

辽河西部凹陷曙一区杜84块兴I组高分辨率层序地层

吴俊^{1,2},樊太亮^{1,2},刘慧盈³,高志前^{1,2}

(1. 中国地质大学 能源学院,北京 100083; 2. 中国地质大学 海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室,北京 100083;
3. 中国石油 勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:为阐明辽河西部凹陷曙一区杜84块兴I组高分辨率层序地层特征,应用岩心和测井资料,通过层序界面的识别、取心井单井和两条连井(垂直物源和平行物源)剖面层序分析、不同级次基准面旋回类型及特征剖析,建立了全区高分辨率层序等时地层格架。按照从大到小的原则,兴I组通过不整合面、冲刷面和洪泛面识别出1个长期旋回(LSC1)、2个中期旋回(MSC1—MSC2),通过沉积环境转换面和韵律转换面细分为4个短期旋回(SSC1—SSC4)。按照不同级次旋回的叠加样式、沉积相平面及空间展布特征,短期基准面旋回细分为向上变深非对称型(A型)、向上变浅非对称型(B型)和对称型(C型)3个基本类型及7个亚类型,中期旋回发育以A型为主,C型在SSC2处发育,长期旋回为A型。全区地层发育体现湖盆扩张期退积型沉积序列的特点,具有多期旋回性、大多数仅发育上升半旋回、短期基准面旋回在平面上分布具有分带性的特征。在上升半旋回的下部(SSC1—SSC2)储集砂体最为发育,由不同期次水下分流河道砂体叠置而成,储层物性较好,为今后剩余油挖潜的主要目的层段。

关键词:基准面旋回;层序界面;高分辨率层序地层;兴I组;杜84块;辽河西部凹陷

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

High resolution sequence stratigraphy of Xing I Formation in the Du 84 Block, Shu 1 area, Western Sag of Liaohe Depression

Wu Jun^{1,2}, Fan Tai liang^{1,2}, Liu Huiying³, Gao Zhiqian^{1,2}

(1. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
3. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to demonstrate the characteristics of high resolution sequence stratigraphy of Xing I Formation in the Du 84 Block, cores and logging data were applied to conduct the research on the sequence boundaries reorganization, sequence analysis on single well profile and cross-well profiles of cored wells, interpretation of different level cycle types. We establish the chronostratigraphic sequence framework in the study area. One long-term sequence cycle(LSC1) and two mid-term sequence cycles(MSC1 – MSC2) are identified according to unconformity, scour surface and flooding surface. Meanwhile, four short-term sequence cycles(SSC1 – SSC4) are further identified according to the sedimentary transformation surfaces and rhythm conversion surfaces. These SSC are subdivided into three basic types and 7 sub-types according to the stacking patterns of cycles of various levels, planar and spatial distribution of sedimentary facies. The three basic types are deepening upward nonsymmetric type(typeA), shallowing upward nonsymmetric type(type B) and symmetric type(type C). Type A mainly develops in the MSC and LSC. And the type C develops in the SSC2. The strata in the whole basin belong to retrograding sequences formed during expansion of lake basin, featuring in multi-cycle mostly having only ascending half cycle and zonation in plane distribution during the SSC. The reservoir sands are best developed at the bottom of the ascending half cycle(SSC1 – SSC2). They consist of stacked underwater distributary channel sand bodies of different periods, and have good reservoir property, thus are the main targets of remaining oil potential tapping in the future.

Key words: base-level cycle, sequence boundary, high-resolution sequence stratigraphy, Xing I Formation, Du 84 Block, Western Sag of Liaohe Depression

收稿日期:2014-06-25;修订日期:2015-05-10。

第一作者简介:吴俊(1991—),男,硕士研究生,层序地层学。E-mail:zgdxzxbjw@126.com。

通讯作者:樊太亮(1961—),男,教授、博士生导师,层序地层学及隐蔽油气藏勘探理论与技术。E-mail:fantl@cugb.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(41102078)。

1994 年,以 Cross 为代表^[1-2]提出的高分辨率层序地层学问世,全新的理论、概念和技术在二十多年的推广、运用过程中取得显著成果。在我国主要以邓宏文、郑荣才等研究者为代表,针对不同级次的基准面旋回划分,从而建立高分辨率等时地层格架。因此,高分辨率层序地层学对于勘探阶段长时间尺度和开发阶段短时间尺度地层单元的细化的层序划分和等时对比都适用^[3-4]。

曙一区杜 84 块兴 I 油层组油藏属于稠油油藏,在开发过程中,主要采用蒸汽辅助重力泄油(SAGD)技术。在生产过程中,陆续暴露出:地层划分过粗,横向对比存在不确定性;沉积相编制过粗,平面刻画不够精确,影响储层的精细定量描述;不同期次河道叠置关系、边界性质不清,影响储层非均质性分析等一系列问题。在注入大量蒸汽后,蒸汽腔横纵向扩展范围不大,泄油半径增加缓慢,从而导致原油动用程度很低,最终影响采收率。要想有效解决这些问题,其核心是高分辨率等时地层格架的建立,通过总结地层格架内地层发育特征,实现从油层组到小层尺度的地层精细刻画,为稠油油藏精细描述提供地质依据。

1 区域地质概况

曙一区杜 84 块位于辽河盆地西部凹陷西斜坡的中段,受北部杜 32 断层、东部杜 79 断层及西部杜 115 断层联合控制,形成一个呈长条状向南东方向倾斜单斜构造。兴 I 组属于古近系沙(沙河街组)一、沙二段,与上覆的馆陶组,下伏的沙三上亚段呈角度不整合接触^[5-7]。沙一+沙二段和沙三上亚段两套地层砂体十分发育,纵向上相互接触,属于同一油水压力系统,合称兴隆台油层,进一步细分为为 5 个油层组,即自上而下为兴 I—V 组。研究区面积 5.24 km²,钻井 1 236 口,物源来自东北方向,属于中、厚层甚至块状辫状河道砂为骨架的扇三角洲前缘亚相,进一

步细分为 5 个微相:近源水下分流河道、分流间湾、远源水下分流河道、河口坝和前缘席状砂。

2 层序界面特征和识别

对于高分辨率层序地层学研究,层序界面的识别是基础也是关键。不同级次的层序界面对应着相应的识别标志和成因特征,最可靠、最具操作性的识别标志是野外露头、岩心、测井及地震反射界面^[8-11]。虽然本区地震资料较差,但具有比较齐全的取心井岩心及井网密度很高的测井资料,故研究主要从岩心观察和测井分析两个方面来开展工作。

2.1 不整合面

经典的层序地层学将由于沉积物暴露侵蚀导致长期沉积间断而形成的不整合面作为层序界面。在高分辨率层序分析中,往往将其作为长期或者超长期基准面旋回界面。研究目的层段兴 I 组,与下伏地层沙三上亚段的兴 VI 组以及上覆地层馆陶组均以角度不整合接触,而且这三套地层属于不同类型的沉积,其中兴 I 组发育以辫状河道砂为骨架的扇三角洲前缘沉积,兴 VI 组发育湖底扇重力流沉积,而馆陶组属于冲积扇沉积。

2.2 河道冲刷面

当基准面下降到地表以下时,可容纳空间远小于沉积物的供给量,充足的物源不断切割侵蚀水下分流河道,在河床底部可见侵蚀冲刷面和滞留沉积^[12]。河道冲刷面的形成和分布与侵蚀作用的强度关系紧密,在近源水下分流河道的河床底部可见呈棱角、次棱角状的中等砾岩、土黄色泥砾,在远源水下分流河道的底部可见含砾中砂岩,测井曲线 AC 从高值突变为低值,曲线 RT/RS 高值(图 1)。

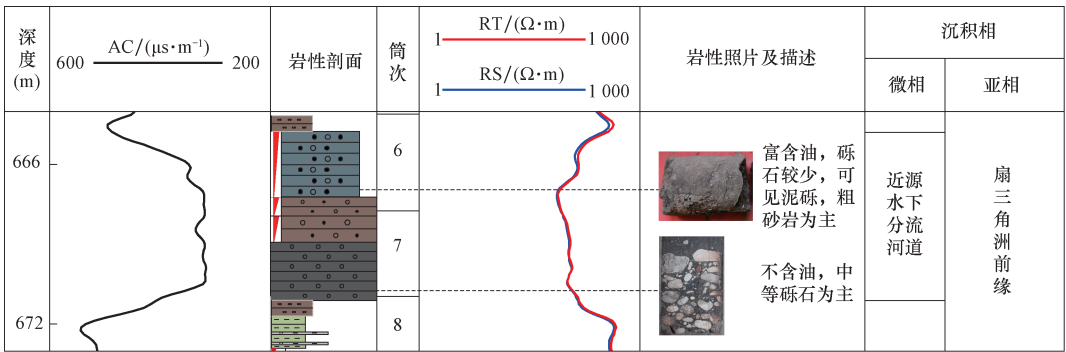


图 1 辽河西部凹陷曙一区杜 84 块兴 I 组杜 84-59-87 井近源水下分流河道冲刷面
Fig. 1 Scour surface in the proximal underwater distributary channels of Well Du 84-59-87 of the Xing I Formation in Du 84 Block, Shu 1 area, Western Sag of Liaohe Depression

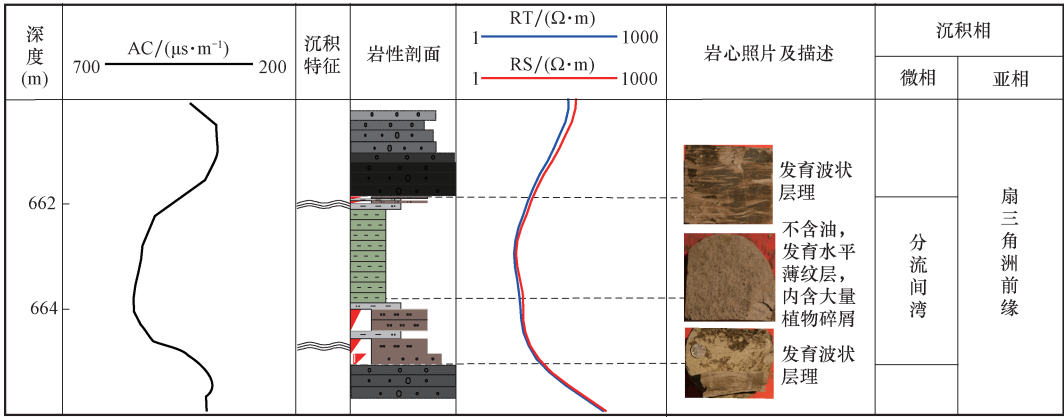


图 2 辽河西部凹陷曙一区杜 84 块兴 I 组杜 84-59-87 井显示的洪泛面

Fig. 2 Flooding surface in Well Du 84-59-87 in the Xing I Formation in Du 84 Block, Shu 1 area, Western Sag of Liaohe Depression

2.3 洪泛面

当基准面上升至最高点,可容纳空间迅速增大,靠近物源区截留大量的沉积物,而靠近湖盆中心区物源供给不足甚至缺乏,处于弱补偿或欠补偿状态^[13]。本区洪泛面较容易识别,在兴 I 组顶部发育大套灰绿色泥岩段,厚度 2~5 m 不等,代表着基准面上升达到最高值时形成的向上加深变细的退积型沉积序列。在洪泛时期分流间湾微相中,泥岩普遍发育有水平纹理、波状层理,内含有大量的植物碎屑,RT 明显低值、AC 值显著增大(图 2)。

2.4 沉积环境转换面

随着沉积物供给量和可容纳空间的不断变化,岩相组合、沉积环境及相类型也随之改变,储集砂体的几何形态、空间展布和保存状态差异明显^[14-15]。在该区沉积环境转换面处可见:湖相泥质或粉砂质细粒沉积物直接被不断进积的河口坝或远源水下分流河道砂覆盖,形成明显的岩性突变界面,垂向上河道砂体的厚度变大,砂体的连通程度很好。

2.5 韵律转换面

沉积韵律转换面指示在不同沉积环境下,受水动力及物源供给等因素作用,韵律转换面上下韵律性的改变^[15-17]。在研究区中主要体现在沉积韵律转换面上下砂泥比值的差异,界面之下砂岩含量向上减少,界面之上砂岩含量向上增加,粒度自下而上先变粗而后变细的界面代表层序界面。

3 基准面旋回层序类型及特征

通过对取心井岩心观察及测井曲线的识别对比,对兴 I 组进行高分辨率层序地层划分,可识别出 3 个

级别的旋回类型:长期、中期和短期基准面旋回。

3.1 短期基准面旋回特征

由于不同成因特征边界的限制,短期基准面旋回在沉积序列上有变化^[18-21],相组合和相序上表现为若干个沉积微相连续叠置,利用垂向叠置关系判别沉积环境变迁的方向。该区划分为 4 个短期旋回,识别出向上变深非对称型、向上变浅非对称型和对称型旋回 3 个基本层序类型,然后依据可容纳空间的高低及对称性可进一步细分为 7 个亚类型。

1) 向上变深非对称型旋回(A 型)

此类仅保存基准面上升半旋回沉积,下降半旋回受侵蚀、冲刷作用出现缺失,底界面为冲刷面,可容纳空间与沉淀物供给量比值(A/S) <1 ,处于过补偿状态。在不同的沉积环境中此种类型均可广泛发育。按照岩性、界面特征和保存状态,划分为低可容纳空间、高可容纳空间两个亚类型。

① 低可容纳空间亚类(A_1 型)

由底冲刷面和单一向上变细的厚层块状砂体组成,单个砂体表现为正韵律,形成于 $A/S < 1$ 的沉积条件下。其主要发育于近源水下分流河道,河道不停的迁移摆动,多期河道砂体连续叠置,叠置砂体之间发育泥岩夹层或冲刷底砾。砂体整体具有向上变细减薄的特点。主要岩性为中砾岩、含砾粗砂岩、中砂岩和含砾细砂岩。由于沉积物供给量远大于可容纳空间,水动力条件很强,局部可见水平层理,大部分泥质或粉砂质沉积被强烈地侵蚀或冲刷带走而无法保存,仅保留底部粒度相对较粗的河道砂体(图 3a)。

② 高可容纳空间亚类(A_2 型)

由底冲刷面—厚层块状砂岩—中薄层细砂岩—薄层泥岩组成,形成于 $A/S < 1$ 的条件下。其主要发育在远源水下分流河道和分流间湾微相,主要岩性为含砾粗砂岩、含砾细砂岩、粉砂岩和泥岩。当基准面下降时,水下分流河道横向迁移能量相对较弱,对沉积物的

侵蚀作用较 A_1 型较弱,故上升半旋回晚期的泥质沉积较完整地保存(图 3b)。

2) 向上变浅非对称型旋回(B型)

此类仅出现基准面下降半旋回沉积,上升半旋回呈现无沉积作用的间断面或欠补偿状态下的沉积饥饿面。同样,可进一步细分为低可容纳空间、高可容纳空间两个亚类。

① 低可容纳空间亚类(B_1 型)

由单一向上变粗的薄—中厚层状细砂岩、中砂岩构成,砂体主要在下降半旋回的中上部发育,单个砂体体现反韵律特征,形成于 $A/S < 1$ 的条件下。其主要发育在河口坝部位,岩性主要为中砂岩。在基准面上升期,远离物源区沉积物供应量较少,当基准面下降、可容纳空间不断减少,水深变浅,水动力增强,沉积速率增高,沉积物增多,粒度变粗,表现出加积—进积的特点。基准面下降晚期的暴露冲刷有利于河口坝储集砂体的分选改造,此类有利于储集砂体发育(图 4a)。

② 高可容纳空间亚类(B_2 型)

由处于欠补偿状态下的无沉积作用间断面—薄层泥岩、粉砂岩互层—中层砂岩、砾岩组成,形成于 $A/S > 1$ 的沉积条件下。其主要发育在河口坝、分流间湾部位,主要岩性为砂砾岩、灰绿色粉砂岩和灰绿色泥岩。基准面上升时期,远离物源区因沉积物供给不足处于欠补偿状态,而基准面下降期表现为加积—弱进积特点。在下降半旋

回的早期,下切河道的冲刷作用较弱,分流间湾泥质沉积得以保存,故储集砂体的发育较 B_2 型较差(图 4b)。

3) 对称型旋回(C型)

此类保存有较完整的基准面上升和下降半旋回沉积记录,形成在 $A/S > 1$ 的沉积条件下。本类主要发育在远源水下分流河道和河口坝或前缘席状砂的相互作用区带。以洪泛面为对称轴细分为 3 个亚类。

① 上升半旋回为主的不完全对称亚类(C_1 型)

上升半旋回沉积厚度大于下降半旋回的沉积厚度,上升半旋回体现正韵律,下降半旋回体现反韵律,主要发育在远源水下分流河道和河口坝部位,岩性主要为中细砾岩、含砾粗砂岩、细砂岩(图 5a)。

② 近完全—完全对称亚类(C_2 型)

上升半旋回沉积厚度和下降半旋回沉积厚度大致相同,主要发育在远源水下分流河道和河口坝交互作用地带,岩性主要为:中细砾岩、粗砂岩、中砂岩和含砾粉砂岩(图 5b)。

③ 下降半旋回为主的不完全对称亚类(C_3 型)

下降半旋回沉积厚度大于上升半旋回沉积厚度,主要发育在远源水下分流河道和前缘席状砂部位,岩性主要为:中砂岩、细砂岩和粉砂岩(图 5c)。

3.2 中期基准面旋回特征

中期基准面旋回形成于区域性水进期或水退期,

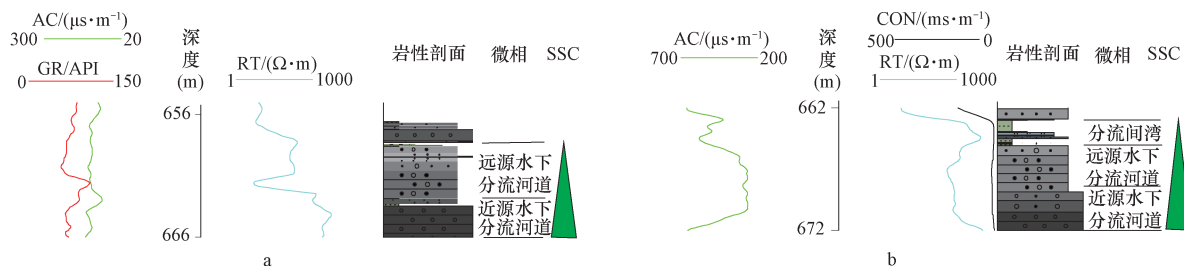


图3 辽河西部凹陷曙一区杜84块兴I组显示的向上变深非对称型短期基准面旋回结构

Fig. 3 Structures of the deepening upward nonsymmetric short-term sequence cycles of the Xing I Formation in Du 84 Block, Shu 1 area, Western Sag of Liaohe Depression

a. 杜84-65-67井,低可容纳空间亚类(A_1 型); b. 杜84-59-87井,高可容纳空间亚类(A_2 型)

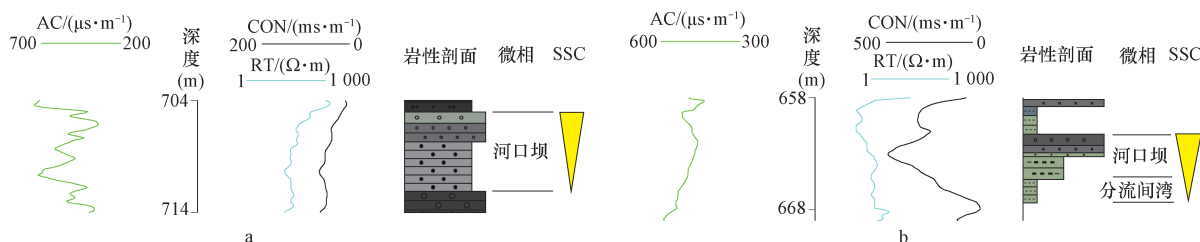


图4 辽河西部凹陷曙一区杜84块兴I组显示的向上变浅非对称型短期基准面旋回结构

Fig. 4 Structures of the shallowing upward nonsymmetric short-term sequence cycles of the Xing I Formation in Du 84 Block, Shu 1 area, Western Sag of Liaohe Depression

a. 曙1-30-143井,低可容纳空间亚类(B_1 型); b. 曙1-31-152井,高可容纳空间亚类(B_2 型)

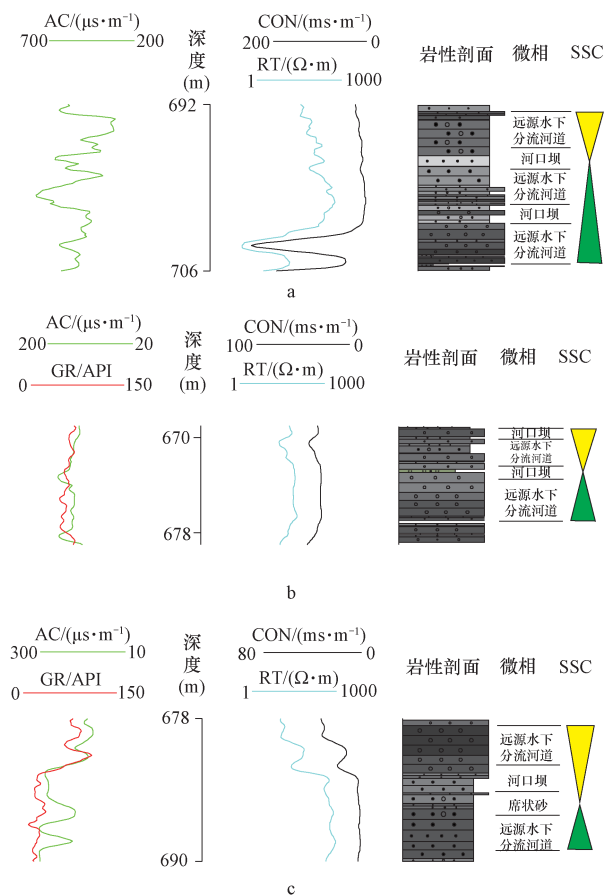


图5 辽河西部凹陷曙一区杜84块兴I组显示的对称型短期基准面旋回结构

Fig. 5 Structures of the symmetric short-term sequence cycles in the Xing I Formation in Du 84 Block, Shu 1 area, Western Sag of Liaohe Depression

- 杜228井, 上升半旋回为主的不完全对称亚类(C_1 型);
- 杜84-观110井, 近完全-完全对称型亚类(C_2 型);
- 杜84-馆观4井, 下降半旋回为主的不完全对称亚类(C_3 型)

较长期基准面旋回更次一级, 但较短期基准面旋回更高一级。根据界面类型及地层叠加样式可划分为2个中期旋回, 每个中期旋回厚度12~30 m不等。从整体来看, MSC1—MSC2为湖平面不断上升期, 湖盆区域不断扩张, 沉积区逐步朝陆地方向迁移, 形成了退积式的层序叠加格架。其主要特点: 发育以A型为主, C型在SSC2处发育, B型不发育; A型主要分布在水下分流河道中; 在中期旋回的中、下部, 储集砂体最为发育, 物性较好, 多由连续切割、叠置的分流河道砂构成, 在中期旋回的上部, 储集砂体较差甚至不发育。

3.3 长期基准面旋回特征

长期基准面旋回是通过中期基准面旋回构成的地层叠加样式来识别的^[22-28]。本区识别出1个长期基准面旋回, 发育A型, 水深变化幅度较大, 代表着缓慢水进-高速高幅水退的地层旋回过程, 一旦基准面由上升折向下降时, 基准面即穿越沉积界面而立即对上

升期沉积物产生强烈的下切侵蚀作用。因此, 在层序分析中可以发现部分井缺少下降半旋回和最大洪泛面的沉积记录。在长期旋回的底界面具有较大下切幅度的侵蚀冲刷面, 与下伏地层的顶部呈现岩性和岩相突变的侵蚀冲刷面接触关系, 洪泛期发育厚度2~5 m不等的灰绿色泥岩。

4 高分辨率层序地层格架建立

在杜84-观110取心井(图6)层序界面识别的基础上, 挑选标准井, 建立覆盖全区的骨干剖面。在垂直和平行于东北物源方向选取两个剖面进行连井层序分析(图7), 建立高分辨率等时地层格架, 从而确定地层划分方案。按照从大到小的原则, 从长期基准面旋回层序划分入手, 以底部的河道冲刷面和洪泛面建立起等时地层对比框架, 将研究区分为1个Ⅲ级层序, 再以沉积环境转换面识别出2个Ⅳ级层序; 依据短期旋回组合特征, 根据韵律转换面进一步划分为4个Ⅴ级层序。总结全区地层主要具有如下特点。

1) 多期旋回性

兴I组作为1个长期基准面旋回, 整体为一上升半旋回, 可容纳空间向上增大, 内部包括2个中期旋回, 对应兴I1和兴I2砂层组, 每个中期旋回又分为2个短期旋回, 共计4个短期旋回, 分别对应兴I1-1、兴I1-2、兴I2-1和兴I2-2小层。

2) 大多数仅发育上升半旋回

上升半旋回仅保存最有保存潜力的沉积。当基准面处于下降时期时, 部分沉积物即处于暴露状态遭受侵蚀, 洪泛期形成的泥质沉积物无法得到有效保存。与此同时基准面上升期形成的沉积物也遭到一定程度的剥蚀, 导致洪泛面多与下一个层序顶部的冲刷面重合, 局部区域甚至出现缺失洪泛面的情况。

3) 短期基准面旋回在平面上分布具有分带性

以SSC1为例, 沿着顺物源方向依次对应近源水下分流河道—远源水下分流河道—河口坝—前缘席状砂相带分布, 分别对应着A₁型—C₁型—C₂型—C₃型—B₂型演化序列(图7b)。近源水下分流河道发育靠近物源, 伴随着基准面上升幅度逐渐增大, 沉积物供给量小于可容纳空间, 可容纳空间向物源方向迁移, 沉积强度减弱, 沉积物变细, 形成向上变细减薄的退积序列。在垂直物源方向, 切割不同的沉积相带, 砂体的连通程度较差(图7a)。

4) 最有利储集砂体主要位于长期旋回的下部

对应短期旋回SSC1为主要含油层段, 由不同期次连续切割叠置的河道砂体组成, 河道宽厚比大, 垂向和侧向的连通性很好。

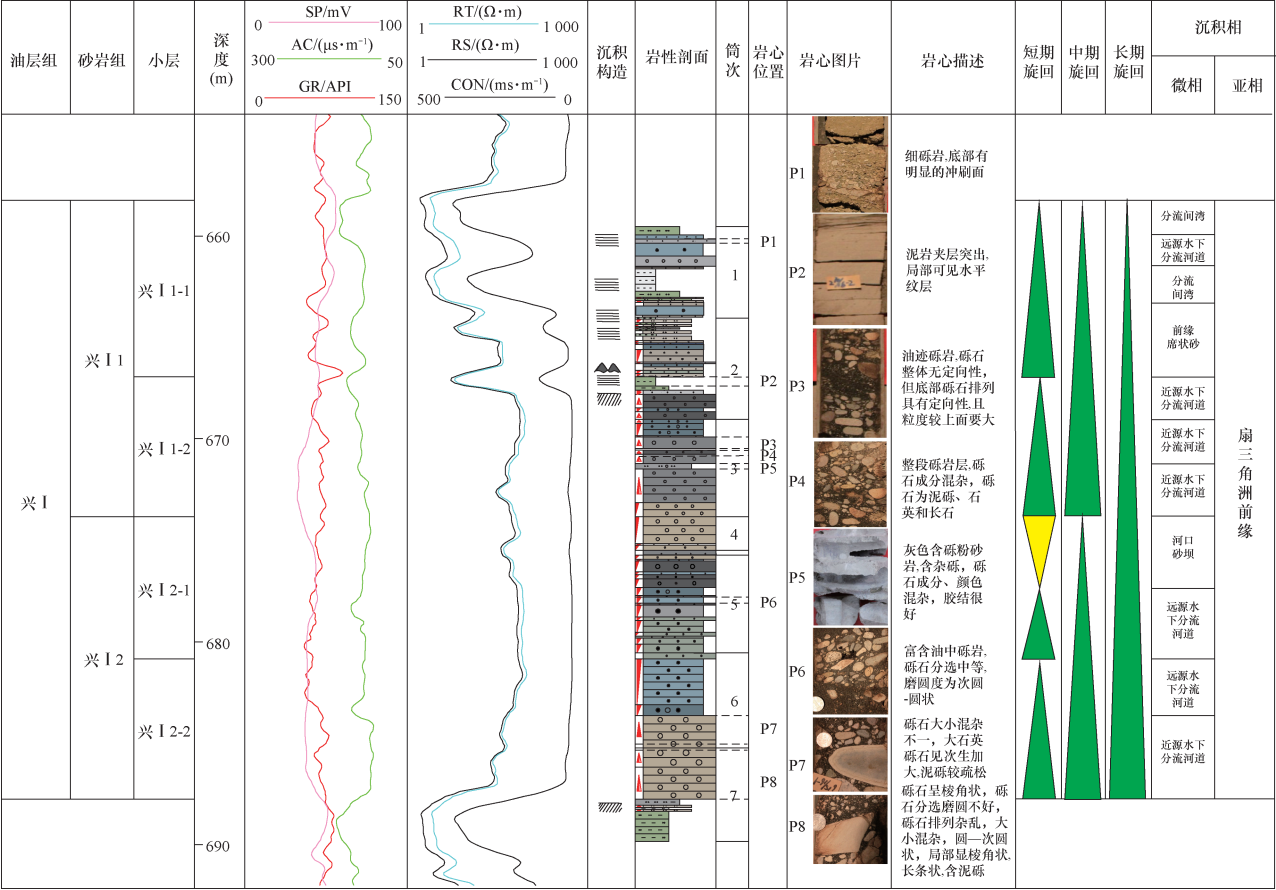


图 6 辽河西部凹陷曙一区杜 84 块兴 I 组杜 84 - 观 110 井沉积相 - 层序地层综合柱状图
Fig. 6 Comprehensive sedimentary facies-sequence stratigraphic column of Well Du 84-Guan110 in the Xing I Formation in Du 84 Block, Shu 1 area, Western Sag of Liaohe Depression

5) 泥砾分布广泛

扇三角洲前缘层序多旋回性和多冲刷面的直接表现结果,沉积旋回的底部主要表现为河道冲刷面,冲刷面之上黄色泥砾、土黄色泥砾分布广泛。

5 结论

1) 辽河西部凹陷曙一区杜 84 块兴 I 油层组根据不同级次层序界面成因特点和宏观识别标志的差异,通过不整合面、河道冲刷面和洪泛面识别出 1 个Ⅲ级层序、2 个Ⅳ级层序,通过沉积环境转换面、韵律转换面识别 4 个Ⅴ级层序。

2) 结合取心井岩心一测井资料进行单井层序分析,在全区选择标志层和标准井,建立覆盖全区的骨干剖面,在平行和垂直东北物源方向上进行连井层序分析,从而实现垂向上井井对比、平面上井网控制对比,建立高分辨率层序等时地层格架。其中长期旋回对应兴 I 油层组,中期旋回对应砂层组,短期旋回对应各小层,即全区可分为 1 个油层组、2 个砂层组和 4 个小层。

3) 根据辽河西部凹陷曙一区杜 84 块兴 I 油层组

不同级次基准面旋回基本结构类型的差异,短期基准面旋回共分为 A 型、B 型和 C 型 3 个基本类型及 A₁ 型—C₃ 型等 7 个亚类型,短期基准面旋回在平面上分布呈现条带状,近源和远源水下分流河道发育 A 型,河口坝、前缘沙席状砂处发育 B 型,远源水下分流河道与河口沙坝或前缘席状砂结合部位主要发育 C 型;中期旋回发育以 A 型为主,C 型在 SSC2 处发育,B 型在该区不发育;长期旋回发育为 A 型。

4) 辽河西部凹陷曙一区杜 84 块兴 I 油层组时期,整体处于基准面旋回上升、可容纳空间增大,湖盆区域不断扩大期,表现出退积型的沉积序列。地层发育特征呈现多期旋回性、大多数仅发育上升半旋回。优质储集砂体主要位于上升半旋回的下部(SSC1—SSC2)为主要的含油层段,多期的水下分流河道的迁移摆动,储集砂体切割叠置,砂体的侧向和垂向上连通程度很好。上升半旋回的顶部含油较少,砂体发育较差甚至不发育,河道比较孤立,砂体的连通程度较差。在接下来开展工作时,建议以高分辨率层序地层研究为基础,重点考虑沉积相分布、储层非均质性对于稠油油藏分布及 SAGD 技术开采的限制,定量分析隔夹层空间展布对蒸汽腔扩散、原油受热半径的影响。

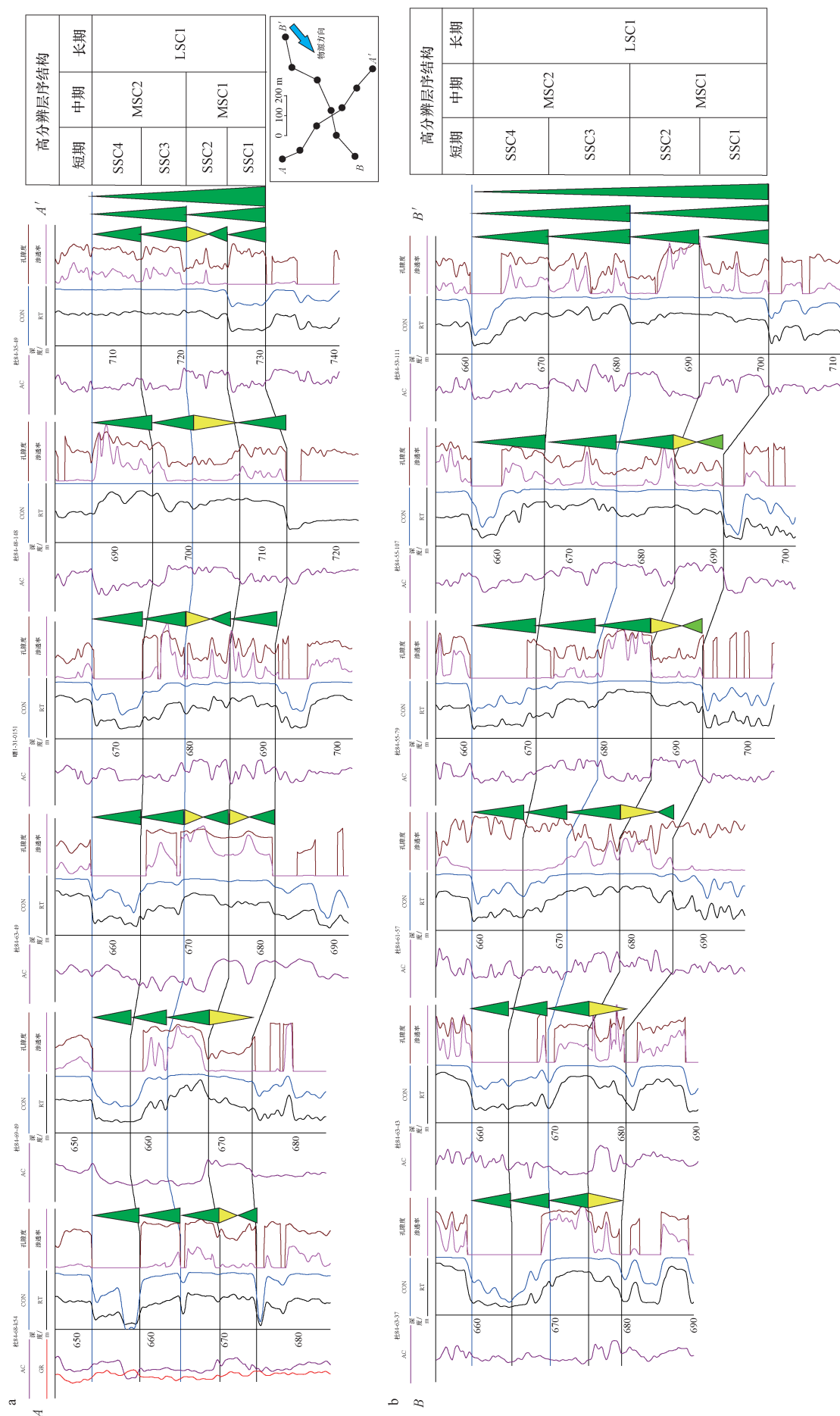


图7 辽河西部凹陷曙一区杜84块兴I组垂直接物源方向杜84-68-K54井—杜84-63-49井—杜84-35-49井—杜84-63-37井—杜84-53-111井连井剖面层序分析

参 考 文 献

- [1] Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspective of base-level cycles and sediment accommodation [C]//Proceedings of northwestern European sequence stratigraphy congress. Paris;1994,123.
- [2] Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning; rationale for stratigraphic model evaluation and high-resolution stratigraphic correlation [J]. Sequence Stratigraphy—Concepts and Application. Norwegian Petroleum Society Special Publication, 1998, 6(8): 171–195.
- [3] 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.
Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in US-high resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89–97.
- [4] 邓宏文, 王红亮, 宁宁. 沉积物体积分配原理—高分辨率层序地层学的理论基础 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305–313.
Deng Hongwen, Wang Hongliang, Ning Ning. Sediment volume partition principle; theory basic for high resolution sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 305–313.
- [5] 陈义国. 曙一区杜84块兴隆台西超稠油开发技术探讨 [J]. 西部探矿工程, 2008, 20(9): 106–109.
Chen Yigu. The discussions of super heavy oil development in technical, Du 84 Block, Shuyi District [J]. West-China Exploration Engineering, 2008, 20(9): 106–109.
- [6] 党犇, 赵虹, 周立发, 等. 辽河油田曙一区杜84块兴隆台油层储层非均质性 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 382–386.
Dang Ben, Zhao Hong, Zhou Lifa, et al. Reservoir heterogeneity of Xinglongtai oil layer in Du84 block of Shuguang-1 area, Liaohe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 382–386.
- [7] 苏生瑞, 张靖宇, 毛彦龙. 辽河油田曙一区杜84块兴隆台油层构造应力场研究 [J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(1): 11–15.
Su Shengrui, Zhang Jingyu, Mao Yanlong. Studies on the tectonic stress field in the Block 84 of Liaohe oilfield [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 2001, 23(1): 11–15.
- [8] 殷鸿福, 童金南. 层序地层界面与年代地层界线的关系 [J]. 科学通报, 1995, 40(6): 539–541.
Yin Hongfu, Tong Jinnan. Sequence stratigraphic relationship interface with chronostratigraphic boundaries [J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(6): 539–541.
- [9] Zhang J, Jiang Z, Li D, et al. Sequence stratigraphic analysis of the first layer, upper second submember, Shahejie formation in Pucheng oilfield [J]. Journal of Earth Science, 2009, 25(20): 932–940.
- [10] 杨勇, 雷卞军, 冯永玖, 等. 鄂尔多斯盆地子洲及邻区山西组二段高分辨率层序地层和煤沉积模式 [J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 58–67.
Yang Yong, Lei Bianjun, Feng Yongjiu, et al. High-resolution sequence stratigraphy and coal sedimentary modes of Member 2 of Shanxi Formation in Zizhou and its adjacent areas, the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 58–67.
- [11] 郭涛, 王军, 石文龙, 等. 辽西低凸起中段古近系东营组层序地层及地层—岩性油气藏勘探意义 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 248–255.
Guo Tao, Wang Jun, Shi Wenlong, et al. Sequence stratigraphy of the Paleogene Dongying Formation and its significance for stratigraphic-lithologic reservoirs exploration in the central-south Liaoxi salient [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 248–255.
- [12] 石兰亭, 潘树新, 郭维华, 等. 松辽盆地南部上白垩统中部组合层序界面的识别标志及高分辨率层序地层格架 [J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 235–242.
Shi Lanting, Pan Shuxin, Guo Weihua, et al. Sequence boundary characteristic and its high-resolution sequence stratigraphic framework of the middle oil bearing beds in the south of Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(2): 235–242.
- [13] 高志勇, 郑荣才, 罗平. 陆相高分辨率层序地层中洪泛面特征研究 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34(1): 47–56.
Gao Zhiyong, Zheng Rongcai, Luo Ping. A study of the flooding surface in the high-resolution stratigraphic sequence of continental deposit [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34(1): 47–56.
- [14] 陈飞, 樊太亮, 高志前, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组层序界面成因类型及控制因素分析 [J]. 石油天然气学报, 2009, 31(2): 197–200.
Chen Fei, Fan Tailiang, Gao Zhiqian, et al. Analysis of controlling factors and genetic types of sequence boundary of Yanchang Formation upper Triassic in Ordos Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(2): 197–200.
- [15] 田世存, 刘国臣, 汤磊, 等. 南苏丹答腊盆地B区块层序地层格架及有利成藏带 [J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(1): 68–76.
Tian Shicun, Liu Guochen, Tang Lei, et al. Sequence stratigraphic framework and play fairways in Block B of the South Sumatra Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 68–76.
- [16] 陈维涛, 杜家元, 龙更生, 等. 珠江口盆地惠州地区珠江组控砂机制及地层—岩性圈闭发育模式 [J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 449–458.
Chen Weitao, Du Jiayuan, Long Gengsheng, et al. Factors controlling sandbody development and models of stratigraphic-lithologic traps of Zhujiang Formation in Huizhou area, Pearl River Mouth Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 449–458.
- [17] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369–375.
Zheng Rongcai, Yin Shiming, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base level cycle [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 369–375.
- [18] 王云龙. 大安油田大208区精细油藏研究 [D]. 大庆: 大庆石油学院, 2009.
Wang Yunlong. A study on fine reservoir description of the Da208 area of the Da'an oilfield [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2009.
- [19] 雷志诚. 白音查干凹陷锡林好来地区腾格尔组储层特征研究 [D]. 荆州: 长江大学, 2013.
Lei Zhicheng. Study on reservoir characteristics of Tenger Formation of Xilinhaolai Area in Baiyinchagan Depression [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2013.
- [20] 徐淑娟. 卫城油田卫22断块精细地质模型与剩余油分布研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
Xu Shujuan. Research on geological modeling and remaining oil distribution of Block Wei22 in Weicheng Oil Field [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [21] 柯光明, 郑荣才, 高红灿. 胜坨油田一区沙河街组二段1~3砂组高分辨率层序地层学 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2004, 31(2): 139–147.
Ke Guangming, Zheng Rongcai, Gao Hongcan. High-resolution sequence stratigraphy of 1~3 sand beds developed in Member 2 of Shahejie Formation from No. 1 area in Shengtuo oilfield [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2004, 31(2): 139–147.
- [22] 张金亮, 司学强, 林辉. 金湖凹陷阜三段沉积相分析 [J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(4): 535–539.
Zhang Jinliang, Si Xueqiang, Lin Hui. Sedimentary facies analysis of the 3rd member of the funing Formation in the Jinhu Depression [J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(4): 535–539.

(下转第446页)