

井控处理中的真振幅恢复与  $Q$  补偿方法及应用王正和<sup>1</sup>, 崔永福<sup>2</sup>, 向东<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:** 在地震资料处理中, 可以使用井控地震处理技术, 即通过井资料求取球面扩散补偿因子和  $Q$  补偿因子。在获得的  $Q$  值附近进行扫描, 将不同  $Q$  补偿的偏移剖面与井资料进行匹配分析, 最终获得精确的  $Q$  值。实际资料真振幅恢复和  $Q$  补偿结果表明, 该方法有效地实现了地震资料真振幅恢复和  $Q$  补偿, 并取得了满意的结果。

**关键词:** 真振幅恢复; VSP;  $Q$  补偿; 井匹配;

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2008)04-0434-04

地震波在地下介质中传播时, 由于球面扩散和地层吸收衰减, 振幅减弱, 在地震资料处理中, 须对其进行补偿, 这是地震数据处理中的必要工作。一般的地震数据处理中, 球面扩散补偿是根据经验和试验给定补偿参数, 地层衰减的补偿则是利用叠加(或偏移)速度进行转换, 得到  $Q$  补偿参数。这样的补偿精度取决于处理人员的经验和叠加(或偏移)速度的精度。为了提高补偿精度, 笔者提出一种井控补偿技术, 即利用井资料求取球面扩散补偿因子和  $Q$  补偿因子, 并在获得的  $Q$  值附近进行扫描, 然后将做过不同  $Q$  补偿的偏移剖面与井资料进行匹配分析, 最终获得精确的  $Q$  值。

这样的井控地震处理技术最大程度地利用已有井的测井或 VSP 等资料, 将井点数据和地面地震数据进行匹配, 从而生成一系列的匹配属性(包括基于频率的可信度、可预测度、测井资料的固有子波和地震子波的传递函数、零相位算子等等), 然后用这些属性来检验地震资料与井资料的匹配程度以达到最佳匹配, 最终便可得到高保真、高分辨率的地震资料<sup>[1-3]</sup>。

实际资料处理表明, 利用井控处理技术进行真振幅恢复和  $Q$  补偿可取得较好效果。

## 1 真振幅恢复方法及效果

### 1.1 真振幅恢复方法

真振幅恢复是从地面检波器记录到的振幅中消除波前扩散的影响, 使其恢复到仅与地下反射界面的反射系数大小有关的真振幅值。真振幅的恢复是

基于球面波传播假设, 在处理过程中首先根据均方根振幅值对每个记录道  $S(t)$  进行振幅归一化处理, 然后用时变增益控制幅度, 对幅度的球面扩散效应进行相应的补偿。

设能量密度  $E$  以球面波形式向外传播, 即

$$E = 1/r^2,$$

其中,  $r$  为球形波前面的半径。因此, 振幅以  $1/r$  规律衰减。设均匀介质中的速度为  $v$ , 则有

$$r = vt,$$

$t$  为单程旅行时。假设速度随深度增加而增加, 则平均速度正比于  $t$  的  $a$  次方。 $a$  为球面扩散因子。这样, 以  $t^{1+a}$  形式衰减的振幅可以利用时变增益  $G(t)$  进行恢复, 即

$$G(t) = (t/t_0)^{1+a}.$$

式中,  $t$  为记录时间,  $t_0$  为每个记录道的初至时间。该指数值一般在  $0.1 \sim 0.5$ 。考虑到球面扩散和透射损失, 利用指数增益可以模拟球面波场。

求取球面扩散补偿因子采用的方法是从 VSP 资料处理过程中求取球面扩散补偿因子, 然后进行真振幅恢复。

### 1.2 实际资料应用效果

图 1 是由 A 井的 VSP 资料求取的  $T_{AR}$  (真振幅恢复) 因子, 该井的  $T_{AR}$  因子大约为 1.91。用该因子对该井区的地震资料进行真振幅恢复, 恢复前后的对比如图 2。可以看出: 补偿后的单炮记录浅、中、深层均得到较好的补偿, 低、中、高频能量总体均衡, 同相轴丰富。

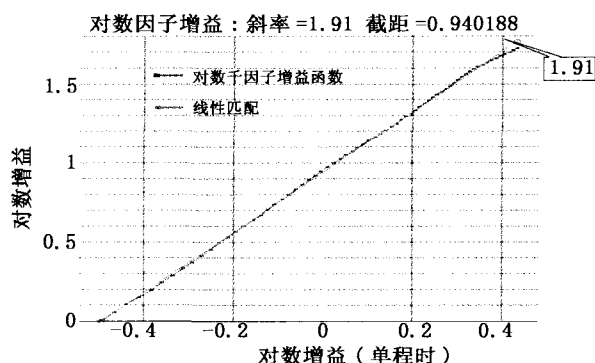
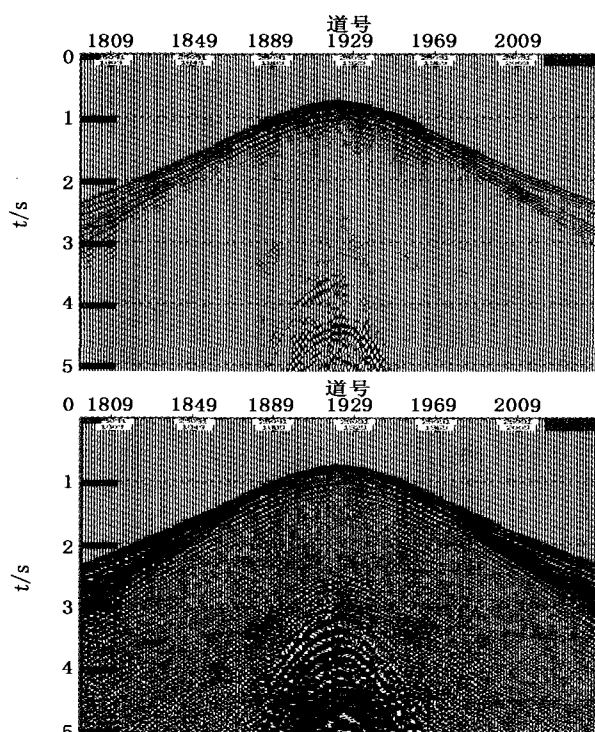
图1 由 A 井的 VSP 资料求得  $T_{AR}$  因子

图2 球面扩散振幅补偿前(上)与补偿后(下)的单炮对比

## 2 $Q$ 补偿方法及效果<sup>[4-7]</sup>

### 2.1 $Q$ 补偿方法

$Q$  值是一个表征岩石特性的参数,是储能和耗散能的比率,它是描述不同频率的地震波在粘弹性介质中衰减的参数,并直接影响地震信号的相位和分辨率。 $Q$  值越大,表示衰减越小;反之, $Q$  值越小,表示衰减越严重。影响  $Q$  值的因素主要有:①温度和压力增加导致  $Q$  值减小;②不同岩性其  $Q$  值不同,一般来说,灰质岩吸收较小,砂岩吸收较大,泥岩介乎其中间;③岩石中孔隙形状及裂缝发育程度也极大地影响  $Q$  值的变化;④频率不同, $Q$  值也不同;⑤孔隙中流体的性质也会对  $Q$  值产生影响。

通常情况下都可以观察到地震波高频衰减现象。 $Q$  值测量的就是地震波随传播距离的变化而引

起的不同频率成分信号的能量(振幅)的变化。地震波波场在沿地层向下传播的过程中,可以在井眼中通过检波器对波场数据采样。所以,VSP 采集到的下行波场数据是进行  $Q$  分析的理想数据。一般情况下,我们选取一定长度的时窗(一般包含直达纵波即可),利用速度滤波提取下行直达纵波,然后对时窗内的直达纵波数据进行  $Q$  分析。通过 VSP 分析得到的  $Q$  值质量取决于资料的信噪比,波的散射和检波器的耦合情况。

计算  $Q$  值的最常用方法是谱比法。该方法针对某频率范围内的数据,分析给定频率成分的振幅随深度的变化,得到的斜率就是  $Q$  值。其基本原理如下:假设 2 个接收器之间的地层的  $Q$  值是一个常量,那么某频率  $f$  的地震波的振幅  $A$  随时间  $t$  变化的振幅值可以用下面的公式表示

$$A(f, t_2) = A(f, t_1) e^{-\pi f(t_2 - t_1)/Q} \quad (1)$$

对该公式两边求自然对数,得到

$$\ln \left[ \frac{A(f, t_2)}{A(f, t_1)} \right] = -\pi f(t_2 - t_1)/Q \quad (2)$$

从上式可以看出,振幅取对数之后,随频率呈线性衰减函数,其衰减的斜率为  $-\pi f(t_2 - t_1)/Q$ 。

多谱比法原理与谱比法原理相同。井控处理中  $Q$  因子的求取是通过多谱比法,针对某频率范围内的 VSP 数据,分析频率随深度的变化,从而得到一系列不同深度点的  $Q$  值,然后统计出一个全局  $Q$  值作为该深度段的  $Q$  值。

### 2.2 实际资料 $Q$ 补偿效果

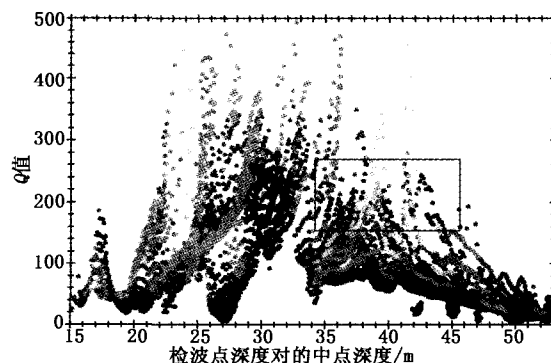
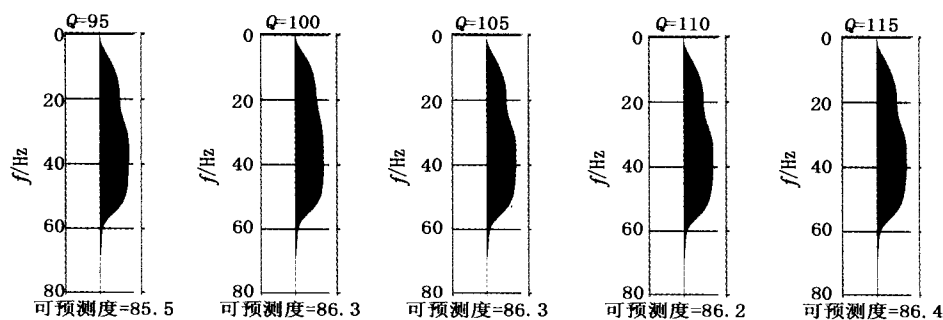
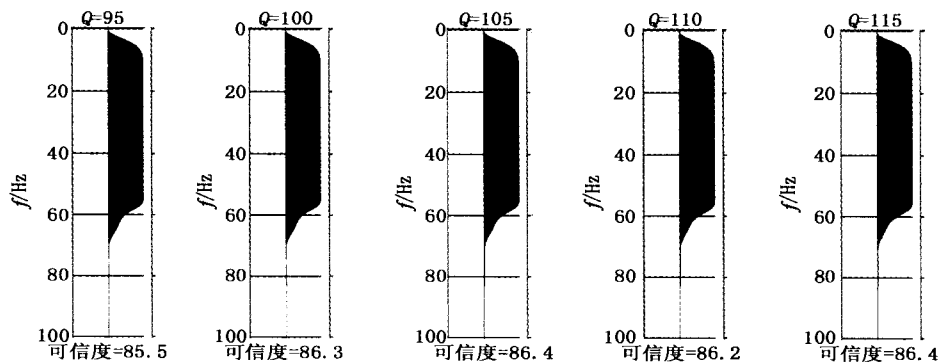
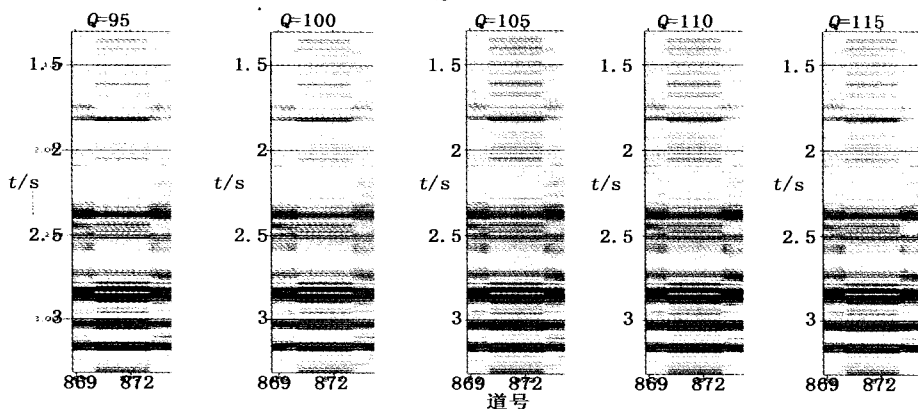
图3 由 A 井的 VSP 资料求出的时变  $Q$  值

图3是根据 A 井的 VSP 资料求出的时变  $Q$  值。在分析  $Q$  值的过程中,我们一方面利用 VSP 资料来估计井眼周围的  $Q$  因子,同时也利用了地面地震资料在经多谱比法得出的  $Q$  值附近扫描,并将以不同  $Q$  补偿得到的偏移剖面与井资料(VSP)进行匹配分析,达到最佳匹配的就是精确的  $Q$  值。由不同  $Q$  值的可预测度、可信度、匹配度对比图可知最佳的  $Q$  值为 105(如图4~图6)。

图4 不同  $Q$  值的可预测度对比图5 不同  $Q$  值的可信度对比图6 不同  $Q$  值的匹配度对比

关于  $Q$  值的可预测度、可信度及匹配度分别定义如下。

可预测度  $P$  (predictability) 定义为

$$P = \frac{\sum X_{\text{cor}}(t)^2 \times 100}{\sum [A_{\text{cor1}}(t) \times A_{\text{cor2}}(t)]}, \quad (3)$$

式中,  $A_{\text{cor1}}(t)$  为某一定义的时窗范围内井数据的自相关;  $A_{\text{cor2}}(t)$  为某一定义的时窗范围内地震资料的自相关;  $X_{\text{cor}}(t)$  为井数据和地震资料的互相关。将上式(3)转化到频率域,则:

$$P(f) = \frac{A_{\text{cor}}[X_{\text{cor}}(f)] \times 100}{x_{\text{cor}}[A_{\text{cor1}}(f)A_{\text{cor2}}(f)]}. \quad (4)$$

可信度  $C$  (confidence) 定义为: 令

$$r^2(f) = \frac{A_{\text{cor}}[X_{\text{cor}}(f)]}{X_{\text{cor}}[A_{\text{cor1}}(f)A_{\text{cor2}}(f)]},$$

$$P_{\text{ow}}(f) = \frac{r^2(f)}{1 - r^2(f)},$$

$$\text{则 } C(f) = 100[1 - e^{(-kP_{\text{ow}}(f))}]. \quad (5)$$

匹配度  $F_{\text{it}}$  定义为

$$F_{\text{it}} = \frac{\sum [X_1(t)X_2(t)] \times 100}{\sqrt{\sum X_1(t)^2 \sum X_2(t)^2}}, \quad (6)$$

式中,  $X_1(t)$  为地震数据和子波的褶积;  $X_2(t)$  为井数据和子波的褶积。

对于以上所定义的可预测度、可信度及匹配度, 其值越大, 则表示相应的  $Q$  值越佳。

从  $Q$  补偿前与  $Q$  补偿后的叠前时间偏移对比结果可以看出(如图7), 补偿后比补偿前的叠前时间偏移剖面在信噪比和分辨率方面有了较大程度的

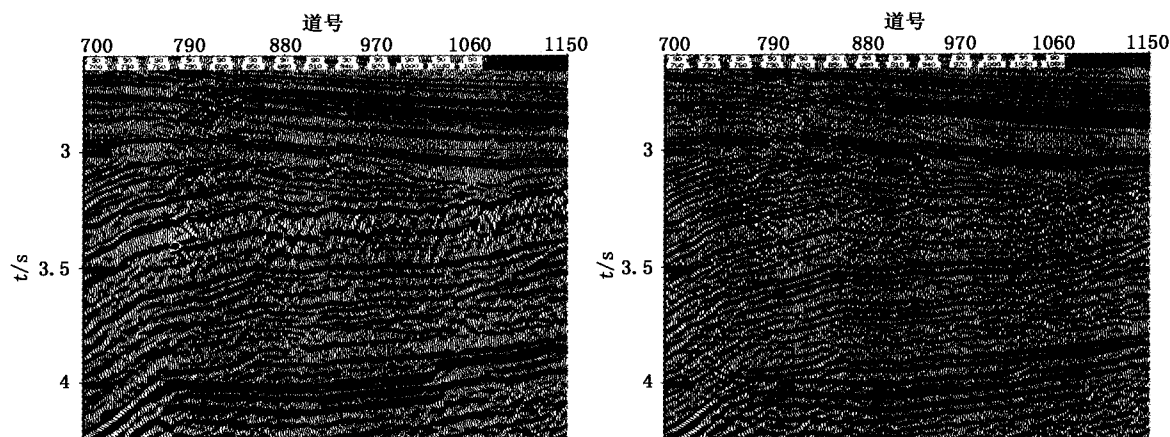


图7  $Q$  补偿前(左)与  $Q$  补偿后(右)的叠前时间偏移剖面对比

提高,同相轴变得丰富。

### 3 认识与结论

实际资料处理结果表明:由 VSP 资料获得的球面扩散补偿因子对地震资料进行真振幅恢复效果较好;利用 VSP 资料来估计井眼周围的  $Q$  因子,同时也利用了地面地震资料在经多谱比法得出的  $Q$  值附近进行扫描,并将以不同  $Q$  补偿的偏移剖面与 VSP 资料进行匹配分析,最终获得最佳的  $Q$  值。补偿后的地震剖面的信噪比和分辨率有了较大程度的提高,为解释人员提供了可信的、高质量的地震数据。所以,利用井资料进行真振幅恢复与  $Q$  补偿的这一处理方法值得更多的尝试。

### 参考文献:

- [1] 姚姚,张玉芬. 转换波振幅补偿[J]. 中国海上油气(地质), 1999,13(5):346.
- [2] 刘财,刘洋,王典. 一种频域吸收衰减补偿方法[J]. 石油物探, 2005,44(2):116.
- [3] 马昭军,刘洋. 地震波衰减反演研究综述[J]. 地球物理学进展, 2005,20(4):1074.
- [4] 李淑宁,刘荣. 利用 VSP 资料研究地层吸收衰减规律[J]. 石油物探,1992,38(4):114.
- [5] Gopa S De, Winterstein D F, Mark A. Comparison of P- and S-wave velocities and  $Q$ 's value from VSP and sonic log data[J]. Geophysics, 1994,59(10):1512.
- [6] Hauge P S. Measurements of attenuation from vertical seismic profiles[J]. Geophysics, 1981,46(11):1548.
- [7] Pujol J, Smithson S. Seismic wave attenuation in volcanic rocks from VSP experiments[J]. Geophysics, 1991,56(9):1441.

## THE METHOD AND APPLICATION OF TRUE AMPLITUDE RECOVERY AND $Q$ -COMPENSATION IN WELL-CONTROL PROCESSING

WANG Zheng-he<sup>1</sup>, CUI Yong-fu<sup>2</sup>, XIANG Dong<sup>2</sup>

(1. School of Energy, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company of PetroChina, Korla 841000, China)

**Abstract:** In the processing of seismic data, the technique of well-controlled seismic data processing can be used. The steps include obtaining spherical spreading compensation factors and  $Q$  compensation factors from well data, scanning around the obtained  $Q$  values, and then making an analysis by matching the well data with the migration profiles that are processed by different  $Q$  values. Finally, an accurate  $Q$  value is obtained. The results of true amplitude recovery and  $Q$  compensation of the actual data show that this technique is effective.

**Key words:** true amplitude recovery; VSP;  $Q$ -compensation; well matching

**作者简介:** 王正和(1976-),男,中国地质大学(北京)在读研究生,现在从事资料处理和方法研究工作,公开发表学术论文数篇。