

Q偏移技术在三河次凹地震资料处理中的应用研究

吴千万¹, 庞全康¹, 管文华¹, 侯海水²

(1. 中国石化江苏油田分公司物探研究院, 江苏 南京 210046; 2. 中国石油东方地球物理公司采集中心, 河北 涿州 072751)

摘要:三河次凹戴一段(E_2d_1)底部与下伏的阜宁组(E_1f)地层存在着不整合接触关系,地震速度上具有突变,引起三河次凹戴一段底部地震资料主频低、频带窄的问题,对三河次凹戴一段底部隐蔽油气藏的勘探带来不利影响。因此,采用Q偏移技术来补偿戴一段底部地层的吸收衰减作用。通过有效Q场的求取、Q层析反演、Q叠前深度偏移等处理技术完成Q偏移。该技术在实地地震资料处理中,取得了较好的应用效果,提高了三河次凹戴一段砂体预测的精度。

关键词:地层吸收衰减;等效Q场;Q层析反演;Q偏移;戴南组;三河次凹

中图分类号:TE122 文献标志码:A

Application and research of Q-migration technology in seismic data processing of Sanhe Subsag

WU Qianwan¹, PANG Quankang¹, GUAN Wenhua¹, HOU Haishui²

(1. Geophysical Exploration Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Nanjing 210046, China;

2. Acquisition Technology Center of BGP, CNPC, Zhuozhou 072751, China)

Abstract: There is an unconformity stratigraphic contact relationship between the bottom of the first member of Dainan Formation in Sanhe Subsag(E_2d_1) and the underlying strata of Funing Formation(E_1f). There is a sudden change in seismic velocity, which leads to the problems of low dominant frequency and narrow frequency band of seismic data at the bottom of E_2d_1 , which has a negative impact on the exploration of subtle reservoirs at the bottom of E_2d_1 . Therefore, the Q-migration technology is applied to compensate the absorption and attenuation of the bottom strata of E_2d_1 . The Q-migration is performed by processing techniques such as obtaining the effective Q-field, Q-tomography inversion, and Q pre-stack depth migration, etc. In the actual seismic data processing, the technology has achieved good application effects, which improved the accuracy of sandbody prediction of E_2d_1 .

Key words: strata absorption and attenuation; equivalent Q-field; Q-tomography inversion; Q-migration; Dainan Formation; Sanhe Subsag

苏北盆地金湖凹陷三河次凹在戴南组沉积时期,三河内斜坡为三角洲前缘亚相与湖泊相过渡的地区,砂岩横向变化剧烈,是隐蔽圈闭发育有利地区。三河中坡带钻探针对 E_2d_1 砂体上倾尖灭、 E_2d_{1+2} 断层-岩性圈闭的GX29井,未取得成功。在高部位侧钻GX29A井, E_2d_1 试获17 t/d的高产油流。分析认为,G29块为典型的戴一段砂岩上倾尖灭型油藏。但地震资料上三河次凹戴南组目的层有效频带偏窄,为10~40 Hz;主频低,在20 Hz左右;分辨率低,砂体尖灭点难识别。因此在三河次凹地震资料处理中,拓展频宽、提高主频,提高地震数据的分辨率显得尤为重要。

从测井曲线上看,戴一段(E_2d_1)底与下覆的阜

宁组(E_1f)地层为不整合接触,存在着明显的速度突变,产生了较强的吸收衰减作用(图1),并导致信号的强度和频带宽度损失,造成戴一段底地震成像分辨率低,砂体的识别和预测精度差^[1-3]。本文针对戴一段底的资料特点,应用Q偏移处理技术来补偿由于地层的吸收效应引起的频率和振幅的损失,从而改善戴一段底部地层的分辨率,提高对岩性油藏的识别。实际资料的应用效果证明了该技术的实用性和有效性。

收稿日期:2020-07-24;改回日期:2020-09-18。

第一作者简介:吴千万(1974—),工程师,主要从事地球物理方面的研究工作。E-mail:wuqw.jsyt@sinopec.com。

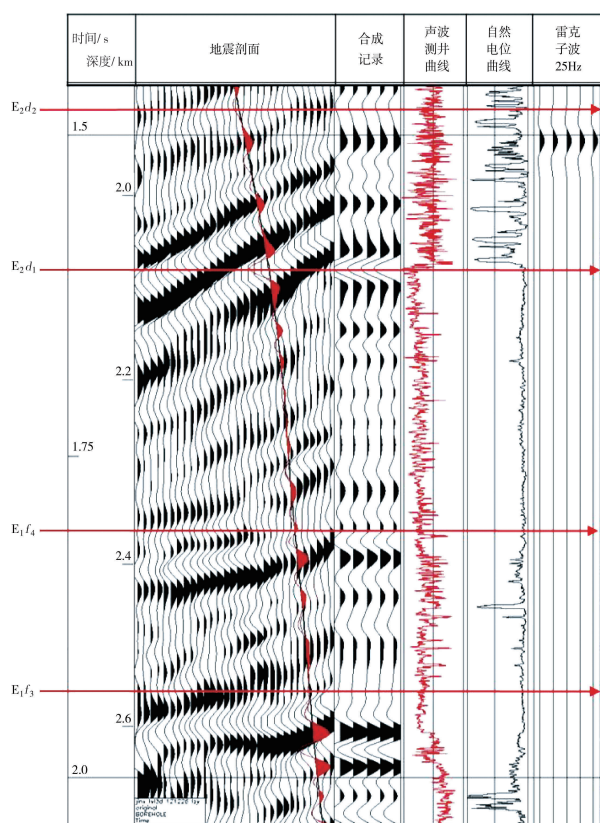


图1 H3井测井曲线

1 Q偏移处理技术

Q偏移处理技术是基于保幅的 Kirchhoff 叠前深度偏移的地震成像方法,其特点是在偏移过程中考虑了沿不同传播路径的地震波吸收衰减,从能量和频率等方面对地层的吸收衰减进行补偿^[4-5]。这种补偿效果较常规的反Q滤波补偿效果更加准确,有效提高偏移后地震信息的分辨率和保真度,满足属性反演和储层预测的需要,为岩性识别和油气检测提供可靠的数据基础。

Q偏移处理主要有三个步骤:

利用偏移前数据,进行振幅衰减分析,得到时间域有效Q场;

有效Q场除以时间得到衰减旅行时,利用吸收衰减旅行时进行层析反演,得到最终1/Q值场;

在叠前深度偏移中加入1/Q值场,在偏移中实现地层吸收的准确补偿。

1.1 有效Q场的求取

地震波在地层中的传播除了弹性衰减之外,还有非弹性衰减,一般认为非弹性衰减就是与地层品质因子Q相关的衰减。Q值越小,对地震波的频率越高,吸收衰减作用越明显。大地对地震波的吸收

衰减作用后,Q值随振幅谱呈指数衰减的关系^[6],因此传播过程中地震子波的振幅谱可以表示为:

$$B(f,t)=A(t)B(f,t_0)\exp(-\frac{\pi f t}{Q}) \quad (1)$$

式(1)中,f为频率,Hz;t为时间,ms;B(f,t)为时间t时刻的地震子波振幅谱;A(t)为一个与频率无关的量;B(f,t₀)为t₀时刻的地震子波振幅谱,那么就可以通过相邻窗口的振幅谱推导出地层间的品质因子,这就是谱比法,其表达式为:

$$\ln\left(\frac{B(f,t_2)}{D(f,t_1)}\right)=-\frac{\pi f(t_2-t_1)}{Q}+const \quad (2)$$

式(2)中const为常数。假设Q与频率无关,则上述方程即为频率f的线性函数,斜率是 $-\frac{\pi f(t_2-t_1)}{Q}$,表明Q值和两个不同频段的频谱比值对数呈线性关系,在求得斜率后,即可估算出地层的Q值。等效Q场是同相轴全路径传播过程中Q效应的累积测量,等效Q场能够定义为

$$\begin{cases} Q_{\text{eff}}(tq_1) = Q_{\text{int}}(tq_1) \\ Q_{\text{eff}}(tq_i) = \frac{tq_i}{\frac{Q_{\text{start_time}}}{Q_{\text{int}_1}} + \sum_{j=2}^i \frac{Q_{\text{time}_s}}{Q_{\text{int}_j}}} \\ i = 2, 3, \dots, nqs \quad tq_i = Q_{\text{start_time}} + (i-1) \times Q_{\text{time}_s} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中nqs为Q场的采样数,tq_i为分析时窗的中心时间,ms;Q_{start_time}为起始时间,ms;Q_{time_s}为Q场采样率,ms。

在实现上,有效Q场的建立对叠前偏移数据进行分频振幅分析,确定振幅衰减较为严重的频带范围,在该频带范围内计算出有效Q场,该Q场即为Q层析反演的初始Q场。

1.2 Q层析反演

Q层析反演是基于衰减旅行时的反演,它是根据初始Q场对衰减旅行时进行层析迭代,构建地下空间-深度变化的1/Q模型。由于初始Q场精度较低,无法反映实际数据的真实衰减特性,必须根据初始Q场计算地震波的衰减旅行时,利用偏移后CRP道集拾取得到剩余残差Δt,与吸收衰减旅行时一起组成吸收旅行时层析方程,通过类似速度层析反演的方法,得到最终Q值属性体^[7]。其射线的线性反演方程如下:

$$\Delta t^* = \frac{t}{Q_{\text{eff}}^{\text{obs}}(t)} - \frac{t}{Q_{\text{eff}}^{\text{mod}}(t)} = \sum_{i,j,k}^{\text{Ray}} (t_{ijk} \delta Q_{ijk}^{-1}) \quad (4)$$

式(4)中,Δt为反转过的衰减旅行时;t为由射

线追踪得到的运动学旅行时,ms。

$$t = \sum_{i,j,k}^{\text{Ray}} t_{ijk} \quad (5)$$

t_{ijk} 是每个网格内 (i,j,k) 的部分旅行时, $Q_{\text{eff}}^{\text{obs}}(t)$ 是关联炮点/检波点对在时间 t 的实际地震数据测量的有效 Q , $Q_{\text{eff}}^{\text{mod}}(t)$ 是使用初始 $1/Q$ 模型沿着射线计算得到的有效 Q , δQ_{ijk}^{-1} 是每个网格单元 (i,j,k) 中更新的 $1/Q$ 。

1.3 Q 叠前深度偏移

Q 偏移是一种基于射线追踪理论的偏移方法,通过 Q 层析获得空变 Q 场,在波的传播过程中根据传播路径和传播时间进行衰减补偿,从而达到补偿振幅、恢复频率和校正相位的目的^[8]。

由声波速度场和 Q 场构造的复波速可以表示为:

$$c(x,w) = c_0(x) \left[1 - \frac{1}{2} i Q^{-1}(x) + \frac{1}{\pi} Q^{-1}(x) \ln \frac{\omega}{w_0} \right] \quad (6)$$

其中, $c_0(x)$ 是声波速度场, m/s; $Q(x)$ 是代表吸收衰减的品质因子场; w_0 是参考频率, Hz; 复走时可通式(7)计算, 即:

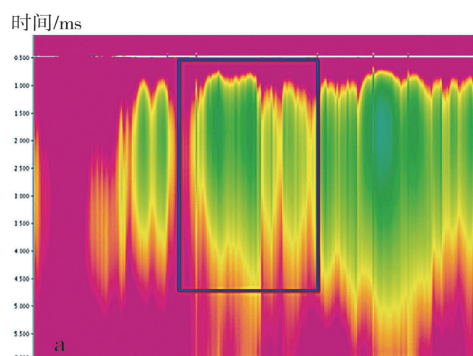
$$T_c(x,w) = T(x) - \frac{1}{2} i T''(x) - \frac{1}{\pi} T'(x) \ln \frac{\omega}{w_0} \quad (7)$$

其中, $T(x)$ 是声波介质中以速度 $c_0(x)$ 求得的走时, ms; $T'(x)$ 为吸收振幅的补偿项。式(7)中的第二项包含对吸收衰减振幅损失的补偿, 第三项校正由吸收衰减造成的相位变化。

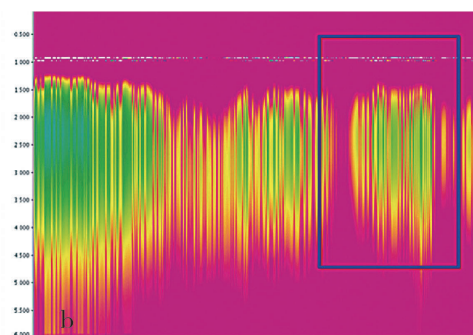
2 实际应用效果

在实际处理中, 首先将三河高精度三维的共偏移距道集估算有效 Q 值场, 图 2 为不同偏移距的有效 Q 值场。从图上可以看出, 在相同位置, 不同偏移距数据估算的有效 Q 场差异较大, 说明地震波的传播路径对地震波的吸收效应影响很大, 同时初始有效 Q 场是一个大尺度的 Q 场, 不能准确反映地下

衰减特征。



a. 偏移距 520 m

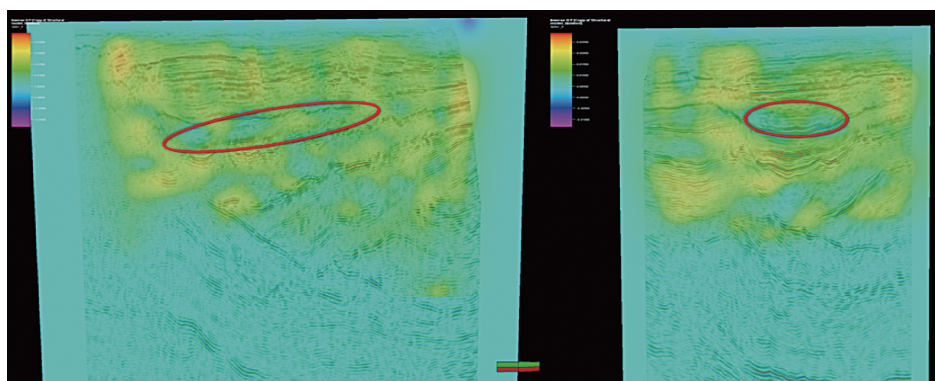


b. 偏移距 1400 m

图2 不同偏移距数据估算有效 Q 场

然后利用叠前深度偏移的速度场、剩余曲率拾取文件以及地层倾角场文件进行 Q-Diff 和 Ztomo 处理, 获得更新后的 $1/Q$ 值场数据, 并在 Petrel 中对初始 $1/Q$ 值场进行更新。图 3 为更新后 $1/Q$ 场 inline 和 xline 方向上的展示图。从图上可以看出, 三河次凹戴南组戴一段和阜宁组地层的 $1/Q$ 值偏高, 即 Q 值较小, 也就意味着三河次凹戴南组戴一段和阜宁组地层具有较强的地层吸收效应, 与声波测井数据显示的规律一致, 也和剖面上戴一段和阜宁组地层呈现低频的特点一致。

最后将更新后的 $1/Q$ 值场及速度场, 在叠前深度偏移中应用。图 4 为 Q 叠前深度偏移与常规叠前



a. 主测线

b. 联络线

图3 $1/Q$ 值场更新后属性体剖面

深度偏移的地震剖面的对比图,从图上可以看出地震资料的频宽从 7~43 Hz 拓展到 8~47 Hz,主频从 18 Hz 左右提高到 26 Hz,对三河高精度三维数据体实现了较为精确的吸收补偿,使地层的振幅信息更准确地反应出岩性变化特征。

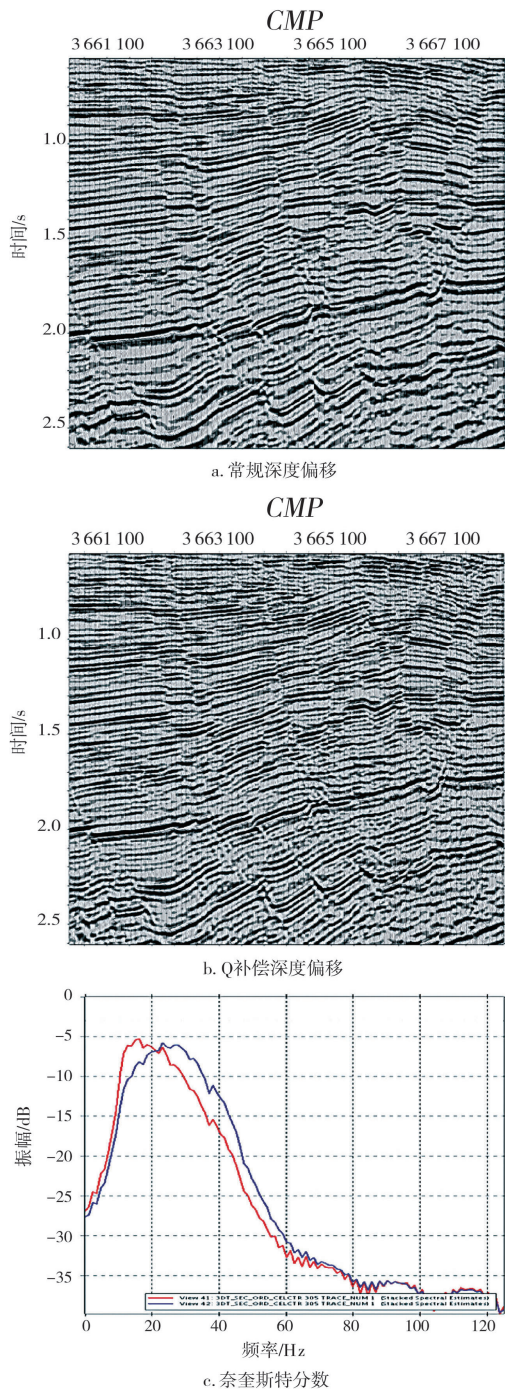


图4 常规叠前深度偏移与Q叠前深度偏移剖面对比

3 结论

通过Q偏移技术在三河次凹中的实际应用,形成了一套行之有效的Q偏移方法,获得了较好的处

理效果,并取得了以下认识:

(1)等效Q场的求取是基于叠前道集数据,因此在前期预处理中,一定要注重保幅保真处理,提高初始Q场的准确性,改善后续Q层析结果的精度;

(2)Q层析技术是利用基于射线层析方法迭代获得空变的Q场,可利用地层倾角、方位角等信息对反演结果进行约束,使该Q场较常规的Q场求取方法更加准确,与地层地质信息更加吻合,对地层吸收衰减的补偿效果也更好;

(3)Q偏移方法,改善了戴一段地震成像质量,不仅目的层的主频得到提高,而且戴一段砂体的识别精度也得到改善,在相似地区地震资料处理中具有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 白英哲,孙赞东,周新源. Q 偏移在塔里木盆地碳酸盐岩储层成像中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(z1): 7-11.

[2] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 31-38.

[3] 万欢,樊小意,刘涛,等. 叠前地震资料提高分辨率处理方法及应用[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(1): 304-311.

[4] 王兆旗,陈见伟,胡冰. 地震数据高分辨率处理技术在苏北盆地的应用[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(5): 278-283.

[5] 郭建,王威彬,胡中平,等. Q 补偿技术在提高地震分辨率中的应用——以准噶尔盆地 Y1 井区为例[J]. 石油物探, 2007, 46(5): 509-513, 530.

[6] 王西文,刘全新,吕焕通,等. 相对保幅的地震资料连片处理方法研究[J]. 石油物探, 2006, 45(2): 105-120.

[7] CAVALCA M, FLETCHER R, RIEDEL M. Q-compensation in complex media ray-based and wavefield extrapolation approaches [C]//2013 SEG Annual Meeting, Houston: SEG, 2013: SEG-2013-1130.

[8] 王兆旗,杨存,王童奎,等. Q 偏移技术在深海地震资料处理中的应用研究[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(1): 395-400.

[9] 丁在宇,郭建卿,宫同举,等. Q 偏移处理技术在浅海气云区成像的应用与效果[C]//中国石油学会 2017 年物探技术研讨会, 天津: 石油地球物理勘探编辑部, 2017: 3.

[10] TRAYNIN P, LIU J, Reilly J M. Amplitude and bandwidth recovery beneath gas zone using kir-chh-oddprestack depth Q-migration [C]. 2008 SEG Annual Meeting, Las Vegas: SEG, 2008: SEG-2008-2412.

[11] WANG Y H. Inverse-Q filtered migration [J]. Geophysics, 2007, 73(1): S1-S6.

(编辑 杨芝文)