

文章编号: 0253-2697(2009)04-0536-06

松辽盆地南部拗陷期湖盆底形演化及充填序列

褚喜准^{1,2} 王琪¹ 朱筱敏³ 张胜斌^{1,2} 杨光⁴ 黄铭志⁴

(1. 中国科学院油气资源研究重点实验室 甘肃兰州 730000; 2. 中国科学院研究生院 北京 100039;
3. 中国石油大学 北京 102249; 4. 中国石油吉林油田分公司 吉林松原 138001)

摘要: 根据地震、钻井、岩心及测井资料,将松辽盆地南部青山口组三段一嫩江组I段划分为青三层序、姚家层序和嫩I层序。基于地层等时格架,应用回剥法经去压实和古水深校正,对松辽盆地南部湖盆底形特征进行了恢复。研究表明,松辽盆地南部拗陷期湖盆坡折带的发育程度受控于盆地的差异沉降以及沉积物供给速率,随着大地热流值的逐渐降低,湖盆坡折越来越不明显;而坡折带的发育程度对盆地的充填序列和沉积格局有重要影响。其中,青三层序坡折带发育明显,湖盆表现为深水拗陷沉积;姚家层序坡折发育不明显,表现为宽浅氧化湖盆;嫩I层序湖盆底形平缓,受湖侵影响,表现为广阔深水湖盆。

关键词: 松辽盆地;湖盆底形;坡折带;拗陷期;大地热流;充填序列

中图分类号: TE111

文献标识码: A

Relationship between bottom morphology of lake basin and filling sequence during depression period in the southern Songliao Basin

ZHUO Xizhun^{1,2} WANG Qi¹ ZHU Xiaomin³ ZHANG Shengbin^{1,2} YANG Guang⁴ HUANG Mingzhi⁴

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources Reseach, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;
2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. China University of Petroleum,
Beijing 102249, China; 4. PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan 138001, China)

Abstract: Based on the seismic, drilling, core and logging data, the sequence stratigraphy framework from the Member 3 of Qingshankou Formation to the Member 1 of Nenjiang Formation was divided into three sequences of Qing-3, Yaojia and Neng-1. On the basis of the isochronous stratigraphy framework, the back-stripping inversion method was applied to paleoburial depth reconstruction and paleobathymetric correction. The paleogeomorphology at the bottom of the southern Songliao Basin was rebuilt. The bottom shape of the lake basin and the deposit supply controlled the development of the slope break belt. The bottom of the lake basin had no significantly change with the decline of the geothermal flux value. The development of slope break belt played very important role in the formation of filling sequences and facies tracts of the lake basin in the southern Songliao Basin. The Qing-3 Sequence was of obvious slope break resulting in deepwater deposition. The Yaojia Sequence was not obvious and showed the wide and shallow oxidized lake basin. The Neng-1 Sequence was a broad deepwater lake basin with a gentle bottom.

Key words: Songliao Basin; bottom shape of lake basin; slope break belt; depression period; geothermal flux value; filling sequence

随着油气勘探的深入,岩性地层油气藏越来越受到重视。岩性油气藏一般发育于砂地比为10%~20%的砂泥质岩区(三角洲前缘)^[1],该区为深水泥岩沉积与三角洲前缘沉积的沉积动力学转换带,一般紧邻生油凹陷,具有成藏优势。坡折带正是此类沉积动力学转换带的发育区,因此坡折带成为岩性地层油气藏勘探的重要领域,坡折带对岩性地层油气藏的控制方式以及坡折带的成因机制成为国内外研究的热点^[2-6]。但是大型拗陷湖盆是否存在坡折仍有很大争议,王英民等根据对准噶尔侏罗纪湖盆的系统研究认为,大型拗陷湖盆不仅存在坡折,而且数量和类型更

为复杂^[5];魏魁生认为松辽白垩纪湖盆不存在类似于被动大陆边缘那样的沉积坡折^[7]。王多云等在鄂尔多斯中生界的稳定克拉通内拗陷湖盆,从标志层间地层厚度印模法、层序地层的充填形态反推法、沉积微相组合反演古地形法以及可容空间(A)和沉积物供给通量(S)之间的关系分析法等4个方面研究湖泊古地形^[8],在地层平缓的湖盆可以更加清晰的识别坡折带。笔者主要运用湖盆底形恢复的方法分析了松辽盆地南部拗陷期不同阶段的坡折带发育特征,从盆地沉降史、大地热流演化等角度对坡折带成因机制进行了探讨。

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2009CB219400和2003CB214606)资助。

作者简介:褚喜准,男,1981年9月生,2004年毕业于长江大学,现为中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气研究中心在读博士研究生,主要从事层序地层学与储层地球化学方面的研究。E-mail: zhuoxizhun@126.com

1 地质概况与层序划分

松辽盆地是我国东部具有断拗双重结构的大型中生带沉积盆地, 研究区主要位于松辽盆地南部西部斜坡-前缘带(图 1), 主要发育白垩系地层, 其中下白垩统形成于裂谷后热沉降阶段, 自下而上发育登娄库组(K_{1d})、泉头组(K_{1q})、青山口组(K_{1qn})、姚家组(K_{1y})、嫩江组(K_{1n})。登娄库组分为 4 段(K_{1d}^{1-4}); 泉头组分为 4 段(K_{1q}^{1-4}), 青山口组分为 3 段(K_{1qn}^{1-3}); 姚家组分为 3 段(K_{1y}^{1-3}); 嫩江组分为 5 段(K_{1n}^{1-5})。晚白垩世四方台期发生构造反转, 盆地处于裂谷萎缩阶段, 形成四方台组(K_{2s})和明水组(K_{2m})^[9]。本次研究的主要目的层段为泉四段—嫩江组一段, 该套地层发育期湖盆水体经历了浅(K_{1q}^4)—深(K_{1qn}^1)—最大湖泛(K_{1qn}^2)—浅(K_{1qn}^3)—浅(K_{1y}^1)—深(K_{1y}^{2+3})—最大湖泛(K_{1n}^1)两个旋回, 其中嫩一段的顶部与青二段内部见区域稳定分布的油页岩, 表现为最大湖泛期的凝缩段沉积特征。

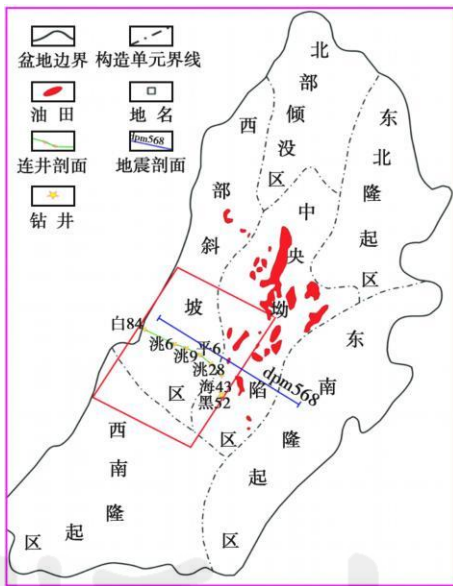


图 1 工区位置

Fig. 1 Sketch map of the studied area

本次层序地层划分在前人研究的基础上^[10-14], 主要根据地震、钻井、岩心以及测井资料, 结合湖盆的构造演化和古气候的演变, 将松辽盆地南部泉头组四段—嫩江组一段的地层划分为 2 个二级层序、6 个三级层序。其中二级层序划分方案与王嗣敏等^[10]和孙钰等^[13]一致, 即泉头组—青山口组为下部拗陷超层序, 姚家组—嫩江组为上部拗陷超层序。三级层序划分方案与孙钰等^[13]的研究一致, 即泉头组四段的中下部为一个层序(SQ_q^4), 泉头组四段顶部和青一段中下

部为一个层序(SQ_{qn}^1), 青一段上部和青二段为一个层序(SQ_{qn}^2), 青三段为一个层序(SQ_{qn}^3), 姚家组为一个层序(SQ_y), 嫩江组一段为一个层序的水进体系域(SQ_n^1)。

2 湖盆底形恢复

海相沉积盆地中的陆架坡折带在地震剖面上表现为反射时间急剧变化, 在地质剖面上表现为地层厚度迅速增加, 在地层等厚图上由坡折到坡脚等值线密集, 因此可以通过编制地层等厚图和地层厚度梯度变化图, 确定坡折带的平面展布, 进而根据发育位置确定其类型, 分析其成因、主控因素及演化史^[14]。但是松辽大型内陆盆地, 不可能发育一个规模巨大、源远流长的海底峡谷, 缺乏理想的陆架坡折^[7], 因而内陆拗陷湖盆的地势高差远不如海相盆地明显, 三级层序的地层厚度横向变化不大, 加上后期的埋藏压实、构造变动改变了坡折带的地形特征, 所以只根据地层等厚图或厚度梯度变化图难以清晰的刻画坡折带的发育特征, 坡折带的识别有必要考虑压实率、古水深等参数进行古地貌的恢复。湖泊作为沉积物的主要卸载场所, 其可容空间顶部的形态以及变化主要由顶部的基准面和底部的湖盆底形面所限定^[8]。所谓湖盆底形是指盆地演化过程中湖盆底部的地貌形态^[8]。坡折带是湖盆底形上坡度发生突变的地带, 泛指从坡折和坡脚及其附近受斜坡地形控制的侵蚀和沉积作用活跃地带, 也是沉积动力学特征发生突变的活跃带。因此恢复沉积时的湖盆底形对刻画坡折带具有重要意义。

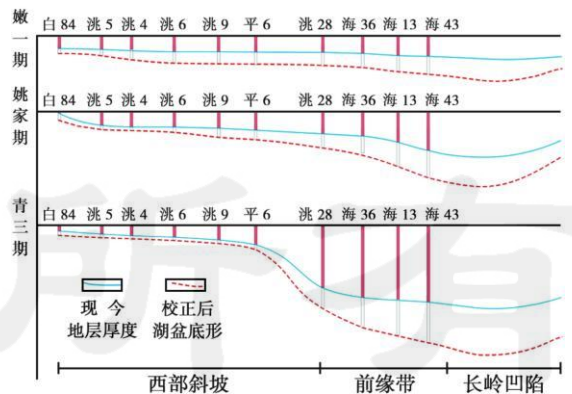


图 2 白 84 井—平 6 井—海 43 井湖盆底形反演剖面

Fig. 2 Inverse section of lake basin bottom shape from Well Bai 84 to Well Ping 6 to Well Hai 43

湖盆底形恢复主要运用回剥法, 根据现有地层的厚度结合地层的岩性特征、剥蚀特征和埋藏史经去压实校正进行了一维(单井)古厚度恢复, 然后将连井剖面进行顶面拉平, 用古水深与古厚度之和来反演湖盆

的底形特征。回剥反演方法的算法原则在很多文献中均有详细的阐述^[15-20]，在进行单井古厚度恢复时，由于砂岩和泥岩孔隙度的大小不仅取决于它们承受的压力（到达的埋深）、温度、受压时间（埋藏时间）和排液条件，还受其矿物成分、含矿量、粒度、分选性和堆集方式等的影响^[15]。因此在进行古厚度恢复时，应将上述各种因素都考虑进去。笔者主要从岩屑录井图统计出砂泥岩百分含量，针对砂岩和泥岩分别运用了两个压实公式进行古厚度的计算^[16]。古水深主要根据沉积物的分布规律、沉积构造、古生物类型及生态等多方面的标志来粗略估计^[16]，例如棕红色砂质泥岩对应的古水深一般为2~8 m，深湖黑色泥岩和区域稳定存在的油页岩对应的水深一般大于30 m。通过上述方法进行湖盆底形研究，坡折处地层倾角变化更明显，湖盆坡折带范围的圈定比用地层等厚图的方法更精确。

青三段顶部以及姚家组底部在盆地边缘存在轻度的剥蚀，西部斜坡上端主要表现为沉积物过路不沉积特征，盆地内部地层埋藏史比较简单，不存在大规模的抬升剥蚀。从恢复的剖面可以看出（图2），青三层序（SQ_{qn}³）平6井—海43井之间湖盆底形存在明显的坡折，而姚家层序坡折不明显，嫩一段从盆地边缘到长岭凹陷内部地势差别很小，表现为平缓的湖盆底形，坡折不发育。

3 湖盆底形演化与坡折带发育特征

由于连井剖面的横向不连续性，难以控制井间的地层信息，地震资料恰好可以弥补这一缺陷。三级层序的地层厚度虽然较薄，坡折带在地震剖面上的反射时间仍有明显增加，松辽盆地西斜坡青三层序发育期

间前积特征突出，反射时间在平6井—海43井的前缘带急剧变化，说明坡折发育明显；而姚家层序地震反射同相轴比较平缓，坡折不明显；嫩一层序的顶底界面表现为两条平行的“双轨”，说明地层厚度比较稳定，湖盆底形平缓（图3）。

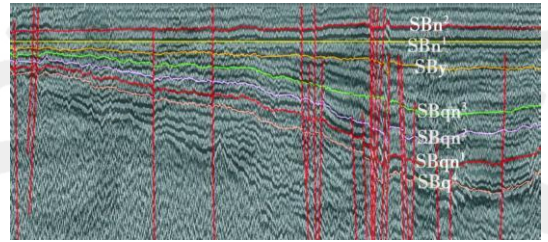


图3 地震测线 dpm568

Fig. 3 The seismic line of dpm568

坡折带在地层等厚图上表现为等值线密集区，在岩心上表现为重力流与牵引流交互发育的活跃带，滑塌变形构造与正常三角洲前缘沉积交互出现。坡折带的平面展布特征主要依据地层等厚图上等值线密集区的识别，笔者在地层厚度等值线图的制作上，主要运用该区二维地震资料追踪闭合所建立的三级层序等时格架。松辽盆地南部西斜坡—前缘带地层等厚图上[图4(a)]可以看出，青三层序（SQ_{qn}³）平6井—海13井之间的绿色粗线之间等值线密集，说明存在明显的地形坡折；从图4(b)可以看出，姚家层序（SQ_y）地层厚度等值线密集区不发育，说明该沉积期坡折发育不明显，大量钻井资料也证实姚家层序大量发育红色泥岩沉积，粗碎屑不发育，砂岩单层厚度较薄，说明湖盆水体宽浅；图4(c)显示，嫩一层序（SQ_n¹）等值线稀疏，不存在等值线密集区，大量钻井资料显示嫩一层序为一套广泛分布且厚度稳定的暗色泥岩，说明嫩一期湖

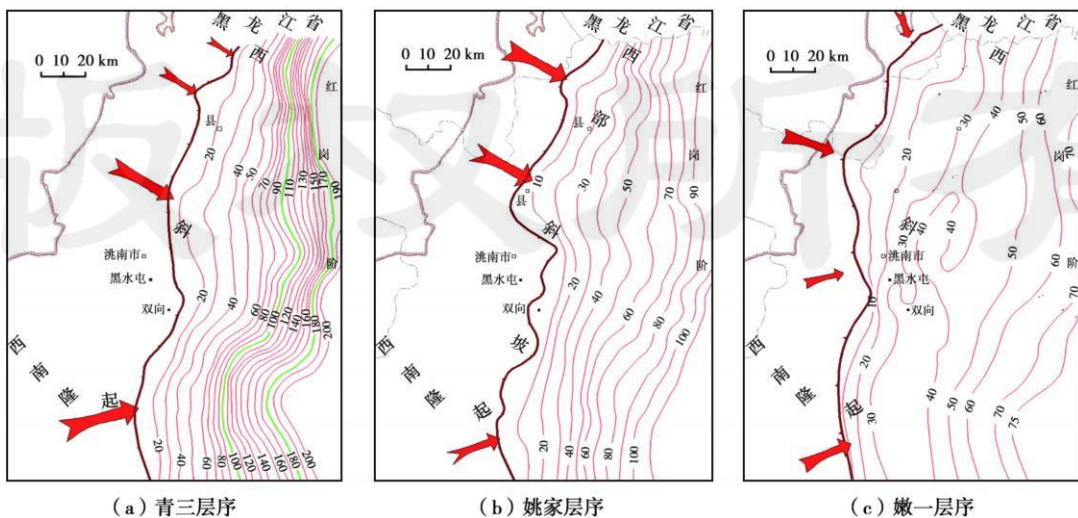


图4 松辽盆地南部西部斜坡—前缘带地层厚度等值线图

Fig. 4 The isoline of strata thickness from the western slope to the front facies belt in the southern Songliao Basin

盆底形平缓, 深水沉积广泛存在。

4 湖盆底形演化的动力学机制与坡折带成因

湖盆底形特征与盆地的构造演化密切相关, 其中构造沉降是盆地形成演化的根本动力。所谓盆地的构造沉降是指盆地发生、发展、演化过程中在地壳深部构造运动, 例如岩石圈伸展变薄、岩脉侵入壳下岩石圈等影响下, 盆地基底相对于某一基准面的升降变化^[20]。板块的垂直升降和均衡调整是坡折带形成的根本原因, 其动力来源于深部的岩石圈和地幔作用^[11], 而坡折带发育是否明显主要与不均匀沉降密切相关, 即只有当坡脚处沉积沉降速率较高, 而坡折带上端沉降速率较低时才会明显发育坡折。因此, 构造运动的阶段性控制了沉积盆地的类型、演化过程和充填序列, 同时也决定了坡折带的成因和类型。

松辽盆地属于弧后裂谷盆地, 盆地的形成演化主要受两种动力控制, 一是地球深部地幔物质的热动力, 上地幔隆起大陆张裂; 二是太平洋板块向大陆俯冲形成的动力。盆地早期主要受第一种动力的控制, 中晚期受第二种动力的控制。由于两种动力的差异, 盆地演化过程中表现为早期($J_3 - K_1d$)裂谷、中期($K_1q^3 - K_1n$)拗陷、晚期($K_2 - R$)褶皱抬升的特点。青三层序—嫩一层序处于盆地中期($K_1q^3 - K_1n$)拗陷阶段, 湖盆的发育主要受地球深部地幔物质的热动力影响^[20]。因此, 松辽盆地南部拗陷期的沉降特征可以用构造沉降曲线和大地热流值来反映。

4.1 构造沉降曲线

构造沉降曲线的陡缓可以反映沉降速率的高低。从凹陷内部黑 52 井的埋藏史(图 5)可以看出, 青二段、青三段(K_1qn^{2+3})的构造沉降曲线斜率大, 曲线陡直, 说明松辽盆地青山口组青二、青三段(K_1qn^{2+3})沉降速率明显高于姚家组和嫩江组一段, 即从青三层序

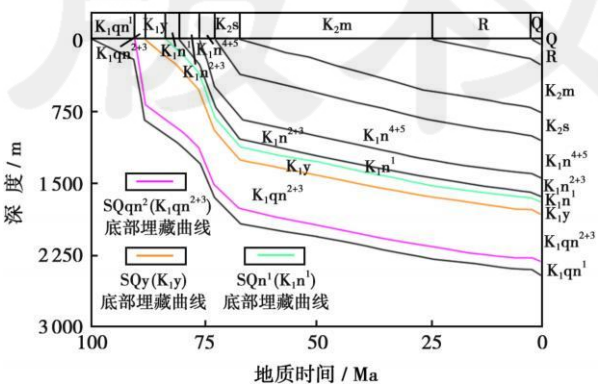


图 5 黑 52 井埋藏史

Fig. 5 Burial history of Well Hei 52

到嫩一层序构造沉降曲线的斜率逐渐变小, 说明青三层序、姚家层序和嫩一层序的沉降速率逐渐变小。

4.2 盆地大地热流值演化

盆地大地热流值与岩石圈的伸展量有关, 伸展量越大, 大地热流值越高^[20]。因此, 可以根据大地热流值的变化反演盆地的沉降特征。盆地演化的初期(断陷期)大地热流值逐渐增高, 达到极值后, 在拗陷期大地热流值呈指数衰减。前人研究表明^[20], 从青三层序到嫩一层序盆地大地热流值逐渐降低, 可以推断盆地青三层序、姚家层序、嫩一层序的沉降速率逐渐变小。

松辽盆地南部湖盆底形的演化与盆地的沉降特征以及大地热流值相关性非常明显。在热拗陷早期, 凹陷中心的沉降速率较高, 差异沉降作用比较明显, 湖盆底形地势高差分异强烈, 因此青三层序坡折带发育明显。随着拗陷期伸展量的逐渐缩小, 大地热流值呈指数衰减, 凹陷中心的沉降速率将逐渐变小, 而盆地边缘的沉降速率却一直比较低, 因此拗陷中后期的差异沉降作用越来越弱, 姚家层序—嫩一层序坡折带越来越不发育, 同时由于沉积物的不断填平补齐, 湖盆底形逐渐变平缓。

5 湖盆底形对湖盆充填序列的控制作用

据王多云等研究^[8], 湖盆底形在基准面变化的不同时期, 对沉积物的体积分配和相分异产生重大影响, 即沉积体系受控于湖盆底形和基准面升降。根据上述对松辽盆地湖盆构造演化分析可知, 青三层序差异沉降明显, 湖盆存在明显的坡折。由于青三期物源供给充足, 三角洲前缘进积特征明显(图 6)。在青三层序水进体系域发育早期, 由于湖盆存在较大坡度, 海 13 井附近的坡脚上端发育三角洲前缘远端滑塌浊积体, 海 43 井等靠近凹陷内部的坡脚底部发育深水浊积扇, 因此海 13—海 43 为代表的坡脚处成为砂岩上倾尖灭油气藏和透镜体油气藏勘探的重要区域。在青三层序高位体系域发育期, 河流和三角洲进积作用明显, 湖盆水体变浅, 沉积物多为红色或灰绿色, 西部斜坡—前缘带砂岩发育, 砂地比较高, 砂岩单层厚度较大, 一般为 5~10 m。

由于青三层序的快速充填, 同时湖盆差异沉降作用逐渐减弱, 姚家层序(SQy)湖盆底形变得宽浅。姚家层序发育时期气候变干旱, 红色泥岩广泛发育, 深湖沉积缺乏。由于姚家层序湖盆地势高差小, 河流下切作用不明显, 该层序只发育小型三角洲, 砂岩分选较差, 泥质杂基含量较高, 砂岩单层厚度较薄, 一般为 2~4 m。但是由于湖盆宽浅, 季节性洪流携带的沉积物可以直接推进到湖盆中央, 湖盆中央也发育薄层的泥质粉细砂岩, 具有“满盆含砂”的特征(图 6)。嫩江

期末—四方台期构造反转作用下,凹陷内部姚家层序的薄层砂体与上覆嫩江组一段泥岩区域盖层形成大规模的构造圈闭。青山口组暗色泥岩与嫩一暗色泥岩热演化成熟形成的烃类,在断层输导下聚集成藏,形成中央拗陷油气富集带。由于此类油气藏始终处于稳定的沉降中心,保存条件也比较优越。

岩大范围稳定存在,形成有利的区域盖层。在嫩一层序暗色泥岩的底部,湖侵过程中形成的地层油气藏成为松辽盆地南部西部斜坡和前缘带的重要勘探目标。

6 结论

(1) 随着松辽盆地南部拗陷期差异沉降作用的逐渐减弱,同时由于不断的沉积充填,松辽盆地南部青三层序—嫩一层序坡折带发育越来越不明显,到嫩一层序发育期成为平缓的湖盆底形。

(2) 湖盆底形对湖盆的充填序列和沉积格局有明显的控制作用: ①青三层序发育期,盆地差异沉降明显,为深水湖盆的快速充填期,三角洲砂体发育,进积作用明显。②姚家层序盆地差异沉降作用减弱,气候变干旱,湖盆宽浅。由于地势高差小,只发育小型三角洲,但受季节性洪流影响,沉积物可以直接推进到湖盆中央,具有“满盆含砂”的特征。③由于青三层序的快速充填以及姚家层序的填平补齐,嫩一层序湖盆底形平缓,即使低幅度的湖平面上涨将产生大规模的湖泛沉积。因而随着嫩江早期水进,暗色泥岩广泛沉积,形成有利的区域盖层。

参考文献

[1] 邹才能,薛叔浩,池英柳. 岩性地层油气藏形成条件与分布规律 [G]// 勘探与生产分公司编. 岩性地层油气藏勘探理论与实践培训教材. 北京: 石油工业出版社, 2005: 422-425.
Zou Caineng, Xue Shuhao, Chi Yingliu. Formation and distribution of stratigraphic and lithologic reservoirs [G]// Exploration and Production Branch Company, CNPC. Theory and practice of stratigraphy and lithologic reservoirs. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 422-425.

[2] 王英民,金武弟,刘书会,等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24 (3): 199-203.
Wang Yingmin, Jin Wudi, Liu Shuhui, et al. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24 (3): 199-203.

[3] 林畅松,潘元林,肖建新,等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25 (3): 260-265.
Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. Structural slope-break zone: Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2000, 25 (3): 260-265.

[4] 刘豪,王英民,王媛,等. 大型拗陷湖盆坡折带的研究及其意义——以准噶尔盆地西北缘侏罗纪拗陷湖盆为例 [J]. 沉积学报, 2004, 22 (1): 95-102.
Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan, et al. Study on slope

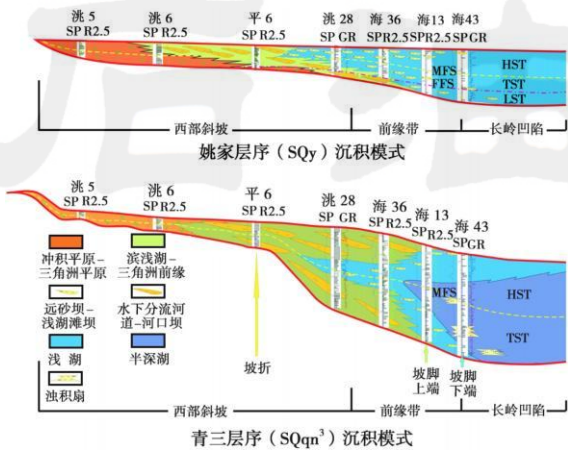


图6 松辽盆地南部青三层序与姚家层序沉积模式对比
Fig. 6 Comparison of sedimentary model between SQqn³ and SQy in the southern Songliao Basin

随着青三层序的快速充填以及姚家层序(SQy)的填平补齐,在嫩一层序(SQn¹)发育期松辽盆地南部地势高差很小,湖盆底形变得非常平缓,即使湖平面的小幅度上涨也将产生大面积的湖侵。因此随着嫩江早期的水进,深水沉积广布,受到湖盆水体的顶托作用,松辽盆地南部仅在湖盆边缘发育小型的扇三角洲,湖盆内部砂岩不发育,砂地比一般小于10% (图7),暗色泥



图7 松辽盆地南部西部斜坡—前缘带嫩一层序(SQn¹)沉积相
Fig. 7 Sedimentary facies of SQn¹ from the western slope to the front facies belt in the southern Songliao Basin

- breaks in large down warped lake basins and its significance: A case study from Jurassic lake in northwestern Junggar Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 95-102.
- [5] 王英民, 刘豪, 李立诚, 等. 准噶尔大型拗陷湖盆坡折带的类型和分布特征[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2002, 27(6): 683-688.
- Wang Yingmin, Liu Hao, Li Licheng, et al. Types and distribution characteristics of slope breaks of large type down-warped lake basins[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2002, 27(6): 683-688.
- [6] 冯有良, 徐秀生. 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用——以渤海湾盆地古近系为例[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(1): 22-31.
- Feng Youliang, Xu Xiusheng. Syndepositional structural slope break zone controls on lithologic reservoirs: A case from Paleogene Bohai Bay Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(1): 22-31.
- [7] 魏魁生, 徐怀大, 叶淑芬, 等. 松辽盆地白垩纪系高分辨率层序地层格架[J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18(1): 8-14.
- Wei Kuisheng, Xu Huaida, Ye Shufen, et al. High resolution sequence stratigraphic framework in Cretaceous, Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 1997, 18(1): 8-14.
- [8] 王多云, 李树同, 王彬, 等. 鄂尔多斯盆地三叠纪延长长期湖盆底形形态和岩性油藏分布特征[J]. *低渗透油气田*, 2006, 11(3): 12-21.
- Wang Duoyun, Li Shutong, Wang Bin, et al. Shape of lake basin bottom and characteristics of lithologic reservoir distribution in Yanchang Age, Triassic of Ordos Basin[J]. *Low Permeability Oil-gas Field*, 2006, 11(3): 12-21.
- [9] 王永春. 松辽盆地南部岩性油藏的形成和分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 3-6.
- Wang Yongchun. The formation and distribution of lithological reservoir in the south of Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 3-6.
- [10] 王嗣敏, 刘招君, 董清水, 等. 陆相盆地层序地层形成机制分析——以松辽盆地为例[J]. *长春科技大学学报*, 2000, 30(2): 139-144.
- Wang Simin, Liu Zhaojun, Dong Qingshui, et al. The mechanism of formation analysis of continental sequence stratigraphy[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2000, 30(2): 139-144.
- [11] 王建功, 卫平生, 郑浚茂, 等. 挠曲坡折带特征与油气勘探——以松辽盆地南部为例[J]. *石油学报*, 2005, 26(2): 26-29.
- Wang Jianguo, Wei Pingsheng, Zheng Junmao, et al. Features of flexure slope break and oil-gas exploration in the south of Songliao Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(2): 26-29.
- [12] 王颖, 王英民, 王晓洲, 等. 松辽盆地西部坡折带的成因演化及其对地层分布模式的控制作用[J]. *沉积学报*, 2005, 23(3): 498-505.
- Wang Ying, Wang Yingmin; Wang Xiaozhou, et al. The origin and evolution of slope break belt and its effect on stratigraphy distribution in large down-warped lake Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(3): 498-505.
- [13] 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): 1-7.
- Sun Yu, Zhong Jianhua, Jiang Zaixing, et al. Study of sequence stratigraphy of depression period in southern Songliao Basin[J]. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2006, 30(5): 1-7.
- [14] 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 of Quantou Formation to Yaojia Formation, South Songliao Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(3): 33-36.
- [15] 关振良. 利用压实模拟计算地层古厚度及差异压实量的尝试[J]. *石油实验地质*, 1992, 14(2): 152-158.
- Guan Zhenliang. An attempt to calculate the primary thickness and the amount of differential compaction in a formation with an application of compaction simulations[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1992, 14(2): 152-158.
- [16] 郭少斌, 孙绍寒. 周家湾地区前侏罗纪地貌恢复及油气富集规律[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2006, 31(3): 372-377.
- Guo Shaobin, Sun Shaohan. Rebuilding paleogeomorphology of pre-Jurassic and oil-gas accumulation regulation in Zhoujiawan area[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(3): 372-377.
- [17] Ungerer P F, Bessis F, Chenet P Y, et al. Geological and geochemical models in oil exploration: Principle and practice example[G]. *AAPG Memoir* 35, 1984: 53-77.
- [18] 毛小平, 李绍虎, 刘刚, 等. 复杂条件下的回剥反演方法——最大深度法[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1998, 23(3): 277-280.
- Mao Xiaoping, Li Shaohu, Liu Gang, et al. A backstripping inversion method in a complex condition——maximum depth method[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23(3): 277-280.
- [19] 邵新军, 刘震, 崔文富. 沉积盆地地层古埋深的恢复[J]. *石油勘探与开发*, 1999, 26(3): 33-35.
- Shao Xinjun, Liu Zhen, Cui Wenfu. Restoration of the paleoburial depth of strata in deposition basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1999, 26(3): 33-35.
- [20] 迟元林, 云金表, 蒙启安, 等. 松辽盆地深部结构及成盆动力学与油气聚集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 113-221.
- Chi Yuanlin, Yun Jinbiao, Meng Qi'an, et al. Deeped structure and basin dynamics and hydrocarbon accumulation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 113-221.