

文章编号: 1000-0550(2013)05-0889-09

松辽盆地齐家地区青山口组浅水三角洲沉积特征 及其地震沉积学响应^①

朱筱敏¹ 赵东娜¹ 曾洪流² 孙 玉¹ 朱如凯³ 黄 薇⁴ 朱世发¹

(1. 中国石油大学(北京) 北京 102249; 2. The University of Texas at Austin Austin USA 78712;
3. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 4. 中国石油大庆油田勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

摘 要 在现代沉积学和地震沉积学理论指导下, 综合应用 11 口岩心资料和大量地球物理资料, 将松辽盆地齐家地区青山口组划分为 3 个长期旋回和 6 个中期旋回, 确立青山口组主要发育湖盆浅水三角洲沉积体系。青山口组浅水三角洲由成熟度较高的中细砂岩组成, 发育反映较强水流作用形成的沉积构造以及间断正韵律, 分支河道砂体发育, 累计砂体厚度达数十米, 分布范围广, 向湖盆中央方向延伸数十公里。三角洲前缘可细分为内前缘和外前缘。三角洲内前缘水下分支河道连续性好、延伸远; 三角洲外前缘水下分支河道连续性差, 被改造后形成前缘席状砂。基于浅水三角洲发育主控因素分析, 建立了干旱和湿润气候条件下形成的浅水三角洲沉积模式。利用地震沉积学的地层切片刻画了浅水三角洲沉积砂体的枝状形态和面积分布特征, 指出近油源和临近断层的三角洲前缘砂体为有利勘探开发目标。

关键词 松辽盆地齐家地区 白垩系青山口组 浅水三角洲 沉积模式 地震沉积学

第一作者简介 朱筱敏 男 1960 年出生 教授 沉积储层和层序地层学 E-mail: xzmzhu@cup.edu.cn

中图分类号 P539.1 **文献标识码** A

0 引言

近期, 浅水三角洲的研究受到人们高度重视。Fisk 等(1954)对密西西比河三角洲进行研究时提出了浅水三角洲的概念^[1], Postman 等学者发现水深对于三角洲的发育是一个重要的控制因素, 可将三角洲分为浅水三角洲和深水三角洲两大类^[2~4]。国外学者对浅水三角洲的研究主要集中于三角洲形成动力学和沉积微相特征等^[4~6], 指出浅水三角洲与传统的吉尔伯特三角洲具有明显区别, 缺少明显的顶积层、前积层和底积层三层构造。在构造稳定的盆地缓坡、物源供给充足的浅水沉积背景下, 形成以发育水下分支河道为特征的浅水三角洲。

我国的浅水三角洲研究始于 20 世纪 80 年代, 近期对我国鄂尔多斯盆地、松辽盆地、渤海湾盆地等地区浅水三角洲沉积特征和砂体展布等方面开展研究, 发现浅水三角洲的主要特点为: 发育分流河道骨架砂体; 三角洲复合砂体分布面积广, 厚度大, 具有叠加加积特征等; 浅水三角洲的发育主要受控于湖平面升降变化、古气候、古地形、河流作用等^[7~10]。21 世纪以

来, 浅水三角洲沉积又受到人们高度重视, 研究焦点集中于形成动力学、有利的地质背景、形成机理及沉积模式等^[11, 12]。浅水三角洲通常形成于构造相对稳定的或地形平缓、整体缓慢沉降的湖盆缓坡, 水体较浅、湖平面频繁多变、物源充足、具有敞流特征的湖盆。国内外油气勘探表明, 浅水三角洲砂体是岩性油气藏勘探的重要目标, 系统研究大型拗陷湖盆—松辽盆地白垩系浅水三角洲的沉积特征, 总结沉积模式, 探讨浅水三角洲的地震沉积学响应模型等, 对我国陆相盆地大型浅水成因砂体分布规律分析和岩性油气藏勘探具有重要意义。故本文在现代沉积学和地震沉积学理论指导下, 通过松辽盆地北部齐家地区重点勘探层段白垩系青山口组高台子油层 11 口井岩心资料以及大量测井和地震资料(近 2 000 张地层切片)综合研究, 分析了大面积分布的浅水三角洲沉积特征以及地震沉积学响应特征, 指出了有利砂体和岩性圈闭分布地区。

1 地质背景

松辽盆地是大型中、新生代陆相含油气盆地, 盆

^①国家自然科学基金面上项目“陆相拗陷湖盆浅水三角洲地震沉积学模型”(41272133)、国家油气重大专项课题“岩性地层油气藏沉积体系、储层形成机理与分布研究”(2011ZX05001-002)联合资助
收稿日期: 2013-07-31

地四周被山脉和丘陵所环绕,面积约 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。研究区位于中央拗陷区齐家古龙凹陷北部齐家凹陷,东邻大庆长垣(图1)。松辽盆地演化大致经历了热隆张裂($T-J_3$)、裂陷(J_3-K_1)、拗陷(K_1-K_2)和萎缩褶皱(K_2-Q)四个阶段。本次研究层位青山口组沉积于盆地拗陷时期。

松辽盆地充填大面积分布的中、新生代地层,白垩系是主要沉积地层,主要为陆相碎屑岩夹油页岩沉积建造,分布范围广,是盆地主要生、储油岩系。上白垩统青山口组是本次研究的层位。自下而上,青山口组可划分为青一段、青二段、青三段。青一段厚200~500 m,以灰黑、深灰色页岩夹油页岩为主。青二、三段厚50~150 m,主要为灰黑色泥岩、浅灰色砂岩、粉砂岩。青二、三段对应高台子油层并可分4个砂组(参见图2)。

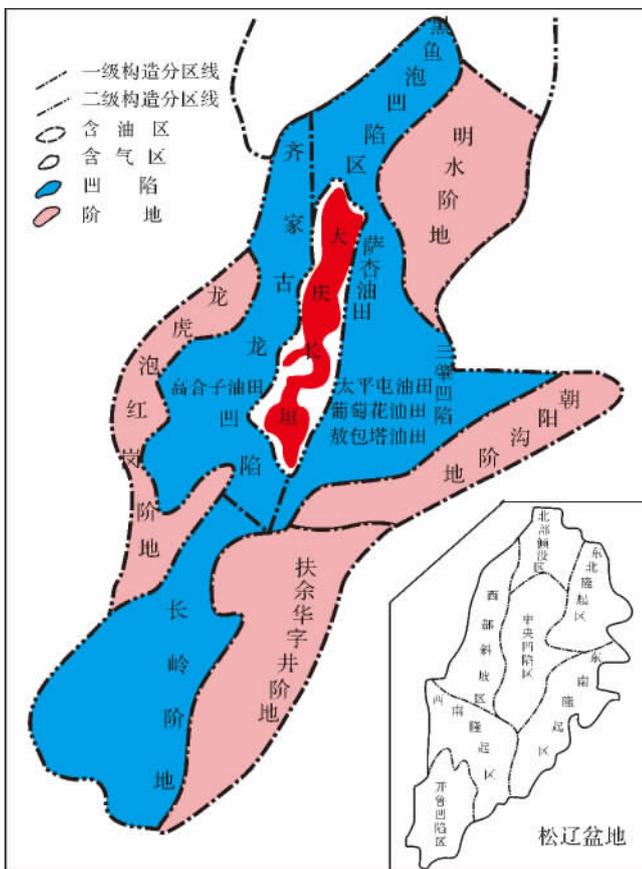


图1 松辽盆地构造单元划分和齐家凹陷位置图

Fig.1 Tectonic unit division of Songliao Basin and location of Qijia Sag

2 精细层序地层格架

建立层序地层格架是以识别层序地层界面为基础的。在松辽盆地齐家地区青山口组层序地层学研

究中,主要采用了11口井岩心以及50余口测井、大量高精度三维地震资料、制作了31口井的合成地震记录开展层序地层分析的。

层序界面是不整合面及其与之相对应的整合面。长期基准面旋回是指在沉积盆地范围内,区域基准面所经历的上升和下降过程,与其对应的长期地层旋回是以区域不整合面为边界的一套具有成因联系的、连续的地层组合。在长期旋回划分中,首先在地震剖面上,主要依据地震反射同相轴的终止关系来确定长期旋回界面。分析认为,齐家地区青山口组总体构成3个长期基准面旋回SQ1、SQ2、SQ3(图2)。SQ1对应青山口组下部青一段泥岩,SQ2和SQ3分别对应青山口组中上部青二段和青三段砂泥岩。通过对盆地演化阶段、地震反射及钻井、古气候、古生物、湖平面变化等综合研究认为,青山口组地质年龄为88.5~100 Ma,持续地质年代11.5 Ma。

对于次一级的中期旋回界面,由于分辨率和地震资料品质的影响,地震剖面上反射特征的识别相对困难,而钻、测井资料在纵向上具有分辨率高的独特优势。因此,本次研究主要依据钻井、测井资料识别出的中期旋回界面:岩性突变界面、地层叠置变化界面、相变化界面等开展中期基准面旋回划分。中期基准面旋回是指在大致相似地质背景下,形成的一系列具有成因联系的短期基准面旋回的组合,主要有退积、加积和进积三种堆砌样式。研究区青山口组可以划分为6个完整的中期基准面旋回SS1~SS6,其中砂体发育的青二段和青三段对应中期基准面旋回SS3、SS4、SS5、SS6(图2)。

中期旋回的时间尺度约为0.5~1.5 Ma,厚度为45~116 m。

3 浅水三角洲亚微相沉积特征

3.1 三角洲亚微相沉积特征

松辽盆地齐家地区11口取心井的岩石颜色、成分、结构、沉积构造、遗迹化石等特征表明,青山口组发育大型拗陷湖盆浅水三角洲沉积。浅水三角洲可以划分为三角洲平原、三角洲前缘和前三三角洲沉积,在岩性、韵律性、沉积构造等方面各具特征(表1)。

浅水三角洲具有以下主要沉积特征。

1) 发育较强水流形成的沉积构造

由于浅水三角洲形成于近源、浅水的强水动力沉积环境,沉积岩性粒度较粗。青山口组浅水三角洲岩性以中砂岩、细砂岩为主,碎屑颗粒分选较好,呈次

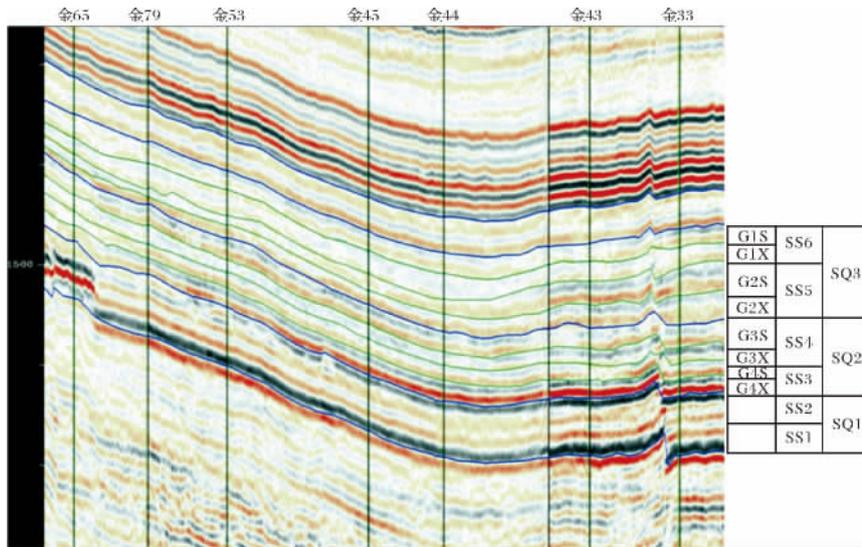


图 2 松辽盆地齐家地区青山口组联井层序地层格架

Fig. 2 Cross-well sequence stratigraphic framework of Qingshankou Formation in Qijia area , Songliao Basin

表 1 松辽盆地齐家地区青山口组浅水三角洲沉积亚微相沉积特征

Table 1 Sedimentary characteristics of Sub- and Micro-facéis of shallow-water delta in Qingshankou Formation of Qijia area , Songliao Basin

相	亚相	微相	岩性	砂体厚度(m)	韵律性	构造	电性特征
浅水三角洲	平原	分流河道	中细砂岩和粉砂岩	>2	间断性正韵律	块状层理、平行层理、大型交错层理、冲刷面	齿化箱形或钟形
		决口扇	细砂岩和粉砂岩	0.5~1	间断性正韵律	块状层理、递变层理、小型交错层理	孤立尖峰状
		天然堤	紫红、灰绿色粉砂岩与泥岩	0.5~1.5	间断性正韵律	砂纹交错层理、爬升层理	低幅钟形
	内前缘	水下分流河道	细砂岩、粉砂岩	>2	间断性正韵律	块状层理、槽状、波状、楔状交钜层理、平行层理、黄铁矿结核	高幅度差钟形、箱形或齿化钟形、箱形,但厚度减小
		道间砂	薄层粉砂岩、泥质粉砂岩	0.5~1	复合韵律	低角度槽状交错层理、脉状层理、波状复合层理	中低幅度值的薄层指状
	外前缘	道间泥	薄层深灰、灰色泥岩夹介形灰岩	<0.5	/	水平纹理、生物扰动、变形构造、生物化石	极低幅值或低幅值的直线形状或微齿状
		河口坝	粉砂岩、泥质粉砂岩	2~5	反韵律	波状交错层理、块状层理、平行层理、脉状层理、波状复合层理	明显的中高幅值漏斗形、箱型为特征,底部渐变,顶部突变
		残留水下分流河道	粉砂岩、泥质粉砂岩	1~1.5	不明显正韵律或复合韵律	块状层理、槽状交错层理、平行层理	中低幅值指状、扁齿化箱状为特征
	前三角洲前三角洲泥	席状砂	粉砂岩、泥质粉砂岩	0.5~1	正韵律、反韵律、复合韵律	低角度交错层理、脉状层理	中等幅值的指状、圣诞树状、极扁的钟状或极扁的漏斗状
		远砂坝	粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩	<0.5	明显的反韵律	波状、脉状、透镜状层理和浪成沙纹层理; 变形构造、生物扰动强, 见生物化石	明显的中高幅值漏斗形为特征,底部渐变,顶部突变
席间沉积		灰色、深灰色泥岩夹介形灰岩	<0.5	/	水平纹理、生物化石	低或极低幅值的直线形或微齿形	
			厚层深灰色、灰黑色泥岩	<0.5	/	水平纹理、生物化石	泥岩基线

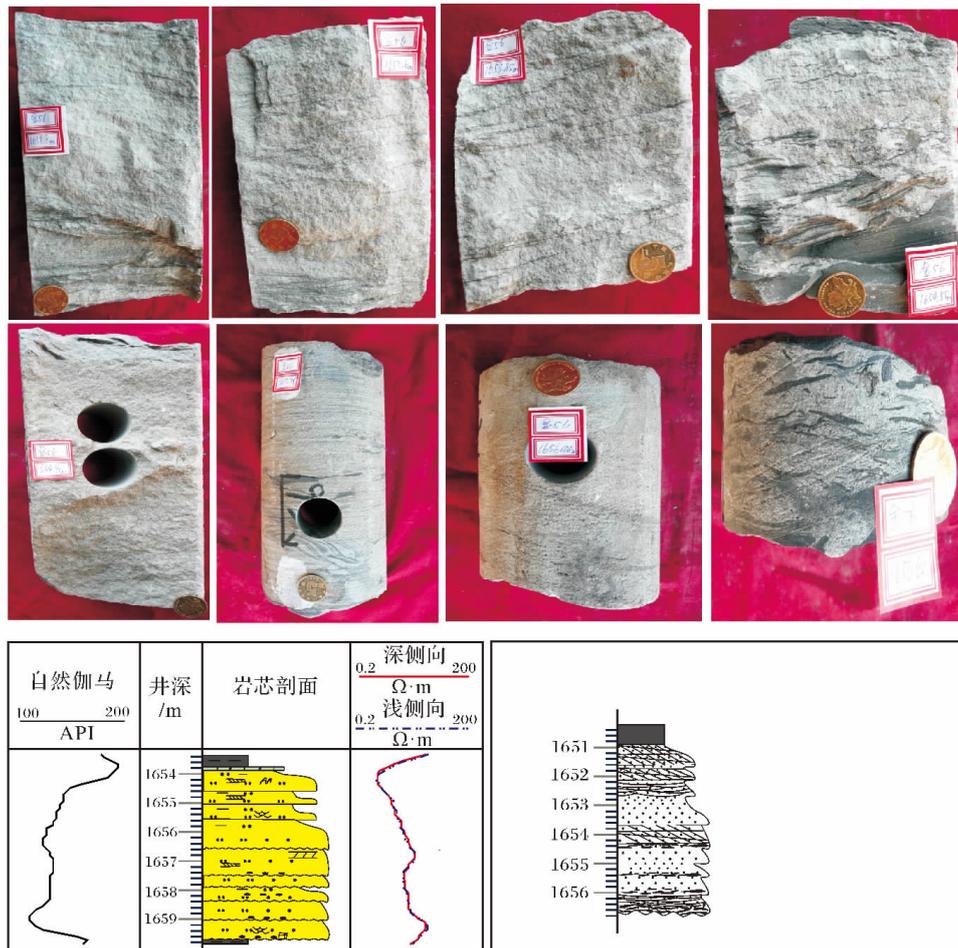


图3 松辽盆地齐家地区金56井青山口组三角洲水下分流河道沉积构造和沉积序列(井深1650.7~1656.6 m)
Fig.3 Sedimentary structures and sedimentary sequence of subaqueous distributary channel of delta front in Qingshankou Formation in Jin 56 well of Qijia area, Song liao Basin(Depth, 1650.7 ~ 1656.6 m)

棱—圆状。受浅水沉积环境和强河流作用的影响,发育牵引流成因的大型楔状交错层理、平行层理,底部常具冲刷面以及砾石定向排列。砾石成分单一,扁平状,大小为 0.5×3.5 cm,顺层分布。多种交错层理中纹层平直或呈下凹状、前积状倾斜,与层系界面斜交,层系厚度多大于3 cm等系沉积特征反映了强水流作用和浅水沉积特征(图3)。

2) 发育间断性正韵律

由于浅水三角洲较为频繁的冲刷和河流改道作用,垂向上形成发育间断正韵律。向盆地中央方向,间断正韵律中泥岩夹层增多增厚。即三角洲平原主要发育“无泥”间断正韵律,前缘主要发育“有泥”间断正韵律。间断正韵律自下而上为具有泥砾的冲刷面、较大楔状交错层理中细砂岩、或平行层理中细砂岩、小型交错层理粉细砂岩和灰绿色、灰色泥岩。砂岩单层厚度一般为0.4~2.3 m,最厚可达5 m以上(图3)。

3) 发育三角洲水下分支河道

相对于正常三角洲,浅水三角洲形成的水体浅,湖底地形平坦,波浪能量耗尽快,河流能量较强,物源充足,入湖河水携带大量的泥砂沉积物可以推进到三角洲前缘很远的地方。

浅水三角洲水下分支河道的发育与基准面(湖平面)升降变化密切相关。在基准面上升半旋回早期和下降半旋回晚期,河流作用明显,河道砂体发育,河道不断分叉,表现为网状—枝状特征,向湖盆中央方向延伸逾50 km;尽管河道单砂体厚度较薄,但复合砂体分布广,厚度大,砂体累计厚度大(17~28 m)、砂地比高(78~88%)。在上升半旋回晚期和下降半旋回早期,湖平面上升,河流作用变弱,分支河道向湖盆中央方向延伸距离小于30 km;砂体累计厚度小(5~12 m)、砂地比降低(22~45%)(图4),其间三角洲前缘河口坝、席状砂等微相相对发育。

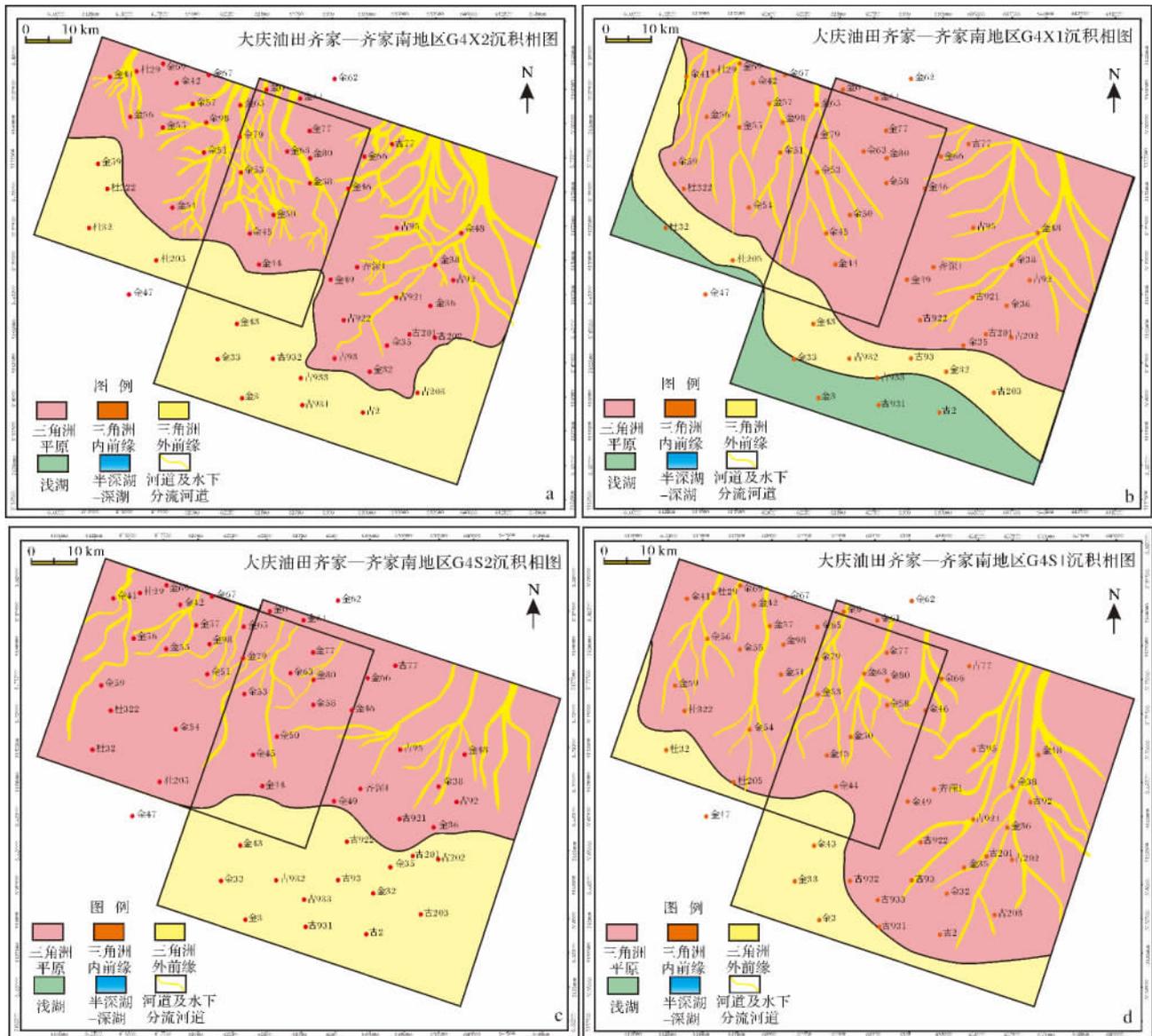


图 4 松辽盆地齐家地区青山口组二段下部 SS3 中期旋回沉积相图

Fig. 4 Sedimentologic map of shallow-water delta of SS3 in the lower part of Qing II member of Qingshankou Formation in Qijia area, Songliao Basin

4) 三角洲前缘可细分为内前缘和外前缘

由于松辽盆地齐家地区青山口组浅水三角洲的发育明显受湖平面升降变化影响,在湖平面下降期间,河流作用明显,分支河道向盆地中央较长距离连续延伸;在湖平面上升期间,早期形成的分支河道受湖盆水动力改造,分支河道呈断续状分布,同期可出现河口砂坝、席状砂等沉积。因此,根据湖平面变化和分支河道发育特征,将三角洲前缘细分为内前缘和外前缘。其中三角洲内前缘主要发育连续分布的水下分支河道、道间砂、道间泥以及河口砂坝等沉积微相,三角洲外前缘主要发育断续分支河道、席状砂、远

砂坝、席间泥等沉积微相(表 1)。

三角洲内前缘主要沉积特征为:连续性较好的分支河道砂体岩性以浅灰色到灰色中细砂岩为主,可见大型楔状和槽状交错层理、平行层理以及含泥砾的冲刷面。砂岩质较纯,分选好,结构成熟度高,相对较厚砂岩(单层厚度在 1 m 以上)与薄层泥岩互层,构成间断正韵律,自然伽马电测曲线表现为微齿状钟形。河道间泥岩性以灰绿色、灰色泥岩、粉砂质泥岩夹薄层泥质粉砂岩为主,具有水平层理、透镜状层理、浪成波痕、搅浑构造,生物扰动强烈;自然伽马电测曲线表现为极低—低幅直线形或微齿状直线形(表 1)。

三角洲外前缘主要沉积特征为:水下分支河道受后期湖盆水动力改造呈不连续状,主要发育前缘席状砂。席状砂微相是水下分流河道或河口坝在湖浪或沿岸流改造下形成的产物,主要分布于三角洲外前缘部位。岩性以粉砂岩、泥质粉砂岩为主,分选好,质纯,常见湖相介形虫化石,多呈反韵律;可见小型低角度交错层理和生物扰动构造;自然伽马电测曲线多表现为漏斗形、圣诞树形。有时局部发育介形灰岩、鲕粒灰岩、核形石灰岩,反映了湖平面上升,沉积水体较为清静,形成了滩坝沉积。

4 浅水三角洲沉积模式

松辽盆地白垩系青山口组自下而上整体表现为一个水退过程,水体整体由深变浅,但在水退的背景下出现了小规模的水进,在中部青二段 SS3 上升半回旋早期、上部青三段 SS5 上升半回旋时期水进规模较大,下部青一段 SS1、SS2 时期湖泊发育宽广,以半深湖-深湖泥页岩沉积为特征,构成松辽盆地主力烃源岩。青二段和青三段 SS3~SS6 时期,发育浅水三角洲,湖平面变化控制分流河道的形态与分布,气候变化对湖平面的升降产生重要影响,可引起相带在规模上的收缩与扩大。因此,气候是浅水三角洲展布形态的主要控制因素。研究区主要发育两种类型的三角洲,一种为干旱气候条件下形成的浅水三角洲,一种为湿润气候条件下形成的浅水三角洲。

青二段 SS3、SS4 沉积时期,气候较为湿润,湖盆发生扩张,湖平面上升、湖水较深。由于受到湖水的

阻碍作用,河流流速迅速降低,分流河道不断改道、分叉,河道弯曲,构成网状前缘水下分支河道组合,三角洲主体被湖盆水体淹没,形成“小平原、大前缘”的网状三角洲(图5)。该类型三角洲具有以下沉积特点:三角洲前缘相带宽广,可进一步划分为内前缘与外前缘;内前缘以水下分流河道和河口坝沉积为特征,该类三角洲河口坝较发育,反韵律特征明显,外前缘以席状砂和远砂坝沉积为主。分流河道以垂向加积为主,河道窄而深,且频繁分叉、改道,呈网状展布,难于横向对比;分流河道间沉积物以灰色、深灰色泥岩为主,夹有薄层灰色粉砂岩、泥质粉砂岩。

青三段 SS5、SS6 沉积时期,气候较为干旱,降水量减少,湖泊蒸发量大,湖盆发生收缩,沉积中心距物源区较远。河流沉积作用大范围发生,携带碎屑物质长距离搬运进入湖盆形成局部被湖水淹没的浅水三角洲,形成“大平原、小前缘”的枝状三角洲(图6)。该类型三角洲具有以下沉积特点:三角洲内前缘亚相分布宽广,三角洲内前缘亚相以水下分流河道为主,河口坝不发育,外前缘席状砂和远砂坝也不发育,分流河道以宽而浅,呈枝状分叉,河道分布相对稳定,易于横向对比;分流河道间沉积物多为紫红色或杂色、灰色泥岩。整体以水下分流河道的正韵律沉积为主,反韵律不发育。

5 浅水三角洲地震沉积学响应

地震沉积学是指通过地震岩性学(岩性、厚度、物性和流体等特征)、地震地貌学(古沉积地貌、古侵

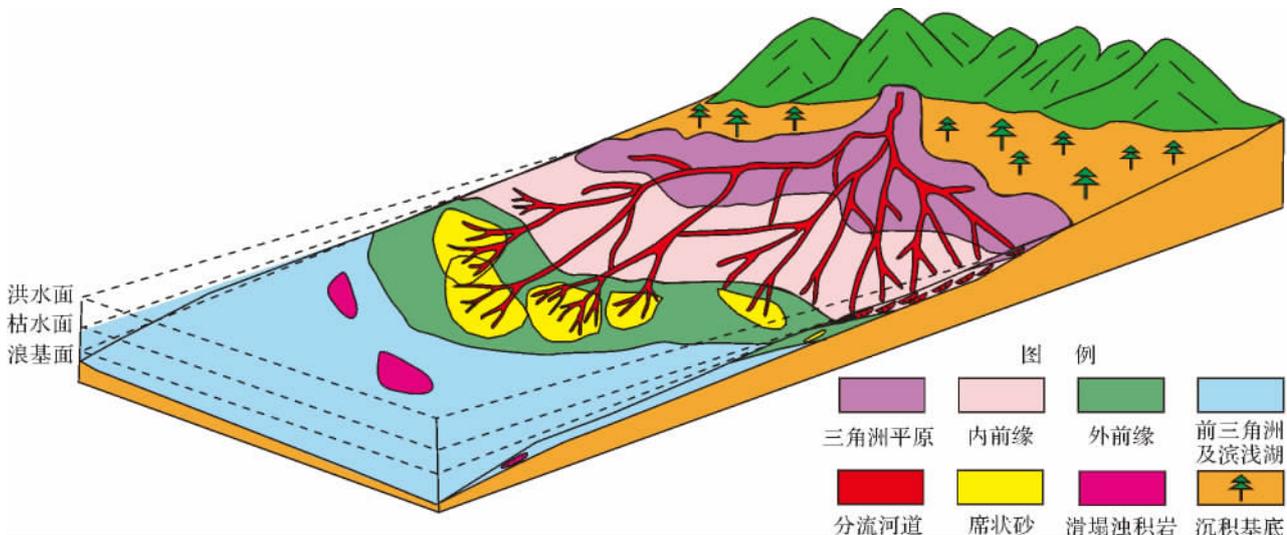


图5 松辽盆地齐家地区青山口组湿润气候条件下网状浅水三角洲沉积模式

Fig. 5 Sedimentary model of reticular shallow-water delta in humid climate of Qingshankou Formation in Qijia area, Songliao Basin

井旁地震道最大振幅值具有较好的线性关系,河道砂体厚度越大(4~9 m),地震道振幅值越大(图7中红色部分)。河道砂体厚度越小(1~4 m),地震道振幅值越小。河道的保存状态是研究三角洲沉积体系后期改造的直接证据,反映了三角洲内前缘和外前缘沉积特征:三角洲内前缘分支河道长距离延伸(达几十公里)、河道边界清晰、连续性好,说明沉积后保存完好,未受到明显侵蚀;三角洲外前缘分支河道断续分布、补丁状、河道边界不清晰,指示了湖平面上升或水流、波浪的侵蚀作用(图7)。

6 有利区带预测和主要结论

齐家地区青山口组不同基准面旋回沉积的储集砂体,明显受到沉积亚微相特征的控制。研究表明,三角洲前缘水下分流河道砂体储层物性最好,如金57井青山口组二段SS3上升半旋回早期水下分流河道砂体孔隙度约20%,渗透率大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此,三角洲前缘水下分流河道及三角洲平原分流河道均可能成为有利储集相带。

同时,研究发现青山口组砂体发育还受断层分布的影响,断裂活动形成的NNW向展布的地堑为构造低部位,易于捕获水系,由东北部进入研究区的古水系,其流向与地堑构造近似垂直,当水流流经地堑时,水流受到阻挡改变方向沿着地堑向侧翼流动,或者聚集在地堑中,待其被充满后继续向前推进,水下分流河道末端发育长轴与河流流向垂直的河口坝,因此沉积时期的地堑构造带是砂体富集的有利部位,发育良好储层,同时它们分布在烃源岩之中或通过断裂与烃源岩沟通,因此该地区青山口组同沉积地堑构造部位是岩性油气藏或断层—岩性油气藏发育的有利场所。对研究区50余口探井油层数据分析发现,G933、G931、G93井等主要产油井对应三角洲前缘水下分流河道砂体,并且近油源、与断层发育密切有关,形成了油气富集区。

根据岩心、测井及地震沉积学研究,认为松辽盆地齐家地区青山口组发育湖泊浅水三角洲储集体系。浅水三角洲发育受气候影响,在干旱气候条件下形成的浅水三角洲具有“大平原、小前缘”、分支河道呈枝状特征;在湿润气候条件下形成的浅水三角洲具有“小平原、大前缘”、分支河道呈网状特征。地震沉积学是刻画浅水三角洲薄层砂体的有效方法技术,地震地层切片能清晰地反映沉积砂体的空间展布。预测离油源和断层较近的三角洲前缘水下分流河道和席状

砂为有利油气勘探区。

浅水三角洲是目前国内外沉积学研究热点和油气勘探开发的重要对象。我们应该在取得浅水三角洲形成地质背景及主要沉积特征研究成果的基础上,加强拗陷和断陷湖盆浅水三角洲形成动力学过程、不同类型浅水三角洲沉积序列特征、浅水三角洲不同亚微相砂体形态和发育规律、浅水三角洲形成过程模拟、储层发育特征及其与油气勘探开发关系的研究,构建以陆相湖盆浅水三角洲为核心的岩性地层油气藏地质理论,指导湖盆大面积砂体的岩性油气藏勘探开发。

参考文献(References)

- 1 Fisk H N. Sedimentary Framework of the Modern Mississippi Delta [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954, 24(2): 76-99
- 2 Donaldson A C. Pennsylvanian sedimentation of central Appalachians [J]. *Special Papers. Geological Society of America*, 1974, 148: 47-48
- 3 Postma G. An analysis of the variation in delta architecture [J]. *Terra Nova*, 1990, 2(2): 124-130
- 4 Lemons D R, Chan M A. Facies architecture and sequence stratigraphy of fine-grained lacustrine deltas along the eastern margin of late Pleistocene Lake Bonneville, northern Utah and southern Idaho [J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(4): 635-665
- 5 Hoy R G, Ridgway K D. Sedimentology and sequence stratigraphy of fan-delta and river-delta deposystems, Pennsylvanian Mintum Formation, Colorado [J]. *AAPG Bulletin*, 2003, 87(7): 1169-1191
- 6 Cornel O, Janok P B. Terminal distributary channels and delta front architecture of river-dominated delta systems [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, 76: 212-233
- 7 赵翰卿. 松辽盆地大型叶状三角洲沉积模式 [J]. *大庆石油地质与开发*, 1987, 6(4): 1-10 [Zhao Hanqing. A sedimentary scheme for a large leaf-like delta in Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Oil-field Development in Daqing*, 1987, 6(4): 1-10]
- 8 朱筱敏, 刘媛, 方庆, 等. 大型拗陷湖盆浅水三角洲形成条件和沉积模式: 以松辽盆地三肇凹陷扶余油层为例 [J]. *地学前缘*, 2012, 19(1): 89-99. [Zhu Xiaomin, Liu Yuan, Fang Qing, et al. Formation and sedimentary model of shallow delta in large-scale lake. example from Cretaceous Quantou Formation in Sanzhao Sag, Songliao Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(1): 89-99]
- 9 朱筱敏, 邓秀芹, 刘自亮, 等. 大型拗陷湖盆浅水辫状河三角洲沉积特征及模式: 以鄂尔多斯盆地陇东地区延长组为例 [J]. *地学前缘*, 2013, 20(2): 19-28 [Zhu Xiaomin, Deng Xiuqing, Liu Ziliang, et al. Sedimentary characteristics and model of shallow braided delta in large-scale lacustrine: An example from Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(2): 19-28]
- 10 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流拗陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布 [J]. *地质学报*, 2008, 82(6): 813-825

- [Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang, *et al.* Formation and Distribution of Shallow-water Deltas and Central-basin Sandbodies in Large Open Depression Lake Basins [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6): 813-825]
- 11 楼章华. 地形、气候与湖面波动对浅水三角洲沉积环境的控制作用: 以松辽盆地北部东区葡萄花油层为例[J]. *地质学报*, 1999, 73(1): 83-92 [Lou Zhanghua. Controls of the topography, climate and lake level fluctuation on the depositional environment of a shallow-water delta [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(1): 83-92]
- 12 张昌民, 尹太举, 朱永进, 等. 浅水三角洲沉积模式[J]. *沉积学报*, 2010, 28(5): 933-944 [Zhang Changmin, Yin Taiju, Zhu Yongjin, *et al.* Shallow-water deltas and models [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5): 933-944]
- 13 曾洪流. 地震沉积学在中国: 回顾和展望[J]. *沉积学报* 2011 29(3): 417-425 [Zeng Hongliu. Seismic sedimentology in China: A review [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(3): 417-425]
- 14 朱筱敏, 李洋, 董艳蕾, 等. 地震沉积学研究方法和岐口凹陷沙河街组沙一段实例分析[J]. *中国地质* 2013 40(1): 152-162 [Zhu Xiaomin, Li Yang, Dong Yanlei, *et al.* The program of seismic sedimentology and its application to Shahejie Formation in Qikou depression of north China [J]. *Geology in China*, 2013 40(1): 152-162]

Sedimentary Characteristics and Seismic Sedimentologic Responses of Shallow-water Delta of Qingshankou Formation in Qijia Area, Songliao Basin

ZHU Xiao-min¹ ZHAO Dong-na¹ ZENG Hong-liu² SUN Yu¹
ZHU Ru-kai³ HUANG Wei⁴ ZHU Shi-fa¹

(1. China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249;

2. Bureau of Economic Geology, Jackson School of Geosciences, The University of Texas at Austin, Texas 78712;

3. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083;

4. Daqing Oilfield Company, Petrochina, Daqing, Heilongjiang 163712)

Abstract: Under the guide of modern sedimentology and seismic sedimentology, combined with the comprehensive analysis of core data from more than ten wells and geophysical data, Qingshankou Formation is divided into 3 long-term cycles and 6 medium-term cycles in Qijia area, Songliao Basin. The 3 long-term cycles, SQ1, SQ2 and SQ3 correspond to the members, Qing I, Qing II and Qing III, and the time scale of medium-term cycle is about 0.5 ~ 1.5 Ma, with thickness ranging from 45 m to 116 m. Shallow-water delta which consists of high-maturity fine-grained sandstone is mainly developed in Qingshankou Formation, and erosion surface reflecting strong flow action, parallel beddings and long-scale cross beddings are well developed. Distributary channel sandstone is well developed in the shallow-water delta sedimentary system, with single channel thickness about several meters. The accumulative thickness of distributary channels can reach to tens of meters with a large distributing area, extending to the center of lacustrine basin over tens of kilometers. The development of subaqueous distributary channel of shallow-water delta is closely related to the base level (lake level) change. In the early stage of rising semi-cycle and the late stage of falling semi-cycle, the fluviation is significant and the channel sandstone which can extend towards the center of lacustrine basin more than 50 kilometers is well developed, with large accumulative thickness of compound sandbody (17 ~ 28 m) and high sandstone to strata ration (78% ~ 88%). In the late stage of rising semi-cycle and the early stage of falling semi-cycle, the lake level rises and the fluviation becomes weak, resulting in the extending distance of distributary channel less than 30 kilometers with small accumulative thickness of compound sandbody (5 ~ 12 m) and low sandstone to strata ration (22% ~ 45%). Delta front can be divided into inner front and outer front. The subaqueous distributary channel in inner front has good continuity and extends further, whereas the subaqueous distributary channel in outer front has poor continuity and sheet sand is well developed. Two typical sedimentary models of shallow-water delta, delta plain well developed in humid climate and delta front well developed in arid climate, are established in Qijia area, Songliao Basin. Stratal slices from seismic sedimentology are applied to display the branchlike sandstone dispersal pattern of shallow-water delta and the characteristics of widely distribution. This study also points out that the delta front channel sandstone which is near to oil source and faults would be the favorable exploration targets.

Key words: Qijia area of Songliao Basin; Cretaceous Qingshankou Formation; shallow-water delta; sedimentary model; seismic sedimentology