

高精度合成地震记录制作及层位精细标定

吴湘杰,汪瑞良,袁立忠,刘 军,刘 铮

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院, 广州 510240)

摘 要:地震资料精细解释和储层预测需要对地质层位和砂体进行准确标定,合成地震记录的精度直接影响到地质层位的准确标定。在保证合理的时深关系、准确的反射系数前提下,利用测井资料得到确定性子波为提高合成地震记录精度的有效途径,理想化的雷克子波为判别地震资料品质的有效手段,二者结合提高了合成地震记录层位精细标定的精度。以南海北部珠江口盆地海域资料为例,根据理论子波合成地震记录与实际地震资料的对比分析,辨别了地震资料的有效性,地震资料 1 225 ms 强反射是受子波旁瓣影响在褶积过程中叠加了下面较强的正反射造成,非真实地层反射,不可做层序界面或标志对比层。通过标志层位的反射特征分析,标定了 1 个最大海泛面和 4 个三级层序界面,同时精确标定了 2 套砂体,识别了 2 套砂岩的顶底反射,确立了层位对比的基准面和标志层,为该区精细构造解释和岩性储层预测提供了依据。

关键词:合成地震记录;反射系数;子波;褶积;时深转换

中图分类号:P631.4 文献标识码:A

合成地震记录是连接测井信息与地震资料的纽带,应用合成地震记录标定地震层位是地震资料解释的基础,其精度直接影响地质层位的准确标定和储层精细解释。通过提高合成地震记录制作精度,确定时深关系,建立井资料与地震资料之间的准确对应关系,能够准确地标定地质层位,因此,提高合成地震记录的精度是层位标定的关键。

合成地震记录是根据简单化的褶积模型得到,其影响因素主要是时深关系的合理性、反射系数的精确性、子波的有效性。本文通过合成地震记录的原理和制作步骤,讨论了影响合成地震记录的因素,在保证合理的时深关系和准确的反射系数的前提下,通过子波分析,认为确定性子波为

提高合成地震记录精度的有效途径,雷克子波为判别地震资料品质的有效手段。在南海北部海域珠江口盆地地震资料的基础上,通过该区钻井 well 的实例分析,利用 VSP 进行时深校正,确立了合理的时深关系,分别提取了 3 种不同类型的子波,确定性子波提高了合成地震记录标定的精度,雷克子波辅助判别地震资料的真假,二者相结合可以更加精确的进行层位标定。根据波组特征进行了精确的层位精细标定,分析了标定层位的反射特征,标定了 1 个最大海泛面和 4 个三级层序界面,同时精确标定了 2 套砂体,识别了 2 套砂岩的顶底反射,为地震资料的精细解释、储层预测提供了依据^[1]。

收稿日期:2011-04-21

基金项目:国家科技重大专项“南海北部深水区储层识别技术与评价”(2011ZX05025-003)

作者简介:吴湘杰(1979—),女,硕士,工程师,主要从事地球物理综合研究工作。E-mail: wuxj@cnooc.com.cn

1 合成地震记录的基本原理

合成地震记录的制作实际是一个简单化的一维模型正演过程。首先假设①地层在横向上是均

匀的,纵向上由大量不同弹性的薄层构成;②地震子波以平面波形式垂直向下入射到界面,各薄层的反射子波都与地震子波波形相同,只是振幅和极性不同;③所有波的转换(如纵波与横波之间的转换)及吸收、绕射等能量衰减损失都不考虑^[2,3]。因此,在均匀层状介质条件下,地震记录可看作反射脉冲响应函数与地震子波的褶积。若不考虑噪声,则其数学模型如下^[4]:

$$S(t) = R(t) * W(t)$$

式中: $S(t)$ 为合成地震记录;

$R(t)$ 为反射脉冲响应函数;

$W(t)$ 为地震子波;

算符“*”代表褶积运算。

2 合成地震记录制作的基本步骤

合成地震记录的制作流程见图 1,基本步骤如下:

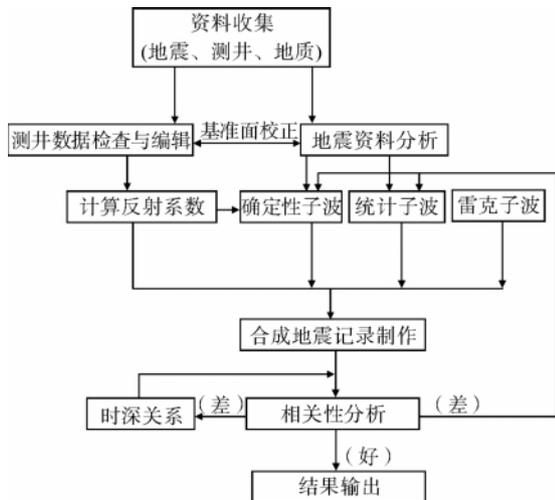


图 1 合成地震记录制作流程

Fig. 1 The flow chart of synthetic seismogram making

(1) 深度—时间转换

测井资料是按深度采样,而地震记录是按时间序列采样。为了能使二者在时间域内进行对比、交互处理解释,就需要对测井资料进行时深转换。直接利用声波时差曲线积分进行时深转换^[5],其表达式为:

$$T_h = T_0 + 2 \int_{H_0}^H \Delta t(h) dh \times 10^3$$

式中: H_0 为起始深度,m;

H 为终止深度,m;

T_0 为起始深度对应时间,ms;

T_h 为深度 h 对应的的时间,ms;

ΔT_h 为深度 h 所对应的声波时差,s/m。对不同深度的声波测井曲线进行计算,就获得深度—时间对应关系。

(2) 计算反射系数

反射系数为垂直入射时反射波振幅与入射波振幅之比,反应了上、下层介质的波阻抗差,可根据测井得到声波时差和密度计算,其表达式为:

$$R_i = \frac{\rho_{i+1} v_{i+1} - \rho_i v_i}{\rho_{i+1} v_{i+1} + \rho_i v_i}$$

式中: ρ_{i+1}, ρ_i 为第 $i+1$ 点、第 i 点密度;

v_{i+1}, v_i 为第 $i+1$ 点、第 i 点速度(声波时差的倒数)。

(3) 提取子波

子波提取一般是先从提取与地震资料主频一致的雷克子波,产生一个初始的合成地震记录,然后根据调整后的时深关系结合井旁地震道提取统计子波和确定性子波。

(4) 褶积

将反射系数与子波褶积得到井旁合成地震记录,其数学表达式为:

$$S(n\Delta t) = \sum_{-(M-1)/2}^{(M-1)/2} W(m\Delta\tau) R(n\Delta t - m\Delta\tau) \Delta\tau$$

式中: Δt 为反射系数的采样间隔;

$\Delta\tau$ 为子波采样间隔;

M 为地震子波的采样数;

n 为反射系数采样序号;

m 为子波采样序号。

3 影响合成地震记录的主要因素

合成地震记录在简单化褶积模型前提下,主要影响因素为时深转换、反射系数序列和褶积子波。

3.1 时深转换

合成地震记录与地震剖面对比的一个关键因素是时深转换。合成地震记录的时深转换一般采用声波测井积分法。声波测井一般从地下某一深

度开始测量,给定一个初始速度进行积分换算,必然造成合成地震记录的相位时移,时移的 t_0 可用声波曲线,或由测井区域平均速度和地震的叠加速度给出。但是VSP测井能准确反应地震波在地层传播速度的变化规律,因而,应采用VSP资料进行时深转换,提高时—深转换精度。

3.2 反射系数

反射系数由声波和密度计算得到,则尽可能考虑其影响因素。若测井没有密度时则需要利用Gardner公式由声波计算密度,其结果比不用密度求的精度高得多。

测井资料本身存在误差,测试数据易受井径变化、泥浆浸泡和能量衰减造成的周波跳跃等因素影响,因此所使用的数据必须环境校正和奇异值编辑,以保证反射系数的精确性。

测井资料多把补心高记录在内,与地震资料并不在统一基准面,因此,必须进行测井资料的基准面校正,确保标定地质层位的准确性。

3.3 子波

子波是影响合成地震记录制作精度的最重要因素之一,子波的类型有:

(1)雷克子波 直接给定的理想化子波,峰值频率明显,子波形态简单,根据地震资料给定相应频率,一般对齐大套波组,可判别地震资料品质;

(2)统计子波 该方法得到的子波是从井旁地震道提取,只需给定一个相位,其频率是从地震资料中得到。它是由地震道自相关得到,是多地震道平均自相关估计,得到的合成记录一般与地震资料吻合较好,是最常用的提取子波方式;

(3)确定性子波 确定性子波需要井上的反射系数序列,它是在反射系数序列与地震道互相关的最大能量时产生的子波为提取的子波。该法要求有高质量的测井曲线和准确的时深关系,以及较高的地震资料品质,得到合成地震精度比较高。

(4)时变子波 时变子波的设计是使用一个带通子波,在不同的时段内,改变其带通的频率范围,该方法使用时对于不同时段要设计不同的滤波参数,因此,要得到一个合理的时变子波有相当的难度^[6]。

子波的极性要与地震资料极性一致。当地震反射波由低速进入高速地层时反射系数为正,对应波峰,则为正极性;当地震反射波由高速进入低速地层时反射系数为负,对应波谷,则为负极性;

子波的相位可选零相位或最小相位。一般选用零相位子波,旁瓣小、延续时间短,且反射振幅的极值处对应地层界面,便于地质解释。实际地震资料经过各种处理,一般为最小相位或接近零相位,因此,子波的相位可根据实际情况自定义。

子波的频率与井旁地震道主频一致。对过井的地震资料要进行频谱分析,确定主频。由于地层的吸收,地震资料从浅层到深层频率逐渐减低。对于频谱存在差异的地震资料,为了提高合成地震记录的精度,应利用时变子波;

子波的长度选取要适宜,理想子波越短越好,因为越短就越接近与脉冲波,分辨率就越高^[7]。层对高频吸收效应,因此,在浅层,子波长度可以短些,深层子波可略长,提取子波的时窗至少3倍于子波长度。

4 实例分析

南海北部海域地震资料品质比较好,但是海域受多次波影响比较严重,在进行层位标定时需要判别资料的真伪,同时海域钻井比较少,因此,必须进行合成地震记录标定,建立层位之间的对比关系,该区发育分别广泛的MFS10.0最大海泛面,三级层序SB10.5, SB12.5, SB13.8, SB15.5。在制作合成地震记录前根据收集了井well的地质分层、岩性描述、测井数据(声波、密度、VSP、伽玛等)资料。测井数据经过了环境校正和奇异值编辑及标准化处理,根据密度和声波曲线计算出波阻抗曲线,然后根据波阻抗求取反射系数序列。根据测井的VSP数据进行了反射系数的时深转换,时间域采样间隔为1ms,进行了深时校正。

该区地震资料主频约35Hz,图2为子波的频谱分析图。统计子波与雷克子波相比,主峰比较窄,旁瓣比较小,有效频带内相位比较稳定,比较接近零相位,但存在2个主频。确定性子波存在相位旋转,左侧旁瓣比右侧旁瓣稍大,频带较宽,主频单峰,兼顾浅层的高频和深层的低频,相

位有效范围内较稳定,反应地震资料的真实相位信息,确定性子波比较接近实际的地震和地质资料。

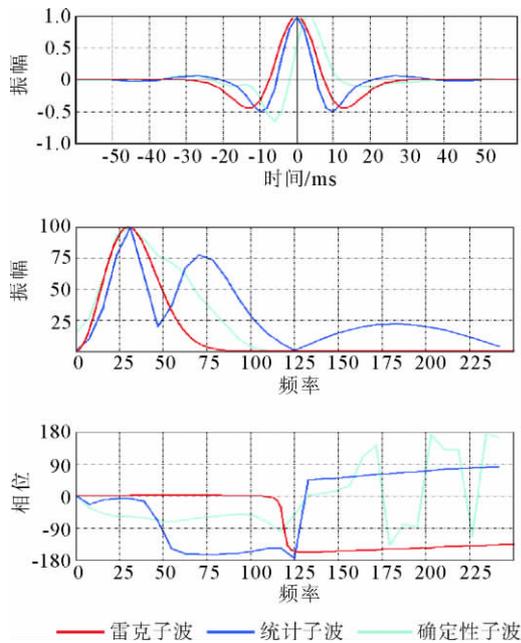


图 2 子波频谱分析

Fig. 2 The diagram of wavelet spectrum

根据提取的资料进行合成地震记录的制作,图 3 为井 well 合成地震记录综合剖面。选取地震资料主频 (35 Hz) 一致的零相位雷克子波,利用 VSP 资料作为初始时深关系,通过整体漂移调整,在时窗 1 200~1 700 ms 达到最大相关系数为 0.618。根据井旁地震资料提取统计子波制作合成地震记录,通过对时深关系的调整,达到最大相关为 0.664。根据反射系数序列和地震资料提取确定性子波,通过调整时深关系,达到最大相关为 0.684。根据子波分析和相关性比较,确定性子波与井旁道吻合程度最好,提高了合成地震记录制作的精度。

通过几种子波的合成地震记录与地震剖面对比,有助于判别地震资料品质,识别真伪信息,更好的识别岩性信息及其反射响应。地震剖面 1 225 ms 存在强的正极性同向轴(图 3),利用雷克子波的合成地震记录没有此波形响应特征,而统计子波的波形特征稍微有些改变,但是确定性子波波形特征与地震资料比较吻合,显现了该同

向轴只是振幅比较弱。由此可见利用不同的子波,合成地震记录的反射响应特征存在差别。理想的雷克子波可以对比大套波组,虽然相关性并不高,但是反射特征较接近真实地层响应,而统计子波兼顾了地震资料处理中反褶积子波并非理想化,最接近实际的地震剖面特征,确定性子波相关性最好,最真实的反应地下地层的真实情况,但是受测井高频资料的影响,应做具体分析。结合 3 种子波合成地震记录的对比分析,地震资料 1 225 ms 强反射是确定性子波左侧旁瓣影响造成,而非地层的真实反射,是褶积过程中叠加了下面较强的正反射造成,因此精细解释中不可做层序界面或标志对比层。

通过制作合成地震记录对地质分层进行了精确的标定,标定了 4 个三级层序(图 3)。通过整体时移和相关性分析,以确定性子波对应的时深关系为最终的时深关系,以此为标准进行了层位的标定。MFS10.5 为该区最大海泛面,该界面上部为一套低速低密度泥岩,下部为一套高速高密度砂岩,两者之间存在明显阻抗界面,形成正反射系数界面,地震剖面上形成连续强反射界面,可作为层位标定的基准面。SB10.5 层序界面对应零相位反射,下部为一条低速低密度低阻抗的泥岩。SB12.5 为大套泥岩中的层序界面,波组特征为负弱振幅反射。SB13.8 为一套低速低密度块状砂岩的顶界面,块状砂岩顶底界面地震剖面上形成两强反射波峰,中间弱振幅为砂岩反射,砂岩的顶底界面分别对应中间弱反射与上下强反射过渡的零相位,可作为地层对比的标志层。SB15.5 为一套低速低密度砂岩,物性界面形成强的阻抗差异,砂岩顶底分别为强振幅反射,砂岩对应中间弱振幅,可作为地层对比的标志层。通过合成地震记录制作,对地质层位进行了精细的标定,结合测井响应对反射特征进行了分析,对区域地震资料和岩性地层解释起指导性作用。

5 结论

(1)合成地震记录的制作实际是一个简单化的一维模型正演过程,通过提高合成地震记录制作精度,能够准确的标定地质层位,确定时深关系,建立井资料与地震资料之间的准确对应关系。

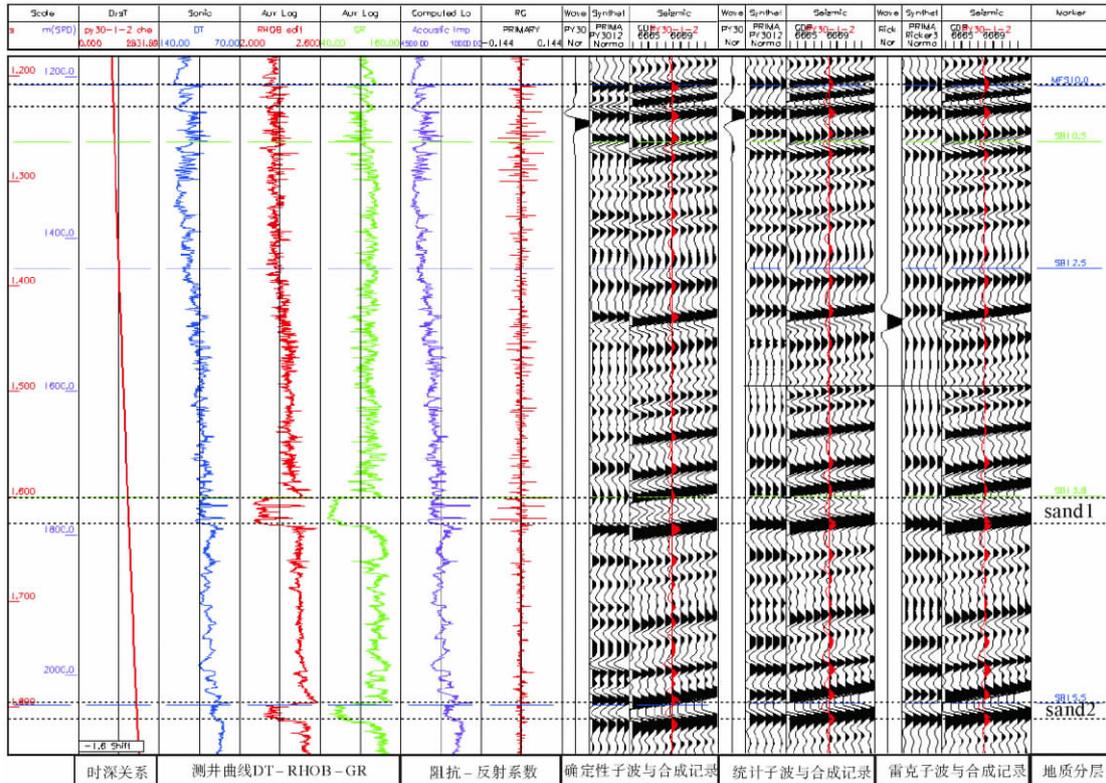


图3 Well井合成地震记录综合剖面

Fig. 3 The integrated profile of synthetic seismogram of well No. Well

(2) 提高合成地震记录精度必须确保合理的时深关系和精确的测井数据及有效的褶积子波。通过子波的对比如分析, 综合利用测井和地震资料提取的确定性子波为提高合成地震记录精度的有效途径, 利用雷克子波制作合成地震记录为分辨地震资料品质提供了有利手段。

(3) 实例分析表明, 确定性子波制作合成地震记录精度最高, 结合雷克子波可辨别地震资料真伪, 尤其是多次波比较严重的海域地震资料, 通过合成地震记录精确标定该区最大海泛面和三级层序, 及2套砂体, 分析了标定层位的反射特征, 确立了层位对比的基准面和标志层, 为地震资料的精细解释、储层预测提供了依据。

参考文献:

[1] 吴海鸥, 武天祥, 陈 猛, 等. 合成地震记录制作的制约因

素探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2008, 34(8): 34-36.
 [2] 孙立新, 宁方柱, 孟宪德. 人工合成记录在大汶口石膏矿区的应用[J]. 中国煤田地质, 2002, 14(3): 64-65.
 [3] 陈广军. 合成地震记录制作与标定中的争论及注意的问题[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2002, 17(4): 19-23.
 [4] 单刚义, 韩立国, 张丽华, 等. 子波整形提高合成地震记录质量[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(s1): 182-184.
 [5] 李宗杰. 合成地震记录的人机交互制作方法及应用[J]. 石油地球物理勘探, 1999, 34(s1): 96-102.
 [6] 高国民, 胡望水, 黄玉欣, 等. 合成地震记录子波提取方法[J]. 内蒙古石油化工, 2008, 34(1): 130-132.
 [7] 洪余刚, 陈景山, 代宗仰, 等. 合成地震记录层位精细标定应用研究. 中国石油勘探, 2005, 10(6): 45-47.

HIGH PRECISION SYNTHETIC SEISMOGRAM FOR SEQUENCE BOUNDARY CALIBRATION TAKING THE PEARL RIVER MOUTH BASIN AS AN EXAMPLE

WU Xiangjie, WANG Ruiliang, YUAN Lizhong, LIU Jun, LIU Zheng

(Institute of Shenzhen Branch of CNOOC Ltd, Guangzhou 510240, China)

Abstract: The accurate calibration of stratigraphic boundaries and sand bodies, which are critical to fine interpretation of seismic data and reservoir prediction, depends on the precision of the synthetic seismogram. It is found that definite wavelet extracted from logging data is an effective way to enhance the precision of synthetic seismogram if rationale time—depth relation and accurate reflection coefficient are adopted, and the Ricker wavelet is an effective tool to judge the quality of seismic data. The combination of the definite wavelet and Ricker wavelet will provide a way to upgrade the precision of geological boundary calibration. In this paper, taking the Pearl River Mouth Basin of the Northern South China Sea as an example, through correlation of the synthetic seismogram and the acquired data, we evaluated the effectiveness of seismic data. The strong reflection of 1225 ms was not a real reflection of a geological boundary, but a superposition of a deeper strong normal reflection during convolution influenced by the side lobe of definite wavelet. Therefore, it does not represent a sequence boundary. Based on the careful study of reflection features of the sequence, a maximum flooding surface and four 3rd order sequence boundaries as well as two sets of sand bodies were identified as the markers for stratigraphic correlation, fine structural interpretation and reservoir prediction.

Key words: synthetic seismogram; reflection coefficient; wavelet; convolution; time-depth domain transformation