

文章编号: 1001-1986(2010)06-0071-04

# 压制 50 Hz 干扰波的地震资料处理方法

智 敏<sup>1</sup>, 张广忠<sup>1</sup>, 张孝文<sup>1</sup>, 薛海飞<sup>2</sup>

(1. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054;

2. 中国矿业大学资源学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 压制 50 Hz 工业电干扰, 通常在频率域采用陷波器进行滤波, 该方法在压制 50 Hz 干扰信号的同时也损伤了有效信号中的 50 Hz 成分, 从而降低了地震资料的品质。利用迭代法对初至波之前的信号进行分析, 求取 50 Hz 干扰波的振幅和相位特性, 对 50 Hz 干扰波进行压制。实际应用效果表明, 该方法能够很好地压制 50 Hz 干扰波, 且不对有效信号产生伤害。

**关键词:** 50 Hz 干扰波; 迭代法; 地震资料; 相位特性; 振幅特性

**中图分类号:** P631 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.06.015

## A new seismic data processing method for suppressing 50 Hz interference wave

ZHI Min<sup>1</sup>, ZHANG Guangzhong<sup>1</sup>, ZHANG Xiaowen<sup>1</sup>, XUE Haifei<sup>2</sup>

(1. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China; 2. College of Mineral Resource and Geological Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** The method of suppressing 50 Hz industrial interference is mainly to use notch filter to filter in the frequency domain, which not only suppresses signals of 50 Hz interference, but also damages the effective signal, thereby degrades the quality of seismic data. In this paper, the interference amplitude and phase characteristics of the 50 Hz industrial noise were obtained by using the iterative method to analyze the signal before the first break wave. The practical application shows that this method can effectively suppress the 50 Hz interference and does not harm the effective signals.

**Key words:** 50 Hz interference; iterative method; seismic data; amplitude characteristic; phase characteristic

50 Hz 工业电干扰是地震勘探经常遇到的一种干扰波, 如何很好地压制它是地震资料采集与处理的一大难题<sup>[1]</sup>。目前地震资料处理中通常采用频率域陷波的方法对其进行压制, 这不但损伤了有效信号中的 50 Hz 成分, 同时也会产生边界效应, 使信号发生畸变<sup>[2-3]</sup>。本文采用迭代的方法对 50 Hz 干扰信号的振幅特性和相位特性进行了准确的统计, 从而很好地压制了 50 Hz 工业电干扰, 有效地提高了资料处理的保真度。

### 1 方法原理

设工区内具有  $N$  个 50 Hz 工业电干扰源, 其中第  $i$  个干扰源在某检波点处产生的干扰信号可以表示为

$$E_i(t) = A_i e^{j(\omega t + \varphi_i)}, \quad (1)$$

则这  $N$  个干扰信号在该检波点处产生的总干扰可以认为是各个干扰信号之和:

$$E(t) = \sum_{i=1}^N E_i(t) = \sum_{i=1}^N A_i e^{j(\omega t + \varphi_i)},$$

整理后可得

$$E(t) = e^{j\omega t} \sum_{i=1}^N A_i e^{j\varphi_i} = A e^{j(\omega t + \varphi_{\text{shift}})}, \quad (2)$$

式中  $N$  为干扰源数;  $i=1, 2, 3, \dots$ , 为干扰源序号;  $\omega$  为谐振干扰频率;  $\varphi_i$  为第  $i$  个干扰信号的初始相位;  $\varphi_{\text{shift}}$  为所有谐频干扰的合信号的初始相位;  $A$  为振幅。

由式(2)可见, 对于任意相同频率的信号, 不论各自的相位和振幅如何, 其叠加信号的频率仍为该频率, 振幅是原来各信号的复振幅的矢量和。这说明, 不论工区内 50 Hz 信号源分布有多复杂, 在分析问题只需要分析它的叠加效应即可; 在去除 50 Hz 干扰时, 可能事先不能准确地求得干扰信号的相位和振幅, 但这并不会影响去噪效果。因为从一个 50 Hz 的信号中减去一个相同频率的信号, 其结果仍为一个 50 Hz 的信号, 只要相位相差不大,

收稿日期: 2010-06-02

作者简介: 智 敏(1984—), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 从事地震勘探资料处理及研究。

干扰信号的能量就会降低,这正为迭代法去除 50 Hz 干扰提供了必要的理论支持。可见,去除 50 Hz 干扰信号的关键是要求出干扰信号的相位特性和振幅特性。

### 1.1 干扰信号相位的求取

地震记录由有效信号和干扰信号两个部分组成,可用公式表示为:

$$x(t) = s(t) + E(t)。(3)$$

其中  $s(t)$  为有效信号(包含了实际资料中的有效信号和非 50 Hz 干扰部分);  $E(t)$  为 50 Hz 干扰波(包含 50 Hz 工业电干扰以及随机干扰信号中的 50 Hz 成分)。

取长度为  $t_{\text{win}}=0.02$  s 零相位 50 Hz 正弦信号为参考信号:

$$e(t) = \begin{cases} \sin(100\pi t), & t \in [0, t_{\text{win}}] \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, \quad (4)$$

将式(3)和式(4)做内积有:

$$\langle x(t), e(t) \rangle = \langle s(t) + E(t), e(t) \rangle = \langle s(t), e(t) \rangle + \langle E(t), e(t) \rangle。$$

对于正弦信号,可以证明:

$$\langle \sin \omega_1 t, \sin \omega_2 t \rangle = \int_0^{Ndt} \sin m\Delta\omega t \cdot \sin n\Delta\omega t dt = \begin{cases} \frac{Ndt}{2}, & m = n \\ 0, & m \neq n \end{cases}。$$

其中  $N$  为分析时窗的采样点数,  $dt$  为采样间隔;  $\Delta\omega$  为其频域采样间隔。

由以上分析可得:

$$\langle x(t), e(t) \rangle = \langle E(t), e(t) \rangle。(5)$$

由式(5)可以看出:参考信号  $e(t)$  与地震记录  $x(t)$  的内积和参考信号  $e(t)$  与 50 Hz 干扰信号的内积相等。由此可见  $\langle x(t), e(t) \rangle$  最大值对应时刻与  $\langle E(t), e(t) \rangle$  最大值对应时刻也应该一致。不妨设最大值对应时刻为  $t_{\text{psak}}$ , 则干扰信号的初始相位为:

$$\varphi_{\text{shift}} = 100\pi t_{\text{peak}}。(6)$$

### 1.2 干扰信号振幅的求取<sup>[3]</sup>

将参考信号的相位移  $\varphi_{\text{shift}}$ , 即:

$$e_{\text{shift}}(t) = \begin{cases} \sin(100\pi t - \varphi_{\text{shift}}), & t \in [0, t_{\text{win}}] \\ 0, & \text{其他} \end{cases}。$$

采用比值法对欲求干扰信号振幅进行标定:对于参考信号而言,参考信号与其自身的内积为

$$\bar{A} = \langle e_{\text{shift}}(t), e_{\text{shift}}(t) \rangle; \quad (7)$$

而对于地震信号而言,它与参考信号的内积为

$$A = \langle x(t), e_{\text{shift}}(t) \rangle = \langle E(t), e_{\text{shift}}(t) \rangle。(8)$$

经过相位标定后  $e_{\text{shift}}(f)$  与  $E(t)$  具有相同的相位,不妨设

$$E(t) = A_E e_{\text{shift}}(t)。$$

故式(8)可化为

$$A = A_E \langle e_{\text{shift}}(t), e_{\text{shift}}(t) \rangle = A_E \bar{A}。(9)$$

从以上分析可以看出,所求得的 50 Hz 干扰信号的振幅可近似为

$$A_E = \frac{A}{\bar{A}}。(10)$$

在求得干扰信号的初相位和振幅之后,再从原记录中将其减去,就可以得到无 50 Hz 干扰地震记录。但事实上由于离散采样和其他噪声干扰的原因,使求得的相位和振幅并不很准确,因此,只进行一步运算并不能很好地消除 50 Hz 干扰波,需要进行多次迭代处理。

## 2 实际资料处理流程

设总炮数为  $N_{\text{shot}}$ , 炮号用  $i_{\text{shot}}$  表示,第  $i_{\text{shot}}$  炮的道数为  $N_{\text{trace}}^{i_{\text{shot}}}$ , 道号用  $i_{\text{trace}}$  表示,采样点数为  $N_{\text{sample}}$ , 采样点号用  $i_{\text{sample}}$ , 采样间隔为  $dt$ , 迭代次数为  $i_{\text{iteration}}$ , 则压制 50 Hz 干扰处理的具体步骤如下:

第一步:输入去噪参数:炮数  $N_{\text{shot}}$ , 每炮道数  $N_{\text{trace}}^{i_{\text{shot}}}$ , 采样点数  $N_{\text{sample}}$ , 采样间隔  $dt$ , 最大迭代次数  $N_{\text{max}}$ , 最大误差限  $\varepsilon_{\text{max}}$ ;

第二步:将炮号  $i_{\text{shot}}$  设为最小炮号;

第三步:读取第  $i_{\text{shot}}$  炮数据,并将道号  $i_{\text{trace}}$  设 1;

第四步:读取第  $i_{\text{trace}}$  道地震记录,置入数组  $x(t)$  中,迭代次数  $i_{\text{iteration}}$  置 0;

第五步:利用式(5)和式(6)求取参考信号的相位  $\varphi_{\text{shift}}$ , 利用式(7)、式(9)以及式(10)求取参考信号的幅值  $A_E$ ;

第六步:计算  $y(t) = x(t) - A_E \sin(100\pi t - \varphi_{\text{shift}})$ , 本次迭代误差为  $\varepsilon = \text{Max}[x(t) - y(t)]$ , 迭代次数  $i_{\text{iteration}}$  加 1;

第七步:比较本次迭代误差为  $\varepsilon$  和最大误差限  $\varepsilon_{\text{max}}$  以及迭代次数  $i_{\text{iteration}}$  与最大迭代次数  $N_{\text{max}}$  的大小,如果  $\varepsilon < \varepsilon_{\text{max}}$  或者  $i_{\text{iteration}} > N_{\text{max}}$ , 则将  $y(t)$  视为去噪后的记录输出,并执行第八步,否则  $x(t) = y(t)$ , 并返回第五步;

第八步:比较道号  $i_{\text{trace}}$  与该炮道数  $N_{\text{trace}}^{i_{\text{shot}}}$  大小,如果  $i_{\text{trace}} = N_{\text{trace}}^{i_{\text{shot}}}$ , 则执行第九步,否则道号  $i_{\text{trace}}$  加 1, 并返回第四步;

第九步:比较炮号  $i_{\text{shot}}$  与  $N_{\text{shot}}$  的大小,如果

$i_{\text{shot}} < N_{\text{shot}}$ , 则炮号  $i_{\text{shot}}$  加 1, 并返回执行第三步, 否则结束程序。

与以上步骤相应的流程见图 1。

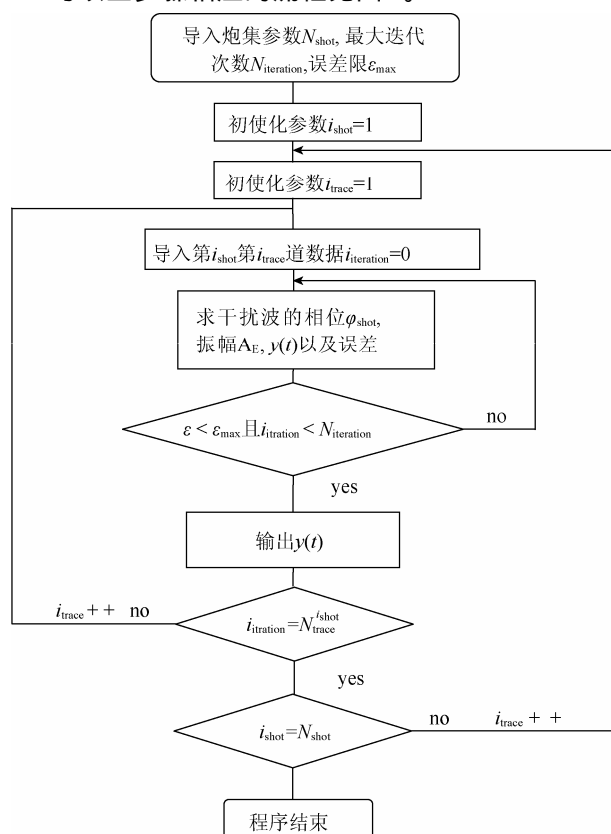


图 1 迭代法压制 50 Hz 干扰波的流程

Fig. 1 The flowchart of iterative method for suppressing 50 Hz interference wave

### 3 模拟压制效果分析

#### 3.1 迭代次数对计算精度的影响

为了方便分析, 利用计算机生成随机序列的方法模拟地震反射系数。假设地震子波是主频为 60 Hz 的雷克子波, 基于褶积模型人工合成了 2 000 组初至时间均为 30 ms 的记录, 将能量是模拟记录 35 倍的 50 Hz 信号加在其中, 用来模拟被 50 Hz 工业电信号干扰了的地震记录, 并采用迭代法对 50 Hz 干扰进行压制。图 2 是显示了迭代次数与 50 Hz 干扰信号压制效果的统计关系。从图 2 中可以清楚地看出, 干扰信号强度随着迭代次数的增加而减少, 迭代 3 次以上即可达到精度要求。

#### 3.2 初至时间对去噪效果的影响

与前面一样, 分别合成了 2 000 组被能量为有效信号 35 倍的 50 Hz 电信号干扰了的初至时间的不同模拟记录, 并采用迭代的方法对 50 Hz 干扰进行压制。图 3 显示了对不同初至时间的模拟记录均以时窗为 20 ms 进行 10 次迭代处理后的干扰强度曲

线。从图 3 中可以看出, 去噪后的地震记录的干扰强度随初至时间的增加而减小, 当初至时间大于 20 ms 以后, 其干扰强度基本为零。

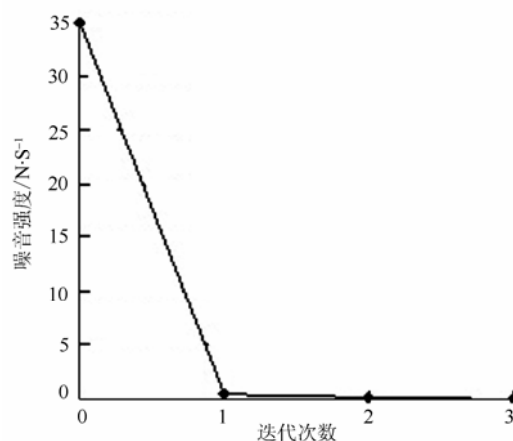


图 2 干扰强度随迭代次数的变化曲线

Fig. 2 Interference intensity curves with iterative times

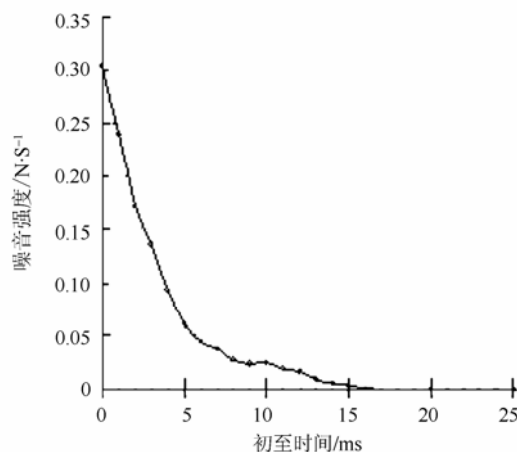


图 3 干扰强度随初至时间的变化曲线

Fig. 3 Interference intensity curve with the first arrival time

### 4 应用实例

图 4 显示的是一实际生产资料的原始单炮及其频谱曲线, 从该单炮记录可以看出, 50 Hz 工业干扰严重, 使得信号的品质明显下降, 频谱曲线上 50 Hz 信号幅值明显高于其它频率的信号。

图 5 是图 4 记录经过陷波法压制 50 Hz 干扰后的记录及其频谱曲线。从图中可以看出, 利用陷波法对 50 Hz 信号进行压制后, 地震记录品质较未处理前有所改善, 从频谱曲线上亦可以看出 50 Hz 信号能量较弱, 有效信号中的 50 Hz 成分也被压制。

图 6 是图 4 记录经过迭代法压制 50 Hz 干扰后的记录及其频谱曲线。从图中可以看出, 50 Hz 工业电干扰已被基本消除, 有效信号中的 50 Hz 成分未受损伤, 有效波能量明显增强, 信噪比显著提高。

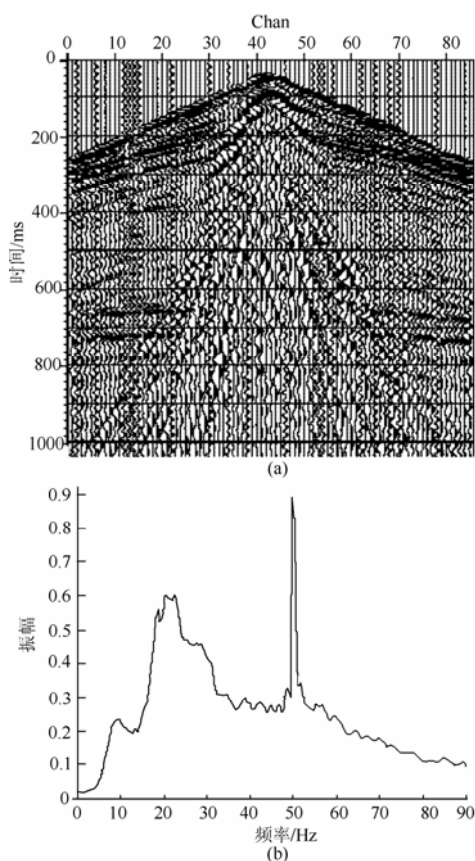


图 4 未进行 50 Hz 干扰压制的原始单炮记录(a)及其频谱(b)

Fig. 4 Original single-shot record (a) and its spectrum (b) without suppression of 50 Hz interference

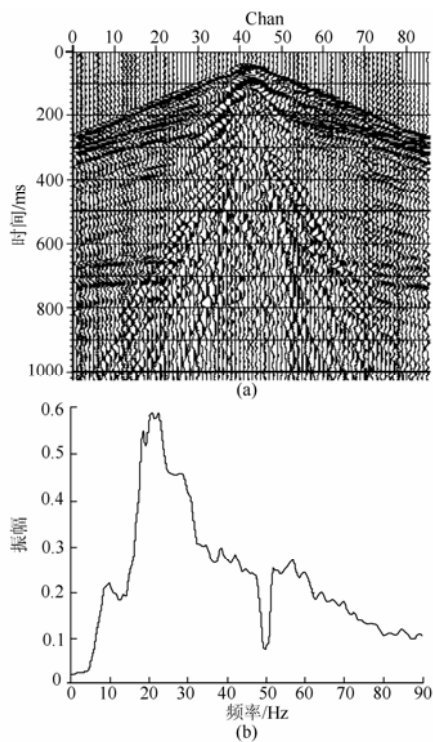


图 5 利用陷波法压制 50 Hz 干扰后单炮记录(a)及其频谱(b)

Fig. 5 Single-shot record(a) with 50Hz interference suppressed by notch filter and its spectrum (b)

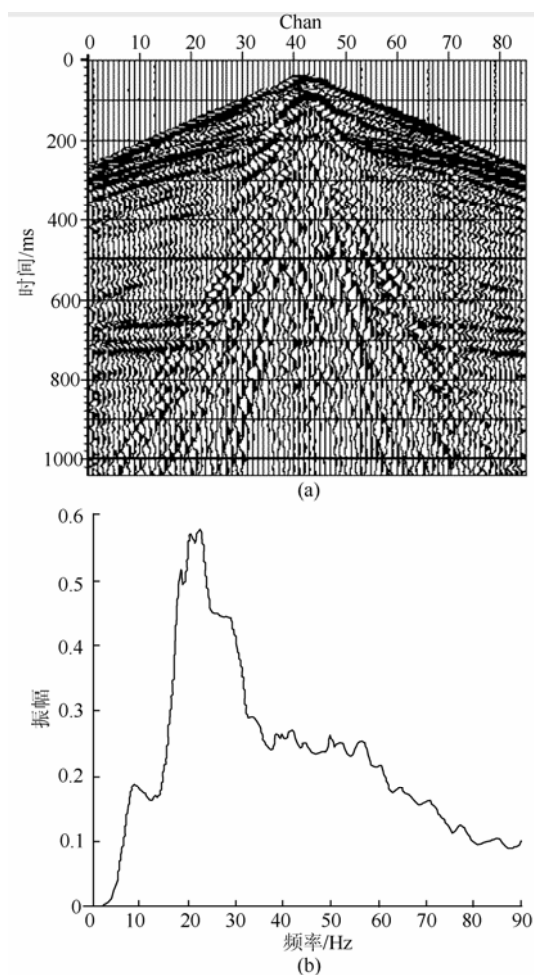


图 6 利用相关迭代法压制 50 Hz 干扰后单炮记录(a)及其频谱(b)

Fig. 6 Single-shot record (a) with 50 Hz interference suppressed by iterative methods and its spectrum (b)

## 5 结 论

50 Hz 工业电干扰是地震勘探中常见的干扰波, 利用迭代法可以准确地求取 50 Hz 工业电干扰信号的振幅特性及相位特性, 从而能很好地压制 50 Hz 工业电信号干扰。相对于常规陷波法而言, 迭代法具有运算速度快, 且不对有效信号的 50 Hz 成分产生伤害等优点, 且很好地保留了有效信号中的 50 Hz 成分, 克服了常规处理方法的缺陷, 为提高地震资料的信噪比提供了技术保障。

## 参考文献

- [1] 李文艳, 牛彦良, 吴明华. 消除 50 Hz 干扰波的地震资料处理新方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2001(10): 67-68.
- [2] 胡伟, 吕小伟. 压制地震资料中工业电干扰的余弦逼近法的改进及应用[J]. 物探与化探, 2005, 29(6): 537-539.
- [3] 赵政璋, 赵贤正, 王英民. 储层地震预测理论与实践[M]. 北京: 科学技术出版社, 2005: 209-215.