

扶新隆起带南部扶余油层高分辨率层序地层分析

孙雨¹, 张金岩¹, 马世忠¹, 闫百泉¹, 赵慧², 丛琳¹

(1. 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆 163318; 2. 吉林油田有限责任公司勘探开发研究院, 吉林松原 138001)

摘要:依据岩心、录井和测井资料,对松辽盆地扶新隆起带南部扶余油层各级次基准面旋回演化规律及高分辨率层序地层模式进行研究。结果表明:扶余油层发育1个长期基准面旋回的上升半旋回、4个中期基准面旋回和13个短期基准面旋回,地层厚度受继承性古隆起控制向盆地阶梯状减薄;基准面的发育过程经历早期的缓慢上升阶段、中期的快速上升阶段、中后期的缓慢上升阶段及末期的快速上升后略有下降阶段,依次发育高能和低能河控三角洲平原、近岸沉积区、三角洲前缘-前三角洲;扶余油层底部为长期基准面下降至上升转换面,A/S值远小于1,砂体几何形态以多层式为主;随着基准面上升,A/S增加,原始地貌要素保存程度的增强导致河道沉积以侧向加积为主,砂体以孤立式为特征;向上变深的非对称型中期基准面上升半旋回早期主要发育厚层分流河道沉积,构成扶余油层的主要储集砂体。

关键词:基准面旋回;高分辨率层序地层;河控三角洲;扶余油层

中图分类号:TE 121.34 **文献标志码:**A

Analysis of high-resolution sequence stratigraphy of Fuyu oil layer in the southern Fuxin Uplift

SUN Yu¹, ZHANG Jin-yan¹, MA Shi-zhong¹, YAN Bai-quan¹, ZHAO Hui², CONG Lin¹

(1. College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China;

2. Exploration and Development Institute of Jilin Oilfield Company Limited, Songyuan 138001, China)

Abstract: Based on cores, log and well-log data, evolution of all levels base-level cycles and high-resolution sequence stratigraphic model were analyzed in Fuyu oil layer of the southern Fuxin Uplift. The results show that one long-term, four middle-term and thirteen short-term base-level cycles were classified. Strata thickness is controlled by the inherited palaeo-uplift and it appears stepped thinning toward the basin. Base-level mainly experienced four stages: the early rising slowly stage, the middle rising quickly stage, the middle and later rising slowly stage, the end rising quickly and falling slightly stage. Fuyu oil layer has developed into high-energy fluvial-dominated delta plain, low-energy fluvial-dominated delta plain, coastal deposition area of fluvial-dominated delta plain and delta front to pro-delta deposition during those four stages. The bottom of Fuyu oil layer is a turnaround surface of long term base-level falling to base-level rise. Its A/S is far less than 1. The geometry of sandbody is mainly multi-layered. With the base level rising, A/S and the preservation degree of original landscape elements increase gradually. This is the reason why channel deposit is mainly lateral accretion, and the sandbody is isolated. The early rising hemicycle of non-symmetry middle-term base-level cycle deepening upward mainly forms thick distributary channels, which constitutes the main reservoir sandbodies of Fuyu oil layer.

Key words: base-level cycle; high-resolution sequence stratigraphy; fluvial-dominated delta; Fuyu oil layer

以地层过程-响应沉积动力学为理论基础,基准面旋回变化为直接驱动机制的高分辨率层序地层学理论及其相关技术方法被广泛应用于中国复杂多变的陆相含油气盆地的层序地层分析中^[1-2],该理论

对于分析构造运动频繁、气候变迁强、可容空间和沉积物供给速率的变化(A/S)大的陆相沉积盆地有较好的适用性^[3-4]。国内学者进行了多方面应用探讨,从油气勘探评价阶段地层格架及储层空间分布模式

构建的长时间尺度层序单元分析^[5]到开发阶段储层内部构型及剩余油预测的短时间尺度单砂体层序单元研究^[6],已初步形成了一套针对中国陆相含油气盆地油气勘探、评价及开发的技术理论方法。浅水湖盆河控三角洲沉积地层是中国最重要的油气储集层类型之一,在松辽盆地白垩系、渤海湾盆地新近系和鄱阳湖赣江三角洲等大型湖盆均有发现^[7-9],多是由按地质时间顺序的多期河流沉积垂向加积或垂向切叠加积而成的,地层特征取决于每期河流沉积特征和后期河流对前期河流沉积物的切蚀程度,因而地层时空演化具有复杂性和多变性,造成浅水湖盆河控三角洲沉积地层的高分辨率层序地层分析较困难,导致对各级次基准面旋回演化规律及地层模式认识尚不清楚。因此,笔者以松辽盆地扶新隆起带南部扶余油层浅水湖盆河控三角洲沉积为例,通过对各级次基准面旋回精细划分与对比,建立高分辨率层序地层格架,并在等时地层格架内进行各级次基准面旋回演化规律及高分辨率层序地层发育特征与模式研究。

1 地质概况

扶新隆起带是松辽盆地中央坳陷区南部的一个正向二级构造单元(图1),其西南与长岭凹陷相接,

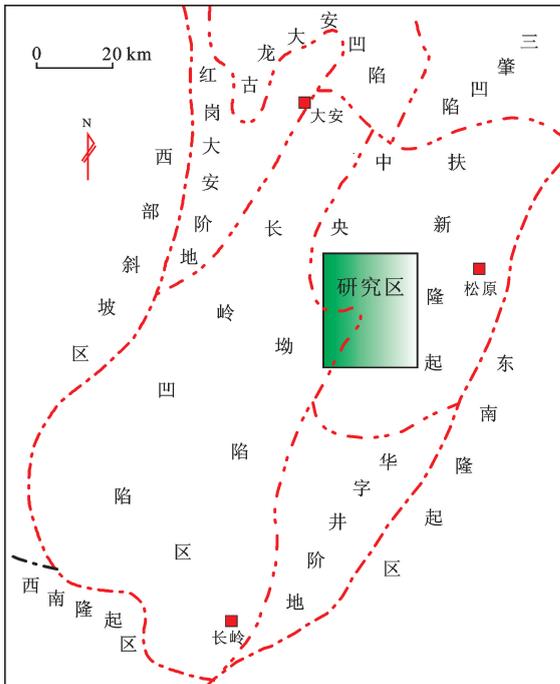


图1 松辽盆地扶新隆起带南部区域位置

Fig.1 Location of southern Fuxin Uplift, Songliao Basin

南毗华字井阶地,北临三肇凹陷,东连登娄库-长春岭背斜带^[10]。扶余油层属于下白垩统泉头组四段,为松辽盆地南部最重要的含油层系之一^[11]。该沉积时期扶新隆起带主要受西南物源永康水系和东南物源长春和怀德水系影响^[12],发育大型浅水湖盆河控三角洲沉积,以三角洲分流平原沉积为主,仅在泉四段顶部沉积了较薄的灰色、灰绿色泥岩夹砂岩的三角洲前缘沉积。至青山口组一段沉积时期,盆地进入稳定坳陷期,沉积了数百米厚的深湖-半深湖相黑色泥岩,在青一段下部有三组页岩、泥灰岩与劣质油页岩互层的岩性组合,是松辽盆地最大的湖泛期产物^[13],为长期基准面上升→下降的转换点。在20世纪80年代开展的沉积微相(大层段)系统研究中,扶新隆起带南部扶余油层按沉积旋回划分为4个砂组13个小层。

2 扶余油层高分辨率层序划分与对比

2.1 扶余油层各级次基准面旋回划分方案

根据各级次层序界面和湖泛面的层序地层学意义,以及不同级次基准面升降运动所导致的地层旋回过程和沉积学响应特征,结合钻井岩心、测井和沉积微相相序变化特征等资料的综合分析(表1),按照陆相盆地基准面旋回级别划分方案,将扶新隆起带南部扶余油层划分为1个长期基准面旋回的上升半旋回(LSC),4个中期基准面旋回(自下而上为MSC₁-MSC₄),13个短期基准面旋回(自下而上为SSC₁-SSC₁₃)及若干超短期基准面旋回(图2)。

2.2 扶余油层各级次基准面旋回层序对比

在钻井沉积微相分析和各级次基准面旋回层序划分基础上,依据Cross提出的高分辨率层序地层对比原则^[14],应用“逐级标准(参照)等时面控制下的逼近基准面旋回界面对比”的对比方法,建立了扶新隆起带南部扶余油层高分辨率层序地层对比格架(图3)。在高分辨率层序地层格架控制下,通过旋回及其组合、地层过程-响应分析、高级次层序控制和地震、测井、岩心资料综合对比等具体技术手段,实现了全区扶余油层805口井13个短期基准面旋回层序精细对比。

表 1 扶新隆起带南部扶余油层层序界面类型与特征

Table 1 Feature and types of sequence boundary surface in Fuyu oil layer of southern Fuxin Uplift

界面类型和级次	界面成因	界面岩心、测井特征				井号
长期基准面 上升至下降转换面	最大湖泛面	自然伽马/ API 60—180 非 厚/ km 1.684 1.890 岩性 剖面 油页岩 双测向电阻率/ ($\Omega \cdot m$) 0—35	岩心照片	沉积相	井号	R22井
中/短期基准面 上升至下降转换面	次级湖泛面	自然伽马/ API 45—195 短期 中期 长期 非 厚/ km 0—3 0—3 0—3 岩性 剖面 席状砂 分流间 分流河道 退积-进积 转换面	岩心照片	沉积相	井号	Q41井
短期基准面 下降至上升转换面	河道底部 侵蚀冲刷面	自然伽马/ API 45—165 岩性 剖面 双测向电阻率/ ($\Omega \cdot m$) 0—35	岩心照片	沉积相	井号	R30井
中/短期基准面 下降至上升转换面	泥岩颜色 突变面	自然伽马/ API 45—105 深度 /km 1.710 1.714 岩性 剖面 双测向电阻率/ ($\Omega \cdot m$) 0—20 短期 旋回	岩心照片	沉积相	井号	R22井

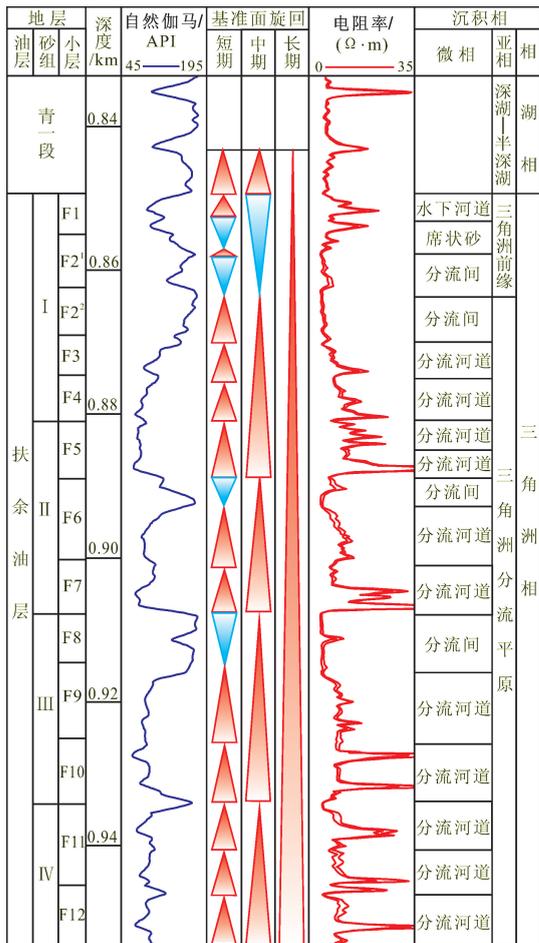


图 2 扶余油层高分辨率层序地层划分图(前 41 井)

Fig. 2 High-resolution sequence stratigraphy division of Fuyu oil layer (well Qian 41)

3 扶余油层高分辨率层序地层分析

3.1 扶余油层地层发育特征及控制因素

从地层对比结果来看,扶新隆起带南部扶余油层地层厚度整体具“西南厚、东北薄”的分布特征,且南北差异较大,由西北部的 124.4 m(让 24 井)减薄至东南部的 92.9 m(木 67 井),直线距离约 28 km,地层减薄 31.5 m,地层直线减薄率约为 1.125(图 4)。同时发现地层厚度并不是呈直线型逐渐减薄,而是呈不规则台阶形跳跃式减薄,整体具“2 陡坎 3 缓台”格局,特别是“东北陡坎”及其“西南平台”尤为突出(图 3、4)。按照基准面变化过程-响应原理可知,平行物源向盆方向地层厚度应呈整体增大趋势,但在研究区表现的现象恰恰相反,区内主要受西南物源和东南物源双重控制,但河流方向主要为西南-北东向,由西南至东北方向为由陆向盆方向,但地层厚度却由西南向东北阶梯式减薄,表面上看似与基准面变化过程-响应原理相悖。通过全面细致地分析研究区的地质特征发现,扶余油层的地层厚度变化、相序、相组合和相类型等特征受基准面变化和古地貌双重控制,其中古地貌对于扶余油层厚度变化影响较大。研究区(整体东高西低,构造低处近物源)处于扶新隆起带的南坡,扶新隆起是一个继承性的古隆起,在基准面上升情况下,研究区东部的可容空间增加幅度由于受古隆起的影响小于西部的可容空间增加幅度,直接控制了 A/S 的变化,这就直接

导致扶余油层在厚度上的变化,从而形成了受继承性

古隆起控制的向盆阶梯状减薄地层模式。

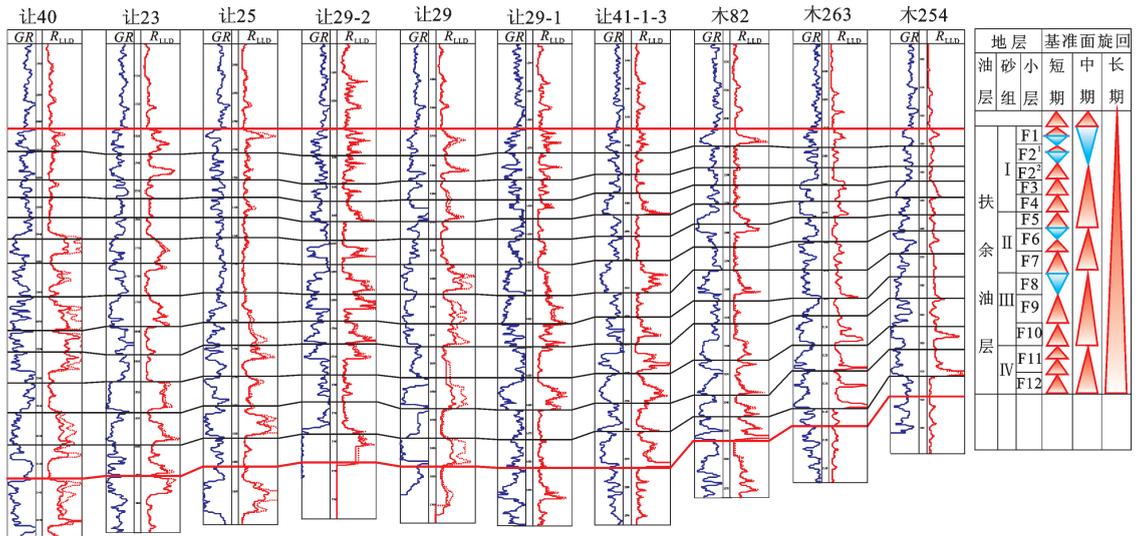


图3 扶新隆起带南部扶余油层高分辨率层序地层对比

Fig.3 Comparison of high-resolution sequence stratigraphy in Fuyu oil layer of southern Fuxin Uplift

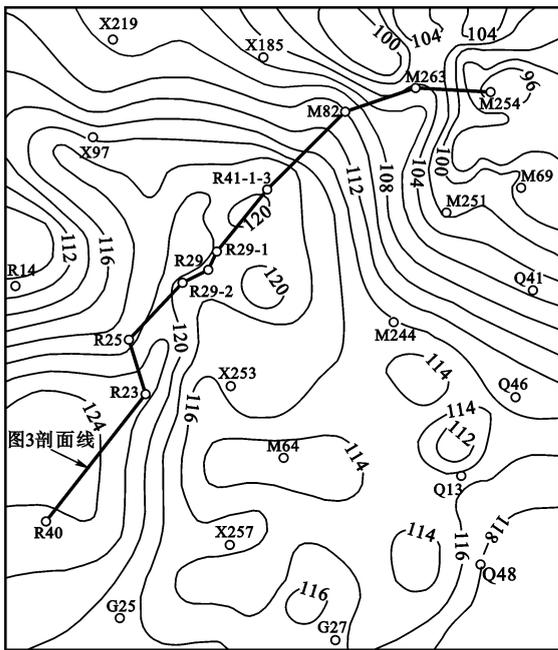


图4 扶余油层地层厚度等值线图

Fig.4 Contour map of strata thickness of Fuyu oil layer

3.2 基准面变化与湖平面的关系及其对相序和相域的控制

从扶新隆起带南部扶余油层沉积相发育过程来看,其相类型、相序、相组合特征与基准面的发育过程紧密相联。该区河控三角洲沉积中,基准面的发育过程可以近似于湖平面的升降过程,基准面高,湖平面高;反之则低(图5)。

MSC₁ 沉积时期,处于长期基准面下降-上升的转换位置→上升早期,基准面上升较缓慢,主要为低可容纳空间条件下多个向上变深的非对称型短期旋回

垂向叠加而成。此时,扶余油层主要发育浅水湖盆高能河控三角洲分流平原亚相沉积,沉积微相类型较单一,主要为分流河道和分流河道间,分流河道能量较强,底部冲刷突变面清晰,滞留沉积发育;分流河道间主要为紫红色泥岩,具贝壳状断口、擦痕等特征。

MSC₂ 沉积时期,处于长期基准面上升中期,基准面上升较快,主要为中-低可容纳空间条件下多个向上变深的非对称型短期旋回垂向叠加而成,局部出现向上变深复变浅的对称型旋回,但向上变浅半旋回规模一般较小。此时,扶余油层主要发育浅水湖盆高能→低能河控三角洲分流平原亚相沉积。由于基准面的快速稳定上升,A/S值有所增大,局部出现向上变深复变浅的对称型旋回;河流的影响作用开始减弱,分流河道底部滞留沉积明显变薄;分流河道间沉积局部出现灰绿色泥岩或杂色泥岩。

MSC₃ 沉积时期,处于长期基准面上升中晚期,基准面上升缓慢,总体上仍表现为中等可容纳空间条件下多个向上变深的非对称型短期旋回垂向叠加而成,但各短期旋回保存相对完整,并且向上变深复变浅的对称型旋回开始增多。此时,扶余油层主要发育浅水湖盆低能河控三角洲分流平原亚相沉积,沉积微相类型增多,出现决口河道、决口扇和溢岸砂等微相。分流河道特征仍很明显且垂向相对发育,但河水溢岸、改道有所增加;分流河道间主要为紫红色泥岩,灰绿色泥岩开始增多,反映基准面缓慢上升导致了地下水位不断升高,分流河道间洼地面积有所增大。

MSC₄ 沉积时期,处于长期基准面上升晚期→末期,为一个向上变深复变浅的对称型中期旋回,基准

面快速上升后略有下降,主要为中、高可容纳空间条件下多个向上变深复变浅的对称型和向上变浅的非对称型短期旋回叠加而成,向上变深的非对称型短期旋回仅在该旋回早期局部地区出现,各短期旋回保存相对完整。该旋回沉积早期,基准面缓慢上升,区内主要为浅水湖盆低能河控三角洲分流平原亚相沉积,沉积特征与 MSC₃ 类似。该旋回沉积中期,基准面快速上升,区内主要为浅水湖盆河控浅三角洲分流平原亚相近岸沉积区,古地貌相对平缓、距物源

远,具有陆上氧化环境和水下还原环境的双重特征。该旋回沉积晚期,基准面上升速率减慢,并略有下降,区内主要为浅水湖盆河控三角洲前缘亚相,水下分流河道相对发育;水下分流河道间主要为灰绿色块状泥岩为主,见揉皱构造。该旋回沉积末期,受控于松辽盆地的整体发展趋势,基准面快速上升,沉积物供给迅速减少,主要发育前三三角洲亚相沉积,以发育厚度较大的灰黑色水平层理泥(页)岩夹薄层菱铁矿层为主要特征。

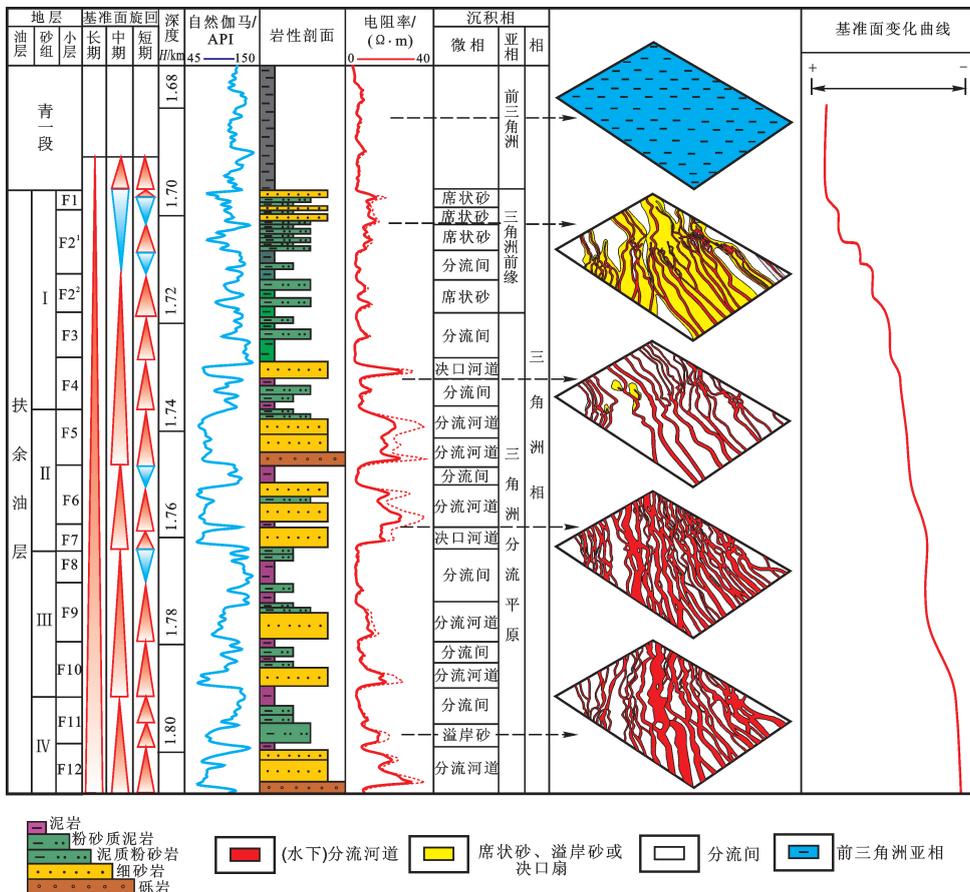


图 5 扶新隆起带南部扶余油层沉积层序演化图

Fig. 5 Sedimentary sequence evolution of Fuyu oil layer in the southern Fuxin Uplift

3.3 基准面变化过程对砂体几何形态的控制

砂体的空间叠置形式受控于 A/S 比值或基准面变化。扶余油层底部为长期基准面下降至上转上升转换面, A/S 值较低, 致使前期和同期的多条河流在同一平面上多次侧向叠加, 地层保存程度差, 形成平面及垂向上严重切叠的大面积分布的侧向下切河道复合砂体, 砂体几何形态以多层式或多边式为主。MSC₁ 沉积时期可容纳空间增速较小, 区内发育的浅水湖盆高能河控三角洲沉积体系提供了充沛的沉积物, 使 A/S 较低, 原始地貌要素保存程度较差, 砂体几何形态以多层式或多边式为特征。由于地形平缓, 研究区西南部至东北部沉积特征并无明显变化,

均以大型、厚层分流河道沉积为主(图 5), 相分异作用不明显。MSC₂ 沉积时期可容纳空间迅速增大, 研究区南北部沉积响应略有差异, 西南部距离物源相对较近, 物源供给充足, 大量沉积物在一定可容纳空间内迅速堆积, 各砂体底型保存不完整, 形成叠加程度较严重的复合分流河道砂体; 研究区东北部虽距离物源相对较远, 物源供给相对匮乏, 但该区受继承性古隆起的持续抬升控制, 使可容纳空间较西南部有所减小, 因而整体 A/S 值较西南部略有增大, 以分流河道砂体较为发育, 但切叠现象不明显为特征(图 6)。MSC₃ 沉积时期可容纳空间稳定增加。西南部物源供给仍很充足, 虽然可容纳空间稳定增加, 但

A/S 值仍较低,原始地貌要素保存程度低,砂体几何形态仍以多边式为特征;研究区东北部距离物源相对较远,物源供给变得相对匮乏,此时继承性古隆起的持续抬升幅度变弱,使可容纳空间较西南部相当,因此整体 A/S 值较西南部明显增大,形成了中等可容纳空间条件下的沉积响应,原始地貌要素保存程度高,分流河道以侧向加积作用为主,砂体几何形态以单边式至孤立式为特征(图 6)。MSC₄ 沉积时期可容纳空间迅速增大,主要发育中、高可容纳空间条件下

的沉积响应。同时受区域水进作用的影响,东南长春-怀德水系和西南安康水系能量减弱,沉积物供给量较少,使 A/S 值大幅度增大,原始地貌要素保存程度高,砂体几何形态以单边式至孤立式为特征。南北沉积特征差异更加明显,西南部仍发育较为密集的水下分流河道,至东北部水下分流河道渐变为水下分流河道末端或席状砂,至研究区东北角基本消失,过渡为局部的、外前缘沉积(图 7)。

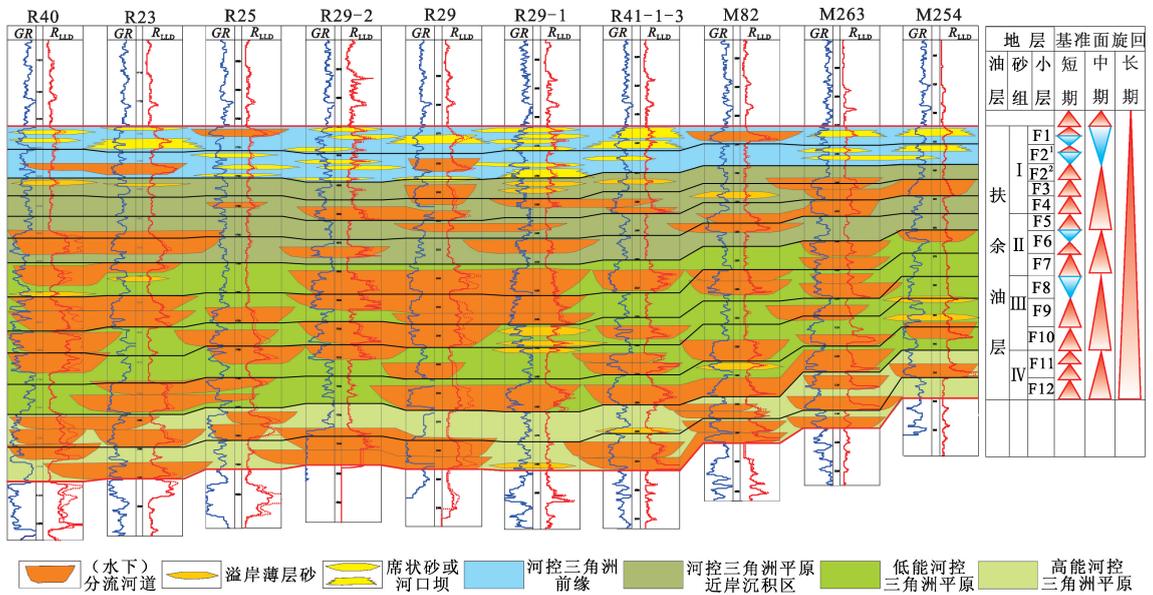


图 6 扶新隆起带南部扶余油层砂体几何形态分布特征

Fig. 6 Distribution of sandbody geometry of Fuyu oil layer in the southern Fuxin Uplift

3.4 基准面旋回对储层分布的控制

由以上分析不难看出不同级次的基准面旋回叠加控制了沉积相的展布,进而控制了储层的分布特征,中期基准面旋回层序对于储层发育特征的控制尤为明显。向上变深的非对称型中期基准面旋回上升半旋回早期可容纳空间较小,物源供给充沛,短期基准面旋回以分流河道砂体为主形成自旋回,多为上升半旋回为主的对称型或向上变深的不对称型旋回,主要形成厚层分流河道沉积,砂体具侧向叠置、分布范围广、连通性好等特征,构成了研究区的主要储层砂体(图 7);中期基准面旋回上升半旋回晚期,可容纳空间增大,砂泥比值降低,单砂层呈变薄变细的趋势,表现为砂泥岩互层,砂体底型保存一般较好,沉积微相以分流河道、天然堤、分流河道间组合或分流河道、分流河道间组合为主,分流河道砂体多彼此独立,连通性较差,储层单元多为单个分流河道砂体及分流河道间薄层砂,储集性能较差,但分流河道间发育的泥质沉积较纯、分布面积广,可成为良好的局部盖层和

遮挡层,给岩性油藏的成藏创造较为有利的条件。向上变深复变浅的对称型中期基准面旋回上升半旋回沉积特征与向上变深的非对称型中期基准面旋回上升半旋回类似;下降半旋回早期,基准面较高,可容纳空间较大,A/S 值较大,短期旋回多以对称型为主,沉积微相以水下分流河道、水下天然堤、水下分流河道间及薄层砂为主,此时多发育限定性较强的水下分流河道,砂体彼此孤立分布,连通性较差,泥质沉积发育,易形成良好的局部盖层和遮挡层;下降半旋回晚期,随着基准面略微下降,A/S 值减小,短期旋回多为向上变浅的非对称型,沉积微相主要为席状砂(或河口坝)、水下分流河道间沉积,水下分流河道(末端)微相受湖水改造,沉积特征不明显,此时受河流和湖水双重控制的河控带状砂体大面积分布,连通性变好,但由于水动力条件较弱,沉积物粒度较细,砂体物性较差且易向河道前方尖灭,形成上倾尖灭型岩性圈闭。

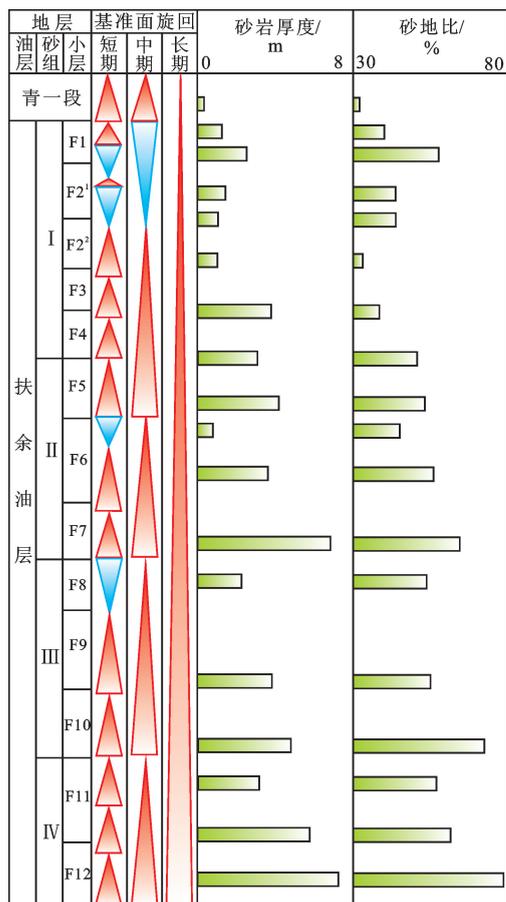


图 7 扶余油层短期基准面旋回层序储层砂体分布

Fig.7 Distribution of reservoir sandbody in short-term base-level cycle of Fuyu oil layer

4 结 论

(1) 扶余油层划分为 1 个长期基准面旋回的上升半旋回、4 个中期基准面旋回、13 个短期基准面旋回。扶余油层厚度受继承性古隆起控制呈现向盆阶梯状减薄。

(2) 扶余油层沉积时期基准面的发育过程可以近似于湖平面的升降过程,基准面高,湖平面高;反之则低,主要经历了 4 个变化阶段:早期的缓慢上升阶段、中期的快速上升阶段、中后期的缓慢上升阶段及末期的快速上升后略有下降阶段。依次发育了高能河控三角洲分流平原、低能河控三角洲平原、河控三角洲分流平原近岸沉积区及三角洲前缘-前三角洲沉积。

(3) 扶余油层底部为长期基准面下降至上升转换面,砂体几何形态以多层式或多边式为主。随着基准面升高,A/S 值增加,原始地貌要素保存程度的增强导致河道砂体以侧向加积和填积为主,使沉积微相的多样性增加,砂体以单边式至孤立式为特征。

分流河道砂体的规模整体上逐渐变小,在平面上和垂向上的切叠程度逐渐变差。

(4) 扶余油层向上变深的非对称型中期基准面旋回上升半旋回早期主要形成厚层分流河道沉积,构成了研究区的主要储集砂体;中期基准面旋回上升半旋回晚期分流河道砂体多彼此独立,储集砂体多为单个分流河道砂体及分流河道间薄层砂。

参考文献:

[1] 管红,孙明亮,董月霞,等.南堡凹陷南部东营组高分辨率层序地层学分析[J].地层学杂志,2008,32(2):177-181.
GUAN Hong, SUN Ming-liang, DONG Yue-xia, et al. High-resolution sequence stratigraphy of Dongying formation in southern Nanpu sag [J]. Journal of Stratigraphy, 2008,32(2):177-181.

[2] 国景星,刘媛.济阳坳陷新近系层序地层构型[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(1):1-4.
GUO Jing-xing, LIU Yuan. Model of sequence stratum of Neogene of Jiyang depression [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(1):1-4.

[3] 李增学,韩美莲,魏久传,等.鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序划分与煤聚积规律分析[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(1):5-12.
LI Zeng-xue, HAN Mei-lian, WEI Jiu-chuan, et al. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy and coal accumulation law of upper Paleozoic erathem in Ordos Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008,32(1):5-12.

[4] 胡光明,王军,纪友亮,等.河流相层序地层模式与地层等时对比研究[J].沉积学报,2010,28(4):745-751.
HU Guang-ming, WANG Jun, JI You-liang, et al. Fluvial sequence stratigraphy mode and isochronous strata correlation [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010,28(4):745-751.

[5] 米立军,王东东,李增学,等.琼东南盆地崖城组高分辨率层序地层格架与煤层形成特征[J].石油学报,2010,31(4):534-541.
MI Li-jun, WANG Dong-dong, LI Zeng-xue, et al. High-resolution sequence stratigraphic framework and coal-forming features in Yacheng formation of Qiongdongnan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010,31(4):534-541.

[6] 李志鹏,林承焰,张家锋,等.高浅南区 Nm II 和 Nm III 油组高分辨率层序构型及其对储层构型的控制[J].中国石油大学学报:自然科学版,2012,36(1):20-26.
LI Zhi-peng, LIN Cheng-yan, ZHANG Jia-feng, et al.

- High-resolution sequence architecture and its control over reservoir architecture in Nm II & Nm III oil groups, Gaoqiannan area [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2012, 36(1):20-26.
- [7] 孙雨, 马世忠, 姜洪福, 等. 松辽盆地三肇凹陷葡萄花油层河控浅水三角洲沉积模式[J]. *地质学报*, 2010, 84(10):1502-1509.
- SUN Yu, MA Shi-zhong, JIANG Hong-fu, et al. Sedimentary mode of shallow lacustrine fluvial-dominated delta of Putaohua reservoirs in Sanzhao sag, Songliao Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(10):1502-1509.
- [8] 朱伟林, 李建平, 周心怀, 等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. *沉积学报*, 2008, 26(4):575-582.
- ZHU Wei-lin, LI Jian-ping, ZHOU Xin-huai, et al. Neocene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai Bay, China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(4):575-582.
- [9] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流拗陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. *地质学报*, 2008, 82(6):813-825.
- ZOU Cai-neng, ZHAO Wen-zhi, ZHANG Xing-yang, et al. Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basins [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6):813-825.
- [10] 孙雨, 马世忠, 张大智, 等. 源外岩性类油藏区油气聚集特征及其主控因素分析: 以松辽盆地扶新隆起带南部扶余油层为例[J]. *地质论评*, 2010, 55(5):693-700.
- SUN Yu, MA Shi-zhong, ZHANG Da-zhi, et al. The analysis of hydrocarbon accumulation characteristics and its main controlling factors in lithologic reservoirs area outside oil source area: example of Fuyu oil layer in the southern Fuxin uplift of Songliao Basin [J]. *Geological Review*, 2010, 55(5):693-700.
- [11] 沈武显, 樊太亮, 王宏语, 等. 松南长岭地区拗陷层油气富集规律[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2010, 41(2):715-721.
- SHEN Wu-xian, FAN Tai-liang, WANG Hong-yu, et al. Hydrocarbon enrichment rules of depression period layer in Changling region of southern Songliao Basin [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2010, 41(2):715-721.
- [12] 张庆国, 鲍志东, 那未红, 等. 松辽盆地中央拗陷南部白垩统泉头组四段沉积相[J]. *古地理学报*, 2007, 9(3):267-276.
- ZHANG Qing-guo, BAO Zhi-dong, NA Wei-hong, et al. Sedimentary facies of the member 4 of Quantou formation of lower Cretaceous in southern central depression of Songliao Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(3):267-276.
- [13] 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, 27(2):235-242.
- SHI Lan-ting, PAN Shu-xin, GUO Wei-hua, et al. Sequence boundary characteristics and its high resolution sequence stratigraphic framework of the middle oil-bearing beds in the South of Songliao Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 27(2):235-242.
- [14] CROSS T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perception of base-level cycles and sediment accommodation [C]. *Proceeding of Northwestern European Sequence Stratigraphy Congress*, 1994:105-123.

(编辑 徐会永)

(上接第6页)

- [15] 刘志宏, 卢华复, 贾承造, 等. 库车再生前陆逆冲带造山运动时间、断层滑移速率的厘定及其意义[J]. *石油勘探与开发*, 2000, 27(1):12-15.
- LIU Zhi-hong, LU Hua-fu, JIA Cheng-zao, et al. Megascopic pyrolysis characteristics of organic matter samples related to the occurrence of immature and low mature oils [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(1):12-15.
- [16] 吴传勇, 沈军, 李军, 等. 乌鲁木齐西山逆断层组的新活动特征[J]. *中国地震*, 2008, 24(4):337-344.
- WU Chuan-yong, SHEN Jun, LI Jun, et al. Recent activity characteristics of the Xishan fault group in Urumqi [J]. *Earthquake Research in China*, 2008, 24(4):337-344.

(编辑 徐会永)