

文章编号: 1000-0550(2007) 01-0029-10

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

卓弘春¹ 林春明¹ 李艳丽¹ 冯志强² 张顺² 赵波²

(1. 成矿作用国家重点实验室 南京大学地球科学系 南京 210093

2 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 青山口组和姚家组形成于盆地演化的拗陷期, 此时松辽湖盆北部发育富有特色的大型湖泊三角洲沉积, 沿湖盆纵向长轴主要出现三角洲—湖相泥岩充填模式, 发育三角洲和湖泊两种沉积相类型。从盆地边缘到盆地中心, 沉积相由浅水三角洲逐渐变为湖泊沉积。其中青山口组主要发育滨湖、浅湖、半深湖—深湖沉积亚相; 姚家组主要发育三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲沉积亚相。岩心观察资料显示, 研究区泉头组顶部至姚家组顶部共识别出 6 个沉积层序, 相应有 7 个沉积层序界面, 其中一个同时为超层序界面。层序界面附近主要见古土壤、冲刷面、钙质结核、削截等现象, 层序界面之上覆盖鲕粒灰岩、生物屑灰岩, 并见虫孔构造、黄铁矿等。

关键词 沉积相 层序地层界面 青山口—姚家组 松辽盆地北部

第一作者简介 卓弘春 男 1980 年出生 硕士研究生 沉积学与石油地质学

中图分类号 P512.2 P539.2 文献标识码 A

1 前言

松辽盆地位于中国东北部, 是我国中、新生代大型内陆湖盆之一, 地跨黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区, 呈北北东向展布, 长轴约 750 km, 短轴 330~370 km, 总面积超过 287 000 km² (图 1)。盆地北部主要充填中、新生代碎屑岩, 其中白垩纪地层为主要的沉积岩系, 也是松辽盆地的主要产油层^[1]

松辽盆地北部晚白垩世底部地层为青山口组 (K_2qn) 和姚家组 (K_2y), 它们形成于松辽盆地演化的拗陷期, 此时是盆地发育的全盛时期^[1]。青一段 (K_2qn^1) 经历了一次大的湖侵^[1,2], 该时期湖盆面积较大, 沉积了一套富有机质的半深湖—深湖亚相黑色泥岩。青二、三段 ($K_2qn^{2,3}$) 到姚二、三段 ($K_2y^{2,3}$) 沉积时期, 总体上为水退^[1], 湖盆收缩, 沉积物富砂。

对于松辽盆地北部青山口组和姚家组, 前人在生物地层、地质年龄划分、构造演化、层序地层等研究方面取得了有意义的成果^[3,4,5]。本文利用钻井、古生物资料, 结合地震资料和分析化验数据, 运用沉积学和层序地层学的基本原理和方法, 对青山口组和姚家组的沉积相和层序地层特征进行了较为详细的研究, 目的在于对其沉积和层序界面特征有进一步的认识。

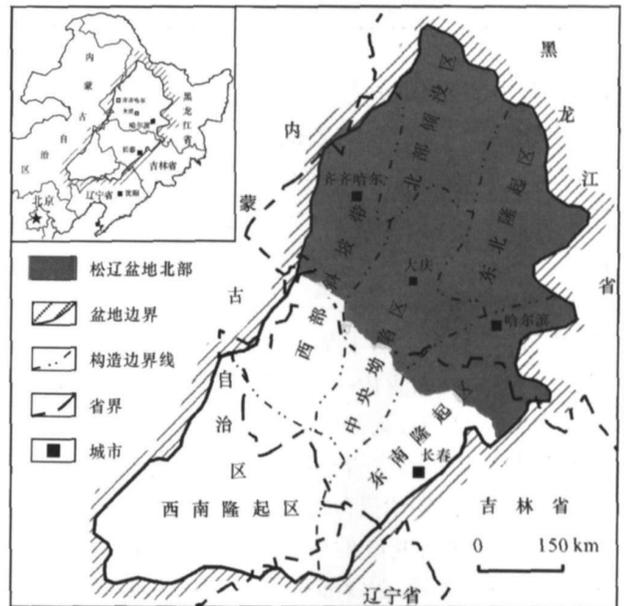


图 1 松辽盆地地理位置及构造分区

Fig 1 Location and tectonic division of Songliao Basin

2 沉积地层特征

松辽盆地上白垩统自下而上主要发育 (表 1): 青山口组 (K_2qn)、姚家组 (K_2y)、嫩江组 (K_2n)、四方台

组 (K_2s)和明水组 (K_2m)。本研究的目的层青山口组为赛诺曼期—土仑期 (Cenomanian—Turonian) 地层,姚家组为康尼亚克期—三冬期 (Coniacian—Santonian) 地层^[1]。

表 1 松辽盆地白垩纪地层简表

Table 1 Stratigraphy of Cretaceous in Songliao Basin

系、统	组	地层代号	国际地层(期)
第四系		Q	
新近系	泰康	Nt	
	大安	Nd	
古近系	依安	Ey	
上白垩统	明水	K_2m	马斯特里赫特期 (Maastrichtian)
	四方台	K_2s	
	嫩江	K_2n	坎潘期 (Cenomanian)
			三冬期 (Santonian)
	姚家	K_2y	康尼亚克期 (Coniacian)
	青山口	K_2qn	赛诺曼期—土仑期 (Cenomanian—Turonian)
	下白垩统	泉头	K_1q
	登娄库	K_1d	巴雷姆期—阿普特期 (Barremian—Aptian)
	营城	K_1y	欧特里夫期 (Hauterivian)
	沙河子	K_1sh	凡兰吟期 (Valanginian)
	火石岭	K_1h	贝利阿斯期 (Berriasian)
侏罗系		J	

2.1 青山口组 (K_2qn)

研究区青山口组与下伏泉头组为整合接触^[1]。依据岩性、电性特征以及古生物资料,青山口组垂向上可分为三段(表 1),自下而上分别称为青一段 (K_2qn^1)和青二、三段 ($K_2qn^{2,3}$)。

青山口组岩性主要为一套黑色、绿色泥岩和砂岩,下部以泥岩为主,上部泥岩夹砂岩。除研究区西部边缘被剥蚀外,青山口组在研究区内比较发育,但岩相、岩性变化大,从盆地边缘到盆地中心,依次发育三角洲和滨湖相砂泥岩互层、浅湖相砂泥岩不等厚互层、半深湖—深湖相黑色泥岩和页岩。

青一段在研究区的中部、东部和南部为暗色泥岩、页岩和油页岩,在西部和北部为灰黑、灰绿色泥岩和灰白色粉砂岩。泥岩和油页岩比较发育是本段的重要特征之一,本段底部黑色泥岩夹劣质油页岩是地层对比的主要标志之一^[1]。青一段电阻率曲线为低阻小锯齿状,自然电位曲线呈低值近平直状。

青二、三段在研究区中部、南部和东部为灰黑、灰绿色泥岩夹薄层灰色钙质粉砂岩和介形虫层,局部见生物灰岩;在西部和北部砂岩较为发育,主要是灰色、灰绿色粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩。青二、三段电阻率曲线呈紧密梳状以及刺刀状尖峰高阻。

2.2 姚家组 (K_2y)

姚家组与下伏青山口组在研究区中部为整合接触,在北部和西部为假整合接触^[1]。姚家组自下而上分为姚一段 (K_2y^1)和姚二、三段 ($K_2y^{2,3}$)。

姚家组在盆地中部保存比较完整,在盆地西部受到剥蚀。该组岩性变化比较大,在盆地中部以半深湖—深湖相黑色泥岩为主,向南、向东变为以三角洲—滨浅湖相红色泥岩为主,向北、向西变为浅湖—三角洲相砂泥互层。

姚一段岩性主要为绿灰、灰白色砂岩与灰、深灰、灰绿、棕色、紫红色泥岩互层。在盆地西部砂质含量比其他地方高,总体上从盆地边缘往盆地中心,泥质含量增大,相应地砂质含量减少、砂层变薄。泥岩和砂岩层理都不发育,以块状层理为主,砂岩底部常见泥砾。电阻率曲线为平滑曲线的高电阻和低电阻相间。

姚二、三段岩性主要为灰绿、灰黑色泥岩与绿灰、灰白色砂岩互层。盆地中部出现灰黑色泥岩夹薄层油页岩、灰绿色泥岩、灰白色粉砂岩以及绿灰色介形虫层。盆地西北部为灰白色、灰绿色砂岩、粉砂岩与棕红色泥岩互层,砂岩较厚并含较多泥砾。姚二、三段电阻率曲线为高阻、低阻相间出现,呈刺刀状或梳状。

3 沉积相类型及其特征

松辽盆地在白垩纪中晚期已形成统一的大型坳陷盆地,沿湖盆纵向长轴出现辫状河—曲流河—三角洲—湖相泥岩充填模式。湖泊—三角洲沉积体系比较发育是青山口—姚家组的主要特征。

3.1 三角洲相

湖泊三角洲是河流入湖后形成的陆源碎屑沉积体系,主要出现在滨湖至浅湖,也可延伸至半深湖水域^[6]。三角洲沉积体系可划分为三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲亚相^[7]。三角洲是一个复杂的环境,对于汇入湖泊中水平面的变化都极其敏感^[8]。青二、三段至姚二、三段沉积时期松辽盆地整体处于水退过程,是盆地总体坳陷过程中的一个显著充填时期。此时气候较干旱、地势较缓,周围有高隆的物源区提供丰富的物源,因此发育大型浅水三角洲,通常水深不超过 10 m^[9,10]。

3.1.1 三角洲平原

三角洲平原是三角洲的陆上部分,平面上它从河流大量分叉处到湖岸线。三角洲平原以分流河道为

骨架, 两侧发育天然堤和决口扇等沉积微相, 分流河道间经常发育沼泽或小型湖泊。如卫 22 井姚一段 1485.3~1495.7 m 井段 (图 2), 岩石类型有绿灰色、灰色粉砂质泥岩, 绿灰色泥质粉砂岩, 绿灰色粉质砂岩和浅灰色细砂岩, 含较多钙质结核。分流河道和沼泽微相中分别发育交错层理和透镜层理。沼泽沉积中见薄的介形虫层, 天然堤、分流河道沉积中见较多炭屑。

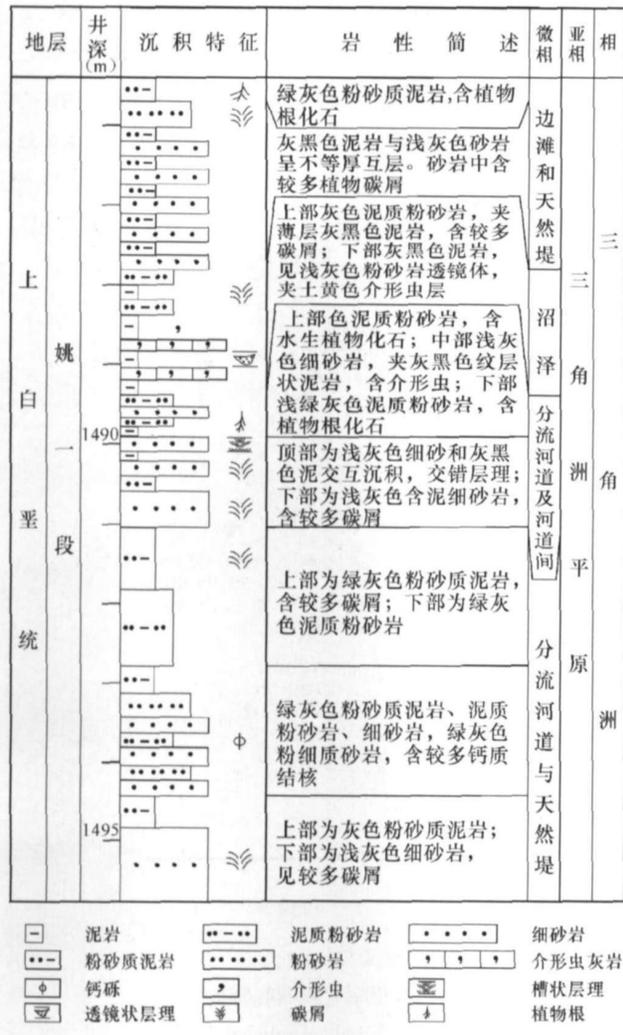


图 2 松辽盆地北部卫 22 井上白垩统姚一段三角洲平原沉积
Fig. 2 Delta plain deposition of Upper Cretaceous K¹y Formation in Well Wei 22, Northern Songliao Basin

三角洲平原分流河道砂体的粒度概率累积曲线大多为两段型和三段型, 以典型牵引流的跳跃搬运为主, 悬浮搬运为次, 一般缺乏滚动组分。如卫 22 井 1523.35 m 和 1534.96 m 处 (图 3), 砂体概率累积曲线为三段型, 由跳跃次总体和悬浮次总体组成。跳跃次总体发育两个粒度次总体。第一跳跃次总体百分

含量 80%~85%, 粒度区间为 1.5Φ~2.2Φ, 直线段倾角为 75°~80°。第二跳跃次总体百分含量 10%~15%, 粒度区间为 2.0~3.0Φ, 直线段倾角为 40°~50°。悬浮次总体直线段倾角为 15°~30°, 与跳跃次总体的交截点 Φ 值为 3.0~3.5, Φ 值较大, 反映搬运介质的扰动强度较低^[11]。两段型以跳跃和悬浮次总体为主 (图 3), 跳跃次总体百分含量约占 70%, 粒度区间为 2.0~3.0Φ, 跳跃次总体直线段倾角与三段型的倾角相近, 粒度较均匀。两段型概率累积曲线悬浮次总体的倾角约 35°, 近似于三段型曲线过渡段直线的倾角。

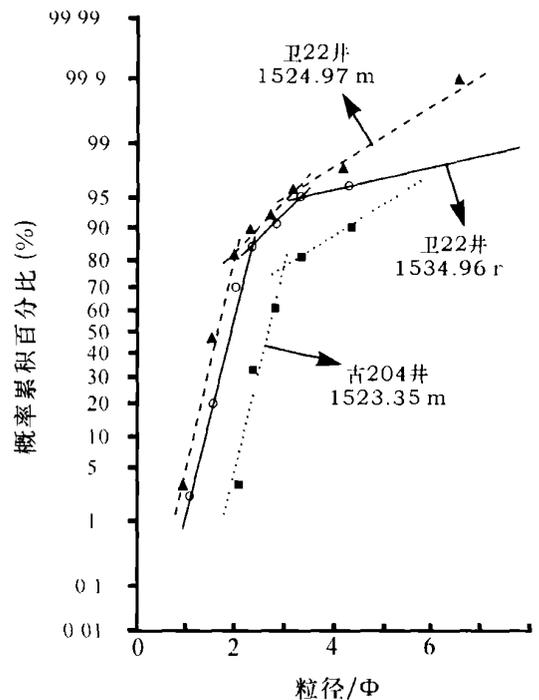


图 3 松辽盆地北部上白垩统姚一段三角洲平原分流河道沉积物粒度概率累积曲线特征

Fig. 3 Cumulative granulometry probability curves of distributary channel sediments of delta plain in Upper Cretaceous K¹y formation in Northern Songliao Basin

3.1.2 三角洲前缘

三角洲前缘位于三角洲平原外侧向湖方向, 处于湖平面与正常浪基面之间, 沉积作用活跃。三角洲前缘亚相可进一步分为水下分流河道、水下分流河道间、河口坝、席状砂和远砂坝等沉积微相。

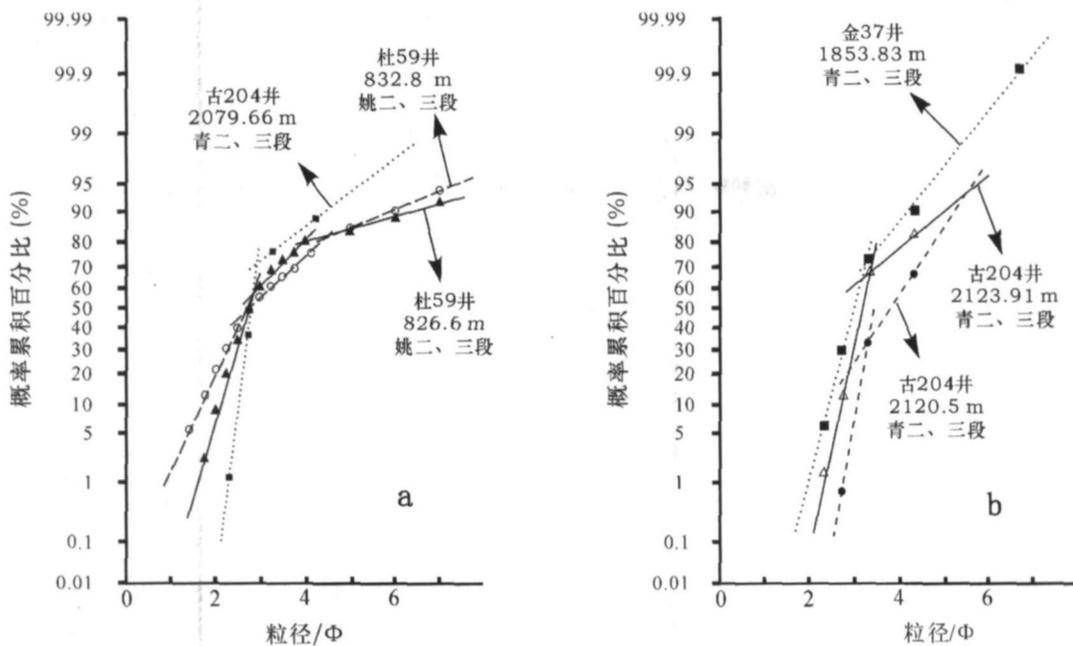
姚家组沉积时期, 松辽盆地北部地区地势较缓^[9], 三角洲前缘亚相发育, 且该相带展布范围大。三角洲前缘岩性主要为灰色粉砂岩、细砂岩夹薄层灰、灰黑色泥岩或泥质粉砂岩。泥岩主要发育在水下

分流河道间沉积微相中,具水平层理,夹介形虫层;砂岩主要发育在水下分流河道、河口坝以及席状砂等沉积微相中,具斜层理,其中可见介形虫化石。分流河道沉积中还可可见含砾细砂岩、中粗砂岩,砾石直径 2 ~ 4 mm,次圆状。分流河道砂岩中保存从上游携带来的植物茎叶化石。

三角洲前缘水下分流河道砂体的粒度概率累积曲线大多数为三段型,也见两段型。三段型为由跳跃次总体和悬浮次总体组成,如杜 59 井(图 4a),跳跃次总体发育两个粒度次总体。第一跳跃次总体百分含量占 50% ~ 60%, Φ 值在 1.5 ~ 3.0 之间,直线段倾角为 65° ~ 75°。第二跳跃次总体百分含量占 20% ~ 30%, Φ 值在 2.5 ~ 4.5 之间,直线段倾角 45° 左右,与第一跳跃次总体的交截点在 2.5 ~ 3.0 Φ 。悬浮次总体与跳跃次总体交截点在 3.5 ~ 4.5 Φ ,直线段倾

角 15° ~ 20°,其百分含量占 20% ~ 30%,比三角洲平原分流河道悬浮次总体含量偏大。两段型以跳跃搬运为主,悬浮搬运次之,缺乏滚动组份,如古 204 井(图 4a),跳跃次总体含量占 70%, Φ 值在 2.0 ~ 3.0 之间,直线段倾角为 81°,水下分流河道水流较为稳定。

三角洲前缘河口坝砂体粒度概率累积曲线呈现两段型,以跳跃搬运为主,悬浮搬运次之,缺乏滚动组份。如图 4b,跳跃次总体含量变化较大,在 35% ~ 75% 之间, Φ 值在 1.5 ~ 3.0 之间,直线段倾角 75° ~ 80°。悬浮次总体和跳跃次总体的交截点在 3.0 Φ 左右,直线段倾角 35° ~ 55°。古 204 井(图 4b)从 2123.9 m 处往上至 2120.5 m 处,跳跃次总体百分含量降低,直线段倾角变缓,表明往上水动力条件降低。



(a) 三角洲前缘水下分流河道沉积 (b) 三角洲前缘河口坝微相概率累积曲线

图 4 松辽盆地北部上白垩统青山口—姚家组三角洲前缘沉积物粒度概率累积曲线特征

Fig. 4 Cumulative grain size probability curves of delta front in Upper Cretaceous Qingshankou Yaojia Formation in Northern Songliao Basin

3.1.3 前三角洲

前三角洲位于三角洲入湖的最远端,处于正常浪基面以下,水体稳定,岩性主要为暗色泥岩、粉砂质泥岩,含少量水下分流河道带来的极细砂。该相带发育水平纹层和块状层理,含较多潜穴等生物扰动构造,可见介形虫、叶肢介等生物化石。松辽盆地北部青二、三段到姚二、三段沉积时期,由于地形较缓、水体

较浅,前三角洲亚相与半深湖—深湖亚相沉积区域重叠,两者交互沉积,因此,前三角洲亚相沉积与半深湖—深湖亚相沉积区分不明显,都是以深灰色泥岩为主。

3.2 湖泊相

湖泊相沉积主要发育于青山口组早期和姚家组晚期,分布面积和沉积厚度都比较大^[1]。依据沉积

物在湖泊内的位置以及湖水深度, 湖泊相可进一步划分为滨湖、浅湖和半深湖—深湖亚相。

3 2 1 滨湖亚相

滨湖亚相分布于湖泊的边缘, 位于洪水线和枯水线之间, 受湖水进退的影响较大, 时而被湖水淹没时而暴露, 因此呈现较强的氧化特征。受击岸浪的冲刷、筛选和淘洗, 岩石成熟度高, 分选性和磨圆度好。由湖岸向湖心方向沉积物由粗变细。在开阔湖岸湖区, 若物源碎屑物供应充分, 可形成砾质、砂质湖滩沉积^[12]。湖滩沉积物中常见湖浪从浅水地带搬运过来的生物化石碎屑, 有时可集中形成鲕粒滩、介壳滩。若湖滨地形平缓, 滨湖相带更宽一些, 其水动力较弱, 波浪作用不能波及岸边, 物质供应以泥质为主, 可形成泥滩沉积。

松辽盆地北部青山口—姚家组沉积时期, 砾质湖滩不发育, 但泥滩、砂质湖滩、鲕粒滩和介壳滩都比较发育。如金 37 井青二、三段 1888.5~1893.9 m 井段 (图 5), 发育滨湖亚相, 包含的沉积微相有砂质滩、混合滩和鲕粒滩。砂质滩微相岩性主要为细砂岩, 砂质粒度均一, 发育斜层理, 砂岩中见生物介壳化石, 反映较强的水动力环境; 混合滩以砂泥互层沉积为主, 具波状层理, 少见生物化石, 水动力条件较弱, 可见垂直虫孔和斜虫孔。混合滩是由于比较明显的水动力条件变化而形成的, 在滨湖和浅湖亚相中都有发育, 它们的区别主要是滨湖亚相混合滩砂质含量较大、粒度较粗, 而浅湖亚相混合滩砂质含量较小、粒度较细; 鲕粒滩一般和砂质滩叠置出现, 鲕粒呈次圆—圆状, 破碎、完整均可见, 具羽状和槽状交错层理, 表明鲕粒滩沉积时的水动力条件较强, 处于湖浪的动荡作用下。

滨湖砂质滩微相沉积物粒度概率累积曲线一般为两段型, 以跳跃搬运和悬浮搬运为主 (图 6)。跳跃次总体百分含量占 60%~70%, Φ 值在 2.0~3.5 之间, 直线段倾角 75°~80°, 表明沉积物粒度均匀。悬浮次总体与跳跃次总体的交截点在 2.5 Φ 和 3.5 Φ 之间, 其直线段倾角为 40°~50°。滨湖沉积物由于受到湖浪分选作用, 粒度概率累计曲线显示分选较好、悬浮次总体含量较稳定的特征。

3 2 2 浅湖亚相

浅湖亚相位于滨湖亚相内侧至波基面之间, 水体比滨湖区深, 沉积物受到波浪和湖流的影响较大。松辽盆地北部浅湖沉积物以细砂岩、粉砂岩和泥岩为主, 并见鲕粒灰岩及生物屑灰岩。层理类型以波状层理、平行层理和水平层理为主, 水动力较强处发育小

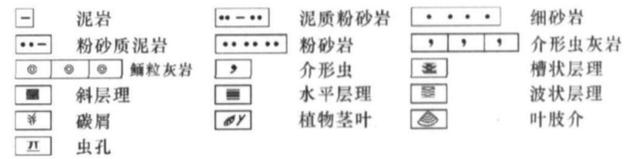
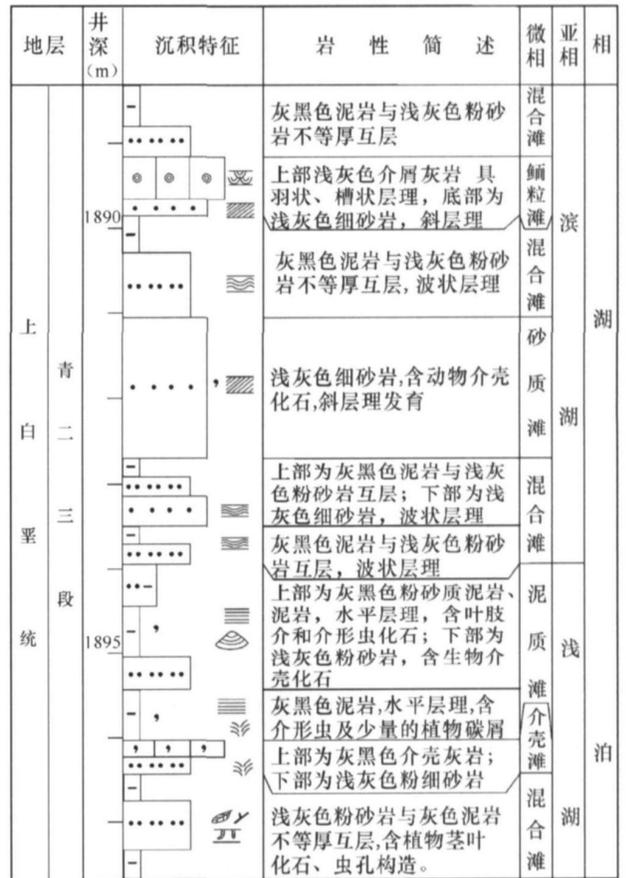


图 5 松辽盆地北部金 37 井上白垩统青二、三段滨湖、浅湖沉积
Fig 5 Shore-shallow lake deposition of Upper Cretaceous qn2, 3 Formation in Well Jin 37, Northern Songliao Basin

型交错层理。如金 37 井青二、三段 1893.5~1897.7 m 井段 (图 5) 发育浅湖亚相, 包含鲕粒滩、介壳滩、混合滩和泥质滩。鲕粒滩、介壳滩常发育于粉砂岩沉积之上, 介壳以介形虫为主, 不完整、完整状皆可见; 混合滩以粉砂岩和泥岩互层为主, 含植物茎叶化石、虫孔构造; 泥质滩以灰黑色泥岩为主, 具水平层理, 含介形虫和叶肢介化石。

3 2 3 半深湖—深湖亚相

松辽盆地在青山口组沉积初期, 湖盆进入快速沉降阶段^[1, 5], 在缓坡地带发育明显的半深湖与深湖沉积亚相, 在陡坡带它们不易区分; 而在姚家组沉积时期, 发生水退, 湖泊变浅, 这两个亚相的区别进一步模糊。本文为了便于总结, 将这两个亚相统称半深湖—

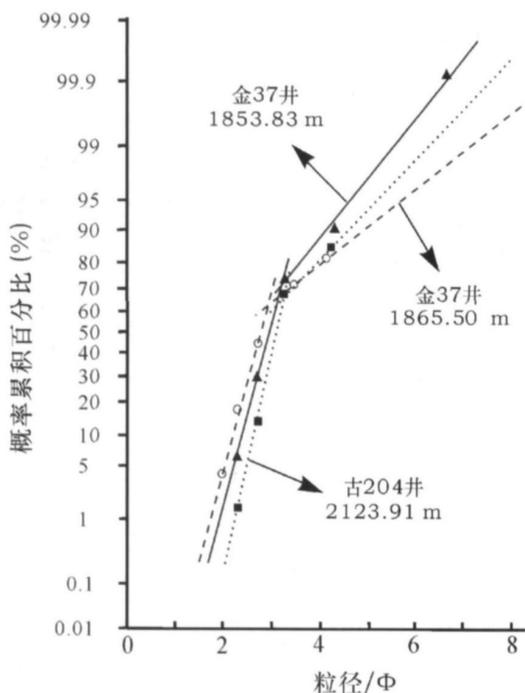


图 6 松辽盆地北部上白垩统青二、三段滨湖沉积物粒度概率累积曲线特征

Fig 6 Cumulative grain size probability curves of Shore-shallow lake sediments of Upper Cretaceous Qn2-3 Formation, Northern Songliao Basin

深湖亚相。

半深湖—深湖亚相位于正常浪基面以下到湖盆中水体最深的部位,处于缺氧的弱还原—还原环境。沉积物主要受湖流和风暴浪的作用,深湖部位已经完全不受波浪作用,处于完全缺氧的还原环境^[12]。该相带岩性特征表现为粒度细、颜色深、有机质含量高。岩性类型以粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩和页岩为主,并可发育灰岩、泥灰岩和油页岩,层理发育,为水平层理^[11]。

4 层序地层界面特征

研究区泉头组顶部至姚家组顶部共识别出 6 个沉积层序,自下而上依次命名为 S1、S2、S3、S4、S5 和 S6(表 2),相应 7 个沉积层序界面,自下而上依次命名为 SB1、SB2、SB3、SB4、SB5、SB6 和 SB7,其中 SB5 同时为超层序界面。

4.1 超层序界面

超层序相当于二级层序,时代跨度为 9~10 Ma^[3]。在松辽盆地北部青山口—姚家组中识别出一个超层序界面,即青山口组与姚家组的分界面,这与

前人的认识比较一致^[3,4,13,14],它对应于晚燕山运动主要幕次造成的区域不整合面。该界面在姚一段发育区为姚一段底界,在姚一段缺失而姚二、三段发育区为姚二、三段底界,在地震、岩性、测井、古生物等资料上都有比较明显的表现。

表 2 松辽盆地北部上白垩统青山口—姚家组层序划分表
Table 2 Stratum division of Upper Cretaceous Qingshankou -Yaojia Formation in Northern Songliao Basin

统	组	段	沉积层序	层序界面	超层序	反射层
上白垩	嫩江				I	T ₁
		姚家	姚二、三段	S6		
	青山口	姚家	姚一段	S5	SB6	T ₁ ¹
				S4	SB5	
		青二、三段		S3	SB4	
				S2	SB3	
下白垩	泉头	青一段	S1	SB2	II	T ₂

超层序界面一般为不整合界面,在地震剖面上最明显的特征是削截和上超反射终止现象。削截是可容空间减少,水面相对下降,前期沉积的地层受到剥蚀;上超则是可容空间增加,水面相对上升。在 1800 地震测线上该超层序界面对应于 T₁¹反射层,中弱振幅,中低连续, T₁¹之下可见明显的削截反射终止现象(图 7)。

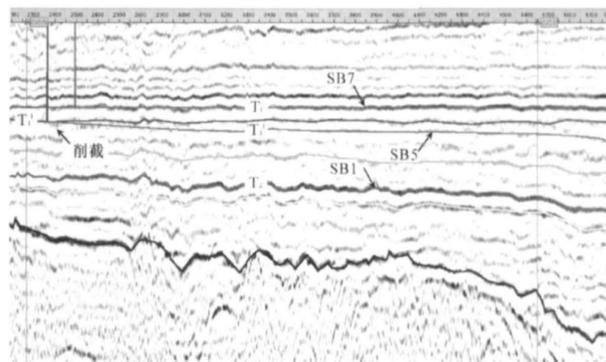


图 7 松辽盆地北部超层序界面地震反射特征(1800测线)
Fig 7 Seismic reflection features of supersequence boundary in Northern Songliao Basin(line 180-0)

岩性上,该界面之下为灰黑、灰绿色泥岩夹薄层灰色钙质粉砂岩和介形虫层,局部夹生物灰岩;界面之上为灰绿、紫灰色泥岩与绿灰、灰白色砂岩互层。前人岩心观察以及沉积相分析也发现超层序界面之上存在泥砾以及滞留砾岩、发育鲕粒灰岩和介壳灰岩和暴露标志(如根土岩、钙质结核等)、浅水相覆盖在深水相之上^[3,5]。测井曲线上,该界面表现为加积 /

退积渐变型(图 8a)、退积 前积型(图 8b)、前积 加积型(图 8c)和加积 加积型(图 8d)等多种现象。

生物演化上, 界面之下曲线女星介 (*Cypridea panda*)—端尖三角星介 (*Triangulicypris fusiformis*) 组合及粒面球藻属 (*Granodiscus*)—棒球藻属 (*Filiphæridium*) 组合基本消失; 界面之上发育外饰女星介 (*Cypridea exornata*)—后拉狼星介 (*Lycoptero-cypris retractilis*) 组合和盘星藻属 (*Pediastrum*)—粒面球藻属 (*Granodiscus*) 组合。这一界面构成生物群环境更替和变异的界限, 表现为姚家组新兴生物分子的出现, 而青山口组繁盛的生物群分子则衰退以至绝灭。孢粉分析也表明松辽盆地拗陷期古气候的凉 热和湿 干的变化和该界面有很好的吻合关系^[4]。

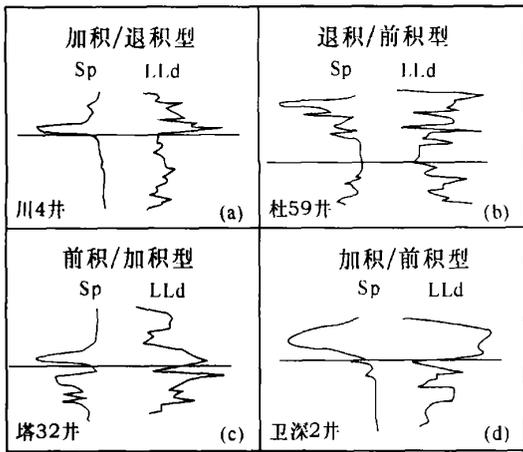


图 8 松辽盆地北部超层序界面测井曲线特征
Fig 8 Logging curve features of supersequence boundary in Northern Songliao Basin

4 2 沉积层序界面

泉头组顶部至姚家组顶部 6 个沉积层序反映研究区三冬期 (Santonian) 至土仑期 (Turonian) 有 6 个湖平面升降旋回。若以该时期 (98~82) 16 Ma 计, 平均每个沉积层序延续时间约为 2.6 Ma 与王鸿祯等认为的 2~5 Ma^[15] 以及 Gohlhammer 等人提出的 1~10 Ma^[16] 的延续时间大致相当。

限于地震剖面的分辨率, 沉积层序界面主要在钻井上识别。松辽盆地北部岩心资料比较丰富, 利用这些资料可以在一定条件下准确识别沉积层序界面。沉积层序界面在研究区岩心资料上主要表现为根土岩、冲刷面和沉积相的突变等特征。本文依次将沉积层序 SB1、SB2、SB3、SB4、SB6 和 SB7 的特征分述如下。

4 2 1 SB1

SB1 分布在泉四段内 (表 2), 表现为砂泥岩突变面, 界面之下为灰白色薄层粉砂岩或泥质粉砂岩 (图 9); 界面之上以绿色块状泥岩为主, 夹紫红色泥岩。界面之下测井曲线形态为舌形和钟形, 界面之上自然电位曲线形态为线形, 自然电位曲线和伽马曲线幅度变大, 双侧向电阻率曲线变小。

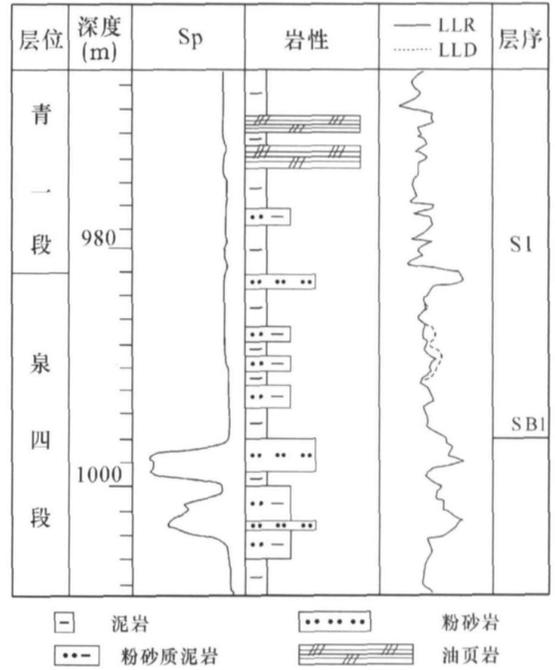


图 9 松辽盆地北部杜 59 井 SB1 岩性、电性特征
Fig 9 Lithological character and electrical properties of SB1 in Well Du 59 in Northern Songliao Basin

古生物演化上, SB1 之下的椭圆形女星介 (*Cypridea elliptica*)—变形女星介 (*Cypridea deformata*) 组合和蝙蝠藻属 (*Nyctericysta*)—口盖藻属 (*Operculodinium*) 组合基本消失。SB1 之上介形类发育似细瘤状女星介 (*Cypridea sububerculisparga*)—老女星介 (*Cypridea vetusta*) 组合。

4 2 2 SB2

SB2 分布在青二、三段内 (表 2), 研究区内盆地西斜坡和盆地中心此界面之下为灰、浅灰色薄层粉砂岩、泥质粉砂岩和灰质介形虫层, 在盆地其他部位多为灰色粉砂岩; 界面之上主要是黑、灰黑色泥岩。界面之下自然电位曲线为舌形或线形, 双侧向电阻率曲线为舌形、箱形和齿化的漏斗形; 界面之上自然电位曲线为线形或齿化线形。界面处自然电位值变大, 双侧向电阻率曲线值变小。

古生物演化上, SB2 之下外凸三角星介 (*Triangulicypris torsuosus*)—外凸三角星介友谊变种 (*Triangulicypris torsuosus var. nota*) 组合和口堪斯藻属 (*Kiokansium*)—拟沟裸藻属 (*Dinogymniopsis*) 组合基本消失。SB2 之上介形类发育德惠女星介 (*Cypridea dekhoinensis*)—富湖女星介 (*Limnocypridea copiosa*) 组合。

4 2 3 SB3

SB3 分布在青二、三段内 (表 2), 研究区内此界面之下为灰、浅灰色薄到中厚层粉砂岩和泥质粉砂岩; 界面之上为灰黑、灰绿色泥岩与薄层泥质粉砂岩互层。界面之下自然电位曲线为钟形、舌形, 自然伽马曲线为齿化线形, 双侧向电阻率曲线为箱形、钟形; 界面之上测井曲线形态为齿化的线形。界面处自然电位和伽马值变大, 双侧向电阻率值变小。

古生物演化上, SB3 之下德惠女星介 (*Cypridea dekhoinensis*)—富湖女星介 (*Limnocypridea copiosa*) 组合基本消失。SB3 之上介形类发育隆起湖女星介 (*Limnocypridea inflata*)—膨胀松辽介 (*Sunliuvia tumida*) 组合。

4 2 4 SB4

SB4 分布在青二、三段内 (表 2), 研究区内此界面之下为介形虫层或灰、浅灰色薄层粉砂岩、泥质粉砂岩与黑色泥岩互层, 夹钙质粉砂岩; 界面之上为黑、灰黑色泥岩, 在盆地东南部见红色泥岩。在研究区杜 43 井, SB4 之下主要是灰、浅灰色粉砂岩, SB4 之上主要是黑灰色泥岩和介形虫层。界面之下自然电位曲线为漏斗形, 自然伽马曲线为齿化线形, 双侧向电阻率曲线为舌形和漏斗形; 界面之上测井曲线形态为齿化线形。界面处自然电位和伽马值变大, 双侧向电阻率值变小。

古生物演化上, SB4 之下隆起湖女星介 (*Limnocypridea inflata*)—膨胀松辽介 (*Sunliuvia tumida*) 组合基本消失。SB4 之上介形类发育曲线女星介 (*Cypridea panda*)—一端尖三角星介 (*Triangulicypris usiformis*) 组合。

4 2 5 SB6

SB6 分布在姚一段内 (表 2), 在研究区内此界面之下主要为浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩, 夹薄层钙质

古生物演化上, SB7 之下外饰女星介 (*Cypridea exomata*)—后拉狼星介 (*Lycpteroocypris retractilis*) 组合、杪椌孢属 (*Cyathidites*)—希指蕨孢属 (*Schizae oisporites*)—三沟粉属 (*Tricolpites*) 组合和盘星藻属 (*Pediastrum*)—粒面球藻属 (*Granodiscus*) 组合基本消失。

粉砂岩; 界面之上为黑、灰绿色泥岩, 在盆地东南部出现紫红色泥岩。界面之下在盆地中部和东南部自然电位曲线为钟形和线形, 自然伽马曲线为钟形和齿化线形, 双侧向电阻率曲线为齿化的箱形和钟形。界面之上测井曲线形态为线形和齿化线形。界面处自然电位和伽马值变大, 双侧向电阻率值变小。

古生物演化上, SB6 之下发育的介形类、孢粉和藻类组合分别是曲线女星介 (*Cypridea panda*)—一端尖三角星介 (*Triangulicypris usiformis*) 组合、巴尔姆大孢属 (*Balmisporites*)—杪椌孢属 (*Cyathidites*)—克拉梭粉属 (*Classopollis*) 组合和无突出肋纹孢属 (*Cicatricosporites*)—杪椌孢属 (*Cyathidites*)—双束松粉属 (*Pinuspollenites*) 组合和粒面球藻属 (*Granodiscus*)—棒球藻属 (*Filiphaeridium*) 组合基本消失。SB6 之上介形类发育外饰女星介 (*Cypridea exomata*)—后拉狼星介 (*Lycpteroocypris retractilis*) 组合、孢粉发育杪椌孢属 (*Cyathidites*)—希指蕨孢属 (*Schizae oisporites*)—三沟粉属 (*Tricolpites*) 组合和藻类发育盘星藻属 (*Pediastrum*)—粒面球藻属 (*Granodiscus*) 组合。

4 2 6 SB7

SB7 分布在姚二、三段内 (表 2), 研究区内此界面之下为灰、浅灰色粉砂岩夹薄层灰黑色泥岩; 界面之上盆地西斜坡为厚层灰绿色泥岩, 向盆地中心逐渐过渡为灰色泥质粉砂岩夹薄层黑色泥岩和厚层黑色泥岩, 盆地东部和南部变为厚层红色泥岩和红色粉砂质泥岩和泥岩互层。界面之下自然电位曲线为舌形和线形, 自然伽马曲线为齿化漏斗形, 双侧向电阻率曲线为钟形; 界面之上测井曲线形态为线形和齿化线形; 界面处自然电位和伽马值变大, 双侧向电阻率值变小。如杜 59 取心井 (图 10) 姚二、三段 816 35 m 深处 SB7 界面为冲刷面, 此界面之下为绿灰色含泥粉砂岩, 见泥砾, 界面之上数层薄层介形虫层和灰白色结晶灰岩间互出现, 其中见 1 mm 厚的自生黄铁矿。灰白色结晶灰岩中方解石全部重结晶, 每层中自下而上方解石由颗粒状粉晶向花斑状大晶体过渡, 表明地层曾暴露经受淡水淋滤, 经历重结晶作用^[17]。这些现象表明后期嫩江组水进比较迅速, 水体在较短时间内达到很深, 同时也表明湖水曾有过数次动荡。SB7 之上介形类发育背角女星介 (*Cypridea dorsoangula*)—脊状枣星介 (*Ziziphocypris concta*) 组合、孢粉发育美丽粉属 (*Beauprea idites*)—杪椌孢属 (*Cyathidites*)—希指蕨孢属 (*Schizae oisporites*) 组合、藻类发育大庆拟沟裸藻 (*Dinogymniopsis daqingensis*) 组合。

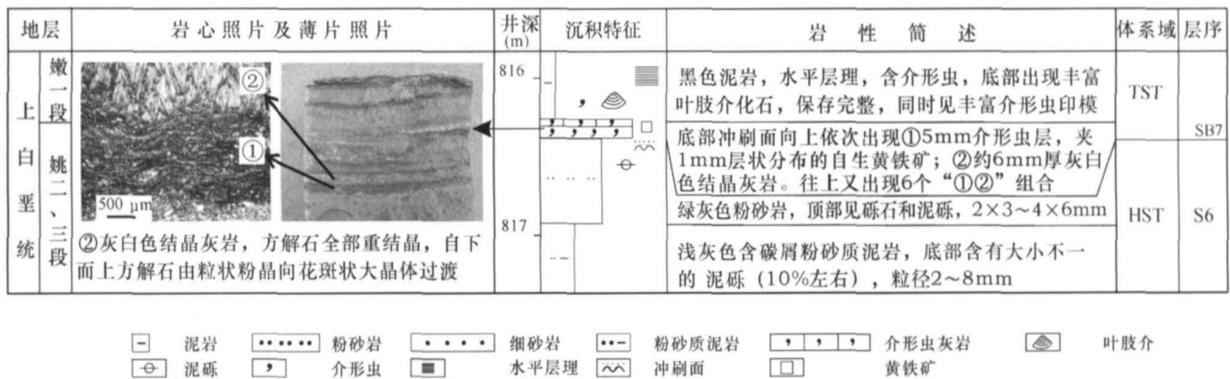


图 10 松辽盆地北部杜 59 井 SB7 特征

Fig 10 Features of SB7 in Well Du 59 Northern Songliao Basin

研究发现, 沉积层序界面与年代地层界线并不吻合, 前者一般比后者低 30 cm 左右 (图 10)。这种现象也见于中国南方二叠—三叠系之交的沉积层序界面与年代地层界线之间^[18], 殷鸿福等将其归因于为两者划分依据不同的原因。

在半深湖、深湖等深水沉积环境下发育的泥岩, 由于岩性单一, 颜色、层理构造等方面没有什么变化, 因此很难通过岩心观察来辨别沉积层序界面进而划分沉积层序, 此时可以根据微量元素、有机碳以及测井曲线等数据资料来识别水体的变化^[19, 20]。

5 结论

松辽盆地北部青山口—姚家组地层主要发育三角洲和湖泊沉积相。从盆地边缘到盆地中心, 沉积相由三角洲相逐渐变为湖泊相。三角洲相表现为伸展范围较大的浅水湖泊三角洲, 发育三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲亚相。湖泊相发育滨湖、浅湖、半深湖—深湖亚相。

研究区泉头组顶部至姚家组顶部共识别出 6 个沉积层序, 相应应有 7 个沉积层序界面, 其中一个同时为超层序界面。研究区沉积层序界面之下为古土壤、根土层、冲刷面、钙质结核等现象, 颜色多为灰、浅灰色; 层序界面之上覆盖鲕粒灰岩、生物屑灰岩, 并见虫孔构造、黄铁矿等, 颜色多为 (较水深环境的) 黑色、灰黑色和灰绿色。沉积层序界面一般比年代地层界线低几十厘米。

致谢 本文得到大庆油田有限责任公司勘探开发研究院任延广、吴河勇等领导以及薛涛等有关人员的大力支持, 在此致以衷心的感谢!

参考文献 (References)

- 翟光明, 王志武, 主编. 中国石油地质志 (卷 2). 北京: 石油工业出版社, 1993. 55 ~ 305 [Zhai Guangming, Wang Zhiwu. Petroleum Geology of China (Vol 2). Beijing: Petroleum Industry Press, 1993. 55 ~ 305]
- 王璞珊, 杜小弟, 王东坡. 松辽盆地白垩纪湖侵沉积层序与湖海沟通事件的地球化学记录. 岩相古地理, 1995, 15 (4): 14 ~ 20 [Wang Pujun, Du Xiaodij, Wang Dongpo. Geochemical records of the Cretaceous lacustrine transgressive sequences and their marine-lake connecting events in the Songliao basin, northeast China. Sedimentary Facies and Paleogeography, 1995, 15 (4): 14 ~ 20]
- 魏魁生. 非海相层序地层学—以松辽盆地为例. 北京: 地质出版社, 1996. 46~ 94 [Wei Kuisheng. Non-marine Basin Sequence Stratigraphy: a case study of Songliao Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 46~ 94]
- 刘召君, 董清水, 王嗣敏, 等. 陆相层序地层学导论与应用. 北京: 石油工业出版社, 2002. 113~ 137 [Liu Zhaojun, Dong Qingshui, Wang Shimin, et al. Introduction to Continental Sequence Stratigraphy and Application. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 113 ~ 137]
- 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽拗陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式. 沉积学报, 2004, 22 (3): 387~ 392 [Xin Renchen, Cai Xiyuan, Wang Yingming. Depositional model of lowstand and characteristics of sequence boundary in deep water lake, Songliao Depression Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (3): 387~ 392]
- 王良忱, 张金亮. 沉积环境和沉积相. 北京: 石油工业出版社, 1996. 36~ 66 [Wang Liangchen, Zhang Jinliang. Environment of Sedimentation and Sedimentary Facies. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 36~ 66]
- 冯增昭. 沉积岩石学. 北京: 石油工业出版社, 1993. 84~ 155 [Feng Zengzhao. Sedimentary Petrology. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993. 84~ 155]
- Leeder M R. Sedimentology and Sedimentary Basins: from Turbulence to Tectonics. Blackwell Science Ltd, Malden, 2000. 383 ~ 390
- 楼章华, 卢庆梅, 蔡希源, 等. 湖平面升降对浅水三角洲前缘砂体

- 形态的影响. 沉积学报, 1998, 16(4): 27~31 [Lou Zhanghua, Lu Qingnei, Cai Xiyuan, *et al.* Influence of lake level fluctuation on sandbody shapes at shallow-water delta front. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(4): 27~31]
- 10 王家豪, 姚光庆, 赵彦超. 浅水辫状河三角洲发育区短期基准面旋回划分及储层宏观特征分析. 沉积学报, 2004, 22(1): 87~94 [Wang Jiahao, Yao Guangqing, Zhao Yanchao. Study on identification of short-term base-level cycle and macroscopic distribution of reservoirs in shallow-water braided delta. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 2004, 22(1): 87~94]
- 11 林春明, 李广月, 卓弘春, 等. 杭洲湾地区晚第四纪地层结构与生物气勘探. 古地理学报, 2005, 7(1): 12~24 [Lin Chunming, Li Guangyue, Zhuo Hongchun, *et al.* Filling structure of the Late Quaternary of Hangzhou Bay area and its biogenic gas exploration. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(1): 12~24]
- 12 林春明, 宋宁, 牟荣, 等. 江苏盐阜凹陷晚白垩世浦口组沉积相与沉积演化. 沉积学报, 2003, 21(4): 553~559 [Lin Chunming, Song Ning, Mu Rong, *et al.* Sedimentary facies and evolution of Late Cretaceous in the Yanpu Depression from Jiangsu province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(4): 553~559]
- 13 Jiang ZX, Lu HB, Yu WQ, *et al.* Transformation of accommodation space of the Cretaceous Qingshankou Formation, the Songliao Basin, NE China. *Basin Research*, 2005, 17: 569~582
- 14 Xue LQ, Galloway WE. Genetic sequence stratigraphic framework, depositional style, and hydrocarbon occurrence of the Upper Cretaceous QYN Formations in the Songliao Lacustrine Basin, Northeastern China. *AAPG Bulletin*, 1993, 77(10): 1792~1808
- 15 王鸿祯, 史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别. 旋回周期的成因讨论. 现代地质, 1998, 12(1): 1~16 [Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles—a discussion on the mechanism of sedimentary cycles. *Geoscience*, 1998, 12(1): 1~16]
- 16 Gollhammer RK, Dunn PA, Hardie LA. Depositional cycles—composite sea-level changes—cycle stacking patterns of the hierarchy of stratigraphic forcing: examples from Alpine Triassic platform carbonates. *Geological Society of America Bulletin*, 1990, 102(5): 535~562
- 17 林春明, 王淑君, 张顺, 等. 苏皖地区石炭系露头层序地层研究. 沉积学报, 2002, 20(4): 537~544 [Lin Chunming, Wang Shujun, Zhang Shun, *et al.* Outcrops sequence stratigraphy study on the Carboniferous strata in Anhui and Jiangsu provinces, China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 537~544]
- 18 殷鸿福, 董金南. 层序地层界面与年代地层界线的关系. 科学通报, 1995, 40(6): 539~541 [Yin Hongfu, Dong Jinnan. Relationship between sequence stratigraphic boundary and chronostratigraphic boundary. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(6): 539~541]
- 19 赵俊青, 纪友亮, 张世奇, 等. 陆相高分辨率层序界面识别的地球化学方法. 沉积学报, 2004, 22(1): 79~86 [Zhao Junqing, Ji Youliang, Zhang Shiqi, *et al.* Geochemical methods of boundary identification in terrigenous high-resolution sequence. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 79~86]
- 20 杨玉峰, 王占国, 张维琴. 松辽盆地湖相泥岩地层有机碳分布特征及层序分析. 沉积学报, 2003, 21(2): 340~344 [Yang Yufeng, Wang Zhanguo, Zhang Weiqin. The pattern of total organic carbon and sequences within mudstone Formation, Songliao Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2): 340~344]

Characteristics of Sedimentary Facies and Sequence Boundary in Upper Cretaceous Qingshankou-Yaojia Formation of Northern Songliao Basin

ZHUO Hong-chun¹ LIN Chun-ming¹ LI Yan-li¹ FENG Zhi-qiang² ZHANG Shun² ZHAO Bo²

(1. Department of Earth Sciences, State Key Laboratory of Ore Genesis Nanjing University, Nanjing 210093)

(2. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oil Field Company Ltd., Daqing Heilongjiang 163712)

Abstract Qingshankou and Yaojia Formation developed delta and lacustrine facies along the long axis of the basin during the period of depression. Qingshankou Formation consists of littoral lake, shallow lake and semi-deep lake facies. Yaojia Formation consists of delta plain, delta front and prodelta facies. Based on analyses of drilling cores, from the top of Quantou Formation to the top of Yaojia Formation can be divided into 6 sequences and corresponding to 7 sequence boundaries. One of the sequence boundaries is supersequence boundary. Sequence boundary is characterized by paleosol, erosional surface, calcareous nodules and truncation. Generally, oolitic limestone, bioclastic limestone, worm boring and pyrite develop above the sequence boundary.

Key words sedimentary facies, sequence boundary, Qingshankou-Yaojia Formation, Northern Songliao Basin