

· 综合研究 ·

碎屑岩储层预测技术适用性研究

张以明* 康洪全 沈华 常建华

(中国石油华北油田分公司,河北任丘 062250)

张以明,康洪全,沈华,常建华. 碎屑岩储层预测技术适用性研究. 石油地球物理勘探, 2008, 43(4): 447~452

摘要 储层预测技术已成为岩性油藏勘探的常规技术。本文通过二连盆地三个岩性油藏勘探实例,对碎屑岩储层预测常用技术和软件的适用性进行了研究。其中实例1为巴音都兰凹陷的巴Ⅰ和巴Ⅱ号构造区,分别发育有扇三角洲砂体,由于地震资料分辨率偏低,扇体分布不清。在采用沿层属性提取及多元油气预测技术之后,确定了砂体有利分布区,并经钻探证实。实例2为乌里亚斯太凹陷的陡坡湖底扇砂砾岩体,主要应用沿层属性提取技术及 ISIS 和 Jason 反演软件确定砂砾岩体的展布特征,然后利用电阻率反演预测砂砾岩体的含油性,也获得了成功。实例3为赛汉塔拉凹陷陡坡带水下扇砂体,主要依据一口已知砂体的井预测相距 2km 的另一口井的砂体,结果预测失败,主要原因是对该区的沉积微相研究不够,预测方法选用不当。

关键词 碎屑岩 储层预测 扇三角洲砂体 湖底扇 下水扇 适应性研究

1 引言

储层预测技术已成为岩性油气勘探中的一项常规应用技术。常用的碎屑岩储层预测技术分为地震属性分析技术和地震叠后反演技术两大类。前者主要包括地震属性提取、相干体分析、地震波形属性分析等多种技术手段,常用的软件有 Landmark、Geo-frame、Stratimagic 等;后者主要包括递推反演、模型反演和多参数岩性地震反演等,常用反演软件有 Jason、Strata、ISIS 和 EPS 等。

本文结合华北油田近几年岩性油藏勘探成功实例,系统总结了常用碎屑岩储层预测技术的方法特点和常用软件的适用条件,对如何提高储层预测水平和精度提出了思考与对策。

2 常用储层预测技术应用条件及相关注意问题

2.1 地震属性分析技术

2.1.1 地震属性提取

由于地震属性具有多解性,所以在应用地震属性解释地质现象时,首先应当了解地质异常引起相

应地震异常的特点,然后再选择有效属性。在有钻井的地区,一定要利用井资料对地震属性计算结果进行标定;无井的地区,需利用沉积相来完成地震属性的解释。

提取地震属性时另一个重要参数是计算时窗的选取。时窗的选择应做到尽可能剔除目的层外的地震信息,同时又要考虑地震资料固有的分辨率,以保证提取的地震属性可信。

2.1.2 相干体分析

在使用相干体技术对地震资料进行评估时,一定要以高信噪比地震资料为依据,只有利用信噪比高的资料解释出的断层、河道和三角洲等才可信。针对薄层碎屑岩砂体横向变化的特点,在应用相干计算时,一定要注意哪些变化是断层产生的,哪些变化是岩性变化引起的,这一点对预测储层变化很重要。

2.1.3 地震波形属性分析

常用的地震波形属性分析软件是 Stratimagic 软件。利用 Stratimagic 软件进行地震相研究时,需要注意以下几点:①在使用软件时应保证地震数据的保真度;②应用 Stratimagic 软件对地层尖灭、强波中断、角度不整合、前积、顶底超等范围的分布追踪效果较好,但时窗、波形分类参数的选取将影响分

* 河北省任丘市华北油田分公司,062250

本文于2008年3月10日收到,修改稿于同年6月21日收到。

析结果的精度;③该软件所需的层位数据最好是自动追踪的结果,这样所得到的地震相图比较平滑,否则会出现一些条带状;④最小层段的厚度应为半个相位,不能过厚,若选择层段太厚,期间可能包含多个相序,无法解释计算结果。

2.2 叠后反演技术的应用条件及相关注意问题

2.2.1 递推反演

递推反演方法具有较宽的应用领域。在勘探初期通过反演资料进行岩相分析,确定地层的沉积体系;到开发时期,在储层较厚的条件下,可为地质建模提供较可靠的构造、厚度和物性信息;在油藏监测阶段,通过时延地震反演速度差异分析,可帮助确定储层压力、物性的空间变化,进而推断油气前缘。由于受地震频带宽度的限制,递推反演资料的分辨率较低,不能满足薄储层研究的需要。

目前采用递推反演方法所编制的软件 ISIS、EPS、Jason 中的 Invertrace 都具有各自的特点。ISIS 具有处理大时窗、大数据资料的特点,缺点是计算效率低,反演的波阻抗分辨率不高,不适合薄层反演。

EPS 反演软件实现了储集体岩性解释系统和储层预测与解释一体化,如同传统的构造解释系统一样,岩性解释系统对于油气勘探具有重要的意义。

2.2.2 模型反演

测井约束地震反演技术把地震与测井有机地结合起来,突破了传统意义上地震分辨率的限制。多解性是测井约束地震反演技术的固有特性,主要取决于初始模型与实际地质情况的符合程度,在同样的地质条件下,钻井越多,结果越可靠。基于以上原因,测井约束反演通常适用于钻井数量较多的地区,并且井点分布相对比较均匀,这样才能保证反演结果的质量。原则上根据已知钻井和测井资料建立的初始模型要正确反映地下地质体的基本框架和地质规律,地质体的横向变化细节主要依靠地震数据反演来刻画。根据储层的特征,要选用合适的反演方法。

以 Jason 软件为例,在勘探阶段和开发的早期,由于井相对较少,可以用 Jason 中的 Invertrace 来完成储层描述工作,以地震资料为主,限制条件少,适应性强,但其分辨率低;在勘探中后期,开发各个阶段,井相对较多,可用 Jason 中的 Statmod 或 Invertrace+Statmod 来完成储层/油气藏描述工作。该方法分辨率高,限制条件较少,适应性较强。

对于目前的多种反演软件,也可以根据不同的地质情况来选择应用。例如:对于简单的地质构造,大套厚储层来说,EPS、Jason 等反演软件均可;对于储层为砂泥岩薄互层的情况,可以用 EPS 和 Jason 联合反演的方法,或者 EPS 的拟声波反演;而对于储层为厚层泥岩夹薄层砂岩或者是受钙质泥岩的影响,波阻抗反演无法将钙质泥岩与储层分开,就要采用 EPS 储层参数反演或者是 Jason 中的 Statmod 反演来预测储层。

3 储层预测实例剖析

3.1 巴音都兰凹陷陡坡带扇三角洲砂体

3.1.1 地质概况

巴音都兰凹陷位于二连盆地马尼特拗陷东北部,面积约 1200km²。1978 年投入钻探,勘探工作几经反复未能突破,成为二连盆地发现油气最早却久攻不克的凹陷。反转构造是该凹陷的主要构造样式,为地层岩性圈闭的形成提供了有利的构造背景;在巴 I、巴 II 号构造区发育了南北两大高位体系域的扇三角洲沉积体系,辫状水道十分发育,发育了众多的砂体。这些砂体的展布主要受沉积时的构造背景控制,与现今的构造形态并不完全吻合。

3.1.2 储层预测的难点与预测方法选择

该区主要存在两方面难点:一是现有的地震资料分辨率较低、品质较差;二是如何在平面上确定扇体的大小及砂体的含油性。针对上述难点,在地震资料重新处理及解释的基础上,进行了多种储层预测方法的试验,最终优选出适合于陡坡带扇三角洲砂体的识别与横向预测技术。

(1)利用沿层属性提取砂体初步预测的分布范围 首先选用 Landmark 属性提取技术分别对巴 II 号、巴 I 号构造进行砂体分布范围的预测。利用该方法提取了均方根振幅、瞬时频率、反射强度等 10 余种地震属性,经过与已钻井资料对比分析认为,利用均方根振幅属性可以较好地预测出该区砂体在平面呈扇形展布的特征(图 1)。再通过 ISIS 地震反演,可清晰地刻画出巴 9 井岩性体在横向上呈透镜状形态。随后利用此预测结果部署了巴 19 井、巴 21 井,均获得成功。在此基础上,又利用波形分类技术查清了该井区地震异常体的分布范围,相继又部署了巴 18、巴 22 井,也获得成功(图 2)。

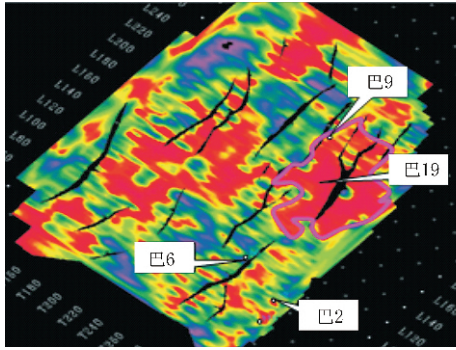


图 1 巴 I 号构造巴 19 井区阿四段 II 砂组均方根振幅

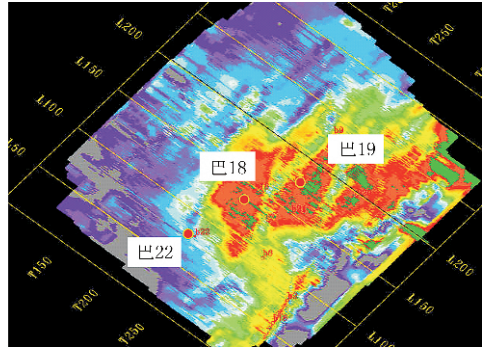


图 2 巴 19 井区 Stratimagic 预测平面图

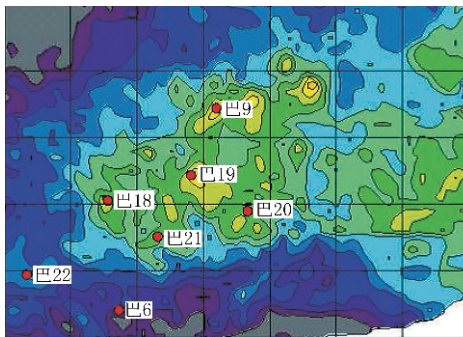


图 3 阿四段 II 油组储层厚度图

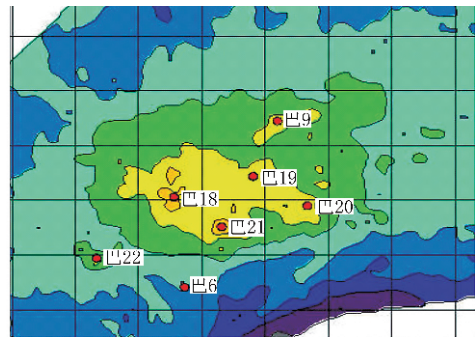


图 4 阿四段 II 油组含油饱和度图

(2)利用多元油气信息技术定量预测砂体的含油性。采用多元油气预测方法(MDI)对巴 19 油藏阿四段 II 砂组的油层有效厚度、孔隙度、含油饱和度等参数进行研究,认为该砂组油层有效厚度呈土豆状分布,位于该区中心部位的巴 19、巴 18、巴 21 井处油层较厚,在 15~27m 之间(图 3)。孔隙度呈北东向条带分布,高值区主要分布在巴 19、巴 21 井区,向南北两侧逐渐变小,有利砂体孔隙度为 10%~22%。含油饱和度主体呈北东向分布,高值区主要在巴 18、巴 19、巴 21 井区,含油饱和度为 50%~65%(图 4)。

3.1.3 应用效果分析

采用上述储层预测方法预测的砂体分布范围与厚度变化情况与实钻结果吻合较好。在发现了巴 19 油藏后,为扩大该区的勘探范围,又分别在巴 II 号构造发现了巴 38 油藏,在巴 I 号构造上发现了巴 10、巴 5、巴 48、巴 36 等油藏。历经三年勘探,预测巴音都兰凹陷储量达到 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以上。

3.2 乌里亚斯太凹陷陡坡带湖底扇砂砾岩体

3.2.1 地质概况

乌里亚斯太凹陷位于二连盆地马尼特拗陷东北

部,面积近 3000km²。该凹陷南洼槽总体上具有西断东超的箕状结构,构造相对简单,斜坡带上断层比较少,但发育有扇三角洲、湖底扇等多种沉积砂砾岩体和超覆尖灭砂岩体。其中,在斜坡中低部位坡折带处湖底扇沉积体系发育,与之有关的砂砾岩体常夹持于生油层系之间,利于形成岩性油气藏。

3.2.2 储层预测的主要难点与预测方法的选择

本区主要存在三个方面难点:一是砂体横向变化大,地震相存在多解性;二是如何准确预测有利沉积微相发育区;三是有利储层非均质性强,含油性差异大。针对湖底扇砂体的特点优选以属性分析和储层反演为主的预测技术。

(1)利用沿层地震属性提取和 ISIS 及 Jason 波阻抗反演方法进行储层预测。太 53—太 41 井区为湖底扇沉积体系,砂砾岩体夹于暗色泥岩之间,单层厚度大,常规声波反演波阻抗曲线有明显的响应特征。针对上述特点,首先利用沿层地震属性提取和 ISIS 及 Jason 波阻抗反演方法对本区储层进行预测。通过反演可知太 21 砂砾岩体在斜坡高部位还有较大面积的分布,并且有变厚的趋势(图 5)。据此部署太 41 井,钻探发现厚油层。

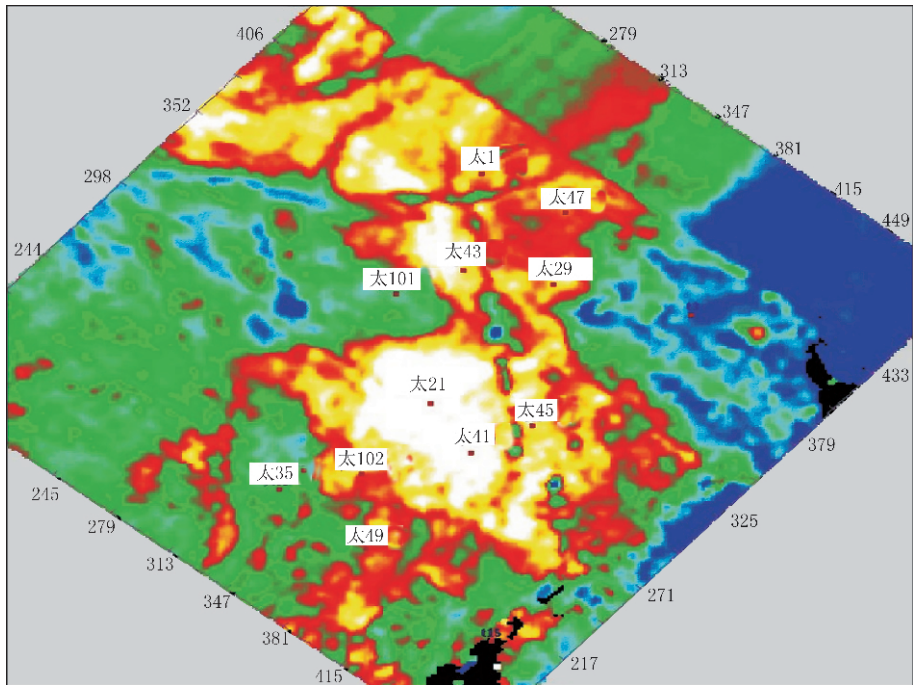


图5 太43油层 Jason 波阻抗反演平面图

(2)结合新钻井资料利用 Jason 波阻抗反演进一步刻画储层分布特征 通过利用新井资料进一步约束反演发现,湖底扇砂砾岩体纵向上表现为多期砂体相互叠置的特点(图6)。平面上太43井砂砾岩体分布广,横向分布较稳定,连通性较好,油层在太21井一带由于受古地形影响而厚度减薄,向南部和北部厚度增大,但在岩性体边部厚度减小,变为致密层。多个砂体平面互相交会连片形成岩性圈闭。为太47、太27、太29等井的钻探提供了依据。

(3)利用电阻率反演预测砂砾岩体的含油性在波阻抗反演精细刻画储层变化的基础上,利用电阻率反演预测砂砾岩体含油饱和度的空间变化(图7),结合运用 EPS 反演软件预测的砾岩厚度图,控制了油藏的分布范围。

3.2.3 成功原因分析

总结储层预测成功的主要原因有两个方面:一是查清了沉积微相的类型,指导储层预测;二是抓住了砂砾岩体的特征参数变化特点,采用了合理的预测技术。

3.3 储层预测不成功实例分析——赛汉塔拉凹陷陡坡带水下扇砂体预测

3.3.1 地质概况

赛汉塔拉凹陷隶属于二连盆地腾格尔拗陷,凹陷的北西方向与苏尼特隆起相接,向南与温都尔庙隆起相连,向东与查干诺尔凸起相邻,东西宽17~29km,南北长85km,面积约2300 km²。截止到2004年底,该区已钻探井79口。经层序地层学分析,认为该凹陷陡坡带发育水下扇沉积体系,具有

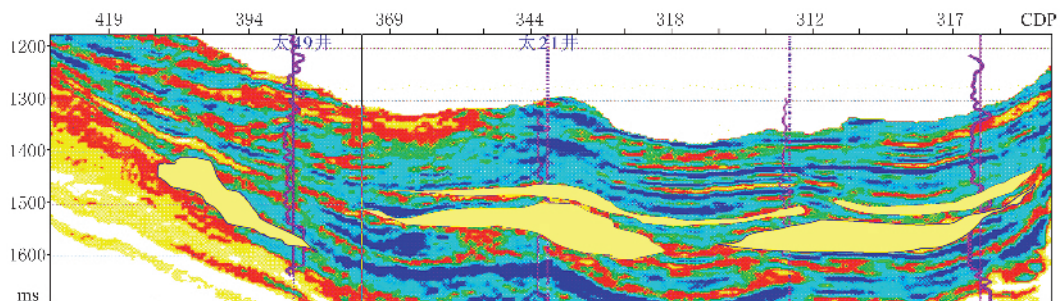


图6 太49—太21连井波阻抗反演剖面图

沉积相带窄、储层横向变化快的特点,因此给储层预测带来困难。

3.3.2 储层预测情况

(1)2001 年曾在赛 79 鼻状构造的西侧钻探赛 66 井获得成功。为了对该油藏做进一步评价,部署了赛 68 井(图 8)。根据赛 66 井腾一段 II 砂组为强

振幅高连续地震相特征,预测与其反射特征相同的赛 68 井的储层情况。

(2)通过波阻抗递推反演结果表明,赛 68 井处为高波阻抗特征(图 9a),在均方根振幅图上赛 66 井与赛 68 井特征相同(图 9b),因此预测赛 68 井砂岩发育。但实钻为泥岩,预测失利(图 9c)。

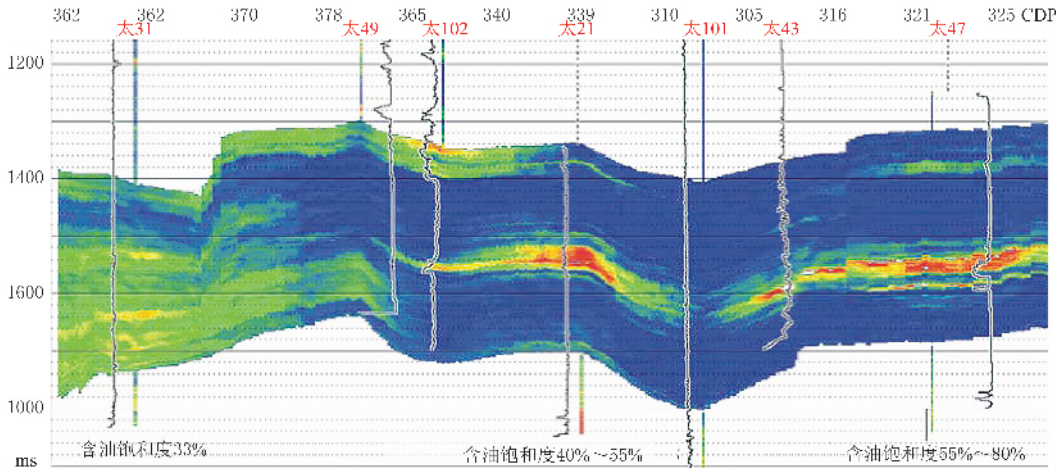


图 7 太 31—太 47 井的连井电阻率反演剖面图

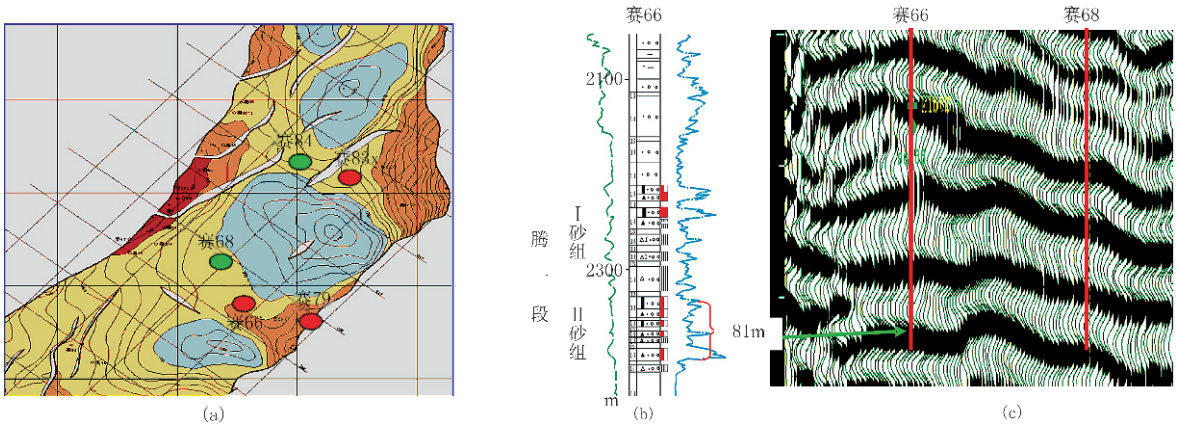


图 8 赛 79 井鼻状构造上勘探条件分析图

(a)赛 79 井井区勘探位置;(b)赛 66 井腾一段岩心及对应的测井曲线;(c)过赛 66 井—赛 68 井地震剖面

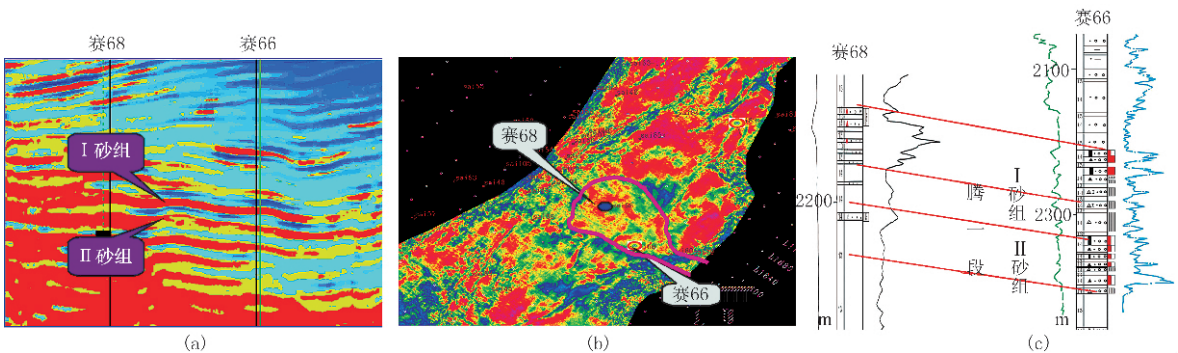


图 9 赛 68 井—赛 66 井波阻抗反演与地震属性、岩心对比图

(a)波阻抗反演剖面;(b)均方根振幅图;(c)岩心对比图

3.3.3 失利原因分析

根据预测结果,在赛66井西北方向2km钻探赛68井。实钻结果与预测结果存在很大偏差,赛66井砂泥岩等厚互层的储集层段,砂岩累计厚度81m。但在赛68井区变为厚层泥岩夹薄层砂岩,砂岩厚度减薄为12m,储层物性变差。分析储层预测出现失误的原因主要有:一是针对粗相带、相变快的砂砾岩,相带(包括区域沉积相及微相)研究不够,仅依据井的外推作用偏大;二是振幅属性选取不合理,因为对于强振幅、连续性好的储层选取振幅属性进行预测极易造成预测的储层面积偏大,此时应考虑其他属性分析。

4 提高储层预测水平的思考与对策

(1)建立工区完善的沉积体系,提高预测的成功率 由于各种储层预测结果都存在多解性,一个地区只有在搞清不同地质历史时期的构造背景及与之对应的宏观沉积环境,经过系统沉积相和沉积微相研究,建立一个完善的沉积体系,并以此来指导储层预测及其结果的解释,才能大大提高储层预测的精度。赛汉塔拉陡坡带水下扇的预测失利就与区域沉积相、微相的研究不够完善有关。

(2)利用多种地震属性、结合钻井标定,消除多解性 由于不同的属性是从不同的侧面来反映地下岩石的响应特征,使得地震属性的解释存在明显的多解性。定性预测岩相、岩性和含油气性的关键,是要充分利用地震属性在空间分辨率的优势,同时要利用少量的井孔资料揭示的储层特征,建立井点处地震属性与储层参数的关系,利用这种关系将地震

属性转换为相应的储层参数,揭示储层分布特征。

(3)精细层位标定,找准砂体地震响应特征层位及储层标定是储层预测的基础和关键,标定要做到精和细。一般存在五个关键因素影响标定的准确性:一是电测资料的环境校正;二是地震剖面的极性分析;三是确定好标志层;四是利用井旁道地震子波制作合成地震记录;五是要选取目的层附近的子波主频。

(4)选用合理的反演方法和建立合理的波阻抗初始模型 用于反演的地震数据主要包含的是中频段信息,缺少低频和低频成分。做好波阻抗反演的关键是合理地恢复地震的低频和低频信息。在区域标准层的约束下,建立合理的井间波阻抗初始模型,提供可靠的模型低频和低频成分,才能反演出合理的波阻抗模型参数。

参考文献

- [1] 薛诗柱,李鹏,李博,赵群. 几种参数在储层横向预测中的应用探讨. 中国地球物理第二十一届年会论文集, 2005
- [2] 凌云研究组. 测井与地震信息标定研究. 石油地球物理勘探, 2004, 39(1):68~74
- [3] 李庆忠. 论地震约束反演的策略. 石油地球物理勘探, 1998, 33(4):423~438
- [4] 马劲风,王学军,贾春环,赵建勋. 波阻抗约束反演中的约束方法研究. 石油物探, 2000, (2)
- [5] 姚振兴,张霖斌. 波阻抗反演的混合最优化算法. 地球物理学进展, 1999, (2)
- [6] 张旭. 复杂碎屑岩储层测井参数计算方法研究. 天然气勘探与开发, 2003, (3)
- [7] 杜世通,王永刚. 地震参数综合处理方法在储层横向预测中的应用. 石油大学学报(自然科学版), 1993, (1)

(本文编辑:冯杏芝)

· 消息 ·

SEG北京分部2008年第二季度学术会议在京召开

SEG北京分部于7月18日在中国地质大学(北京)召开了2008年度第二季度学术会议。来自清华大学、北京大学、中国地质大学(北京)和中国石油勘探开发研究院研究生部的师生以及中国石油东方地球物理公司的物探科研人员共约40名代表参加了本次会议。

中国地质大学(北京)SEG分会指导教师刘学伟教授主持会议,中国石油勘探开发研究院的李艳东博士、中国地质大学(北京)王祥春博士及刘学伟教授分别作了题为“基于Wigner-Ville分布的地震谱分解技术和衰减属性技术”、“起伏海底对反射波特征影响”和“构造复杂地区(火成岩区、山前带和盆地边缘)成像速度研究”的报告。这三个报告都是从勘探领域的实际难点出发,用新思路、新技术探求解决问题的办法,并见到初步效果。本次交流会是一次联系实际、有深度、有新意的学术研讨会。

中国地质大学(北京) SEG北京分部