

文章编号: 0253-9985(2009)06-0692-05

# 鄂尔多斯盆地大牛地气田盒 3 段河道砂岩 相控储层预测

许 杰<sup>1,2</sup>, 何治亮<sup>1</sup>, 董 宁<sup>1</sup>, 周小鹰<sup>1</sup>, 李 军<sup>1</sup>, 朱生旺<sup>1</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083 2 中国石油大学, 北京 102249)

**摘要:** 鄂尔多斯盆地大牛地气田二叠系下石盒子组盒 3 段属于典型的河流相沉积, 由于地震属性预测受地震分辨率限制, 造成河道砂体储层预测的多解性。应用高分辨率层序地层学, 对盒 3 段目的层进行了沉积相展布规律研究, 认清了盒 3 段顶界面地震反射层  $T_3^1$  是一个在全区有近似等时地质意义的反射界面, 盒 3 段上砂组的厚度与  $T_3^1$  平均振幅的统计关系符合调谐振幅原理, 从而优选出盒 3 段砂岩的振幅敏感属性。通过地震相、测井相及沉积微相综合分析, 认为盒 3 段振幅敏感属性平面图与其沉积相展布规律一致, 通过相关分析能较好地预测出砂岩发育的有利区。在 D66 井附近目标区的实践表明, 砂岩预测结果与实钻吻合率达 90%。由此表明, 以沉积相、沉积特征约束地震属性预测能实现对复杂地质体的准确预测和描述。

**关键词:** 高分辨率层序地层学; 河道砂体; 地震属性; 相控储层预测; 大牛地气田; 鄂尔多斯盆地

**中图分类号:** TE122.2 **文献标识码:** A

## Facies constrained reservoir prediction of $P_1 h^3$ channel sandstone in Daniudi gasfield, the Ordos Basin

Xu Jie<sup>2</sup>, He Zhiliang<sup>1</sup>, Dong Ning<sup>1</sup>, Zhou Xiaoying<sup>1</sup>, Li Jun<sup>1</sup>, Zhu Shengwang<sup>1</sup>

(1. SINOPEC Petroleum Exploration &amp; Production Research Institute Beijing 100083 China;

2. China University of Petroleum Beijing 102249 China)

**Abstract:** The reservoirs of the  $3^{rd}$  member of the Permian Lower Shihezi Formation ( $P_1 h^3$ ) in the Daniudi gas field in the Ordos Basin are typical fluvial deposits. As reservoir prediction with seismic attributes is constrained by seismic resolution uncertainty occurs in the prediction of channel sandstone reservoirs. High-resolution sequence stratigraphy is applied in this paper to figure out the distribution pattern of sedimentary facies of the targets in  $P_1 h^3$ . It has been made clear that the seismic reflector on the top of  $P_1 h^3$  ( $T_3^1$ ) has the geologic significance of an approximate isochronous surface in the whole study area. The relationship between the thickness of the upper sandstone interval in  $P_1 h^3$  and the average amplitude of  $T_3^1$  conforms to the principle of tuning amplitude. Thus, the amplitude attributes that are sensitive to the sandstone in the  $P_1 h^3$  are optimized. According to integrated analyses of seismic facies, logging facies and sedimentary microfacies, it is thought that the plan view of sensitive amplitude attribute of  $P_1 h^3$  is consistent with the distribution pattern of sedimentary facies. Favorable zones for sandstone development could be predicted through relevant analysis. Application in area near the D66 well shows that 90% of the prediction matches the real drilling results. Therefore, under the constraints of sedimentary microfacies and sedimentary characteristics, seismic attributions can be used to accurately predict and characterize complex reservoirs.

**Key words:** high-resolution sequence stratigraphy; channel sandstone; seismic attribution; facies constrained reservoir prediction; Daniudi gasfield; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地北部伊陕斜坡带大牛地地区,  
二叠系下石盒子组盒 3 段属于典型的河流相沉

积, 河道砂体是主要的勘探开发对象, 针对性的储  
层预测主要是通过以地震属性和地震反演为主导

的地球物理方法来进行<sup>[1]</sup>, 储层预测技术在寻找岩性油气藏方面发挥了巨大的作用, 取得了良好的效果, 但随着勘探开发进一步深入, 尤其是在非主河道区域, 储层厚度薄, 横向非均质性强, 地震反射复杂, 地震储层预测结果的多解性日益显现出来<sup>[2-3]</sup>。如何提高储层预测的精度, 最大限度地降低储层预测的多解性, 是岩性油气藏开发中亟待解决的技术问题。

相控储层预测技术以沉积相和沉积特征约束地震属性预测或反演结果, 从而实现复杂地质体的准确预测和描述。该技术的理论基础是: 沉积相决定了沉积地层的岩石类型和岩石组合, 也决定了储层的发育和分布。沉积相是进行砂体预测和描述的重要基础和依据, 其认识可以通过某种方式和地震属性分析建立联系并对其进行约束<sup>[4]</sup>。

相控储层预测技术在大牛地气田塔巴庙区块勘探开发中的运用, 探索了岩性油气藏开发的新思路, 较好地满足了大牛地气田生产的需要。

1 层序地层划分与沉积相特征

根据沉积层序边界特征和沉积旋回的组合

关系, 在对地震、钻井、测井、露头及岩心等资料进行综合研究的基础上, 将鄂尔多斯盆地大牛地地区上古生界二叠系下石盒子组盒 3 段划分为一个三级层序 (图 1), 相当于 V<sub>a</sub> 的 II 级层序的完整长期基准面旋回, 由两个中期旋回叠加组成, 其准层序大多表现为粒级向上变细, 形成河道 (滞留沉积) —心滩—漫滩的相序组合<sup>[5]</sup>, 代表了可容空间逐渐减小的过程, 具有区域性缓慢湖进—缓慢湖退对称型旋回结构。岩性以砂质岩为主夹少量紫棕、棕褐及灰绿色泥岩、粉砂质泥岩和少量碳质泥岩, 沉积序列下部普遍含砾。该时期辫状河—曲流河发育, 主水道位于工区西南部, 水动力强、持续时间长、粗粒沉积发育、泥质含量低, 是目前气田已发现的最好储层; 中东部地区, 水动力条件相对较弱, 砂岩粒度相对较细、泥质含量较高、储层较为致密。平面上, 通过对第二个沉积旋回的沉积相分析认为, 工区西部主要发育辫状河, 砂地比为 0~79.5%, 而东部主要发育曲流河沉积, 砂地比为 0~25.0%, 即厚砂体主要发育在工区的西部主河道区域, 这种宏观的地质认识是河道砂体储层预测对比的基础<sup>[6-8]</sup> (图 2)。

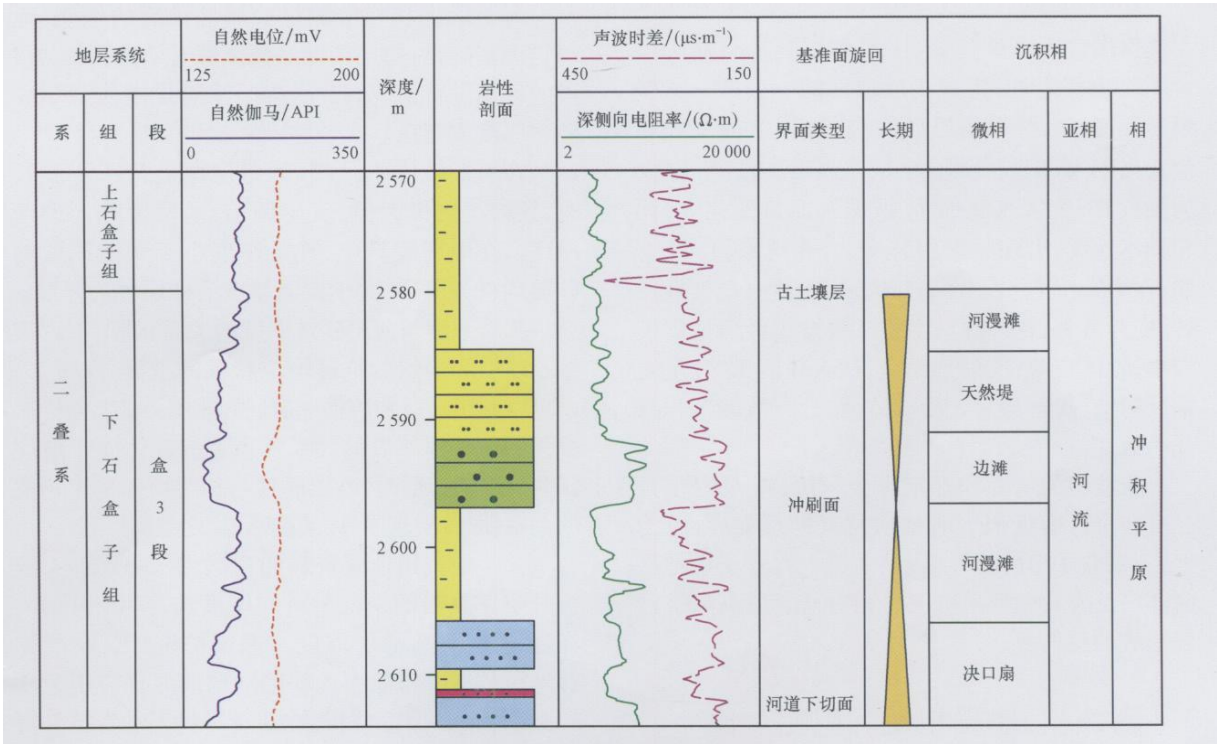


图 1 D61 井盒 3 段层序地层及沉积相

Fig 1 Sequence stratigraphy and sedimentary facies of P<sub>1</sub>h in D66 well

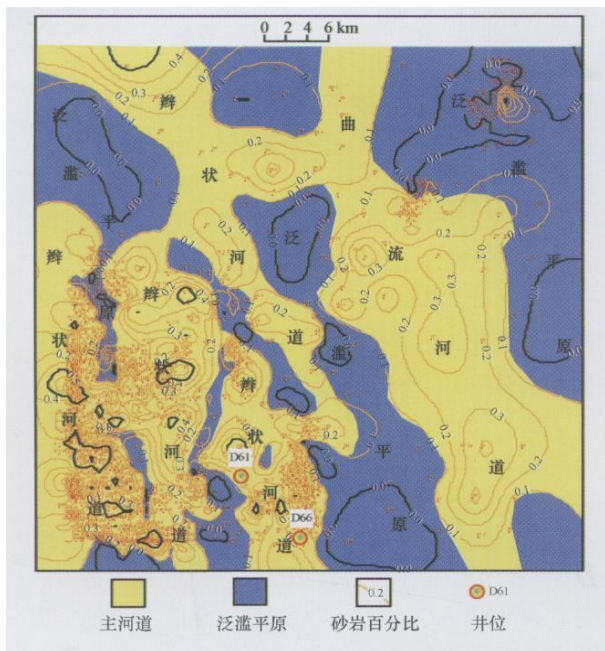


图 2 塔巴庙工区盒 3 段上砂层组沉积相  
Fig 2 Sedimentary microfacies of the upper sandstone  
interval of  $P_1h$  in Tabamiao area

## 2 地震反射界面的地质意义

根据合成记录标定,  $T_1$  波标定在下石盒子组盒 3 段顶部附近, 为盒 3 段顶部的一套强—弱振幅的反射。在整个塔巴庙区块内,  $T_1$  波能量和相位变化较大, 工区西部盒 3 段主河道发育区,  $T_1$  波为强波峰; 工区东北部  $T_1$  波振幅能量变化大, 同相轴不连续, 出现频繁的分叉、合并现象,  $T_1$  波变弱; 在 D66 井区 (图 2) 局部区域  $T_1$  波出现极性反转, 变为波谷, 这一现象主要反映盒 3 段河道规模较小、砂体较薄; 反射剖面上, D66 井区  $T_1$  波呈短轴反射特征, 这与盒 3 段砂体薄、分布散的沉积特征一致。

从波组的追踪和标定综合分析,  $T_1$  反射层是一个在全区有近似等时地质意义的反射界面, 为上、下石盒子组的分界面, 是上覆上石盒子组地层底部广泛发育的低阻抗泥岩相对盒 3 段高阻抗砂岩形成的反射波。

## 3 测井相、地震相及沉积相对比

盒 3 段的沉积环境决定了盒 3 段储层薄, 横

向非均质性强, 而大牛地气田地震资料主频为 25 Hz 左右, 利用地震资料难以直接识别储层。在井—震合成记录精细标定的基础上, 应用测井相、地震相及沉积相等进行相控对比分析<sup>[9~11]</sup>, 盒 3 段地层标定在从  $T_1$  波至其向下 20 m 的时间段内, 盒 3 段沉积相的地震反射波及测井相有如下特征。

1) 主河道沉积, 地震反射特征为连续、强—中强反射,  $T_1$  波强峰、强谷, 波峰相对较宽; 测井相以箱形、钟形、齿化箱形、箱形—钟形等为主, 反映了盒 3 段砂体极发育, 或多层叠置砂体 (图 3 a b)。

2) 河漫滩沉积, 地震反射特征为较弱反射,  $T_1$  波为较弱波峰、较弱波谷; 测井相以指状为主, 反映了盒 3 段砂岩欠发育, 为河道边部河漫砂或决口扇沉积 (图 3 c)。

3) 泛滥平原沉积, 地震反射特征为弱反射,  $T_1$  波为弱峰、弱谷; 测井相以线形或齿化线形为主, 反映了盒 3 段砂体不发育, 为泛滥平原泥岩沉积 (图 3 d)。

## 4 地震资料的分辨能力

盒 3 段沉积相带的振幅属性预测的地质、地球物理基础是: 薄层调谐振幅能够有效地预测盒 3 段的砂体发育情况,  $T_1$  调谐振幅的强度与盒 3 段砂岩厚度成正比。

在楔形砂体中, 当砂体单层厚度为  $1/4$  波长时, 振幅达到极大值, 发生调谐, 该厚度称为调谐厚度。在地震解释中, 凡是厚度小于调谐厚度的砂层均视为薄层, 大于调谐厚度的砂层称为厚层。

振幅强度与薄层砂体厚度的关系: 调谐原理表达了厚层和薄层的地震响应特征的差异, 反过来, 就可以利用地震响应的差异, 按调谐原理来分析振幅强弱与砂体厚度的关系。当目标砂体属于地震预测尺度的薄层时, 砂层厚度与相对振幅呈正相关的关系, 即砂层越厚, 振幅越强, 反之越弱<sup>[12]</sup>。

大牛地气田地震资料的主频为 25 Hz,  $1/4$  波长分辨率在目的层能分辨的厚度约为 40~45 m。在这种情况下, 薄层厚度与振幅的统计关系能弥补地震数据分辨能力的缺陷。调谐原理应用于盒 3 段薄层砂体厚度分析, 在地震资料无法直接分辨砂层的条件下, 可利用地震波的动力学特征检测或估算薄砂层的厚度变化。



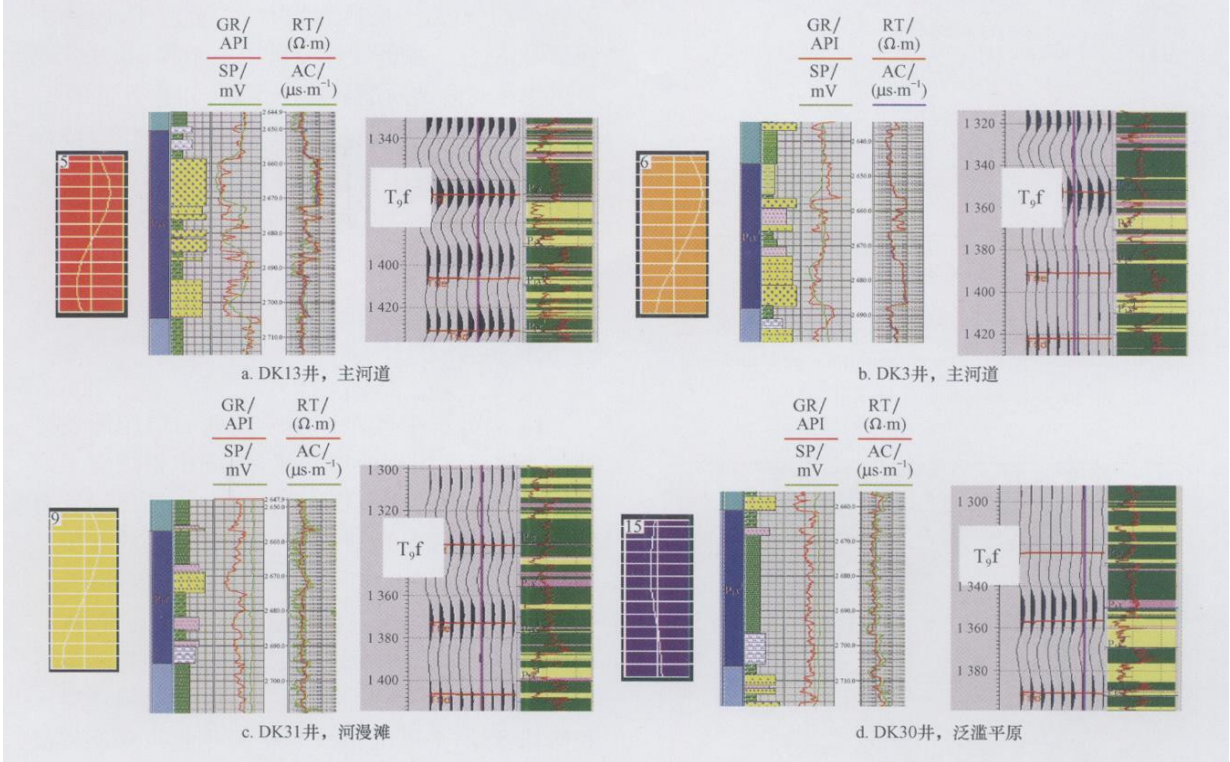


图 3 盒 3 段地震及测井响应特征  
Fig. 3 Seismic and logging responses of P<sub>13</sub>

5 以振幅为主的盒 3 段沉积相带预测

根据上述分析,应用薄层调谐原理,以振幅为主的地震属性分析可以定性确定盒 3 段砂体发育有利区<sup>[13-14]</sup>,从而推测盒 3 段河道沉积相带。

1)  $T_9^f$  层位解释。在层位解释时,以追踪地震反射波组特征和年代地层界面为原则,不是仅仅追踪强反射的波峰,而是根据年代地层界面形成的机理,推测地层界面的位置,尽可能地使层位的解释接近地质界面。在剖面的有些位置,由于岩性的变化引起同相轴的尖灭或相位反转,层位的解释依赖于相邻测线的层位解释趋势和全区测网的闭合。

2) 时窗的选取。根据盒 3 段储层标定的位置,确定地震属性分析的时窗、属性与盒 3 段上砂层组或下砂层组发育的关系。 $T_9^f$  波峰反映盒 3 段上砂层组顶界面的反射, $T_9^f$  之下的波谷反映盒 3 段下砂层组底界面的反射。因此, $T_9^f$  波峰、波谷属性均反映盒 3 段砂体发育情况。时窗的选区需根据储层标定的位置确定,在应用关键井的正演模

型(如去砂试验、加砂试验)予以确认的基础上,优选出  $T_9^f$  波向上 4 m 至向下 5 m 作为属性的提取时窗。

根据工区内 637 口钻井统计,盒 3 段上砂层组砂岩厚度与  $T_9^f$  平均振幅属性呈正相关关系<sup>[15]</sup>(图 4),相关系数达到 85% 以上,因此,应用地震平均振幅属性预测盒 3 段的砂体发育区是可靠的(图 5)。尽管  $T_9^f$  平均振幅属性(图 5)与盒 3 段上砂组沉积相(图 2)宏观上具有很好的一致性,主河道呈北西—南东向展布,即中强正振幅显示的砂体发育条带与主河道沉积相一致,但在局部仍存在差异,通过单井地震相、测井相及沉积微相的综合分析对比<sup>[14]</sup>,优化出盒 3 段上砂层组 D66 井区的河道展布方向(图 6),即辫状河主河道砂体发育区,河道呈北北西—南南东向展布。新部署的 20 口井盒 3 段上砂组砂体钻遇率达 90%,气层钻遇率 66%。

3) 盒 3 段振幅属性应用存在的问题。①  $T_9^f$  反射波与盒 3 段顶界面地质界面存在偏差时会影响振幅属性预测的准确性;② 虽然上石盒子组底部为一套广泛发育的泥岩,但局部区域亦发育底

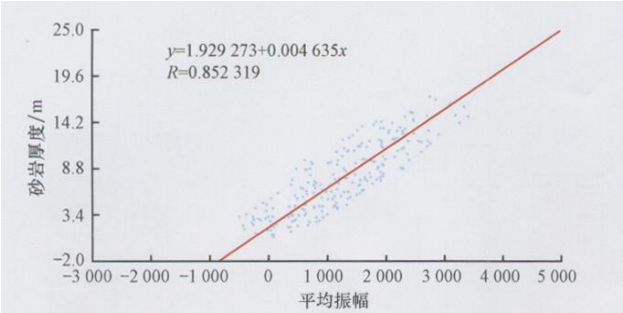


图 4 盒 3 段上砂层组砂岩厚度与振幅的线性关系  
Fig. 4 Linear relation between amplitude and thickness of the upper sandstone interval in  $P_1h^3$

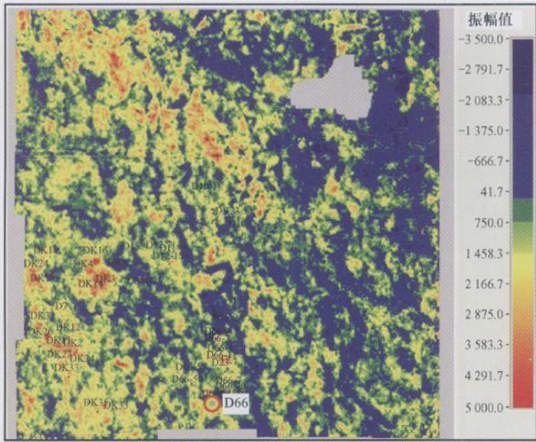


图 5 塔巴庙工区  $T_9^f$  平均波峰振幅  
Fig. 5 Average peak amplitude of  $T_9^f$  in Tabamiao area  
(时窗:  $T_9^f$  向上 4 ms—向下 5 ms)

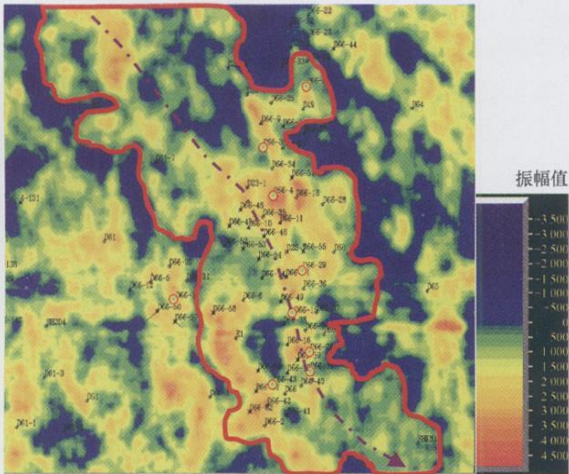


图 6 塔巴庙 D66 井区  $T_9^f$  平均波峰振幅  
Fig. 6 Average peak amplitude of  $T_9^f$  in D66 well  
(时窗:  $T_9^f$  向上 4 ms—向下 5 ms)

砂岩, 当上石盒子底砂岩发育时, 也使  $T_9^f$  波产生强反射, 对盒 3 段的属性分析产生干扰; ③井旁地震道与合成记录的反射特征不符, 如井旁道的  $T_9^f$  波为强反射, 而合成记录为弱反射, 造成  $T_9^f$  振幅属性与盒 3 段砂体发育的相关性下降, 导致  $T_9^f$  属性存在假异常。以上问题的存在会造成盒 3 段砂体发育区的预测失利。

6 结论及认识

1) 高分辨率层序地层学原理的应用能较好地认清河流沉积相的展布规律, 沉积相决定了地层的岩石类型和岩石组合, 也决定了储层的发育和分布, 沉积相是进行砂体预测和描述的重要基础和依据。

2) 精细的合成记录标定是建立地震相、测井相及沉积相认识的桥梁, 通过测井相、地震相与沉积相的对比分析认为, 主河道沉积微相、河漫滩沉积微相、泛滥平原沉积微相在测井曲线和地震反射特征上有较好的对应关系。

3) 薄层调谐振幅原理能够有效地预测盒 3 段的砂体发育。盒 3 段的上覆地层为上石盒子底部广泛发育的泥岩, 地震波在这套低阻抗泥岩与盒 3 段高阻抗砂岩的界面形成强反射,  $T_9^f$  调谐振幅的强度与盒 3 段上砂层组砂岩厚度成正比关系。

4) 盒 3 段振幅敏感属性平面特征与其沉积相展布规律具有一致性, 通过相关分析能较好地预测出砂岩发育的有利区。在 D66 井附近目标区的实践, 砂岩预测结果与实钻吻合率达 90%。因此, 以沉积相、沉积特征约束地震属性预测, 能实现对复杂地质体的准确预测和描述。

参 考 文 献

1 李明, 侯连华, 邹才能, 等. 岩性油气藏地球物理勘探技术与应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005 74~93  
2 关达, 张卫华, 管路平, 等. 相控储层预测技术及其在大牛地气田 D 井区的应用 [J]. 石油物探, 2006 45(3): 231~233  
3 刘忠群. 大牛地气田盒 3 段三维地震储层预测研究 [J]. 勘探地球物理进展, 2008 31(2): 133~136  
4 谯述蓉, 张虹, 赵爽. 川西 DY 地区须家河组致密砂岩储层预测技术及应用效果分析 [J]. 石油与天然气地质, 2008 29(6): 774~780

4 小结

1) 大牛地气田位于晚古生代华北克拉通盆地西段北部, 其沉积演化和地层应与区域一致, 可与处于同一相带的山西太原典型剖面地层划分直接对比。本溪组由两次海侵海退旋回形成下、上两段, 太原组由四次海侵海退旋回形成下、中、上三段。

2) 根据石炭纪二分、二叠纪三分方案, 大牛地气田本溪组的时代为晚石炭世本溪期, 太原组下段时代为晚石炭世晋祠期, 中、上段时代为早二叠世太原期。

3) 大牛地气田位于华北克拉通盆地晚石炭世—早二叠世陆表海的西段北部的滨岸—海岸平原地区, 海侵时处于陆表海滨岸—浅水区, 沉积了含煤陆源碎屑岩—碳酸盐岩混积岩系, 海退时处于三角洲—陆表海滨岸地区, 沉积了含煤陆源碎屑岩。北部本溪期和太原组无灰岩沉积, 为海陆交互相含煤碎屑岩系, 南部为含煤陆源碎屑岩—碳酸盐岩混积岩系, 采用标志层和沉积旋回进行了划分对比。

参 考 文 献

1 郝蜀民, 李良. 鄂尔多斯盆地大牛地大型低渗气田成藏特征及勘探开发技术[ J]. 石油与天然气地质, 2006 27(6): 762~768

2 郝蜀民, 李良, 尤欢增. 大牛地气田石炭—二叠系海陆过渡沉积体系与近源成藏模式[ J]. 中国地质, 2007 34(4): 606~611

3 罗东明, 谭学群, 游玉春, 等. 沉积环境复杂地区地层划分对比方法—以鄂尔多斯盆地大牛地气田为例[ J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 38~44

4 翟爱军, 邓宏文, 邓祖佑. 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测[ J]. 石油与天然气地质, 1999 20(4): 336~340

5 煤炭部煤炭科学研究院地质勘探分院, 山西煤田地质勘探公司. 太原西山含煤地层沉积环境[ M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987

6 程保洲. 山西晚古生代沉积环境与聚煤规律[ M]. 太原: 山西科技出版社, 1992

7 陈钟惠. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系沉积环境和聚煤规律[ M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989

8 桂学柱. 河东煤田晚古生代聚煤规律及煤炭资源评价[ M]. 太原: 山西科技出版社, 1993

9 尚冠雄. 华北地台晚古生代煤地质学研究[ M]. 太原: 山西科技出版社, 1997

10 郭英海, 刘焕杰. 鄂尔多斯地区晚古生代的海侵[ J]. 中国矿业大学学报, 1999 28(2): 126~129

11 全国地层委员会. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版)[ M]. 北京: 地质出版社, 2001

12 全国地层委员会. 中国区域年代地层(地质年代)表说明书[ M]. 北京: 地质出版社, 2002

13 《中国地层典》编委会, 金玉环, 范影年, 等. 中国地层典—中国的石炭系[ M]. 北京: 地质出版社, 2000

(编辑 张亚雄)

(上接第 696 页)

5 罗东明, 谭学群, 游瑜春, 等. 沉积环境复杂地区地层划分对比方法—以鄂尔多斯盆地大牛地气田为例[ J]. 石油与天然气地质, 2008 29(1): 38~43

6 樊太亮, 吕延仓, 丁明华. 层序地层体制中的陆相储层发育规律[ J]. 地质前缘, 2000 7(4): 315~321

7 张尚锋, 张昌民, 李少华. 高分辨率层序地层学理论与实践[ M]. 北京: 石油工业出版社, 2007. 9~19

8 周心怀, 王昕, 魏刚, 等. 辽中洼东陡坡带古近系层序地层格架控制下的储层预测[ J]. 中国海上油气, 2007 19(5): 306~310

9 夏庆龙, 赵志超, 赵宪生. 渤海浅部储层沉积微相与地球物理参数关系的研究[ J]. 天然气工业, 2004 24(5): 51~55

10 宋子齐, 赵宏宇, 唐长久, 等. 利用测井资料研究特低渗储层的

沉积相带[ J]. 石油地质与工程 2006 20(6): 18~25

11 李德江, 朱筱敏, 杨俊生. 苏丹 Muglaj盆地 Fula坳陷白垩系 Abu Gabra组地震相研究[ J]. 石油与天然气地质, 2007 28(1): 51~58

12 陆基孟. 地震勘探原理[ M]. 北京: 石油大学出版社, 1993

13 程浪洪. 塔里木盆地轮古西地区多地震属性储层综合预测[ J]. 油气地质与采收率, 2007 14(3): 70~72

14 刘保国. 实用地震沉积学在沉积相分析中的应用[ J]. 石油物探, 2008 47(3): 266~271

15 汤卫民, 阎巍. 一种基于线性回归的软件类比估算方法[ J]. 计算机工程与科学, 2008 30(12): 149~152

(编辑 董立)