

叠前地震反演预测民丰地区沙四段 盐下砂砾岩体含油气性

李桂梅

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要:利用叠后地震反演进行油气检测存在一定的局限性,因此提出了利用叠前地震反演预测民丰地区沙四段盐下砂砾岩体的含油气性。首先,通过岩石地球物理特征分析,求取目的层段的密度、纵波速度、横波速度和泊松比等参数;然后,通过正演模拟分析气层在叠前地震道集上的响应特征;最终,根据交会分析技术,对比了截距—梯度、速度—密度、拉梅常数—剪切模量和速度—泊松比等参数对油气检测的适用性,优选对研究区储层含油气性比较敏感的拉梅常数和泊松比作为反演参数。通过叠前地震反演,分析了敏感参数对气层的判识程度。应用结果表明,通过对叠前地震反演提取的拉梅常数和剪切模量2组参数进行交会解释,气层反射特征与丰深1井砂砾岩体实钻结果吻合较好,预测有利含气面积为109 km²,天然气资源量为290×10⁸ m³。

关键词:叠前地震反演 含油气性 砂砾岩体 正演模拟 民丰地区

中图分类号: P631.433

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)02-0052-03

在沙四段沉积时期,东营凹陷北部陡坡带边界断层活动剧烈,形成了沟梁相间的古构造格局,沿古冲沟发育了大量的水下扇、浊积扇等砂砾岩体。民丰地区位于陡坡带东部,丰深1、丰深3等探井相继在沙四段的盐下深层砂砾岩体中发现油气藏,证实了该地区砂砾岩体深层油气成藏体系的存在,砂砾岩体也成为民丰地区深层油气勘探的主要目标^[1-4]。对研究区已钻井资料的分析结果表明,沙四段盐下砂砾岩体的物性普遍较差,属于低孔隙度、低渗率储层,单纯预测砂砾岩体发育区并不能满足生产需求,准确地预测深层砂砾岩体的含油气性才是研究区勘探的关键问题。

基于叠后地震数据的波阻抗反演虽然可以较好地反映砂砾岩体在平面上的分布规律以及纵向上不同期次的发育特征^[5],但由于其包含的地球物理信息相对有限,在预测储层含油气性方面存在一定的局限性。而叠前地震数据保留了地震反射振幅随偏移距或入射角增大而变化的特征,在提供更多能够反映储层纵横向变化的地球物理参数的同时,也适用于对储层开展含油气性检测研究。为此,笔者基于叠前地震数据,利用岩石地球物理特征分析、地震正演模拟及叠前地震反演^[6-9]等相关技

术对民丰地区沙四段盐下砂砾岩体的含油气性进行预测,以期对砂砾岩体油气藏的勘探开发提供技术支持。

1 岩石地球物理特征

岩石地球物理特征分析是利用地震资料开展储层预测研究的基础。根据钻井资料分析,研究区沙四段下亚段储层物性较差,非均质性强。在纵向上,相对于上覆盐湖沉积地层,砂砾岩体层速度明显偏高,并随埋深增加而增大,由于砂砾岩体与围岩之间的波阻抗差较大,因此,叠后波阻抗反演能够较好地反映砂砾岩体的宏观分布。当砂砾岩体含气后层速度降低,致使其与围岩的波阻抗差减小,导致无法有效地将含气层与围岩区别出来,这也是叠后地震反演无法用于研究区油气检测的主要原因。

横波速度是进行叠前地震反演必备的参数,但研究区缺少实测横波速度资料,为此,在岩石地球物理特征分析基础上,利用叠前地震数据体,通过弹性波形反演方法^[10]求取了研究区密度、纵波速度、横波速度和泊松比等参数。通过对曲线进行标

收稿日期:2013-02-01。

作者简介:李桂梅,女,工程师,从事石油地质与勘探研究。联系电话:(0546)8715488,E-mail:liguimei_slyt@163.com。

基金项目:国家“863”计划“油藏地球物理关键技术”(2011AA060300)。

定,可以看出气层具有明显的密度和泊松比降低特征,表明弹性参数对储层含油气性敏感,可作为砂砾岩体含油气性检测的岩石地球物理参数。同时,目的层的纵波速度和横波速度均减小,其中纵波速度降低幅度大于横波速度,即气层表现为纵、横波速度比减小的特征。

2 叠前地震反演敏感参数确定

2.1 气藏 AVO 特征

在岩石地球物理特征分析基础上,将民丰地区高精度三维地震数据经过叠前精细保幅和叠前时间偏移处理,获得了品质较好的叠前地震道集。以该数据体为基础,利用常速度梯度射线追踪法^[1]与主频为 20 Hz 的雷克子波合成叠前地震记录进行叠前地震道集正演模拟。模拟结果(图 1)显示,当入射角为 $3^\circ \sim 27^\circ$ 时,丰深 1 井气层呈现振幅随入射角偏移距增加而增大的 AVO 特征,表明该套地震数据体能够满足叠前地震反演预测研究区深层砂砾岩体含油气性的需要。

2.2 敏感参数确定

由于民丰地区沙四段砂砾岩体物性较差且非

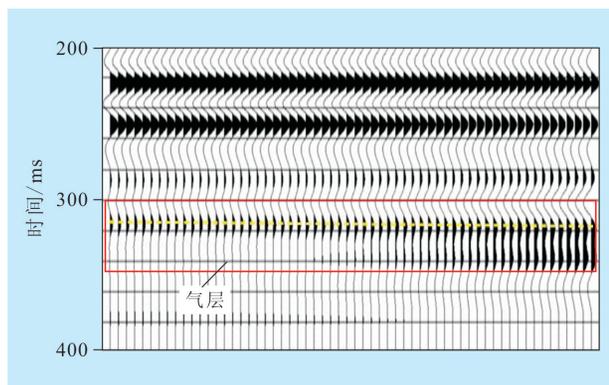


图 1 丰深 1 井叠前地震道集正演模拟结果

均质性强,利用单一弹性参数很难解决气层与非气层的识别问题。因此,需要对叠前地震反演获得的各种参数的适用性进行综合分析。而多参数交会是对深层气藏参数进行预测、分析和描述的有效技术。对丰深 1 井叠前地震道集正演模拟结果进行多参数交会分析,分别得到截距—梯度、速度—密度、拉梅常数—剪切模量和速度—泊松比等参数的交会图(图 2)。由分析结果得知,对气层识别效果最好的是拉梅常数,其次是速度—泊松比。因此,在叠前地震反演中,优选拉梅常数和泊松比作为研究区叠前地震反演的敏感参数。

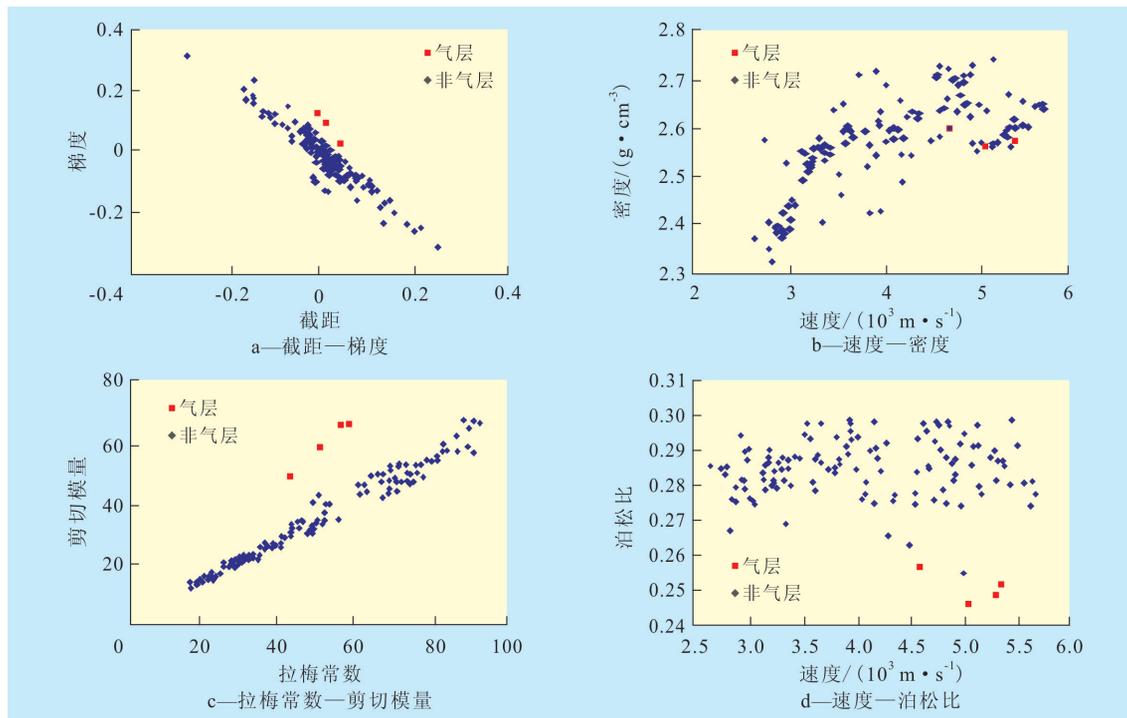


图 2 丰深 1 井叠前地震道集正演模拟结果多参数交会分析

3 叠前地震反演

叠前地震反演的理论基础是 Zoeppritz 方程,该

方程可以满足在弹性参数相对变化和入射角度都比较大的条件下进行叠前地震反演的要求。由于 Zoeppritz 方程求导出的反射系数形式复杂且不易进行数值计算,因此根据需求对其进行了简化。

在多数地球物理介质中,由于相邻2层介质的弹性参数变化较小,因此界面两侧纵波速度、横波速度及密度的变化量与其相对应纵波平均速度、横波平均速度和平均密度的比值为最小值,假定所有入射角度均为实数且不超过临界角,根据斯奈尔定理,可以根据一级近似线性化方程,求取随角度变化的纵波反射系数

$$R(\theta) \approx 0.5 \sec^2 \theta \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - 4\bar{\gamma}^{-2} \sin^2 \theta \frac{\Delta\beta}{\beta} + 0.5(1 - 4\bar{\gamma}^{-2} \sin^2 \theta) \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad (1)$$

式中: R 为纵波反射系数; θ 为分界面的入射角和透射角的平均角度, ($^\circ$); $\Delta\alpha$ 为地层界面两侧的纵波速度差, m/s; α 为纵波平均速度, m/s; $\bar{\gamma}$ 为纵、横波平均速度比; $\Delta\beta$ 为地层界面两侧的横波速度差, m/s; β 为横波平均速度, m/s; $\Delta\rho$ 为密度的变化量, g/cm³; ρ 为平均密度, g/cm³。

式(1)结合叠前地震正演模拟分析获取的拉梅常数和剪切模量等参数,是民丰地区沙四段盐下砂砾岩体进行叠前地震反演的基础。

4 应用实例

由于民丰地区沙四段盐下砂砾岩体沿断层面发育,与洼陷内沉积地层呈角度不整合接触,因此如果采用常规的方法在较小的时窗内进行反演,势必会造成解释层位穿层现象,影响油气藏预测结果的准确性。针对这一问题,以盐下砂砾岩体沉积期次划分为基础,对基岩面及砂砾岩体包络面进行了精细解释。在叠前地震反演过程中,以基岩面及砂砾岩体包络面2个解释层位作为时窗约束层,利用研究区的三维叠前地震资料以及地震正演模拟分析获得的拉梅常数和密度等参数进行叠前地震反演,得到该地区密度相的拉梅常数和剪切模量2组参数,将2组参数进行交会解释可以获得丰深1井拉梅常数—剪切模量交会解释剖面,剖面镂空后的反射特征反映出丰深1井气层的分布情况,其中4 316.6~4 390.4 m井段测井综合解释的4套气层在反演结果中均得到了较好的反映。利用拉梅常数—剪切模量交会解释剖面,对民丰地区沙四段各期次砂砾岩体进行解释,预测有利含气面积为109 km²,天然气资源量为290×10⁸ m³。

5 结束语

在利用叠前地震反演预测民丰地区沙四段盐下砂砾岩体含油气性的过程中,通过岩石地球物理特征分析,求取密度、纵波速度、横波速度和泊松比等参数;通过正演模拟分析了气层在叠前地震道集上的地震响应特征;根据交会分析技术筛选出对储层含油气性相对敏感的拉梅常数和泊松比作为反演参数,通过叠前地震反演,分析了敏感参数对气层的判识程度。应用该方法预测了民丰地区沙四段盐下砂砾岩体的含油气性,通过叠前地震反演提取的拉梅常数和剪切模量2组参数进行交会解释,其结果较好地反映了丰深1井砂砾岩体的含气情况,预测有利含气面积为109 km²,天然气资源量为290×10⁸ m³。

参考文献:

- [1] 李延钧,宋国奇,李文涛,等.济阳坳陷东营凹陷北带丰深1井区深层沙四段下亚段古油藏与天然气成因[J].石油与天然气地质,2010,31(2):173-179.
- [2] 李军亮.民丰洼陷盐下深层天然气储层特征[J].油气地质与采收率,2007,14(4):48-49.
- [3] 王树刚,李红梅,魏文,等.东营凹陷北带深层砂砾岩体的地震预测方法[J].石油物探,2009,48(6):584-590.
- [4] 李凤娟.东营凹陷北部陡坡带天然气成藏条件及模式分析[J].复杂油气藏,2009,2(4):7-11.
- [5] 赵铭海.常用叠后波阻抗反演技术评析[J].油气地质与采收率,2004,11(1):36-38.
- [6] 王玉梅.叠前地震反演精度影响因素[J].油气地质与采收率,2013,20(1):55-58.
- [7] 安鸿伟,李正文,李仁甫,等.稀疏脉冲波阻抗反演在YX油田开发中的应用[J].石油物探,2002,41(1):56-60.
- [8] 全敏波,高飞,李春霞,等.叠前密度反演在苏北盆地永区储层及烃类预测中的应用[J].油气地质与采收率,2012,19(4):42-45.
- [9] 王西文,苏明军,徐尚成,等.叠前地震反演在柴达木盆地三湖地区天然气预测中的应用[J].石油地球物理勘探,2008,43(3):300-307.
- [10] 郭栋,印兴耀,吴国忱.横波速度计算方法[J].石油地球物理勘探,2007,42(5):535-538.
- [11] 吴国忱,王华忠,马在田.常速度梯度射线追踪与二维层速度反演[J].石油物探,2003,42(4):434-440.