

刘攀, 郑荣才, 王海红, 等. 鄂尔多斯盆地红井子地区长 9 油层组层序分析与砂体预测[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 710–719.

Liu Jiang, Zheng Rongcai, Wang Haihong, et al. High resolution sequence analysis and sand body prediction of Chang 9 oil set in Hongjingzi area, Ordos Basin[J]. *Geology in China*, 2015, 42(2): 710–719(in Chinese with English abstract).

## 鄂尔多斯盆地红井子地区长 9 油层组 层序分析与砂体预测

刘 攀<sup>1</sup> 郑荣才<sup>1</sup> 王海红<sup>2</sup> 侯长冰<sup>2</sup> 王昌勇<sup>1</sup>

(1. 油气藏地质及开发工程 国家重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059; 2. 中国石油天然气集团公司  
长庆油田超低渗透油藏第四项目部, 甘肃 庆阳 745100)

**摘要:** 根据岩心观察、铸体薄片、岩石学特征、沉积构造、古生物标志、矿物学特征及地球化学分析成果的分布分析, 结合测井解释成果对红井子地区长 9 油层组高分辨层序地层学及砂体平面展布特征行了系统研究。发现该区长 9 油层组时期为砂体具毯状展布特征的典型浅水三角洲沉积体系。高分辨率层序地层学研究发现, 长 9 油层组可划分为上部长 9<sub>1</sub> 和下部长 9<sub>2</sub> 两个湖侵–湖退旋回, 通过基准面旋回结构分析, 将该地区长 9 油层组确定为 1 个大的区域性湖侵序列, 2 个次级的湖侵–湖退旋回, 划分出 1 个长期旋回层序, 2 个对应于长 9<sub>1</sub> 及长 9<sub>2</sub> 油层的中期旋回层序, 4 个对应于小层的、包括湖侵和湖退沉积体系域在内的基准面升、降相域。同时建立了长 9 油层组等时地层格架, 对小层砂体进行了追踪对比和预测。

**关键词:** 高分辨率层序地层; 浅水三角洲; 砂体预测; 长 9 油层组; 红井子地区; 鄂尔多斯盆地  
**中图分类号:** P536; P539.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–3657(2015)02–0710–10

### High resolution sequence analysis and sand body prediction of Chang 9 oil set in Hongjingzi area, Ordos Basin

LIU Jiang<sup>1</sup>, ZHENG Rong-cai<sup>1</sup>, WANG Hai-hong<sup>2</sup>, HOU Chang-bing<sup>2</sup>, WANG Chang-yong<sup>1</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Fourth Section of Ultra-low Permeability Reservoir in Changqing Oilfield, Qingyang 745100, Gansu, China)

**Abstract:** Based on core observation, casting thin sections, petrological features, sedimentary structures, paleontology marks, and mineralogical and geochemical analysis, combined with well log interpretation results of Chang 9 oil set of high resolution sequence stratigraphy and the plane distribution of sand body in Hongjingzi area, the authors have found that, in the period of Chang 9 oil set, this area developed a typical shallow water delta depositional system in which the sand body showed blanket distribution characteristics. High resolution sequence stratigraphy studies show that Chang 9 oil set can be divided into two lake transgressive–retrogressive cycles, i.e., the upper Chang 91 and the lower Chang 92. The base level cycle structure analysis revealed that Chang 9

收稿日期: 2014–07–01; 改回日期: 2014–09–19

作者简介: 刘攀, 男, 1985 年生, 博士生, 沉积学、储层沉积学及矿物岩石学方向; E-mail: 26300063@qq.com。

通讯作者: 郑荣才, 男, 1950 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事沉积学及岩相古地理方向研究; E-mail: zhengrc@cdut.edu.cn。

oil set in this area can be identified as being composed of a large regional lake transgressive sequence and two secondary lake transgressive-retrogressive cycles, and can be divided into a long-term cycle sequence, two middle-term cycle sequences corresponding to the Chang 91 and Chang 92 oil set respectively, and four base-level rising and falling phases corresponding to small layers, including lake transgressive-retrogressive depositional systems tracts. In addition, the authors set up the isochronous stratigraphic framework of Chang 9 oil set, and carried out the tracking correlation and prediction of small layers sand bodies.

**Key words:** high resolution sequence stratigraphy; shallow water delta; sand body prediction; Chang 9 oil set; Hongjingzi area; Ordos Basin

**About the first author:** LIU Jiang, male, born in 1985, doctor, majors in reservoir sedimentology and petrology; E-mail: 26300063@qq.com.

**About the corresponding author:** ZHENG Rong-cai, male, born in 1950, professor, supervisor of doctor candidates, mainly engages in the study of sedimentology and lithofacies paleogeography; E-mail: zhengrc@cdut.edu.cn.

红井子地区位于鄂尔多斯盆地中偏西部, 区域构造横跨伊陕斜坡和天环坳陷<sup>[1,2]</sup>(图1), 该地区延长组沉积体系分布受长期继承性升降运动过程中形成的伊陕斜坡构造背景控制, 在湖盆稳定的长9沉积期, 发育有大面积的储集砂体, 形成了长9油层组完整的湖进-湖退演化序列<sup>[3,4]</sup>。研究区生油洼陷的

中心靠近吴旗和白豹地区, 于长7沉积期发育有15~45 m厚的优质烃源岩, 局部烃源岩可厚达90 m, 具备非常有利的油源供给和成藏条件<sup>[5-9]</sup>。但近年来在长9油层组钻获的油井产能差别很大、油水关系非常复杂, 特别是红井子、胡尖山和罗庞塬三个井区的油藏规模和产能状况存在很大差异, 与长9油层组物源供给方向及沉积微相类型与展布等因素有密切关系。本文以物质组分研究为基础, 以单井沉积微相和高分辨率层序分析和层序-古地理编图<sup>[10-18]</sup>为手段, 对红井子地区长9油层组物源及沉积微相展布进行研究, 期望对高效勘探开发长9油层组油藏提供有用的地质信息。

## 1 长9油层组沉积相特征

红井子地区长9油层组主要为一套灰色细-粗粒砂岩与深灰色粉砂岩、泥岩互层组合, 局部夹薄层煤和煤线。长9沉积时期, 鄂尔多斯盆地主要为一套湖泊浅水三角洲沉积体系<sup>[19]</sup>, 全盆地有大面积较厚层的砂体分布。由于不同地区沉积环境和沉积相不同, 砂体展布规律存在明显差异。本文主要根据岩石学特征、沉积构造、古生物标志、矿物学特征及地球化学分析成果, 对红井子地区长9油层组沉积环境和高分辨率层序特征及砂体展布规律进行研究(图2)。

### 1.1 沉积相标志

#### 1.1.1 岩石学标志

薄片鉴定结果表明, 长9油层组砂岩的物质组分和结构有如下特点: ①长石的含量普遍很高, 平均达42.42%, 以钾长石为主, 次为斜长石。岩屑含量也普遍较高, 平均为20%, 成分以中-酸性火山岩

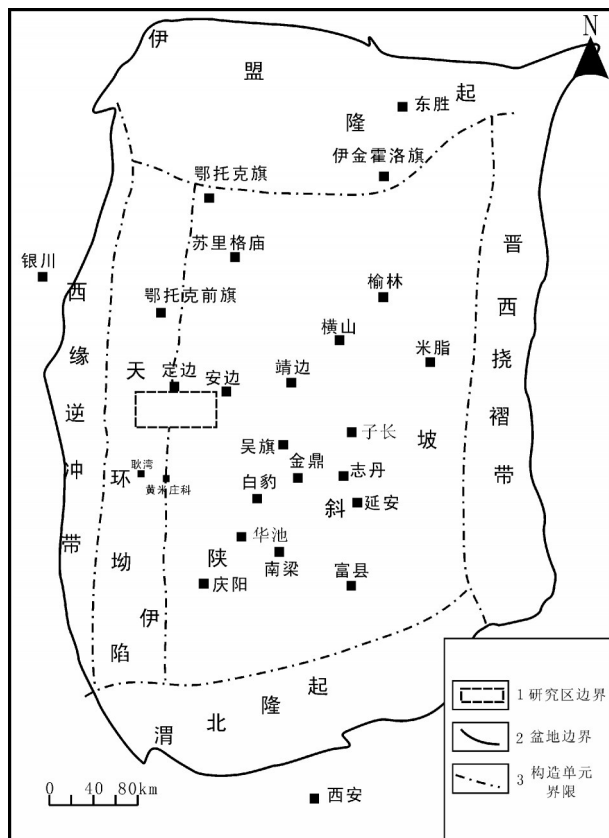


图1 研究区位置及构造略图

Fig.1 Sketch map showing tectonics and location of the study area

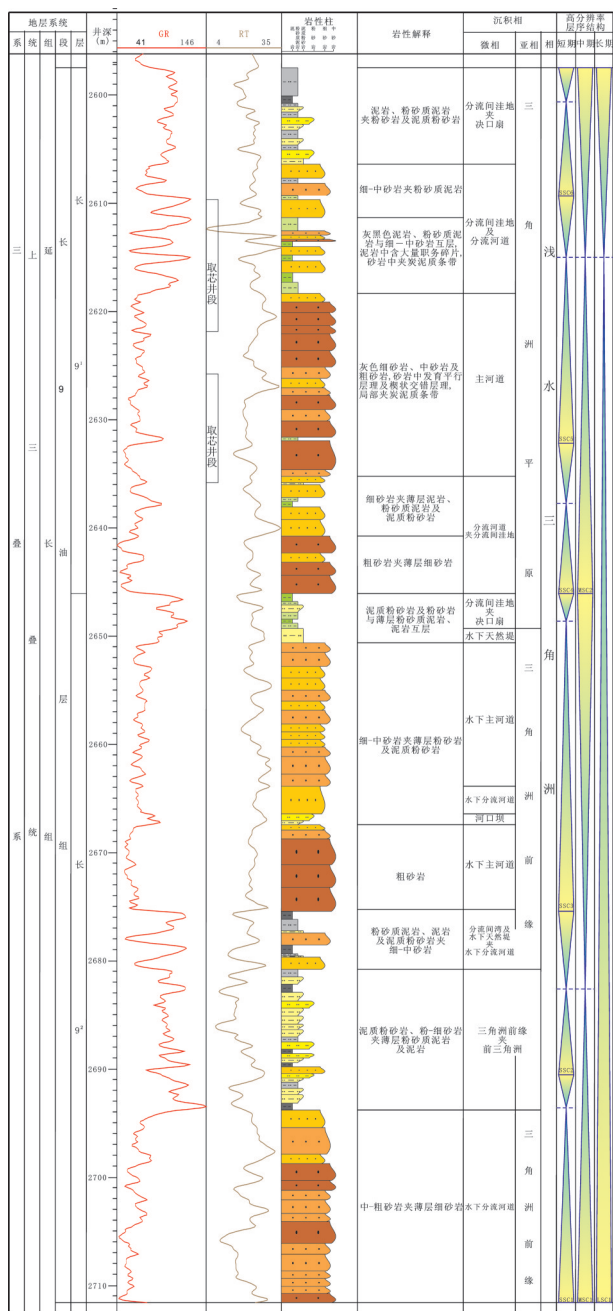


图2 黄97井长9油层组沉积-层序综合柱状图  
Fig.2 Comprehensive columnar section of depositional sequence of Chang 9 oil-bearing set in Huang-97 well

屑为主, 次为浅变质岩。而石英含量很低, 平均仅为34%, 岩石类型主要为岩屑长石砂岩和长石砂岩, 少量为长石岩屑砂岩, 具有很低成分成熟度特征; ②粒径分布在0.1~0.8 mm, 平均粒径0.32 mm, 以 $9_2$ 油层砂岩的粒度较长 $9_1$ 油层略粗一些, 前者以中粒为主, 后者以细粒为主, 分选型中等, 磨圆度都

较差, 以次圆状-次棱角状为主。杂基含量普遍较低, 为1%~3%, 显示中等偏高的结构成熟度特征; ③颗粒多呈点-线式接触关系和孔隙式胶结结构, 胶结物含量为6%~8%, 成分以绿泥石、硅质、浊沸石为主, 多呈薄膜型和次生加大型, 其中等厚环边的薄膜型绿泥石含量最高(图3), 占胶结物总量的60%; ④大部分砂岩的剩余原生粒间孔保存良好, 其次为长石和岩屑被溶蚀形成的粒间溶孔、粒内溶孔、溶缝和微裂隙等次生孔隙, 平均孔隙度为13.6%, 平均渗透率为 $24.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 按碎屑岩天然气藏储层分类国家标准(SY/T5601-2009), 属于中孔-中渗孔隙型储层。

### 1.1.2 原生沉积构造标志

红井子地区长9油层组中主要发育与牵引流成因相关的沉积构造, 反映河、湖过渡的三角洲沉积环境的古生物及生物遗迹化石也较为丰富。

(1)层理构造, 类型丰富多样, 包括有: ①平行层理(图4-A), 最为发育, 指示在长9沉积时期内, 研究区普遍具有较强的水动力条件; ②槽状交错层理, 最为常见, 但由于受岩心直径限制, 大型槽状交错层理在岩心中一般难以识别, 但中型及小型槽状交错层理非常明显(图4-B), 反映三角洲水道, 尤其是浅槽的水下分流河道频繁迁移特征; ③板状交错层理, 规模较小, 层系厚度一般不超过5 cm(图4-C), 主要与砂质沉积物向湖盆的前积作用有关; ④楔状交错层理, 此类层理的形成往往与水道迁移和流向改变有关, 红井子地区长9油层组砂岩中的楔状交

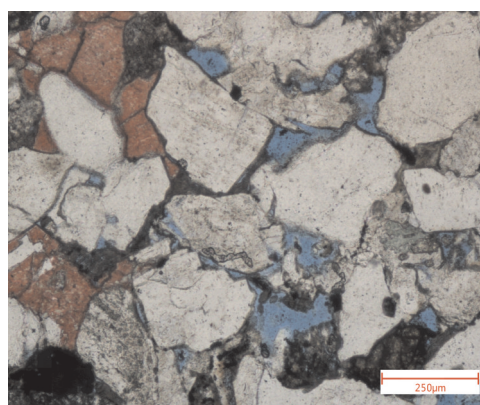


图3 细粒岩屑长石砂岩  
粒间孔保存良好; 池53井, 2829.3 m, 长9, 染色铸体薄片

Fig.3 Fine-grained lithic arkose  
Staining and casting thin section, intergranular pores well preserved, Chi 53 well, 2829.3 m, Chang 9

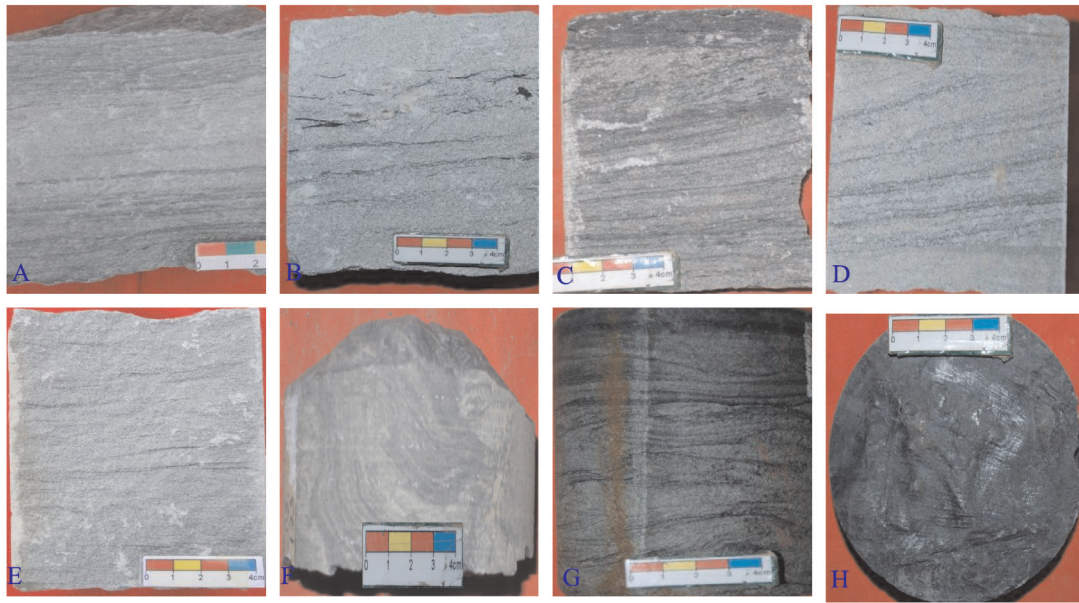


图4 红井子地区长9油层组中常见的原生沉积构造

A—平行层理, 黄55井, 2651.7 m; B—小型槽状交错层理, 元65井, 2463.5 m; C—板状交错层理, 盐54井, 2588.4 m; D—楔状交错层理, 白429井, 2422 m; E—沙纹层理, 耿58井, 2568.43 m; F—包卷层理, 新255井, 2093.55 m; G—液化变形构造, 耿58井, 2571.1 m; H—植物叶片化石, 峰202井, 2507.62 m

Fig.4 Common primary sedimentary structure of Chang 9 oil-bearing set in Hongjingzi area

A-Parallel bedding, Huang 55 well, 2651.7 m; B-Small trough cross bedding, Yuan 65 well, 2463.5 m; C-Plate cross bedding, Yan 54 well, 2588.4 m; D- Wedge shaped cross bedding, Bai 429 well, 2422 m; E- Ripple bedding, Geng 58 well, 2568.43 m; F-Convoluted bedding, Xin 255 well, 2093.55 m; G- Liquefaction deformation structure, Geng 58 well, 2571.1 m; H-Leaves of plant fossils, Feng 202 well, 2507.62 m

错层理也较为常见(图4-D), 上下两组斜交纹层的内部都呈向下的收敛状, 反映其沉积时期辫状水流具有频繁改道的性质; ⑤浪成沙纹层理, 主要发育在河口坝或远砂坝中, 岩石粒度一般较细, 以泥质粉砂岩和粉砂岩为主, 为指示水下环境的典型标志(图4-E); ⑥水平层理, 主要发育在深灰色泥岩及粉砂质泥岩中, 代表分流间湾或前三角洲等相对安静和缺氧较深水环境, 岩性致密, 常构成储集砂体间的隔层; ⑦递变层理, 也较常见, 由粗砂岩、中砂岩、细砂岩及粉砂岩组成向上变细的正粒序结构, 砂体底部常含少量撕裂泥砾, 也为水道沉积标志。

(2)层面构造, 最常见的是由河道侵蚀泥岩顶部形成的底冲刷面。

(3)同生变形构造, 也较为常见, 主要为滑动变形、包卷层理(图4-F)和液化变形构造(图4-G), 发育在粉-细粒砂岩中, 常与沙纹层理伴生, 指示具有较大地形坡度的三角洲前缘河口坝环境。

### 1.1.3 古生物标志

可指示沼泽化湖岸平原环境的芦木和植物根

迹化石在研究区长9油层组中较常见, 同时偶见介形虫及鱼类鳞片化石(图4-H), 垂向上往往与指示水下环境的浪成交错层理频繁互层, 反映长9沉积期湖平面的高频升降并导致湖域间歇性暴露和淹没, 具有浅水湖泊性质<sup>[9]</sup>。同时长9泥岩颜色较浅, 有机质含量较低(TOC总量 $\leq 1\%$ ), 泥岩中含少量莓球状黄铁矿, 也可作为指示湖泊水体不深、处于弱氧化-弱还原环境的辅助证据。

### 1.1.4 测井相和岩-电转换模型

根据30余口钻井的岩心观察资料, 结合测井曲线归位处理, 选取对砂、泥岩反映较为灵敏的GR曲线作为长9油层组岩性解释的基础曲线, 结合岩心观察成果, 综合考虑SP、RT、AC、DEN及CNL等曲线特征(图2), 确认了长9油层组测井相标志(图5), 建立了岩-电转换模型(图2), 对长9油层组岩性和沉积微相进行识别。

## 1.2 沉积相划分方案

综合沉积构造和砂体发育特征, 确定红井子地区长9油层组属于典型浅水三角洲沉积体系<sup>[9]</sup>, 自下而

上具有砂/泥比值逐渐降低的趋势,反映长9油层组自下而上为一湖域扩大和水体逐渐加深的湖侵沉积序列。可划分为3个沉积亚相和10个微相(表1)。

1.3 各沉积亚相和微相特征

1.3.1 三角洲平原亚相

由主河道(心滩)、分流河道、分流间洼地及决口扇等沉积微相组成(图6),各微相特征如下:

(1)主河道(心滩)微相,岩性主要发育灰色中-粗砂岩,砂岩中发育大量平行层理及大型板状及楔状交错层理,可见明显的正粒序,砂岩缺乏明显的泥质夹层,不同期次的河道砂岩以冲刷面接触,垂向上叠置为厚度巨大的砂体,砂体厚度可达20~30 m。GR曲线一般表现为厚度一般介于20~30 m的低值齿化箱形,反映垂向上多期河道连续叠加形成的巨厚层砂体,被底冲刷面分隔的单砂体底部有时GR值相对较高,主要与冲刷面之上往往含有较多的撕裂泥砾有关。

(2)分流河道微相,岩性以灰色细-中砂岩为主,少量为粗砂岩,砂岩中发育中型槽状交错层理、板状交错层理及楔状交错层理,平行层理也较为发育,单个砂体厚度一般不超过15 m,泥岩夹层较多,垂向上砂泥岩呈互层出现,GR曲线一般表现为较低值的钟形-箱形,厚度一般<20 m,反映垂向上期数较少的河道叠加形成的厚层砂体,被底冲刷面分隔的单砂体底部也往往含有较多的撕裂泥砾而具有相对较高GR值。

(3)分流间洼地微相,岩性以灰色-灰黑色泥岩、炭质泥岩及粉砂质泥岩为主,夹薄层煤层粉砂岩及泥质粉砂GR曲线常表现为齿化钟形特征,偶有指状低峰特征,反映其粒度以泥岩、炭质泥岩及粉砂质泥岩为主,夹薄层粉砂岩、泥质粉砂岩及煤层。GR曲线表现为齿状起伏的高值,RT曲线一般为低值,但有时由于受含炭质量较高的影响,其RT曲线偏高。

(4)决口扇微相,岩性以灰色粉-细砂岩为主,含少量深灰色泥岩及粉砂质泥岩,GR曲线表现为齿形夹齿化漏斗形(图5),反映悬移沉积的泥质岩夹溢流沉积的薄层粉-细砂岩特征。常发育滑塌变形构造或包卷层理,厚度≤1 m,在分流间洼地微相中呈夹层出现,GR曲线多表现为指状或漏斗状形态。

1.3.2 三角洲前缘亚相

包括水下分流河道、分流间湾、水下决口扇及远砂坝等4种微相类型(图6),各微相特征如下:

(1)水下分流河道微相,岩性以灰色细-中砂岩为主,少量为粗砂岩,砂岩中平行层理、小型槽状交错层理、板状交错层理及楔状交错层理均较为发育。单个砂体厚度多介于1~5 m,一般不超过10 m,GR曲线特征与水上分流河道相似,表现为钟形或箱形特征,但其垂向上常与漏斗形曲线相邻。

(2)分流间湾微相,岩性主要为深灰色泥岩及粉砂质泥岩薄互层组合,偶夹少量洪泛期漫溢出水下分流河道的泥质粉砂岩夹层。由于水体相对安静,以发育水平层理为主,可见少量虫孔,层面上含少量碳化植物碎片,其连续沉积厚度一般<2 m,常在水下分流河道沉积间呈夹层出现,或与水下分流河道微相呈中-厚互层出现,GR曲线多表现为正向微齿形,对应RT曲线表现为低谷。

(3)水下决口扇微相,岩性主要为灰色泥质粉砂岩、粉砂岩夹少量细砂岩组合,岩心中常见液化

沉积相		岩石类型	颜色	沉积构造	测井曲线特征	
相	亚相				微相	GR曲线形态
辫状河三角洲	三角洲平原	分流间洼地	泥岩、炭质泥岩及粉砂质泥岩为主,夹薄层泥岩粉砂岩、及泥质粉砂岩	灰色-灰黑色	水平层理,发育虫孔,含植物茎干、根迹及叶片化石	齿化钟形
		决口扇	粉-细砂岩	灰色	发育滑塌变形构造	齿化漏斗形
		主河道(心滩)	中-粗砂岩	灰色	发育平行层理,大型板状、楔状交错层理,正粒序	齿化箱形
	三角洲前缘	分流河道	中-粗砂岩,及中-细砂岩	灰色	平行层理,小型槽状交错层理及楔状交错层理	箱形、钟形
		水下分流河道	细-中砂岩	灰色	平行层理,小型槽状交错层理、板状及楔状交错层理	钟形-箱形
		河口坝	粉砂岩为主,可见少量粗砂岩	灰色	浪成交错层理及液化变形构造	齿化漏斗形
		远砂坝	泥质粉砂岩夹粉砂质泥岩	灰色	砂纹层理	齿化较低平曲线
	前三角洲	分流间湾	泥岩、粉砂质泥岩	灰色-深灰色	发育生物结孔及水平层理	正向微齿形
		水下决口扇	粉砂质泥岩及泥质粉砂岩	灰色	滑塌变形构造	齿形
		前三角洲泥	泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩互层	深灰色	发育生物结孔及水平层理	齿化低平曲线

图5 红井子地区长9油层组测井相标志  
Fig. 5 Logging facies marks of Chang 9 oil-bearing set in Hongjingzi area

表1 红井子地区长9油层组沉积相划分方案  
Table 1 Classification scheme of Chang 9 oil-bearing set sedimentary facies in Hongjingzi area

相	亚相	微相	主要岩性
水	三角洲	主河道(心滩)	中-粗砂岩
三	平原	分流河道	细-中砂岩
		分流间洼地	(碳质)泥岩、粉砂质泥岩
	决口扇	粉-细砂岩、泥质粉砂岩	
角	三角洲	水下分流河道	细-中砂岩为主,少量粗砂岩
		分流间湾	泥岩、粉砂质泥岩
	前缘	水下决口扇	粉砂岩、泥质粉砂岩
		河口坝	粉-细砂岩
前	三角洲泥	远砂坝	粉砂岩、泥质粉砂岩
			泥岩为主、少量粉砂质泥岩

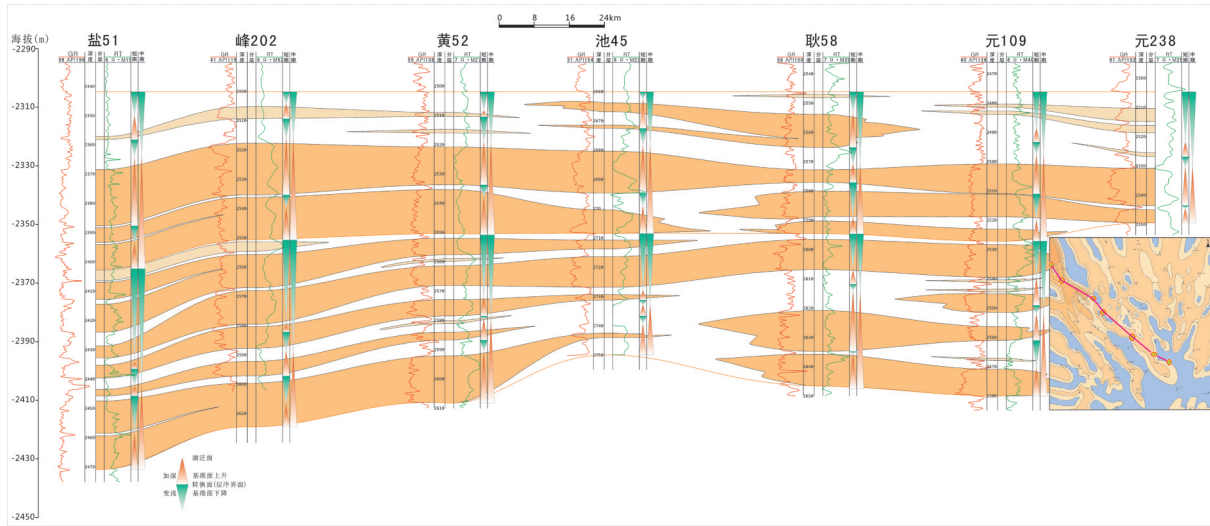


图6 红井子地区盐51—元238井长9油层组平行河道延伸方向的等时地层格架剖面图  
Fig.6 The Yan 51 well–Yuan 238 well

变形构造及包卷层理, GR曲线也表现为齿形夹齿化漏斗形, 反映在分流间湾泥岩中溢流沉积的薄层粉-细粒砂岩, 呈夹层状分布于分流间湾之中。

(4)河口坝和远砂坝, 是判断三角洲沉积环境的重要相标志, 前者主要为灰色粉-细砂岩, 发育大量浪成交错层理及液化变形构造, 后者主要为灰色泥质粉砂岩夹深灰色粉砂质泥岩, 泥质粉砂岩中可见明显沙纹层理, 粒度向上变细。GR曲线河口坝表现为幅度较大的漏斗形, 而远砂坝为较低幅的漏斗形, 由于河口坝与远砂坝在垂向上常相邻出现, 组成向上连续变粗的进积逆粒序或变细的退积正粒列(图2), 逆粒序顶部过渡为水下分流河道的细-中粒砂岩, 其间往往被底冲刷面分隔。

### 1.3.3 前三角洲亚相

岩性单一, 主要为深灰色泥岩及粉砂质泥岩, 由于水体环境相对安静, 以发育水平层理为主, 可见少量生物钻孔。前三角洲沉积在GR值一般较高, 多表现为大段低幅起伏的曲线, 对应RT曲线为较为平滑的低谷。

## 2 高分辨率层序地层学特征

### 2.1 高分辨率层序划分

以区域性和次级湖侵序列的底冲刷面, 或岩性、岩相突变面为层序底界面(图2), 可将红井子地区长9油层组划分为1个相当于区域性湖侵-湖退序列的长期旋回层序<sup>[20, 21]</sup>, 2个对应于长9<sub>1</sub>及长9<sub>2</sub>油

层的、相当于次级湖侵-湖退序列的中期旋回层序, 4个对应于小层的、相当于韵律性湖侵-湖退旋回的短期旋回层序(图2、表2), 各级次旋回层序均可进一步细分出分别相当湖侵期和湖退期的基准面上升与下降2个相域<sup>[22]</sup>。

### 2.2 基准面旋回结构特征

通过精细的沉积相和基准面旋回结构与砂体发育关系的综合分析, 发现相当MSC1中期旋回层序的长9<sub>2</sub>油层砂体较MSC2中期旋回层序的长9<sub>1</sub>更为发育, 具有明显的浅水三角洲毯状砂体分布特征。由湖平面升降变化对基准面旋回结构和砂体发育的控制具有如下4个特点:

(1)上升相域早期(初始湖侵), 湖平面上升缓慢, 可容纳空间虽然较大, 但充足的物源供给量大于可容纳空间增量, 因此, 砂质沉积作用活跃, 河道纵向延伸和侧向迁移频繁, 沉积充填作用强烈, 主要形成厚度较大的连片毯状砂体, 多期河道砂体连续叠置的厚度达30 m以上, 其中相当长9<sub>2</sub>油层的MSC1层序中的

表2 红井子地区长9油层组层序划分  
Table 2 Sequence classification of Chang 9 oil-bearing set in Hongjingzi area

地层	相域	中期	长期
长9 <sub>1</sub>	长9 <sub>1</sub> <sup>1</sup>	下降(湖退)	MSC2
9油层组	长9 <sub>1</sub> <sup>2</sup>	上升(湖侵)	(次级湖侵-湖退旋回)
	长9 <sub>2</sub>	长9 <sub>2</sub> <sup>1</sup>	下降(湖退)
	长9 <sub>2</sub> <sup>2</sup>	上升(湖侵)	MSC1 (次级湖侵-湖退旋回)

小层砂体,较相当长<sub>9</sub>油层的MSC2中的小层砂体更为发育,并具有更好的稳定性和区域可对比性;

(2)上升相域中、晚期,湖平面快速上升发生广泛湖侵和进入湖泛期沉积,可容纳空间增量远大于沉积物供给量,沉积物粒度逐渐变细,泥质夹层增多,以形成相当凝缩段的隔层和局部盖层为主;

(3)下降相域早期(初始湖退),湖平面逐渐下降,可容纳空间趋于缩小,可容纳空间增量远大于沉积物供给量由低于逐渐折向略大于可容纳空间增量,沉积物粒度逐渐变粗而泥质夹层减少,但砂体仍不发育,依然以形成隔层和局部的盖层为主;

(4)下降相域中、晚期(广泛湖退),湖平面大幅度下降并穿越沉积界面而进入以侵蚀为主的状态,河流下切作用增强,但侧向迁移能力变弱,大量沉积物主要呈过路状态经过研究区,以形成底冲刷面为主,只有少量沉积物停留在河道内形成较薄的和被分割的窄条状砂体,由于缺乏多期河道砂体的连续叠置作用,单砂体厚度一般不超过2 m。

### 2.3 等时地层格架和小层砂体展布

通过联井剖面等时对比和建立长<sub>9</sub>油层组等时地层格架,发现如下2个特点:(1)沿北西-南东方向,各钻井的电测曲线相似程度较高(图6),小层砂体可长距离追踪对比,同时砂/地比降低,呈现出顺河道延伸方向展布趋势<sup>[1]</sup>,说明小层砂体主要呈北西→南东向展布;(2)而沿南西-北东方向,各钻井电测曲线的相似程度明显降低(图7),砂体侧向尖灭趋势明显,反映了沿南西-北东方向,垂直河道流向的透镜状砂体展布格局<sup>[1]</sup>,但一些厚层砂体仍然可

以横向追踪数千米甚至更远的距离,也反映出浅水三角洲分流河道侧向迁移频繁的毯状分布特征。显而易见,在等时地层格架中,由湖平面升降变化控制的小层砂体发育和分布所具有的显著规律,可作为砂体和储层预测的重要依据。

## 3 层序-岩相古地理特征与砂体预测

以沉积相和高分辨率层序的精细分析为基础,层序地层的区域等时对比和编图技术为手段,结合区域地质背景和前人研究成果<sup>[23-31]</sup>,选择中期旋回层序为等时地层单元,分别编制相当长<sub>9</sub>油层和长<sub>9</sub>油层的层序-岩相古地理图,对砂体进行预测、描述和对长<sub>9</sub>油层组岩性油藏进行评价<sup>[32]</sup>,取得很好的效果。

### 3.1 MSC1(长<sub>9</sub>油层)层序-岩相古地理

MSC1沉积时期(长<sub>9</sub>油层),红井子地区砂岩较为发育,研究区大部分区域砂岩累计厚度>20 m,麻黄山-张家山附近(如盐56井和黄55井),砂岩累计厚度可达50 m以上。周台子-彭滩-王盘山以及堆子梁-学庄-胡尖山一带砂岩厚度明显减薄,其砂岩累计厚度一般<30 m。研究区砂体主要呈NW-SE向和NNW-SSE展布,延伸距离很远,仅南部一隅发育少量SW-NE向延伸的砂体,来自3个方向物源的砂体在铁边城-庙沟-吴仓堡附近交汇(图8)。

### 3.2 MSC2(长<sub>9</sub>油层)层序-岩相古地理

MSC2沉积时期(长<sub>9</sub>油层),红井子地区砂岩总体较长<sub>9</sub>油层薄,但研究区大部分区域砂岩累计厚度也>20 m,沿红井子-古峰庄一带砂岩累计厚度>40 m,西北部小范围地区砂岩累计厚度仍然可达50

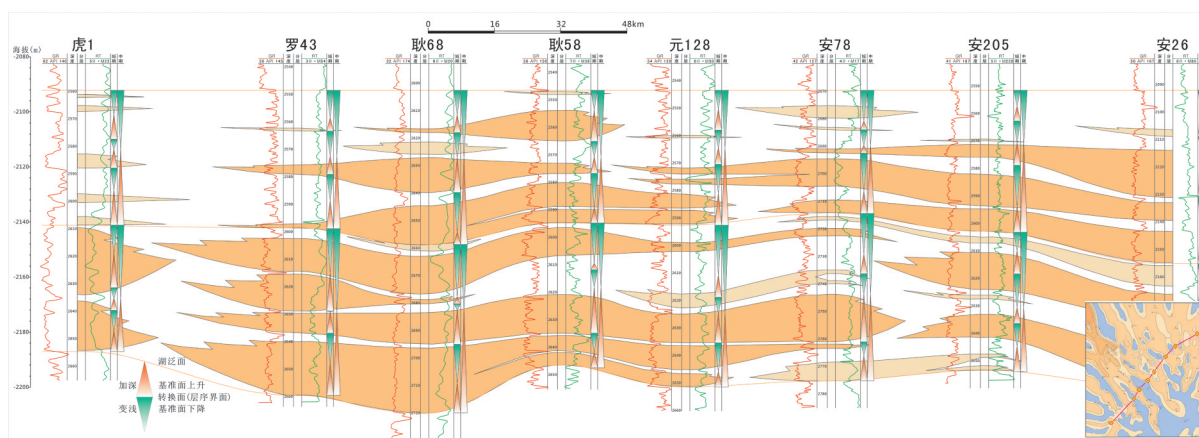


图7 红井子地区虎1-安26井长<sub>9</sub>油层组垂直河道延伸方向的等时地层格架剖面图

Fig.7 Isochronous stratigraphic framework profile of Chang 9 along Hu 1 well-An 26 well in Hongjingzi area

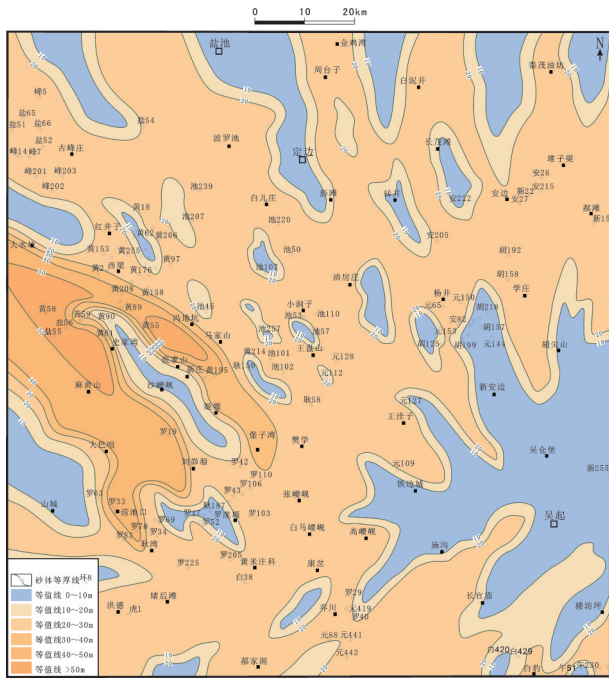


图8 红井子地区长9<sub>2</sub>油层段砂体平面展布特征图  
Fig.8 Map showing sand body distribution features of Chang 9<sub>2</sub> oil-bearing set in Hongjingzi area

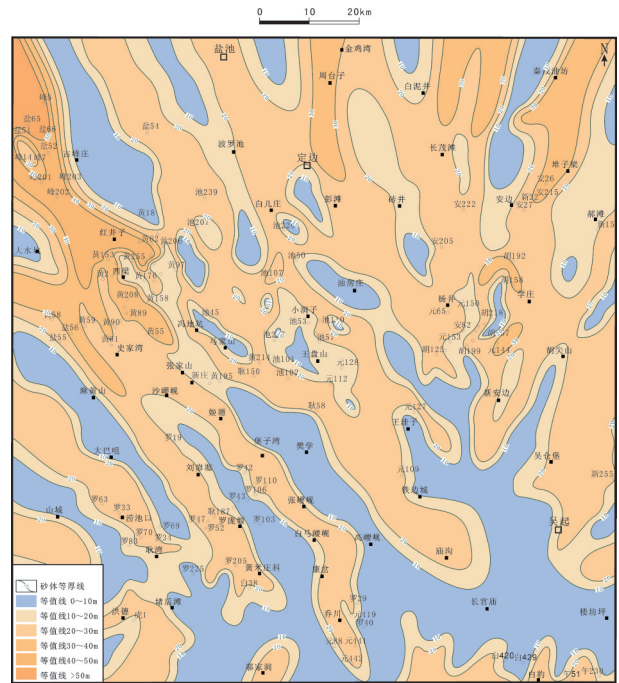


图9 红井子地区长9<sub>1</sub>油层段砂体平面展布特征图  
Fig.9 Map showing sand body distribution features of Chang 9<sub>1</sub> oil-bearing set in Hongjingzi area

m以上。周台子—彭滩—王盘山以及堆子梁—学庄—胡尖山一带砂岩厚度明显减薄,仅东北部局部区域其砂岩累计厚度>30 m。研究区长9<sub>2</sub>油层砂体展布特征总体继承了长9<sub>1</sub>沉积时期的面貌:砂体主要呈NW-SE向和NNW-SSE展布,来自研究区西北及北部、东北方向的物源与南部物源在耿湾—乔川—长官庙附近交汇(图9)。

#### 4 结 论

(1)鄂尔多斯盆地红井子地区长9油层组属于典型的浅水三角洲沉积体系,砂体具毯状展布特征。

(2)通过基准面旋回结构分析,长9油层组可划分为1个相当区域性湖侵序列的长期旋回层序,2个对应于长9<sub>1</sub>和长9<sub>2</sub>油层的、相当次级湖侵—湖退序列的中期旋回层序,4个对应于小层的、相当韵律性湖侵—湖退序列的短期旋回层序。湖平面升降对各级次层序中上升和下降半旋回相域的砂体和泥岩隔层的发育有直接控制作用。

(3)在建立长9油层组等时地层格架的基础上,对小层砂体进行等时追踪对比,呈现砂体具有顺南西—北东方向的河道长距离稳定延伸的带状展布特

点,而在垂直河道流向的方向上,砂体呈透镜状展布格局,部分厚砂体仍然可以横向追踪数至数十千米之远,反映浅水三角洲分流河道侧向迁移频繁的毯状分布特征。

(4)在编制以中期上升半旋回相域为等时地层单元的层序—岩相古地理图的基础上,对砂体进行精细描述和分布规律预测,取得很好的效果。

**致谢:** 审稿专家及责任编辑杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

#### 参考文献(References):

[1] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.  
Yang Junjie. Basin Tectonic Evolution and Oil and Gas Distribution in erdos[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002 (in Chinese).  
[2] 赵红格, 刘池洋, 王建强, 等. 鄂尔多斯盆地西部晚三叠世构造属性探讨[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 384-391.  
Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Jianqiang, et al. Tectonic attribute of the western Ordos basin during the Late Triassic[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 384-391(in Chinese with English abstract).  
[3] 窦伟坦, 侯明才, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组油气成



- 藏条件及主控因素研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(6): 686-692.
- Dou Weitan, Hou Mingcai, Chen Hongde, et al. A research on the conditions of the reservoir formation and the main controlling factors of Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2008, 35(6): 686-692(in Chinese with English abstract).
- [4] 倪新锋, 陈洪德, 韦东晓. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组层序地层格架与油气勘探[J]. 中国地质, 2007, 34(1): 73-80.
- Ni Xinfeng, Chen Hongde, Wei Dongxiao. Sequence stratigraphic framework of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos basin and petroleum exploration[J]. Geology in China, 2007, 34(1): 73-80(in Chinese with English abstract).
- [5] 姚泾利, 王克, 宋红海, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬油田延长组石油运聚规律研究[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 32-37.
- Yao Jingli, Wang ke, Song Honghai, et al. Petroleum migration and accumulation of Yanchang Formation in Jiyuan area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 32-37(in Chinese with English abstract).
- [6] 张文正, 杨华, 李剑锋, 等. 论鄂尔多斯盆地长7段优质烃源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用—强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 289-293.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, et al. Leading effect of high-class source rock of Chang7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil-gas accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 289-293(in Chinese with English abstract).
- [7] 周进高, 姚根顺, 邓红婴, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长9油层组组组勘探潜力分析[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 289-293.
- Zhou Jinggao, Yao Genshun, Deng Hongying, et al. Exploration potential of Chang9 member, Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3): 289-293(in Chinese with English abstract).
- [8] 王昌勇, 郑荣才, 李士祥, 等. 鄂尔多斯盆地早期构造演化与沉积响应——以姬塬地区长8-长6油层组为例[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 134-143.
- Wang Changyong, Zheng Rongcai, Li Shixiang, et al. Early tectonic evolution and sedimentary response of Ordos basin: A case study of Interval 8-Interval 6 oil layers of Yanchang Formation in Jiyuan area[J]. Geology in China, 2010, 37(1): 134-143(in Chinese with English abstract).
- [9] 杨华. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积体系及含油性研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2004.
- Yang Hua. Deposition System and Oil Accumulation Research of Yanchang Formation in Triassic, Ordos Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2004(in Chinese with English abstract).
- [10] 郑荣才, 彭军, 彭光明, 等. 高分辨率层序分析在油藏开发工程中的应用[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 654-662.
- Zheng Rongcai, Peng Jun, Peng Guangming, et al. Analysis of High-resolution sequence stratigraphy of the second member of Nadu Formation in Lun-35 Block of Baise basin and its application in development of oil reservoir[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(4): 654-662(in Chinese with English abstract).
- [11] 郑荣才, 文华国, 李凤杰. 高分辨率层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- Zheng Rongcai, Wen Huaguo, Li Fengjie. High-Resolution Sequence Stratigraphy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010(in Chinese).
- [12] 党彝, 赵虹, 李文厚, 等. 鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组不同级次层序界面的识别[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 414-421.
- Dang Ben, Zhao Hong, Li Wenhong, et al. Identification of sequence boundaries of different orders in the Upper Triassic Yanchang Formation in northern Shaanxi, Ordos basin[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 414-421(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘璇, 丁晓琪, 万有利, 等. 鄂尔多斯盆地长9段沉积物源分析[J]. 东北石油大学学报, 2014, 38(1): 11-16.
- Liu Xuan, Ding Xiaoqi, Wan Youli, et al. Sedimentary source study of Chang 9 interval of Yanchang formation Ordos basin[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2014, 38(1): 11-16(in Chinese with English abstract).
- [14] 王昌勇, 郑荣才, 刘哲, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长9油层组古盐度特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2014, 32(1): 159-165.
- Wang Changyong, Zheng Rongcai, Liu Zhe, et al. Paleosalinity of Chang 9 reservoir in Longdong area, Ordos basin and its geological significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(1): 159-165(in Chinese with English abstract).
- [15] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 321-323.
- Liu Baojun, Zeng Yunfu. Geographical Basis and Methods of Lithofacies[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 321-323(in Chinese).
- [16] 范玉海, 屈红军, 王辉, 等. 微量元素分析在判别沉积介质环境中的应用——以鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世为例[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 382-389.
- Fan Yuhai, Qu Hongjun, Wang Hui, et al. The application of trace elements analysis to identifying sedimentary media environment: A case study of Late Triassic strata in the middle part of western Ordos Basin[J]. Geology in China, 2012, 39(2): 382-389(in Chinese with English abstract).
- [17] 王欣欣, 郑荣才, 牛小兵, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长9油层组储层沉积学特征[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2012, 39(3): 277-284.
- Wang Xinxin, Zheng Rongcai, Niu Xiaobing, et al. Characteristics of reservoir sedimentology of Chang 9 oil-bearing layer of Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology

- Edition), 2012, 39(3): 277-284(in Chinese with English abstract).
- [18] 刘自亮, 朱筱敏, 廖纪佳, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘上三叠统延长组层序地层学与砂体成因研究[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 1-9.  
Liu Ziliang, Zhu Xiaomin, Liao Jijia, et al. Sequence stratigraphy and genesis of sand bodies of the Upper Triassic Yanchang Formation in the southwestern margin of Ordos Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(2): 1-9(in Chinese with English abstract).
- [19] 王昌勇, 郑荣才, 田勇强, 等. 陇东地区长9油层组浅水三角洲沉积特征及成藏条件[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(8): 11-16.  
Wang Changyong, Zheng Rongcai, Tian Yongqiang, et al. Sedimentary characteristics and hydrocarbon accumulation law of shallow-water delta of Chang 9 reservoir in Longdong area[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(8): 11-16(in Chinese with English abstract).
- [20] Matthew C Peros, Eduard G Reinhardt, Henry P Schwarcz, et al. High-resolution paleosalinity reconstruction from Laguna de la Leche, north coastal Cuba, using Sr, O, and C isotopes[J]. Science Direct, 2007, 245: 535-550.
- [21] 李凤杰, 王多云, 张庆龙, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组沉积相特征与层序地层分析[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 549-554.  
Li Fengjie, Wang Duoyun, Zhang Qinglong, et al. Sedimentary facies characteristic and sequence stratigraphy analysis of Yanchang formation in Longdong area, Ordos basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(4): 549-554(in Chinese with English abstract).
- [22] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构和叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369-375.  
Zheng Rongcai, Yin Shiming, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 369-375(in Chinese with English abstract).
- [23] 张明禄, 郑荣才, 达士攀. 砂体等时对比的高分辨率层序分析技术[J]. 矿物与岩石, 2004, 24(1): 113-120.  
Zhang Minglu, Zheng Rongcai, Da Shipan, et al. Isochronic correlation of sandybodies by high-resolution sequence technique[J]. J. Mineral Petrol., 2004, 24(1): 113-120(in Chinese with English abstract).
- [24] 李国新, 徐胜林, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统长6段砂体展布规律研究[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 923-930.  
Li Guoxin, Xu Shenglin, Chen Hongde, et al. The distribution regularity of sand bodies in Chang-6 Member of Upper Triassic Yanchang Formation, Fuxian area, Ordos Basin[J]. Geology in China, 2012, 39(4): 923-930(in Chinese with English abstract).
- [25] 郑荣才, 王昌勇, 王海红, 等. 鄂尔多斯盆地史家湾地区长6油层组层序-岩相古地理[J]. 矿物岩石, 2009, 29(4): 8-16.  
Zheng Rongcai, Wang Changyong, Wang Haihong, et al. Sequence-based lithofacies and palaeogeographic characteristics of 6th oil-bearing member of the Yanchang formation of upper Triassic in the Shijiawan area, Ordos, basin[J]. J. Mineral Petrol., 2009, 29(4): 8-16(in Chinese with English abstract).
- [26] 张哨楠, 胡江秦. 鄂尔多斯盆地南部镇泾地区延长组的沉积特征[J]. 矿物岩石, 2000, 20(4): 25-30.  
Zhang Shaonan, Hu Jiangqing. The sedimentary characteristics of Yanchang formation in Zhenyuan and Jingchuan part of Ordos basin[J]. Mineral Petrol J., 2000, 20(4): 25-30(in Chinese with English abstract).
- [27] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长期沉积体系及岩相古地理演化[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2009, 39(3): 501-506.  
Li Wenhou, Pang Jungang, Cao Hongxia, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the Late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2009, 39(3): 501-506(in Chinese with English abstract).
- [28] 王欣欣, 王海红, 郑荣才, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长9油层组层序-岩相古地理[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(1): 67-74.  
Wang Xinxin, Wang Haihong, Zheng Rongcai, et al. Sequence-based lithofacies and palaeogeographic characteristics of Chang 9 oil reservoir set in Longdong area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(1): 67-74(in Chinese with English abstract).
- [29] 朱筱敏, 康安, 王贵文, 等. 鄂尔多斯盆地西南部上古生界层序地层和沉积体系特征[J]. 石油实验地质, 2002, 24(4): 327-333.  
Zhu Xiaomin, Kang An, Wang Guiwen, et al. The Upper Paleozoic sequence stratigraphic and sedimentary system characteristics of the Southwest Ordos basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(4): 327-333(in Chinese with English abstract).
- [30] 白玉彬, 罗静兰, 王少飞, 等. 鄂尔多斯盆地吴堡地区延长组长8致密砂岩油藏成藏主控因素[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1159-1168.  
Bai Yubin, Luo Jinglan, Wang Shaofei, et al. The distribution of Chang-8 tight sandstone oil reservoir of Yanchang Formation in Wubao area, central-south of Ordos Basin[J]. Geology in China, 2013, 40(4): 1159-1168(in Chinese with English abstract).
- [31] 肖晓光, 李群. 鄂尔多斯盆地直罗油田长8油层组储层特征研究[J]. 中国地质, 2014, 41(1): 187-196.  
Xiao Xiaoguang, Li Qun. The reservoir characteristics of Chang 8 oil-bearing Formation in the Zhiluo oil field of Ordos Basin[J]. Geology in China, 2014, 41(1): 178-196(in Chinese with English abstract).
- [32] 韩永林, 王海红, 王成玉, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统岩性油藏评价体系探索[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 37(3): 231-236.  
Han Yonglin, Wang Haihong, Wang Chengyu, et al. Evaluation system for Upper Triassic lithologic reservoir of the Ji Yuan area in Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2010, 37(3): 231-236(in Chinese with English abstract).