

# 松辽盆地西斜坡白垩系姚家组下切谷充填结构

辛仁臣<sup>1</sup>, 李桂范<sup>2</sup>, 向淑敏<sup>1</sup>

1. 中国地质大学海洋学院, 北京 100083

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

**摘要:** 白垩纪青山口组沉积末期至姚家组沉积初期, 松辽盆地发生了湖平面大幅度下降, 湖区大规模萎缩, 形成了 SSQ<sub>q-qn</sub> 和 SSQ<sub>y-n</sub> 之间的二级层序界面。这一时期, 西部斜坡普遍暴露, 缺失了三级层序 SQ<sub>qn4</sub> 和 SQ<sub>y1</sub> 地层, 并在齐齐哈尔古水系的作用下在西部斜坡的北部形成了下切谷。下切谷长约 70 km, 宽约 20 km, 呈 NW-SE 延伸。在 SQ<sub>y23</sub> 层序水进域, 下切谷逐渐被充填。下切谷发育区 SQ<sub>y23</sub> 水进域的地层厚度明显高于相邻区域, 在沉积走向上的高地层厚度梯度带反映了下切谷的边界。下切谷充填序列具有多期旋回性特征, 一个完整的短期充填旋回的底界为侵蚀面, 侵蚀面之上依次发育泥砾岩、具交错层理含陆源砾石和泥砾中—细粒砂岩、具波纹层理粉砂质泥岩和泥岩。充填下切谷的不同短期旋回的砂体在空间上具有叠瓦状结构。在倾向剖面上, 砂体沿下切谷底界面逐层叠置超覆, 向盆地方向分叉并尖灭在泥岩中, 反映了河—湖共同作用。在横剖面上, 砂体呈透镜状错叠。早期的砂体主要发育于相对深谷部位, 相对高部位以泥质充填为主, 后期的砂体不受原始深谷限制。在 SQ<sub>y23</sub> 最大湖泛期, 下切谷内以泥质充填为主。

**关键词:** 松辽盆地; 姚家组; 层序地层; 下切谷; 充填结构。

中图分类号: P59

文章编号: 1000-2383(2008)06-0834-09

收稿日期: 2008-02-28

## The Incised Valley Filling Architecture of Cretaceous Yaojia Formation in the Western Clinoform of Songliao Basin

XIN Ren-chen<sup>1</sup>, LI Gui-fan<sup>2</sup>, XIANG Shu-min<sup>1</sup>

1. School of Marine Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

**Abstract:** To ascertain the period of shaping and filling of the incised valley, and the incised valley filling architecture in the western Clinoform of Songliao basin, we made use of the data of core and of more than 300 boreholes, and adopted the theories and methods of sequence stratigraphy and sedimentology to make an in-depth study on the incised valley filled by Cretaceous Yaojia Formation in the western Clinoform of Songliao basin. The incised valley in the western Clinoform of Songliao basin formed during the end of the deposition period of Qingshankou Formation and the early deposition period of Yaojia Formation in Cretaceous. It was about 70 km long and 20 km wide, extending NW-SE, and was filled gradually in the time of the transgressive system tract of SQ<sub>y23</sub> sequence (TSTy23). The filling succession of the incised valley is characterized by its multi-cycle. The bottom boundary of a perfect short-term filling cycle is the erosion surface, above which successively develop gompfolite, medium-fine sandstone contained terrigenous gravels and mud pebble with the cross bedding, silty mudstone with ripple stratification and mudstone. The architecture of sand bodies with different short-term cycles that filled the incised valley presents imbricate arrangement in space. In the dip-profile, the sand body overlaps bed by bed along the bottom surface of the valley, splits toward the basin and pinches out into mudstone, reflecting the joint influence of stream and lake. In the strike profile, the sand bodies present lenticular staggered arrangement. The early sand body was developed at

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 40272057).

作者简介: 辛仁臣 (1964—), 男, 博士, 副教授, 主要从事含油气盆地地质研究. E-mail: xinrenchen@163.com

the relatively deeper place of the valley, while the higher place of the valley was dominated by the mudstone. The later sand body was not limited by the former deep valley. In the period when the lake-level of SQy23 reached maximum, the incised valley was filled mainly by the muddy sediment.

**Key words:** Songliao basin; Yaojia Formation; sequence stratigraphy; incised valley; filling architecture.

下切谷的研究对于正确划分地层层序,确立年代地层格架,分析海(湖)平面的变化史,重建沉积体系具有理论意义,下切河谷中也常常是油气运移、富集的重要场所,因此,深切谷的研究对于油气勘探与开发具有应用价值。

尽管下切谷充填结构的研究成果很少,但大量研究成果论述了相对海(湖)平面变化控制下的下切谷形成与充填。关于下切谷的形成,多数学者已取得共识。下切谷是指海平面相对下降期由河流体系向盆地方向扩展,并侵蚀下伏地层形成的河谷(Van Wagoner *et al.*, 1990; Ghinassi, 2007)。陆相湖盆的下切谷是在湖平面下降期河流冲刷形成的,主要发育于湖盆坡折带之上,下切谷对砂体的展布具有明显的控制作用(鲜本忠等, 2001; 隋风贵等, 2005; 王颖等, 2005)。

关于下切谷的充填和对下切谷充填的顶界面的认识目前的争议较大。Posamentier and Vail(1988)把初始海泛面(first flood surface)作为下切谷充填体的顶面,把下切谷充填体归属于低位域(lowstand system tract)。按照这一定义,下切谷充填体的分布范围是十分局限的。Swift and Thorne(1991)和 Zaitlin *et al.* (1994)根据低水位期和海侵期下切谷充填沉积中碎屑物质沉积方式的变化,将初泛面确定在下切谷底部河床滞留沉积与其上的退积沉积序列之间,并认为下切谷的大部分充填物通常是在基准面上升期形成的,因而主要属于海侵体系域(transgressive system tract)。多数研究成果都揭示了下切谷是在海平面上升期逐渐被充填(Paola *et al.*, 1992; Allen and Posamentier, 1993; Zaitlin *et al.*, 1994; 张桂甲和李从先, 1995; 李从先和张桂甲, 1996; Ferguson and Davis, 2003)。有的学者尽管认识到下切谷充填具有“顺源堆积”和“溯源堆积”的双重特征,但受经典层序地层学的影响,把下切谷充填体仍归属于低位域(鲜本忠等, 2001; 隋风贵等, 2005; 黄传炎等, 2007)。

由此可见,关于下切谷充填体顶界的确定存在一定争议,下切谷的充填结构研究急待深入。本文利用 250 余口探井的测井、录井、岩心及古生物资料,

通过细致的层序地层学及沉积学分析,揭示了松辽盆地西斜坡白垩系姚家组下切谷主要充填期为 SQy23 的水进域,深入讨论了下切谷砂体逐层超覆、砂泥指状交互的充填结构。

## 1 地质背景

松辽盆地位于中国东北部,总面积逾  $2.87 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。构造上,松辽盆地划分为西部斜坡区、北部倾没区、中央拗陷区、东北隆起区、东南隆起区和西南隆起区 6 个二级构造单元(图 1)(高瑞祺和蔡希源, 1997)。西部斜坡区与中央拗陷区之间长期发育湖盆坡折带(辛仁臣等, 2004)。盆地基底为古生代和前寒武纪的变质岩系及火成岩系;沉积盖层主要由中、新生代碎屑沉积岩系组成,最大厚度逾万米。中生代地层自下而上发育有火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组及明水组。泉头组、青山口组、姚家组、嫩江

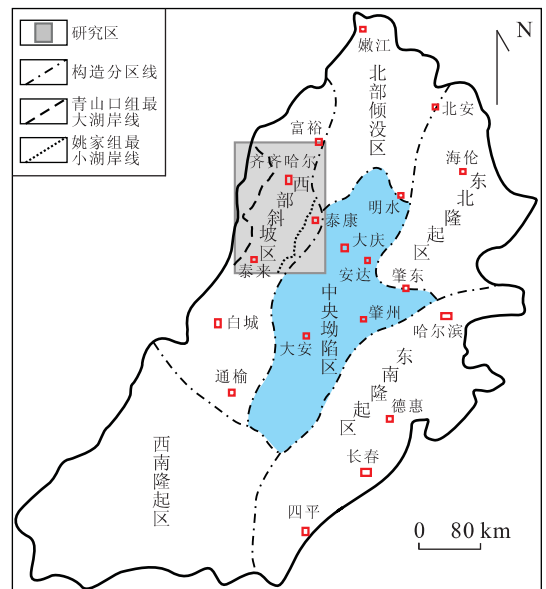


图 1 松辽盆地构造分区及研究区位置(据高瑞祺和蔡希源, 1997, 改编)

Fig. 1 Study area and division of structural units of Songliao basin

组、四方台组及明水组地层沉积时期为拗陷期,在白垩系青山口组到嫩江组沉积时期,松辽盆地处于深水拗陷湖盆阶段,其中青山口组一段到嫩江组一段为松辽盆地的主要含油气层段(高瑞祺和萧德铭,1995;高瑞祺和蔡希源,1997)。根据古生物、岩心、测井、地震资料的详细层序地层学分析,在青山口组一段到嫩江组一段划分为 12 个四级层序、7 个三级层序和 2 个二级层序。SQq4-qn1、SQqn2、SQqn3、SQqn4 四个三级层序属于 SSQq-qn 二级层序, SQy1、SQy23、SQn1 三个三级层序属于 SSQy-n 二级层序(图 2)。

研究区为西部斜坡区的中北部(图 1),面积约  $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,总体上为向东缓倾的单斜构造,已钻井 250 余口。

## 2 湖平面变化与下切谷的形成与充填

大量研究成果表明,青山口组和嫩江组沉积时期,松辽盆地遭受了 2 次大规模的海侵(高瑞祺和萧德铭,1995;高瑞祺和蔡希源,1997;魏魁生等,1996;叶淑芬和魏魁生,1996),使松辽深水进入拗陷湖盆阶段。在深水拗陷湖盆阶段,松辽盆地的湖平面变化表现为明显的两进一退特征,湖区面积发生了显著变化。青山口组沉积早期湖区面积约  $90\,000 \text{ km}^2$ 。青山口组沉积末期发生了构造整体抬升,与此同时,全球海平面大幅度下降(Wilgus *et al.*, 1998),造成松辽盆地湖平面大规模下降,湖区面积大幅度萎缩(高瑞祺和蔡希源,1997;辛仁臣,2004)。在姚家组一段沉积时期,湖区面积最小不足  $10\,000 \text{ km}^2$ ,形成了松辽盆地白垩系 SSQq-qn 和

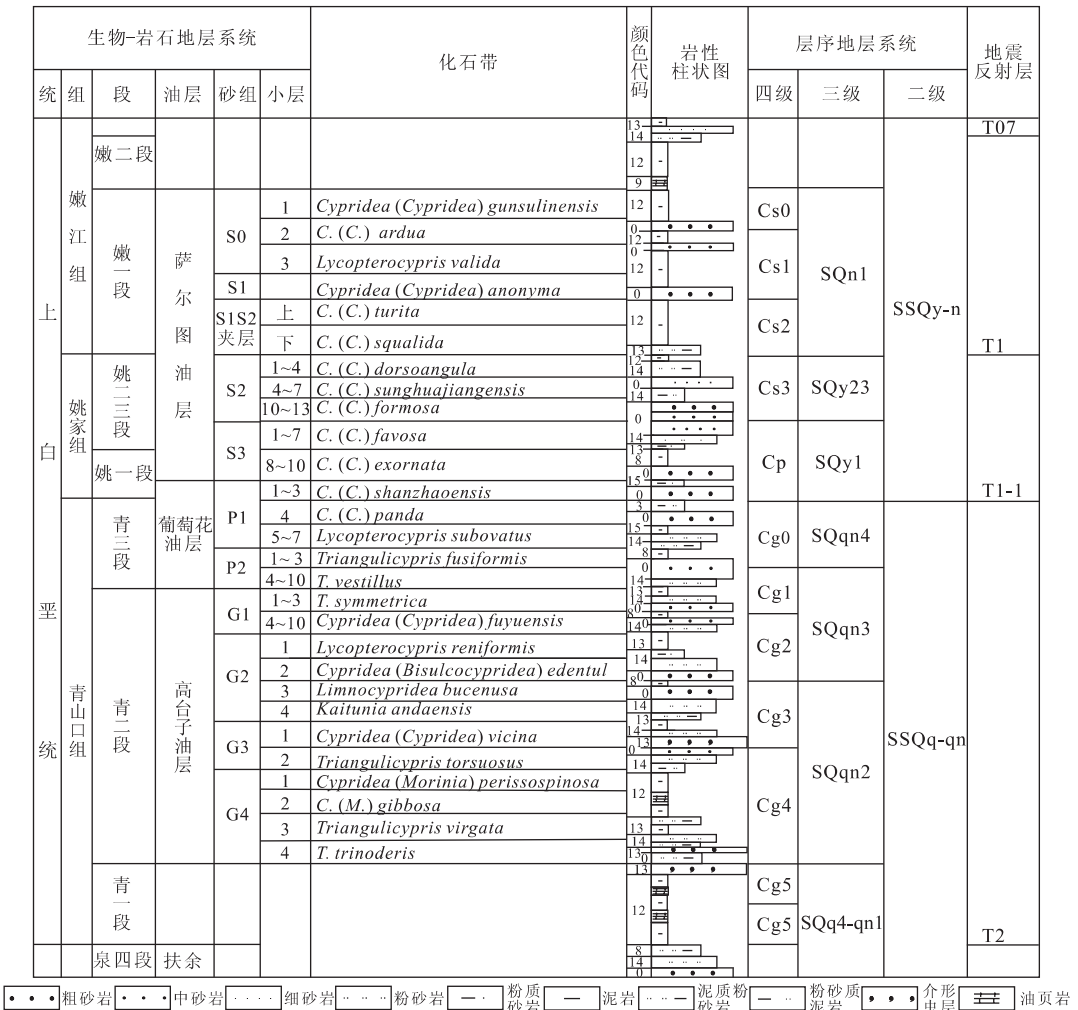


图 2 松辽盆地中部含油组合高精度层序地层格架(据高瑞祺等,1994;叶得泉等,2002,改编)

Fig. 2 The high-resolution sequence stratigraphic framework of the middle oil-bearing beds of Songliao basin

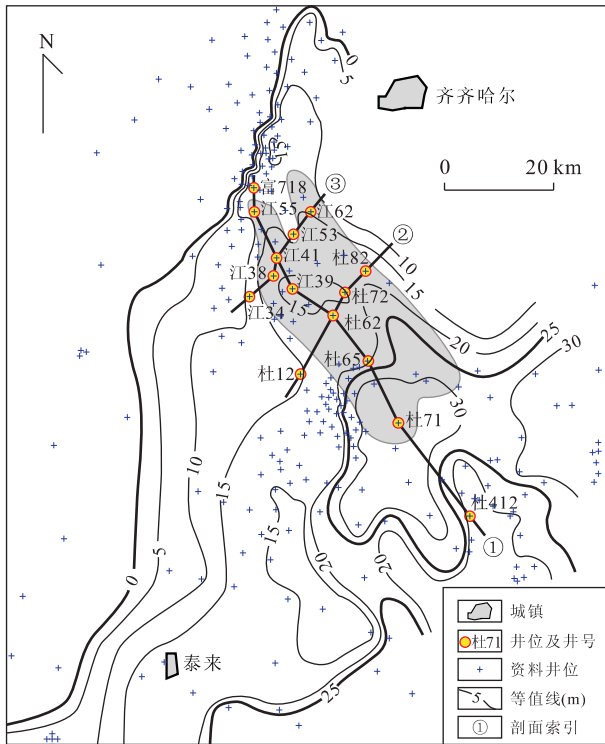


图 3 松辽盆地西部斜坡 SQy23 水进域地层等厚图

Fig. 3 Isopach map of the transgressive system tract of SQy23 of the western clineform of Songliao basin

SSQy-n 之间的二级层序界面(图 2),这一层序界面在地震、测井、岩性及古生物资料上具有明显的特征(高瑞祺等, 1994; 高瑞祺和萧德铭, 1995; 高瑞祺和蔡希源, 1997; 魏魁生, 1996; 魏魁生等, 1996; 刘招君等, 2002; 叶得泉等, 2002; 辛仁臣和王英民, 2004). 姚家组二、三段沉积时期, 湖泊再次扩展, 到嫩江组沉积早期, 达到第二次湖区发育的鼎盛时期, 湖区面积超过 120 000 km<sup>2</sup>.

青山口组沉积末至姚家组沉积初湖泊萎缩期, 松辽盆地西部斜坡区湖岸线向中央凹陷区方向大幅度迁移, 迁移距离达 80 km(图 1). 西部斜坡大面积暴露, 同时造成地层的缺失, 与松辽盆地完整的地层序列相比(图 2), 西部斜坡普遍缺失三级层序 SQqn4 和 SQy1.

在青山口组到姚家组沉积时期, 齐齐哈尔水系在松辽盆地西部斜坡长期发育(高瑞祺和蔡希源, 1997). 青山口组沉积末至姚家组沉积初, 西部斜坡暴露期间, 在齐齐哈尔水系的影响下, 在西部斜坡形成了下切谷. 下切谷呈 NW-SE 延伸, 长约 70 km, 宽约 20 km.

下切谷的充填主要发生在三级层序 SQy23 的水进域时期(图 3, 图 4). 在西部斜坡 SQy23 层序水

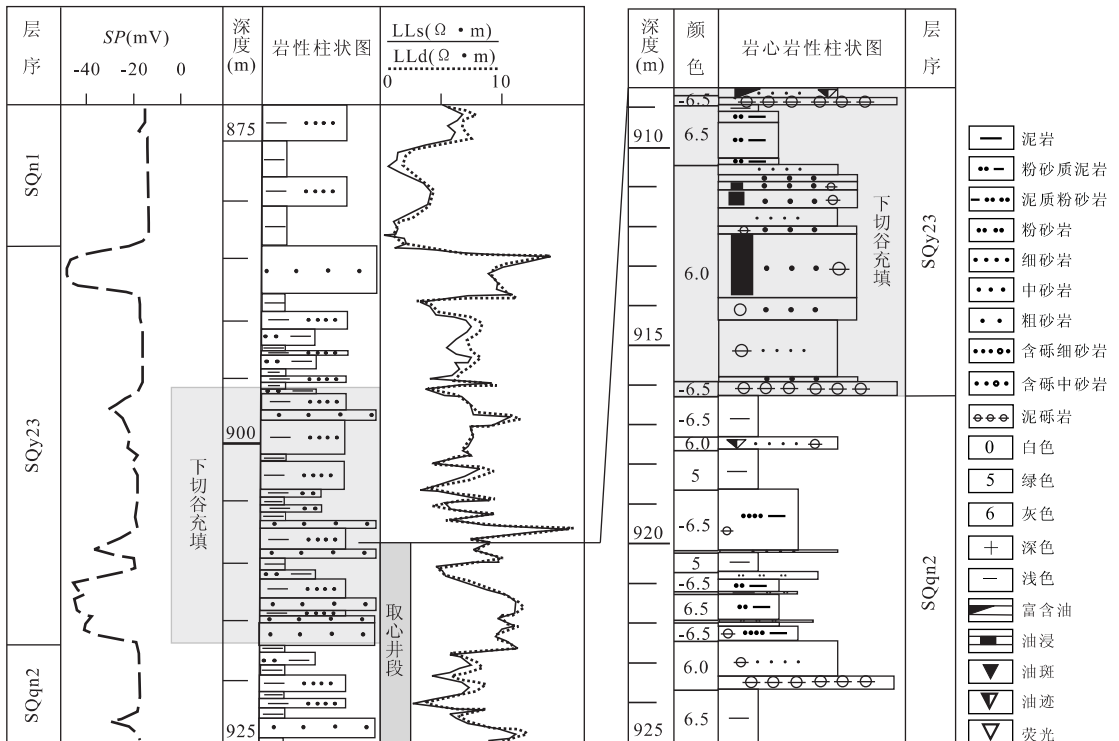


图 4 杜 71 井下切谷充填序列(钻井的平面位置见图 3)

Fig. 4 The filled sequence of the incised valley, Well Du71

进域的地层等厚图上,下切谷表现为地层厚度相对高值区(图 3 灰色阴影区)。在沉积走向上,下切谷的地层厚度明显高于相邻区域,且等值线密集,地层变化梯度大,高地层厚度梯度带反映了下切谷的边界。在沉积倾向上,东部邻近缓斜坡与深盆的坡折处,下切谷充填序列的厚度达 25 m 以上,向西逐渐减薄至约 10 m。

下切谷下部充填物以砂岩为主,泥岩较少。下切谷上部充填物砂岩减少,泥岩向上逐渐增多。下切谷充填结构具有多期砂泥复合充填的特征,在测井曲线形态上,下切谷充填序列的下部为齿化箱型曲线,上部为指状曲线(图 4)。

杜 71 井的岩心揭示了下切谷充填序列的 2 个短期充填旋回,下部是一个完整短期充填旋回,底界为侵蚀面,侵蚀面之上为厚度约 30 cm 浅灰绿色泥砾岩。泥砾之间的空隙为中粒砂充填,局部泥砾直接接触,这种泥砾岩极易误判为灰绿色泥岩(图 5a)。泥砾岩之上依次为:(1)总厚约 5.5 m 的含陆源砾石和泥砾的中、细粒砂岩,发育交错层理(图 5b);(2)厚约 1.2 m 的灰绿色粉砂质泥岩,发育波纹层理,见砂岩透镜体;(3)厚约 20 cm 的灰绿色泥岩。上部的短期充填旋回不完整,只揭示了底部的冲刷面,冲刷面之上依次为泥砾岩和具交错层理的含油细砂岩。

下切谷充填序列的短期旋回与河流—湖泊作用的消长密切相关。短期旋回初期,河流作用较强,短期旋回的泥砾岩和砂岩中所含的泥砾主要来源于河流侧向侵蚀。短期旋回后期,湖泊作用逐渐增强,在旋回的上部发育湖泊作用为主的具波纹层理粉砂质泥岩和泥岩。由此可见,下切谷充填是河—湖共同作用的结果,其沉积机理类似于水进型三角洲,与单纯的河流沉积机理差别较大。由于下切谷充填沉积体系形成于水进域沉积时期,因此,建议把下切谷充填

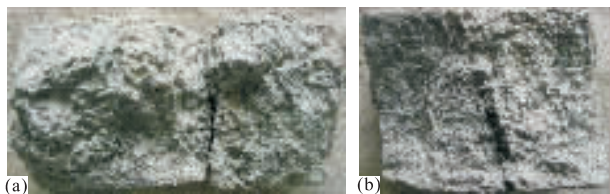


图 5 杜 71 井下切谷充填沉积物岩心照片

Fig. 5 The core photographs from the filled deposition of downcutting valley, Well Du71

a. 916.0 m, 浅灰绿色泥砾岩, 中砂充填; b. 915.0 m, 含泥砾细砂岩, 具交错层理

沉积体系归属于水进型三角洲。

### 3 下切谷充填体的剖面结构

在空间上,下切谷充填的砂体具有叠瓦状结构。在下切谷倾向剖面上,砂体沿下切谷底界面由坡折处溯源逐层叠置超覆,向盆地方向分叉尖灭在泥岩中。在横切下切谷的剖面上,砂体呈透镜状错叠,早期砂体主要发育于相对深谷部位,相对高部位以泥质充填为主,后期砂体不受原始深谷限制。

图 6 是顺下切谷倾向的联井剖面(剖面位置见图 3 中①)。图中可见,在杜 412 井与杜 71 井之间存在明显的坡折。坡折下方的杜 412 井层序没有明显的缺失,坡折之上,普遍缺失了 SQqn4 和 SQy1 两个三级层序。在 SQqn4 和 SQy1 沉积时期,坡折之上主要发生侵蚀下切作用,形成下切谷。SQy23 层序水进域下切谷充填,形成的下切谷充填体可划为 5 个短期旋回(图 6 中①,②,③,④,⑤)。

首期短期旋回形成的下切谷充填的砂体(图 6 中①)发育于杜 71 到杜 412 井一带,在坡折附近与下伏 SQy1 层序高位域砂体冲刷接触,杜 71 井坡折附近砂岩厚度大,沿斜坡上倾方向,在杜 65 井东侧上超尖灭,向盆地方向缓慢减薄,上部被泥质层覆盖,泥质层向盆缘方向减薄尖灭。

第二个短期旋回形成的下切谷充填的砂体(图 6 中②)发育于杜 65 到杜 412 井一带,砂岩厚度稳定,在杜 71 井西侧直接覆盖在首期短期旋回的砂体之上,沿斜坡上倾方向,在杜 62 井东侧上超尖灭,上部被泥质层覆盖,泥质层向盆缘方向减薄尖灭。

第三个短期旋回形成的下切谷充填的砂体(图 6 中③)发育于杜 62 到杜 65 井一带的斜坡处和江 41 井附近的深切谷处。杜 62 到杜 65 井一带的斜坡处的砂体,在杜 65 井西侧直接覆盖在二期短期旋回的砂体之上,沿斜坡上倾方向在江 39 井东侧上超尖灭,向盆地方向分岔尖灭,上部被泥质层覆盖,泥质层向盆缘方向减薄尖灭。江 41 井附近的深切谷砂体呈透镜状,与后期短期旋回形成的砂体直接接触。

第四个短期旋回形成的下切谷充填的砂体(图 6 中④)发育于江 41 到杜 62 井一带。江 39 井附近砂体厚度最大,在杜 62 井西侧直接覆盖在三期短期旋回的砂体之上,沿斜坡上倾方向在江 55 井东侧上超尖灭,向盆地方向减薄尖灭,上部被泥质层覆盖,泥质层向盆缘方向减薄尖灭。

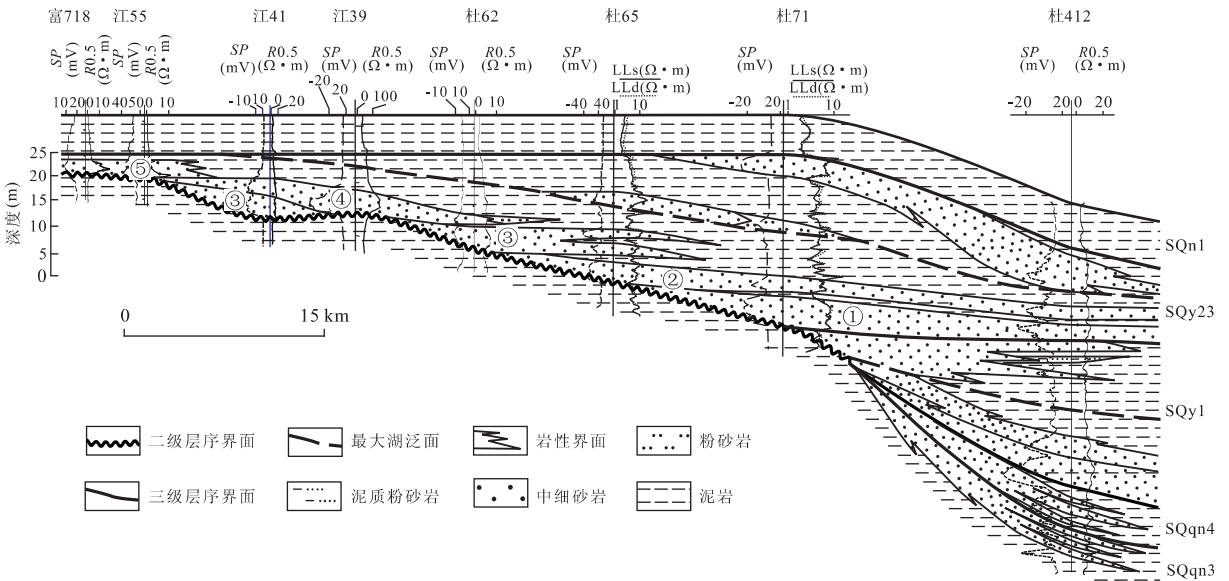


图 6 富 718—杜 412 顺倾向下切谷充填结构断面图(剖面位置见图 3 中①)

Fig. 6 The architecture map of the dip-profile (Well Fu718-Well Du412) of the incised valley

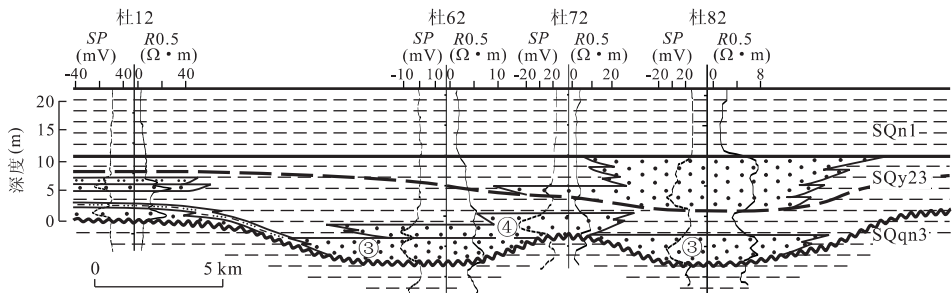


图 7 杜 12 井—杜 82 井下切谷横剖面充填结构断面图(剖面位置见图 3 中②)

Fig. 7 The architecture map of the strike profile (Well Du12-Well Du82) of the incised valley

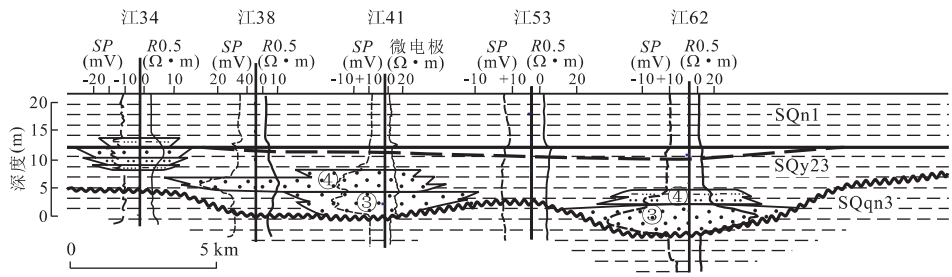


图 8 江 34 井—江 62 井下切谷横剖面充填结构断面图(剖面位置见图 3 中③)

Fig. 8 The architecture map of the strike profile (Well Jiang34-Well Jiang62) of the incised valley

第五个短期旋回形成的下切谷充填的砂体(图 6 中⑤)发育于富 718 到江 55 井一带. 在江 41 井西侧直接覆盖在四期短期旋回的砂体之上, 在富 718—江 55 井一带砂岩厚度稳定, 向东侧盆地方向快速尖灭, 相变为湖相泥质岩, 上部被泥质岩层覆盖.

图 7 和图 8 是横切下切谷的联井剖面, 图 7 剖面位置更靠近盆地方向, 图 8 剖面位置更靠近物源区方向(剖面位置见图 3 中②和③). 图中可见, 松辽盆地西部斜坡的下切谷具有复杂的地貌特征, 在两条剖面上均发育两个次深谷和一个谷内侵蚀残留高

地. 较早期短期充填旋回的砂体明显受次深谷的限制, 次深谷对后期短期旋回形成的砂体的限制作用变弱, 越靠近盆地方向限制作用越不明显, 反映了早期短期充填旋回具有明显的填平补齐作用, 以及随着河流流程增加, 湖泊作用增强, 河道稳定性变差.

图 7 中, 三期短期旋回的砂体(图 7 中③)呈透镜状发育于杜 62 井和杜 82 井的次深谷中, 四期短期旋回的砂体(图 7 中④)呈透镜状发育于杜 72 井附近的谷内侵蚀残留高地到杜 62 井一带, 反映河道发生了明显的迁移.

图 8 中, 三期短期旋回的砂体(图 8 中③)呈透镜状发育于江 41 井和江 62 井附近的次深谷中, 四期短期旋回的砂体(图 8 中④)呈透镜状继承性发育于江 41 井和江 62 井附近的次深谷中, 在江 41 井附近砂体发育部位略有迁移.

## 4 结论与讨论

(1) 在白垩系青山口组沉积晚期至姚家组沉积早期, 松辽盆地发生了大规模湖泊萎缩, 松辽盆地西部斜坡大面积暴露, 普遍缺失了 SQ<sub>qn4</sub> 和 SQ<sub>y1</sub> 两个三级层序. 暴露期间, 在齐齐哈尔水系的影响下, 在西部斜坡形成了下切谷. 下切谷的充填主要发生在三级层序 SQ<sub>y23</sub> 的水进域时期. 在地层等厚图上, 下切谷表现为地层厚度相对高值区. 在沉积走向上, 下切谷的地层厚度明显高于相邻区域, 且等值线密集, 地层厚度变化梯度大. 在沉积倾向上, 向盆地方向地层厚度逐渐加大.

(2) 下切谷下部充填物以砂岩为主, 泥岩较少. 下切谷上部充填物砂岩减少, 泥岩向上逐渐增多, 下切谷充填结构具有多期砂泥复合充填的特征, 在测井曲线形态上, 下切谷充填序列的下部为齿化箱型曲线, 上部为指状曲线. 下切谷充填序列具有多期旋回性特征, 一个完整短期充填旋回最底界为侵蚀面, 侵蚀面之上依次发育泥砾岩、含陆源砾石和泥砾具交错层理的中—细粒砂岩、具波纹层理粉砂质泥岩和泥岩.

(3) 下切谷充填序列的短期旋回与河流—湖泊作用的消长密切相关. 短期旋回初期, 河流作用较强, 短期旋回的泥砾岩和砂岩中所含的泥砾主要来源于河流侧向侵蚀. 短期旋回后期, 湖泊作用逐渐增强, 在旋回的上部发育湖泊作用为主的具波纹层理粉砂质泥岩和泥岩. 下切谷充填是河—湖共同作用

的结果, 其沉积机理类似于水进型三角洲, 与单纯的河流沉积机理差别较大. 因此, 建议把下切谷充填沉积体系归属于水进型三角洲.

(4) 在空间上下切谷充填的砂体具有叠瓦状结构. 在倾向剖面上, 充填下切谷的不同短期旋回形成的砂体, 沿下切谷底界面由坡折处溯源逐层叠置超覆, 向盆地方向分叉尖灭在泥岩中. 在横剖面上, 砂体呈透镜状错叠. 较早期短期充填旋回的砂体明显受次深谷的限制, 砂体主要发育于下切谷内的次深谷部位, 下切谷中的侵蚀残留高地以泥质充填为主. 后期次深谷对短期旋回形成的砂体的限制作用变弱, 越靠近盆地方向次深谷的限制作用越不明显, 砂体可发育于下切谷中的侵蚀残留高地部位, 反映了早期短期充填旋回具有明显的填平补齐作用, 以及随着河流流程增加, 湖泊作用增强, 河道稳定性变差.

(5) 下切谷油气优势输导体是油气勘探的重要线索. 沿下切谷底界面逐层叠置超覆的砂岩复合体, 在湖盆坡折之下的深盆区(中央拗陷区)直接叠覆在湖泊萎缩期的三角洲砂体之上, 形成了由深盆区到湖盆边缘长距离连续发育、叠置连通的砂岩复合体, 成为油气长距离运移的优势输导体. 松辽盆地青山口组—嫩江组的有效烃源灶局限于中央拗陷区, 西部斜坡青山口组—嫩江组的烃源岩没有进入生烃门限(向才富等, 2004; 付晓飞等, 2007), 齐齐哈尔西侧的富拉尔基油田与有效烃源灶的距离大于 80 km, 其油气的输导体主要是这一下切谷复合砂体. 在松辽盆地西部斜坡北部已发现油气田多与这一下切谷油气优势输导体有关, 表明, 与下切谷充填体相关的圈闭具有较好的油气充注能力, 下切谷油气优势输导体是油气勘探的重要线索, 下切谷就是“顺藤摸瓜”的“藤”, 油气田就是“藤”连的“瓜”.

## References

- Allen, G. P., Posamentier, H. W., 1993. Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: The Gironde estuary, France. *Sedimentary Petrology*, 63(3): 378—391.
- Ferguson, T. W., Davis, Jr. R. A., 2003. Post-Miocene stratigraphy and depositional environments of valley-fill sequences at the mouth of Tampa Bay, Florida. *Marine Geology*, 200(1—4): 157—170.
- Fu, X. F., Wang, P. Y., Lü, Y. F., et al., 2007. Tectonic features and control of oil-gas accumulation in the west

- slope of Songliao basin. *Chinese Journal of Geology*, 42 (2): 209—222 (in Chinese with English abstract).
- Gao, R. Q., Cai, X. Y., 1997. The formation conditions and distribution of oil and gas pools of Songliao basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 47—103 (in Chinese).
- Gao, R. Q., Xiao, D. M., 1995. The advancement of oil and gas exploration in Songliao basin and its periphery basins. Petroleum Industry Press, Beijing, 19—24 (in Chinese).
- Gao, R. Q., Zhang, Y., Cui, T. C., 1994. Cretaceous oil and gas strata of Songliao basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 6—47 (in Chinese).
- Ghinassi, M., 2007. The effects of differential subsidence and coastal topography on high-order transgressive-regressive cycles: Pliocene nearshore deposits of the Val d'Orcia basin, northern Apennines, Italy. *Sedimentary Geology*, 202(4): 677—701.
- Huang, C. Y., Wang, H., Xiao, D. Q., et al., 2007. Sequence patterns, characteristics of depositional systems and model of reservoirs of fault steep slope belt of the first member of Shahejie Formation in Banqiao sag. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(3): 386—391 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. X., Zhang, G. J., 1996. Progress on high resolution sequence stratigraphy in incised pelevally. *Advance in Earth Sciences*, 11(2): 216—220 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. J., Dong, Q. S., Wang, S. M., et al., 2002. Introduction to continental sequence stratigraphy & application. Petroleum Industry Press, Beijing, 113—137 (in Chinese).
- Paola, C., Heller, P. L., Angevine, C. L., 1992. Large-scale dynamics of grain size variation in alluvial basins. *Basin Research*, 4: 73—90.
- Posamentier, H. W., Vail, P. R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition II—Sequence and system tract models. In: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. St. C., et al., eds., Sea-level changes: An integrated approach. *SEPM Spec. Publ.*, 42: 125—154.
- Sui, F. G., Guo, Y. X., Wang, B. Y., et al., 2005. Fault break-slope and low-stand fan sequence in Dongying sag. *Petroleum Exploration and Development*, 32(2): 63—67 (in Chinese with English abstract).
- Swift, D. J., Thorne, J. A., 1991. Shelf sand and sandstone bodies, geometry, facies and sequence stratigraphy. *ISA Spec. Publ.*, 14: 189—255.
- Van Wagoner, J. C., Mitchum, R. M., Campion, K. M., et al., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in wells, logs, cores and outcrops; Concepts for high-resolution correlation of time and facies. *AAPG Methods in Exploration Series*, 7: 1—55.
- Wang, Y., Wang, Y. M., Zhao, Z. K., et al., 2005. Origin and evolution of the west slope belt in Member 4 of Quantou Formation to Yaojia Formation, South Songliao basin. *Petroleum Exploration and Development*, 32(3): 33—36 (in Chinese with English abstract).
- Wei, K. S., 1996. Nonmarine basin sequence stratigraphy—A case study of Songliao basin. Geological Publishing House, Beijing, 46—94 (in Chinese).
- Wei, K. S., Ye, S. F., Guo, Z. Q., 1996. Sequence stratigraphic model of nonmarine sediments in Cretaceous, Songliao basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 14(4): 50—60 (in Chinese with English abstract).
- Wescott, W. A., 1997. Channel and valley: Difference in word or meaning? *The Leading Edge*, 16(6): 867—873.
- Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G., et al., 1998. Sea-level changes: An integrated approach. *Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner.*, 42: 1—300.
- Xian, B. Z., Jiang, Z. X., Cao, Y. C., et al., 2001. Discovery of incised valley in southeast of Biyang depression and its significance. *Oil & Gas Geology*, 22(4): 304—308 (in Chinese with English abstract).
- Xiang, C. F., Xia, B., Xie, X. N., et al., 2004. Major hydrocarbon migration pathway system in western slope zone of Songliao basin. *Oil & Gas Geology*, 25(2): 204—208 (in Chinese with English abstract).
- Xin, R. C., Cai, X. Y., Wang, Y. M., 2004. Depositional model of lowstand and characteristics of sequence boundary in deep-water lake, Songliao depression basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(3): 387—392 (in Chinese with English abstract).
- Xin, R. C., Wang, Y. M., 2004. Origin and evolution of west slope breaks of Qingshankou-Yaojia Formation in northern Songliao basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 621—624 (in Chinese with English abstract).
- Ye, D. Q., Huang, Q. H., Zhang, Y., et al., 2002. Cretaceous stratigraphy in Songliao basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 53—98 (in Chinese).
- Ye, S. F., Wei, K. S., 1996. Condensed section and new evidence of marine inundation in Cretaceous, Songliao basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(3): 267—271 (in Chinese with English abstract).



- Zaitlin, B. A., Dalrymple, R. W., Boyd, R., 1994. The stratigraphic organization of incised valley systems associated with relative sea-level changes. In: Dalrymple, R. W., Boyd, R., Zaitlin, B. A., eds., *Incised valley systems: Origin and sedimentary sequence*. *SEPM Spec. Publ.*, 51:45—60.
- Zhang, G. J., Li, C. X., 1995. The infilling of the incised Qiantang River paleovalley and its sequence stratigraphic characteristics. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 15(4):57—68 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 付晓飞, 王朋岩, 吕延防, 等, 2007. 松辽盆地西部斜坡构造特征及对油气成藏的控制. *地质科学*, 42(2):209—222.
- 高瑞祺, 蔡希源, 1997. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律. 北京:石油工业出版社, 47—103.
- 高瑞祺, 萧德铭, 1995. 松辽及其外围盆地油气勘探新进展. 北京:石油工业出版社, 19—24.
- 高瑞祺, 张莹, 崔同翠, 1994. 松辽盆地白垩纪石油地层. 北京:石油工业出版社, 6—47.
- 黄传炎, 王华, 肖敦清, 等, 2007. 板桥凹陷断裂陡坡带沙一段层序样式和沉积体系特征及其成藏模式研究. *沉积学报*, 25(3):386—391.
- 李从先, 张桂甲, 1996. 下切古河谷高分辨率层序地层学研究的进展. *地球科学进展*, 11(2):216—220.
- 刘招君, 董清水, 王嗣敏, 等, 2002. 陆相层序地层学导论与应用. 北京:石油工业出版社, 113—137.
- 隋风贵, 郭玉新, 王宝言, 等, 2005. 东营凹陷深陷期构造坡折带与低位扇序列. *石油勘探与开发*, 32(2):63—67.
- 王颖, 王英民, 赵志魁, 等, 2005. 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. *石油勘探与开发*, 32(3):33—36.
- 魏魁生, 1996. 非海相层序地层学——以松辽盆地为例. 北京:地质出版社, 46—94.
- 魏魁生, 叶淑芬, 郭占谦, 等, 1996. 松辽盆地白垩系非海相沉积层序模式. *沉积学报*, 14(4):50—60.
- 鲜本忠, 姜在兴, 操应长, 等, 2001. 泌阳凹陷东南部下切谷的发现及其意义. *石油与天然气地质*, 22(4):304—308.
- 向才富, 夏斌, 解习农, 等, 2004. 松辽盆地西部斜坡带油气运移主输导通道. *石油与天然气地质*, 25(2):204—208.
- 辛仁臣, 蔡希源, 王英民, 2004. 松辽坳陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式. *沉积学报*, 22(3):387—392.
- 辛仁臣, 王英民, 2004. 松辽盆地北部青山口—姚家组西部坡折带成因及演化. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(5):621—624.
- 叶得泉, 黄清华, 张莹, 等, 2002. 松辽盆地白垩纪介形类生物地层学. 北京:石油工业出版社, 53—98.
- 叶淑芬, 魏魁生, 1996. 松辽盆地白垩系的密集段及海水入侵的新证. *地球科学——中国地质大学学报*, 21(3):267—271.
- 张桂甲, 李从先, 1995. 钱塘江下切河谷充填及其层序地层学特征. *海洋地质与第四纪地质*, 15(4):57—68.