

文章编号: 1009-3850(2015)02-0022-07

酒泉盆地营尔凹陷下白垩统下沟组沉积体系研究

段润梅, 葛 维, 杨姝蔚

(天津市大港油田勘探开发研究院, 天津 大港 300280)

摘要: 根据对营尔凹陷下沟组岩心、测井和地震资料的分析, 运用现代沉积学、层序地层学理论, 将营尔凹陷下白垩统下沟组划分为4个三级层序。营尔凹陷下沟组主要发育辫状河三角洲、扇三角洲、近岸水下扇、远岸水下扇、滑塌浊积体、湖泊共6种沉积相类型, 形成不同类型砂体。三角洲前缘亚相及远岸水下扇沉积相砂岩发育, 砂岩物性较好, 具备储集空间且储盖组合条件好, 有利于油气成藏。三角洲平原亚相及近岸水下扇以粗碎屑沉积为主, 砂泥分异差, 储集物性差, 难以形成油气藏。有利沉积相带空间展布与构造的配置关系决定了油气富集高产区的空间分布。

关键词: 营尔凹陷; 下白垩统; 下沟组; 沉积体系; 油气富集高产区

中图分类号: 文献标识码: A

引言

营尔凹陷为一断拗叠置的中、新生代沉积凹陷, 主要勘探目的层为白垩系下沟组 K_1g^3 和 K_1g^1 段。该区经历燕山期的断拗和喜山期沉降发育阶段, 地震剖面显示前第三纪曾发生多次的沉降与隆升(可能为挤压、拉张两期构造的叠加), 构造、沉积、成藏、油藏分布极其复杂, 直接影响到对营尔地区油气资源分布的再认识。本论文主要针对凹陷内沉积体系做进一步研究, 在等时地层框架中确定 K_1g 的沉积体系空间配置关系, 开展物源方向、沉积相类型及其平面展布规律研究。明确沉积储层对油气的控制作用, 预测油气富集的潜力区, 为勘探目标的优选提供依据, 以指导营尔地区的石油地质勘探和开发。

1 区域地质背景

营尔凹陷位于祁连褶皱带北缘, 是一个中、新生代形成的叠合小盆地。营尔凹陷白垩系盆地结构比较复杂, 尽管北西向剖面表现出不对称地堑或

半地堑结构, 下河清断裂控制陡坡带沉降, 白垩系赤金堡组、下沟组和中沟组均具有向西超覆的特点, 但盆地并未表现出中国东部伸展半地堑通常具有的地质特点, 其中中沟组下段沉积以后, 由于祁连造山带再次挤压隆升而导致陷夭折, 普遍缺乏区域性的拗陷构造层是营尔凹陷构造的一大特色。营尔凹陷表现为受下河清、营北断裂系、黑梁断裂系以及上坝断裂系控制的复杂半地堑, 中央被北西西向长沙岭鼻状构造分割, 形成5个不同的构造单元(图1): YT1-H1井高台阶断块、营北断裂裙边构造带、南次凹沉降区、北次凹沉降区、长沙岭鼻状构造带。

营尔凹陷内发育的地层从下到上有二叠系—侏罗系、下白垩统和新生界, 纵向上缺失上侏罗统、上白垩统和早第三纪。中、新生界为营尔凹陷的主要沉积盖层。下白垩统是凹陷内主要的烃源岩, 为一套深湖—半深湖相灰黑色泥岩、泥质白云岩沉积, 局部夹粉砂岩、砂岩, 下部为河湖相沉积, 自上而下分为4个地层单元: 中沟组、下沟组上段、赤金堡组, 其中下沟组下段和赤金堡组是主要勘探目的层。

收稿日期: 2014-06-23; 改回日期: 2014-12-06

作者简介: 段润梅(1974-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事石油地质研究。E-mail: duanrmei@petrochina.com.cn

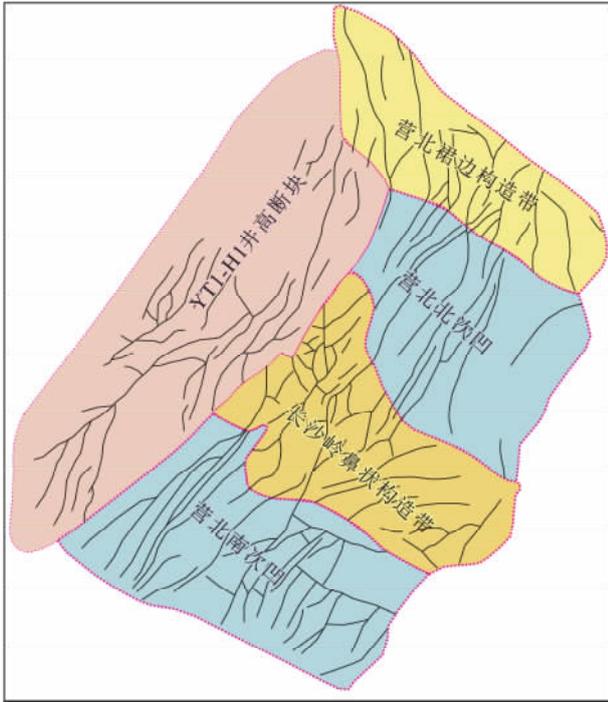


图1 营尔凹陷构造单元划分示意图

Fig.1 Sketch to show tectonic division of the Ying'er depression

赤金堡组(K_{1c})地层的岩性变化较大,岩性整体以含砾砂岩、中细砂岩、粉砂岩、泥岩为主。下沟组(K_{1g})主要为一套深灰绿、灰白色含砾砂岩,粉砂岩夹深灰色泥岩,纵向上出现3个砂泥岩正旋回。该套地层属于滨浅湖-半深湖过渡相半咸水沉积。中沟组(K_{1z})中沟组上部主要是一套灰黑色、灰色泥岩为主,夹白云质泥岩,下部主要为灰黑色泥质白云岩与泥岩、页岩间互,富含有机质,是凹陷中最好的生油层段。该套地层属于浅湖到深湖相微咸水沉积。

下沟组下段地层具有南北两个沉积中心。主要是一套湖相的灰白色砾状砂岩、含砾砂岩、粉砂岩夹灰色、深灰色泥岩。赤金堡组的沉积范围较下沟组下段要窄,其沉积范围北部只到Y11井,西部以Y11井为界,该套地层南北两个沉积中心,中心最大厚度约1000m左右,是一套半深湖-深湖相沉积。岩性主要为深水沉积的厚层泥岩夹薄层状中细砂岩、粉砂岩。

2 层序划分

营尔凹陷下白垩统可识别出3个二级层序, SQK_{1c} 相当于赤金堡组、 SQK_{1g} 相当于下沟组、 SQK_{1z} 相当于中沟组。 SQK_{1g} 主要为一套深灰绿、灰白色含砾砂岩,粉砂岩夹深灰色泥岩,纵向上出现3个砂泥岩正旋回。该套地层属于滨浅湖-半深

湖过渡相半咸水沉积。

营尔凹陷下沟组划分为4个三级层序, $SQ1$ 为 K_{1g}^1 的中下部; $SQ2$ 为 K_{1g}^1 的上部以及 K_{1g}^2 的下部; $SQ3$ 为 K_{1g}^2 的中上部; $SQ4$ 大致相当于 K_{1g}^3 。对于整个下沟组而言,可以将其视为一个完整的二级层序,其中 $SQ1$ 构成二级层序的低位域, $SQ2$ 、 $SQ3$ 构成了二级层序的湖扩域, $SQ4$ 为二级层序的高位域^[1]。

在陆相断陷盆地中,层序界面除了一些高级别的易于识别的区域性不整合面外,常常是一些反映局部不整合和沉积间断的地震响应。这些特征在地震剖面上主要利用同相轴的不整一反射终止方式来判别。

营尔凹陷下沟组可识别出两个二级层序边界($SB1$ 、 $SB5$ 分别为下沟组顶底)、5个三级层序边界和4个湖泛面。在 $SB1$ 处,存在有明显的削截反射特征。在 $CS1$ 界面处,存在有明显的下超反射特征。在 $CS3$ 界面为整个二级层序的最大湖泛面处,在地震剖面上表现为一个中强振幅、连续性好的地震反射同相轴。地震剖面上 $SB4$ 界面上下表现不同,界面下主要表现为平行关系,局部为削截,界面上主要表现为平行关系,局部为上超接触^[2](图2)。

3 沉积相类型

根据对营尔凹陷下沟组岩心、测井和地震资料的分析,营尔凹陷下沟组主要发育辫状河三角洲、扇三角洲、近岸水下扇、远岸水下扇和湖泊、滑塌沉积体共6种沉积相类型^[3],其中发育辫状河三角洲平原(前缘)、扇三角洲平原(前缘)等12种亚相,进一步可识别出27种沉积微相类型(表1)。

3.1 辫状河三角洲

辫状河三角洲体系是由辫状河进积到内陆湖泊中形成的富含砂和砾石的三角洲。辫状河三角洲平原主要由辫状河道或辫状河平原组成,与扇三角洲平原相比,其辫状河沉积物以河流体系的高度河道化、更持续的水流和很好的侧向连续性为特征,沉积物中可见交错层理和底冲刷,且砾砂岩显示清楚的正韵律性^[4]。辫状河三角洲主要发育于研究区西北部。 $C2$ 井 K_{1g}^1 粒度曲线以二组分二段式和异二组分三段式组合特征为主,分选较差,表明水动力条件不能有效地簸选掉细粒部分,为水下分支河道和河口坝的沉积特征。岩性组合为一套灰色中、细砂岩夹薄层泥岩以及砂泥岩互层组合。电测曲线形态为齿状钟形和齿状漏斗形的组合,齿

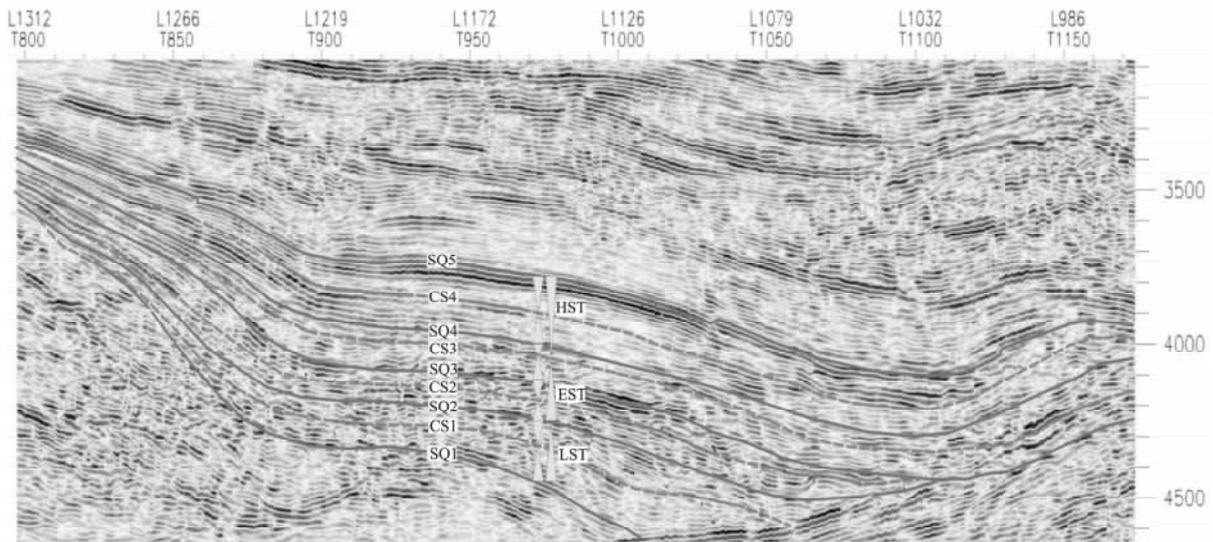


图 2 营尔凹陷下沟组地震层序划分

Fig. 2 Seismic sequence division for the Xiagou Formation in the Ying'er depression

表 1 营尔凹陷下沟组沉积相类型

Table 1 Sedimentary facies types in the Xiagou Formation, Ying'er depression

相	亚相	微相	层位	典型井
辫状河三角洲	辫状河三角洲前缘	席状砂、河口坝、水下分流河道、河道间	K_1g^3 、 K_1g^2 、 K_1g^1	C2-1 井、C2-2 井、C3 井、JC1 井、
	前辫状河三角洲	前辫状河三角洲泥	K_1g^3	C2-2 井、C101 井
扇三角洲	扇三角洲平原	分流河道、河道间	K_1g^3	H1 井、YB1 井
	扇三角洲前缘	分流河道、河道间、河口坝、席状砂	K_1g^2 、 K_1g^1 、 K_1g^3	H1 井、YB1 井、YC1 井
	前扇三角洲	前扇三角洲泥	K_1g^3 、 K_1g^2	SY1 井、Y1 井
近岸水下扇	内扇	主水道、水道间	K_1g^1 、 K_1g^2	F1 井、SY1 井
	中扇	辫状水道、水道间	K_1g^1 、 K_1g^2	SY1 井
	外扇	扇端泥、席状砂	K_1g^1 、 K_1g^2	F1 井、SY1 井
远岸水下扇	内扇	主沟道、主沟堤	K_1g^2 、 K_1g^1	C5 井、C301 井、C4 井
	中扇	辫状沟道、沟道间	K_1g^2 、 K_1g^1 、 K_1g^3	
	外扇	末梢	K_1g^2 、 K_1g^1	
湖泊	浅湖	湖泥夹席状砂、席状砂	K_1g^3 、 K_1g^2	C3 井、C301 井
	半深湖-深湖	湖泥夹席状砂	K_1g^3 、 K_1g^2	C5 井、C4 井
滑塌浊积体				

中线基本平行,底部发育两套正旋回砂组,顶部发育一套反旋回砂组,总体判断为辫状河三角洲前缘沉积。

JC1 井位于营尔凹陷中西部的长沙岭构造带上。 K_1g^2 的岩性为中、细砂岩,含砾砂岩与深灰色、灰色、灰绿色泥岩不等厚互层,见有灰色含砾砂岩定向排列,岩心观察见有平行层理。粒度概率曲线以二组分二段式为主,分选中等,为典型的辫状河三角洲前缘水下分支河道沉积。

C2-2 井的岩性组合为灰色泥岩夹薄层灰色

细砂岩,中部为厚层灰色细砂岩夹少量泥岩。自然伽马曲线显示漏斗形和钟形。岩心观察见有含泥砾细砂岩,含砾油浸砂岩,粒序层理以及透镜状层理和冲刷面(图 3)均为水下分支河道沉积的特征。

3.2 扇三角洲

3.2.1 扇三角洲平原

扇三角洲平原为扇三角洲的陆上部分,由辫状分流河道、泥石流、泛滥平原和溢岸等微相组成。扇三角洲平原以厚层碎屑支撑的砾岩、砾状砂岩为

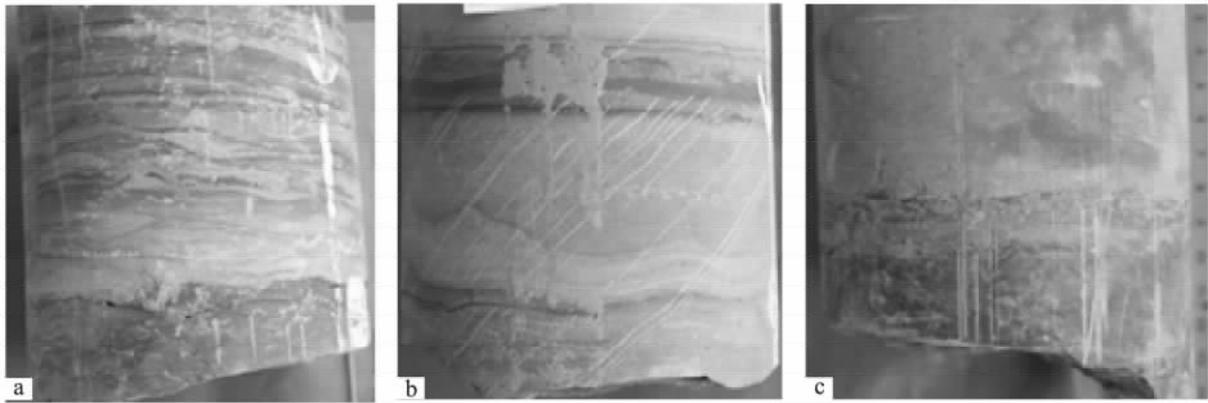


图3 营尔凹陷下沟组辫状河三角洲沉积构造

a. 透镜状层理, C2-2 3930.85~3930.95m; b. 波状层理, C2-2 3912.81~3912.9m; c. 冲刷面、粒序层理, C2-2 3940~3940.4m

Fig. 3 Sedimentary structures in the braided delta deposits in the Xiagou Formation, Ying'er depression

主要岩性。充填分流河道的沉积物具有下粗上细的粒度正韵律。自然电位曲线显示齿化的钟形。底部具有冲刷面和滞留砾石、泥砾沉积,其一般呈块状,向上粒度变细,相应出现大型交错层理、小型交错层理、波状层理、包卷层理以及顶部的水平层理。

化石少见,仅在顶部泥岩中偶见植物根系或虫孔。

YB1K_{1g}²的岩性为灰色砾岩、褐色砾岩、灰色含砾砂岩,夹少量紫红色泥岩。岩心观察见有杂色块状砾岩、泥砾、碳质页岩、冲刷面、粒序层理(图4),均为扇三角洲平原的沉积环境。

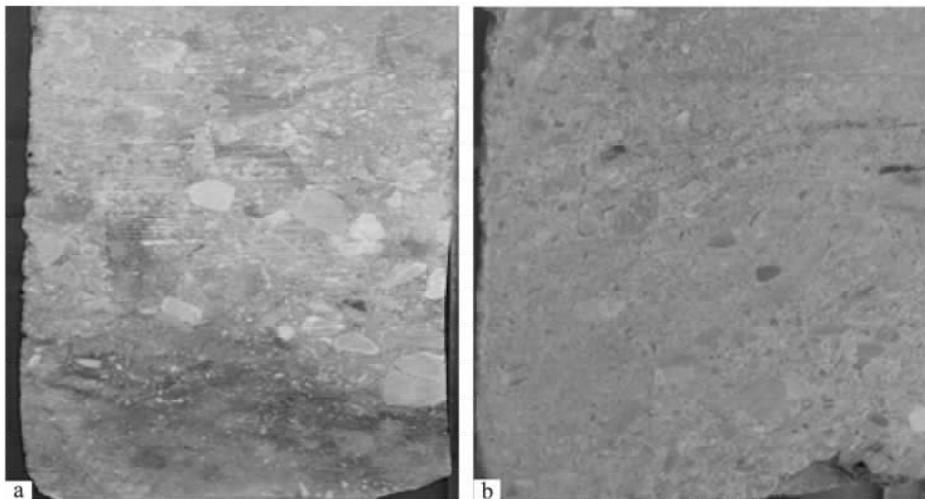


图4 营尔凹陷下沟组扇三角洲前缘沉积构造

a. 冲刷面, YB1 3248.1~3248.25m; b. 粒序层理, YB1 3249.8~3250.2m

Fig. 4 Sedimentary structures in the fan delta front deposits in the Xiagou Formation, Ying'er depression

3.2.2 扇三角洲前缘

扇三角洲前缘位于海岸线至正常浪基面之间的浅水区,可进一步划分为水下分流河道、河口坝、远砂坝和分流间湾等微相。扇三角洲前缘沉积的岩性特征为由含砾砂岩和砂岩构成,分选中等。概率图由悬浮、跳跃、滚动3个次总体组成。跳跃总体发育,分选中等。自然电位曲线呈顶底突变的箱型及钟形。

YC1井K_{1g}³的岩性由互层的灰色、浅灰色含砾

细砂岩、灰绿色含砾细砂岩及灰绿色泥岩组成,自然电位曲线为顶底突变的箱型及钟形。岩心观察见有块状细砂岩,发育平行层理。粒度概率曲线中跳跃总体发育,为三组分三段式(图5)。为扇三角洲前缘水下分流河道间沉积。

3.3 远岸水下扇

水下扇是发育在半深湖环境中的扇形砂体,沉积机制为沉积物重力流,沉积特征为正韵律砂层夹正常半深湖相泥岩,单砂层正韵律明显。岩性以含

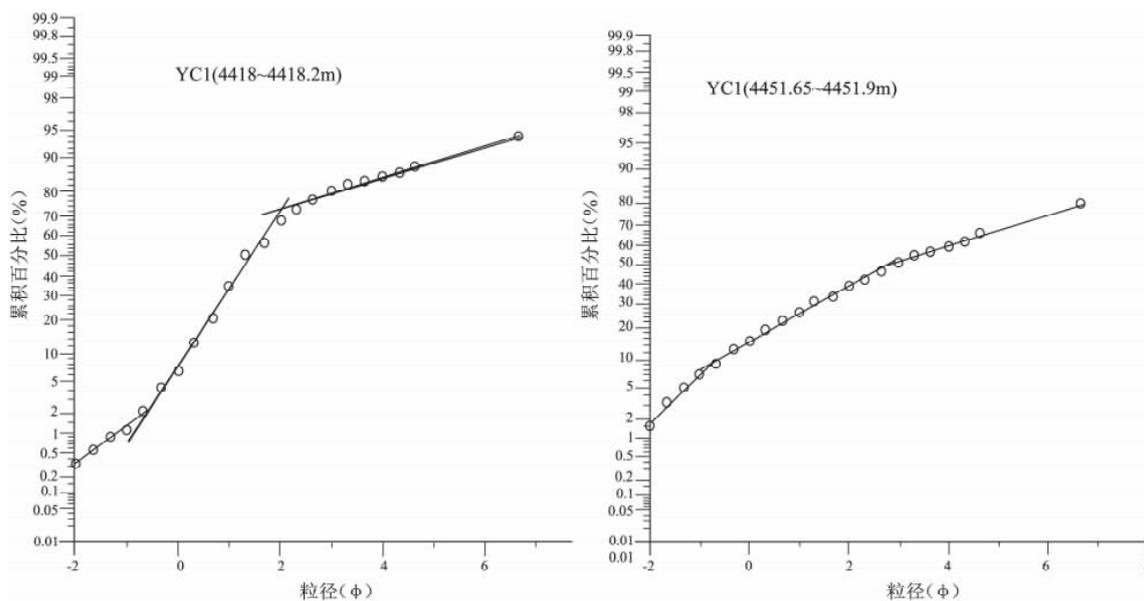


图5 营尔凹陷下沟组 YC1 井粒度概率累积变化曲线

Fig.5 Grain-size probability cumulative curves for the YC1 well in the Xiagou Formation ,Ying'er depression

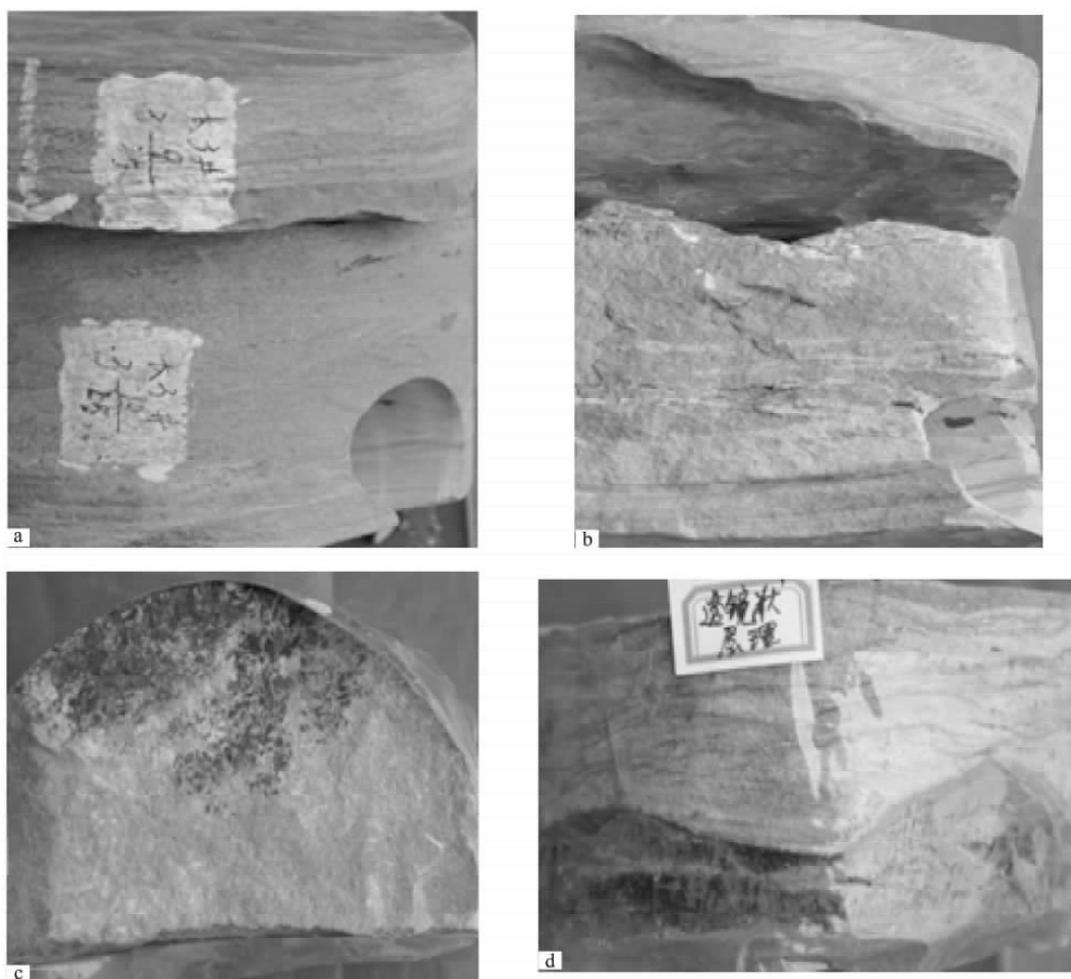


图6 营尔凹陷下沟组远岸水下扇沉积构造

a. 平行层理 C3 #271.7~4271.8m; b. 交错层理 C3 #271.7~4271.8m; c. 植物炭屑 C3 #271.4~4271.5m; d. 透镜状层理 C3 #273.05~4273.1m

Fig.6 Sedimentary structures in the offshore submarine fan deposits in the Xiagou Formation ,Ying'er depression

砾中-细砂岩、细砂岩为主。

C3 在 K_1g^4 主要发育泥岩夹杂少量薄层细砂岩,底部见有厚层细砂岩。岩心观察见有平行层理、小型交错层理、透镜状层理、另见有植物炭屑(图6)。为远岸水下扇外扇沉积。

C6 井 K_1g^4 的岩性为顶部为暗色深湖泥岩中夹正递变砂层(砂砾层),底部为粗砂砾油积岩-细粒油积岩。见有冲刷面构造、砾石定向排列。初步判定为远岸水下扇(中扇)主沟道沉积。

4 沉积体系平面展布规律

根据地震剖面地层接触关系、构造演化,结合各二级层序岩性组合及测井响应特征,将营尔凹陷下白垩统划分为3个二级层序。其中下沟组为一个完整的二级层序,进一步可划分为4个三级层序。 K_1gSQ1 (相当于 K_1g^1) 构成二级层序的低水位域, K_1gSQ2 、 K_1gSQ3 为上升半旋回构成湖扩域(相当于 K_1g^2), K_1gSQ3 下降半旋回及 K_1gSQ4 为高水位域(相当于 K_1g^3)。

K_1gSQ1 低水位域沉积,砂体延伸距离远,大面积分布于盆地斜坡甚至凹陷区。深湖-半深湖区分布局限,只在 C4 井北侧呈北北东向展布。该时期发育5大沉积体系(图7):西部发育 Q1-Y1 辫状河三角洲沉积,受 X1 井断层及黑梁断层控制,三角洲呈北东向分布;西北部发育 Y1-J1 辫状河三角洲,该三角洲沿黑梁断层调节带向东南方向延伸,主要分布于长沙岭构造带及其两翼,进入湖盆后,受 C2 井断层影响,砂体主要向南分布于营尔南次凹;北部发育 BY1 井扇三角洲沉积,扇体受 H1 井断层、黑梁断层、营北断层等近南北向断层控制,砂体沿断槽向北次凹延伸;东南及西南地区受下河清断层控制,垂直断层走向发育扇三角洲群。 K_1gSQ2 总体为湖扩初期,各沉积体系在 K_1gSQ1 沉积背景下继承性发育,滨湖湖、深湖-半深湖区面积扩大,砂体向湖岸退积,在深湖半深湖区发育远岸水下扇及孤立的浊积砂体。 K_1gSQ3 为下沟组湖盆最大扩张期沉积,受黑梁断层作用影响,深湖-半深湖区大面积分布,半深湖-深湖区多处发育远岸水下扇及浊积体等重力流砂体。西南缘大多为深湖半深湖区砂体近岸沉积,发育多个近岸水下扇(图8)。 K_1gSQ4 为下沟组高水位域沉积,在最大湖泛面之后水体持续高位,沉积体系总体维持 K_1gSQ3 沉积格局。

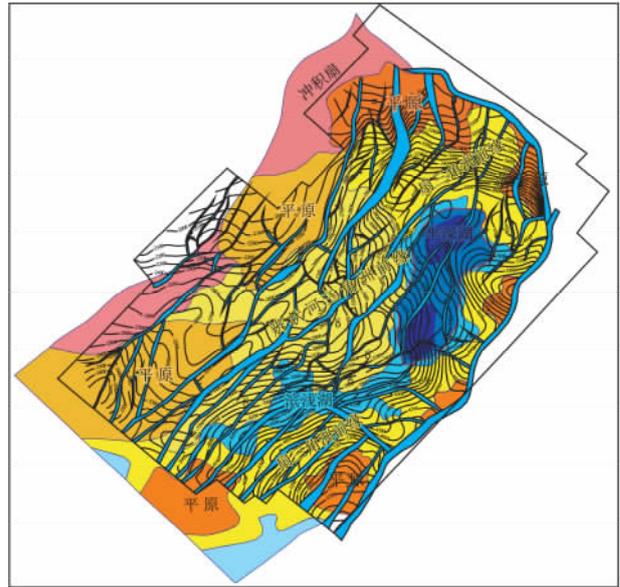


图7 营尔凹陷下白垩统 K_1gSQ1 沉积体系图

Fig. 7 Planar distribution of the depositional system of K_1gSQ1 in the Lower Cretaceous Xiagou Formation, Ying'er depression

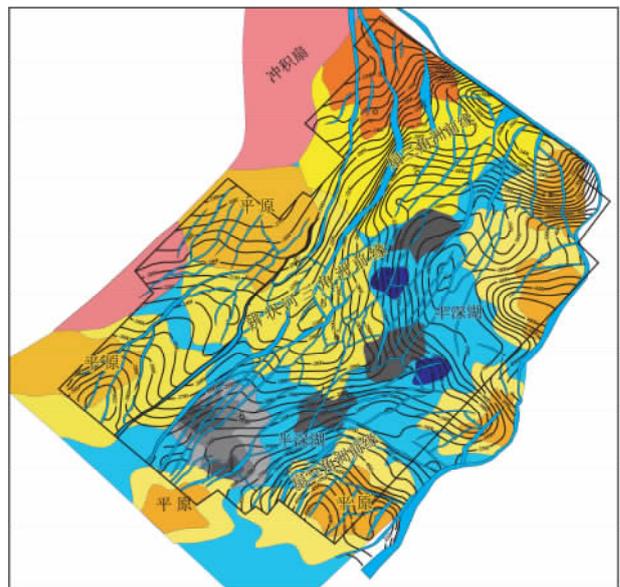


图8 营尔凹陷下白垩统 K_1gSQ3 沉积体系图

Fig. 8 Planar distribution of the depositional system of K_1gSQ3 in the Lower Cretaceous Xiagou Formation, Ying'er depression

5 油气富集的控制因素

营尔凹陷下白垩统发育扇三角洲、辫状三角洲、冲积扇、近岸水下扇、远岸水下扇多种沉积环境,形成不同类型砂体。三角洲前缘亚相及远岸水下扇沉积相砂岩发育,砂岩物性较好,具备储集空间且储盖组合条件好,利于油气成藏。三角洲平原亚相及近岸水下扇以粗碎屑沉积为主,砂泥分异

差,储集物性差,难以形成油气藏。

辫状三角洲前缘亚相的 C2-2 井 K_1g^3 孔隙度集中分布在 15%~25% 之间,平均孔隙度 16.79%,平均渗透率 $435.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。C3、C4 井 K_1g^1 分别钻遇辫状三角洲前缘砂体和滨浅湖砂体,砂岩储层物性较好,均获得油气流。C3 井平 K_1g^1 平均孔隙度 14.54%,平均渗透率 $2.358 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。C5 井钻遇近岸水下扇砂体, K_1g^1 平均孔隙度 6.12%,平均渗透率 $0.74 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,试油获油气流。C301 井失利原因是油层存在但物性变差,沉积相类型的变化影响了物性。扇三角洲的 YTI 井砂岩体以快速堆积为主,砂体厚、分选差,储层物性较差,未能成藏。

6 结论

本文通过对营尔地区层序地层划分与等时性地层格架、沉积相与沉积体系等方面的综合分析,得出以下结论:

(1) 营尔凹陷下白垩统受构造背景影响,下沟

组主要发育辫状河三角洲、扇三角洲、近岸水下扇、远岸水下扇、滑塌浊积体、湖泊共 6 种沉积相类型,形成不同类型砂体。

(2) 营尔凹陷下白垩统下沟组三角洲前缘亚相及远岸水下扇沉积相砂岩发育,砂岩物性较好,具备储集空间且储盖组合条件好,利于油气成藏。

(3) 营尔凹陷下白垩统下沟组三角洲平原亚相及近岸水下扇以粗碎屑沉积为主,砂泥分异差,储集物性差,难以形成油气藏。

参考文献:

- [1] 侯秀林,谷丽冰.酒泉盆地营尔凹陷下白垩统层序地层划分及沉积体系特征[J].现代地质,2009,23(5):809-815.
- [2] 朱筱敏.层序地层学[M].东营:石油大学出版社,2002.
- [3] 周立宏,李勇,王振生,等.陆相断陷盆地缓坡带沉积体系与成藏动力学[M].北京:科学出版社,2009.
- [4] 于兴河.碎屑岩系油气储层沉积学[M].北京:石油工业出版社,2002.

Depositional systems in the Lower Cretaceous Xiagou Formation, Ying'er depression, Jiuquan Basin, Gansu

DUAN Run-mei, GE Wei, YANG Zhu-wei

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Dagang Oil Field Company, Dagang 300280, Tianjin, China)

Abstract: The Ying'er depression, Jiuquan Basin, Gansu appears as a Mesozoic-Cenozoic sedimentary depression on the northern margin of the Qilian fold zone. Four third-order sequences have been distinguished, on the basis of cores, well logs and seismic data, for the Lower Cretaceous Xiagou Formation as a main exploration target in the depression. Six sedimentary facies types are also discriminated, including the braided delta, fan delta, nearshore submarine fan, offshore submarine fan, fluxoturbidites and lake facies. The delta front subfacies and offshore submarine fan sandstones are believed to be the most favourable area for the hydrocarbon accumulation due to excellent physical properties and reservoir-seal associations. In contrast, the things are different for the delta plain subfacies and nearshore submarine fan deposits owing to coarser-grained desposits, and poor sand-mud differentiation and physical properties of the reservoir rocks. The spatial distribution and structural arrangement of the favourable facies zones play an important role in the spatial distribution of prolific areas.

Key words: Ying'er depression; Lower Cretaceous; Xiagou Formation; depositional system; prolific area