

松辽盆地北部四方台组—明水组高精度层序 地层特征与有利区带预测

张雷, 王英民, 李树青, 韩建辉, 张新涛, 祝彦贺, 王改云, 杨婷

(中国石油大学(北京) 资源与信息学院, 油气资源与探测国家重点实验室, 北京, 102249)

摘要:应用沉积学和层序地层学的原理和方法, 利用地震、测(录)井、岩芯、露头、古气候及古生物等资料, 通过地震合成记录标定, 结合盆地构造演化特征分析, 在松辽盆地北部四方台组—明水组共识别出区域不整合面、古暴露界面、河道侵蚀冲刷面、地层叠加型式转换面4类层序界面, 并识别划分出1个新的超层序界面SB4, 最终将四方台组—明水组划分为1个超层序组, 2个超层序(SSQ1和SSQ2), 6个三级层序(SQ1-SQ6), 17个体系域, 建立高精度层序地层格架。盆地北部层序地层格架内沉积充填演化规律为: 层序SQ1~SQ3(SSQ1)沉积时期, 盆地主要发育南北向长轴物源的河流及滨浅湖沉积; 层序SQ4~SQ6(SSQ2)沉积时期, 盆地主要发育东西向短轴物源的辫状河三角洲及滨浅湖沉积; 从四方台组时期开始, 盆地沉积中心向西北方向不断迁移。根据层序地层格架内的储盖组合分布及成藏条件综合分析可知: 纵向上四方台组时期层序SQ1发育本区最有利的储盖组合, 而大安—新站地区SQ1低位体系域厚层河床砂岩为本区最有利的油气聚集区带, 最有可能形成构造-岩性次生油气藏。

关键词:高精度层序地层格架; 沉积充填; 演化; 四方台组—明水组; 松辽盆地

中图分类号: TE121.34

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2009)06-1679-10

High-resolution sequence stratigraphic characteristic and favorable hydrocarbon accumulation prediction of Sifangtai to Mingshui formation in the north of Songliao Basin

ZHANG Lei, WANG Ying-min, LI Shu-qing, HAN Jian-hui, ZHANG Xing-tao,
ZHU Yan-he, WANG Gai-yun, YANG Ting

(State Key Laboratory of Petroleum Resources and Exploration, College of Resources and Information,
China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: According to seismic, logging, core, outcrop palaeoclimate and palaeontologic data, synthetic seismogram was used to demarcate and analyze the area structure evolution characteristic, and using concept and method of sedimentology and sequence stratigraphy, four types of sequence boundaries were identified, including regional unconformity surface, exposure surface, channel scouring and eroding surface and formation stacking transformation surface, and a new supersequence boundary SB4 was also divided. The results show that Sifangtai to Mingshui formation in the north of Songliao Basin finally can be divided into one supersequence group, two supersequences(SSQ1 and SSQ2), six sequences(SQ1-SQ6) and seventy systems tracts and the high resolution sequence stratigraphic framework is also established. The rule of sediment fill and evolution in the sequence stratigraphic framework in the north of the basin is as follows: In the deposition period of sequence SQ1 to SQ3, the basin mainly develops fluvial and coastal-shallow lake facies where provenance's direction is in the direction of SN along the long axis of the basin, while in the deposition period of sequence SQ4 to SQ6, the basin mainly develops braid river delta and costal-shallow lake facies where provenance is in the direction of EW along the short axis of the basin. The basin's deposit center has also constantly

收稿日期: 2008-10-25; 修回日期: 2009-01-09

基金项目: 国家重点基础研究发展规划("973"计划)项目(2006CB701400); 国家自然科学基金资助项目(40272057)

通信作者: 张雷(1982-), 男, 内蒙古临河人, 博士, 从事沉积学、层序地层学与油气勘探的研究; 电话: 15810475670; E-mail: zlgeo@sina.com

migrated to the northwest from the beginning of the Sifangtai formation. Based on the comprehensive research on the reservoir-cap combination distribution of sequence stratigraphy framework and the conditions of the migration, accumulation of oil and gas show that sequence SQ1 of Sifangtai formation develops the most favorable reservoir-cap combination, and the thick bedded channel sand of the lowstand systems tract of sequence SQ1 in Da'an—Xinzhan area is the most favorable hydrocarbon accumulation area which probably develops structural-lithologic secondary hydrocarbon reservoir.

Key words: high resolution sequence stratigraphy framework; sediment fill; evolution; favorable hydrocarbon accumulation; Sifangtai to Mingshui formation; Songliao basin

目前,人们对松辽盆地上白垩统四方台组—明水组层序地层特征研究较少,对该时期的层序地层研究仅限于超层序(二级层序)及层序(三级层序)的粗略划分和对比^[1-9],且未对层序格架内的沉积演化规律及有利储集相带进行系统研究。目前所进行的这种盆地级别的层序地层学研究现已无法满足区带勘探的要求。为此,本文作者拟通过应用沉积学和层序地层学的原理和方法,利用地震、测(录)井、岩芯、露头、古气候及古生物等资料,通过地震合成记录标定,结合盆地区域构造演化特征分析,重新划分和建立四方台组—明水组高精度的层序格架(体系域级别),并探讨其等时地层格架内沉积演化规律及有利储盖组合发育情况。

1 区域地质概况

松辽盆地位于中国东北部,是具有多沉积旋回的中新生代断-坳型大型陆相含油气沉积盆地,已发现丰富的油气资源^[1-2]。目前,以吉林和黑龙江省的分界线将松辽盆地划分为北部和南部,北部地区面积约为 11.95 万 km²,主要包括西部斜坡区、中央隆起区、东北隆起区及北部倾没区 4 个构造单元^[1-2](见图 1)。松辽盆地大部分油气资源分布在嫩江组及其以下的储集层中,而松辽盆地浅部含油气组合的含油气层是指上

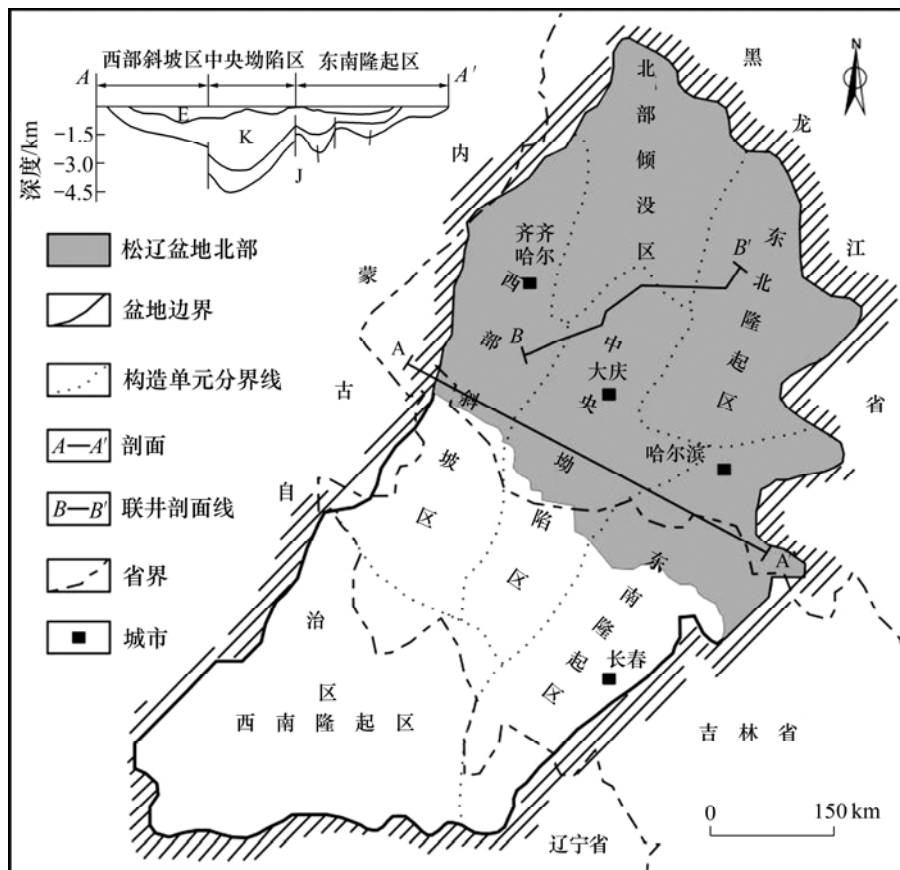


图 1 松辽盆地构造分区及剖面位置图

Fig.1 Section location and tectonic division of Songliao basin

白垩统四方台组和明水组的含油气层,多年来只是在勘探开发主力油气层时偶然发现该含油层具有一定含量的油气藏,且目前在盆地北部浅层所发现的油气藏,仅仅分布在部分油田和个别层位上^[3-4]。目前,大庆油田后备储量不足,松辽盆地浅部地层的油气勘探前景越来越得到广泛关注。

2 层序地层格架

为了保证各级层序界面识别和层序划分的准确性,本次研究综合应用沉积学和层序地层学的原理及方法,利用地震、测(录)井、岩芯、露头以及古气候等资料,通过地震合成记录将地震资料与钻井资料有机结合进行标定。结合松辽盆地区域构造演化特征,尤其是通过对大陆科学钻探井松科1井北孔四方台组—明水组全井岩芯进行观察,对各级层序界面进行划分及对比,最终将松辽盆地北部四方台组—明水组划分为1个超层序组,2个超层序(SSQ1和SSQ2),6个三级层序(SQ1~SQ6)及17个体系域(四级层序),建立了高精度的层序地层格架,见图2。

2.1 各级层序界面的识别与划分

层序的界面是一个不整合面(或沉积间断面)以及与之可对比的整合面^[5]。地层中的各种界面是划分层序、研究层序结构及体系域特征的关键^[5-8]。陆相盆地层序地层分析的关键是识别不同级别层序地层单元的界面^[6-7,9],各级层序界面的识别是层序地层划分和研究的基础。

2.1.1 超层序组和超层序的识别与划分

超层序组是同一成因盆地、不同构造演化阶段的产物,大体上相当于构造层。而超层序是同一构造应力场在不同构造演化阶段的产物。在其发育过程中,盆地的构造活动既相似,又有差异。一般来说,超层序(组)界面与盆地构造运动关系密切,除在地震剖面上易于识别外,其沉积间断的时间较长,地层缺失、河道下切、暴露等现象普遍,因此,超层序(组)界面往往与岩石地层单位界面相一致^[1,9]。

松辽盆地四方台组—明水组总体属于松辽盆地萎缩时期,属于松辽盆地萎缩超层序组。本次研究将整个四方台组—明水组划分为1个超层序组,这与前人的观点一致^[1,9-10]。在地震剖面上其对应于 T_{03} - T_{02} 之间的地震反射层:超层序组底界面 T_{03} (即SB1界面)是嫩江组与四方台组的分界面,为1个平行不整合面,在地震剖面上的特征为1个中强反射界面,解释追踪为波峰,界面之下为亚平行中连续波状反射,之上为

亚平行中低连续反射,在盆地边缘局部地区见到小角度的削蚀不整合(图3);在测井上,该界面附近自然伽马 G_R 和深电阻率 R_d 曲线有明显的坎值(图2);在录井上,该界面之上全区都发育一套以砾岩及含砾粗砂岩为主的粗碎屑沉积,与下伏嫩江组的粉砂岩和粉砂质泥岩细碎屑沉积呈突变接触;在岩芯上,在松科1井北孔973m处四方台组底界面之上发育一套由杂色复成分中细砾岩组成的曲流河河床沉积,与下伏的嫩江组灰绿色夹紫红色泥岩的滨浅湖沉积呈突变接触(图2(a));同时,根据对绥化地区望奎县后八方村的嫩江组—四方台组露头观察发现,该超层序界面特征亦十分明显:界面之下的嫩江组发育暗色湖相泥岩,而界面之上的四方台组为发育大型槽状交错层理的杂色含砾粗砂岩的曲流河河床沉积,仍为1个岩相突变界面。在古生物演化上,界面上、下也明显不同,界面之上发育愉快类女星介(*Talicypridea amoena*)-乾安似玻璃介(*Paracan-dona qiananensis*)组合、希指蕨孢属(*Schizaeois-porites*)-别特帕克达拉粉属(*Betpakdalina*)-三孔沟粉属(*Tricolporopollenites*)组合、盘星藻属(*Pediastrum*)-水甜藻属(*Aquadulcum*)组合;界面之下的外饰女星介(*Cypridea exornata*)-后拉狼星介(*Lycoperocypris retractilis*)组合基本消失,孢粉、藻类均不发育^[1,11]。

超层序顶界面 T_{02} 之下的上白垩统嫩江组二段—明水组二段地层在盆地西部边缘及大庆长垣地区均遭受了不同程度的剥蚀,在地震剖面上为一明显的区域性削蚀不整合界面,界面之上直接覆盖的是古近系和新近系地层(图3);研究区各井在测井曲线上对该界面也有明显的响应,有较大的坎值;在松科1井北孔中明水组二段灰绿色湖相泥岩与新近系泰康组杂色冲积扇粗砾岩呈突变接触(见图2);在富28井中可以看到新近系和白垩系也为1个岩相突变界面,其上为大量的粗砾岩沉积,其下为嫩江组湖相泥岩细碎屑沉积,地层缺失,表明新近系该井区发生了大幅度的构造抬升和剥蚀,证明该界面属于1个构造层序界面。前人通常将四方台组—明水组地层划分为1个超层序,其上、下界面与萎缩超层序组界面 T_{02} 和 T_{03} 一致^[1,9-10]。本次研究将四方台组—明水组地层划分为2个超层序,即又划分出1个超层序界面SB4。 T_{03} ,SB4和 T_{02} 3个界面将四方台组—明水组超层序组分为SSQ1和SSQ22个超层序。SB4界面相当于明水组一段中第2个正旋回的底部,其地质意义比明一段的底(明水组与四方台组为整合接触)的意义大。对于该超层序界面的划分依据如下。

a. 该界面在地震剖面上为一强反射界面,之上为

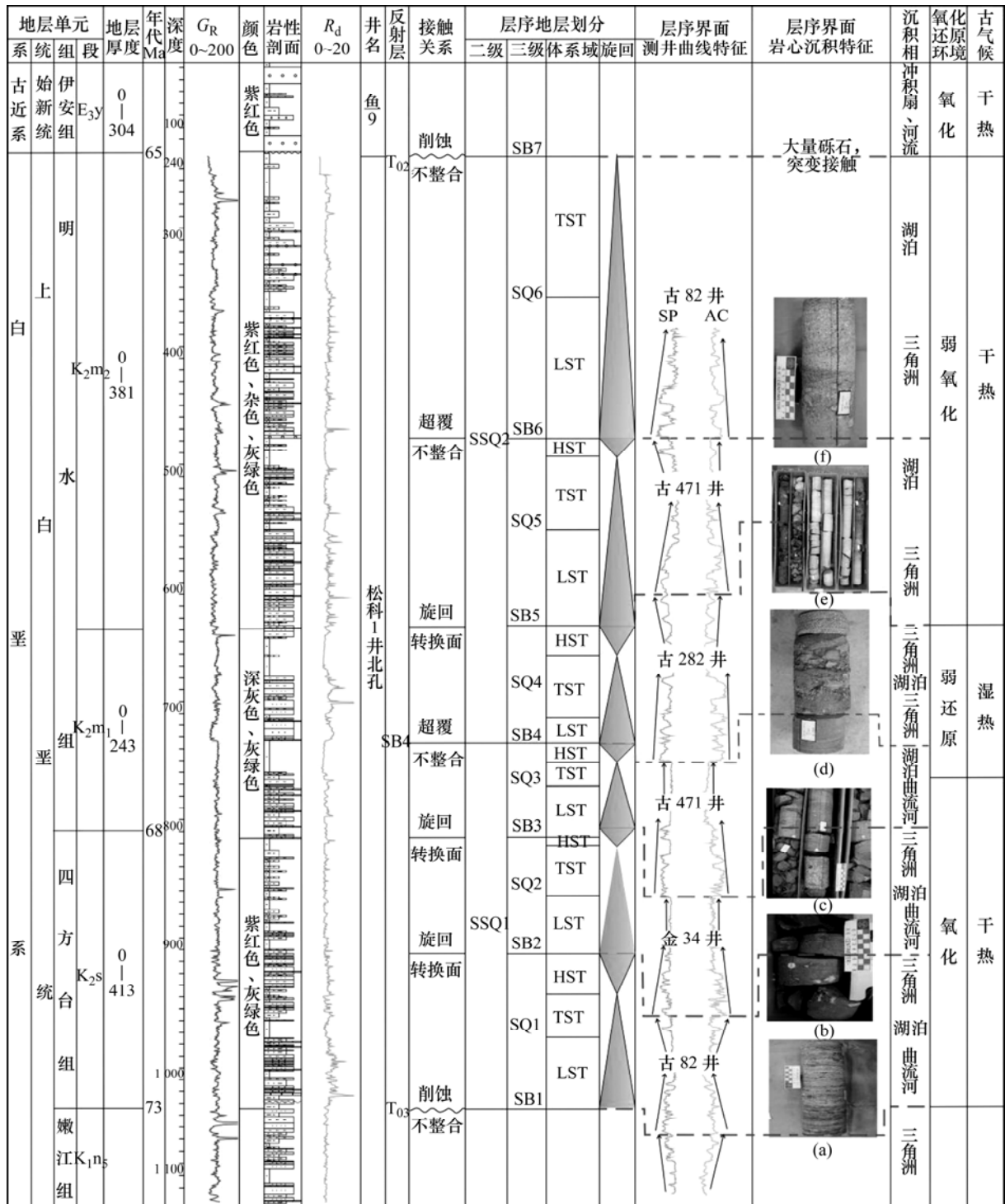


图 2 松辽盆地北部松科 1 井北孔四方台组—明水组层序沉积综合柱状图

Fig.2 Sequence and sedimentary composite histogram of Sifangtai formation-Mingshui formation of north hole of Songke 1 well in the north of Songliao Basin

亚平行中强反射，之下为平行 - 亚平行连续强反射，局部见下超，西部边缘下部见削截，上部见明显的上超(图 3)。

b. 其钻井特征十分明显，测井曲线发生明显的突变，研究区界面之下为厚层湖相泥岩，之上普遍发育

一套中厚层块状杂色底砾岩，为 1 个岩相突变面。

c. 在松科 1 井北孔中，SB4 界面之下为灰色厚层浅湖相泥岩及粉细砂岩沉积，界面之上为薄层灰绿色三角洲平原中砾岩沉积，沉积相发生突变(图 2(d))；最重要的是，该界面之上的三角洲砂岩类型为岩中粗

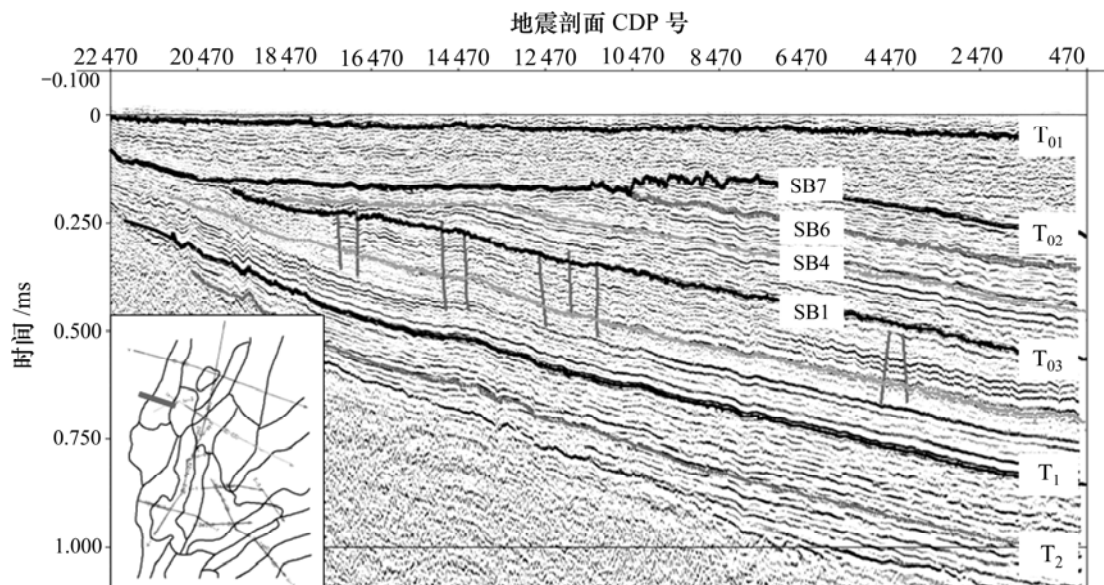


图3 松辽盆地北部上白垩统主要层序界面地震反射特征

Fig.3 Seismic reflection features of main sequence boundaries in the north of Songliao Basin

粒岩屑石英砂岩,而界面之下的浅湖相砂岩类型为岩屑长石中细砂岩,碎屑岩成分明显不同,盆地的源区发生了变化。此外,在古生物演化上,该界面之下的四方台组中上部介形类化石以壳面光滑或具蜂孔的类女星介(*Talicypridea amoena*)繁盛为特征,同时,有一定数量的圆星介(*Metacypris*)、狼星介(*Lycocypris*)和大个体的蒙古星介(*Mongolianella*),而在界面之上的明水组一段类女星介(*Talicypridea amoena*)显著减少,女星介(*Cypridea*)含量增加,女星介演化呈现出一种特化趋势;此外,界面之下的四方台组未发现任何叶肢介化石,而在界面之上的明水组发现1属4种的叶肢介化石,为大兴叶肢介(*Daxingestheria distincta*)组合^[11]。以上证据都表明该界面应为1个比三级层序界面级别更高的层序界面。

SB4界面是松辽盆地从构造应力松弛的拗陷阶段向压扭作用导致的构造不平衡沉降阶段转变的分界面^[2-3]。通过分析联井剖面 and 地震反射特征发现,进入该界面以后,随着盆地东部压扭作用增强,造成盆地不平衡沉降。此后,东部隆升加剧,沉积体系由长轴的南北向延伸的河流-湖泊沉积转化为东西方向延伸的辫状河-辫状河三角洲-湖泊沉积。沉降中心逐渐具有从齐家古龙地区向北部迁移的特征,西部水体开始逐渐变深,沉积厚度加大;东部地层减薄(图4)。所以,依据上述证据,该界面完全符合超层序界面的定义和条件,为1个典型的超层序界面。

2.1.2 层序的识别

一个超层序内部可划分多个三级层序^[1,9-10]。三级层序反映的是沉降速率与沉积速率的变化,与沉积环

境的变迁相关联,在垂向上表现为沉积相(亚相)的转变,在平面上表现为沉积相(亚相)的迁移,因此,陆相盆地中三级层序的界面常为沉积相带的转换面,仅在浅水及暴露地区常表现为不整合。在地震剖面上,与超层序界面相对应的三级层序界面的上超和削截反射特征明显。而超层序内部的三级层序界面一般在盆地边缘才能见到上超和削截反射特征^[6-10]。本次在钻井及岩芯资料中共识别出4类层序界面:

a. 区域不整合界面。这是由于区域性构造运动所造成的区域性不整合,往往与超层序(组)界面重合,这种界面往往还是一种岩性岩相的突变界面。其中,SB1,SB4和SB7界面就是这种层序界面的典型代表(图2(a)和2(d)),全区范围内的录井资料上SB1界面普遍发育一套中层杂色含砾粗砂岩的河床粗碎屑沉积,与其界面下的湖相泥岩细碎屑沉积呈突变接触。在松科1井北孔四方台组底部973m处SB1界面、明水组一段中部722m处SB4界面处、泰康组底部220m处SB7界面的含砾粗砂岩、砾岩等粗碎屑沉积,均直接覆盖在下伏滨浅湖泥岩等细碎屑沉积之上。对应的电测曲线出现幅值较大的突变接触关系,如箱形或钟形电测曲线与下伏线性测井曲线的突变接触面,表明水体存在由较深到突然变浅的过程。

b. 古暴露界面。以发育钙质结核及古土壤层等为特征。在本区,这种界面往往是发育在物源供给较弱的滨浅湖地区。松科1井北孔中以SB2和SB5界面处最为典型。松科1井北孔907m处SB2界面附近发育厚层的暗红色泥岩,其中发育大量的不规则形状的“姜结石”钙质结核,为干旱气候条件下暴露地表形成的

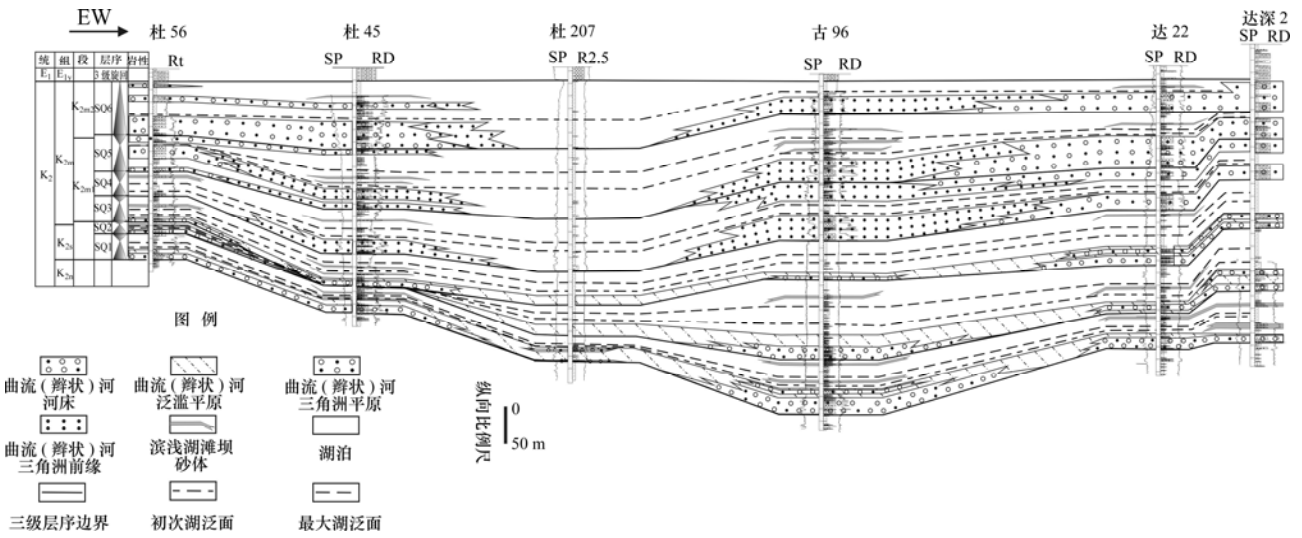


图 4 松辽盆地北部上白垩统四方台组—明水组杜 56 井-达深 2 井联井剖面层序地层特征

Fig.4 Features of sequence stratigraphy of Sifangtai formation to Mingshui formation of Du56 well to Dashen 2 well in the north of Songliao Basin

产物。古土壤层在层序地层学中是识别层序界面的重要标志之一^[6-8]。在松科 1 井北孔 640 m 处层 SB5 界面附近发现古土壤沉积，自下而上为暗红色—杂色—浅红色—杂色—灰白色—灰绿色泥岩的纵向序列，并含有钙质结核，且自下而上沉积物硬结度逐渐变小，泥岩破碎特征更为严重，同时，见干裂现象(图 2(b)和 2(e))。

c. 河道侵蚀冲刷面。当基准面下降到地表之下时，河流发生侵蚀作用，在河道底部形成块状砂岩或河床滞留砾岩沉积。在本区这种界面往往也代表着岩性岩相的突变，其中 SB3 和 SB6 界面就是这种层序界面的典型代表(图 2(c)和 2(f))：在松科 1 井北孔 796 m 处 SB3 界面之上为杂色薄层复成分细砾岩河床沉积相与界面之下的紫红色夹灰绿色滨湖相泥岩呈冲刷侵蚀接触，对应的测井曲线上也出现突变接触关系，但幅值较区域不整合面较小。

d. 地层叠加型式(沉积旋回类型)转换面。这类界面是一类重要但不易识别的层序界面。而且在不整合较不发育的地区，由于层序界面上下体系域的叠加方式不同，沉积旋回类型转换界面往往也是构成层序的重要界面。本区发育的该类转换面主要包括以下 2 种：

1) 由进积叠加型式向退积叠加型式的转换。测井曲线在界面上下表现为进积/退积形式^[12](如古 82 井、金 34 井 SB1 和 SB2 界面处，见图 2)，该类转换面最常见。

2) 由进积叠加形式向加积叠加形式的转换。测井曲线在界面上下表现为进积/加积形式(如古 471 井 SB5 界面处)。

需要注意的是：在盆地的不同位置，层序界面在钻井和岩芯上往往表现出不同的特点。在垂物源方向上，由盆地边缘的不整合逐渐向盆地方向过渡为整合面，所以，层序界面在钻井和岩芯上的表现形式会由不整合界面、侵蚀冲刷界面逐渐过渡到地层叠加型式转换面，然后，过渡到整合界面^[13]，如 SB5 界面由达深 2、达 22 井的侵蚀冲刷界面过渡到古 96 井的地层叠加型式转换面，然后，过渡到杜 207 井的整合界面(图 4)；在平行于物源的方向上，往往由物源供给较弱的滨浅湖暴露界面过渡为有物源供给的河流及三角洲的冲刷侵蚀界面，然后，过渡到物源供给较弱的滨浅湖暴露界面。

2.1.3 体系域的识别

运用研究区内大量的二维地震测线及大量的钻井资料进行更精细的层序地层学研究属于高精度层序地层学研究范畴^[14]，但由于本地区研究层位仅有极少量岩芯资料，难以进行更高精度的层序地层研究，所以，本次主要针对体系域级别的四级层序进行重点研究。体系域是由 2 个或 2 个以上的准层序组组成^[9]。在三级层序内部体系域的划分过程中，最主要的是对初次湖泛面和最大湖泛面的识别。四方台组—明水组沉积时期总体属于盆地萎缩期，虽然盆地开始进入了构造反转期^[4]，东部部分地区抬升，沉积范围进一步缩小，但其仍然继承了拗陷期盆地的地形特征，在地震剖面上缺少明显的地形坡折及确定初次湖泛面的标志(图 3)，且由于各体系域厚度较小，难以在地震剖面上直接进行初次湖泛面及最大湖泛面的识别。而研究区内钻井资料十分丰富，本次研究在已经建立的三级层序

格架内, 对大量钻井资料进行分析, 主要通过以下 2 种方法进行体系域的划分和对比:

a. 准层序组叠加型式转换面。地层由加积型准层序组向退积型准层序过渡的转换面, 测井曲线在界面上下表现为加积/退积形式, 自下砂泥比减小, 该类界面常常为低位体系域与湖侵体系域的分界面; 地层由退积型准层序组向进积/加积型准层序过渡的转换面, 测井曲线在界面上下表现为退积/进积、加积形式, 自下而上砂泥比逐渐增大, 该类界面常常为湖侵体系域与高位体系域的分界面。

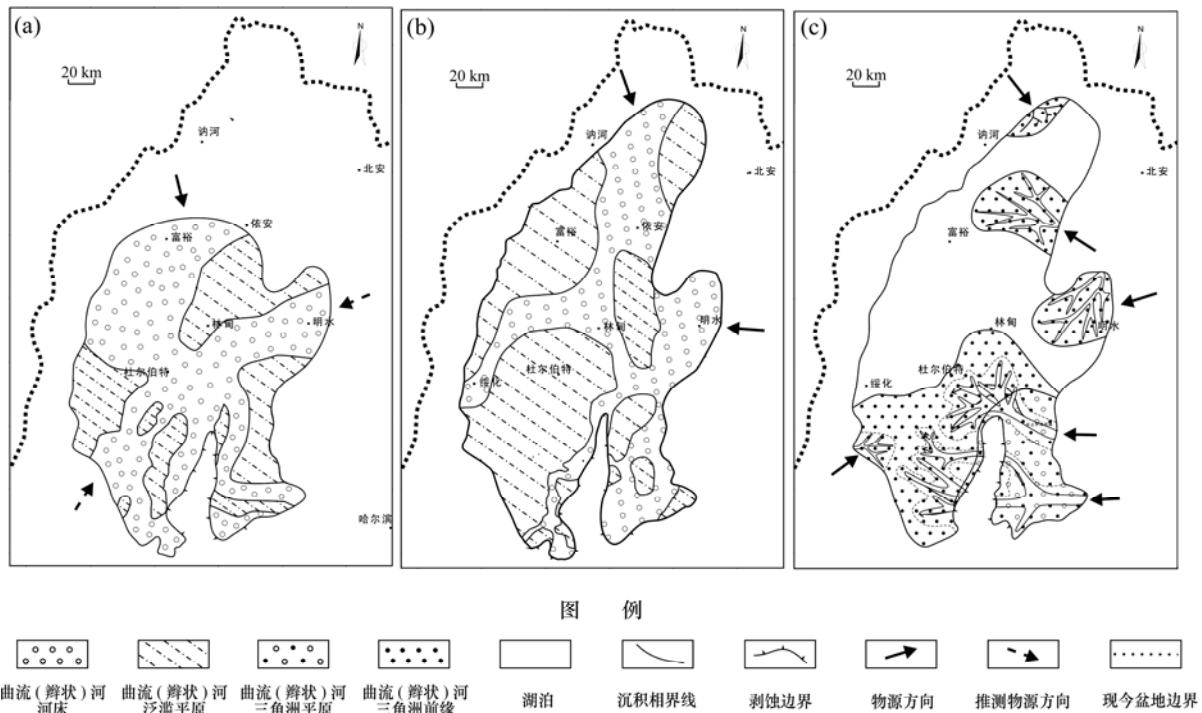
b. 泥岩颜色变化界面。由紫红色泥岩过渡到灰绿色或灰色泥岩的岩性界面, 往往代表水体逐渐加大, 多为低位体系域与湖侵体系域的分界面(SQ2, SQ3 的 LST 和 TST); 而由灰绿色泥岩过渡到大套厚层的灰色或深灰色、灰黑色泥岩的岩性界面, 往往代表水体深度达到最深, 多为湖侵体系域与高位体系域的分界面(SQ4 的 TST 和 HST)。

通过上述方法, 建立了研究区内体系域级别的高精度层序地层格架。本次研究所划分的 6 个三级层序中, 除 SQ6 由于后期构造运动抬升的影响遭受剥蚀外, 其他 5 个三级层序均识别和划分了完整的低位(LST)、湖侵(TST)和高位(HST)体系域, 共识别和划分 17 个体体系域(图 2 和图 4)。

3 层序地层格架内沉积充填演化特征

总体来看, 盆地层序地层特征及沉积特征主要受构造及古气候控制。从四方台组时期开始, 盆地受到了来自太平洋板块 NW 向的挤压, 盆地进入了构造反转阶段^[4, 15], 特别是进入超层序层 SSQ2 之后, 盆地左旋压扭加强, 造成构造背景发生转变, 进而造成沉积格局发生转变。

在 SSQ1(SQ1~SQ3)沉积时期, 即四方台组—明水组一段下部沉积时期, 盆地受到挤压反转强度较弱, 加之盆地热衰减速率接近于 0, 盆地可容纳空间很小^[2], 盆地逐渐被充填消亡, 多发育一些河流及滨浅湖等浅水沉积。在四方台组时期对应的 SQ1~SQ2 时期, 其低位体系域(LST)主要由南北轴向物源供给的河流沉积构成(图 5(a)); 由于气候干旱(图 2), 2 个层序的湖侵体系域多由事件性洪水引起的洪泛造成^[16], 湖侵体系域主要以滨浅湖泥质沉积为主, 由于快速的湖侵作用, 并且缺乏物源供给, 导致高位体系域早期以发育厚层的紫红色滨浅湖泥岩及滩坝沉积为主, 而高位体系域晚期由于后期的侵蚀及上覆层序的冲刷侵蚀作用而不发育。至 SQ3 低位体系域, 仍以南北轴向物源



(a) SQ1 ; (b) SQ3 ; (c) SQ4

图 5 松辽盆地北部四方台组—明水组 SQ1, SQ3 和 SQ4 层序低位体系域沉积相平面图

Fig.5 Sedimentary facies of Lowstand system tracts of sequence SQ1, SQ3 and SQ4 of Sifangtai formation to Mingshui formation in the north of Songliao Basin

沉积体系的河流沉积为主(图 5(b)), 沉积范围有所扩大, 但由于该时期气候由干旱转为潮湿, 泛滥平原泥岩由 SQ1 和 SQ2 紫红色变为灰绿色间夹紫红色(图 2), 且盆地在该层序湖侵体系域时期发生了 1 次全盆范围的大规模湖侵, 沉积了厚层的湖相暗色泥岩, 仅局部地区可见小规模三角洲沉积; 其高位体系域由于受到构造运动的影响及上覆 SQ4 低位域的强烈冲刷侵蚀作用而基本不发育。

在 SSQ2(SQ4~SQ6)沉积时期即明水组一段上部—明水组二段沉积时期, 超层序界面 SB4 为 1 个重要的地质界面, 进入 SQ4 沉积时期, 由于盆地 NW 向压扭作用增强, 造成盆地不均衡沉降, 水体开始逐渐变深。压扭作用导致盆地东部基底抬升, 西部基底下陷, 地形高差增大, 盆地东部物源供给能力加强, 再加之此时气候潮湿(图 2), 湖盆水体加深, 可容空间增大^[2], 沉降中心逐渐由齐家古龙地区向西北部迁移。在 SQ4 低位体系域时期, 盆地主要物源区已由先前的南北向长轴物源转变为东西向短轴物源, 盆地东部发育了规模巨大的辫状河三角洲沉积, 尤其是受到强烈挤压的东南部扇体规模最大(图 5(c)); 在 SQ4 湖侵体系域沉积时期, 总体厚度较小, 以滨浅湖沉积为主, 东部局部地区发育小规模水进型三角洲沉积; 在 SQ4 高位体系域时期, 盆地东部再次发育大规模的进积型辫状河三角洲沉积, 此时, 盆地西部局部地区也发育小规模的三角洲沉积; 此外, 该时期还发育一定规模的滨浅湖滩坝沉积。进入 SQ5 时期后, 气候由潮湿再次变为干旱, 盆地水体再次变浅, 可容空间减小, 低位体系域时期仍以东部的大规模辫状河三角洲沉积和滨浅湖沉积为主, 湖侵体系域时期辫状河三角洲规模与前期相比明显减小, 滨浅湖范围有所扩大, 高位体系域时期东部和西部地区均发育辫状河三角洲沉积。进入 SQ6 沉积时期, 低位体系域继续发育大规模的辫状河三角洲沉积, 此时, 除了东部有明显的物源供给外, 西部和北部也出现了较明显的物源供给, 湖盆进一步被充填; 湖侵体系域时期主要发育滨浅湖泥质及滩坝沉积, 该时期湖泊面积进一步缩小, 盆地消亡速度加大。由于明二段层序 SQ6 上部地层多遭受了剥蚀, 所以, 其高位体系域未发育。

4 层序地层格架内有利区带预测

由于四方台组—明水组地层埋藏浅, 烃源岩有机质含量低, 并且未成熟, 所以, 松辽盆地北部浅部地层内油气的聚集, 大多是晚期构造反转运动所形成的

断裂对原生油气藏造成破坏, 从而引起油气的再次运移和聚集, 在上述浅部地层形成次生油气藏所致。

目前, 从分布看, 多数油气显示均集中在四方台组 SQ1 层序 LST1 中, 其原因是:

a. 四方台组 SQ1 层序地层距离油源最近, 其下伏地层存在黑帝庙油层、萨尔图油层和葡萄花油层, 有油源供给。

b. 四方台组 SQ1 层序 LST1 中发育大量厚层河床砂体, 具有良好的储集条件。

c. SQ1 层序 TST1 及 HST1 沉积了较厚湖相及泛滥平原相的细碎屑沉积, 作为较好的盖层, 与 LST1 本身形成了一套有效的储盖组合。所以, 从纵向上看, SQ1 是最有利的一套储盖组合, 勘探前景广阔。

而从平面及空间看, 浅层次生气成藏是油源特征、断裂输导条件、储盖组合以及保存条件在时空上相互配置的综合产物^[17], 而浅层的油气显示信息又为油气追踪提供了有效的证据。同时, 将油源丰度、断裂输导、储盖组合、油气显示级别以及保存条件等作为评价指标, 最终预测并认为位于中央坳陷区与西部斜坡区过渡带上龙虎泡阶地(图 6(a))的大安—新站构造为最有利的油气聚集相带, 其原因是:

a. 下伏存在一定规模的原生油气藏。大安—新站地区下伏存在葡萄花和黑帝庙 2 套油层。其中, 对于葡萄花油层, 存在新站油田、大安北油田和南山湾 3 个油田; 另外, 东部又与敖南油田相连, 总的探明含油面积可达 350 km², 大安油田含油面积合计 81.2 km², 黑帝庙油层分布面积约为 30 km², 新站油(气)田含油面积为 16.0 km², 下伏油层的存在为浅部油气成藏提供了油源条件。

b. 有效的油气运移通道。由于后期的构造活动, 使得在大安—新站地区发育较多的断裂体系, 本区断层较发育, 而且多为北北西向正断层, 分布范围也广, 向上断裂强度逐渐减弱, 断裂发育范围较小, 主要集中在大安构造带上, 说明有断层断穿四方台组, 向下与油层连通, 到白垩世末期 T₀₂ 区断裂几乎不发育, 很少有断层向上延伸, 这样, 不存在通天断层, 为油气的后期保存提供了良好的地质条件。同时, 层序 SQ1 底界面 T₀₃ 作为区域不整合面, 可使油气沿不整合面运移(图 6(b))。

c. 有效的储盖组合条件。SQ1 为最有效的储盖组合。在对该区浅层大量钻井资料进行统计后发现, 龙虎—大安阶地砂岩储层总厚度均在 40 m 以上, 最大可达 80 m 以上。对大安—新站地区英 411 井 LST1 砂岩取芯样品的物性分析测试结果表明: 四方台组砂岩的孔隙度范围为 20%~40%, 平均孔隙度为 26.69%, 尤

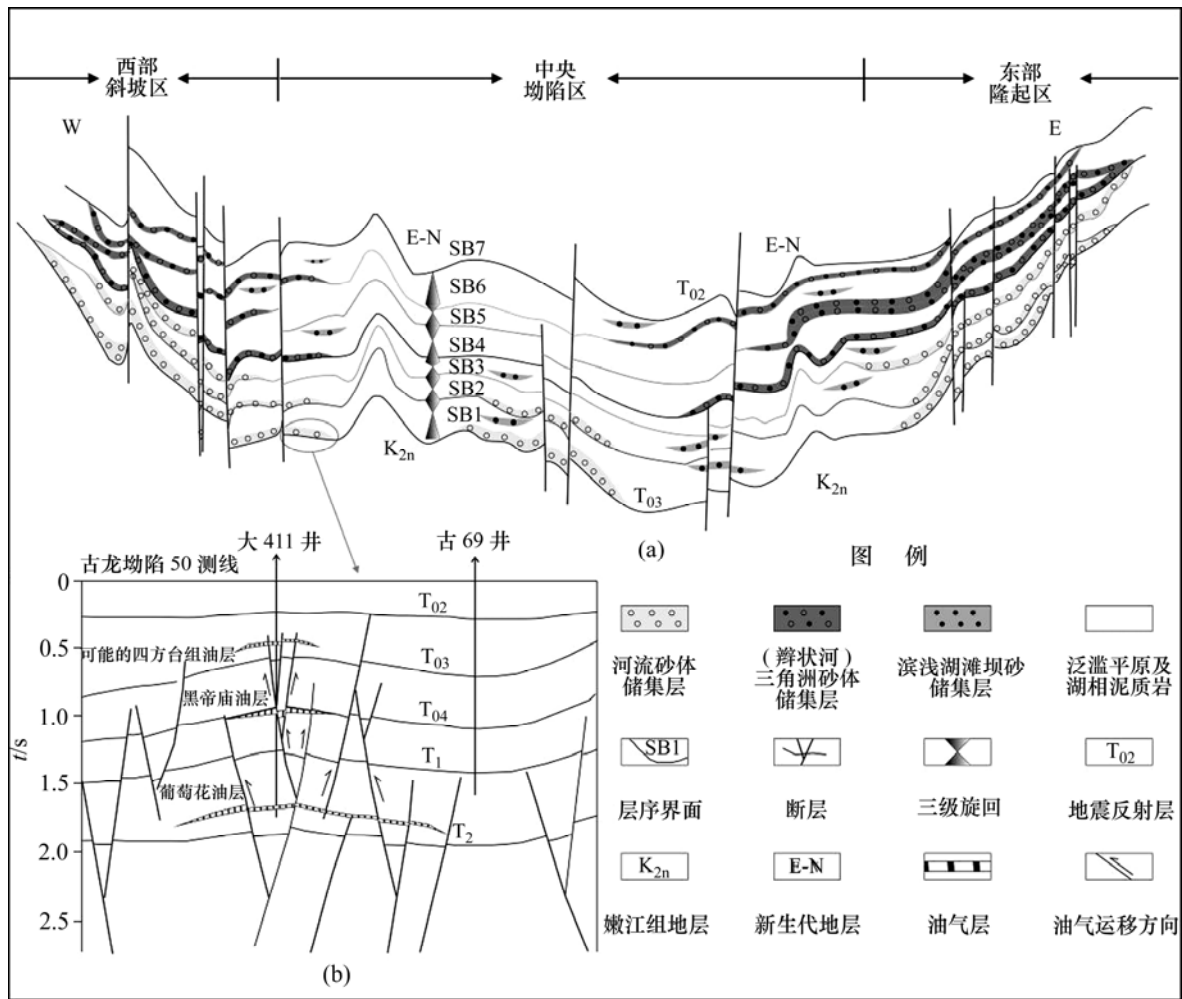


图 6 松辽盆地北部储盖组合分布及有利区带成藏模式图

Fig.6 Map of reservoir-cap combination distribution and migration and accumulation model of favorable play in the north of Songliao Basin

其是在四方台组 SQ1 沉积 LST1 时期的河流相砂岩，分选较好，为有效储层。此外，在大安—新站地区，第 1 套 TST1 与 HST1 泥岩盖层的厚度一般都在 100 m 以上(见图 4 古 96 井)，可以对下伏的油气起封堵作用，在有效的储盖组合配合下，下部的油气可沿断层向上运移，在浅部聚集，可形成构造—岩性油气藏(图 6(b))。

d. 良好的油气显示。在大安—新站构造带油气钻井过程中，很多井在四方台组的钻井过程中有良好的油气显示，荧光显示级别最高可达 14 级，其中，在英 411 井四方台组 LST1 中观察到油浸细砂岩，已证实有油气充注。这些油气显示信息为对油气进行追踪提供了良好的证据。

大安—新站构造带大 411 井井区附近的 LST1 中发育的圈闭聚集成藏的可能性最大(图 6(b))，而制约该地区浅层成藏的主要原因在于：目的层埋深较浅，同时该构造带上第 1 套盖层的埋深一般在 200 m 以下，油气聚集后容易遭受后期的氧化和破坏，这对于油气

保存是不利的。

5 结 论

a. 通过综合应用沉积学和层序地层学的原理和方法，主要应用地震、测(录)井、露头、古气候以及古生物等资料，经地震合成记录标定，结合盆地区域构造演化特征，并利用本次研究的目的层段松科 1 井的连续取芯资料，在岩芯级别上对各级层序界面进行识别，共识别出区域不整合面、古暴露界面、河道侵蚀冲刷面、地层叠加型式转换面 4 类层序界面，并新划分出 1 个超层序界面 SB4，最终将松辽盆地北部四方台组—明水组共划分为 1 个超层序组，2 个超层序(SSQ1 和 SSQ2)，6 个三级层序(SQ1~SQ6)，17 个体系域，建立了盆地的高精度层序地层格架。

b. 层序 SQ1~SQ3(SSQ1)沉积时期，盆地主要发

育南北向长轴物源的河流及滨浅湖沉积；而进入层序SQ4-SQ6(SSQ2)沉积时期，盆地的古地理格局发生了重大变化，盆地主要发育东西向短轴物源的辫状河三角洲及滨浅湖沉积，并且总体从四方台组时期开始，盆地沉积范围逐渐减小，沉积中心开始不断向西北方向迁移。

c. 四方台组时期层序 SQ1 在纵向上为最有利的储盖组合，而大安—新站地区 SQ1 低位体系域厚层河床砂岩为本区最有利的油气聚集区带，最有可能形成构造-岩性次生油气藏。

参考文献：

- [1] 林春明, 冯志强, 张 顺, 等. 松辽盆地北部白垩系超层序特征[J]. 古地理学报, 2007, 9(6): 619-634.
LIN Chun-ming, Feng Zhi-qiang, ZHANG Shun, et al. Characteristics of the cretaceous supersequence in northern Songliao Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(6): 619-634.
- [2] 李树青, 王英民, 王 岩, 等. 构造反转期层序划分和可容纳空间的变化机制—以松辽盆地北部晚白垩世构造反转期为例[J]. 地质科技情报, 2007, 26(3): 1-6.
LI Shu-qing, WANG Ying-min, WANG Yan, et al. Sequence classification and accommodation change mechanism in structure reverse period: An example from late cretaceous structure reverse period of northern Songliao Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2007, 26(3): 1-6.
- [3] 李树青, 王英民, 李志军. 松辽盆地北部浅层层序地层划分与油气特征[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(S1): 12-15.
LI Shu-qing, WANG Ying-min, LI Zhi-jun. Sequence stratigraphy classification and hydrocarbon features in the shallow layers, north Songliao Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(S1): 12-15.
- [4] 胡望水, 吕炳全, 张文军, 等. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J]. 地质科学, 2005, 40(1): 16-31.
HU Wang-shui, LÜ Bing-quan, ZHANG Wen-jun, et al. An approach to tectonic evolution and dynamics of the Songliao Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(1): 16-31.
- [5] Vall P R, Audemard F, Browman S A, et al. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy: An sedimentology and overview[C]// Einsele G, et al. Cycles and Events in Stratigraphy. Heidelberg: Springer-Verlag, 1991: 617-659.
- [6] 孙 钰, 钟建华, 姜再兴, 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, 2006, 30(5): 1-7.
SUN Yu, ZHONG Jian-hua, JIANG Zai-xing, et al. Study of sequence stratigraphy of depression period in southern Songliao Basin[J]. Journal of China University of Petroleum, 2006, 30(5): 1-7.
- [7] 朱筱敏, 康 安, 王贵文. 陆相拗陷型和断陷行湖盆层序地层样式探讨[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 283-287.
ZHU Xiao-min, KANG An, WANG Gui-wen. Sequence stratigraphic models of depression and faulted-down lake Basins[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 283-287.
- [8] Shanley K W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4): 544-568.
- [9] 刘招君, 董清水, 王嗣敏, 等. 陆相层序地层学导论与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 113-137.
LIU Zhao-jun, DONG Qing-shui, WANG Si-min, et al. Introduction to continental sequence stratigraphy and application[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 113-137.
- [10] 郭 巍, 刘招君, 董惠民, 等. 松辽盆地层序地层特征及油气聚集规律[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2004, 34(2): 216-221.
GUO Wei, LIU Zhao-jun, DONG Hui-min, et al. The sequence stratigraphic features and hydrocarbon accumulation of Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2004, 34(2): 216-221.
- [11] 黄清华, 黄福堂, 侯启军. 松辽盆地晚中生代生物演化与环境变化[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 1-4.
HUANG Qing-hua, HUANG Fu-tang, HOU Qi-jun, et al. The late Mesozoic bio-evolution and environmental changes in Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(4): 1-4.
- [12] 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): 29-38.
ZHUO Hong-chun, LIN Chun-ming, LI Yan-li, 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): 29-38.
- [13] Tamayo J C S, Sierra G M, Correa L G. Tectonic and climate driven fluctuations in the stratigraphic base level of a Cenozoic continental coal basin, northwestern Andes[J]. Journal of South American Earth Sciences, 2008, 26(4): 369-382.
- [14] 林畅松, 张燕梅, 刘景彦, 等. 高精度层序地层学和储层预测[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 111-117.
LIN Chang-song, ZHANG Yan-mei, LIU Jing-yan, et al. Resolution sequence stratigraphy and reservoir prediction[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 111-117.
- [15] 侯贵廷, 冯大晨, 王文明, 等. 松辽盆地的反转构造作用及其对油气成藏的影响[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 49-53.
HOU Gui-ting, FENG Da-chen, WANG Wen-ming, et al. Reverse structures and their impacts on hydrocarbon accumulation in Songliao Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2004, 25(1): 49-53.
- [16] Bourquin S, Peron S, Durand M. Lower Triassic sequence stratigraphy of the western part of the Germanic Basin (west of Black Forest): Fluvial system evolution through time and space[J]. Sedimentary Geology, 2006, 186(3/4): 187-211.
- [17] KUANG Li-xiong, GUO Jian-hua, HUANG Tai-zhu. Forming mechanism of hydrocarbon reservoirs in Yingshan formation of Yuqi block in Akekule arch, Tarim Basin[J]. Journal of Central South University of Technology, 2008, 15(2): 244-250.