。

```
fid = fopen('filename','rb');
fseek(fid,0,'eof');
fsize = ftell(fid); %fsize 是文件大小!
dx = fsize/25; %dx 是记录个数
for i = 1:dx
    fseek(fid,(i-1)*25,'bof');
    aname=fread(fid,5,'*char')'; %读取记录名
    Rname(i,1:5)= aname; %记录名存入 Rname 数组
end
```

在 Rname 中查到开始、结束采集时间分别在第 62、63 个记录,于是就可以读取开始采集时间和结束采集时间,下面是读取两个时间的 matlab 程序代码。读取其他信息与之类似。

```
fseek(fid,1525+12,'bof');
stime=fread(fid,8,'int8'); %开始采集时间
fseek(fid,1550+12,'bof');
etime=fread(fid,8,'int8'); %结束采集时间
```

时间序列文件(TSn 文件)连续记录时间序列数据,由许多个记录组成,每个记录由一个数据头(数据采集的一些信息、参数)和一连串数据组成,每个数据的数据类型为 signed integer。数据头长度为 32

字节,具体格式见表 2。

表 2 TSn 文件数据头的格式

字节数	意义	字节数	意义
1~8	记录的 UTC 时间	13	每次 scan 的道数
1	秒	14	数据头的长度(32 字节)
2	分	15	状态代码
3	时	16	位饱和标志
4	日	17	保留值,目前为 0
5	月	18	采样长度(单位:字节)
6	年(后两位数)	19~20	采样率(单位为第 21 位表示的单位)
7	星期	21	采样单位(0:秒;1:分钟;2:小时;3:天)
8	世纪	22	时钟状态
9~10	盒子序列号	23~26	时钟误差(单位:微秒)
11~12	Scan(扫频)个数	27~32	保留,目前为 0

下面是用 Matlab 编制的读取 TSn 文件内容的程序代码,采集时间存储在数组 t 中,采集的天然场数据存储在数组 DATA 中。往 TSn 文件写入数据的程序与之类似。

```
file=fopen('filename','rb');
fseek(file,10,'bof'); %设置指针位置
scan=fread(file,1,'int16'); %每次扫描的点数
fseek(file,12,'bof');
ch=fread(file,1); %道数
t=zeros(1,1); %定义数组,存储记录的 UTC 时间
DATA=zeros(1,1); %定义数组,存储采集的时间序列数据
while feof(file) == 0 %判断文件是否到结尾
    fseek(file,-33,'cof');
    time=fread(file,6,'bit8'); %每段数据的时间
    t=[t;time];
    fseek(file,26,'cof');
    segment=fread(file,scan*ch,'bit24'); %读一次扫描的数据
    DATA=[DATA;segment]; %存入采集的时间序列数据
    fseek(file,32,'cof');
    fread(file,1);
end
t=[t(1:6:size(t)),t(2:6:size(t)),t(3:6:size(t)),t(4:6:size(t)),t(5:6:size(t)),t(6:6:size(t))]; %将时间秒、分、时、年、星期、世纪分别存入矩阵不同列
fclose(file); %关闭文件
```

1.3 筛选方法

近源干扰主要影响低频段数据,反演深度会受到影响。经大量查看时间序列曲线发现,似充放电噪声、三角波噪声在有的时间段就没有出现,数据无突跳。为了减少近源干扰影响的程度,采用了一种自动筛选数据的方法:在电场和磁场时间序列中选取振幅小于某一幅值(阈值)的、连续时间最长、大于 3 s 的一段数据,然后修改 TBL 文件的开始采集时间和结束采集时间,用这段挑选出来的数据再用凤凰公司的预处理软件 SSMT2000 进行处理。

选取数据流程:读入时间序列数据→输入阈值 F →逐一判断是否 1 s 的数据都小于 F →计算连续满足条件的秒数 (>3 s)→选出最长时间段数据。阈值 F 由工区附近无干扰地方采集的数据确定。

2 应用效果

图 5 为筛选数据后 5146652 点的时间序列片

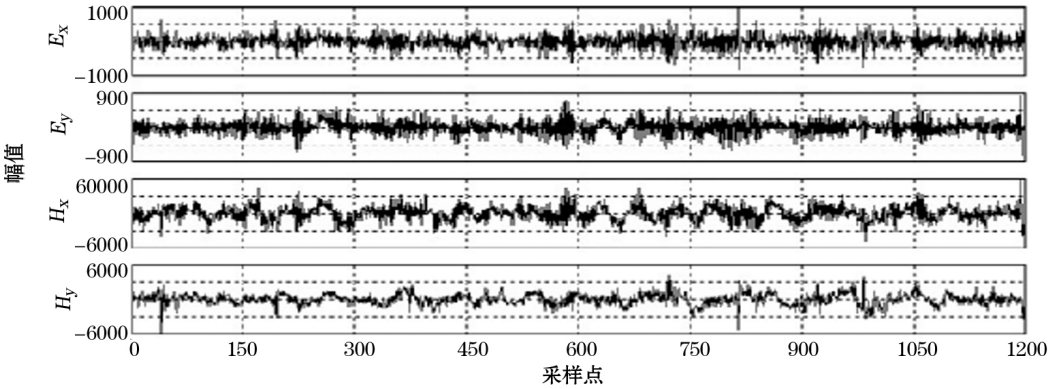


图 5 筛选后测点 5146652 时间序列片段 (采样率 150 Hz)

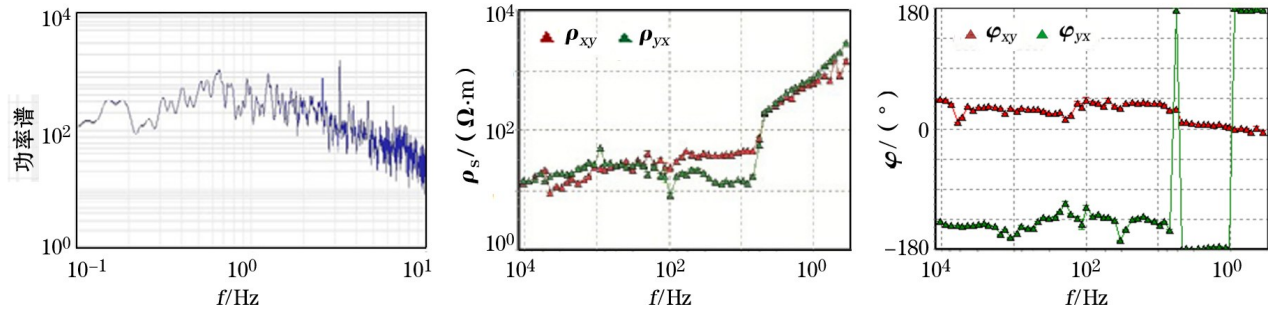


图 6 筛选后测点 5146652 的 E_y 功率谱、视电阻率和相位曲线

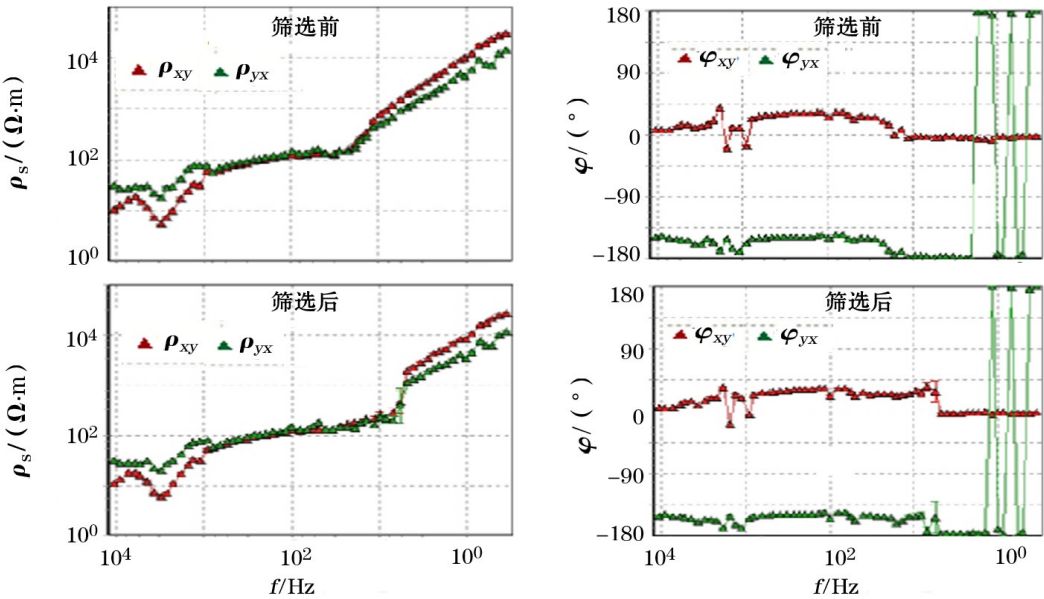


图 7 5166526 点筛选前和筛选后视电阻率 (左)、相位 (右) 对比

段,图中各道的幅值与远参考点(图 1)各道的幅值相近。图 6 是该点筛选后的功率谱、视电阻率和相位曲线,图中功率谱值与远参考点(图 2)的功率谱值几乎有相同的幅值范围;视电阻率曲线在筛选前大约在小 40 Hz 后曲线呈 45°左右渐近线快速上升,相位趋于 0°或-180°(见图 4),筛选后大约在小 5.6 Hz 后曲线呈 45°左右渐近线快速上升,相位

趋于 0°或-180°(图 6)。

图 7 是宁芜地区 5166526 点筛选前和筛选后的视电阻率和相位曲线对比。筛选前,视电阻率曲线约在小于 20 Hz 后呈 45°左右渐近线快速上升,相位趋于 0°或-180°,校正后约在小于 5.6 Hz 后呈 45°左右渐近线快速上升,相位趋于 0°或-180°。

通过这两个测点的处理结果可以看出,经过自动筛选可以挽救 6~8 个频点,近源干扰得到一定的压制。

3 结论

本次研究,分析了 TBL 采集参数文件的格式,并编制了程序读取或写入需要的信息,例如采集时间、测点坐标等,方便查阅;分析了 TSn 时间序列文件的格式,并编制了程序读取或写入时间序列数据,便于后期数据的处理,比如进行时间域滤波。通过自动筛选受近源干扰小的数据段进行处理,能在一定程度上压制近源干扰。但后面更低频部分没有校正,可能是截取的时间段太短,处理不出低频的频谱数据。

参考文献:

[1] 陈乐寿,王光镒.大地电磁测深法[M].北京:地质出版社,1980.

[2] 朴化荣.电磁测深法原理[M].北京:地质出版社,1990.

[3] 杨生.大地电磁测深法环境噪声抑制研究及其应用[D].长沙:中南大学,2004.

[4] 李桐林,刘福春,韩英杰,等.50 万伏超高压输电线的电磁噪声的研究[J].长春科技大学学报,2000,30(1):310-315.

[5] 汤井田,徐志敏,肖晓,等.庐枞矿集区大地电磁测深强噪声的影响规律[J].地球物理学报,2012(12):4147-4159.

[6] 胡家华,陈清礼,严良俊,等.MT 资料的噪声源分析及减小观测噪声的措施[J].江汉石油学院学报,1999(4):69-71.

[7] 朱威,范翠松,姚大为,等.矿集区大地电磁噪声场源分析及噪声特点[J].物探与化探,2011,35(5):658-662.

[8] 孙洁,晋光文,白登海,等.大地电磁测深资料的噪声干扰[J].物探与化探,2000,24(2):119-127.

[9] 柳建新,刘春明,马捷,等.V5-2000 大地电磁测深仪文件头数据格式研究[J].物探化探计算技术,2007(4):359-362.

[10] 仇根根,方慧,朱正君,等.基于 MATLAB 平台对 V5-2000 大地电磁测深仪 TBL 文件的分析与应用[J].物探化探计算技术,2012(2):178-181.

Method of suppressing the adjacent source interference in AMT

WANG Gang,WANG Shu-Min,ZHU Wei,ZHANG Zhen-Yu,YAO Da-Wei,LI Yong-Bo

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration,Chinese Academy of Geological Sciences,Langfang 065000,China)

Abstract: The time series data with multiple frequencies which are collected by using audio frequency magnetotelluric method (AMT) often contain interference signals. After a lot of measured time series data viewed, we have found that the data are seriously interfered by adjacent source, but the interference signal appearance is not continuous. According to the features of the interference signal and the analysis result of original data format of V5-2000 magnetotelluric instrument, the author proposed a method for automatic selection of time series data. Real data processing results in Ningwu area show that this method can partly suppress the adjacent source interference.

Key words: audio frequency magnetotelluric method; V5-2000; the TBL file; the TSn file; the adjacent source interference

作者简介:王刚(1981-),男,工程师,主要从事电磁法勘探研究及应用工作。E-mail:wanggang@igge.cn