

压制地震资料中工业电干扰的 余弦逼近法的改进及应用

胡伟^{1,2}, 吕小伟³

(1. 长江大学地质系, 湖北荆州 434023; 2. 胜利油田地球物理勘探开发公司, 山东东营 257100; 3. 胜利油田物探研究院, 山东东营 257022)

摘要: 在对实际资料分析的基础上, 笔者提出对工业电干扰频率进行精细扫描、标准余弦信号超采样及深层振幅统计等方法对目前常用的余弦逼近法进行改进, 理论分析及实际资料的处理结果对比表明了改进后的方法更实用、精度更高。

关键词: 工业电干扰; 余弦逼近法; 频率扫描; 超采样

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2005)06-0537-04

目前在我国东部老油田的勘探生产中, 野外施工常会经过大面积工业区, 此时 50 Hz 工业电干扰对地震资料品质的影响很大, 研究消除工业电干扰的有效方法显得十分重要。常规方法是在频率域用陷波的方法压制, 陷波方法在压制干扰波的同时也会压制 50 Hz 的有效信号, 还会产生边界效应, 使地震信号发生畸变。余弦逼近法去除 50 Hz 工业电干扰是近几年出现的一种新方法^[1], 该方法通过互相关模拟出地震记录中的工业电干扰, 然后从地震记录中减去, 从而加以消除, 它没有边界效应且对有效信号的影响很小, 已经得到较为广泛的应用^[2]。

虽然余弦逼近法相对传统方法有很多优点, 但仍存不足之处。在对余弦逼近法认真分析的基础上, 笔者结合实际资料处理, 从频率、相位及振幅 3 个方面对其进行了改进, 效果较好。

1 余弦逼近法的原理及方法改进

1.1 基本原理

50 Hz 工业电干扰是一种加性干扰, 即它是与有效信号相加重叠在一起的, 另外工业电干扰具有频率固定且波形相对稳定的特点, 因此可利用标准余弦信号来检测和逼近它, 进而可用从实际记录中减去的办法加以消除。构建的标准 50 Hz 离散余弦信号可表示为

$$\begin{aligned} x(n\Delta t) &= A\cos(100\pi n\Delta t + \theta), \\ n &= 0, 1, \dots, N. \end{aligned} \quad (1)$$

式中, A 表示信号的振幅, Δt 表示采样间隔, θ 表示信号的初始相位, N 表示采样点数。

设 $y(n\Delta t)$ 是用来检测和估算工业电干扰的一段地震记录, 长度与构建的标准余弦信号相同, 采用互相关方法来判断地震记录中是否有工业电干扰及其初相位, 用公式表示为

$$\begin{aligned} r_{x,y}(\tau) &= \sum_{\tau=-T/2}^{T/2} x(n\Delta t + \tau)y(n\Delta t), \\ n &= 0, 1, \dots, N. \end{aligned} \quad (2)$$

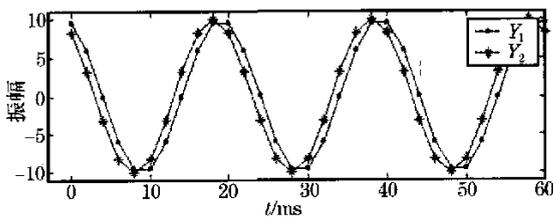
式中, τ 互相关时移步长, 增量取为 Δt 。 T 为互相关时窗的长度, 取为 50 Hz 信号的周期, 即 20 ms。从最大互相关值所对应的时间延迟, 就可求出地震道序列的初相位 θ , 由此来确定标准余弦信号的初相位, 振幅取的是地震道最大值和最小值的平均, 估算出工业电干扰后从地震记录中减去, 即可将其消除。

1.2 方法改进

结合实际资料处理及深入分析研究, 从频率、相位及振幅 3 个方面对余弦逼近法进行了改进。在频率逼近方面, 原方法设定为工业电干扰是 50 Hz 的信号, 因而以标准 50 Hz 信号来逼近工业电干扰, 而实际处理时发现工业电干扰通常并非 50 Hz 的近似值, 且不同的地区也略有不同, 在用余弦信号逼近地震道中的工业电干扰时, 所选的余弦信号频率必须与工业电干扰的频率一致, 这是保证估算精度的关键。经过试验, 笔者提出用标准余弦信号在 47~53 Hz 之间, 以 0.1 Hz 的间隔对地震记录中的工业电

干扰进行扫描检测,确定出工业电干扰的实际频率再加以去除,大大提高了余弦逼近法的精度及适用性。

在相位逼近时,余弦信号采样间隔 Δt 的取值可影响相位估算的精度,目前所用的方法通常是与地震信号的采样间隔取得一样,因为信号是离散采样的,这就不可避免会带来误差^[3]。如图1所示,其中 Y_1 的采样点用圆点标识,表示理想的 50 Hz 干扰, Y_2 的采样点用星号标识,表示用标准余弦对 Y_1 的逼近,它们的采样间隔都是 2 ms,可以看出当标准余弦信号 Y_2 第一个样点的初相位与 Y_1 不同时,互相关估算的误差可能为 $\Delta t/2$ 。



Y_1 —理想的 50 Hz 干扰; Y_2 —标准余弦信号

图1 标准余弦信号的初相位与工业电干扰不同时的误差

笔者采用对标准余弦信号进行超采样,设采样间隔取为地震信号的 $1/M$ 倍, f 表示工业电干扰的频率,用公式表示为

$$x(m\Delta t/M) = A\cos(2\pi fm\Delta t/M + \theta)$$

$$m = 0, 1, \dots, M \times N \quad (3)$$

从 $x(m\Delta t/M)$ 的采样点中逐次抽出周期和工业电干扰频率相同的信号与所选的地震记录用式(2)做互相关,其中 τ 的增量取为 $\Delta t/M$,则可以使误差降为 $\Delta t/2M$,提高了对初相位估算的精度。

在对工业电干扰的振幅进行估算时,原有方法直接取地震道最大值和最小值的平均,误差有时会有很大。众所周知,地震道中深层时间段的有效波能量比浅层弱得多,而工业电干扰的能量在深层和浅层相对是不变的,因此利用深层段来估算工业电干扰的振幅、频率和相位更为有利^[4],笔者在估算振幅时,采用在深层的互相关时窗内搜索多个极大值,取它们的中间值或平均值作为标准余弦信号的振幅,取得了很好的处理效果。

另外,由于地震记录深层段还可能存在面波、野值等大的干扰,在作振幅估算之前应先用区域滤波等方法去除面波和野值。在消除工业电干扰前也不要作真振幅恢复、自动增益等改变其振幅特性的处理,才能准确估算出工业电干扰的振幅。

在利用互相关方法检测和估算工业电干扰时,要有一个判断标准来确定地震记录中是否存在工业电干扰

电干扰,如果存在,则要确定标准余弦信号的频率、振幅及初相位取多大才是最佳逼近。笔者的作法是首先从地震道的深层部分选取一个相关时窗计算出振幅值,然后先构建与相关时窗等长的 47 Hz 的标准余弦信号,初相位取零,采样间隔为地震信号的 1/4 或更小,用此信号与相关时窗中的地震信号作互相关,找出一个最大的互相关延迟值,然后利用

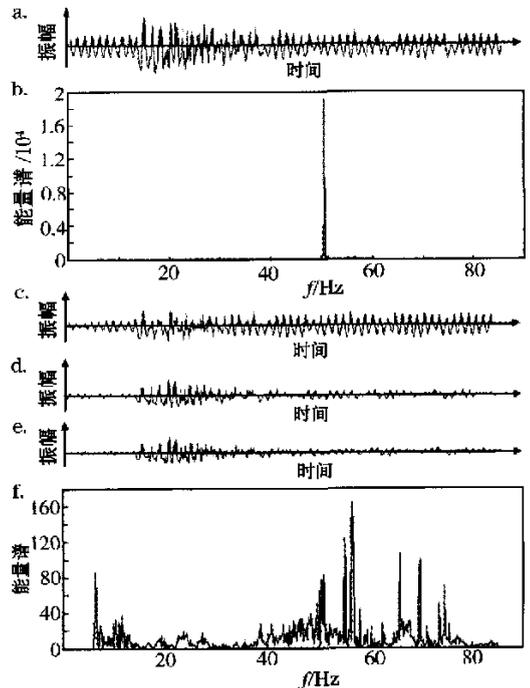
$$p = r_{x,y}(\tau_{\max})/r_{x,x}(\tau_{\max}) \quad (4)$$

作为判断标准。式中, $r_{x,y}(\tau_{\max})$ 表示构建的余弦信号延迟 τ_{\max} 后与相关时窗中地震信号的互相关; $r_{x,x}(\tau_{\max})$ 表示构建的余弦信号延迟 τ_{\max} 后的自相关。求出值后,将标准余弦信号以 0.1 Hz 的间隔递增至 53 Hz,每递增一次求出一个 τ_{\max} ,并按式(4)求出一个 p 值,最后从中选出 p_{\max} 值。经试验,如果 $p_{\max} > 0.8$,则可以确定地震记录中有较大的工业电干扰,与此 p 值相应的频率和 τ_{\max} 就是用来逼近该道中工业电干扰的最佳值,由此便可恢复出该道中的工业电干扰,从地震记录中减去它即可。

2 处理效果分析

2.1 实际单道数据处理效果分析

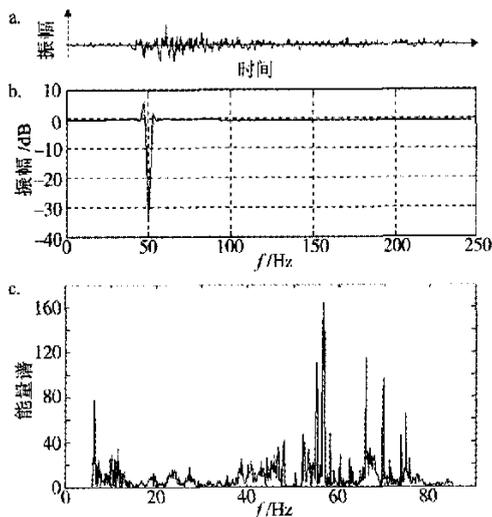
图2a是从单炮记录中抽取的 600 ~ 1 400 ms 之间的一段记录,采样间隔为 2 ms,整个地震道中都



a—原始数据;b—原始数据的频谱分析;c—50 Hz 余弦信号逼近去噪的结果;d—50.5 Hz 余弦信号逼近去噪的结果;e—50.5 Hz 余弦信号逼近且做了超采样后的去噪结果;f—图2(e)的频谱分析

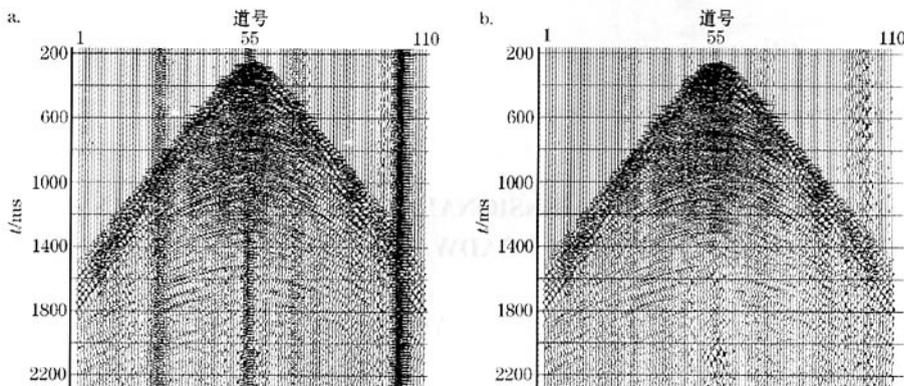
图2 改进后的余弦逼近法与改进前的效果对比

有较强的工业电干扰,图 2b 是它的频谱分析,可以看到,工业电干扰在频率域能量很强且频率并不正好是 50 Hz,而是有些偏差。图 2c 是用标准 50 Hz 余弦信号逼近去噪的结果,可见,如果频率不匹配,不仅不能去噪还会因为和原有噪声相互干涉而使噪声更大。图 2d 是采用改进后的方法先做频率扫描,然后自动选择了 50.5 Hz 的余弦信号逼近去噪的结果,图 2e 是用 50.5 Hz 的余弦信号逼近且做了超采样后去噪,图 2f 是图 2e 的频谱分析,其中的工业电



a—陷波法去噪的结果;b—陷波器的幅频响应;c—去噪后的频谱

图 3 常规陷波法的处理结果



a—原始单炮数据;b—去除工业电干扰后的单炮数据

图 4 实际资料处理效果

3 结论

结合野外资料实际情况,对目前常用的余弦逼近法从频率、相位及振幅 3 个方面进行了改进,通过理论研究及实际资料的处理可以得出以下结论:

(1) 改进后的余弦逼近法明显优于原有方法,主要表现为实用性更强、精度更高,能适用于压制不

干扰得到有效压制,突出了有效波的能量。对比分析表明,采用改进后的方法处理结果最好,余弦逼近法的精度和适用性大大增强了。

下面再对改进后的余弦逼近法与常规的陷波法做一比较。图 3a 是用 9 阶切比雪夫陷波器(48 ~ 52 Hz)去除工业电干扰后的结果,陷波器的频率响应如图 3b 所示,可以看出由于快速傅里叶变换的缺陷,当滤波器的频带很窄时,边界效应是比较大的。图 3c 是图 3b 的频谱分析与图 2f 对比,发现在 50 Hz 附近不仅工业电干扰被消除了,而且有效波的频率成分也被完全压制了,这使去噪后的地震信号发生了畸变,对比图 3a 和图 2e 可以看出改进后的余弦逼近法比陷波法要好得多。

2.2 实际单炮数据的处理效果

图 4a 是从胜利油田某区块三维采集中抽取的某一测线的单炮数据,采样间隔 2 ms,110 道接收,其中有十几道数据受到不同程度的工业电干扰,经试验使用目前的 50 Hz 余弦逼近法不能去除该炮中的工业电干扰波,主要是因为该地区工业用电的频率约为 50.5 Hz,图 2a 中的单道数据就是从图 4a 中抽出的。从图 4b 可以看出,使用本文中改进的方法处理后,工业电干扰被有效压制了,剖面上的干扰只剩下一些残余面波及低频环境噪声,剖面质量明显提高且保真度很好,证明了改进后的余弦逼近法具有更好的实用性和处理精度。

同地区地震资料中的工业电干扰。

(2) 在压制工业电干扰的同时,对有效反射波的影响很小,更好地满足了高保真、高分辨处理的需要。

参考文献:

[1] 李文艳,牛彦良,吴明华. 消除 50Hz 干扰波的地震资料处理新方法[J]. 大庆石油地质与开发,2001,20(5):67-68.

[2] 邹才能,张颖. 油气勘探开发实用地震新技术[M]. 北京:石油工业出版社,2002. 152-153.

[3] 董敏昱. 地震信号分析[M]. 北京:石油大学出版社,1990.

[4] 韩文功. 胜利油气地球物理技术论文集(2003-2004)[M]. 北京:石油工业出版社,2004. 64-70.

THE IMPROVEMENT OF COSINE APPROCH METHOD AND ITS APPLICATION TO REMOVE INDUSTRIAL NOISE IN SEISMIC DATA

HU Wei^{1,2}, LU Xiao-wei³

(1. Geoscience Institute, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 2. Geophysical Exploration Corporation, Shengli Oilfield Ltd., Dongying 257100, China; 3. Geophysical Research Institute, Shengli Oilfield Ltd., Dongying 257022, China)

Abstract: Cosine Approach Method is a new technique for removing 50Hz industrial noise. However, because of the complexity of the real data, the method cannot effectively suppress the industrial noise contained in some real data. Based on a careful analysis of the real data, this paper proposes to adopt refined frequency scanning, super sampling of cosine signal and amplitude statistics of seismic data to improve the precision and practicality. The theoretical analysis and processing result of the real data show that the improved method is more practical and precise.

Key words: industrial noise; cosine approach; frequency scanning; super sampling

作者简介: 胡伟(1975-),男,1997年毕业于西南石油学院地质系,一直在胜利油田地球物理勘探开发公司从事地震资料采集及处理方法研究,现为长江大学地球科学学院在读工程硕士,公开发表学术论文数篇。



上接 536 页

[7] Wait J R. Propagation of electromagnetic pulses in a homogeneous half-space-An approximate representation[J]. Geophysics, 1979, 44(10):1700-1705.

[8] Nabighian M N. Quasi-static transient response of a conducting conducting earth[J]. App Sci Res, 1958,8:213-253.

NUMERICAL THREE-DIMENSIONAL SIMULATION OF TRANSIENT ELECTROMAGNETIC FIELD IN ROADWAY AND ITS SURROUNDING ROCKS

ZHOU Shi-xin, YUE Jian-hua

(China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: To further study the problem of mine TDEM, the authors set up a model for the roadway and the abnormal body, and made numerical simulation of the transient field excited by a magnetic dipole source by using the seven node difference scheme of the diffusion equation. The result shows that the isolines of the "smoke ring" field where the conductor is located are obviously abnormal, and the effect of the conductor weakens with time. However, the abnormality where the roadway is located can last longer. The isoline section figures of the magnetic field and $\partial H/\partial t$ are plotted on the basis of the data obtained at quite a few surveying points. The figures show that the isolines congregate towards the conductor, and the abnormality lasts longer in the isoline section figures of $\partial H/\partial t$.

Key words: mine TDEM; transient field; numerical three-dimensional simulation; finite difference

作者简介: 周仕新(1981-),男,江苏常州人,2003年毕业于中国矿业大学资源学院,现于中国矿业大学资源学院攻读硕士学位,研究方向为应用地球物理勘探方法。