

· 综合研究 ·

曲流河沉积微相的三维地震描述

赵丽平*^① 陈莉^② 谭明友^① 张明振^① 宋艳芳^①

(^①中国石化胜利油田分公司物探研究院, 山东东营 257022; ^②中国石油勘探与生产分公司, 北京 100011)

赵丽平, 陈莉, 谭明友, 张明振, 宋艳芳. 曲流河沉积微相的三维地震描述. 石油地球物理勘探, 2008, 43(6): 680~684

摘要 上第三系馆上段曲流河沉积的砂岩是良好的储层, 但砂岩的空间分布一般不均匀。如何利用三维地震描述方法寻找储集体物性好的河床微相是提高勘探开发效益的重要手段。曲流河主要包括河床、堤岸、河漫和牛轭湖4种沉积微相, 岩石组合为砂泥岩互层, 具有“泥包砂”的特点。各沉积微相的地震反射特征为: 河床呈强能量、负极性; 堤岸呈中强能量、负性和高频; 河漫呈弱能量、极性不固定; 牛轭湖呈高能、负性。通过水平切片(层拉平水平切片)、三维立体显示和分频扫描技术可快速地识别河床与河漫微相, 确定沉积微相精细描述的目标区。地震相精细描述的振幅、频率和波形参数组合分析方法可以有效地消除地震方法划分曲流河沉积微相的多解性。利用地震方法精细描述的曲流河沉积微相结果与测井资料吻合较好, 说明先宏观、后精细的地震方法描述曲流河沉积微相是行之有效的。

关键词 曲流河 河床 分频扫描 振幅 频率

1 引言

上第三系馆陶组上段是胜利油田滩海地区的主要含油层系之一, 其储量占该区石油地质储量的76%。该套地层主要为曲流河沉积, 包括河床、河漫、堤岸和牛轭湖四种微相。其中河床和河漫微相在平面上分布最广; 河床和牛轭湖微相砂岩是主要的储层; 河漫和牛轭湖微相泥岩是主要盖层; 堤岸微相是分隔河床与河漫的狭窄相带, 与河床微相近平行分布, 类似于河床微相的镶边, 岩性以砂泥互层为主。滩海地区馆上段地层埋深一般小于1500m, 地层压力相对较小。勘探实践证明, 只有分选性好的河床微相砂岩才是油气聚集的储层, 而堤岸微相的砂岩由于泥质含量较高, 一般不成为储层, 常以干层形式出现。因此, 如何利用地震资料区分河床、河漫微相和堤岸微相, 成为该区储层描述的主要课题。

2 地层沉积特征

该区馆上段的曲流河沉积发生在渤海湾盆地拗陷期^[1], 此时沉积盆地内坡度较缓, 曲流河流量基本稳定。平面上, 河床、堤岸和河漫相间分布, 新的河

床切割穿越老的河床; 纵向上, 河床、堤岸和河漫则叠置分布^[2,3]。图1所示的是河床、堤岸、河漫和牛轭湖微相^[4]的岩性及电性特点。以下分别论述其沉积特征。

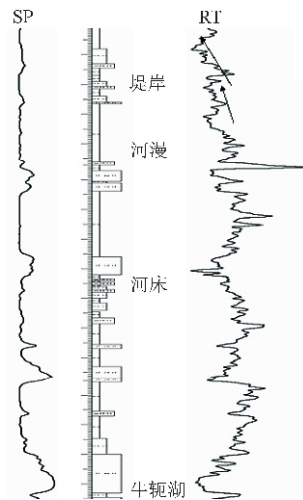


图1 曲流河各沉积微相的岩性电性特征

2.1 河床微相

河床微相是砂岩发育的主要相带, 底部以薄层的河床滞留沉积砂砾岩为特征, 向上则是边滩沉积的点砂坝砂岩, 垂向上自下而上常呈现由粗变细的正韵律。沉积构造主要为大、中型槽状或板状交错

* 山东省东营市北一路210号胜利油田物探研究院, 257022

本文于2008年1月20日收到, 修改稿于同年7月14日收到。

层理,间或出现平行层理。边滩沉积的厚度近似于河床的深度,一般在 5m 左右,薄的有时小于 1m,而厚的可达 20m;其宽度则取决于河流规模的大小,大型河流边滩发育很宽。在自然电位曲线上表现为箱形、齿化箱形和钟形。

2.2 堤岸微相

堤岸沉积垂向上常发育在河床沉积的上部。相对河床微相而言,堤岸属顶层沉积,沉积物粒度较细。受河流季节性变化影响,岩性以砂泥互层为特点。在此相带上,砂泥互层具有明显的韵律性,自然伽马曲线表现为钟形或组合钟形,砂岩由于混有大量的泥质成分因而渗透性较差,自然电位曲线的幅值很小。

2.3 河漫微相

河漫微相是平原河流的微相类型,位于天然堤外侧,地势低洼而平坦。洪水泛滥期间,水流漫溢天然堤,流速降低,河流悬浮沉积物大量堆积。由于它是洪水泛滥期间沉积物垂向加积的结果,故又称为泛滥盆地沉积。河漫微相沉积类型简单,主要为粉砂岩和黏土岩。自然电位曲线平直,自然伽马曲线有齿形跳动。

2.4 牛轭湖微相

弯曲河流的截弯取直作用使被截掉的弯曲河道废弃,形成牛轭湖^[5]。牛轭湖沉积具有正旋回的特点,下部主要为砂岩,上部为粉砂岩和黏土岩。砂岩、粉砂岩中具有交错层理,黏土岩发育有水平层理,常含有淡水软体动物化石和植物残骸。在自然电位曲线上,表现为箱形和漏斗形组合;自然伽马曲线上,具有齿状特征,局部有明显的峰值。

3 地震反射特征

3.1 岩石的波阻抗特征

曲流河沉积的岩性主要分为砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩和泥岩四类。岩石的波阻抗是其速度和密度的乘积,影响的主要因素有岩石的成岩作用、碎屑成分和孔隙度。统计表明,埋深小于 1500m 的馆上段砂岩固结较差、疏松易碎,孔隙度一般为 29%~35%;泥岩固结好,具有较好的成岩性。虽然砂岩碎屑物质比泥岩黏土物质的速度和密度都大,但受孔隙度大和固结差的影响,砂岩的速度和密度都小于泥岩。泥质砂岩由于孔隙内充填了泥质,孔隙度变

小,其速度和密度都大于砂岩而小于泥岩。砂质泥岩由于泥质中增加了速度和密度更大的碎屑物质,其速度和密度都大于泥岩。由此得到波阻抗由小到大的排列顺序为:砂岩→泥质砂岩→泥岩→砂质泥岩。

3.2 曲流河沉积微相的地震反射特征

运用“剥蚀面判别法”^[6]确定该区资料为正极性剖面。

曲流河沉积的泥岩比砂岩多,具有“泥包砂”的特点。根据岩性组合特点,可以将各个沉积微相的岩石放在围岩中,制作一个如图 2 所示的地震模型。假设围岩的波阻抗值固定不变,那么砂岩和泥质砂岩的地震反射应为负极性,泥岩的地震反射极性不确定,砂质泥岩的地震反射为正极性(图 2)。由此得到的地震反射能量由强到弱的排列顺序为:砂岩→泥质砂岩→砂质泥岩→泥岩。对应不同的岩性组合,河床微相的地震反射特征^[7,8]为强能量、负极性;堤岸微相的地震反射特征为次强能量、负极性,堤岸微相的砂泥互层具有韵律性,反射频率较高;由于不同期次河漫沉积的泥岩相差不大,河漫微相的地震反射能量弱,极性不固定;牛轭湖微相上部为波阻抗值最高的砂质泥岩,下部是波阻抗值低的砂岩,其地震反射能量最强。

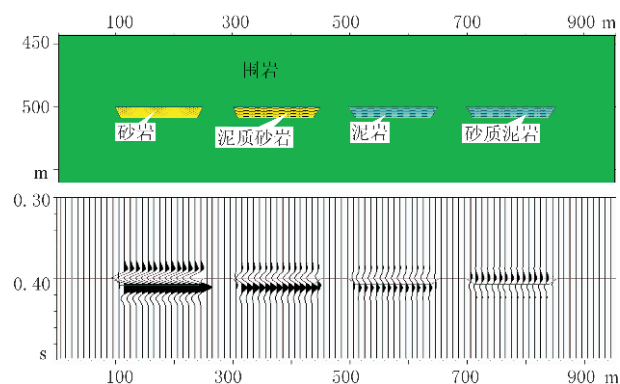


图 2 沉积微相正演模型图

4 沉积微相的地震描述

4.1 沉积微相的宏观描述

4.1.1 水平切片

当地层产状近于水平时,地震水平切片主要反映岩层的平面展布特征,可直接利用地震的振幅信息划分河床与河漫微相(图 3)。图中强振幅区为河

床沉积微相,弱振幅区为河漫沉积微相。这一时期的河流主要呈东西走向,局部出现南北走向的河流。

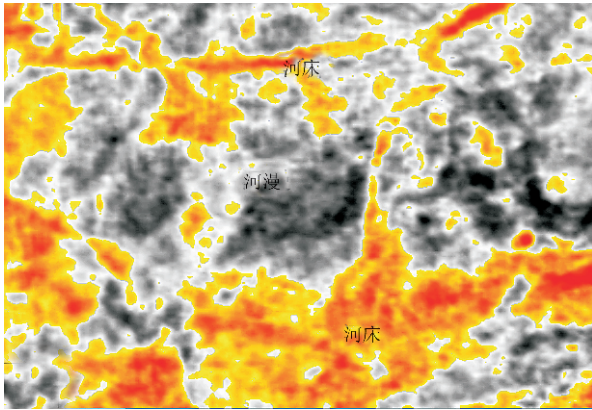


图3 淮海地区三维地震水平切片反映的曲流河沉积微相特征

图3上部的河床是单一的河道沉积,可能是牛轭湖;下部的河床是由多个河道组合而成,夹有河漫和天然堤微相的沉积;由于河流频繁改道,所以河漫沉积区中也存在一些河床沉积。

当地层倾角较大时,地震水平切片包含构造的走向信息,影响沉积微相的判断。此时应以目的层附近的标准层为基准层,对数据体进行层拉平产生新的数据体,在新数据体上做水平切片,同样可以利用地震的振幅信息划分河床与河漫微相。

4.1.2 三维立体显示

三维立体显示技术是将目的层段的三维数据体输入内存,相当于将多个连续的水平切片在空间叠置,通过低能量切除实现透视功能。由于河床微相的地震反射能量强于河漫微相,多期沉积的河床会在三维空间内显示出来。如果设定最低能量阈值,可以自动追踪河床沉积的砂体。

4.1.3 沿层分频扫描

沿层分频扫描是沿目的层附近的标准层上(下)延拓提取振幅信息,类似于层拉平水平切片。其主要区别在于该方法可选择反映目标地质体特征的优势频率提取一段时窗内的能量,更有利于划分沉积微相。图4是淮海地区的分频扫描图,绿色区域是河漫微相,蓝色—红色区域是河床微相,河流主要呈北西走向。蓝色边界形态明显区域代表沉积时河床较稳定、后期改造较小的河道,通常具有砂岩厚度大、泥岩夹层少的特点,是最好的油气储集相带;蓝色边界形态不明显并与绿色混杂区域代表沉积时河

床不稳定、后期改造较大的河流,是河床与河漫间互的沉积环境,通常具有砂岩厚度变化大、多泥岩夹层的特点,也是较好的油气储集相带;在绿色不规则区域中混有的蓝色条带区是不固定河流通过河漫环境所形成的,以泥岩夹薄层砂岩为主,具有一定的油气储集能力。

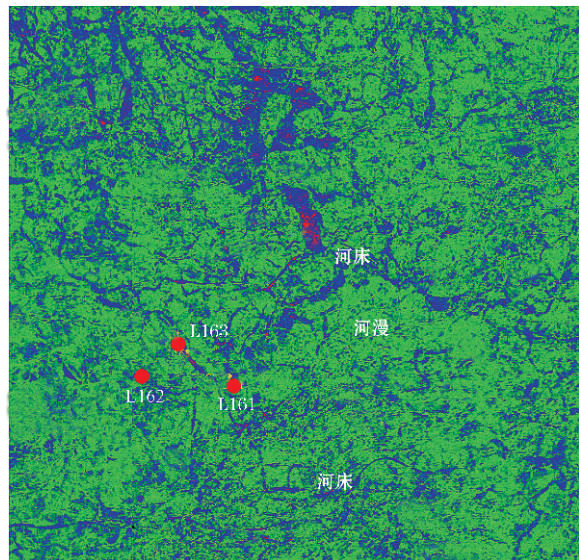


图4 淮海地区35Hz分频扫描图

4.2 沉积微相的精细描述

通过沉积微相的宏观描述,得到了河道与河漫微相的宏观分布特征。沉积微相的精细描述就是在宏观描述的基础上追踪描述河床沉积微相,不仅刻画其构造形态,更重要的是利用地震波的动力学参数将河漫和堤岸微相与孔渗性最好的河床沉积相带区分开来。

地震波的动力学参数^[9,10]主要包括振幅、频率和波形。振幅信息反映反射界面上下相对波阻抗关系和地层的厚度。在曲流河环境下,砂岩厚度一般小于地震波的调谐厚度(15m),振幅强弱与砂岩厚度具有正相关的特点。曲流河沉积的岩石组合中泥岩分布较为稳定,在砂层厚度不变时,振幅的强弱反映河道砂岩波阻抗的大小,而波阻抗的大小反映的是岩性、孔隙度和流体性质。孔隙度较大(29%~35%)时,孔隙内的流体对岩石的波阻抗影响较大,孔隙内分别含有气、油和水时的波阻抗值是由小变大的,砂岩与围岩的波阻抗差会因含油气而增大。频率主要反映岩石的疏松程度、含油气情况和岩性组合特征。当岩石固结差或含油气时,频率降低;当岩石固结好或岩石组合具有韵律层时,频率升高。

波形信息在地震波频率固定时主要反映岩石的组合、厚度和速度特征。

地震波的动力学参数所反映的岩石波阻抗、组合、厚度和固结程度是沉积微相的特征,而油气信息则是沉积微相的侧面反映。由测井孔隙度统计,馆上段油气层的孔隙度大于 32%,水层孔隙度为 29%~33%,干层孔隙度小于 29%。储层中充注油气后降低了地震纵波的速度,使振幅值增大、频率降低,放大了河床沉积微相的地震波动力学参数特点。单项参数具有一定的片面性,多个参数组合就能较好地反映沉积微相特点。累加一定时窗的振幅,相当于对振幅积分,可将波形的信息融合到振幅信息中;

将累加振幅除以频率可将河床、漫滩和堤岸微相的差异放大,更易于判识。图 5a 为累加负振幅图,其中的红色部分是高振幅区,为河床微相,呈北西走向;浅蓝色部分是低振幅区,为河漫微相;黄色部分为堤岸微相。图 5b 为频率图,其中的绿色部分是低频区,为典型河床沉积;红—黄色部分是高频区,具有韵律层的特点,呈北东走向,说明存在一组北东向的河流改造北西向的河流;图 5c 为累加负振幅/频率图,与图 5a 对比可以看出,两者所反映的河床相当,但图 5c 上河床形态更清晰,与堤岸和河漫微相更容易区分,并进一步表明该区的河流沉积以北西向为主,北东向为辅。

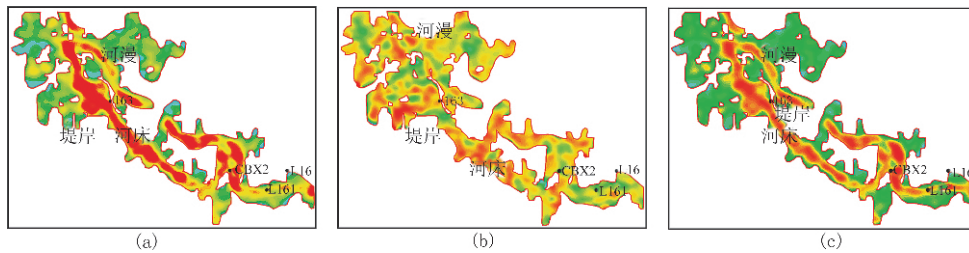


图 5 滩海地区地震波动力学参数图

(a)累加负振幅图;(b)频率图;(c)累加负振幅/频率图

4.3 钻探效果分析

图 6 是 L161、L16 和 L163 三口井的自然电位和自然伽马测井曲线图,图中虚线框定的井段是目的层段。L161 井目的层段的自然电位曲线为箱形和钟形组合,自然伽马曲线显示泥质含量由下到上逐渐增大的特点,是河床沉积加牛轭湖沉积的特征,在图 5a 和图 5b 上该井位处河道形态表现得不明显,而在图 5c 上该井则明显位于河床中。L16 井自然电位曲线平直、自然伽马曲线有小幅齿形跳动,为河漫微相沉积,在图 5 的 3 张图上该井位均位于河漫微相中。L163 井自然电位曲线的幅值小,自然伽马曲线为钟形,为堤岸微相沉积,在图 5a 上该井位处

堤岸特征不明显,在图 5b 和图 5c 上该处堤岸特征明显。由此说明综合参数特征能更准确、细致地划分沉积微相。

5 结论

(1)馆上段的曲流河沉积主要有河床、堤岸、河漫和牛轭湖微相,岩性主要是泥岩、砂质泥岩、泥质砂岩和砂岩,以砂泥岩互层为主,具有“泥包砂”的特点。

(2)曲流河沉积岩石的波阻抗由小到大的排列顺序为砂岩、泥质砂岩、泥岩和砂质泥岩。河床微相具有强能量、负极性的地震反射特征;堤岸微相具有中强能量、负极性和高频的地震反射特征;河漫微相具有弱能量、极性不固定的地震反射特征;牛轭湖微相具有能量最强、负极性的地震反射特征。

(3)水平切片(层拉平水平切片)、三维立体显示和分频扫描技术充分利用曲流河沉积微相的地震反射特征,能够快速反映和识别河床与河漫微相。

(4)地震波的动力学参数振幅、频率和波形从不同侧面反映岩石的波阻抗、岩性组合及含油气等特

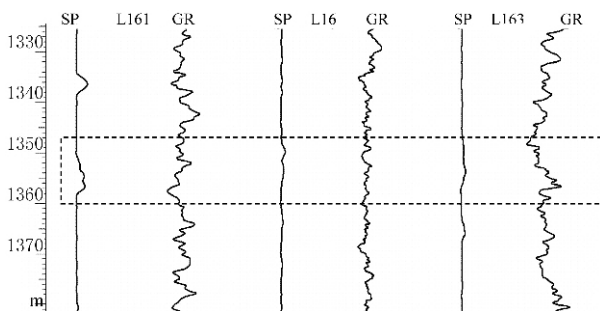


图 6 L161-L16-L163 测井曲线

征,都具有多解性。而利用多参数组合则可以减少多解性,提高沉积微相描述的精度。

参考文献

- [1] 李丕龙,张善文,曲寿利等著. 陆相断陷盆地沉积体系与油气分布. 北京:石油工业出版社,2003,87~107
- [2] 李庆忠. 近代河流沉积与地震地层学解释. 石油物探,1994,23(2):26~41
- [3] 焦养泉,陈安平,王敏芳等. 鄂尔多斯盆地东北部直罗组底部砂体成因分析. 沉积学报,2005,23(3):371~379
- [4] 陈德坡,柳世成. 孤东油田七区西曲流河沉积微相定量识别技术. 断块油气田,2003,10(2):16~20
- [5] 张春生,刘忠保,施东. 高弯曲与低弯曲河流比较沉积

学研究. 沉积学报,2000,18(2):227~233

- [6] 李庆忠. 走向精确勘探的道路. 北京:石油工业出版社,1993,134~139
- [7] 于建国,林春明,王金铎等. 曲流河沉积亚相的地震识别方法. 石油地球物理勘探,2003,38(5):547~551
- [8] 张善文,才巨宏,吴洪波. 埕岛地区馆上段储层地震岩性学研究. 石油地球物理勘探,1994,29(增2):123~128
- [9] 张延章,廖前进,范军侠等. 地震微相分析技术在大港滩海探区的应用. 石油勘探与开发,2003,30(4):58~60
- [10] 杨凤丽,张善文,才巨宏等. 曲流河砂体的沉积相、测井相、地震相研究及预测. 石油地球物理勘探,1999,34(2):171~177

(本文编辑:冯小球)

(上接第 661 页)

6 结论

(1)通过对双程声波方程和任意广角声波方程的合理求解都能实现地震波的叠前逆时深度偏移。理论上,双程波方程能够实现折射波和多次波的准确归位,但它在波场逆时延拓的过程中会在速度分界面处产生反射,这些反射波会严重影响该界面上部各点的成像质量。

(2)任意广角声波方程能对下行波场进行较为精确的描述,能够用于解决地震波的叠前逆时深度偏移问题,且可完全避免界面反射上行波对偏移结果的影响,减少偏移噪声。

(3)任意广角声波方程是由若干个二阶偏微分方程构成的方程组,其方程个数不定,且各方程中既有对时间与空间的二阶偏导数项,又有对空间两个方向的一阶混合偏导数项。根据数值试验结果,采用任意广角声波方程进行地震资料偏移时一般取3~5个方程为宜,这在一定程度上增加了逆时偏移的计算量,降低了处理效率。

(4)本文只是在二维理论数据的逆时偏移方面进行了探索,三维数据或实际资料的逆时偏移处理更为复杂,这将是今后的研究重点。

参考文献

- [1] Whitmore N D. Iterative depth migration by backward time propagation. *Expanded Abstracts of 53rd SEG Annual International Meeting*, 1983, 827~830
- [2] Loewenthal D and Mulfti I R. Reverse time migration in spatial frequency domain. *Geophysics*, 1983, 46(3):627~635
- [3] McMechan G A. Migration by extrapolation of time-dependent boundary values. *Geophys Prosp*, 1983, 31(2):413~420
- [4] 何兵寿,张会星. 多分量波场的矢量法叠前深度偏移技术. 石油地球物理勘探,2006,41(3):369~374
- [5] 牟永光,裴正林. 三维复杂介质地震数值模拟. 北京:石油工业出版社,2005
- [6] 董良国,马在田,曹景忠等. 一阶弹性波方程交错网格高阶差分解法. 地球物理学报,2000,43(3):411~419
- [7] Collino F, Tsogka C. Application of the perfectly matched absorbing layer model to the linear elastodynamic problem in anisotropic heterogeneous media. *Geophysics*, 2001, 66(1):294~307
- [8] Gubddati M N and Heidari A H. Migration with arbitrarily wide-angle wave equations. *Geophysics*, 2005, 70(3):S61~S70
- [9] 刘洋,李承楚,牟永光. 任间偶数阶精度有限差分法数值模拟. 石油地球物理勘探,1998,33(1):1~10
- [10] 罗大清,宋炜,吴律,柏森林. 加权方向校正及插值预测吸收边界条件的三维波动方程叠前数值模拟. 石油地球物理勘探,1999,34(3):275~284

(本文编辑:张亚中)