文章编号:1009-3850(2011)02-0034-09

松辽盆地姚家组 – 嫩江组地层层序及沉积演化

张 顺，付秀丽，张晨晨

(黑龙江省大庆油田有限责任公司勘探开发研究院，黑龙江 大庆 163712)

摘要: 松辽盆地姚家组 – 嫩江组是晚白垩世形成的一套完整的水进 – 水退沉积旋回，分为2个二级层序，6个三级层序，持续时间约4Ma。嫩江组二段最大湖泛期在底部形成了盆地范围内稳定分布的油页岩，其不仅是层序及地层对比的标准界面，而且是重要的烃源岩层和盖层。姚家组与嫩江组一段是水进期大型退积型三角洲沉积，嫩江组三段是水退期大型湖泊与快速进积大型三角洲沉积。嫩江组在水进期长轴物源方向发育大型重力流水道及末端浊积扇，水道延伸距离64km，最大宽度600m；在水退初期短轴方向发育滑塌浊积扇，扇体有复合式和单体式，滑塌最小古坡度为5% ~12‰，表面均发育弧状滑塌波纹，波纹密度4 ~10条/km，最小滑移距离2 ~10km。

关 键 词: 松辽盆地; 晚白垩世; 沉积演化

中图分类号: P539.2 **文献标识码:** A

松辽盆地属于大型陆相坳陷盆地，自1959年大庆油田发现以来，油气成藏等陆相石油地质研究领域取得了重大进展，丰富和发展了陆相生油理论。2004年以来，开展了新一轮的松辽盆地地质规律及勘探潜力综合研究，在盆地沉积演化及沉积类型上又有了新的发现，不仅改变了原有嫩江组沉积物源的认识，还在湖相区发现了大量的重力流沉积体及滑塌扇体，这对松辽盆地剩余油气资源的勘探发挥了积极的指导作用。

1 松辽盆地地质概况

松辽盆地长轴呈NE向展布，长750Km，宽330 ~370Km，面积约26 × 10^4 Km^2，属中新生代大型陆相坳陷盆地[1-3]。沉积盖层主要为白垩系，上覆少量新生界，总厚度超过10000m，基底为古生代和前古生代变质岩、岩浆岩和火山岩[4,5]。按区域隆起和坳陷的发育特征划分成六个一级构造单元(图1)，31个二级构造单元。松辽盆地构造演化分为断陷、坳陷和反转阶段三个阶段[6-8]，相应形成了断陷

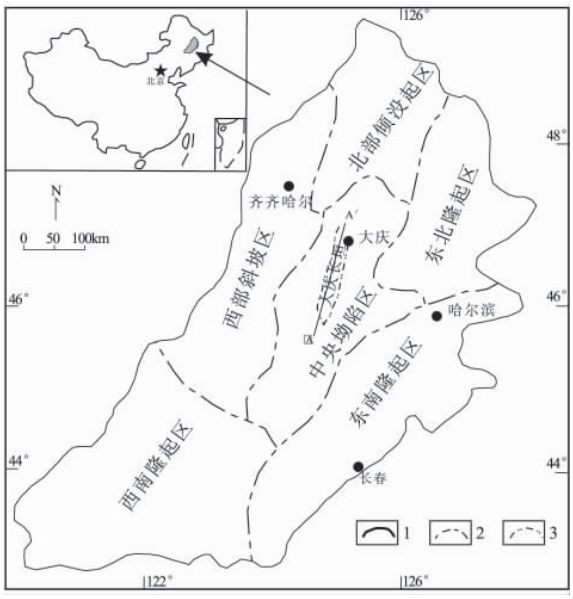

图1 松辽盆地构造单元分区图

1. 盆地边界; 2. 一级构造线; 3. 二级构造线

Fig. 1 Tectonic division of the Songliao Basin

1 = basin boundary; 2 = first-order tectonic boundary; 3 = second-order tectonic boundary

收稿日期: 2010-06-23; 改回日期: 2010-07-04

作者简介: 张顺(1963 –)，男，1986年毕业于大庆石油学院，2001年获南京大学博士学位，现在大庆油田公司勘探开发研究院从事含油气盆地层序与沉积相研究。Emai: zhshun@petrochina.com.cn.

资助项目: “973”项目“白垩纪地球表层系统重大地质事件与温室气候变化”(编号2006CB701400)

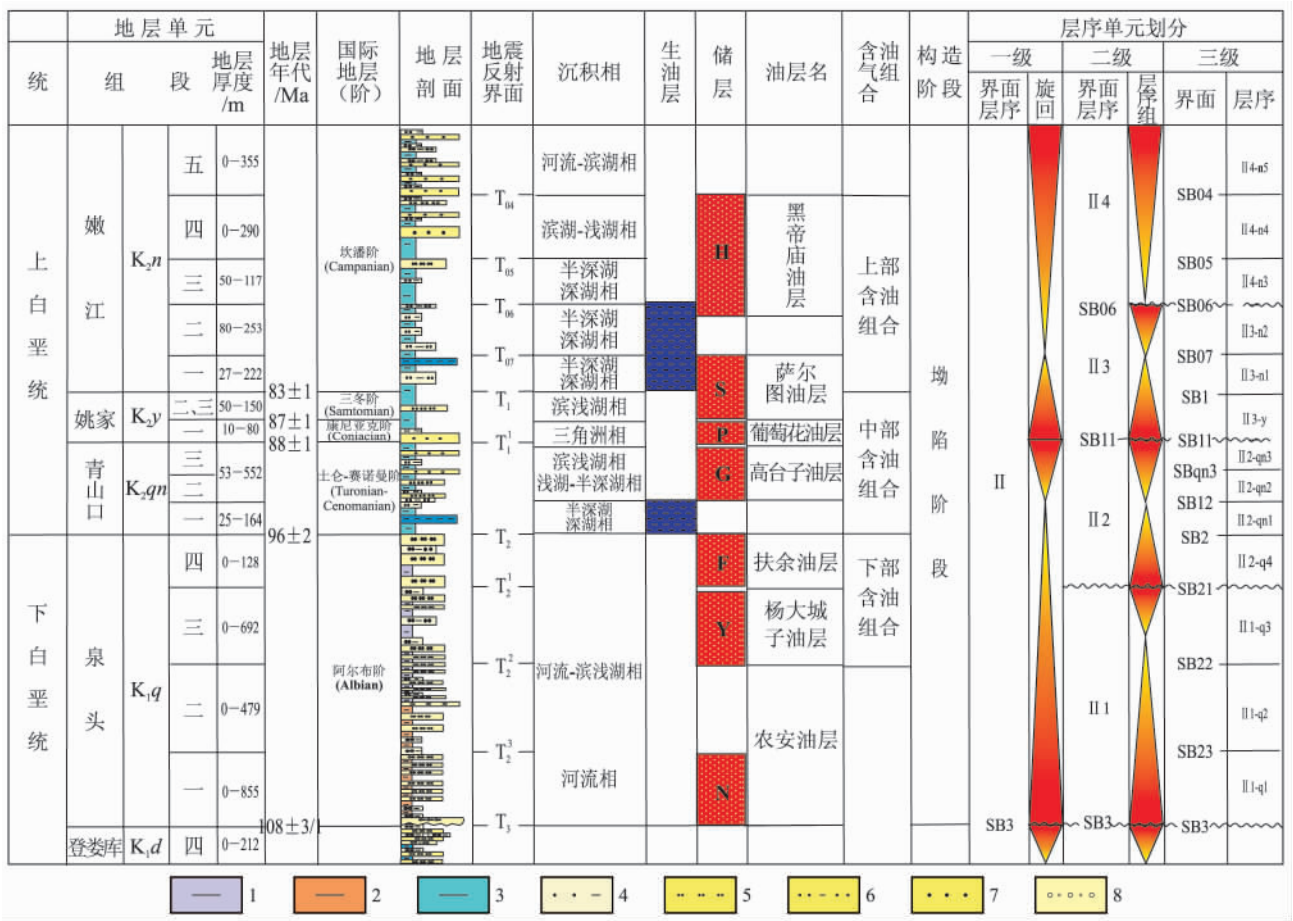

图 2　松辽盆地姚家组－嫩江组地层综合柱状图

1. 泥岩; 2. 粉砂质泥岩; 3. 泥质粉砂岩; 4. 粉砂岩; 5. 含介形虫泥岩; 6. 介形虫层; 7. 油页岩; 8. 沉积旋回

Fig. 2　Generalized stratigraphic column through the Yaojia and Nenjiang Formations in the Songliao Basin

1 = mudstone; 2 = silty mudstone; 3 = muddy siltstone; 4 = siltstone; 5 = mudstone with ostracods; 6 = ostracod bed; 7 = oil shale; 8 = depositional cycle

期、坳陷期及反转期三套地层。断陷期地层主要是火山岩、砂砾岩、扇三角洲形成的粗砂岩及断陷湖盆形成的泥岩夹煤系地层，坳陷期地层主要是大型河流及三角洲砂岩与大型湖泊泥岩及油页岩交互叠置形成的岩性组合(图 2)，反转期地层主要是河流与浅水湖泊及三角洲形成的砂岩与泥岩交互组合[9]。松辽盆地上白垩统的姚家组及嫩江组是石油的主要产层。

2　地层层序及沉积特征

2.1　地层层序

姚家组－嫩江组位于松辽盆地坳陷期地层的上部，整体为水进－水退的沉积旋回[10]，分为 2 个二级层序，6 个三级层序，持续时间 4Ma(图 2)，层序顶部以嫩江组与四方台组之间的 T_{03} 区域性构造反转不整合面为界，地震上具有强震幅连续反射特征，岩性为下部灰色细碎屑砂岩与上部四方台组粗碎屑砂岩不整合接触，具有典型的冲刷构造，时间为 72Ma[11,12]。盆地周边嫩江组顶部地层有明显削截现象，盆地西部四方台组上超在嫩江组之上，盆地中心表现为整合面。层序底部为 T_1^1 界面，也是姚家组底界面，对应一套紫红色泥岩，在盆地中央坳陷区为整合接触，时间为 88Ma，该界面之上沉积基准面快速上升，形成浅水湖泊－大型湖泊及三角洲沉积环境。层序内部发育 T_{06}、T_{07}、T_1、界面，T_{06} 为嫩江组三段在三角洲快速进积过程中形成的沉积不整合界面，在盆地西部呈现整合特征，T_{07} 为最大湖面，具有明显的连续强反射地震特征，对应油页岩层，可作为标志层进行全盆地对比，该界面之上沉积基准面快速下降，形成高角度进积型三角洲及河流沉积环境。T_1 为姚家组顶界面，在盆地中央坳陷区为整合接触，在周边为不整合接触关系。

2.2　姚家组沉积特征

姚家组是沉积基准面上升过程中沉积的一套

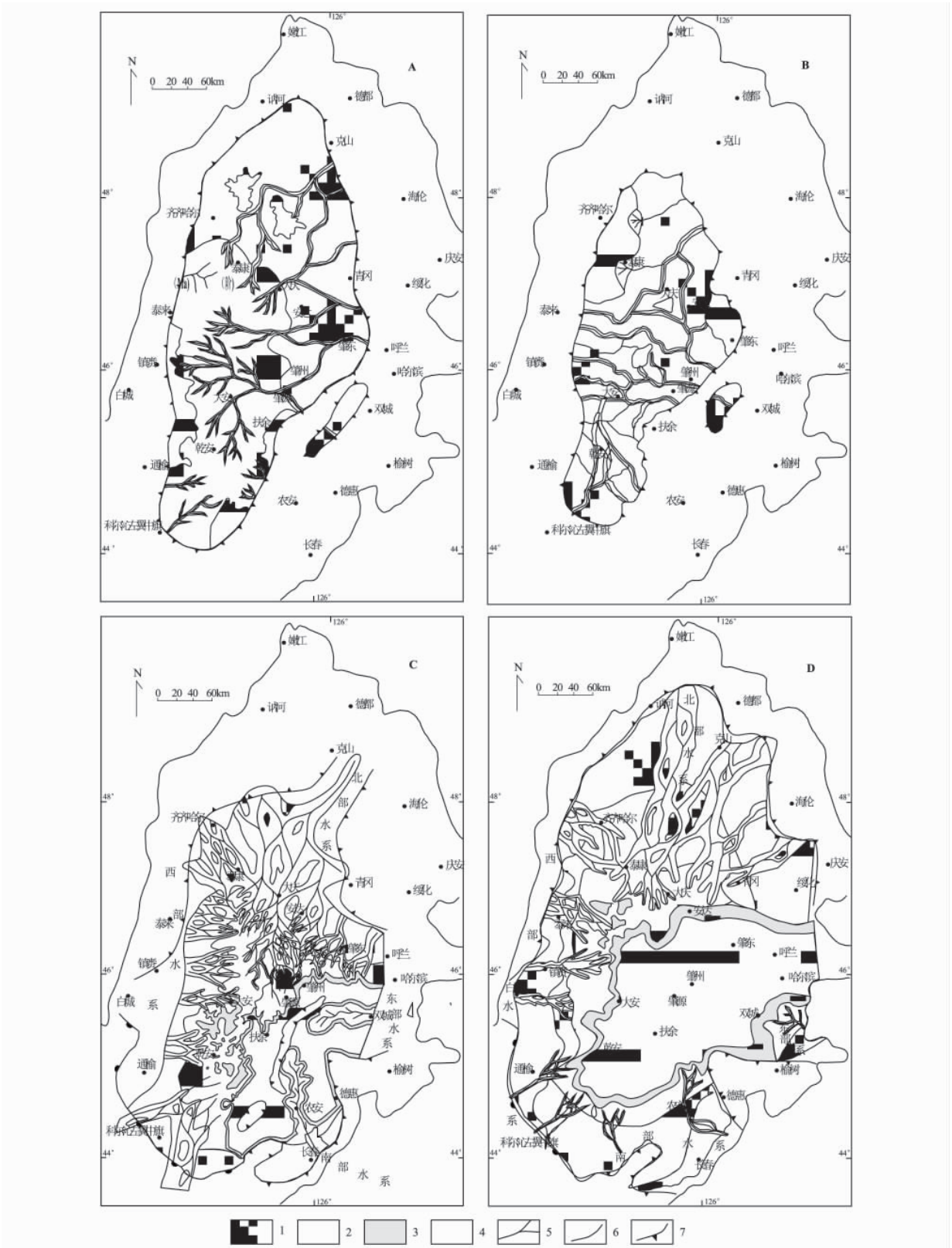

图 3 嫩江组四、五段(A、B)及姚家组沉积相图(C、D)

1. **河流相**; 2. **三角洲前缘**; 3. **滨浅湖**; 4. **半深湖**; 5. **分流河道**; 6. **盆地边界**; 7. **地层尖灭线**

Fig. 3 Sedimentary facies maps of the 4th and 5th members of the Nenjiang Formation (A and B) and Yaojia Formation (C and D)

1 = fluvial facies; 2 = delta front facies; 3 = littoral-shallow lake; 4 = bathyal lake; 5 = distributary channel; 6 = basin boundary; 7 = stritigraphic wedge-out

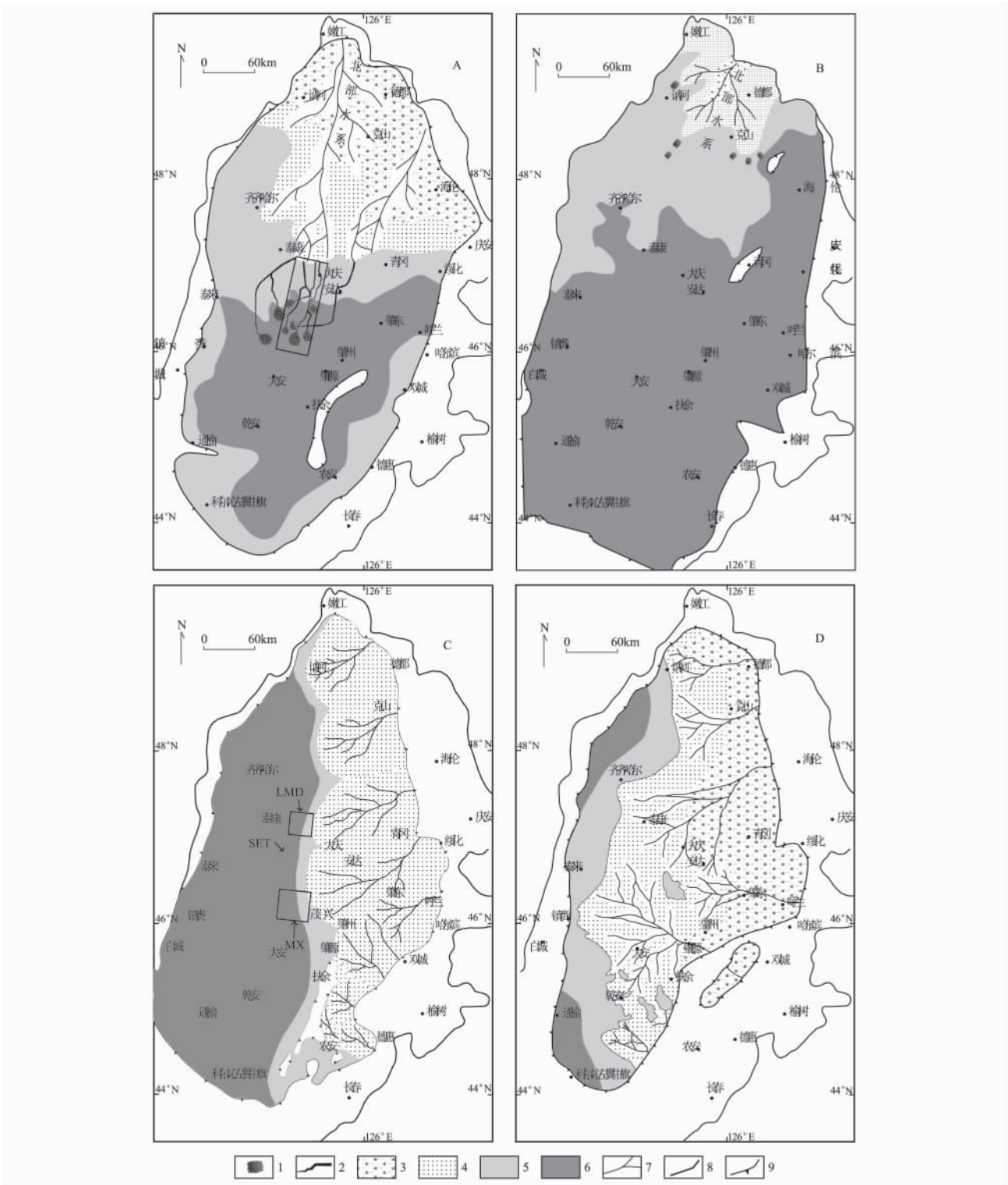

图 4　嫩江组下部沉积相图(一段 A，二段下 B，二段上 C，三段 D)

1. **浊积扇**; 2. **浊积水道**; 3. **河流相**; 4. **三角洲前缘**; 5. **滨浅湖**; 6. **半深湖**; 7. **分流河道**; 8. **盆地边界**; 9. **地层尖灭线**

Fig. 1　Sedimentary facies maps of the lower part of the Yaojia Formation

1 = alluvial fan; 2 = turbidite channel; 3 = fluvial facies; 4 = delta front facies; 5 = littoral-shallow lake; 6 = bathyal lake; 7 = distributary channel; 8 = basin boundary; 9 = stratigraphic wedge-out

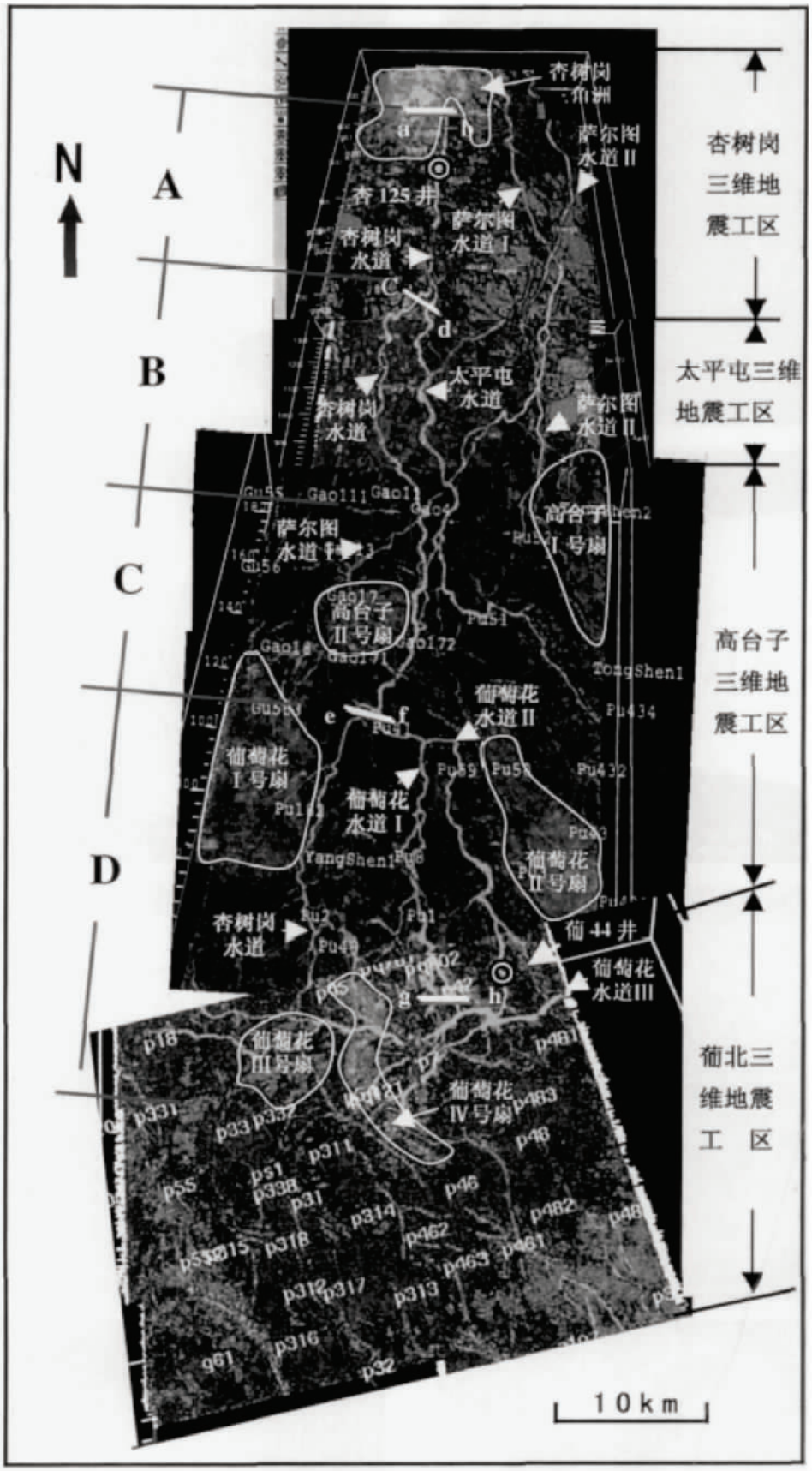

图5 嫩江组一段大型湖底水道地震振幅属性分析图

Fig. 5 Attributes of the seismic amphitudes in serval large-sized lakebed channels in the first member of the Nenjiang Formation

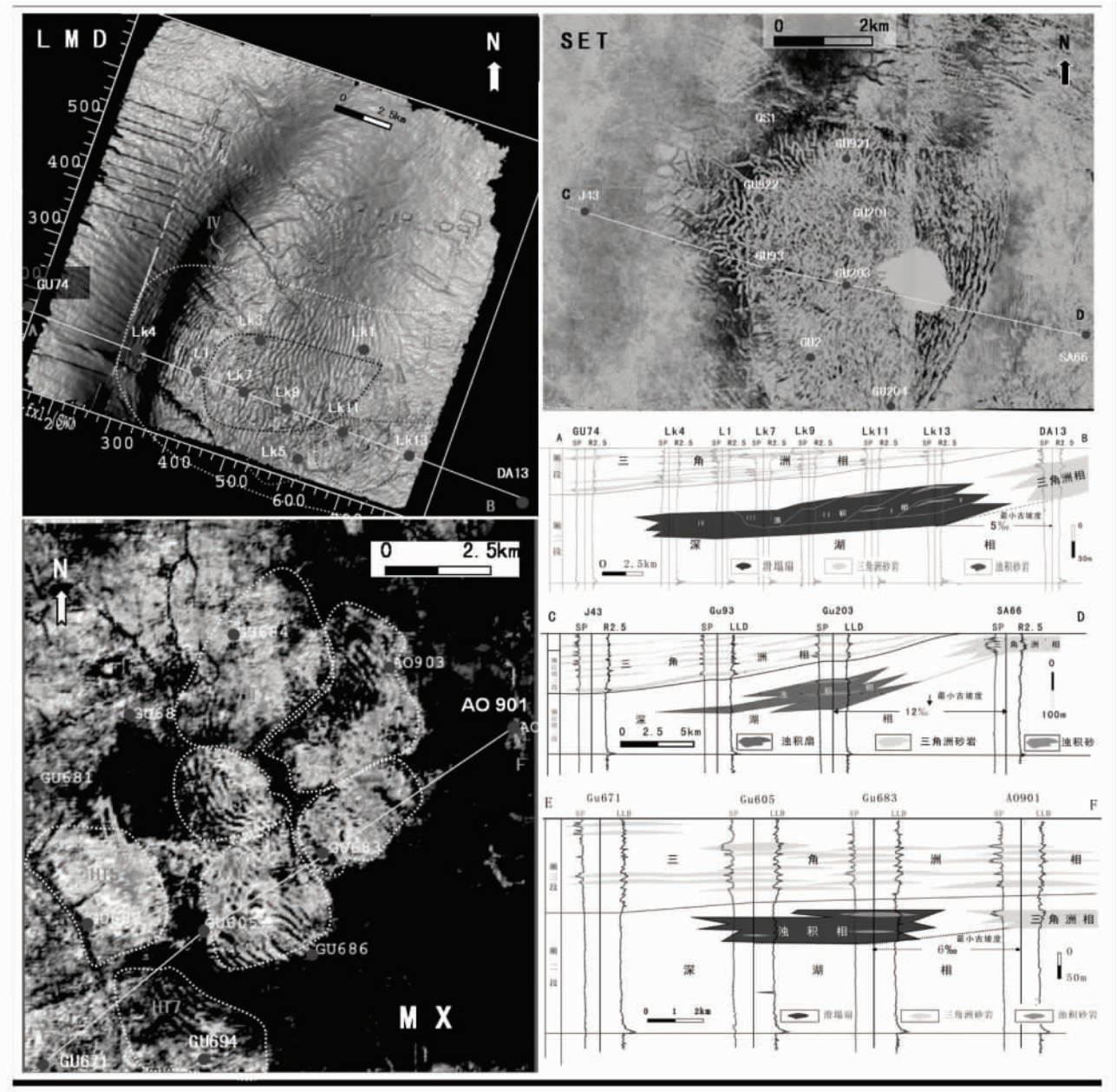

图 6　松辽盆地大庆长垣地区嫩江组二段滑塌浊积扇地震属性及测井剖面图(位置见图 6C)

Fig. 6　Seismic attributes and log interpretation for the fluxoturbidite fan in the second member of the Nenjiang Formation

地层，具多物源、多沉积体系和半环状相带分布特点，地层厚度为 17 ~ 218m，中央坳陷区平均厚度在 150m，边缘较薄一般在 30 ~ 80km，整体呈中间厚边部薄的分布特征。姚家组一段在盆地大部分地区与下伏地层呈不整合接触，仅在盆地中心部位为整合接触。主要特征表现为盆地外围地区河流相冲刷底面直接与下伏青山口组灰黑色泥岩接触，并存在介形虫生物带缺失现象。在盆地的中部常见水下侵蚀和沉积间断，如滞留泥砾岩、干裂及强烈的生物扰动泥岩。盆地边缘相对抬升造成侵蚀基准面向盆地内迁移。湖区分布面积远远小于下伏的青山口组，最小时面积不足 $10000km^2$，沉积相带自盆地边缘向盆地中心依次为河流 – 三角洲 – 滨浅湖 – 半深湖 – 深湖相组合呈半环带展布，缺少深湖环境(图 3C) 。总体分为四个水系: 来自克山、青冈一带的河流构成北部水系，该水系沿盆地长轴方向大庆 – 肇源一线发育的大型三角洲复合体是松辽盆地最大的沉积体，延伸长度超过 200km，最大宽度近 150km，体积约 $2900km^3$，成为松辽盆地油气储量最多的储层; 来自齐齐哈尔、泰来、镇赉、白城、通榆及科尔沁左翼中旗一带的河流构成了短轴方向的西部水系，该水系虽然分支较多但规模较小，流域

内为冲积扇－河流－三角洲体系组合;南部发育农安水系,东部发育双城水系,这两只水系虽然发育延伸较远的三角洲,但其相带较窄,因此,对全盆地的相带分布影响较小。姚家组一段地层厚度在中央坳陷区为40～80m,平均厚约为65m,在周边地区厚度一般20m,盆地北部齐家－古龙凹陷、大庆长垣及三肇凹陷由于来自北部物源三角洲沉积形成椭圆状的地层增厚区,盆地南部长岭凹陷由于受西南部短物源控制形成南北向长条状地层增厚带,厚度较北部薄,平均只有50m。在东南部长春及东部双城一带有两条向盆地中心延伸的条带,厚度可达60m,由于这两个方向发育农安水系和双城水系,总体具有中部厚边部薄的地层分布特点,剖面上呈透镜状,岩性上由内向外具有湖相泥岩－三角洲前缘粉砂质泥岩与砂岩互层－三角洲平原分流河道－曲流河冲积平原砂泥互层及近源辫状河砂砾岩与泥岩互层组合围绕盆地中心呈半环状分布特点。

姚家组二、三段地层厚度一般为50～200m,在中央坳陷区的东南部中东与大安之间厚度明显增大,平均厚度为130m,最大厚度达到200m。此时盆地处于水进期,湖面逐渐扩大,在扶余、肇州一带出现了深湖区。各水系发育总体具有继承性,但有不同程度的向后退却,以安达、大安、扶余及哈尔滨地区稳定的半深－深湖区为中心呈现半环带展布(图3D)。短轴方向的西部水系与姚家组一段相比湖岸线向后退却了20～40km,南部水系发育两个分支,包括农安及科尔沁左翼中旗右侧的分支,该水系规模小,农安分支水系较姚家组一段时后退约有30km,东部的双城水系较姚家组一段时后退有60km,规模也减小了很多,北部水系与西部水系的齐齐哈尔分支水系在泰康－大庆地区汇合,向南入湖形成大型三角洲复合体,主体在大庆地区,但与姚家组一段相比规模不足其二分之一,岸线相比后退约70km。姚家组二、三段沉积相带整体上与姚家组一段具有相似的环带状分布特征,但三角洲相带变窄,湖相区扩大一倍以上,出现了深湖区。

2.5 嫩江组沉积特征

嫩江组沉积于坳陷阶段晚期,具有基准面升降过程形成的水进－水退旋回特征,地层厚度279～1294m。嫩江组一段沉积时期,湖盆继承了姚家组基准面快速上升的发育趋势,沉降速度加快,湖水迅速扩张并近乎覆盖全盆地,只发育北部水系,但相对于姚家组二、三段三角洲向后退却了60～80km,前缘在泰康－大庆－青冈－绥化一带,盆地中部广泛发育半深湖－深湖相,在西部、南部及东部三面湖泊面积已超过现今的盆地边界(图4A),这是松辽盆地继青山口组一段之后发生的第二次大规模湖侵。嫩江组一段最大的沉积特点是北部水系深湖区发育大型重力流水道及其末端湖底扇[13,14]。本文利用15000km^{2}三维地震对这一沉积特征进行了精细刻画(图5),发现大型重力流水道及其末端湖底扇主要发育在大庆长垣及其两侧,各水道总体向南延伸,直线延伸距离50～100km,在深湖区形成末端湖底扇。左侧水道呈外凸的弧状,向内发育一个分支,右侧的水道呈S型,在端部转向西延伸,中部发育于大庆长垣地区的水道较复杂,由3个主干水道和4个末梢分支水道构成,沿大庆长垣自北向南延伸,水道延伸最大直线距离64 km,水道最大宽度600 m(表1)。水道大多为单砂层,顶底均为突变接触,底部存在冲刷面,但没有形成类似于陆上分流河道中常见的滞流沉积层,顶部也突变为黑灰色具水平纹理的泥岩。砂体总体上具有向上变细的趋势,其顶部细粒沉积物通常与上覆的深湖泥岩存在明显的颜色差异。从杏125井取心段资料来看,水道砂体以块状层理为主,局部有波纹交错层理,砂体顶部为水平纹理,且生物挠动强烈。

表1 大庆长垣地区水道参数统计表

Table1 Statistical list of channel parameters in Daqing placanticline area

名称	长度(km)	最大宽度(m)	厚度(m)	SP(mv)	延伸方向	弯曲度
杏树岗水道	67	380	6.0～5.0～1.8	-16	NNE-SSW	A=1.13 B=1.18
						C=1.25 D=1.21
太平屯水道	28.5	600	3.5	-13	NNE-SE	B=1.27 C=1.13
萨尔图水道Ⅰ	54.7	330			NS-SW	1.08
萨尔图水道Ⅱ	36	170			NS-SSW	1.11
葡萄花水道Ⅰ	33.3	300	1.7	-8～-5	NS-SW	1.24
葡萄花水道Ⅱ	41.3	400	1.2		NNW-SW	1.11
葡萄花水道Ⅲ	35.3	380			NEE-NWW	1.22

(据:Feng Zhi-qiang,Zhang Shun,Timothy A. Cross,2010)

葡 44 井取心段揭示,水道砂体以波纹交错层段和水平纹理段为主,顶部具有生物挠动层和含砂球黑灰色泥岩层。这些特征显示前者为浊积水道沉积,后者为水道末梢沉积。水道末端形成浊积扇,且较小型水道末端形成的湖底扇以泥质为主,较大型水道末端形成的湖底扇以砂质为主。重力流水道形成的触发机制尚不清楚,推断可能是三角洲前缘沉积物发生重力滑动或地震、洪水触发的沉积物再搬运,也可能是地表河流直接进入水下所形成。

嫩江组二段沉积初期,湖盆面积进一步扩大,现今盆地范围内几乎全部为半深湖－深湖区,仅在盆地北部发育小范围的滨浅湖相,在德都－嫩江一带发育三角洲沉积,盆地湖泊面积超过 $20\times10^4km^2$(图 4B),沉积了大面积灰黑色页岩,夹薄层泥灰岩及介壳灰岩,在底部形成了全盆地分布的优质油页岩,厚度 10m,测井上为大段泥岩中的钟形高电阻值曲线特征,地震上为强震幅连续的反射轴,可作为地层对比的标志层及等时层序地层界面。嫩江组二段沉积末期,由于盆地东部开始抬升,导致盆地古地理格局有了改变,沉积范围自东向西逐渐减小,沉降中心逐渐向西迁移并收缩,使地层分布和湖区呈现南北延伸的狭长状,物源方向发生了重大改变,由原来的南北向改为东西向,在盆地东部快速抬升的背景下沉积物快速向湖区推进,形成高角度进积型三角洲。此时湖区面积不足最大时的二分之一,但主要是深湖相分布在盆地西部,盆地东部自北向南分布着讷河、克山、大庆、绥化、呼兰、双城及德惠 7 个水系(图 4C),其中大庆及兰西水系较大,向湖区推进 150－200km,由于推进速度快,在三角洲前缘形成高角度的沉积体,在重力作用下发生滑动,形成滑塌浊积扇体。应用三维地震及测井地质剖面,在松辽盆地大庆长垣地区嫩江组二段上部发现 3 套滑塌扇体(图 6),北部 LMD 扇体由 5 个单体组成,垂向呈前积式交叉叠置,总体呈前缘外凸的铲状,近东西走向,最大面积约 $95km^2$,最大厚度 62m;南部 MX 扇体由 7 个单体组成,垂向交叉叠置,平面镶嵌连片,总体具北北东走向,总波及面积约 $61.5km^2$,最大厚度 55m;中部的 SET 为独立扇体,呈半圆形,近东西走向,面积约 $24km^2$,最大厚度 92m;3 套扇体均具有根部厚、前端薄的发育特征,前端以发育泥岩为主,中部及根部发育 2－4 层粉砂岩,厚度在 0.8～7.0m;3 套扇体及其单体表面均具有类似海相的弧形地震反射波纹[15],波纹密度 4～10 条/km;推测 3 套扇体最小古坡度在 5～12‰,最小古水深 30～70 m,滑移距离 2～10km。

嫩江组三段沉积时期随着沉积基准面的下降,湖岸线向盆地西部大幅度迁移,大庆、双城及德惠水系向前推进了 90～120km,湖区面积大幅度缩小,在盆地东部出现大范围的剥蚀区(图 4D)。嫩江组四、五段沉积时期,在现今盆地范围内湖泊几乎消失,只在南部及北部局部地区出现滨浅湖及零星分布的浅水湖泊,沉积相主要以滨浅湖三角洲及河流为主,分布面积不足 $5\times10^4km^2$,在盆地周边分布大面积的剥蚀区(图 3A,图 3B)。

5　结论

松辽盆地姚家组及嫩江组主要是大型湖泊－三角洲沉积环境。以 T03 和 T11 不整合面为边界、以 T07 为最大湖泛面构成一套完整的水进－水退沉积旋回,持续时间 4Ma。姚家组为湖泊及退积型三角洲环境,嫩江组为大型湖泊与快速退积及快速进积大型三角洲沉积环境,嫩江组一段水进期在盆地北部长轴方向发育大型重力流水道及末端浊积扇,嫩江组二段上部水退期在盆地东部物源方向发育滑塌浊积扇;嫩江组二段底部沉积了一套巨厚的广泛分布的油页岩及深湖相泥岩,不仅是松辽盆地重要的地层对比标准层及层序界面,而且成为主要的烃源岩层和盖层。储集层主要是大型三角洲复合体及大型曲流河砂体,这些砂体与湖相泥岩及成熟烃源岩交互叠置形成了下生上储良好的含油组合;平面上油藏主要分布在烃源岩成熟高的中央坳陷区大型三角洲复合体上。

参考文献:

[1] WATSON M P,HAYWARD A B,PARKINSON D N et al. Plate tectonic history,basin development and petroleum source rock deposition on shore China [J]. Marine and Petroleum Geology,1987,4:205－225.

[2] LI DESHENG. Basic characteristics of oil and gas basins in China [J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences,1996,13(305):299－304.

[3] JIA CHENGZAO. The characteristics of intra-continental deformation and hydrocarbon distribution controlled by the Himalayan tectonic movements in China [J]. Earth Science Frontiers,2007,14(4):96－104.

[4] 刘立. 满洲里－绥芬河地学断面域内中新生代盆地基地结构与沉积构造演化 [M]. 北京:地质出版社,1993.

[5] 杨继良. 松辽盆地断陷盆地的地质结构与油气 [M]. 北京:科学出版社,1983.

[6] 杨万里. 松辽陆相盆地石油地质特征 [M]. 北京:石油工业出

版社,1985.
[7] 王东坡. 松辽盆地沉积建造与海平面升降[M]. 北京: 地质出版社,1993
[8] WANGSHUI HU,CHUNFANG CAI,ZHIYONG WU et al. Structural style and its relation to hydrocarbon exploration in the Songliao basin,northeast China[J]. Marine and Petroleum Geology,1998,15(1):41-55.
[9] 杨万里,高瑞祺. 松辽盆地陆相油气运移和聚集[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社,1985.
[10] 高瑞祺,张莹. 松辽盆地白垩纪石油地层[M]. 北京: 石油工业出版社,1994.
[11] 王璞珺,杜小弟,王竣,等. 松辽盆地白垩纪年代地层研究及地层时代[J]. 地质学报,1995,69(4):372-381.
[12] 韩建辉,王英民,李树青,等. 松辽盆地北部湖盆萎缩期层序结构与沉积充填[J]. 沉积学报,2009,27(3):479-486.
[13] 冯志强,张顺,解习农,等. 松辽盆地嫩江组大型陆相坳陷湖盆湖底水道的发现及其石油地质意义[J],地质学报,2006,80(8):1226-1232.
[14] FENG ZHIQIANG,ZHANG SHUN,CROSSW T A et al. Lacustrine turbidite channels and fans in the Mesozoic Songliao Basin,China[J]. Basin Research,2010,22(1):96-107.
[15] 李祥辉,王成善,金玮,等. 深海沉积理论发展及其在油气勘探中的意义[J]. 沉积学报,2009,27(1):77-86.

Stratigraphic sequences and sedimentary evolution in the Yaojia and Nenjiang Formations, Songliao Basin

ZHANG Shun, FU Xiu-li, ZHANG Chen-chen
(*Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Daqing Oil Field Company, Daqing* 163712, *Heilongjiang, China*)

Abstract: The Yaojia and Nenjiang Formations in the Songliao Basin consist of a succession of transgressive-regressive depositional cycles deposited during the Late Cretaceous, which may be subdivide into two second-order cycles and six third-order cycles, with a time duration of about 4 Ma. The oil shales at the base of the second member of the Nenjiang Formation deposited during the maximum flooding period are interpreted as both the type boundary for stratigraphic correlation and important reservoir and cap rocks. The first member of the Yaojia and Nenjiang Formations may be assigned to the retrogradational delta deposits buried during the transgressions, while the third member of the Nenjiang Formation is built up of mixing lake and delta deposits formed during the regressions. The large-sized gravity flow channels and terminal turbidite fans appeared during the trangressions, whereas the fluxoturbidite fans occurred during the regressions in the Nenjiang Formation. The Upper Cretaceous Yaojia and Nenjiang Formations are believed to be the key hydrocarbon reservoirs in the Songliao Basin.

Key words: Songliao Basin; Late Cretaceous; sedimentary evolution