

文章编号:1009-3850(2011)03-0001-05

## 草湖地区侏罗系层序地层及沉积体系特征

陆金波<sup>1,2</sup>, 王英民<sup>1,2</sup>, 张雷<sup>3</sup>, 王改云<sup>1,2</sup>, 顾秀梅<sup>4</sup>

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 中石油煤层气有限责任公司 北京 100028; 4. 大港油田电力公司 港中变电分公司; 天津 300280)

**摘要:**基于测录井资料对比, 结合区域构造演化特征, 将草湖凹陷侏罗系划分为两个三级层序 J-SQ1 与 J-SQ2。J-SQ1 时期气候温暖潮湿, 层序发育完整的上升半旋回和下降半旋回沉积, 发育辫状河体系和湖泊体系; J-SQ2 时期气候逐渐转为炎热半干旱, 层序发育不完整, 只发育上升半旋回沉积, 主要由氧化型湖泊体系构成, 发育滨浅湖砂滩、泥滩互层沉积。其中 J-SQ1 早期辫状河河道砂体叠置厚度大, 储层物性好, 上覆中厚层湖相泥岩沉积, 是本区有利的储集层段。

**关键词:**草湖凹陷; 侏罗系; 沉积体系; 层序地层

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

草湖凹陷位于塔里木盆地塔北隆起的东部。北部是轮台凸起, 西邻轮南低凸起, 东倚库尔勒鼻凸, 南接满加尔凹陷、孔雀河斜坡(图1)。草湖凹陷形成于石炭纪—二叠纪, 由于海西运动的影响, 晚二叠世时期挤压隆升, 二叠系遭受剥蚀, 致使三叠系直接覆盖在石炭系之上; 三叠纪晚期受印支运动的影响, 地层再次遭受隆升剥蚀。进入侏罗纪—白垩纪时期, 构造活动相对稳定, 沉积了一套河流湖泊相沉积<sup>[1]</sup>。古生界奥陶系及三叠系深湖—半深湖沉积是本区较好的烃源岩<sup>[2,3]</sup>, 侏罗系下统阳霞组河流砂岩沉积及中上统泥岩构成较好的储盖组合, 具有较好的油气前景<sup>[3,4]</sup>。

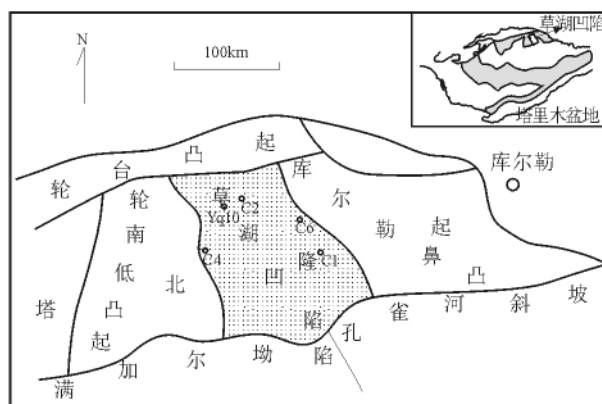


图1 草湖凹陷构造位置图

Fig. 1 Tectonic setting of the Caohu depression

### 1 层序划分

本文根据地质、钻井、测井、地震等资料分析, 认为本区侏罗系发育两个三级层序。由下到上, 依次命名为 J-SQ1 和 J-SQ2。分别为潮湿气候与半干

旱气候下两种不同的层序。图2展示了草2井侏罗系层序划分特征, 对其内部沉积体系发育特征进行了详细分析。J-SQ1 层序对应阳霞组和克孜勒努尔组。该层序结构完整, 发育完整的上升半旋回和下

收稿日期: 2010-05-28; 改回日期: 2010-08-30

作者简介: 陆金波(1981—)男, 博士研究生, 从事层序地层学与储层预测研究。E-mail: basin\_lu@126.com

资助项目: 国家十一五重大科技专项(2008ZX05002)

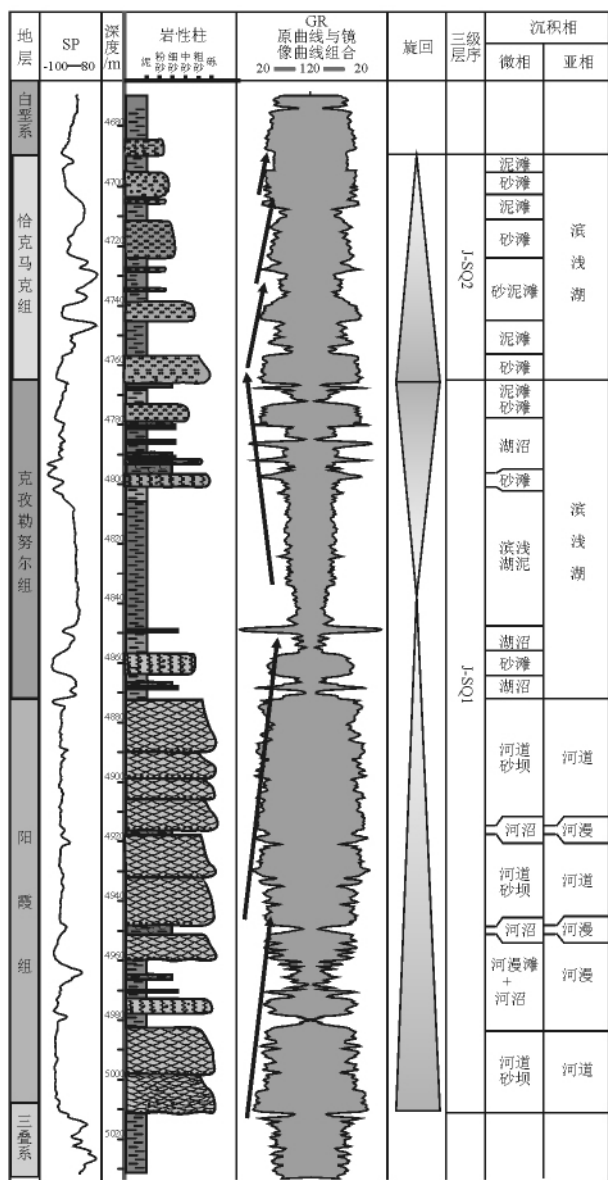


图2 草2井地质综合柱状图

Fig. 2 Generalized geological column through the Cao-2 well

降半旋回,二者转折点出现在克孜勒努尔组下部泥岩段。层序底部与三叠系暗色泥岩冲刷突变接触,测井曲线特征变化明显,以GR曲线反映最为突出(通过岩性与各种曲线对比发现该区GR曲线与岩性的响应关系最好),界面之上GR值明显降低,反映泥质含量迅速降低,砂砾岩含量增加的低位前积的过程。该界面在岩性和测井曲线上的变化特征在全区各井可以追踪对比(图3)。界面之上,阳霞组内岩性为大套的砂砾岩,泥岩发育较少,GR曲线呈微齿化箱形-钟形的复合型,叠加样式表现为退积叠置,曲线相态为箱形、钟形。整体上GR曲线的

幅值表现为向上降低的趋势,这种趋势一直延续到克孜勒努尔组泥岩段内部达到最低值,对应层序发育过程中基准面最高时期。克孜勒努尔组上部地层,砂岩含量又逐渐增加,GR曲线幅值逐渐增加,响应为进积叠加样式,曲线形态多为漏斗形,显示了基准面开始逐渐降低的过程。

J-SQ2层序对应中侏罗统恰克马克组。该层序结构保存不完整,只发育上升半旋回。层序内部表现为多个向上变细的正旋回叠加。层序底部为砂砾岩与下伏J-SQ1呈冲刷接触;顶部与白垩系的接触关系变化不如底部明显,主要体现为泥岩颜色突变(YQ10井、C6井白垩系棕红色泥岩与下伏恰克马克紫红色泥岩接触),以及白垩系泥岩含砂率更低的特征;恰克马克组测井曲线表现为低幅值背景上,出现中低幅值的指状凸起,而白垩系测井曲线为微齿状低幅值平直形态。草1井白垩系略显不同,其底部发育一套砂岩沉积,推测其为近源处洪水沉积产物。J-SQ2层序发育时期为侏罗纪中晚期,构造活动弱,物源供给不充分,加之侏罗纪晚期气候干旱炎热<sup>[5,6]</sup>,研究区可能长期处于沉积间断,因此J-SQ2只发育上升半旋回,而下降半旋回不发育。图3为草湖凹陷内4口钻井连井剖面,展示了4口井侏罗系层序及内部沉积体系发育情况。图中可以看出,草湖凹陷内侏罗系内两个层序J-SQ1和J-SQ2在区域上具有很好的对比性。

## 2 层序格架下沉积体系发育特征

构造沉降、沉积物供给和气候等因素控制了层序的发育,这些因素同时也决定了层序内不同体系域沉积体系发育的特征。侏罗纪草湖地区构造活动微弱,气候因素和沉积物供给对其层序和沉积体系的发育控制作用更加明显。

两个层序内部构成明显不同。J-SQ1早期主要为河流沉积环境,发育辫状河体系,晚期为湖泊环境,发育滨浅湖体系;J-SQ2主要为氧化型湖泊环境,发育氧化型滨浅湖体系。

### 2.1 辫状河沉积相

主要发育在J-SQ1低位体系域阳霞组内。岩性为中-巨厚层状灰白色粗砂岩、含砾不等粒砂岩、细砂岩夹薄-中层状深灰色、浅灰色粉砂质泥岩、泥岩及碳质泥岩及黑色煤层;砂砾岩中发育大型槽状交错层理、侧积交错层理。据其砂岩含量、粒度、岩石组合类型、沉积构造特征,测井曲线形态等可分为主河道与河漫两个亚相。

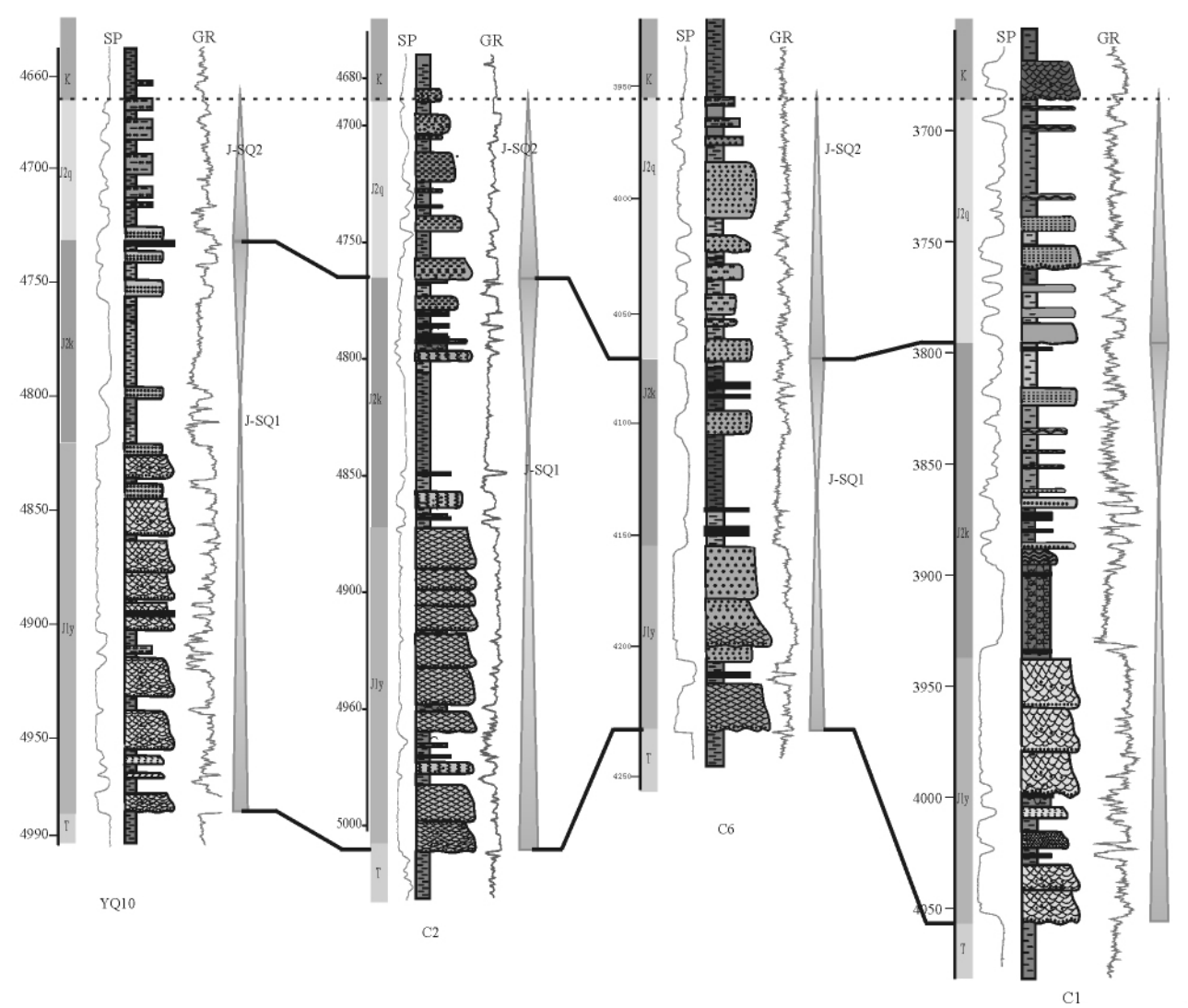


图 3 草湖凹陷 YQ10 - C1 连井对比图

Fig. 3 YQ10 - C1 well-tie correlation in the Caohu depression

1. 辫状河河道亚相

沉积物由灰白厚层含砾粗-中砂岩、中-细砂岩，少量细砾岩夹灰色泥岩、碳质泥岩组成。砂岩粒度上细下粗，底部常含砾石或为砾石层，具底冲刷构造。具有纵向上厚度大、砂层相互叠置，横向交错连片发育的特点。根据其砂体的叠置类型，又可以细分为两种样式，一种类型是一个完整的辫状河正旋回沉积（图 4a），发育下部的河道砂坝砂体与上部的河漫滩泥岩，河道砂坝与下伏地层呈冲刷接触关系，砂岩发育交错层理，粒度向上减小。该类型的辫状河沉积主要发育在 J-SQ1 层序上升半旋回早期，即阳霞组下部（图 2）；另一种类型是多个不完整的旋回反复叠加（图 4b），表现多期河道砂坝的相互叠置，形成纵向上厚度巨大的砂岩层，砂体间河漫

滩泥质沉积不发育，发育大型交错层理，叠置的砂体内部发育冲刷面。此类型的辫状河沉积主要发育在 J-SQ1 上升半旋回中期，阳霞组上部地层（图 2）。草湖地区侏罗系辫状河河道砂坝粒度较粗，储集性能一般较好，是侏罗系有利的储集层位。SQ1 上升半旋回中期，阳霞组上部地层（图 2）。草湖地区侏罗系辫状河河道砂坝粒度较粗，储集性能一般较好，是侏罗系有利的储集层位。

2. 河漫亚相

洪水泛滥期间，水流漫溢出天然堤，流速降低，形成河漫沉积，是河流悬浮沉积物大量堆积的产物，属于垂向加积类型。主要为粉砂岩和粘土岩，粒度细，分布广泛。垂向上位于河床或堤岸亚相之上<sup>[7]</sup>。该类型沉积主要伴随辫状河河道砂出现，如

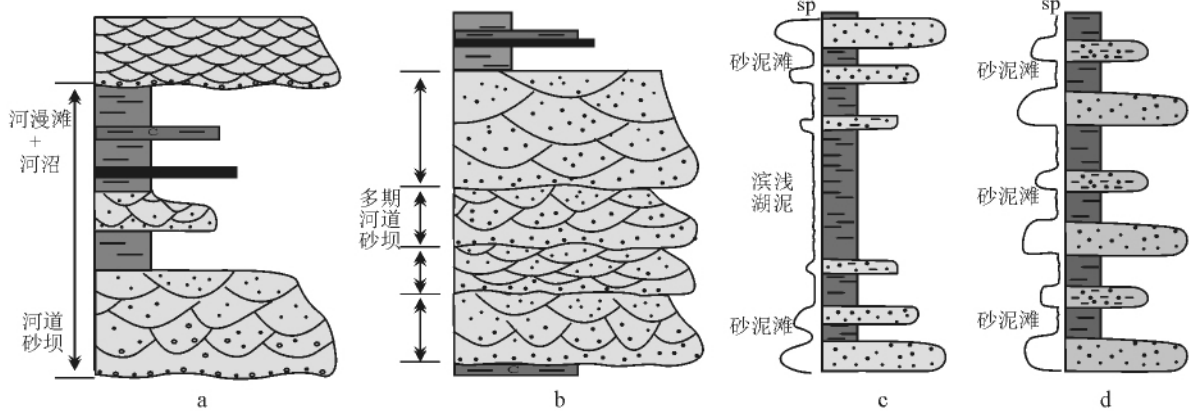


图4 草湖坳陷不同沉积组合模式图

a. 完整辫状河模式; b. 多期辫状河河道叠加模式; c. “沙漏形”滨浅湖沉积模式; d. “宝塔形”滨浅湖沉积模式

Fig.4 Sedimentary models for the Caohu depression

a. Complete braided stream model; b. Polyphase braided stream model; c. “Hourglass-shaped” littoral-shallow lacustrine model; d. “Pagoda” littoral-shallow lacustrine model

前所述,在J-SQ1上升半旋回早期,发育完整的辫状河沉积旋回,河漫亚相保存较完整。主要发育河漫滩和河漫沼泽两个微相。河漫滩主要为灰色-深灰色泥质沉积,粉砂质泥岩及细砂岩,发育水平层理、波状层理等低能环境层理类型;河漫沼泽主要沉积物为碳质泥岩沉积,局部夹薄煤层及煤线发育(图4a)。

## 2.2 滨浅湖亚相

J-SQ1上升半旋回及下降半旋回,主要为湖泊沉积。J-SQ2整个层序也表现为湖泊沉积。从录井及岩心上分析,两个层序内部的湖相沉积均属滨浅湖范畴,然而二者存在着巨大的差异。J-SQ1内滨浅湖发育期,气候条件温暖潮湿<sup>[5,6]</sup>,沉积物通常为灰绿、灰色砂岩、粉砂岩、碳质泥岩及泥岩的不等厚互层,体现当时的环境处于还原条件。J-SQ2发育时期,中侏罗晚期,气候条件发生变化,由温暖湿润的条件,逐渐转化为半干旱条件,沉积物多为灰绿色/紫红色/红棕色泥岩互层沉积夹灰绿色及紫红色薄砂层沉积。

研究区滨浅湖亚相主要发育的沉积微相有滨浅湖泥、湖沼、沙滩、泥滩等。J-SQ1下降半旋回早期,基准面高,加之当时温暖潮湿的气候条件,沉积了一套40~50m厚的滨浅湖泥岩,测井曲线呈低幅线型。而沙滩、泥滩、湖沼主要出现在下降半旋回晚期和上升半旋回晚期,基准面低于滨浅湖泥岩大量发育时期,沙滩主要为中、细砂岩沉积,发育波状交错层理,自然电位曲线呈钟形,正韵律特征。滨浅湖泥滩为5~10m泥岩沉积,发育波状层理、水平

层理与沙滩砂岩呈等厚互层状。湖沼沉积物主要为粘土,富含有机质的淤泥和粉砂质沉积,煤线大量发育是湖沼发育的重要特征。如草1井J-SQ1上升半旋回晚期发育了超过20m的暗色碳质泥岩沉积,夹有薄煤层。J-SQ2发育时期,气候干旱炎热,沉积类型主要为滨浅湖相沙滩、泥滩沉积,沉积特征不仅在沉积物颜色与J-SQ1滨浅湖沉积差异明显,其沉积组合也与J-SQ1具有显著差别。J-SQ1中滨浅湖沉积表现为大套的滨浅湖泥岩顶底沙滩、泥滩及湖沼发育,曲线呈“沙漏形”(图4c),中间幅值最低,向两端增加;J-SQ2由于受气候影响,内部湖沼不发育,整个沉积层中,有机物含量低,沉积物组合呈多期的滨浅湖沙滩与泥滩的叠置发育,测井曲线呈“宝塔形”(图4d),由多个钟形结构在纵向上叠置而成。

## 3 沉积演化

三叠纪中晚期,整个塔北地区处于湖泛时期,沉积了广泛的湖泊-三角洲沉积。草湖地区三叠纪末沉积了大套的深湖-半深湖暗色泥岩。进入侏罗纪早期,古地貌受三叠纪削高补低作用,地形平坦,冲积平原发育。

J-SQ1早期低位体系域发育辫状河沉积体系,主要沉积为辫状河河道砂坝沉积,基准面小幅波动背景下,层序内部发育了由河道向河漫的过渡沉积。早期河漫沉积得到较好保存。J-SQ1中期,中侏罗世早中期,基准面进一步上升,湖盆周边地势进一步平坦,物源供给相对减少,此时的气候温暖

潮湿,草湖地区广泛分布的浅水湖泊环境,形成了一套湖阔体系域下的滨浅湖及沼泽环境,夹有大量薄煤层发育。基准面在克孜勒努尔组发育早期由上升转为下降后,沉积物粒度相应增加,含砂率提高,总体环境仍处在滨浅湖位置。

J-SQ2 层序发育时期,即中侏罗世晚期恰克马克组沉积时期,气候由潮湿转为炎热干旱,湖盆相对萎缩,主要发育一套氧化型滨浅湖沉积。总体上岩性粒度较细,主要发育滨浅湖环境下沙滩中细砂砂岩沉积和紫红色的滨浅湖泥滩沉积。

#### 4 有利生储盖预测

草湖凹陷存在下古生界寒武系和奥陶系深灰色灰岩、泥灰岩及深灰色泥岩两套烃源岩,三叠系深湖-半深湖泥岩也具有供烃能力<sup>[2,3]</sup>,同时侏罗系内部煤系地层及滨浅湖碳质泥岩具有一定的生烃能力;J-SQ1 低位域大套的辫状河砂砾岩沉积,垂向上厚度大,横向上连通性好,孔隙结构发育,是很好的储集层位。同时,J-SQ2 中期发育数十米厚的

滨浅湖泥岩,含砂率低,如能构成较好的盖层,则具有很好的油气潜力。综合分析认为,J-SQ1 上升半旋回,阳霞组辫状河河道砂岩沉积与 J-SQ 中期泥岩构成较好的储盖组合,具有较好的油气前景。

#### 参考文献:

- [1] 陈发景,汪新文,张光亚,等.新疆塔里木盆地北部构造演化与油气关系[M].北京:地质出版社,1996.
- [2] 赵锡奎,李国容.塔里木盆地草湖凹陷油气勘探的基本条件及前景分析[J].矿物岩石,2001,21(4):47-52.
- [3] 傅强,洪学海.塔里木盆地草湖凹陷含油气系统与油气勘探目标[J].石油试验地质,2001,23(2):160-164.
- [4] 邱荣华,李永林,肖学,等.塔里木盆地孔雀河区块石油地质条件与勘探前景[J].河南石油,2003(1):1-6.
- [5] 赵文智,靳久强,薛良清,等.中国西北地区侏罗纪原型盆地形成与演化[M].北京:地质出版社,2000.
- [6] 黄克难.新疆库车河地区三叠系和侏罗系沉积环境及古气候[J].古地理学报,2003,5(2):197-207.
- [7] 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003.

## Sequence stratigraphy and depositional systems in the Caohu depression , Tarim Basin , Xinjiang

LU Jin-bo<sup>1,2</sup>, WANG Ying-min<sup>1,2</sup>, ZHANG Lei<sup>3</sup>, WANG Gai-yun<sup>1,2</sup>, GU Xiu-mei<sup>4</sup>

(1. School of Resources and Information Technology , China University of Petroleum , Beijing 102249 , China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Exploration , China University of Petroleum , Beijing 102249 , China; 3. PetroChina Coalbed Methane Co. Ltd. , Beijing 100028 , China; 4. Dagang Oil Field Power Company , Tianjin 300280 , China)

**Abstract:** The Jurassic strata in the Caohu depression , Tarim Basin , Xinjiang are divided , on the basis of well logs and regional tectonic evolution , into two third-order sequences J-SQ1 and J-SQ2. During the deposition of J-SQ1 sequences , the climates were warm and humid. The sequence displays the complete rising-falling semicyclic deposits. Till the deposition of J-SQ2 sequences , the climates turned into hot and semiarid ones. The sequences display only the rising semicyclic deposits , and consists of oxidized lacustrine depositional systems in which the littoral-shallow lacustrine sand-mud beach deposits are developed. The braided channel sandstones in J-SQ1 sequences are believed to be the favourable reservoir rocks in the study area due to tremendous thickness , better physical properties and moderate to thick overlying lacustrine mudstone.

**Key words:** Caohu depression; Jurassic; depositional system; sequence stratigraphy