

川西新场蓬莱镇组层序地层研究与储层横向预测

魏力民, 柳梅青

(中国石化集团新星石油公司西南石油局研究院, 四川成都 610081)

摘要: 通过钻井、测井和地震资料的综合分析, 运用基准面旋回为参照格架的高分辨率层序地层分析原理和对比方法, 依据地层冲刷现象、滞留物沉积、短期旋回叠加样式、地震反射终止类型及反射特征重大变化等标志, 在蓬莱镇组中识别出 5 个钻井中期基准面旋回以及与之对应的 5 个地震层序, 建立了高分辨率层序地层对比格架。指出蓬莱镇组主体沉积处在中期基准面下降晚期和上升早期的三角洲水下平原及向河口坝过渡的部位, 且大都位于层序界面的上、下两侧。利用含气砂体的地震响应特征, 对储层进行横向预测, 认为长期基准面缓慢上升或下降过程中形成的三角洲沉积体系有利储层发育, 使有利储集砂体的时空展布预测精度及小层砂体描述精度大大提高。

关键词: 新场; 蓬莱镇组; 基准面旋回; 高分辨率; 层序地层; 横向预测

第一作者简介: 魏力民, 男, 30 岁, 工程师, 储层地质

中图分类号: P539.2 **文献标识码:** A

位于川西坳陷中段的新场地区, 构造上处于川西前陆盆地西部, 为近 EW 向与 NS 向构造形变域的交汇部位, 具有自西向东倾伏的低幅鼻隆构造形态。蓬莱镇组(J_3p)为一套厚达 1 000~1 300 m 的陆相砂、泥岩互层, 与下伏遂宁组(J_3sn)整合接触, 与上覆下白垩统剑门关组(K_1j)呈构造不整合接触, 时间跨度 9 Ma(据 ESR 年龄测定)。

运用岩芯、钻井、测井、地震等资料, 通过垂向相序和相组合的变化、旋回的叠加样式以及地层的几何关系等旋回的识别标志, 识别出长期、中期、短期等 3 种级别的基准面旋回。中期基准面旋回是建立高分辨率层序地层格架的基础和关键, 这是因为: (1) 尽管中期基准面旋回的相组合在平面上有较大的变化, 但由于它的厚度和对称性变化较小, 仍可以在川西坳陷新场地区进行追踪对比; (2) 地震剖面上可分辨的地层单元可与钻井、测井上识别的中期旋回相对应, 而且地震相与地层几何形态也可用中期旋回的性质加以解释和预测。本文主要阐述中期基准面旋回的性质, 并以其为单元分析新场地区蓬莱镇组储盖组合的关系。

1 钻井中期旋回划分

钻井剖面中期基准面旋回的确定标志为: (1)

地层剖面中的冲刷现象及其上履的滞留沉积物; (2) 作为层序界面的滨岸上超的向下迁移; (3) 岩相类型或相组合在垂向剖面上的转换; (4) 砂、泥岩厚度旋回性变化; (5) 短期旋回的叠加样式分析^[1]。

在川西坳陷蓬莱镇组中, 作为区域性标志层的苍山页岩和景福院页岩, 分别代表长期基准面上升达到最高点时发育的最大湖泛期和密集段沉积, 因而可将蓬莱镇组划分为两个长期基准面旋回, 并以两个湖泛面分别代表两次长期基准面上升达最高点位置后折向下降的相转换面。而在长期基准面上升或下降过程中, 频繁发育和具有较好区域可对比性的次级湖泛面和冲刷面, 则分别为中期基准面旋回上升达最高点位置时发育的相转换面和下降到最低点位置时发育的层序分界面。具二分时间单元分界线的短期基准面旋回, 主要发育在中期基准面上升的中晚期和下降的早中期, 以频繁的底冲刷面或欠补偿沉积界面为层序分界面。图 1 显示了蓬莱镇组中不同级次的基准面旋回相转换面和层序分界面的测井相和主要的地震反射界面的响应特征, 相序演化规律及中、长期基准面旋回层序主要界面的产出位置和性质。

运用多级次基准面旋回和可容纳空间变化原理, 以及由基准面变化导致的沉积地层演化记录, 可从由建立在取芯段沉积相组合或相序列演化、旋回结构及对称性特征与电性关系基础上的测井曲

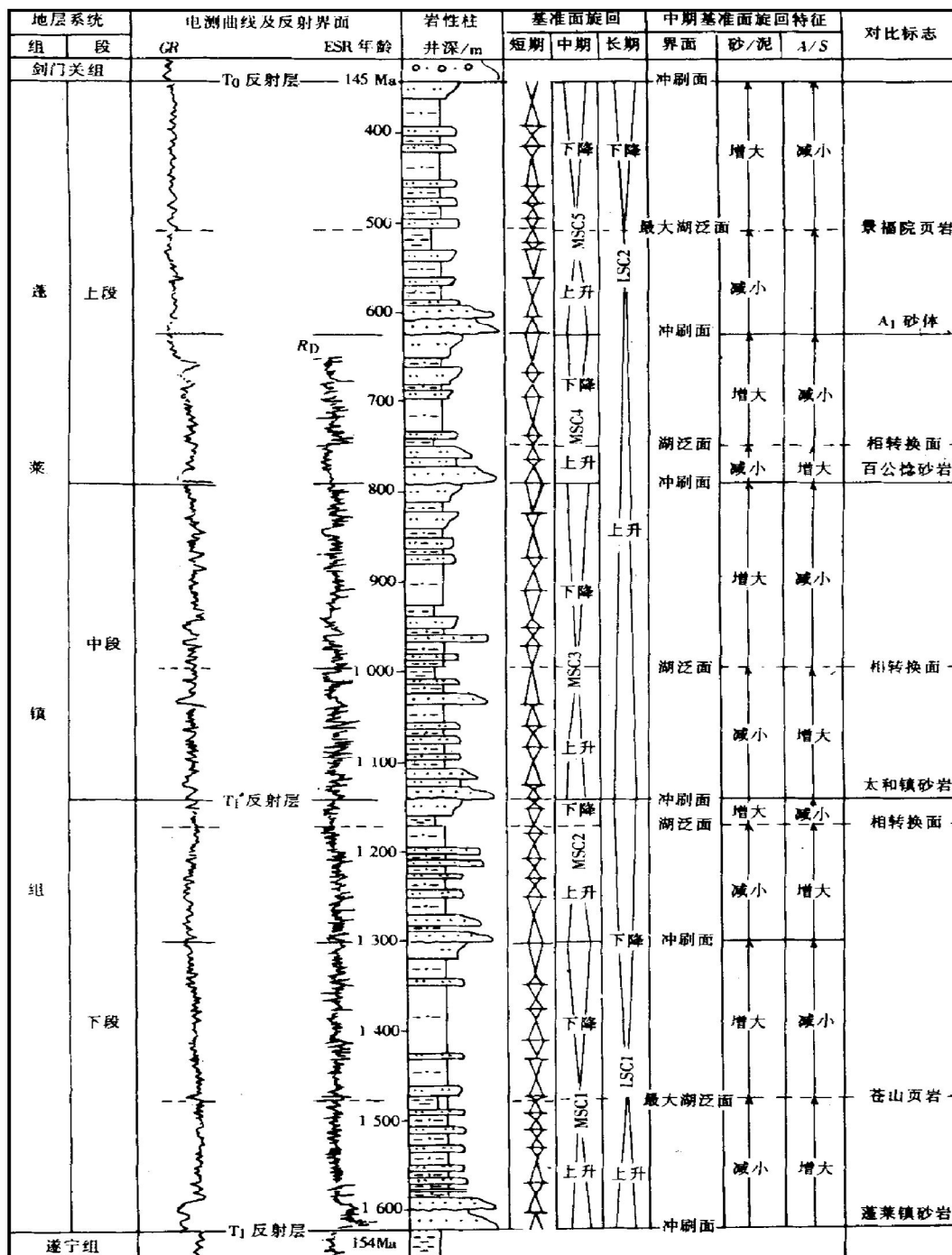


图1 新场地区蓬莱镇组高分辨率层序地层综合柱状图

Fig. 1 Synthetic column showing high resolution sequence stratigraphy of Penglaizhen Formation in Xinchang

线基准面旋回中划分出不同级次的地层基准面旋回。利用该方法可从蓬莱镇组中识别出3种短期基准面旋回基本层序类型:(1)向上“变深”的非对称型旋回(A类,仅保存上升半旋回);(2)向上“变浅”的非对称型旋回(B类,以发育下降半旋回为主);(3)向上“变深”复“变浅”的对称型旋回(C类)。其中A类又可分为低可容空间(A1)、中等可容空间(A2)和高可容空间(A3)3种亚类型。C类也分为三种亚类(C1, C2, C3)。上述几种短期基准面旋回,在平面分布上具有很强的规律性,即不同

的沉积相带对应不同的类型(图2)。在纵向上由于沉积序列的不同可形成多种短期基准面旋回结构及叠加样式(图3)。

根据上述标志和对短期基准面旋回层序的结构及叠加样式的分析以及中期基准面旋回相转换面及层序界面的确定,新场地区蓬莱镇组从下到上可划分出5个中期旋回,即MSC1, MSC2, MSC3, MSC4, MSC5。

MSC1属近完全对称型旋回,其上升半旋回由5~6个以A类和C类为主的短期基准面旋回叠加

而成,下降半旋回由 4~ 6 个以 B 类和 C 类为主的短期基准面旋回叠加而成,缓慢湖进,缓慢湖退,旋回中部发育最大湖泛页岩——苍山页岩,在全区可追踪。

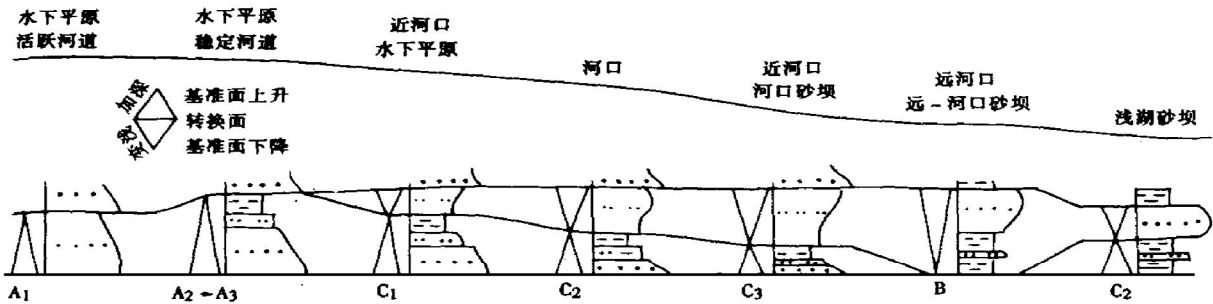


图 2 不同沉积相带的短期基准面旋回对称性变化及分布模式

Fig. 2 Distribution model and Symmetric variation of short-term datum cycle in different sedimentary facies zones

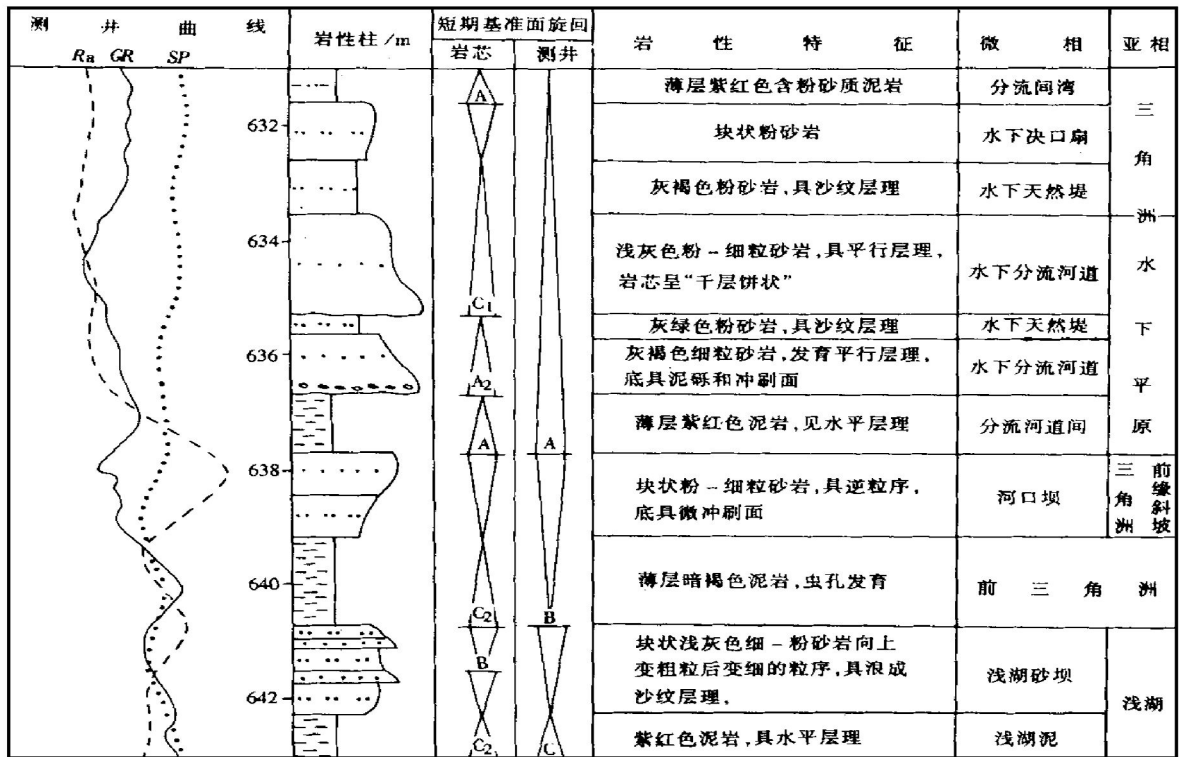


图 3 不同相带短期基准面旋回结构与叠加样式

Fig. 3 Superimposed styles and texture of short-term datum cycle, in different facies zones

MSC2 是以上升半旋回沉积为主的不对称型旋回,其上升半旋回由 5 个以 A 类和 C 类为主的短期基准面旋回叠加而成,下降半旋回由 2 个以 B 类和 C 类为主的短期基准面旋回叠加而成,反映出该中期基准面旋回缓慢湖侵,慢速湖退的特征。

MSC3 属近完全对称型旋回,具备缓慢湖进和缓慢湖退作用的均衡地层响应特征,下降半旋回顶部为三角洲前缘水下河道侵蚀面。

MSC4 属以下降半旋回沉积为主的不对称旋回,上升半旋回由 2 个以 A 类和 C 类为主的短期基准面旋回叠加而成,下降半旋回由 3~ 4 个以 B 类和 C 类为主的短期基准面旋回叠加而成,反映出快速湖进,缓慢湖退的特征。

MSC5 属近完全对称型旋回,和 MSC1, MSC3 一样,反映缓慢湖进,缓慢湖退的地层过程响应。旋回底部发育辫状河道的侵蚀面,旋回的转换处发育深湖相湖泛泥页岩——景福院页岩,全区可追踪对比。

这 5 个中期基准面旋回可并为两个长期基准面旋回 LSC1 和 LSC2。LSC1 由 MSC1 和 MSC2 组成,以蓬莱镇砂岩和太和镇砂岩底部的区域性超覆面为层序顶底界面,其沉积作用反映了盆地基底快速沉降和湖域迅速扩大的快速湖进后,基底处于稳定构造沉降的缓慢湖退过程。LSC2 由 MSC3, MSC4 和 MSC5 组成,是以太和镇砂岩和剑门关砾岩底部区域性超覆面为底顶界面,其沉积作用反映了盆地基底稳定沉降和湖域渐趋扩大的缓慢湖进过程,及

以后的基底迅速抬升和盆地被强烈充填的快速湖退作用过程。

2 地震中期旋回的确定

地震中期基准面旋回的识别标志是: (1) 区域基准面下降导致的河道下切作用形成的不整合或反映地层不协调关系的地震反射终止类型, 即常规的地震地层分析标志; (2) 与中期或长期基准面旋回上升到下降转换位置(最大可容纳空间)相对应

的高振幅连续反射界面或一组反射或空白反射; (3) 与区域相变可对比的地震反射特征(振幅、连续性、频率、地震相等)在区域上发生重大变化; (4) 与测井曲线和岩芯中可观察到的地层叠加样式变化、可对比的地震反射几何形态的变化(如由强振幅水平反射到低振幅S形反射)^[1,2]。

通过对全区三维地震剖面的分析以及骨干剖面的详细解剖, 新场地区蓬莱镇组可划分出5个地震层序, 从下至上依次为 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 (图4)。

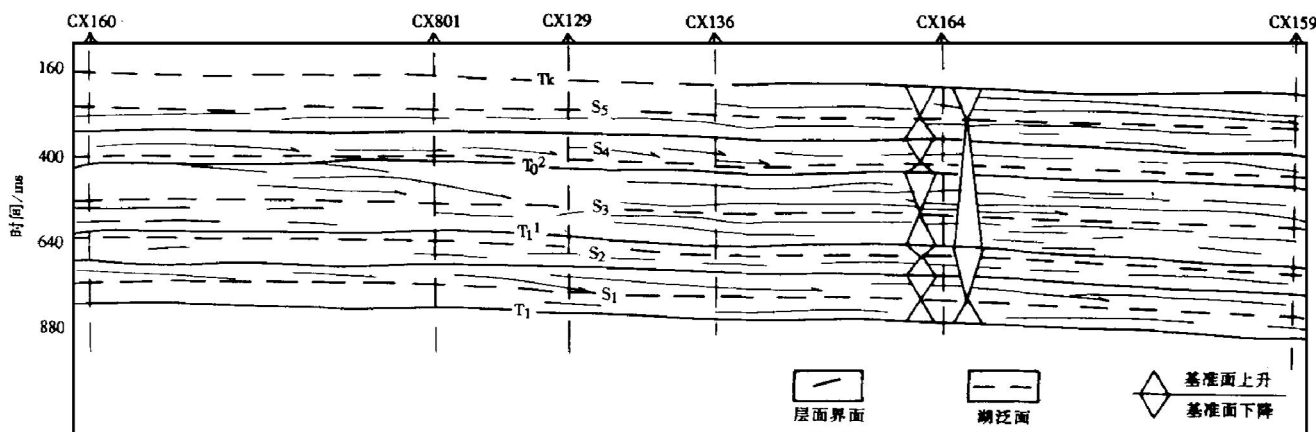


图4 新场地区蓬莱镇组地震层序划分

Fig. 4 Classification of seismic sequences of Penglaizhen Formation in Xinchang

S_1 位于蓬莱镇组最底部, 相当于钻井中期基准面旋回 MSC1, 其底界为 T_1 反射界面, 是一个区域性超覆面, 顶为中低频、中-高振幅连续的反射同相轴, 层序内空白处经钻井标定为区域性的湖泛层——苍山页岩。内部前积反射特征明显。

S_2 相当于钻井中期基准面旋回 MSC2。其顶界 T_1^1 反射界面为一侵蚀削截面, 层序内空白处为湖泛面。

S_3 相当于钻井中期基准面旋回 MSC3, 底面为一侵蚀面, 顶界大致相当于地震 T_0^2 反射界面, 为一侵蚀削截面。层序中部空白处为湖泛面。内部前积反射特征明显。

S_4 相当于钻井中期基准面旋回 MSC4, 底面为一冲刷面, 顶界为中低频, 中-高振幅较连续的反射同相轴, 内部前积特征明显。

S_5 相当于钻井中期基准面旋回 MSC5, 顶部普遍削蚀, 相当于地震 T_k 反射界面, 反射波以 2~3 个强相应反射轴组成, 为平行-亚平行连续反射。中间空白处为区域性湖泛层——景福院页岩。

3 地层对比格架

根据高分辨率层序地层对比原则和方法, 代表

一个中期基准面旋回转换的位置均记录了基准面旋回中可容纳空间增加到最大值或减小到最小值单向变化的极限位置, 即基准面旋回二分时间单元界线。因而基准面旋回上升和下降或下降到上升转换点可作为地层对比的优选位置^[2,3]。

从新场地区蓬莱镇组中期基准面对比中可得到以下几个重要特点: (1) 除 MSC2 和 MSC4 两旋回发育上升和下降半旋回为主的不对称旋回外, 其余 3 个旋回都以下降半旋回的沉积厚度略大于上升半旋回的近完全对称性为特征, 说明沉积主体处在中期基准面下降期仍常年淹没于水下的三角洲水下平原及其向河口砂坝过渡的部位, 具有中期基准面下降期的沉积速率略高于上升期特点; (2) 同一中期基准面旋回的厚度无论是在走向上或横向上均有较大的变化, 但由数个中期基准面叠加组成的两个长期基准面厚度变化却较小, 说明同一中期基准面旋回的沉积作用虽在三角洲不同部位差异较大, 但在统一的长期基准面升降变化过程中, 为保持古地形的稳定和各项沉积动力学参数的平衡, 相对较薄的中期基准面旋回之上往往叠加有相对较厚的中期基准面旋回, 从而在一长期基准面旋回过程中最终形成厚度趋于一致的互补效应。因此, 在

长期基准面旋回过程中,控制三角洲沉积作用和相分异的因素主要为中期基准面的升降变化;(3)类似上述数个中期基准面旋回叠加的厚度互补效应,在同一或相邻的中期基准面上升或下降半旋回之间亦略有反映,尤以位于水下分流河道和河口砂坝沉积区层序分界面之下的前期中期基准面下降与分界面之上的后期中期基准面上升两个半旋回的厚度互补效应较为明显。该界面上下的两个半旋回厚度互补,往往与基准面下降到最低点极限位置的侵蚀作用强度和地层保存状况,以及随后的局部优先沉积充填作用有关。由于该部位往往是水动力条件最强、沉积物最粗、分选最好、泥质含量最低和最有利于河口砂坝及水下分流河道发育的部位,因而亦为储集砂体发育的有利部位。这一成因机

理亦是利用中期基准面旋回的层序分界面预测储集砂体的重要理论依据。

4 储层横向预测

研究表明,长期基准面缓慢上升或下降过程中形成的三角洲沉积体系有利于储层发育,如河道、水下分流河道、河口坝、滨岸砂坝、水下决口扇等砂体,其中尤以各期基准面旋回层序底界面的河道、水下分流河道砂体为最主要的储集砂体。此类砂岩储集空间发育、孔隙结构佳、孔渗性较好,往往有较高的产能。经地震解释对蓬莱镇组这类含气砂体建立了“低频、强振幅、低波阻抗”的地震响应识别标志,并发现地震相和沉积相具很好的对应关系(图5)。

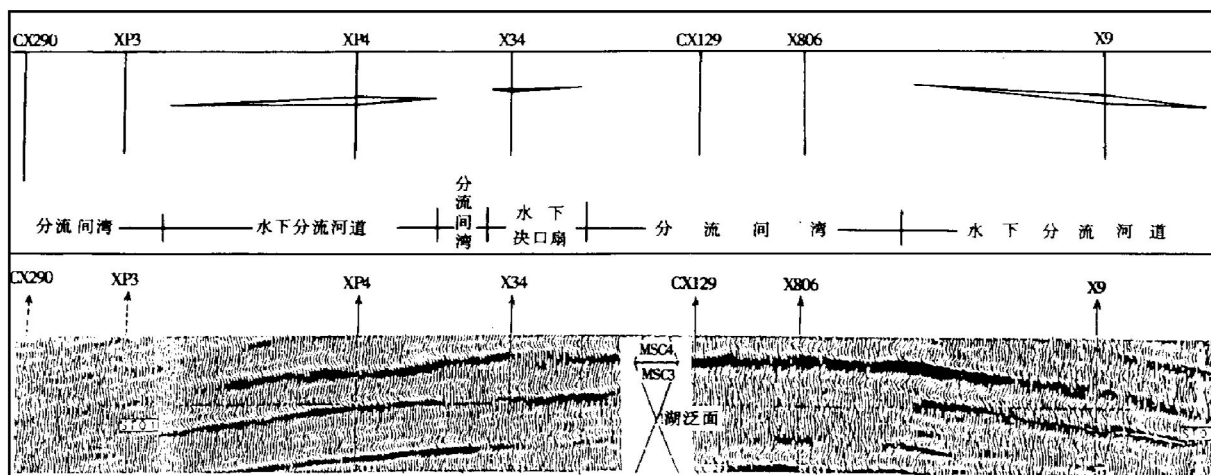


图5 含气砂体地震相与沉积相对应关系图

Fig. 5 Correspondence between seismic facies and sedimentary facies of gas-bearing sandbodies

利用已标定好中期基准面旋回的地震剖面,很容易在地震剖面上找到发育的砂体,根据新场蓬莱镇组含气砂体的地震响应模式可以把含气砂体从砂体中分离出来。如地震层序S3,它发育于LSC2早期,由MSC3的上升和下降半旋回叠置而成。此层序以长期基准面缓慢上升为背景,同时受中期基准面上升-下降过程的影响,由进积-加积-退积-再进积和区域性冲刷作用组成了三角洲-湖泊-三角洲完整的湖进-湖退序列。其储盖组合由下部的水下分流河道砂体+分流河道间泥岩向中上部的浅湖砂坝+河口砂坝+三角洲泥岩及河口砂坝+水下分流河道+分流河道间泥岩转化。在地震剖面上砂体表现为多层带状和透镜状。若含气,砂体的振幅将加强,且会出现频率降低情况。根据此响应特征可以预测出新场地区蓬莱镇组的储层分布状况。图6即为图5中所标示的STO1砂体含气范围

的横向预测图。

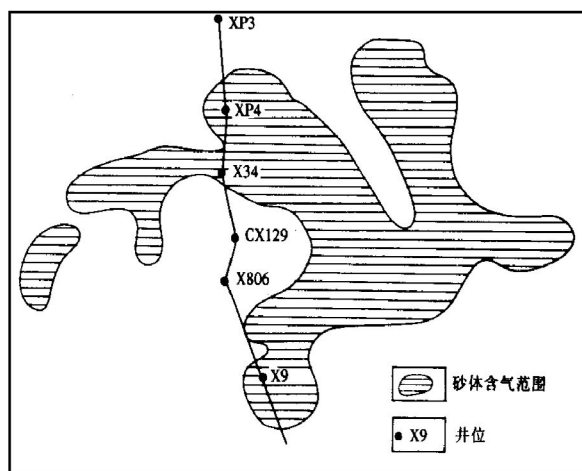


图6 MSC3层序STO1砂体含气范围横向预测图

Fig. 6 Prediction of gas-bearing extent from STO1 sandbody of MSC3 sequence

(图中黑线即为图5中地震连井剖面位置)

5 小结

通过运用高分辨率层序地层学理论和研究方法,从新场蓬莱镇组地层中识别出了45~47个短期5个中期2个长期基准面旋回层序,并通过标志层(地表、测井相、岩相)和运用地层基准面旋回原理与旋回等时对比法则,对中、长期基准面旋回进行了较高精度的等时对比并建立了新场地区蓬莱镇组中、长期基准面旋回地层格架。在此基础上,结合地震响应特征进行了储层横向预测。这种方法不仅能够精细描述储集砂体的时空展布、演化

规律、产出状态和储盖组合特征,而且可对小层砂体的产状、区域分布和连通性进行更精确的描述,在气层开发、储层计算和注采工程中有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- 1 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89~97
- 2 余素玉, 邬金华. 层序地层学方法及其在陆相湖盆研究中的应用[J]. 地质科技情报, 1993, 12(2): 37~42
- 3 王洪亮, 邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96~102

STUDY ON SEQUENCE STRATIGRAPHY OF PENGLAIZHEN FORMATION IN XINCHANG, WEST SICHUAN AND RESERVOIR LATERAL PREDICTION

Wei Limin Liu Meiqing

(Research Institute of Southwest Petroleum Bureau, CNSPC)

Abstract: Based on drilling, logging and seismic data, principles of high resolution sequence stratigraphy and correlation method using datum cycle as reference framework are used in this paper. Five drilling datum mid-term cycles and five corresponding seismic sequences are recognized and the framework of high resolution sequence stratigraphy correlation is established in Penglaizhen Formation of Upper Jurassic in Xinchang of West Sichuan Depression according to formation denudation phenomena, remained deposits, short-term cycle superimposed pattern, seismic reflection end-type and important variation of reflective character. It is pointed out that the main body of Penglaizhen Formation deposited in the position of transitional part from deltaic subwater-plain to river mouth bar during the process of late descending-early rising of the mid-term datum and mostly occurred in both sides of sequence boundary. Seismic response of the gas-bearing sand bodies was used for lateral prediction. Consequently, the accuracy of predicting time-space distribution of the favorable sand bodies and description of smaller sand bodies is significantly increased.

Key Words: Xinchang; Penglaizhen Formation; datum cycle; high resolution; sequence stratigraphy; lateral prediction