

时间域单频干扰波的识别与压制

段云卿,徐小红,高兴友

(中国地质大学 地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室 北京 100083)

摘要:在野外地震数据采集过程中,地震测线上方如果有高压输电线通过,在地震记录中就存在一个50 Hz左右的强单频干扰波。在时间域内利用正弦波逼近强单频干扰波,并从地震记录中减去它,以实现压制这种干扰波的目的。理论记录试算和实际资料处理结果表明,即使是对于常规滤波方法难以消除的极强的单频干扰,该方法仍然获得了较好的效果。本方法的最大优点是仅对单频干扰波进行有效的压制,对有效波的损失很小。

关键词:地震勘探;单频干扰;时间域;滤波方法

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2006)03-0266-04

改善地震资料处理效果,提高地震数据的分辨率和信噪比(包括时间和空间方向)几乎贯穿了当前地震数据处理的每个步骤。在地震勘探中,如果有工业电传输线穿过勘探区域,则在观测地震记录中将包含有工频干扰,也会影响到地震勘探的精度。

目前压制单频干扰的方法主要是采用滤波法。一种方法是陷波滤波法,它是在频率域中实现的,如果信号频谱和工频干扰的频谱有混叠,则陷波滤波器在消除单频干扰的同时也会造成目标信号的损失。另一种方法是自适应滤波法,该方法的前提是目标信号和干扰波不相关,在此基础上,利用自适应算法,自动调整滤波器系数,以跟踪输入过程的变化,并实现单频干扰的自适应抵消,这种方法在时间域进行,其本质与陷波滤波器是一致的。

利用均值包络识别单频干扰波的频率,可应用于检测单频干扰的存在,并可大致确定出单频干扰频率值。将单频干扰的识别转化为求局部极小值,利用无约束最优化方法中的共轭梯度法求出单频干扰波的振幅、频率和相位。

1 单频干扰波的识别

1.1 地震资料中单频干扰波的特点

对于单频干扰波,目标信号和单频干扰分别由不同的信号源产生,能量也不随记录时间的增大而降低。单频噪声与地震有效反射波之间的这种差别,将使得地震记录上的单频表现为深层比浅层更容易识别,因此,一般利用深部记录来判断有无单频干扰。

1.2 检测单频噪声的准则

(1)确定单频干扰波频率的方法。对记录道作频谱分析,当存在单频噪声时,对应的振幅谱在单频干扰频率点会出现异常强振幅。根据这一现象,可以先求出地震记录的振幅谱,然后对得到的振幅谱进行平滑处理,得到一个振幅谱包络。比较原始记录的振幅谱与平滑后的振幅谱包络,通过给定系数,确定该记录是否含有单频噪声,如没有,就进行下一道检测,如有,确定单频噪声的参考频率。

(2)判断标准。如果在某一道中出现了好几个单频,即有好几个点满足要求,则首先判断这几个点是否靠近,如果靠得很近,说明这几个频率点是同一个单频所致,则取振幅值最大的那个频率点。如果某个检测出来的单频频率值只出现在某一两道中,在相邻的道中并没有出现,则说明检测出来的频率在此道中是其他原因引起的噪声,并非单频干扰。

设 A_i 为求得的记录振幅谱,则其滑动平均包络 $P(\omega)$ 可表示为

$$P(\omega) = \frac{1}{k} \sum_{i=\omega-k/2}^{i=\omega+k/2} A(i), \quad i \neq \omega,$$

式中 k 为滑动平均包络的频带宽度。令

$$H(\omega) = \frac{A(\omega)}{P(\omega)}, \quad \omega \in [\omega_{\max}, \omega_N],$$

式中 $\omega_{\max}$ 为主频带中振幅最大的频率,工业电干扰的频率一般不会低于45 Hz, $\omega_{\max}$ 的取值应该 ≥ 45 Hz, ω_N 为 Nyquist 频率, $\omega_N = 1/(2\Delta t)$, Δt 为时间域采样间隔。

当存在 ω_0 , 使得 $H(\omega_0) > \alpha$ 时,就可以确定 ω_0

可能是单频干扰的估计频率。其中 α 为由用户自己给定的一个系数 $\alpha > 1$,一般取 2 以上。

2 时间域内单频干扰波的压制

一般而言 ,在时间剖面上 ,深层时间段高频有效波的能量比浅层高频有效波的能量弱得多 ,因此 ,可以利用深层时间段来估算强单频干扰波的振幅、频率和时延 ,把它作为整道地震记录上的强单频干扰波 ,然后从原始地震道中减去估算的强单频干扰波 ,得到去除强单频干扰波后的地震记录。

为了消除地震记录上的强单频干扰波的影响 ,假设强单频干扰波的频率、振幅和时延在整个地震记录道内是稳定不变的 ,且为常数 ,则可以使用正弦函数来表示强单频干扰波。其表达式为

$$n(t) = \alpha \sin(2\pi f t + \theta) ,$$

式中 α 、 f 、 θ 分别是强单频干扰波的振幅、频率和相位角。

2.1 估算强单频干扰波参数的共轭梯度法原理

设在观测记录中包含有某一频率成分的干扰波 ,即

$$r(t) = s(t) + n(t) ,$$

其中 $r(t)$ 、 $s(t)$ 分别为记录、信号干扰。

为了计算出单频干扰波参数 ,针对实际记录 ,建立如下目标函数

$$g(\alpha, f, \theta) = \sum_{i=1}^N [r_i - n_i]^2 = \sum_{i=1}^N [r_i - \alpha \sin(2\pi f i \Delta t + \theta)]^2 ,$$

式中 N 为记录采样点数 , Δt 为地震记录的时间采样间隔 , i 为采样点序号 , r_i 表示在第 i 个采样点的振幅值 , n_i 为在第 i 个采样点处单频干扰的振幅值。

对于较强单频干扰而言 ,若信号中不包含有频率为 f 的成分 ,且 α 、 f 、 θ 等于单频干扰波真实参数 α_1 、 f_1 、 θ_1 时 $g(\alpha, f, \theta)$ 值将达到极小。若记录中所包含的频率为 f 的信号相对于频率为 f 的单频干扰而言能量较小 ,亦即单频干扰较强时 ,可以认为 $g(\alpha, f, \theta)$ 的极小值所对应的参数 α 、 f 、 θ 近似为单频干扰的真实参数。因此 ,提取单频干扰参数问题转换为求函数极小值问题

$$\lim_{\substack{\alpha \rightarrow \alpha_1 \\ f \rightarrow f_1 \\ \theta \rightarrow \theta_1}} g(\alpha, f, \theta) = \lim_{\substack{\alpha \rightarrow \alpha_1 \\ f \rightarrow f_1 \\ \theta \rightarrow \theta_1}} \sum_{i=1}^N [r_i - \alpha \sin(2\pi f i \Delta t + \theta)]^2 = g_{\min}(\alpha, f, \theta) .$$

2.2 实现步骤

由于此问题是非线性的 ,无法直接求解 ,一般可

用无约束最优化方法求解 ,这里采用共轭梯度法求解 ,过程如下。

(1) 给定初始值。单频干扰波初始参数确定方法 ①利用均值包络识别单频干扰波的方法可确定单频干扰波的初始频率 ;②初始振幅取记录所有峰值和谷值绝对值的平均值 ;③初始相位取 0 ;置初始值为 x_1 ,计算初始梯度

$$\begin{aligned} d_1 &= - \nabla g(x_1) , \\ x &= (\alpha, f, \theta)^T , \\ \nabla g(\alpha, f, \theta) &= \left(\frac{\partial g}{\partial \alpha}, \frac{\partial g}{\partial f}, \frac{\partial g}{\partial \theta} \right)^T , \\ \frac{\partial g}{\partial \alpha} &= -2 \sum_{i=1}^N [r_i - \alpha \sin(2\pi f i \Delta t + \theta)] \sin(2\pi f i \Delta t + \theta) , \\ \frac{\partial g}{\partial f} &= -4\alpha \pi \Delta t \sum_{i=1}^N [r_i - \alpha \sin(2\pi f i \Delta t + \theta)] \cos(2\pi f i \Delta t + \theta) i , \\ \frac{\partial g}{\partial \theta} &= -2\alpha \sum_{i=1}^N [r_i - \alpha \sin(2\pi f i \Delta t + \theta)] \cos(2\pi f i \Delta t + \theta) . \end{aligned}$$

(2) 沿梯度方向进行一维搜索得到极小值点。如果 $\|d_j\| \leq \varepsilon_d$,则停止迭代 ,其中 ε_d 为最大绝对误差 , $\|\sigma\|$ 表示向量 σ 的长度 ;否则在 x_j 处沿 d_j 方向作一维搜索 ,求出 λ_j ,使得 $g(x_j + \lambda_j d_j)$ 最小 ,则可得到极小点坐标为

$$x_{j+1} = x_j + \lambda_j d_j$$

(3) 计算新的梯度方向。如果

$$\frac{|g(x_{j+1}) - g(x_j)|}{|g(x_{j+1})| + |g(x_j)|} < \frac{\varepsilon_g}{2}$$

则停止迭代 ,其中 ε_g 为最大相对误差 ,否则

$$d_{j+1} = - \nabla g_{x_{j+1}} + v_j d_j$$

其中 $v_j = \frac{[(\nabla g(x_{j+1}) - \nabla g(x_j))]^T \nabla g(x_{j+1})}{[(\nabla g(x_j))]^T \nabla g(x_j)}$

或 $v_j = \frac{[\nabla g(x_{j+1})]^T \nabla g_{x_{j+1}}}{[\nabla g(x_j)]^T \nabla g(x_j)}$

它们分别为 Polak-Ribiere 形式和 Fletcher-Reeves 形式。返回第 (2) 步。

(4) 从地震记录中减去计算得到的单频干扰波 ,得到新的记录 $\hat{r}$ 。

通过共轭梯度方法 ,可以得到单频干扰波参数 α_1, f_1, θ_1 。由于频率参数 f 和相位角 θ 是在某个范围内的 ,所以在进行迭代过程中要调整和控制参数 f 和 θ ,使之位于所设定的范围内。由于 α, f, θ 值描述的分别是单频干扰波的振幅、频率和相位角 ,其物理意义是明确而且互不相关的 ,所以这 3 个参数相互不耦合 ,算法收敛速度比较快 ,后面的理论资料和实

际资料也都验证了这一点。

2.3 多个强单频干扰波同时存在时的压制

实际记录可能存在多个强单频干扰波,即

$$n_e(t) = \sum_{m=1}^M \alpha_m \sin(2\pi f_m t + \theta_m)。$$

由于包含有多个频率成分的干扰波,所以函数 $g(\alpha, f, \theta)$ 会存在多个极小值。为了消除这些干扰波,这里用串联提取和压制方法,具体步骤为:

(1)确定多个单频干扰波初始参数:①通过单频干扰波的识别可以确定出多个单频干扰波的初始频率;②初始振幅取记录所有峰值和谷值绝对值的平均值;③初始相位取0。

(2)利用共轭梯度法计算出单频干扰波参数

$$\alpha_{m+1} \quad f_{m+1} \quad \theta_{m+1}。$$

(3)从记录中减去计算得到的单频干扰波,得到新的记录 $r_{m+1}。$

(4)如果 $\frac{|e_{m+1} - e_m|}{|e_{m+1}| + |e_m|} < \frac{\varepsilon_e}{2}$ 或者 $m > M_e$, 则结

束,否则返回(2)。其中 $e_m = \sum_{i=1}^N (r_{mi})^2 / M_e$ 为最大迭代次数, ε_e 为最大相对误差)。

3 实际数据应用

图1为从含有很强的单频干扰的实际地震记录中取5道记录及其频谱,从频谱图上可以看出,单频干扰的能量很强。

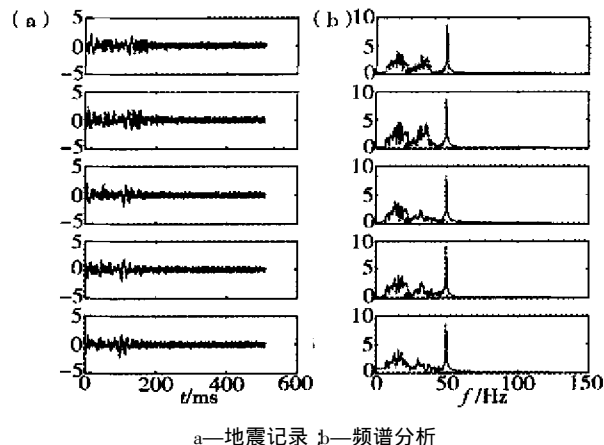


图1 某炮含强单频干扰的5道地震记录及其频谱

图2为用陷波器滤波后的图形及其频谱图,压制后单频干扰的能量仍然很强。虽然单频干扰得到了压制,却未能消除,信号损失也较大。图3为用共轭梯度法处理后的结果,从图上可以看出,单频干扰得到了很好的压制,同时,50 Hz附近的信号并没有太大的损失。图4为原始地震单炮记录,50 Hz的单频干扰波很强。

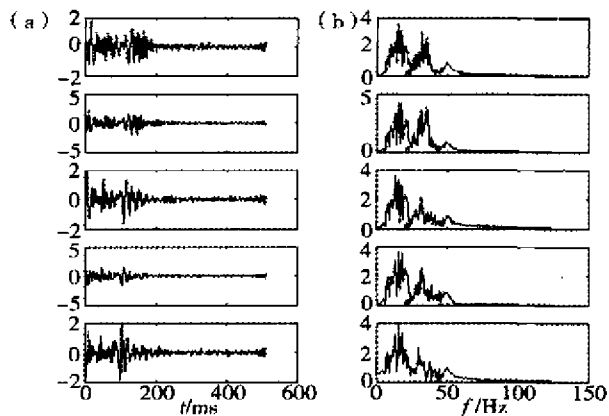


图2 陷波器滤波后的图形及其频谱

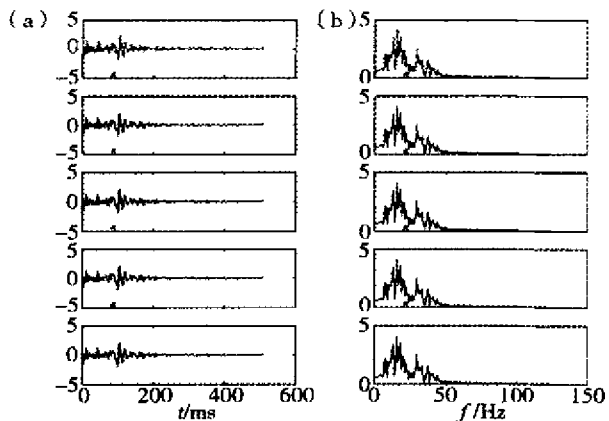


图3 用共轭梯度法处理后的结果

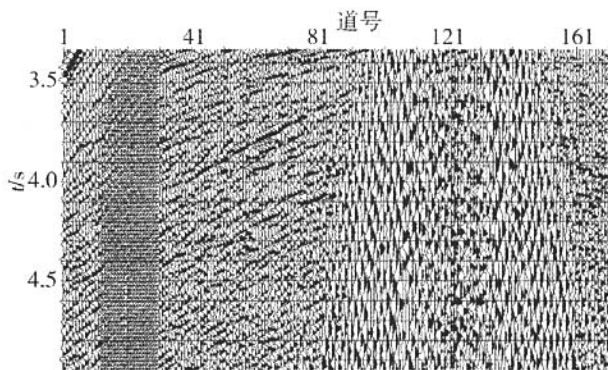


图4 原始地震单炮记录

图5为时间域内用共轭梯度法压制单频干扰波后的记录,无残留单频干扰波。图6为图4减去图5得到的单频干扰波。图7为用陷波滤波器处理后的记录,残留单频干扰波很强。图8为用图4减去图5得到干扰波,从图上可以看出,不仅滤除了50 Hz的单频干扰,同时附近的信号也同时受到了压制。理论及实际例子表明,对于消除地震记录中强单频干扰,共轭梯度法较陷波器滤波方法效果要好。

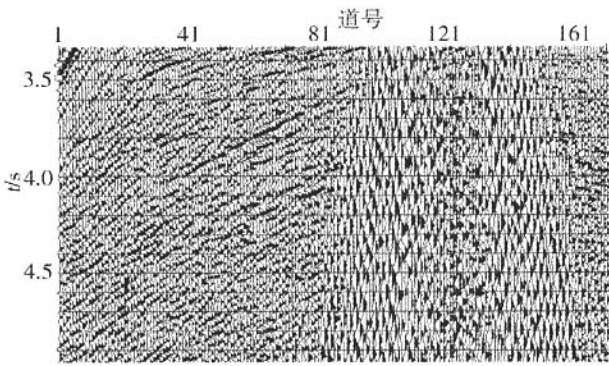


图 5 压制单频干扰波后的记录

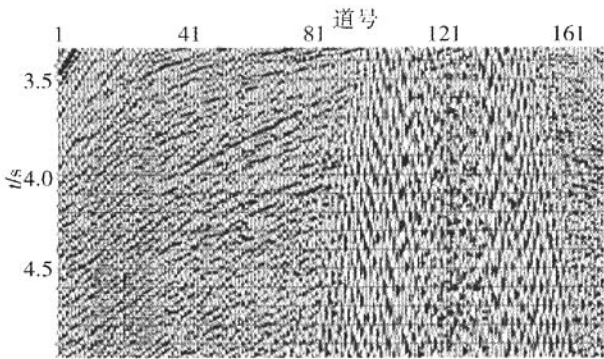


图 7 陷波滤波器处理后的记录

4 结论

笔者提出利用均值包络识别单频干扰波的频率的方法可应用于检测单频干扰的存在 ,并可大致确定出单频干扰频率值。

将单频干扰的识别转化为求局部极小值 ,利用无约束最优化方法中的共轭梯度法求出单频干扰波的振幅、频率和相位。理论记录试算和实际资料处理结果表明 ,对于常规滤波方法难以消除的极强的单频干扰 ,该方法仍然获得了较好的效果。本方法的最大优点是仅对单频干扰波进行有效的压制 ,对有效波的损失很小。

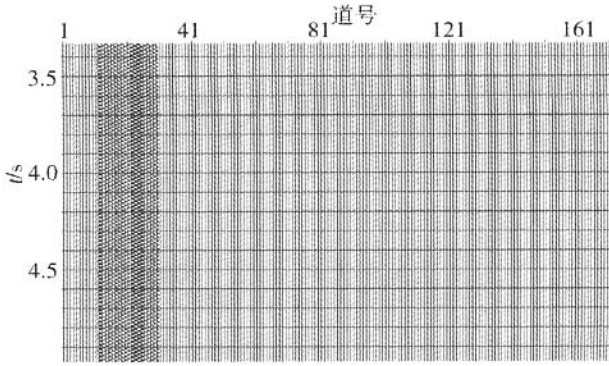


图 6 时间域内滤除的单频干扰波

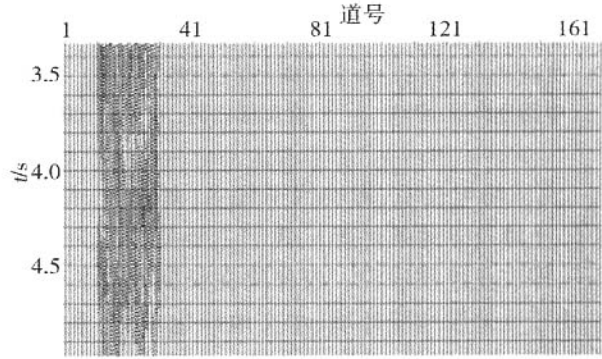


图 8 陷波滤波器滤除的单频干扰波

参考文献 :

[1] 程乾生. 信号数字处理的数学原理(第二版) [M]. 北京 :石油工业出版社 ,1993.

[2] Haykin S. Adaptive Filter Theory[M]. 北京 :电子工业出版社 , 2002.

[3] 沈民奋 ,孙丽莎. 现代随机信号与系统分析[M]. 北京 :科学出版社 ,1998.

[4] 张奎凤 ,蓝晖. 短时窗地震信号谱分析方法[J]. 石油物探 , 1995 ,34(2) :94.

[5] 高少武 ,周兴元 ,蔡加铭. 时间域单频干扰波的压制[J]. 石油地球物理勘探 ,2001 ,36(1) :51.

[6] 刘洋. 强工频干扰波的提取与消除方法[J]. 石油物探 ,2003 , 42(2) :154.

[7] 张建平 ,李庆武 ,张耀举. 瞬变电磁仪中消除 50Hz 干扰的自适应滤波方法[J]. 测控技术 ,1999 ,18(6) :67.

[8] 吴小培 ,詹长安 ,周荷琴. 采用独立分量分析方法消除信号中的工频干扰[J]. 中国科学技术大学学报 ,2000 ,30(6) :671.

THE RECOGNITION AND SUPPRESSION OF SINGLE
FREQUENCY INTERFERENCE WAVE IN TIME DOMAIN

DUAN Yun-qing ,XU Xiao-hong ,GAO Xing-you

(Geo-detection Laboratory ,Ministry of Education ,China University of Geoscience Beijing 100083 ,China)

参考文献：

[1] 张建新. 柑桔品质与地球化学背景关系的初步研究[J]. 湖南地质 ,1996 (1).

[2] 邵时雄 ,候春堂. 果林农业生态地质研究[M]. 石家庄 :科学出版社 ,1995.

[3] 高业新 ,李新虎. 宁夏枸杞的道地性研究[J]. 地球学报 ,2003 , 24(2) :193.

[4] 徐庆国. 香稻优质高产栽培[M]. 北京 :金盾出版社 ,2003.

[5] 姜文洙 ,刘宪虎 ,许明子 ,等. 延边地区稻米品质的评价与分析[J]. 延边大学农学学报 ,2001 ,23(2) :115.

[6] 张国珍. 食品生物化学[M]. 北京 :中国农业出版社 ,1992.

[7] 殷延勃 ,马洪文 ,王昕. 宁夏稻米品质评价、现状及发展[J]. 中国稻米 ,2004 (1) :44.

[8] 金龙飞. 食品与营养学[M]. 北京 :中国轻工业出版社 ,1999.

[9] 曾群望 ,杨双兰. 云烟生产的土壤地质背景[M]. 昆明 :云南科学出版社 ,1993.

[10] 曾群望 ,杨双兰 ,高宏光 ,等. 云南生物地质环境研究[M]. 昆明 :云南科技出版社 ,2001.

THE METHODS FOR AGRICULTURAL GEOCHEMICAL STUDY :
A CASE STUDY OF RICE IN YINCHUAN PLAIN

LI Xin-hu^{1 2} ,CEN Kuang¹

(1. China University of Geosciences Beijing 100083 ,China 2. Ningxia Institute of Geophysical and Geochemical Exploration ,Yinchuan 750004 ,China)

Abstract Many factors affect the quality of crops during their growing , and the chief factor the authors are concerned about is the soil and its influence on the rice quality. Based on an analysis of the nutrition composition of rice , the authors infer that there exist a set of characteristic elements that affect the rice quality , thus converting the agriculture problem to a geochemical problem. At the same time , according to the distribution features of the characteristic elements in soil , the authors deduce the distribution of rice quality , which can serve agricultural planning and further processing.

Key words :Yinchuan plain ,agricultural geochemistry ,rice

作者简介 :李新虎(1965 -) ,男 ,宁夏中卫人 ,高级工程师。中国地质大学(北京)在读博士 ,主要从事农业及环境地球化学研究和物、化探综合性勘查研究。

上接 269 页

Abstract :There is a strong single frequency interference wave around 50 Hz in seismic records when a high-tension line crosses over a seismic line in the process of field seismic data acquisition. The authors studied the interference wave using sine wave in time domain and subtracted it from seismic records for the purpose of suppressing the interference wave. Theoretical and real data results prove the feasibility of the method in suppression of strong single frequency which is unlikely to be suppressed by conventional filtering methods. The most major advantage of the method lies in the fact that only the interference wave with single frequency can be suppressed , and the loss of useful signal is very limited.

Key words :seismic exploration ,single frequency ,time domain ,filtering methods

作者简介 :段云卿(1958 -) ,女 ,副教授 ,1982 年毕业于石油大学物探系 ,现在中国地质大学(北京)从事教学和地震资料处理及解释方法研究 ,公开发表学术论文数篇。