

相位在地震勘探中的用途及研究

赵淑红, 朱光明

(长安大学 地质工程与测绘工程学院, 西安 710054)

[摘要] 主要应用傅立叶变换方法计算各种信号的振幅谱和相位谱。通过对一个球形信号进行傅立叶正反变换, 发现用相位谱恢复的图形轮廓比振幅谱恢复的图形轮廓清晰。相位在信号分析中, 特别是对于所要研究的地震信号尤为重要。但是, 相位谱的常规计算及显示方法很难满足解释要求, 就通过改善相位谱的常规计算及显示方法, 并用一个简单地震模型例子, 说明了改善后的相位谱更容易被解释和利用。

[关键词] 相位谱; 地震信号分析; 频谱分析

[中图分类号] P631.4+14 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)04-0087-03

[作者简介] 赵淑红(1973-), 女, 陕西大荔人, 讲师, 博士研究生, 从事地球物理学教学研究。

0 引言

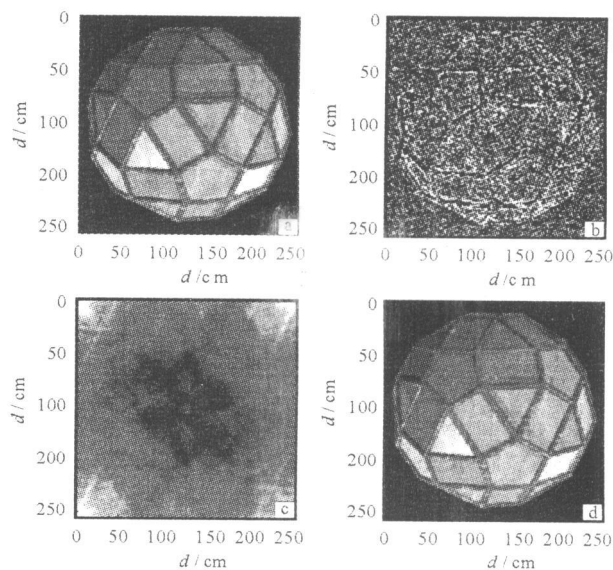
信号分为平稳信号和非平稳信号, 信号分析的主要目的是使信号的重要特征显现出来。研究非平稳(时变)信号是当前信号分析的一个研究方向。地球物理信号中的地震信号是非平稳信号, 因此地震信号的振幅、频率和相位实际上是随时间而变化的^[1]。这种变化携带着地震波在其中传播的地层介质的位置、结构和岩石性质等信息。当前, 通过频谱来研究非平稳信号的理论和方法技术已相当成熟, 应用领域也逐步扩大和深入^[2]。但是对其中相位谱的研究和利用则相对较弱, 很多情况下往往只用振幅谱, 相位谱由于利用起来比较复杂而弃之不用。

1 研究相位的意义

有关相位的研究和应用非常广泛。例如, 在改善抛物线拉冬变换、频率空间域预测去噪和插值以及相位移波动方程偏移等处理中都可能有好应用; 另外, 对瞬时相位和瞬时频率特性的研究和应用也非常有用。相位还可以应用于构造解释(如地层厚度变化、河道模拟、断层、裂隙发育带的显示、层序

分析等)和油藏特征描述(如储层分类、岩性识别、储层性质及其流体性质预测、储层参数估计等)^[3]。

图1a是一个轮廓非常明显的圆球信号, 对其进行二维傅立叶变换, 得到振幅谱和相位谱。图1b是利用圆球信号的相位谱以及给定某一固定振幅谱, 进行二维傅立叶反变换恢复的圆球信号。图1c是利用圆球信号的振幅谱, 使相位谱为零, 做二维



a - 圆球图像; b - 用圆球图像的相位谱、振幅谱为某一确定值数据恢复的圆球; c - 用圆球图像的振幅谱、相位谱为零的数据恢复的圆球图像; d - 用圆球图像的振幅谱和相位谱恢复的图像

图1 圆球图像与恢复后的圆球图像的比较

Fig. 1 Comparison of Sphere Picture and After Recovered Sphere Picture

[收稿日期] 2005 01 06

[基金项目] 中国华油集团项目(2171-2566)

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

傅立叶反变换得到的圆球信号。图 1d 是利用圆球信号自身的振幅谱和相位谱恢复的圆球信号。

从图中特别是图 1b, 图 1c 可以看出, 相位信息恢复的图像(图 1b)比振幅信息恢复的图像(图 1c)要好, 因为从图 1b 中可以看到原始信号(图 1a)的大致轮廓, 而从图 1c 中根本看不到原始信号是什么样子。图 1d 是用圆球的振幅谱和相位谱恢复的图像, 与图 1a 完全相同。因此, 可以看出, 在信号分析与处理中, 相位谱的信息非常有用, 应该好好利用。但如何能够方便地解释相位谱中包含的丰富信息, 并使其能得到很好的应用, 这个问题在实际应用中还是比较突出的。

2 相位的常规计算及显示

图 2 是根据一个倾斜分界面的多道反射记录计算的振幅谱和常规的相位谱。可以看出, 一方面振幅谱构成的剖面各道相同, 与分界面的位置无关, 或者说与分界面的倾斜程度无关。另一方面相位谱构成的剖面与各道的相位谱不同, 构成很好看的花纹, 应该反映分界面的倾斜程度, 但是很难解释。因此, 通常情况下放弃对相位谱的解释和应用。

从图 2 中显示的相位谱信息可以看到, 相位的周期性使相位谱发生不连续的突变, 呈现出复杂的面貌, 使相位谱中丰富的信息难以解释, 这种不连续不仅增加相位谱和瞬时相位谱的复杂性, 而且因为瞬时频率是瞬时相位的微分而使瞬时频率在不连续点处出现异常值, 使瞬时频率失去意义。加之相位谱既是信号位置(或时间)的函数, 又是频率的函数, 两者混合在一起, 使相位谱呈现出复杂的花纹, 这也是相位谱难以解释利用的原因。

3 经过处理后的相位显示

设单层界面的反射系数为

$$r(t) = \delta(t - t_0)$$

其傅立叶变换为

$$R(\omega) = F[r(t)] = F[\delta(t - t_0)] = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0)e^{-j\omega t} dt = e^{-j\omega t_0}$$

因此, 它的相位谱为 $\phi_R = -\omega t_0 = -2\pi f t_0$ 。对于公式 $\phi_R = -2\pi f t_0$, 两边同除以 $-2\pi f$, 就可以把相位谱中的时间和频率分开, 如图 3b。时间与道号组

成的面上清楚地展示了分界面的位置。

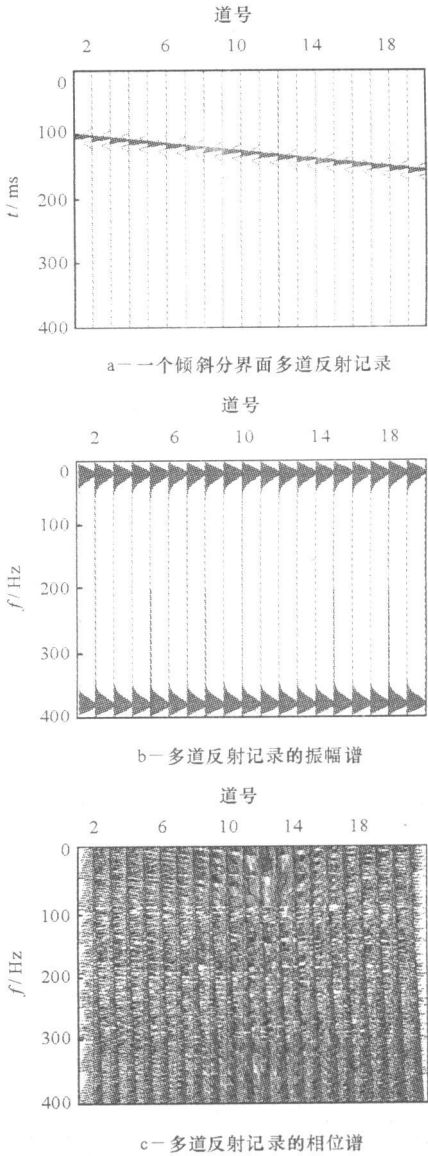


图 2 振幅谱和相位谱的常规显示

Fig. 2 Generally Display of Amplitude Spectrum and Phase Spectrum

设地震子波为 $w(t)$, 其傅立叶变换为

$$W(\omega) = F[w(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} w(t)e^{-j\omega t} dt = |W(\omega)| e^{j\phi(\omega)}$$

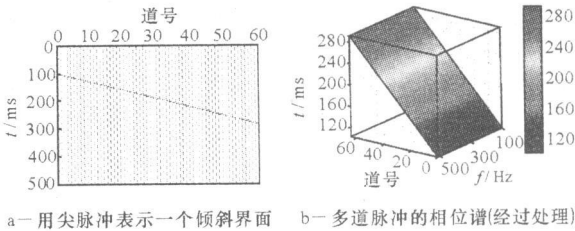


图 3 用尖脉冲表示的斜层及其相位谱

Fig. 3 Slant Interface (Pulse) and Its Phase Spectrum

因此, 地震记录可以表示为 $s(t) = w(t)r(t)$, 其立叶变换为 $S(\omega) = W(\omega)R(\omega)$, 因此, 地震记录相位谱为地震子波的相位谱和反射系数的相位之和, 用公式表示为 $\Phi(f) = \phi_R + \alpha t_0$, 因此 $\phi_R = \Phi(f) - 2\pi f t_0$ 。同样, 对公式 $\phi_R = \Phi(f) - 2\pi f t_0$ 两边同除以 $-2\pi f$ (图 4b)。图 3 和图 4 的地质模型是相同的, 图 4b 和图 3b 相比, 由于有子波相位谱的影响, 图 3b 中平滑的斜面变成图 4b 的形状。通过观察图 3b 和图 4b 以及分析研究相位谱的数据可知, 在图 4b 中, 由时间轴与道号轴组成的平面与曲面交线的斜率和分界面的斜率相同。子波的相位谱和反射系数的相位谱综合影响造成图 4b 的曲面在相对频率轴的某些位置(与子波频率有关)出现小的跳动, 在实际应用中, 如果能够消除子波相位谱, 那么就可以得到类似于图 3b 中只反映反射层位置的相位谱, 对解释非常有用。

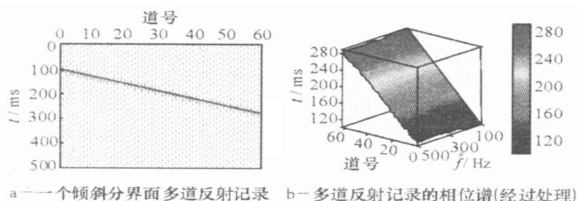


图 4 用尖脉冲与雷克子波褶积后表示的斜层及其相位谱

Fig. 4 Slant Interface (After Convolved of Pulse and Rick Wavelet) and Its Phase Spectrum

尽管图 2 所用的模型只有一个分界面, 但其相位谱已经比较复杂。通过变换及处理, 图 3, 图 4 展示了只有一个分界面情况下的脉冲和地震记录的相位显示, 很容易和输入界面的形态联系起来。至于多个分界面的模型, 其相位谱更加复杂, 在此只对楔形脉冲的相位谱显示进行了计算, 如图 5 所示。

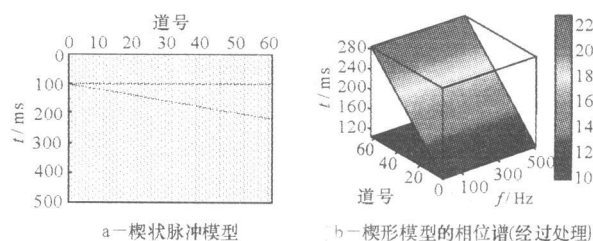
Application and Research of Phase in Seismic Prospecting

ZHAO Shu hong, ZHU Guang ming

(School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract This paper presents computation of the signal's amplitude spectrum and phase spectrum the Fourier transform. Taking the sphere signal as an example, it is found that the phase spectrum is clearer than the amplitude one in resuming input signal. It is pointed that the phase is very important in signal analysis, especially in the seismic signal analysis. But the general method of phase computing and display is very difficult for us to interpret, so the computation and display method are improved. And a simple seismic model is used to demonstrate this method is effective.

Key words: phase spectrum; seismic signal analysis; frequency spectrum analysis



a-楔状脉冲模型 b-楔形模型的相位谱(经过处理)

图 5 楔状模型的形态及其相位谱

Fig. 5 Wedge Shaped Pulse and Its Phase Spectrum

4 结论

由于信号的频谱由振幅谱、相位谱组成, 而相位特性往往也很重要, 因此, 应全面应用频谱, 不能只用振幅谱信息而忽略相位谱信息^[4]。研究相位谱的周期性和线性两者之间的联系, 在某些情况下消除相位谱的不连续性; 从相位谱中分离出相位单独与信号位置(时间)之间的关系; 在频率方向利用冗余性和统计特性提高相位谱的抗干扰能力; 消除瞬时频率中由于不连续而引起的异常。通过与相位有关的各种解释, 拓展地震信息在油田勘探开发领域中的应用, 同时, 还可用于拉冬变换等需要改善利用相位信息的数据处理方法。

[参 考 文 献]

- [1] 朱光明, 李庆春, 胡建平. 数字信号分析与处理[M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 2003.
- [2] 刘葵, 刘招君, 朱建伟, 等. 时频分析在石油地球物理勘探中的应用[J]. 世界地质, 2000, 19(3): 282-285.
- [3] 马德堂, 朱光明. 虚谱法求解波动方程的算法改进[J]. 西安工程学院学报, 2000, 22(2): 63-66.
- [4] 刘道平. 储层预测中准确的相位标定技术[J]. 石油物探, 1997, 36(增刊): 27-32.

[英文审定: 李庆春]

(第 27 卷卷终)