

文章编号: 1000-0550(2008) 05-0737-07

松南海坨子—大布苏地区泉四段—姚家组层序地层研究¹

张永旺¹ 曾溅辉¹ 邓宏文² 王红亮² 高霞³ 陈冬⁴ 徐志伟⁵

(1 中国石油大学盆地与油藏研究中心 北京 102249; 2 中国地质大学能源学院 北京 100083

3 北京艾达天地岩土技术有限公司 北京 100083 4 中国黄金集团公司 北京 100014

5 吉林油田勘探开发研究院 吉林松原 131100)

摘要 根据工区内现有的钻井、测井和地震资料,应用以多级次基准面旋回为参照面的高分辨层序地层学理论与研究方法,对松辽盆地南部海坨子—大布苏地区的泉四段—姚家组地层进行了详细的层序地层研究,共识别出 5 个长期基准面旋回(相当于三级层序),9 个中期基准面旋回(相当于四级层序),建立了研究区的层序划分方案,在连井剖面的层序地层对比基础上,建立了该区的地质格架,并对层序构成特征进行了分析,研究了储集层在层序格架内的分布规律,揭示出浊积砂体和三角洲前缘相的分流河道形成于基准面上升期,三角洲前缘相的河口坝、远砂坝和席状砂沉积形成于基准面下降期,指出浊积砂体和三角洲前缘的远砂坝、席状砂沉积是研究区形成岩性油气藏的有利储集体。

关键词 海坨子—大布苏地区 高分辨率层序地层 基准面旋回 储层

第一作者简介 张永旺 男 1975 年出生 在站博士后 沉积学、层序地层 E-mail: zyw75@126.com

中图分类号 TE121.3 **文献标识码** A

0 引言

中国石油集团公司吉林分公司近年在松辽盆地南部西斜坡海坨子—大布苏地区的油气勘探取得了显著成果,在下白垩统萨尔图—扶余油层均见到工业油气流或良好的油气显示。为了继续扩大预探成果、提前进行油藏评价部署和前期产能建设试验,需要整体解剖海坨子—花敖泡地区油气成藏条件和油气分布规律,落实岩性圈闭和油气富集区带。因而有必要从区域出发,运用适合陆相盆地的层序地层理论与分析技术建立研究区的等时地层格架,对开展储层分布与成藏条件研究具有极其重要的意义。松辽盆地南部海坨子—大布苏地区横跨西部斜坡与中央拗陷两大构造单元(图 1),处于西部白城、西南部通榆两大水系交汇前缘带^[1],是松辽盆地南部油气勘探储量递增和接替的现实领域。

1 层序地层划分方案

前人对松辽盆地南部白垩系层序地层学进行过一些研究,也提出了不同的层序划分方案^[2-6]。孙钰

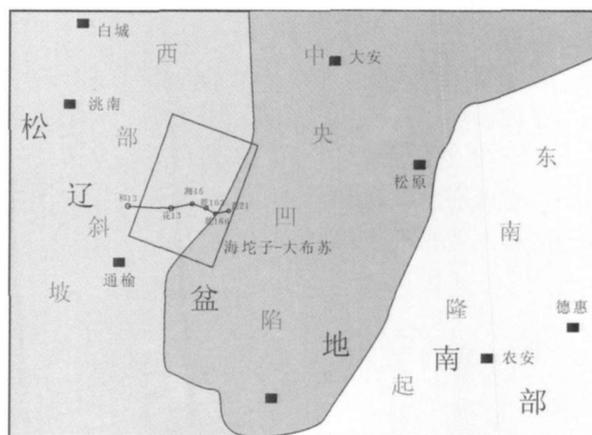


图 1 研究区位置图(据吉林油田研究院)

Fig 1 Sketch map of the study area (according to Research institute of Jilin Oil Field)

以 Val 的层序地层理论为依据,根据地震、钻井及测井资料的综合分析,将松辽盆地南部拗陷期地层划分为 2 个超层序,9 个三级层序^[2]。在层序的划分过程中建立了浅水区层序界面的识别标志,将 $\Delta \lg R$ 法和锰、铁元素法用于深水区层序界面的识别。柏涛根据松辽盆地南部地区典型的反演地震剖面及典型

¹ 中国博士后科学基金资助项目(20070420492)和吉林油田公司联合资助。

收稿日期: 2007-11-21; 收修改稿日期: 2008-02-29

井的体系域、层序的发育特征,在松辽盆地南部地区青山—姚家共识别出 9 个层序、12 个体系域,并应用层序地层学理论对松辽盆地南部地区青山口组及姚家组隐蔽圈闭进行了预测^[3]。邹才能认为松辽盆地拗陷阶段发育的 2 个二级层序为泉头组—青山口组 (Siv, 包含 4 个三级层序) 和姚家组—嫩江组 (S_{II}, 包含 3 个三级层序), 底、顶均为不整合面^[4]。三级层序反映沉降速率与物源区碎屑物供给速率的变化, 垂向表现为沉积相 (亚相) 的转变, 平面表现为沉积相 (亚相) 的迁移, 其中的次级规模湖侵层 (二级湖侵层) 是划分三级层序的重要标志。准层序组 (或准层序) 是三级层序的次级单元 (或基本单元), 其间被更次级的湖侵层隔开, 相当于一个砂层组。每个三级层序的体系域可包含 2~3 个准层序组。刘鸿友等^[5] 根据 600 口井单井测井相和测井层序分析及 40 条联井对比剖面的层序地层和沉积微相分析, 将松辽盆地南部泉头组—嫩江组划分为 2 个二级超层序、9 个三级层序、20 个体系域。王颖等通过确定地震剖面上的不整合面, 综合分析钻井和测井资料反映的地层几何形态、旋回叠加样式、相序与相组合的变化、地层岩石物理性质变化等特征, 把松辽盆地南部泉四段—姚家组划分为七个三级层序^[6]。

从上述可以看出, 前人的划分方案都是运用经典的层序地层学理论, 在盆地边缘寻找上超、下超、顶超、削截现象, 但实际上在研究区这些现象并不丰富, 不整合面不易识别也难以追踪对比。根据这些特点, 本次研究应用以基准面为参照格架的高分辨率层序地层学

理论与研究方法^[7-8], 根据工区内现有的钻井、测井和地震资料, 在前人研究的基础上, 对研究区的目的层段开展高分辨率层序地层的划分与对比工作。

1.1 层序界面的识别标志

综合该区岩心、测井、地震资料分析, 主要有三种层序界面识别标志。

(1) 岩心标志: 岩芯资料对短期旋回的识别是行之有效的, 研究层段所识别出的岩心标志有以下三种类型 (图 2): 旋回叠加样式的变化、岩性突变面—冲刷面、相类型的变化^[9]。

旋回叠加样式的变化: 从红 159 井取心段我们可以识别出基准面下降半旋回与上升半旋回的转换面, 为一套呈进积叠加样式砂岩的顶部, 其上基准面开始上升, 发育一套分流河道沉积, 层序界面之下, 砂岩粒度向上变粗, 砂泥比向上变大, 层序界面之上则反之。

岩性突变面—冲刷面: 当基准面下降到地表之下, 发生河流侵蚀作用, 在河道底部形成块状砂岩或河床滞留砾岩沉积。如图 2 所示, 海 26 井冲刷面之上细砂岩中发育泥砾沉积, 直接覆盖在下部泛滥平原的泥岩沉积之上, 两者之间呈突变接触。冲刷面之上, 砂岩粒度向上略变细, 砂体厚度减薄, 河道的冲刷作用减弱, 代表基准面上升; 层序界面之下则为另一个基准面上升韵律。

相类型的变化: 在进行沉积相分析时我们发现, 有些层段会出现相的突变和不连续现象, 也就是说不符合瓦尔特相律, 这些部位就有可能是层序界面。花 9 井取心段下部为一套呈向上变浅、反旋回特征的头

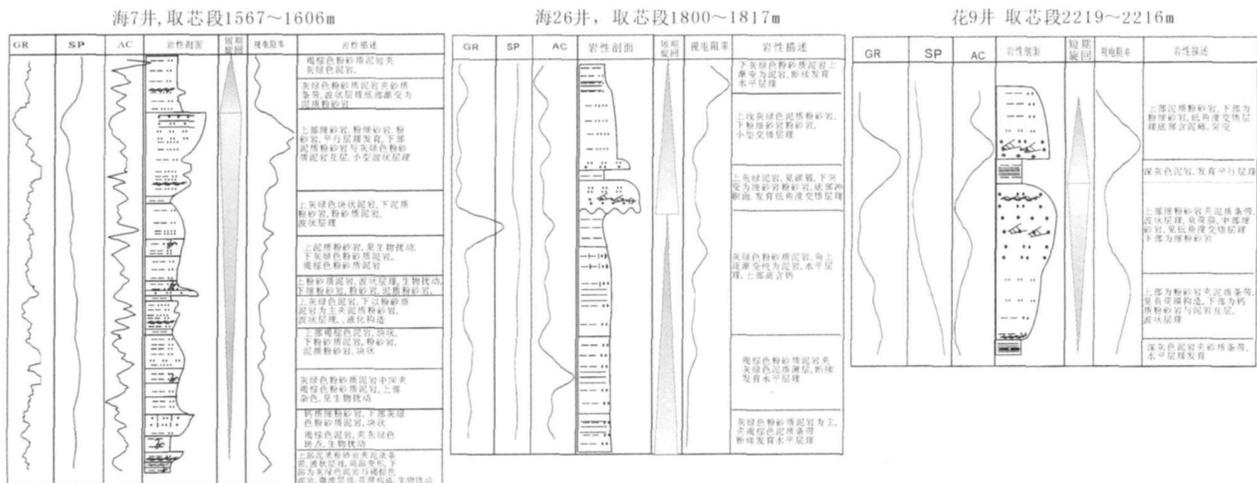


图 2 短期旋回的岩心识别标志

Fig 2 Core identification marks of the short cycle

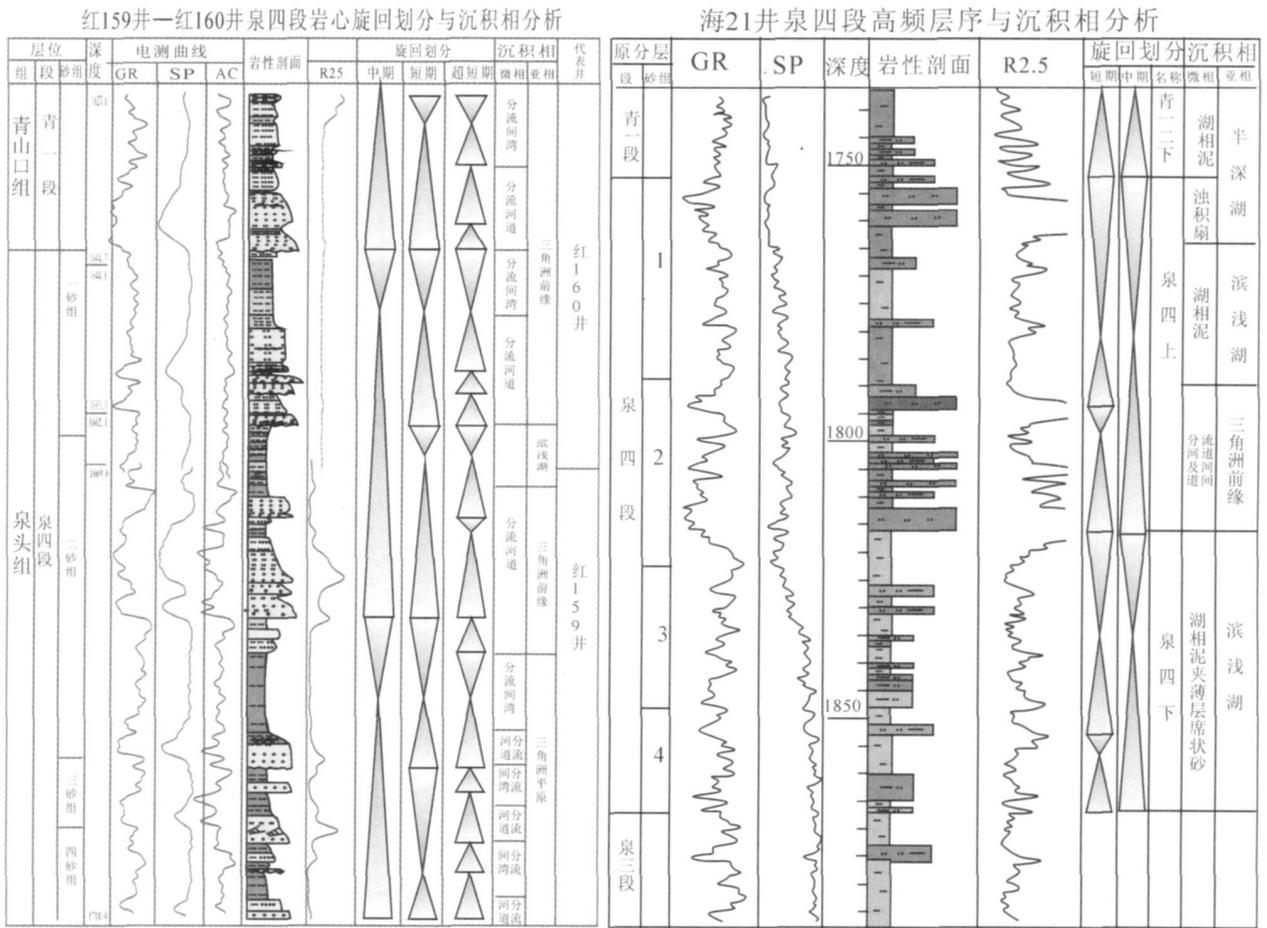


图 3 海 21 井、红 160 井短期旋回的测井响应模型

Fig 3 Log corresponding models of short cycle, Well Hai 21 and Hong 160

口坝沉积,其上为一套灰黑色的湖相泥岩,上部为分流河道沉积,沉积相类型发生了根本变化,岩相类型发生转换的位置为层序界面。

(2) 测井响应标志:运用自然伽马、电位、电阻率等测井组合曲线对沉积相和地层旋回性变化的响应识别层序界面是层序地层研究常用的手段之一。测井曲线形态、幅度、其反映的短期旋回叠加样式的变化均与可容纳空间的变化有关。研究区内基准面旋回界面的测井响应主要为突变型式,特征比较明显。测井短期旋回确定之后,根据短期旋回的叠加样式,可以识别中期旋回。这是因为组成中期旋回的短期旋回特定的叠加样式是在中期基准面上升或下降过程中,在大致相似的背景下形成的一套成因上有联系的岩石组合,这些叠加样式常具有鲜明的测井响应(图 3)。

(3) 地震标志

地震反射界面基本是等时面或平行于地层内的等时界面,而地层基准面旋回与界面具有成因地层单元和时间界面的含义,因此地震反射界面应平行于或相当于旋回界面。

在地震剖面上层序界面的识别主要依据地震反射终端的终止类型,如削截、顶超现象反映了基准面下降至地表之下或与地表重合导致的剥蚀作用或既无剥蚀又无沉积作用的沉积物过路不留作用,对应于基准面下降半旋回到上升半旋回的转换位置。界面之上随着可容纳空间的增大,通常出现地层的上超现象(图 4)。

1.2 层序划分方案的建立

在上述研究的基础上,我们在泉四段—姚家组地层中可识别出 5 个长期基准面旋回(相当于三级层序), 9 个中期基准面旋回(相当于四级层序),建立了研究区的层序划分方案(图 5)。

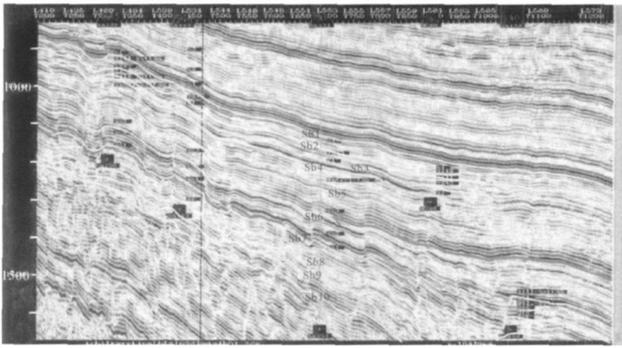


图 4 Sb6 在海 31—查 21 连井剖面上的特征

Fig. 4 Characteristics of Sb6 in correlation of the Well Hai 31—Cha 21

地 层	地 层 剖 面	旋回(层序)划分		层序界面	界面特征	沉积体系
		长期(三级)	中期(四级)			
嫩江组	二段	半前缘	滨浅湖			半深湖
	一段	半深湖				
姚家组	姚二+三段			姚家上	SB1 上超前截	三角洲、滨浅湖、滩坝
	姚一段			姚家下	SB2 转换面	
青山口组	青三段			青三上	SB3 上超前截	三角洲、浅湖、半深湖、浊积扇
				青三中	SB4 上超顶超	
				青三下	SB5 转换面	
	青二段			青二上	SB6 上超前截	
	青一段			青二下	SB7 转换面	
泉头组	泉四段			泉四上	SB8 突变面	河流三角洲、滨浅湖、河流—冲积平原
				泉四下	SB9 转换面	
	泉三段				SB10 转换面	

图 5 松辽南部海坨子—大布苏地区泉四段—姚家组层序划分方案

Fig. 5 Sequences division scheme in Member 4 Quantou Formation to Yaojia Formation of Haituozhi—Dabusu area, southern Songliao Basin

2 层序地层格架及储层分布规律

建立层序地层格架,揭示沉积地层的时空分布规律是研究层序地层的核心内容,也是分析生、储、盖组合规律,合理进行油气资源预测的关键。

2.1 层序地层格架的建立及层序构成特征

在研究区层序划分方案建立的基础上,重点对区内有代表性的井进行了层序地层分析,选择了能揭示全区地层结构的多条连井剖面进行了层序地层的横向对比研究,通过井震的相互标定初步建立了以钻井剖面为基础的松南西斜坡区域层序地层格架。由东西向的主干层序地层对比剖面(图 1 图 6)可以看出,目的层段地层沉积厚度受古地貌的影响,变化较大。位于斜坡上部沉积厚度薄,层序构成主要以砂泥互层沉积为主,各级基准面旋回结构及构成也极为相似。位于斜坡中下部地层沉积厚度明显增加,由于地形梯度的降低,横向可容空间增大,表现为中期基准面旋回内下降半旋回的增加。泉四上层序和泉四下层序为以发育上升半旋回为主的不对称旋回。青一和青二层序向盆地内部发育对称性旋回,青三下层序和青三中层序在斜坡上部旋回的对称性较好,斜坡中下部以发育下降半旋回为主。从古地形高梯度区向古地形低梯度区,青山上层序、姚家下层序和姚家上层序旋回的对称性逐渐变好,从仅发育上升半旋回转变为发育完整旋回,但旋回的不对称性非常明显,以发育上升半旋回为主。

2.2 层序格架内储层分布规律

钻井、地震资料综合研究结果表明,在泉头组到姚家组沉积时期,研究区为向东倾没的斜坡,物源主要为来自西南方向的通榆—保康三角洲体系和西部的英台—白城扇三角洲体系,湖泊水体向东逐渐加深。从泉四段到姚家组沉积时期,由于各物源供应能力的变化,出现不同时期发育的沉积相特征不同的特点。

从层序地层格架可以看出,三角洲前缘相的河口坝、远砂坝和席状砂沉积发育于中期基准面旋回的下降期,并且随着更高级次基准面旋回的叠置,三角洲向盆地方向的进积作用更加明显。三角洲前缘砂体滑塌作用形成的浊积砂体位于滨浅湖、半深湖区中期基准面旋回的上升半旋回,规模较大的浊积砂体在层序界面附近发育,随着基准面上升,可容纳空间增大而得以保存。

泉四下层序和泉四上层序沉积时期,松辽盆地发生了由拗陷浅水湖盆向拗陷深水湖盆的转化。因此层序构成主要为大面积分布的浅水湖泊三角洲。在东西向的联井剖面上,三角洲体系均发育,但不同部位垂向上有错叠,浅水三角洲沉积体系的分流河道沉积发育于基准面上升期。

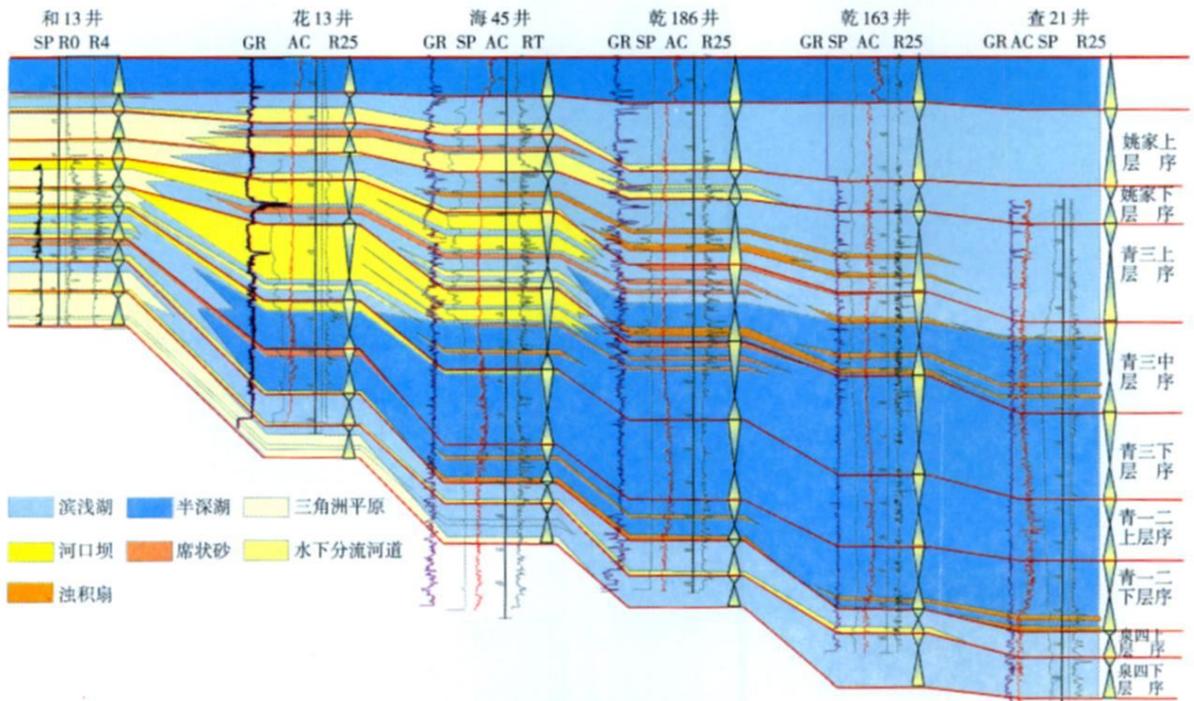


图 6 松辽南部西斜坡和 13 井—查 21 井泉四段—姚家组层序地层与沉积相对比剖面

Fig 6 Sequence stratigraphy and sedimentary facies correlation of the WellHe 13-Cha 21 in the west slope of southern Songliao Basin

青一二下层序沉积时期,湖水急剧扩张—灾变性湖进,随着大规模湖侵的发生,湖岸线明显向西推进,滨浅湖沉积区显著向西扩展,盆地演化为坳陷深水湖盆,在西部和西南部物源的共同影响下,形成了湖泊、三角洲、浊积扇共存的沉积体系分布格局(图 7)。青一二上层序沉积时期,与青一二下层序沉积体系分布格局基本相似,随着湖侵的进一步发展,在湖水扩张背景下,沉积物补给速率逐渐降低,来自西部和西南部的三角洲体系退缩,在钻井剖面中可以见到砂体呈退积叠加样式,砂岩厚度向上逐渐变薄,表明各物源体系的沉积作用逐渐减弱。这时期发育大套的灰黑色泥岩覆盖在砂岩之上,可作为良好的生油层,同时也是下部储集体较好的盖层(图 7)。当青三下层序沉积时,湖盆开始萎缩,西部物源形成的水退型河控三角洲占主导地位,三角洲呈 NW—SE 方向延伸,大面积朵状分布,发育有良好的河口坝、远砂坝沉积相带,岩性为下细上粗的反粒序沉积,三角洲前缘滑塌作用在研究区东南部半深湖区形成的浊积扇,是研究区形成岩性地层油气藏的良好储层。青三中层序形成于盆地强烈萎缩期,基准面上升期持续时间较短,基准面下降期沉积物补给速率较大,湖盆充填作用显

著,因而基准面下降半旋回沉积的厚度大于基准面上升半旋回的厚度,沉积地层具明显的非对称结构。由于基准面下降, A/S 比值逐渐减小,研究区在西部物源的影响下,物源供给充分,三角洲的进积作用增强,呈 NW—SE 方向延伸,与青三下层序相比,青三中层序的各沉积亚相分布面积依次增大,浊积砂体发育于海 28 井和海 16 井以西半深湖区(图 7)。青三上层序沉积时期处于泉四—青山口二级层序的基准面下降晚期,湖平面开始缓慢下降直到开始缓慢抬升,研究区主要发育滨浅湖、三角洲沉积体系。姚家上层序和姚家下层序属于下一个二级层序的低位域,主要为大面积分布的浅水湖泊三角洲,三角洲前缘相的分流河道和河口坝等不发育,主要发育分布于基准面上升期的三角洲平原和前缘相的分流河道砂体沉积。

3 认识与结论

在综合分析前人研究成果的基础上,运用高分辨层序地层学理论与研究方法,在海坨子—大布苏地区的泉四—姚家组地层中识别出 5 个长期基准面旋回, 9 个中期基准面旋回,建立了研究区的层序地层划分方案和层序地层格架。

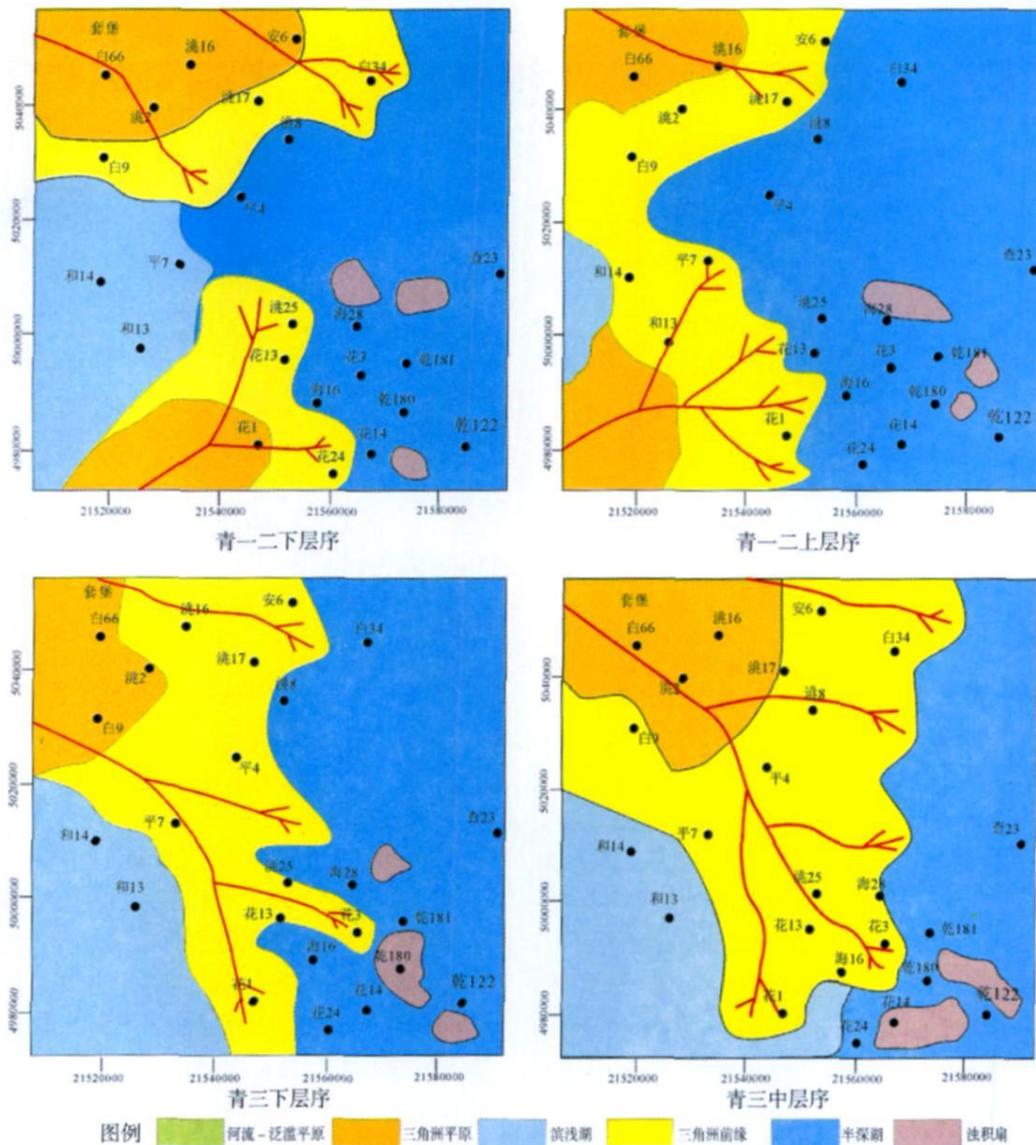


图7 重点层序沉积相分布图

Fig 7 Depositional facies distribution map of a main sequence

分析认为,位于滨浅湖、半深湖区的浊积砂体形成于中期基准面旋回的上升半旋回,并且规模较大的浊积砂体一般在层序界面附近发育,三角洲前缘相的河口坝、远砂坝和席状砂沉积发育于中期基准面旋回的下降期。

根据区内钻井结果,结合分析储集层发育程度,油气成藏组合等因素,认为湖泛期发育的大套灰黑色泥岩、油页岩,既可作为良好的生油层,同时也是下部储集体较好的盖层。形成于基准面下降期的三角洲前缘相远砂坝、席状砂,以及基准面上升期发育的浊积砂体距离有效烃源岩最近或被其包裹,是研究区形成岩性地层油气藏的有利储集体。

参考文献 (References)

- 唐振兴, 杨光, 黄铭志, 等. 海坨子一大布苏地区青三段砂体沉积机制与岩性油藏 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 50-52 [Tang Zhenxing Yang Guang Huang Mingzhi *et al*. The depositional mechanism and lithologic reservoirs of thick sand bodies in the third member of Qingshankou Formation, Haituozi-Dabusu area [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(2): 50-52]
- 孙钰, 钟建华, 姜在兴, 等. 松辽盆地南部拗陷期层序地层研究 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2006, 30(5): 1-6 [Sun Yu, Zhong Jianhua Jiang Zaixing *et al*. Study of sequence stratigraphy of depression period in south Songliao Basin [J]. Journal of China University of Petroleum, 2006, 30(5): 1-6]
- 柏涛, 徐志伟. 层序地层学在隐蔽圈闭预测中的应用——以松辽盆

- 地南部为例 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2004, 34(1): 73-77
[Bai Tao Xu Zhiwei The application of sequence stratigraphy to the prediction of subtle trap take Songnan region as an example [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(1): 73-77]
- 4 邹才能, 薛叔浩, 赵文智, 等. 松辽盆地南部白垩系泉头组—嫩江组沉积层序特征与地层岩性油气藏形成条件 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 14-17 [Zou Caineng Xue Shuhao Zhao Wen zhi *et al* Depositional sequences and forming conditions of the Cretaceous stratigraphic-lithologic reservoirs in the Quantou-Nenjiang Formations south Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 14-17]
- 5 刘鸿友, 沈安江, 王艳清, 等. 松辽盆地南部泉头组—嫩江组层序地层与油气藏成因成藏组合 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2003, 33(4): 469-472 [Liu Hongyou, Shen Anjiang Wang Yanqing *et al* Study on sequence stratigraphy and genesis assemblages forming oil and gas of the Quantou-Nenjiang Formations in south Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, 33(4): 469-472]
- 6 王颖, 王英民, 赵志魁, 等. 松辽盆地南部泉头组四段—姚家组西部坡折带的成因及演化 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(3): 33-36 [Wang Ying Wang Yingmin Zhao Zhikui *et al* Origin and evolution of the west slope belt in Member 4 Quantou Formation to Yaojia Formation, South Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development 2005, 32(3): 33-36]
- 7 Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata [J]. Earth Science Frontiers 2000 7(4): 322-350
- 8 Cross T A. Application of high resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis [C]. Subsurface Reservoir Characterization from Outcrop Observations Proceedings of the 7th E&P Research Conference Paris Techni 1993 11- 33
- 9 卓弘春, 林春明, 李艳丽, 等. 松辽盆地北部上白垩统青山口—姚家组沉积相及层序地层界面特征 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 29-37 [Zhuo Hongchun Ling Chunming Li Yanli *et al* Characteristics of sedimentary facies and sequence boundary in Upper Cretaceous Qingshankou-Yaojia Formation of Northern Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 29-37]

Study on Sequence Stratigraphy in Member 4 of Quantou Formation to Yaojia Formation of Haituozi-Dabusu Area in the Southern Songliao Basin

ZHANG Yong-wang¹ ZENG Jian-hu¹ DENG Hong-wen² WANG Hong-liang²
GAO Xia³ CHEN Dong⁴ XU Zhi-wei⁵

(1. Basin & Reservoir Research Center, Chinese University of Petroleum, Beijing 102249;

2. School of Energy Resources in China University of Geosciences Beijing 100083;

3. Beijing Aida Tandi Geotechnical Corp., Ltd., Beijing 100083;

4. China National Gold Group Corporation, Beijing 100011;

5. Exploration Institute of Jilin Oilfield, Songyuan Jilin 131100)

Abstract Guided with the theory of high resolution sequence stratigraphy and based on cores, well logs and seismic materials, the sequence stratigraphic scheme of the Member 4 Quantou Formation to Yaojia Formation in Haituozi-Dabusu area has been constructed, which is composed of 5 long term base level cycles (third order sequence) and 9 middle term base level cycles (fourth order sequence), and the sequence stratigraphic framework has been discussed. The result shows that turbidite sand body and distributary channels of delta front mainly develop at the half cycle increasing period and mouth bar, distal bar and sheet sand of delta front mainly develop at the half cycle decreasing period. The turbidite sand body and distal bar, sheet sand of delta front are favorable reservoirs in the study area.

Key words Haituozi-Dabusu area, high resolution sequence stratigraphy, base level cycle, reservoir