

文章编号: 1000-0550(2000)01-0050-07

川西新场气田蓬莱镇组陆相地层 高分辨率层序地层学研究^①

柳梅青¹ 陈亦军¹ 郑荣才²

1(中国新星石油公司西南石油局地质综合研究院 成都 610081)

2(成都理工学院沉积地质研究所“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 成都 610059)

摘要 利用钻井岩芯、测井和地震资料,运用高分辨率层序地层学理论及方法,对新场地区蓬莱镇组进行不同级次的基准面旋回层序划分,识别出45~47个短期、5个中期、2个长期基准面旋回层序,并对不同级次的基准面旋回层序的结构类型、叠加样式和平面分布模式进行了较为深入的讨论。在单井分析的基础上,以二分时间单元分界线为优选等时对比标志对不同级次的基准面旋回进行了较高精度的等时对比,所对比的等时成因地层单元的最高精度可达到相当准层序组(十万年级)的短期基准面旋回。建立了新场地区蓬莱镇组高分辨率层序地层格架,成功地将单井一维信息转化为气田范围内的三维地层关系信息。并分析了短期基准面旋回过程中可容纳空间(A)与沉积物补给通量(S)的比值(A/S)变化对储集砂体的作用。文中还利用沉积动力学的地层响应过程特征分析,重点讨论了中、短期基准面旋回过程中有利储集砂体的沉积相序列、组合特征、产状类型、控制因素及其与物性的关系。指出发育于长期基准面缓慢上升或下降过程中的三角洲沉积体系,为形成储集砂体的必备背景条件,而控制沉积体系中储层时空展布和演化规律的因素则主要为中期基准面旋回。在层序地层格架中,中期基准面旋回层序界面两侧的储层其储集性最好。以此为依据,提出以中期基准面旋回层序分界面作为储层预测重要标志的新认识。

关键词 新场气田 蓬莱镇组 基准面旋回 高分辨率层序地层 等时对比 地层格架

第一作者简介 柳梅青 男 1968年出生 工程师 硕士 石油地质与储层沉积学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 区域地质概况

新场地区位于川西坳陷中段(图1),构造上隶属川西前陆盆地西部次级的近东西向与南北向构造形变域的交汇部位,具有自西向东倾伏的低幅度鼻隆构造形态。侏罗纪时,新场位于龙门山前缘的冲积扇裙带末端与坳陷湖盆的过渡部位,以发育河流—湖泊三角洲与湖相的砂、泥岩交替沉积序列为主,物源主要来自北西侧的龙门山逆冲推覆构造带。蓬莱镇组厚约1300~1600m,主要由泥岩和砂岩、粉砂岩互层组成。底部以一套河流相厚层岩屑石英砂岩、含砾富岩屑砂岩(蓬莱镇砂岩)与下伏遂宁组浅湖相泥岩分界(地震剖面上反映为统一的 T_1 反射层),顶部与上覆下白垩统剑门关砾岩(K_{1j})呈构造不整合接触(地震剖面上为 T_0 反射层)。已有的勘

探开发成果业已揭示发育于该地层中、上部的水上或水下分流河道、河口砂坝、前缘席状砂、决口扇等微相的砂岩为新场浅层气藏重要的产层。

2 蓬莱镇组高分辨率层序地层划分

2.1 层序界面

在高分辨率层序地层学理论体系中,Cross教授所强调的层序是指地层基准面的一个上升与下降旋回所构成的沉积旋回,即基准面旋回。一个完整的基准面旋回层序应该由上升半旋回和下降半旋回组成,其中上升半旋回的底界为层序分界面,上升半旋回顶界或下降半旋回底界为相转换面,此两类界面即为将基准面旋回分割成上升半旋回和下降半旋回的二分时间单元分界线^[1,2]。

在川西坳陷蓬莱镇组中,作为区域性对比标志

^① 由“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室基金项目(编号:PLC9903)资助
收稿日期:1998-10-27 收修改稿日期:1999-04-27

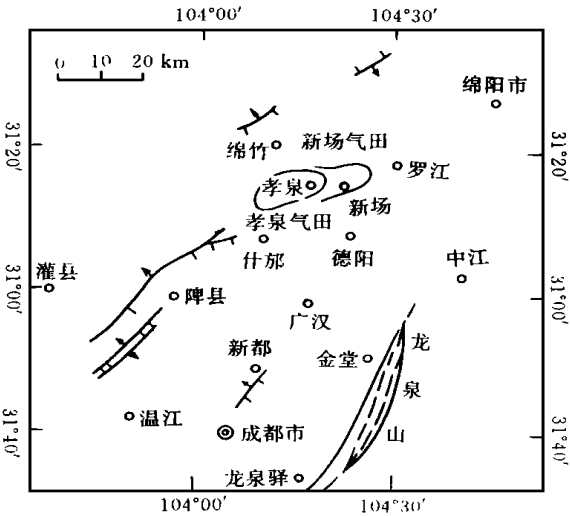


图 1 新场气田地理位置及构造略图

Fig. 1 Sketch geographic and structural map of Xinchang Gas Field

层的苍山页岩和景福院页岩, 分别代表长期基准面上升达最高点位置时发育的最大湖泛期密集段沉积, 因而可将蓬莱镇组划分为两个长期基准面旋回层序, 并以两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^[3]。层序的底界面或顶界面, 各为蓬莱镇砂岩、太和镇砂岩和剑门关砾岩底部的区域性侵蚀暴露面。而在长期基准面上升或下降过程中, 频繁发育具有较好区域对比性的次级湖泛面和冲刷面, 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达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, 而更多的短期基准面

旋回层序以频繁发育的底冲刷面或欠补偿沉积界面为层序分界面。图 2 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或主要地震反射界面的响应特征、相序演化规律及长、中、短期基准面旋回层序划分、结构类型及叠加样式。

2.2 不同级次基准面旋回层序的划分和结构类型

运用多级次基准面旋回和可容纳空间变化原理^[1], 以及由基准面变化导致的沉积地层演化记录, 可在蓬莱镇组中划分出短期、中期、长期三个级次的基准面旋回层序。

2.2.1 短期基准面旋回层序

蓬莱镇组中可划分出 45~47 个时间跨度 ≤ 0.2 Ma 的短期基准面旋回层序(图 2), 归纳为三种基本类型(表 1)。

上述几种短期基准面旋回层序的基本类型, 平面分布上具很强的规律性, 特点为: ①在三角洲水下平原中上游沉积区, 以发育 A₁ 亚类的非对称型旋回为主。向水下平原的下游沉积区方向, 逐渐过渡为 A₂ 和 A₃ 亚类; ②具不完全或近完全对称旋回的层序, 主要发育在近河口水下分流河道和河口附近的河口砂坝沉积区, 自三角洲向湖泊方向, C₁ 亚类逐渐过渡为 C₂ 亚类和 C₃ 亚类; ③向上变浅的 B 类非对称型旋回, 主要发育在距河口较远的远—河口砂坝沉积区; ④在有湖浪作用的浅湖和前三角洲向远—河口砂坝过渡部位, 以发育 C₃ 亚类的近对称型旋回为主。根据上述特征, 提出蓬莱镇组不同沉积相带的短期基准面旋回层序分布模式(图 3)。此模式说明了三角洲水上一水下平原的沉积作用主要发育于基准面上升期, 而远—河口砂坝及浅湖的沉

表 1 新场地区蓬莱镇组短期基准面旋回层序基本类型特征
Table 1 Characteristics of basic types of short-term base-level cycles of Penglaizhen Formation in Xinchang area

层序类型	发育部位	旋回对称性	旋回组成	亚类
向上“变深”的非对称型旋回(A类)	水上或水下分流河道沉积区	仅保存上升半旋回沉积记录, 下降半旋回表现为地表间歇暴露和遭受其后河道下切的侵蚀作用。	向上变细和变薄的沉积序列+侵蚀冲刷面	A ₁ : 低可容纳空间; A ₂ : 中等可容纳空间; A ₃ : 高可容纳空间。
向上变浅的非对称类型旋回(B类)	距河口一定距离的远—河口砂坝沉积区	主要发育下降半旋回沉积记录, 上升半旋回为欠补偿沉积的饥饿面或无沉积作用的间断面	下降半旋回沉积为主, 上升半旋回为欠补偿沉积的饥饿面或无沉积作用的间断面。	
向上“变深”复“变浅”的对称型旋回(C类)	近河口的三角洲水下平原和河口砂坝沉积区, 局部见于水上平原或浅湖向三角洲过渡的部位	基本对称	同时具备基准面上升和下降半旋回的沉积记录和二分时间单元分界线, 发育向上“变深”复“变浅”的对称旋回。	C ₁ : 上升半旋回为主; C ₂ : 对称型旋回; C ₃ : 下降半旋回为主。

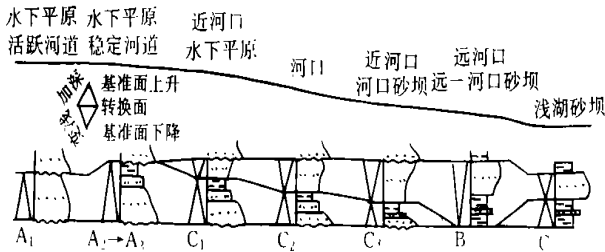


图 3 新场地区蓬莱镇不同沉积相带的短期基准面旋回对称性变化及分布模式

Fig. 3 Sketch map showing the variation and distribution of the symmetry of short-term base-level cycles in different depositional zones of Penglaizhen Formation in Xinchang area

2.2.3 长期基准面旋回层序

蓬莱镇组可划分为时间跨度 ≤ 4.5 Ma 和级别相当于 II 级层序的 LSC1 和 LSC2 两个长期基准面旋回层序。其中 LSC1 由 MSC1 和 MSC2 叠加组成, 以蓬莱镇砂岩和太和镇砂岩底部的区域性超覆面(分别相当地震剖面中的 T_1 和 T_1^+ 反射层)为层序顶、底界面。LSC1 旋回的沉积作用主要形成于盆地基底快速沉降和湖域迅速扩大的快速湖进后, 即处于稳定构造沉降的缓慢湖退状态中。LSC2 由 MSC3、MSC4 和 MSC5 叠加组成, 以太和镇砂岩和剑门关砾岩底部的区域性超覆面为底、顶界面(分别相当地震剖面中的 T_1^+ 和 T_0 反射层)。LSC2 的沉

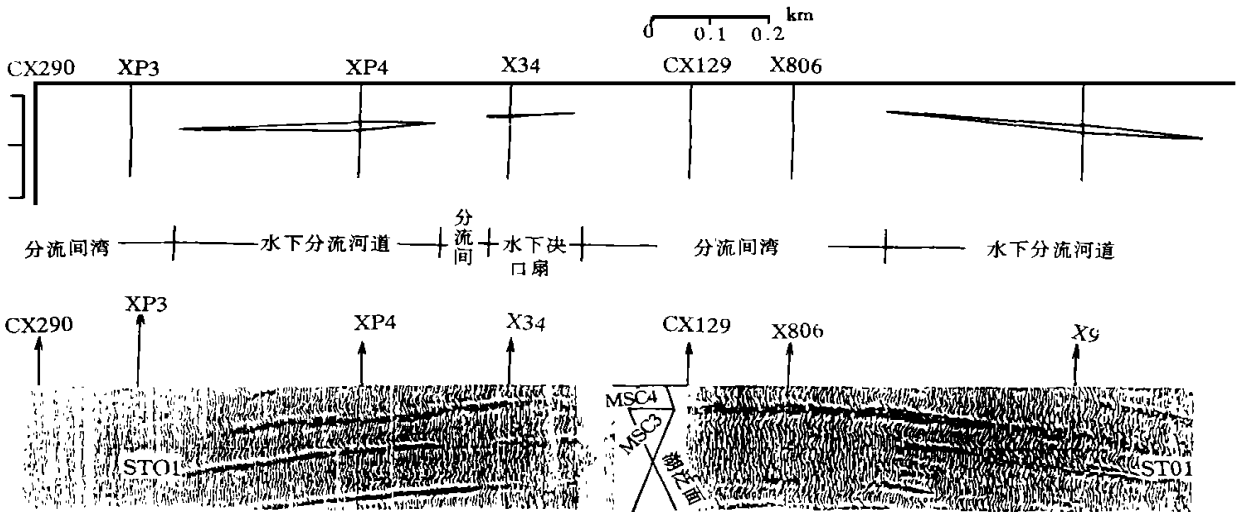


图 4A 中期基准面旋回在地震剖面上的响应

Fig. 4A The response of the mid-term base-level cycles on the seismic section plane

积作用主要形成于盆地基底稳定沉降和湖域渐趋扩大的缓慢湖进作用过程中, 之后曾发生基底迅速抬升和盆地被强烈充填的快速湖退作用。

3 A/S 值变化与储集砂体发育和物性的变化

所谓 A/S 值指可容纳空间(A)与沉积物补给通量(S)的比值。可容纳空间的大小, 取决于基准面上升或下降的速度和幅度差^[1, 2]。沉积物补给通量的大小和变化, 与物源区的构造活动强度及距离远近有关, 但在距物源区较远的三角洲和湖泊相区, 也要受到基准面升降运动控制。然而, 基准面升降运动对三角洲水下平原和河口砂坝相区可容纳空间和沉积物补给通量的变化控制, 虽然可适用于不同

级次的基准面旋回, 但在蓬莱镇组中以中期和短期基准面旋回最为明显。在 5 个中期基准面旋回中, 都以基准面下降晚期至上升早期的区间可容纳空间为最小, 沉积物补给通量为最大, 因而 A/S 值最小。而上升晚期至下降早期的区间可容纳空间为最大, 沉积物补给通量为最小, 因而 A/S 值最大。位于此两区间的基准面上升或下降过程, 则介于两者之间。其中上升期由 $A/S \leq 1$ 向 $A/S > 1$ 转化, 下降期由 $A/S \geq 1$ 向 $A/S < 1$ 转化。由此可见, 短期基准面旋回过程中的 A/S 值变化对储集砂体的形成和控制较为复杂和敏感, 从目前已经识别的蓬莱镇短期基准面旋回结构类型及其储集砂体成因类型、几何形态、保存状况和物性特征的关系, 共可划分出六种情况(表 2), 其中位于中期基准面下降晚

期和上升早期的短期基准面旋回过程, A/S 值主要处于 < 1 的状态中, 有利于进积砂体的发育, 导致了蓬莱镇组中有利储集体主要发育在层序分界面两侧和处于 A/S 值 < 1 条件下的河口砂坝和分流河道两微相沉积区, 且此两类微相砂体往往具有相邻叠置的组合特征。

4 层序地层格架中的储层发育特征

蓬莱镇组中已知的储层主要为水下分流河道砂体、河口砂坝砂体、次为浅湖砂坝、远砂坝和天然堤河口扇砂体。然而并非所有的砂体均为有利含气砂体, 据砂体和含气砂体钻遇率与中、短期基准面升降变化关系的对比分析(图4A, B), 以及主要砂体发育层位的砂体、气层、含气层及微含气层的钻遇率统计结果, 不难看出除底部相当蓬莱镇砂岩的 SSC1 和 SSC2 两短期基准面旋回具有 100% 的砂体钻遇率外, 其余砂体钻遇率较高的短期旋回主要发

育于长期基准面缓慢下降或上升为背景的中期基准面旋回过程中, 其中砂体钻遇率 $> 50\%$ 的短期旋回极大多数位于 MSC3 和 MSC4 两中期旋回之中, 部分位于 MSC5 中, 且在此几个中期旋回中均出现上升半旋回的砂体钻遇率大于下降半旋回, 或上升半旋回至下降半旋回砂体的钻遇率略呈递减的趋势。此变化特征亦出现在气层的钻遇率上, 并且都以此两中期基准面上升半旋回底部或下部的砂体和气层钻遇率为最高。上述特征充分显示了在新场蓬莱镇组的高分辨率层序地层格架中, 以 MSC3、MSC4、MSC5 三个中期基准面旋回为储层最有利的发育层位, 储集砂体主要发育于中期基准面上升半旋回的中、下部, 次为中期基准面下降半旋回的中、上部。从总体上看, 有利储集砂体的发育位置以中期基准面上升半旋回早期相当低水位阶段的水下分流河道砂体为主, 并以超覆层序界面的下切河谷分流水道砂体^[4] 为最重要的储集单元。以中期基准面旋回

表 2 短期基准面旋回过程中 A/S 值变化对储集砂体的作用

Table 2 Effect of A/S values variation in the course of short-term base level cycles on reservoir sandbody

A/S 值变化趋势	在中期基准面旋回中出现的位置	短期基准面沉积作用特征		发育旋回	组成旋回的沉积序列	有利储层发育特征
		上升期	下降期			
$A/S \ll 1$ 向 $A/S < 1$ 缓慢递增	上升初期至早期	强烈进积为主	暴露遭受侵蚀, 缺乏下降期沉积	向上“变深”的低可容纳空间非对称旋回为主	分流河道 + 冲刷面	厚度大, 粒度较粗, 分选好, 泥质含量低, 物性好, 是有利于席状砂体和连通储集砂体发育的最重要部位。
$A/S < 1$ 向 $A/S > 1$ 递增	上升中期, 可容纳空间处于低—中速增长状态	以进积—加积为主	缺乏部分下降期沉积。 基准面下降早期继续沉积, 随后基准面停止下降, 沉积保留。	向上“变深”的中—高可容纳空间非对称旋回为主 近完全对称或以发育上升半旋回为主的不完全对称旋回	水下分流河道 → 天然堤 → 分流间湾 → 决口扇 分流河道与水下天然堤的交替沉积	有利砂体主要是下部的分流河道, 厚度和粒度相对前一类型略变薄变细, 分选中等—较好, 泥质含量增多, 物性较好—中等, 砂体主要呈连通性相对较差的宽带状、窄带状产出。
$A/S > 1$ 向 $A/S \gg 1$ 递增	上升晚期	早期弱进积, 主体加积—退积, 水体迅速加深	基准面小幅度下降, 沉积作用弱, 与上升期沉积物难以区分。	向上“变深”的高可容纳空间非对称旋回为主	连续加深的水下分流河道 + 天然堤 → 分流间湾 → 前三角洲或(浅湖)	砂体主要发育于下部, 呈薄的夹层或透镜状产出, 常为不连通的孤立砂体, 粒度细, 泥质含量高, 物性中等—较差, 一般不利于储层发育。
$A/S \gg 1$ 向 $A/S \geq 1$ 缓慢递减	下降早期	沉积物补给量小, 处于欠补偿或饥饿状态	可容纳空间缓慢递减和沉积物补给通量缓慢增加, 形成反粒序的加积 → 弱进积作用。	下降半旋回为不完全对称旋回 主旋浅	缓慢但连续向上变浅的前三角洲(浅湖) → 远—河口砂坝(浅湖砂坝)	砂体主要位于上部, 呈薄的夹层或透镜状产出, 粒度细, 泥质含量高, 分选差, 物性中等—差, 一般不利于储层发育。
$A/S > 1$ 向 $A/S < 1$ 递减	下降中期	沉积物难以补偿可容纳空间的增量, 沉积作用弱。	以加积 → 弱进积为主, 可容纳空间被沉积物缓慢充满。	下降半旋回为不完全对称旋回	前三角洲 → 远—河口砂坝	砂体主要位于上部, 以位于河口砂坝顶部的砂体相对较厚, 粒度细—中等, 泥质含量高, 分选差, 物性中等—较差, 一般不利于储层发育。
$A/S < 1$ 向 $A/S \ll 1$ 快速递减	下降晚期	弱进积	强烈进积, 可容纳空间迅速添满。	向上水体由缓慢变浅至快速变浅过程的非对称旋回	反粒序的远砂坝 → 河口砂坝	位于上部和顶部的砂体受到侵蚀冲刷作用强烈改造, 厚度大, 粒度粗, 泥质含量低, 分选好, 物性好, 为有利宽带状和席状储集砂体发育的最重要部位之一。

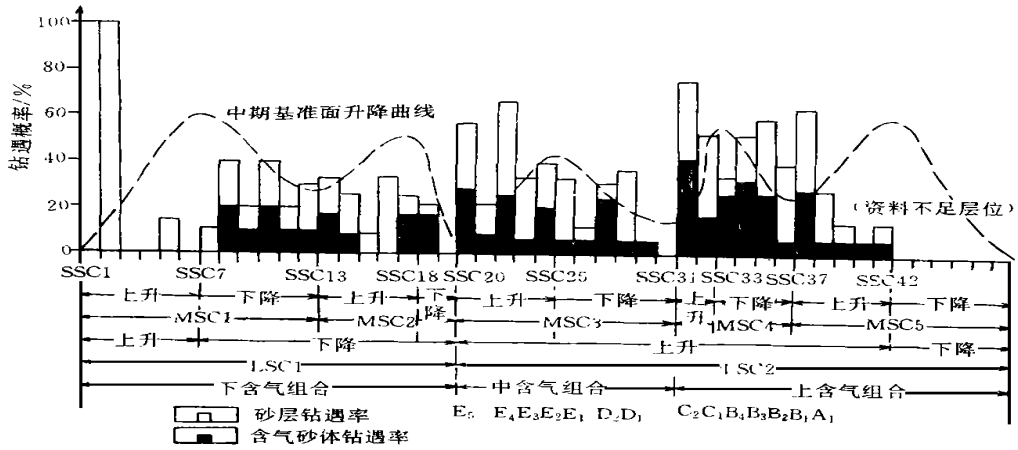


图 4B 砂体和(含)气砂体钻遇率与中期基准面升降变化

Fig. 4B Relationship between the finding probability of sandbody and gas-bearing sandbody, and the variation of mid-term base-level fluctuation

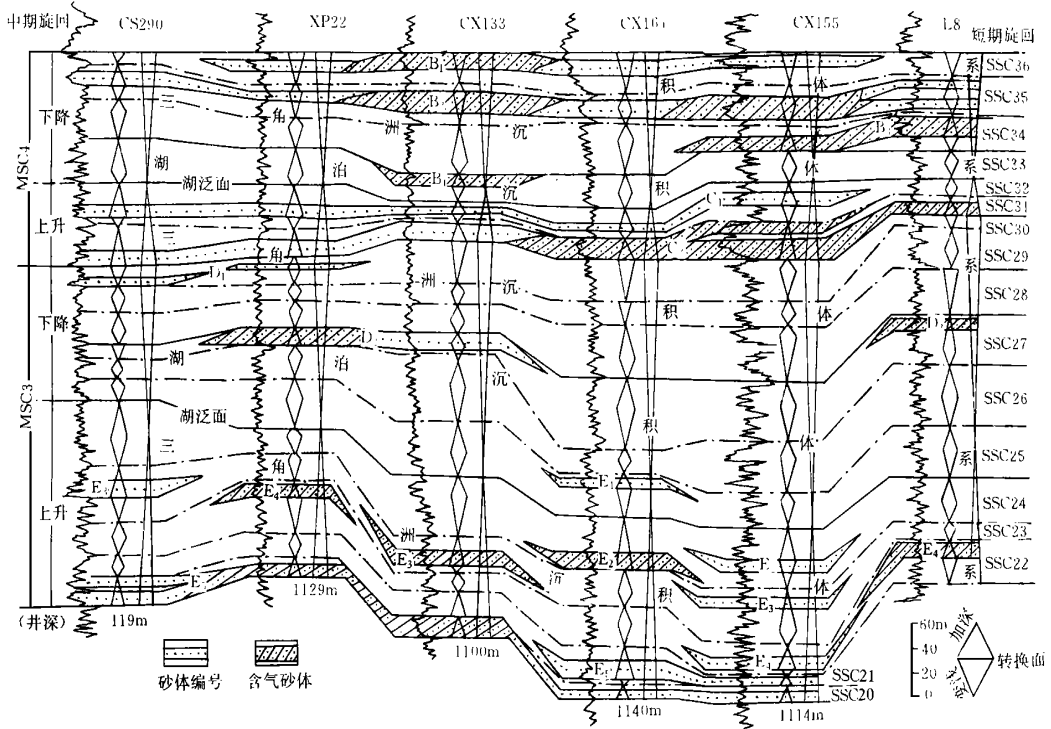


图 5 新场地区蓬莱镇组 MSC3—MSC4 高分辨率层序地层格架中的沉积体系及小层砂体追踪对比图

Fig. 5 Sketch map showing sedimentary system and small layers of sandbodies traced and correlated in MSC3-MSC4 cycles of Penglaizhen Formation in Xinchang area

为单元, 可将蓬莱镇组中的储层划分为两种产出类型: 其一为分布在层序分界面两侧的储层, 发育层位主要为 SSC1、SSC12、SSC13、SSC20、SSC31、SSC36 和 SSC37; 其二为分布在层序内的储层, 以产于 SSC8、SSC9、SSC22、SSC27、SSC32、SSC34 和 SSC35

中的砂层为代表。在此两类储层中, 以发育于层序分界面上的储层储集性优于分界面下和层序内的储层, 且具有更稳定的发育层位、更大的厚度、更广的分布面积、更好的连通性和更高的含气砂体钻遇率 (图 5)。

5 结语

运用高分辨率层序地层学理论和研究方法,从新场地区蓬莱镇组中识别出短期、中期、长期三个级次的基准面旋回层序,以二分时间单元分界线为优选等时对比标志对不同级次的基准面旋回进行了较高精度的等时对比,建立了新场地区蓬莱镇组高分辨率层序地层格架,所对比的等时成因地层单元的最高精度可达到相当准层序组(十万年级)的短期基准面旋回。进一步的研究表明,发育于长期基准面缓慢上升或下降过程中的三角洲沉积体系,为形成储集砂体的必备背景条件,而控制沉积体系中储层时空展布和演化规律的因素则主要为中期基准面旋回。在层序地层格架中,有利储集相带虽都主要为水下分流河道和河口砂坝,但按储层发育位置与层

序演化的关系,可划分为两种产状类型,其一为中期基准面旋回层序界面两侧的储层,其二为层序内的储层,以前者的砂体发育规模为更大、层位更稳定,且储集性明显优于后者为重要特征。以此为依据,提出以中期基准面旋回层序分界面作为储层预测重要标志的新认识。

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 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~184
- 3 郑荣才. 四川盆地下侏罗统大安寨段高分辨率层序地层学[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 1~8
- 4 李从先, 张桂甲. 下切河谷高分辨率层序地层学研究的进展[J]. 地球科学进展, 1995, 11(2): 216~219

High-Resolution Sequence Stratigraphy of Terrestrial Penglaizhen Formation of Xinchang Gas Field in Western Sichuan

LIU Mei-qing¹ CHEN Yi-jun¹ ZHENG Rong-cai²

1(Geological Institute of Southwest Bureau, China National Star Petroleum CO., Chengdu 610081)

2(Chengdu University of Technology, State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation Chengdu 610059)

Abstract

According to the data of rock cores, well loggings and seismic interpretations, three order base-level cycles are recognized from Penglaizhen Formation in Xinchang area, which consist of 45—47 short-term base-level cycles, 5 mid-term base-level cycles, 2 long-term base-level cycles and their structural types, stacking patterns and distributing models are deeply discussed by using high-resolution sequence stratigraphic theory and methods. On the basis of single-well analysis, higher-accuracy isochronostratigraphic correlation is done at the three order base-level cycles in Penglaizhen Formation, and the relative stratigraphic frameworks are built, meanwhile one-dimensional information about single-well is converted to three-dimensional information in gasfield. According to the analysis on characteristics of stratigraphic response course of sedimentary dynamics, favorable reservoir sands' sedimentary facies, association, occurrence, controls, and relationship with physical property in the course of mid-term and short-term base-level cycles are discussed. A table of the influence of the ratio of the accommodation and the sediment supply flux to the reservoir sands is also made in this paper. It clearly shows that the delta systems in the slowly ascent or descent process of the long-term base-level cycles are the necessary background for the favorable reservoir sands, and the main element of controlling the distribution in the time and space for the sedimentary system is the mid-term base-level cycles. The best reservoir sands are on the sides of the sequence surface of the mid-term base-level cycles. So one of the important tokens of reservoir forecast is the sequence surface of the mid-term base-level cycles.

Key words Xinchang Gas Field Penglaizhen Formation base-level cycles high-resolution sequence stratigraphy isochronostratigraphic correlation stratigraphic framework