

衰减与频散的补偿方法

常新伟*

(大庆石油管理局物探公司)

摘要

常新伟. 衰减与频散的补偿方法. 石油地球物理勘探, 1996, 31(3): 442~447

大地滤波作用不仅引起高频成分的迅速衰减，而且造成子波相位特征的畸变。要进行高分辨率地震资料的处理，必须对上述衰减和频散进行补偿。本文采用李氏经验公式计算的衰减因子Q值，提出一种具有空变和时变特性的Q值补偿方法。补偿处理是在单道上进行的，可以是动校正后的叠前道，也可以是叠后道，使用非常方便。

主题词 衰减 频散 补偿 高分辨率勘探 地震数据处理

ABSTRACT

Chang Xinwei. Method for compensating attenuation and frequency dispersion.
OGP, 1996, 31(3): 442~447

Earth filtering effect rapidly attenuates high frequency contents and distorts wavelet phase characteristics. Desirable processing of high resolution seismic data must need compensation for the attenuation and frequency dispersion. By using the attenuation factor Q that is derived from Li's empiric formula, I put forward the Q compensation method which is characterized by time and space variations. The compensation processing is performed on a single trace, which may be a prestack trace after NMO correction or a post-stack trace. The method is convenient.

Subject heading: attenuation, frequency dispersion, compensation, high resolution exploration, seismic data processing

引言

大地滤波是一个复杂的滤波系统。在地震资料处理中，处理大地滤波的常规方法是在一时窗内作最小相位脉冲反褶积，这种作法严重受子波时变特性的限制。由于脉冲反褶积诱人的稳健性，加之莱文森算法中最小相位假设在计算上的方便，使得人们轻视了时变子波相位的频散现象，而事实上频散是存在的。随着测井技术的发展和近几年来人们对高分辨率的渴望，开始重视地层的非弹性性质对地震波垂向分辨率严重受损的事实。这种损失包括两方面：一方面高频成分传播速度较高；另一方面，高频成分比低频成分衰减快。

* Chang Xinwei, Geophysical Exploration Corporation, Daqing Petroleum Administration, Xinwujing, Daqing City, Heilongjiang Province, Postcode: 163357
本文于1995年8月1日收到，修改稿于同年11月29日收到。

物理地球

为了解决这个问题，在 Futterman (1962) 提出频散模型的基础上，E. W. Carpenter (1966) 导出了一个通过滤波器相似性解计算平稳 Q 滤波器响应的办法。

以波的传播原理为依据求解该问题的完备解需要花费较多的计算时间。在最近几年中，相继出现了两个求解该问题的表达式，从而使这项研究工作能采用廉价的算法。第一种是 Robinson (1979) 的算法，它是按照 Futterman (1962) 理论模型在频域中模拟频散，这种方法理论是不够完善的，因为它未考虑伴随的衰减。Hargreaves 等 (1987) 基于波场外推原理所得出的一种算法，实际上与 Robinson 的方法非常相似。第二种是设计特别新颖的 Hale (1982) 算法，它同时包含了衰减与频散作用，但遗憾的是也含有上面提到的相同相位的不相容性。C. L. Varela 等 (1993) 在 Hale 算法的基础上，提出一种替换算法，该算法对相位的处理与 Futterman 频散模型方法一致。

本文在李氏经验公式^[2]、Varela^[1]的算法基础上，提出一种方便、实用的衰减与频散的补偿技术。从应用此法的结果来看，资料的分辨能力得到了极大的改善，而且信噪比不受影响，说明这种方法对相位、高频成分的补偿是合理的、真实的。

方法原理

在一维情况下应用相移原理(Gazdag, 1978; Schneider, 1978)，将波场从某一深度处外推到另一深度，有

$$P(z + \Delta z, \omega) = P(z, \omega) \exp[iK_z \Delta z] \quad (1)$$

式中： P 是波场的傅里叶变换； z 是被测量的波场位置的深度； ω 是沿时间轴的角频率； K_z 是 z 方向上的空间角频率。向前外推或反向外推时 Δz 分别取负值或正值。

通过将 K_z 取为频率的复变函数，可在方程(1)中引入吸收作用

$$K_z = -\left(\frac{\omega}{v} + i\alpha\right) \quad (2)$$

式中： v 是与频率有关的相速度； α 是吸收系数。

通常，表示损耗衰减的 α 与频率的关系由下式给出

$$\alpha = -\frac{\omega}{2Qv} \quad (3)$$

式中： Q 是品质因数，通常假设它在地震带宽内为常数。

以类似的方式，用频率与相速度的关系，将损耗频散引入到模型中。适用于相对大的常数 Q 的表达式由 Futterman (1962) 给出

$$\frac{v_r}{v} = 1 - \frac{1}{\pi Q} \ln \frac{\omega}{\omega_r} \quad (4)$$

式中： ω_r 是参考角频率； v_r 是参考频率的传播速度，它由传播距离与等效时间 $\Delta\tau$ 之比给出，即 $v_r = \Delta z / \Delta\tau$ 。

将方程(2)、(3)、(4)代入方程(1)，并将深度换算为时间，得

$$P(\tau + \Delta\tau, \omega) = P(\tau, \omega) U(\Delta\tau, \omega) \exp(i\omega\Delta\tau) \quad (5)$$

物理勘探

式中, $U(\Delta\tau, \omega)$ 是吸收算子, 由下式给出

$$U(\Delta\tau, \omega) = \exp\left[\frac{\omega\Delta\tau}{Q}\left(0.5 + \frac{i}{\pi} \ln \frac{\omega}{\omega_r}\right)\right] \quad (6)$$

方程(5)表示一维吸收模拟可分离成两项, 一项是吸收算子 $U(\Delta\tau, \omega)$, 另一项是偏移时与薄透镜项相对应的位移项。

现考虑从地面至时间深度 τ 的区间, 并令 $\omega=2\pi f$, 这里式(6)可写成

$$U(\tau, f) = \exp[\mp \frac{\pi\tau}{Q}G(f)] \quad (7)$$

式中: 正向外推取负号, 反向外推取正号; $G(f)$ 是与 τ 和 Q 无关的频率的复函数, 即

$$G(f) = f + i \frac{2f}{\pi} \ln \frac{f}{f_r} \quad (8)$$

由于 $G(f)$ 与 τ 和 Q 无关, 因此可使用 $U(\tau, f)$ 的马克劳林级数展开式

$$U(\tau, f) = 1 \mp \frac{\pi\tau}{Q}G(f) + \frac{1}{2!}(\frac{\pi\tau}{Q})^2G^2(f) \mp \dots \quad (9)$$

当 Q 值较大时, 地震道的吸收作用可用下式来近似

$$Y(f) = X(f) \cdot U(\tau, f) \quad (10)$$

式中, $Y(f)$ 和 $X(f)$ 分别是输出道和输入道的复频谱。

将式(9)代入式(10), 得

$$Y(f) = X(f) [1 \mp \frac{\pi\tau}{Q}G(f) + \frac{1}{2!}(\frac{\pi\tau}{Q})^2G^2(f) \mp \dots] \quad (11)$$

式(11)的傅里叶逆变换为

$$y(t) = x(t) + b(\tau)[x(t) * g(t)] + \frac{1}{2!}b^2(\tau)[x(t) * g(t) * g(t)] + \dots \quad (12)$$

式中: $b(\tau)=\mp\pi\tau/Q$; $y(x)$ 和 $x(t)$ 分别为模拟地震道和输入地震道; $g(t)$ 表示式(8)给出的 $G(f)$ 的傅里叶逆变换。在一维情况下, 当时间与深度等效, τ 可以用 t 代替, 式(12)便可以写成

$$y(t) = x(t) + b(t)[x(t) * g(t)] + \frac{1}{2!}b^2(t)[x(t) * g(t) * g(t)] + \dots \quad (13)$$

式(11)的计算变得更加简便。

Q 值的求取问题

要实现一个实用的衰减和频散的补偿方法, Q 值是一个很重要的参数。目前有很多求 Q 值的方法^[3], 但都不是精确和方便的计算方法。而且对地震资料处理而言, 这些方法有很多限制条件。现在常用的 Q 扫描法, 工作量大, 而且在时间上只能取很少几个点。所以本文采用李氏经验公式求取 Q 值的方法^{[2], [3]}, 只需知道纵波速度, 而且可以时变、空变。由文献 3 可知, 本方法从理论和实践都可以反映出地层的总体吸收规律。因此, 在我们的方法中, 直接

引入了李氏经验公式

$$Q \approx 14v_p^{2.2}$$

 式中, v_p 为纵波速度, 单位: km/s。

算法的特点及处理效果

在实践中, 我们使用具有空变、时变特性的 Q 值。处理是在单道上进行的, 每输入一道, 根据其对应 CDP 点的位置, 插出所有时间点的 Q 值予以补偿。输入道可以是叠后数据, 也可以是叠前经动校正的地震道, 这就是说要满足一维假设条件。

图 1a 是一个尖脉冲, 图 1b、图 1c 为其对应的振幅谱和相位谱。把尖脉冲作为输入, Q 值取 30, 参考频率取 20kHz。本文所述方法的脉冲响应为图 2a 所示, 其振幅、相位特性见图 2b、图 2c (在计算时取最高限频为 370Hz, 计算中, 采样间隔为 1ms, 奈奎斯特频率为 500Hz, 所以在振幅、相位特性曲线上, 在 370Hz 左右有一个抖动)。

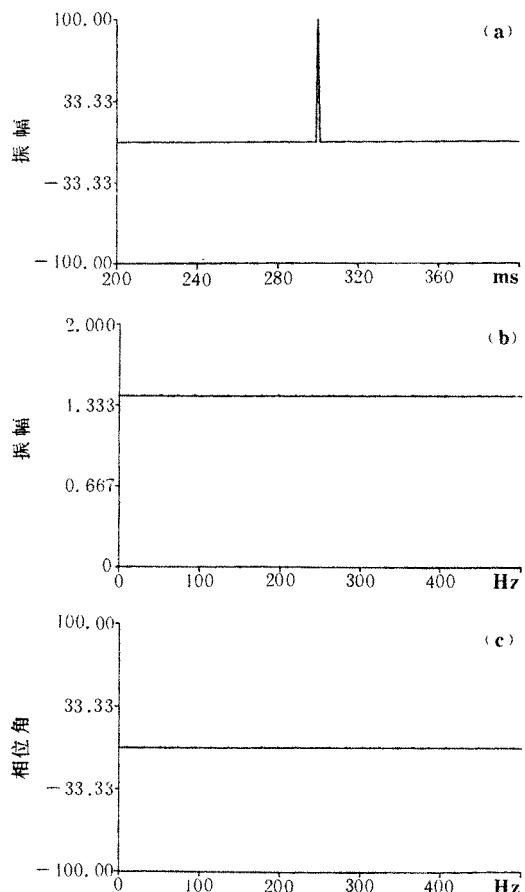


图 1 尖脉冲(a);振幅谱(b);相位谱(c)

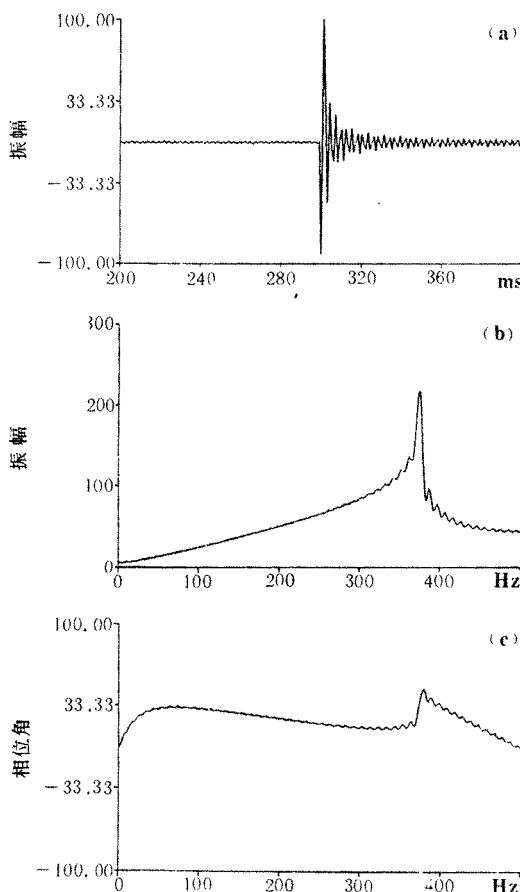


图 2 衰减、频散补偿的脉冲响应(a);
振幅谱(b);相位谱(c)

图 3 为大庆 D 区高分辨率采集、高分辨率处理的叠加剖面段 (CDP300~450, 0.6~1.0 s)。图 4 为对应于图 3 在叠前加衰减、频散补偿后的剖面。图 5 是图 3 的振幅谱, 图 6 是

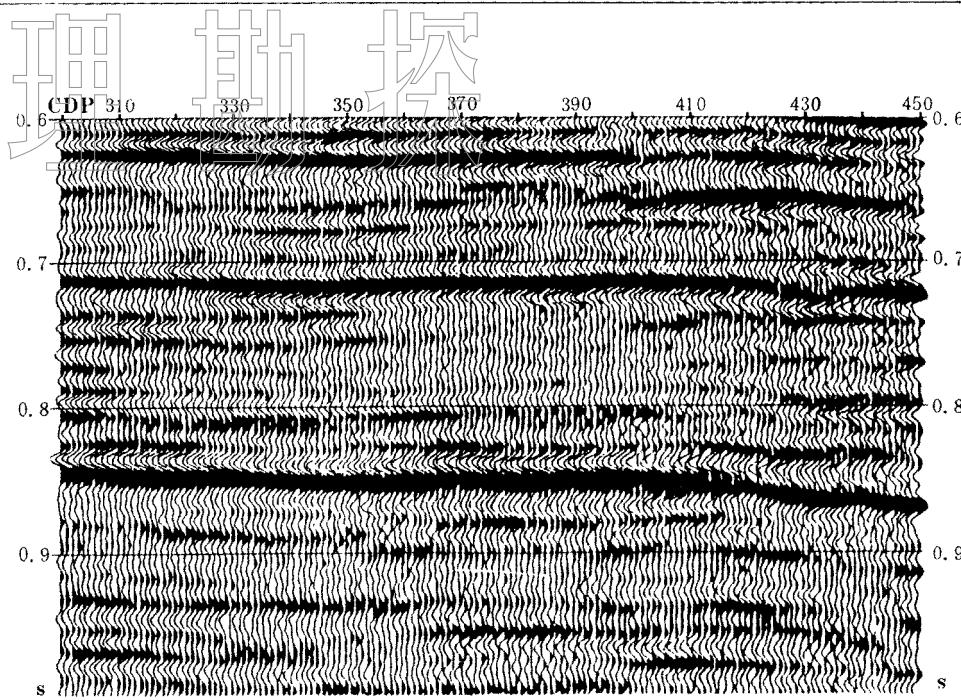


图3 水平叠加剖面

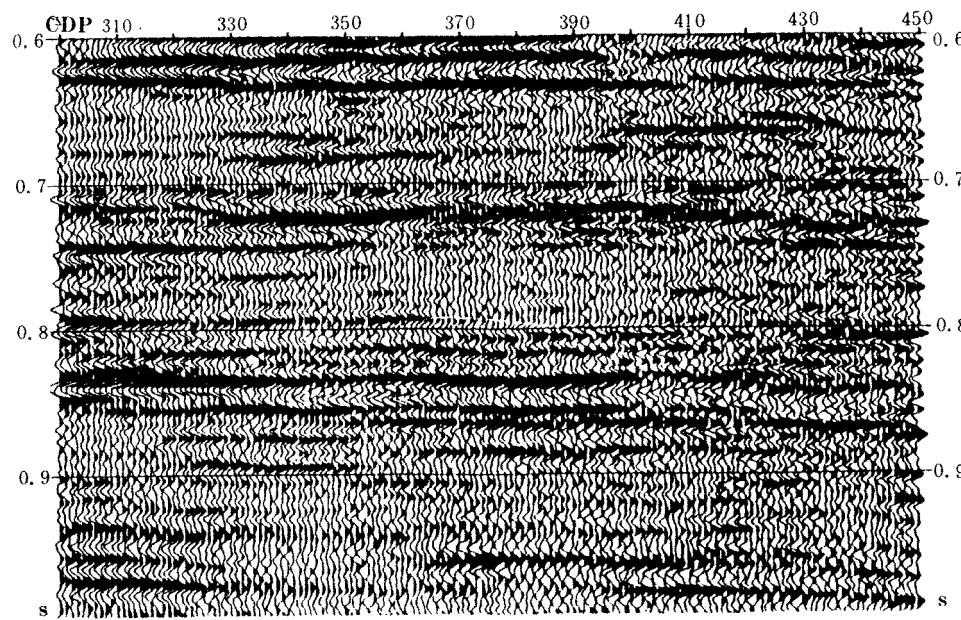


图4 图3加衰减、频散补偿处理的剖面

图4的振幅谱。

从衰减、频散补偿前后叠加结果的比较和对应频谱分析看出，经衰减、频散补偿处理后的剖面，其分辨率有了显著的改善，中心频率明显上移，但频谱并不是一味地拉平，没有把高频噪声加强。

物

碑

勘

探

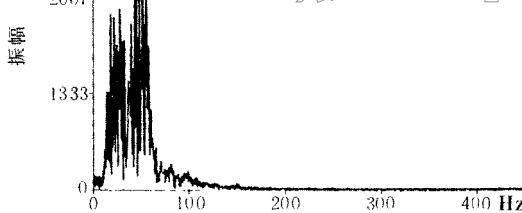


图5 图3的振幅谱

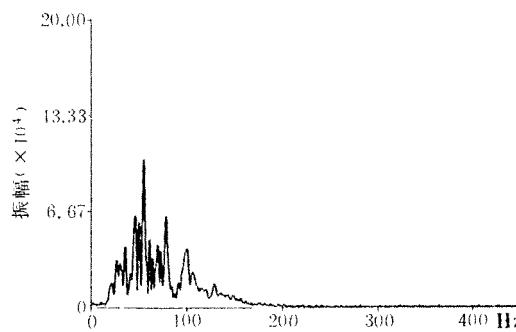


图6 图4的振幅谱

结束语

本文在李氏经验公式和 Varela 提出的衰减、频散补偿方法基础上，实现了一种 Q 可以空变、时变、方便、实用、廉价的衰减和频散补偿方法。用户在使用本模块时，只需给定数据库中速度文件名即可。从资料处理结果看，低能量的高频有效成分得到很好地恢复，而且和低频成分的能量比较匹配，所以资料的分辨率有了明显的改善，而且信噪比不受影响。可见，此法是作 Q 补偿的一项实用技术。

参 考 文 献

- 1 Varela C L 等著，戴铭藻译. 衰减与频散模拟. 石油物探译丛，1994，(6)
- 2 田树人. 用李氏经验公式估算反 Q 滤波中的 Q 值. 石油地球物理勘探，1990，25(3):354~361
- 3 李庆忠. 走向精确勘探的道路——高分辨率地震勘探系统工程剖析，石油工业出版社，1993
- 4 Hargreaves N D 等著，赵建勋译. 一维射线偏移：一种准确而快速的反 Q 滤波. 国外油气勘探，1991，3(5):24~40