

文章编号: 1000-0550(2013)05-0920-08

松辽盆地嫩江组层序构型及其沉积演化^①

黄薇¹ 张顺¹ 张晨晨² 魏巍²

(1. 中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712; 2. 北京大学地球与空间科学学院 北京 100087)

摘要 松辽盆地上白垩统嫩江组是第二个湖泛期形成的一套退积—进积型地层,根据发育的构造不整合、沉积不整合、湖泛面及水退面等11个层序界面的发育特征,将嫩江组划分为1个二级层序、2个三级层序和10个四级层序,在四级层序格架内恢复了沉积充填演化史。嫩江组一段沉积时期是盆地第二次湖侵期,随着湖盆水域不断扩大,在地层顶部形成SB07最大湖泛面,由此形成了嫩江组一段以低角度退积型三角洲沉积为特征的退积型层序,同时在三角洲前缘发育大型的浊积水道及浊积扇。嫩江组二段到五段沉积时期,由于盆地东部抬升,形成了一系列由东向西高角度进积型三角洲为沉积特征的进积型层序,同时由于三角洲前缘斜坡发生滑塌,在其前部湖相区形成一系列呈南北向排列的滑塌浊积扇体。退积型与进积型层序控制的沉积体系区别是物源方向发生了90°转变,而进积型层序结构及沉积特征也表明嫩江组二段底部油页岩是在湖盆萎缩过程中逐渐形成的,不是在最大湖泛期由于海水侵入形成的。

关键词 沉积演化 层序构型 嫩江组 松辽盆地

第一作者简介 黄薇女,1964年出生,教授级高级工程师,含油气盆地沉积地质学, E-mail: huangwei@petrochina.com.cn

通讯作者 张顺 E-mail: zhshun@petrochina.com.cn

中图分类号 P544.4 文献标志码 A

层序内部结构、沉积充填样式及对盆地构造活动的响应一直是含油气盆地研究的重点,但这多集中于陆相断陷盆地或海相盆地中^[1-2]。松辽盆地经过半个多世纪的系统研究及勘探开发实践,积累了丰富的资料,在层序与沉积地质学方面取得了多项创新性认识^[3-4]。因此,本文通过对松辽大型陆相断陷盆地嫩江组不同类型层序结构及其动力学机制的深入分析,阐明不同类型层序结构及其动力学机制控制下的沉积充填响应,对深入认识大型陆相断陷湖盆沉积过程具有极其重要的意义。

1 地质背景

松辽盆地位于中国东北,面积 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$,属于中、新生代大型陆相断陷型盆地。根据地层分布及结构特征划分6个一级构造单元,31个二级构造单元。盆地盖层厚度超过10 000 m,由断陷期、拗陷期及反转期3个一级构造层序,11个二级层序和31个三级层序所构成^[5-6]。断陷层序具有断陷湖盆、冲积扇、扇三角洲形成的泥岩、砂砾岩、火山岩夹煤系地层构成的岩性组合,拗陷层序具有大型河流与大型湖泊—

三角洲沉积的砂、泥岩及油页岩交互形成的岩性组合,其中青山口组及嫩江组两个湖泛期形成的广泛分布的两套油页岩既是地层划分对比的标准层和层序识别的典型界面,又是优质烃源岩和良好盖层。嫩江组是第二个湖泛期形成的一套大型湖泊—三角洲相沉积地层,上覆小型浅水湖泊与河流相沉积形成的砂岩、砂砾岩及泥岩构成的反转期地层。

2 嫩江组层序构型

2.1 层序界面

层序界面的识别主要通过地震、测井和岩相特征来进行,这也是层序地层学确定各级层序界面的常规技术手段^[7-9]。根据上述方面的特征,嫩江组共识别出1个二级层序界面、2个三级层序界面及8个能够记录湖平面变化的四级层序界面(图1-2)。二级层序界面常常是区域构造阶段性演化的直接产物,表现为典型的构造不整合^[10,11]。SB03是嫩江组顶界面,在地震剖面上可见明显上超下削反射特征,表明松辽盆地经历了一次强烈挤压抬升过程,属于二级层序界面。三级层序界面多为低角度和微角度不整合,其成

^①国家重点基础研究发展计划项目(编号2006CB701404,2009CB219308)资助
收稿日期:2013-07-31

因常因基准面下降引起侵蚀不整合,不整合面向凹陷中心延伸多变为整合面^[10]。嫩江组发育 2 个三级层序界面 SB04 和 SB1,其中 SB04 是松辽盆地嫩江组五

段底界面,在盆地西部斜坡区界面之上表现为向西的不断前积和下超,而界面之下则表现为对下伏地层的削截,在盆地中部界面上下仍然表现为下超和削截。

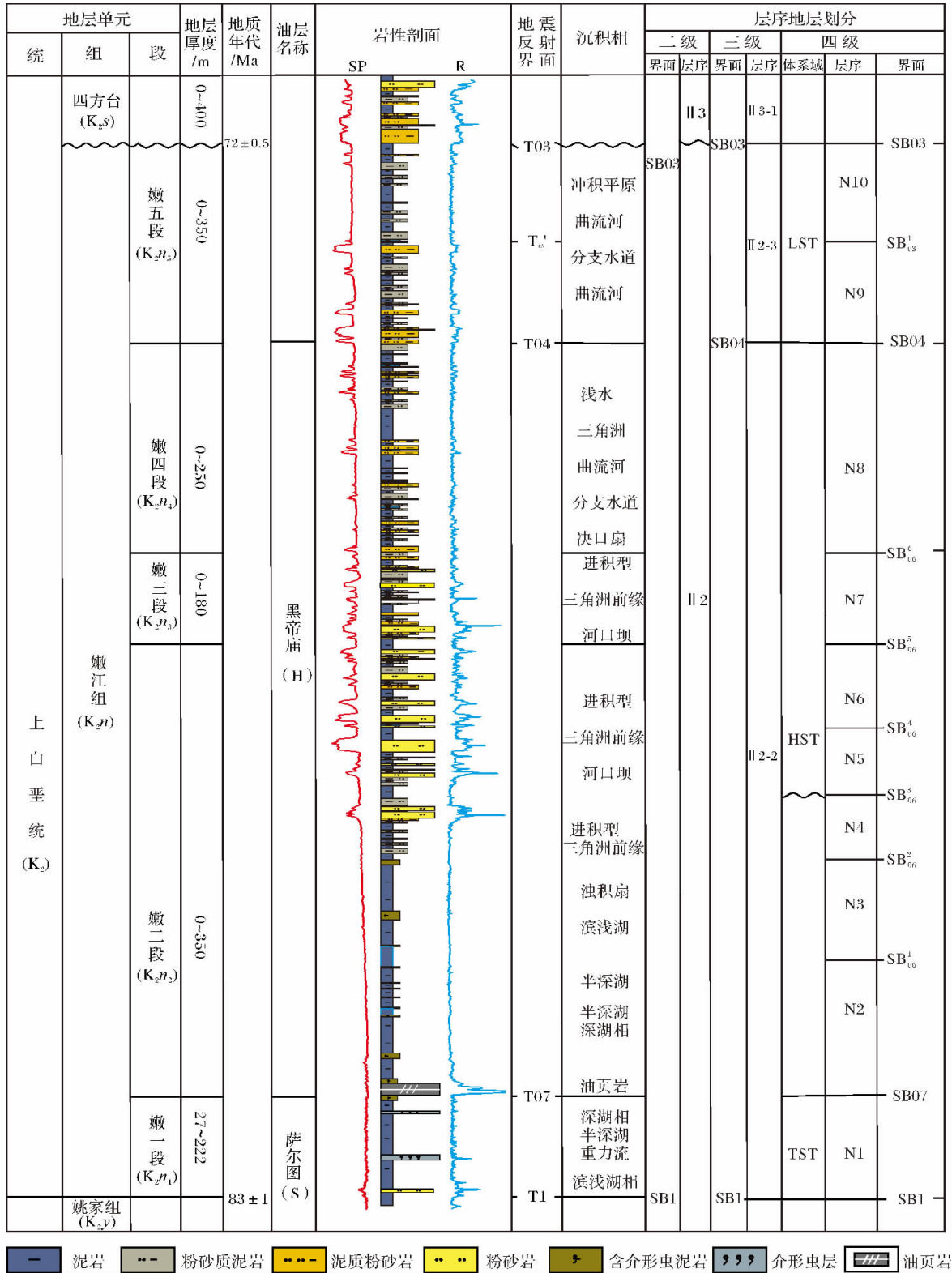


图 1 松辽盆地嫩江组综合柱状图

Fig. 1 Comprehensive stratigraphic column of the Nenjiang Formation in the Songliao Basin

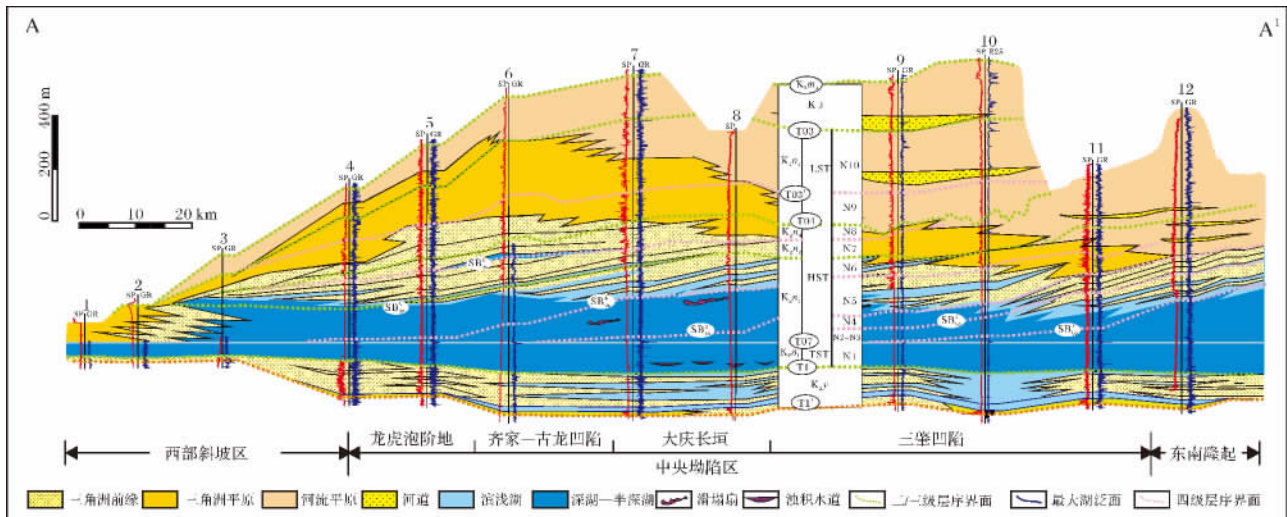


图2 松辽盆地嫩江组东西向层序地层与沉积相剖面(位置见图3)

Fig. 2 The profile of the K_2n east-west orientation sequence stratigraphic and sedimentary facies in the Songliao Basin (location in figure 3)

SB1 是嫩江组底界面,在盆地中部和东部地层成平行接触关系,仅在盆地西部地层以低角度上超到该界面上,在东西向沉积剖面上发现 SB1 完全分隔了上覆半深湖—深湖沉积体系和下部的三角洲—滨浅湖沉积体系(图2)。

四级层序只是时限更短一些的三级层序,层序结构没有根本性差异,主要是看三级层序划分尺度,以湖泛面或局部侵蚀面及对应的整合面为界面^[12]。嫩江组四级层序界面主要是在三级层序地层单元内次一级的短期水进界面,共识别出 8 个四级层序界面,其中 SB07 为嫩江组二段油页岩底界面,其它 6 个四级层序界面 SB₀₆¹、SB₀₆²、SB₀₆³、SB₀₆⁴、SB₀₆⁵、SB₀₆⁶ 将三级层序 II 2-2 分隔为 7 个四级层序,各对应一个向盆地西侧推进的前积体,上部被 SB04 不整合面所削截,下部底超在 SB07 界面上。SB₀₃¹ 界面是 SB03 和 SB04 之间的一个四级界面,是嫩江组沉积末期河流相沉积环境基准面发生小的波动所形成界面(图2)。

2.2 嫩江组层序地层格架

嫩江组是以 SB03 及 SB1 为顶底界面、以 SB07 为对称界面的水进—水退型层序,嫩江组一段是水进体系域形成的退积型层序,嫩江组二、三、四、五段是高位及低位体系域形成的进积型层序。SB04 界面将嫩江组分为 2 个三级层序,其中嫩江组一、二、三、四段为一个三级层序,嫩江组五段为一个三级层序。依据各级界面结构特征及所代表地质事件将嫩江组划分 10 个四级层序,其中四级层序 N2 ~ N6 均具有向

SB07 收敛的空间展布特征,并且形成由东向西依次前积的叠瓦状结构。因此,每一个四级层序界面代表一次等时的物源供应,在每一套四级层序内部由东到西横向上表现出三角洲前缘砂体—前三角洲—湖相的相迁移。纵向上由下至上表现出前三角洲—三角洲前缘—三角洲平原的相连续或者前三角洲—三角洲平原的相跃迁(图2)。

3 嫩江组沉积演化

3.1 水进层序控制下的沉积响应

嫩江组一段 N1 层序沉积时期,是松辽盆地晚白垩世发生的第二次大规模湖侵,地层最大厚度超过 150 m。初期湖盆迅速扩张湖水覆盖了大部分湖盆,物源主要来自盆地北部(图3),最大水深超过 150 m。N1 层序沉积末期湖盆面积进一步扩大,最大时期超过 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[13]。N1 层序主要发育南北向低角度退积型三角洲,其前缘相带分布较宽,具有前缘相带宽大、平原相带窄小的特点。利用 16 000 km^2 三维地震在盆地中央拗陷区三角洲前缘发现了大型湖底浊积水道系统。这一水道系统来自盆地北部三角洲前缘部位,水道末端发育规模不等的浊积扇(图3,图4)。浊积水道总体由北向南延伸,直线延伸最大距离超过 70 km,水道最大宽度超过 600 m,一般为 300 m。在水道末端深湖区形成浊积扇,浊积扇沉积厚度在 0.5 ~ 8 m,岩性上小型浊积水道末端形成的扇体以泥质为主,较大型浊积水道末端形成的浊积扇以砂

质为主。这些浊积水道形成的触发机制目前尚不清楚,推测可能是地表河流由于洪水作用直接进入深湖区形成^[13,14]。

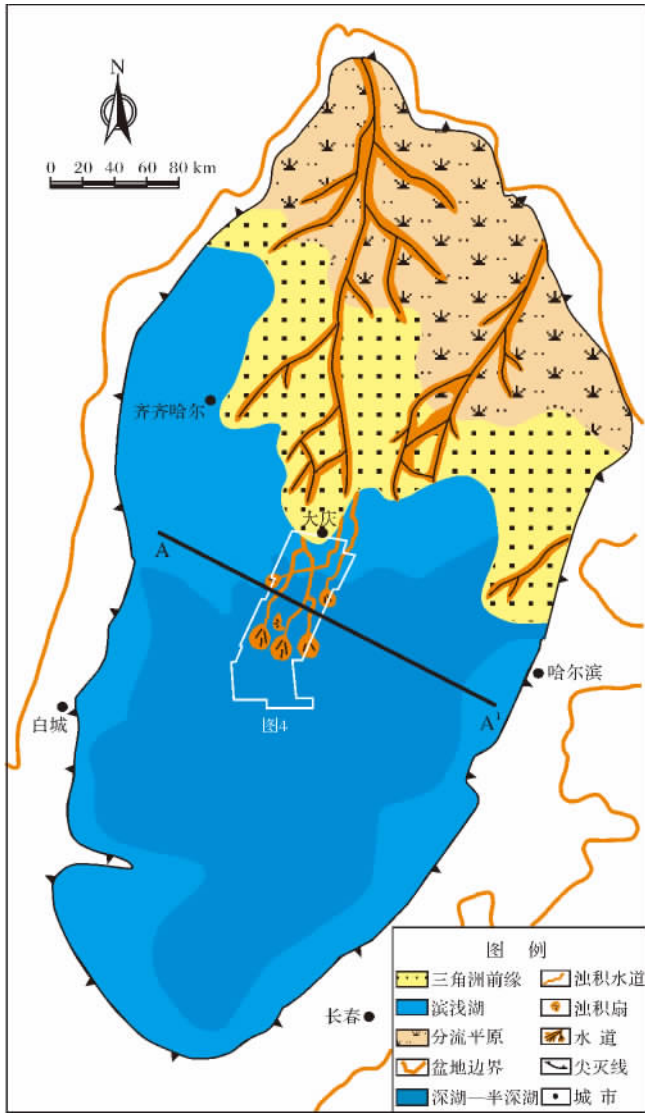


图 3 松辽盆地嫩江组一段沉积相图

Fig. 3 The distribution of the K_2n_1 sedimentary facies in the Songliao Basin

3.2 水退层序控制下的沉积响应

嫩江组 N2 ~ N10 层序发育时期,松辽盆地进入反转阶段,最初由于盆地东部抬升,导致盆地开始大规模持续湖退,沉积范围由东向西逐渐减小,沉积中心也随之逐渐向西迁移,此时物源方向发生了 90° 重大变化,由原来南北向转变为东西向,在盆地东部抬升影响下沉积物快速向湖区推进,形成一系列高角度进积型三角洲(图 2 5)。此时在 N2 ~ N6 层序底部形成了厚度 10 ~ 15 m 全盆地分布的油页岩密集段覆

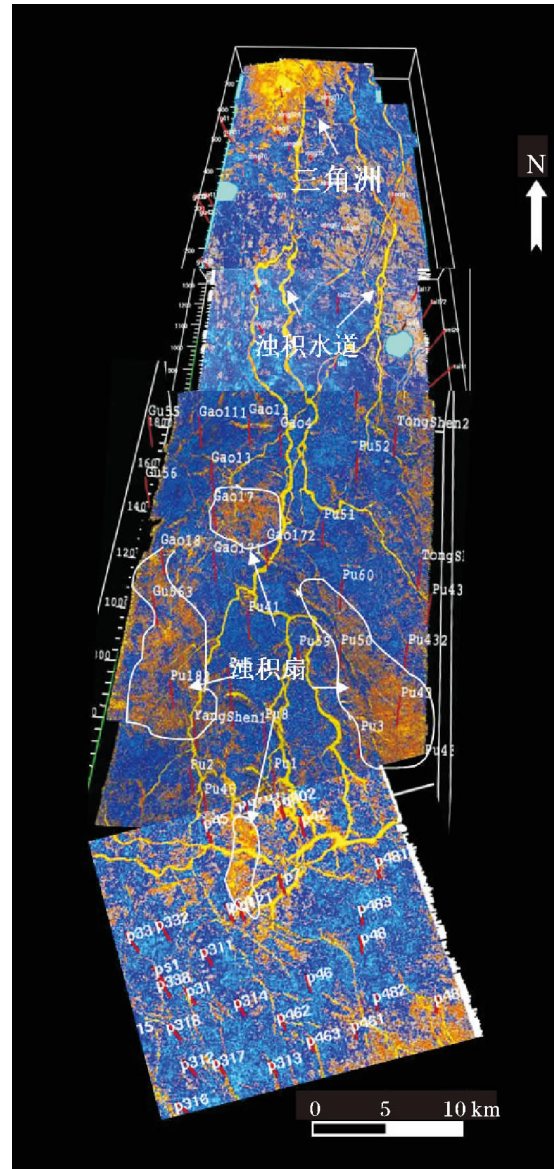


图 4 松辽盆地大庆长垣 N1 层序浊积水道三维地震振幅属性解释图(位置见图 3)

Fig. 4 Daqing Placanticline N1 sequence turbidite channels by using the 3-D seismic amplitude attribute interpreting in the Songliao Basin (location in figure 3)

盖在 SB07 界面之上,测井曲线表现为大段泥岩中的钟形高电阻值特征,地震上为强振幅连续的 T07 反射轴,是全盆地地层对比的标志。利用三维地震振幅属性分析及测井资料在 N5 层序发现沿着三角洲前缘走向在湖相区南北向发育众多的滑塌扇体(图 5 6),分析是因为快速进积形成的高角度三角洲沉积体由于重力作用发生滑动而形成。这些滑塌扇体规模大小不等,单体面积分布在 20 ~ 150 km²,但总

体具有由南向北规模逐渐增大的特点。N8 层序沉积时期三角洲沉积体系延伸范围较远,河流作用明显加强,泛滥平原分布范围比较大。N9~N10 层序沉积时期盆地整体萎缩,沉积规模明显减小,此时盆地主要发育大型河流沉积体系,河流一直延伸到西部超覆带,大型湖相—三角洲相沉积消失。总体上嫩江组水退层序东部物源体系对盆地沉积影响最大,始终是主要物质供给区,随着沉积基准面下降和沉积中心向西迁移,沉积物逐渐向西推进,最后湖泊消失河流相覆盖全盆地,但局部存在零星小型淡水湖泊,整体属于河流相环境。嫩江组之后盆地发生了一次构造活动,发育了 T03 不整合界面,由此进入盆地新演化阶段。

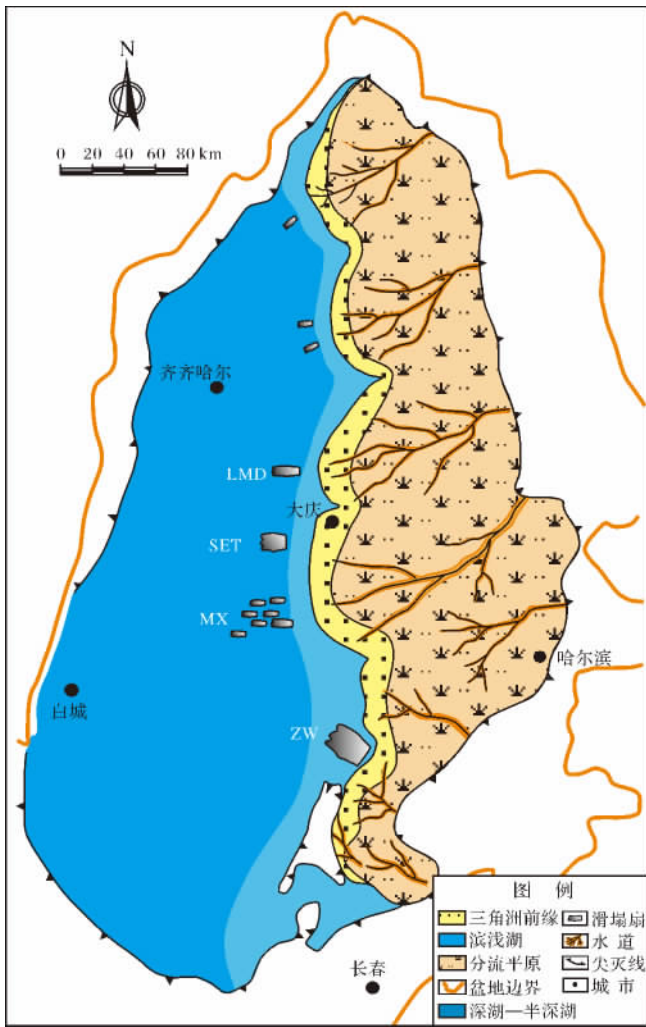


图5 松辽盆地嫩江组 N5 层序沉积相图
Fig. 5 N5 sequence sedimentary facies of the K₂n in the Songliao Basin

4 层序结构与沉积演化的动力学机制

松辽盆地嫩江组层序结构与沉积演化受盆地反

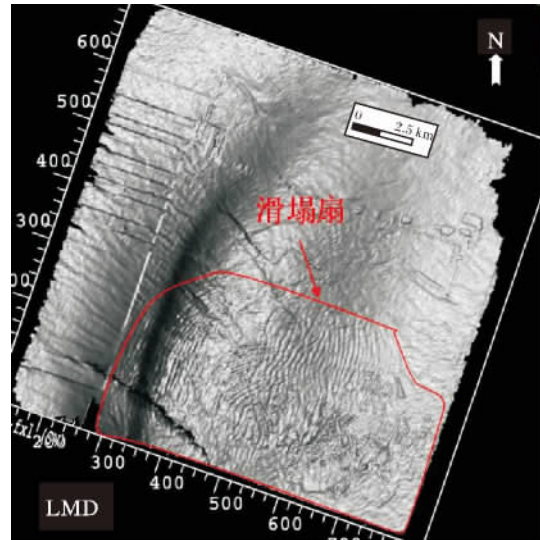


图6 松辽盆地 LMD 滑塌扇三维地震振幅属性分析图(位置见图5)

Fig. 6 LMD slumping fans of 3D-seismic amplitude attributes analysis in the Songliao Basin(Location in figure 5)

转挤压构造活动以及湖平面变化和物源供给三个主要因素的控制。由于伊泽奈奇(Izanagi) 板块消亡及库拉(Kula) 板块形成, 板块脉动式俯冲加强^[15,16], 松辽盆地受幕式挤压应力作用使东部反转幅度大, 西部反转幅度小, 反转挤压应力的幕式活动控制了三级及四级层序界面发育。嫩江组一段沉积时期板块俯冲作用减弱, 盆地应力松弛转为下沉水进时期, 进入第二次湖泛期, 在姚家组与嫩江组之间形成了 SB1 界面, 属于初始湖泛面。SB03 形成于 73 Ma^[4,17], 由于太平洋板块俯冲加强, 使松辽盆地由于强烈挤压产生东西差异隆升, 使 SB03 界面产生削截, 并在盆地边部产生角度不整合。SB07 界面位于 SB03 与 SB1 之间, 是湖盆进入最大湖泛期形成的最大湖泛面, 以油页岩为标志层。层序 N2 到 N8 沉积时期由于大洋板块向欧亚板块俯冲形成较低级别幕式挤压作用, 使盆地东部抬升产生的丰富物源快速供给及西部较小的构造沉降速率, 导致在 SB04 界面之下发育下超于 SB07 界面之上的进积型层序, 于是在盆地范围内形成了可追踪的四级层序界面 SB06^[1-6]。

5 水退层序构型的意义

5.1 油页岩凝缩层的等时性

松辽盆地嫩江组水退型四级层序 N2~N7 依次由东向西向 SB07 界面收敛, 在底部形成厚度约 10~15 m 以油页岩为标志的凝缩层。从水退层序的前积

结构分析,这套油页岩凝缩层是进积型三角洲向深水延伸部分,相序为深湖相油页岩凝缩层—滨浅湖相泥岩—三角洲前缘相粉砂岩及河口坝砂岩—三角洲平原点坝相砂岩。因此,油页岩凝缩层底界面 SB07 具有等时性,而顶部边界具有穿时性。这与一些地质学家认为凝缩层顶底界面都不具有等时性观点有所不同^[18]。

5.2 海侵观点的讨论

有关松辽盆地晚白垩世青山口组及嫩江组发生过两次“海侵事件”的观点一直存在争论^[19~28]。本文认为嫩江组油页岩是在水退层序控制下盆地逐渐萎缩过程中形成的,随着水退层序的发育及三角洲每一次进积,都伴随水体浓缩并使盐度增加,在深湖区形成强还原环境并形成了油页岩浓缩层。因此,嫩江组油页岩的形成在时间范围内几乎占据了湖盆整个抬升萎缩过程的水退旋回。另外以东部物源为主的水退层序结构也阻隔了“海侵事件”通道,这也从层序地层和沉积地质学方面提出了松辽盆地嫩江组发生过“海侵事件”观点的反证。

5.3 水退层序的石油地质意义

水退层序存在最大湖泛面和叠瓦状前积结构,在 seismic 剖面上易于识别,因此,在层序与沉积研究中可操作性强。同时层序底部沉积的湖相泥岩及油页岩既可为良好的烃源岩,又是区域性有效盖层,而水退层序内部的三角洲前缘席状砂体及河口坝砂体是油气良好储集层。松辽盆地勘探实践及理论研究均表明有 90% 石油资源蕴藏在水退层序内部及其下部地层中^[3],因此,水退型层序可作为陆相含油气盆地优选的结构标志,在油气勘探中具有重要的石油地质意义。

6 结论

(1) 松辽盆地嫩江组具有以初始湖泛面和构造返转界面为边界、以最大湖泛面为对称面的水进—水退型层序结构,2 级和 3 级层序受太平洋构造域板块活动的控制,四级层序受短期幕式构造活动所控制的湖平面变化和物源因素的控制。水退层序具有东部削截、西部上超、底部下超的特点。

(2) 嫩江组水进—水退型层序的结构特点控制了深湖—半深湖相、三角洲相及河流相沉积环境的有序分布。水进型层序控制了退积型三角洲、大型浊积水道及浊积扇的发育,三角洲具有低角度、大前缘多水下分流河道的特点。水退型层序控制了进积型三

角洲、大型滑塌扇体的发育,三角洲具有高角度、小前缘水下分流河道不发育的特点。

(3) 嫩江组发育的油页岩凝缩层是在水退层序的远端深湖—半深湖环境形成的,包含了湖盆萎缩的整个时间跨度,其顶部边界不具等时性,但其底部最大湖泛面 SB07 为等时界面。因此,这也说明嫩江组油页岩并不是“海侵事件”的产物。

参考文献(References)

- 1 纪友亮,周勇,况军,等. 准格尔盆地地—莫古隆起形成演化及对沉积相的控制作用[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2010,40(10):1342-1355 [Ji Youliang, Zhou Yong, Kuang Jun, et al. The formation and evolution of Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift and its control on the distributions of sedimentary facies in the Junggar Basin[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2010, 40(10): 1342-1355]
- 2 郝谄纯,陈平富,万晓樵,等. 南海北部莺歌海—琼东南盆地晚第三纪层序地层与海平面变化[J]. 现代地质,2000,14(3):237-245 [Hao Yichun, Chen Pingfu, Wan Xiaoqiao, et al. Late Tertiary sequence stratigraphy and sealevel changes in Yinggehai Qiongdongnan Basin[J]. Geoscience, 2000, 14(3): 237-245]
- 3 高瑞祺,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,1997:1-5 [Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. Songliao Basin Oil and Gas Fields Formation Conditions and the Distribution [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-5]
- 4 侯启军,冯志强,冯子辉,等. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社,2009:129-194 [Hou Qijun, Feng Zhiqiang, Feng Zihui, et al. Terrestrial Petroleum Geology of Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 129-194]
- 5 Feng Zhiqiang, Jia Chengzao, Xie Xinong, et al. Tectono-stratigraphic units and stratigraphic sequences of the nonmarine Songliao Basin, northeast China[J]. Basin Research, 2010, 22(1): 79-95
- 6 张顺,崔坤宁,张晨晨,等. 松辽盆地泉头组三、四段河流相储层岩性油藏控制因素及分布规律[J]. 石油与天然气地质,2011,32(3):411-420 [Zhang Shun, Cui Kunning, Zhang Chenchen, et al. Controlling factors and distribution patterns of lithologic pools in the fluvial facies of the 3rd and 4th members of the Quantou formation in the Songliao Basin[J]. Oil & gas geology, 2011, 32(3): 411-420]
- 7 纪友亮. 层序地层学[M]. 上海:同济大学出版社,2005:75-85 [Ji Youliang. Sequence Stratigraphy [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2005: 75-85]
- 8 吴因业,顾家裕. 油气层序地层学[M]. 北京:石油工业出版社,2002:69-138 [Wu Yinye, Gu Jiayu. Oil and Gas Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 69-138]
- 9 邓宏文,王洪亮, Cross. 高分辨率层序地层学原理及应用[M]. 北京:石油工业出版社,2001:124-246 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Cross T. Principle and Application of High Resolution Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 124-246]
- 10 Vail P R, Mitchum Jr, R M. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level. Part 3: Relative Changes of Sea Level From Coastal

- Onlap. Tulsa: Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration [J]. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1977, 26: 63-81
- 11 Robert M, Mitchum Jr, John C. High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles [J]. Sedimentary Geology, 1991, 70(2-4): 131-160
 - 12 林畅松. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应 [J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 849-863 [Lin Changsong. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 849-863]
 - 13 Feng Zhiqiang, Zhang Shun, Timothy A. Cross, et al. Lacustrine Turbidite Channels and Fans in the Mesozoic Songliao Basin. China [J]. Basin Research, 2010, 22(1): 96-107
 - 14 冯志强, 张顺, 解习农, 等. 松辽盆地嫩江组大型陆相拗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): 1226-1231 [Feng Zhiqiang, Zhang Shun, Xie Xinong, et al. Discovery of a large-scale lacustrine subaqueous channel in the Nenjiang Formation of the Songliao Basin and its implication on petroleum geology [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(8): 1226-1231]
 - 15 Stepashko A A. The Cretaceous Dynamics of the Pacific Plate and Stages of Magmatic Activity in Northeastern Asia [J]. Geotectonics, 2006, 40(3): 225-235
 - 16 Stepashko A A. Spreading Cycles in the Pacific Ocean [J]. Oceanology, 2008, 48(3): 401-408
 - 17 宋鹰, 任建业, 阳怀忠, 等. 松辽盆地北部姚家组底界面特征及其动力学背景 [J]. 石油学报, 2010, 31(2): 187-195 [Song Ying, Ren Jianye, Yang Huaizhong, et al. Characteristics and dynamic background of bottom boundary in Yaojia Formation of the northern Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(2): 187-195]
 - 18 朱筱敏. 层序地层学 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2003: 54-68 [Zhu Xiaomin. Sequence Stratigraphy [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2003: 54-68]
 - 19 侯读杰, 黄清华, 黄福堂, 等. 松辽盆地海侵地层的分子地球化学特征 [J]. 石油学报, 1999, 20(2): 30-34 [Hou Dujie, Huang Qinghua, Huang Futang, et al. The characteristics of molecular geochemistry of marine transgression strata in Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(2): 30-34]
 - 20 叶淑芬. 松辽盆地白垩系的密集段及海水进侵的新证 [J]. 地球科学(中国地质大学学报), 1996, 21(3): 267-271 [Ye Shufen. New card-intensive segment of Songliao Basin Cretaceous and seawater invasion [J]. Earth Science (Journal of China University of Geoscience), 1996, 21(3): 267-271]
 - 21 顾知微, 于箫珊. 松辽地区白垩纪双壳类化石 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 2-14 [Gu Zhiwei, Yu Qingshan. The Songliao Areas the Cretaceous Bivalve Fossil [M]. Beijing: Science Press, 1999: 2-14]
 - 22 陈瑞君. 我国某些地区的海绿石特征及其对相环境分析的意义 [J]. 地质科学, 1980, (1): 65-74 [Chen Ruijun. Glauconite characteristics in some areas of China and its analysis phase environmental significance [J]. Scientia Geologica Sinica, 1980, (1): 65-74]
 - 23 冯子辉, 方伟, 张居和, 等. 松辽盆地烃源岩中高分子量(C₄₀₊)烷烃系列组成及分布特征 [J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007, 37(9): 1150-1162 [Feng Zihui, Fang Wei, Zhang Juhe, et al. Distribution and significance of C₄₀₊ alkanes in the extracts of Cretaceous source rocks from the Songliao Basin [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2007, 37(9): 1150-1162]
 - 24 冯子辉, 方伟, 王雪, 等. 松辽盆地海侵制约油页岩形成的微体古生物和分子化石证据 [J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2009, 39(10): 1375-1386 [Feng Zihui, Fang Wei, Wang Xue, et al. 2009. Microfossils and molecular records in oil shales of the Songliao Basin and implications for paleo-depositional environment [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2009, 39(10): 1375-1386]
 - 25 黄福堂, 迟元林, 黄清华. 松辽盆地中白垩世海侵事件质疑 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(3): 104-108 [Huang Futang, Chi Yuanlin, Huang Qinghua. Songliao Basin in Cretaceous transgressive event questioned [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(3): 104-108]
 - 26 崔同翠. 松辽盆地白垩纪叶肢介化石 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1987: 3-34 [Cui Tongcui. Songliao Basin Cretaceous Conchostraccon Fossils [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987: 3-34]
 - 27 宁维坤, 付丽, 霍秋立. 松辽盆地松科1井晚白垩世沉积时期古湖泊生产力 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(5): 1020-1026 [Ning Weikun, Fu Li, Huo Qiuli. Productivity of Paleo-Songliao lake during the Late Cretaceous in well Songke-1, Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(5): 1020-1026]
 - 28 高瑞祺, 何承全, 乔秀云. 松辽盆地白垩纪两次海侵的沟鞭藻类新属种 [J]. 古生物学报, 1992, 31(1): 17-29 [Gao Ruiqi, He Chengquan, Qiao Xiuyun. The Songliao Basin Cretaceous twice transgression Dinoflagellates new species [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1992, 31(1): 17-29]

Sequence Configuration and Sedimentary Evolution of Nenjiang Formation in the Songliao Basin

HUANG Wei¹ ZHANG Shun¹ ZHANG Chen-chen² WEI Wei²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development ,PetroChina Daqing Oil Field Company ,Daqing , Heilongjiang 163712;

2. School of Earth and Space Sciences , Peking University , Beijing 100871)

Abstract: In the Upper Cretaceous , Nenjiang Formation have been formed a progradation-retrogradation type stratigraphy in the second lacustrine flooding Period , according to the tectonic unconformity , sedimentary unconformity , lake flooding surface and regressive surface and so on , which totals eleven sequence boundaries , the Nenjiang Formation was divided into one second-order sequence , two third-order sequences and ten fourth-order sequences , restored the sedimentary filling evolution histories in the fourth-order sequence stratigraphic framework. During the first member of the Nenjiang Formation deposition , the SB07 the maximum flooding surface was formed on the top of strata , which resulted in the retrogradation sequence has the characteristic of low-angle retrogradation delta sediment with the lake level constantly rise , meanwhile the large scale turbidite channels and turbidite fans are observed in the delta front. By uplifting the basin during the second-order and fifth-order member of Nenjiang Formation deposition , developed a series east to west into the area of high-angel delta is characterized by the deposition of retrograding sequences , because of the slumping in the delta front slopes , the forepart of lacustrine zone discovered a series of slump turbidite fan bodies. Retrograding sequences usually incurred the direction 90° change of the deposition material source , its the mainly difference compare with progradation sequence , whereas the structure of progradation sequence and sedimentary characteristics indicated that the oil shale (at the bottom of the Nenjing second member) is formed in the process of shrinking lake , not in maximum lake flooding through to the sea invasion.

Key words: sedimentary evolution; sequence configuration; Nenjiang Formation; Songliao Basin