

文章编号: 0253-9985(2001)04-0337-05

延长油区侏罗系-上三叠统层序地层 与生储盖组合

罗静兰¹, J. Marcelo Ketzer², 李文厚¹, 阎世可³, 武富礼³, 李玉宏³

(1. 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 陕西西安 710069;

2. Department of Earth Sciences, Uppsala University, 752-36 Uppsala, Sweden; 3. 延长石油管理局, 陕西永坪 717208)

摘要: 延长油区侏罗系和上三叠统河流-湖泊三角洲相砂岩主要为长石砂岩和一部分岩屑长石砂岩及长石岩屑砂岩。具有较好的物性, 构成良好的油气储集层。以晚三叠世抬升剥蚀造成的区域性剥蚀面为层序边界, 可将侏罗系与上三叠统沉积体系分为两个层序, 即上部层序(侏罗系)和下部层序(上三叠统延长组)。下部层序由一个湖进体系域和一个高水位体系域组成。上部层序从下到上依次为低水位体系域、水进体系域和高水位体系域。上下层序生储盖组合以自生自储为总体特征, 按生、储、盖的配置关系可划分为3种组合类型: (1) 下生上储式岩性油气藏组合, 发育于下部层序下部, 以长7湖泊相-长6三角洲相为最佳油气藏配置; (2) 上生下储式和自生自储式岩性-构造油气藏组合, 发育于下部层序上部, 以长2+3和长1曲流河(交织河)水侵进积型地层为代表, 是研究区良好的生储盖配置; (3) 下生上储式为主、自生自储式为辅的构造-岩性油气藏发育于上部层序河流相沉积体系(延安组延10-延1小层)中, 该类油气藏的形成需要较好的构造圈闭和盖层条件。

关键词: 陆相层序地层学; 生储盖组合; 侏罗系-上三叠统; 延长油区

第一作者简介: 罗静兰, 女, 44岁, 教授, 沉积学、石油地质学

中图分类号: P618.130.2⁺1

文献标识码: A

近年来, 层序地层学方法已成功地应用于陆相沉积体系研究, 并提出了一些尝试性模式^[1~7]。大多数研究表明, 海平面或基准面的变化可以改变河流沉积体系的结构及地层型式。在河流相沉积序列中, 一方面由于缺乏内部特征或标志层, 很难划分次一级的时间地层单位, 如准层序; 另一方面由于难于识别与不整合有关的河流侵蚀和与局部河道冲刷造成的切割, 体系域的识别就更难。尽管存在上述困难, 体系域还是可以根据其在序列中的垂向位置、沉积环境、沉积相以及沉积构造的变化加以识别^[8~9]。

位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡带的延长油区, 近年来分别在侏罗系延安组及上三叠统延长组河流相-湖泊三角洲相砂岩中获得了工业油气流, 并成为该区的两个主力产油气层位。前人的研究大多侧重于沉积相、资源量、储层储集性能等方面^[10~14], 但更适合于描述地层-岩性油气藏生储盖组合及其分布规律的层序地层学研究仍较薄弱。本文根据河流-湖泊三角洲相沉积体系的结构及其

特征, 运用层序地层学原理, 综合分析钻井、测井曲线、岩芯和地表露头资料建立了延长油区侏罗系和上三叠统陆相碎屑岩的层序地层格架, 识别出了被区域性不整合分割的两个主要层序, 探讨了层序和体系域与生储盖组合的关系。

1 层序边界及其确定

一般认为, 层序发育受4个因素的控制^[9], 即海(湖)平面变化、构造沉降、沉积物供给和气候变化。埋藏-构造沉降史模拟结果^{*}表明, 延长油区自晚三叠世以来经历了两次明显的抬升剥蚀、一次沉积间断和三次沉降作用过程。两次抬升剥蚀与海平面的上升及构造沉降密切相关。上三叠统和侏罗系则分别是在盆地快速沉降阶段(第一沉降阶段)和缓慢稳定沉降阶段(第二沉降阶段)沉积的。构造沉降速率和沉积速率的不同直接制约了沉积物供给速率。成岩作用研究及同位素证据表明, 延长油区上三叠统和侏罗系沉积分别是在半干旱和

* 张成立. 延长油区盆地构造模拟及含油气系统分析(博士学位论文). 西北大学, 1999. 13~21

温暖-潮湿的气候条件下形成的^{*}。因此,研究区侏罗系和上三叠统层序的形成及其特征也是受以上4个因素共同制约的。侏罗系和上三叠统沉积体系的层序边界以一个区域性剥蚀面(晚三叠世抬升剥蚀造成的平行不整合)为代表,此剥蚀面以沉积物粒度及河流沉积结构的突然变化为标志:从高弯度的、以悬浮载荷及细粒沉积为主的曲流河及湖泊三角洲相沉积(上三叠统延长组)变为低弯度的、以河床载荷及粗粒沉积为主的辫状河沉积(下侏罗统富县组和中侏罗统延安组延10小层)。这种突然的变化在伽马曲线、自然电位及视电阻率曲线上

以箱状或柱状表现出来(图1)。河流相沉积体系中的这种突变指示了一种由于基准面的相对变化或者沉积物物源的变化而引起的可容纳空间的突然变化。侏罗系底部明显的河谷切割在不同井中有较大差异,最大高差可达200 m(图1)。从上三叠统延长组曲流河沉积到下侏罗统(富县组)和中侏罗统(延10)辫状河沉积体系的突变表明了由于相对基准面的持续降低引起的冲积平原梯度的增加。因此,切割河谷底部的侵蚀面即可作为层序的边界,该层序边界将侏罗系和上三叠统陆相碎屑岩分为两个层序,即上部层序和下部层序。

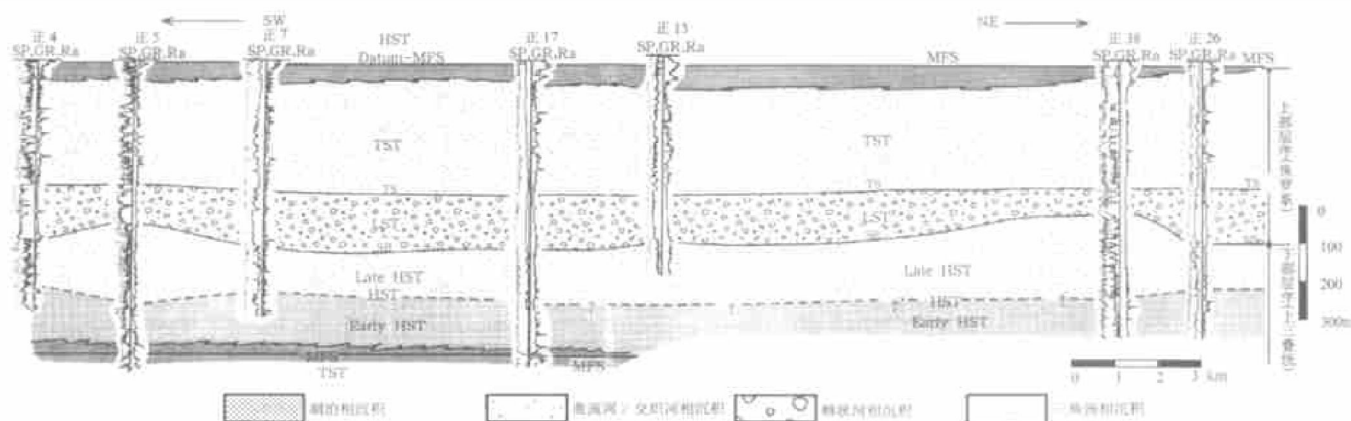


图1 上部层序(侏罗系)和下部层序(上三叠统)及其体系域对比剖面

Fig. 1 Correlation between the lower (Upper Triassic) and upper (Jurassic) sequences and their system tracks

TST—水(湖)进体系域; MFS—最大洪泛面; HST—高水位体系域; Early HST—早期高水位体系域;

Late HST—晚期高水位体系域; LST—低水位体系域; TS—进积面; SB—层序边界

2 层序和体系域

2.1 下部层序

下部层序为上三叠统延长组沉积,由一个湖进体系域(TST)和一个高水位体系域(HST)组成(图1)。HST的顶部被上部层序的侵蚀不整合面(层序边界)削截。层序底部的TST形成于基准面上升到下降的转换位置,以退积型地层为特征。由于湖泛作用明显,水体较深,沉积物沉积速率降低,形成非补偿沉积条件,沉积了长7小层湖泊相黑色泥岩、油页岩、浊积细砂岩和粉砂岩。密集段由长7小层湖泊相暗色泥岩和页岩(即张家滩页岩)组成,在电测曲线上表现为高自然伽马、高电阻率和高声波时差。该泥、页岩段厚度大(30~110 m)、层位稳定,

有机碳含量(0.54%~5.26%,平均3.17%)、镜质体反射率(0.49%~0.8%,平均0.61%)、氯仿沥青“A”(0.190%~0.803%,平均0.415%)和总烃含量(42.33%~72.80%,平均51.14%)高,干酪根类型好(主要为I型,少量II_A型),形成本区重要的烃源岩。最大洪泛面(MFS)为湖进体系域(TST)和高水位体系域(HST)的分界面,它代表了延长油区最大湖进期和陆源碎屑最小补给期,为沉积相转换面。最大洪泛面(MFS)以伽马曲线极大值和电阻率曲线极大值为明显标志(图1,2)。最大洪泛面(MFS)之上为高水位体系域(HST)。由于不整合底部剥蚀程度的差异,高水位体系域(HST)的厚度变化于450~750 m之间,又可分为早期高水位体系域(EHST)和晚期高水位体系域(LHST)。

早期高水位体系域底界以MFS为界,由长7湖泊相细粒沉积及其上的长6和长4+5三角洲相泥岩、粉砂岩和细砂岩组成,表现出水退进积地层型

* Jinglan Luo, Morad S, Marcelo Ketzer J, et al. The diagenetic impact on reservoir-quality evolution of fluvial and lacustrine deltaic sandstones: evidence from Jurassic and Triassic sandstones, the Ordos basin, Northwestern China. AAPG Bull(accepted). 2001

式(图 2)。早期高水位体系中三角洲前缘亚相

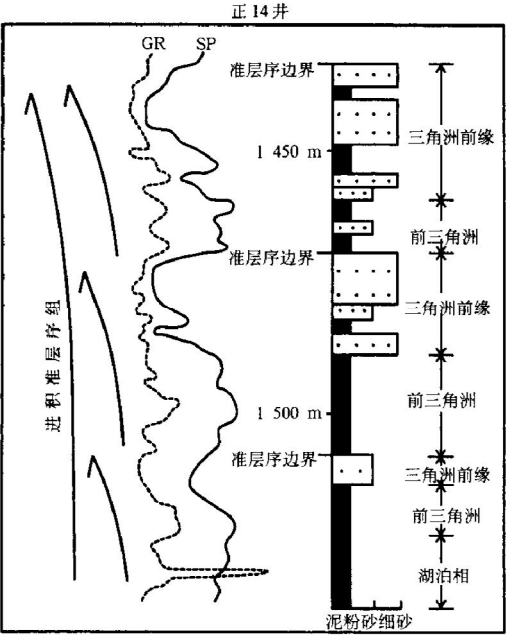


图 2 下部层序高水位体系中进积型小层序组的测井曲线及沉积特征

水下分流河道砂体、三角洲平原亚相分流河道砂体是研究区重要的油气储集体。单砂层厚度几厘米到几米,叠加的复合砂体厚度可达 30~ 45 m,孔隙度为 2%~ 28.8%,平均 9.8%,渗透率为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 700.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $5.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,含油饱

和度 0~ 90.6%,平均 42.1%。长 6 末期和长 4+ 5 广泛的漫滩沼泽相细粒沉积构成良好的区域性盖层。前三三角洲亚相泥岩、河道间和湖湾细粒沉积为油气藏的形成提供了良好的侧向遮挡及封堵条件。同时,这些细粒沉积的有机碳含量(0.32%~ 4.79%,平均 1.46%)、镜质体反射率(0.49%~ 0.76%,平均 0.6%)、氯仿沥青“A”(0.013%~ 0.452%,平均 0.157%)及总烃含量(33.39%~ 86.78%,平均 49.09%)较高,干酪根类型好(主要为 I 型),是研究区较好的生油岩。

晚期高水位体系域以水侵进积作用为特征,主要由长 2+ 3 及长 1 小层曲流河和交织河河流相环境中沉积的泥岩和细砂岩组成,位于早期高水位体系域的三角洲沉积之上(图 1, 3)。晚期高水位体系域中常见煤系沉积(河流洪泛平原),但是,煤系地层也见于早期高水位体系域上部的三角洲平原亚相沉积(长 4+ 5 小层)中。由于很难在测井曲线上区别交织河和曲流河体系,因此,不可能限定二者间的确切关系和基准面的变化。在晚期高水位体系域中,长 2+ 3 及长 1 河流相中细粒河道砂岩构成储集体。砂岩的厚度 20~ 120 m(平均厚度 65 m),孔隙度为 2%~ 22.9%,平均 12.2%,渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 1366.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $19.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,含油饱和度 20.4%~ 87.1%,平均

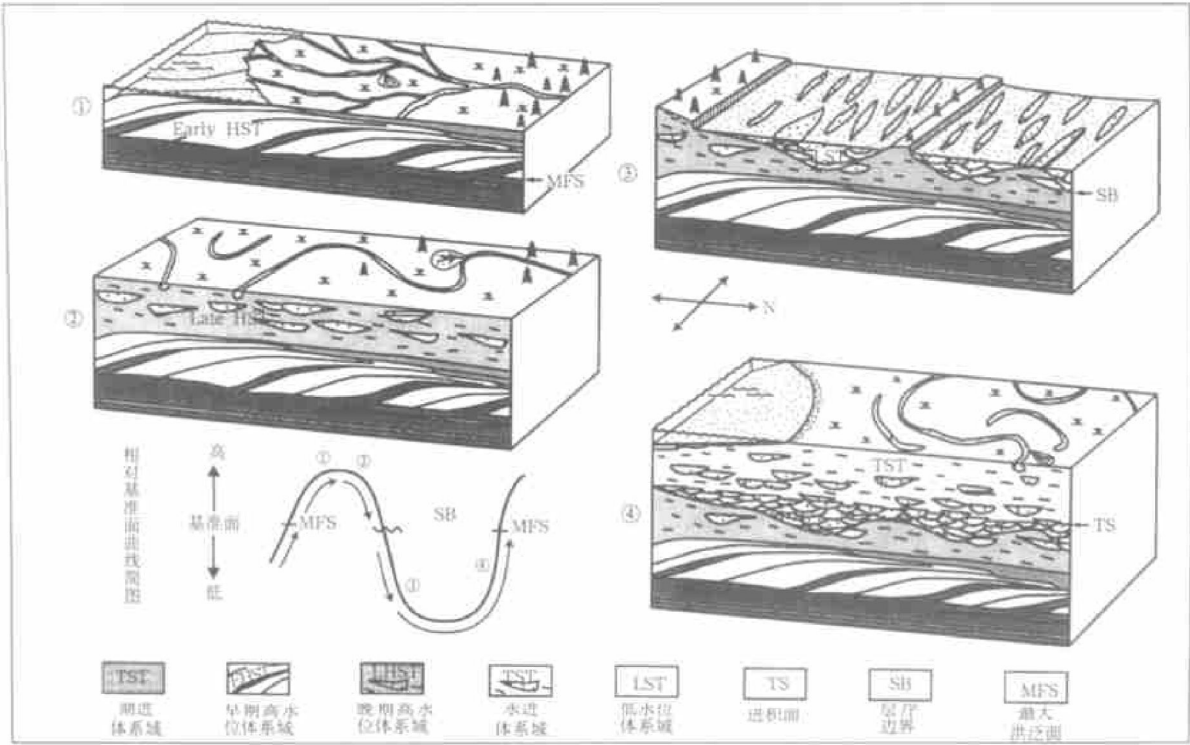


图 3 研究区上三叠统和侏罗系层序和体系域解释模型

Fig. 3 Interpretation model of sequences and system tracks from Upper Traissic and Jurassic Systems in the study area

37.8%。长2+3河道间泥岩及上覆长1小层厚层泥岩(平均厚度15~30 m)形成侧向遮挡层和区域性盖层,同时也是良好的生油岩,其有机碳含量为0.32%~3.33%(平均1.535%),镜质体反射率为0.55%~0.64%(平均0.6%),氯仿沥青“A”为0.026%~0.273%(平均0.131%),总烃含量33.39%~57.19%(平均42.03%)。干酪根类型主要为I型。

2.2 上部层序

上部层序包括下侏罗统富县组、中侏罗统延安组、直罗组及上侏罗统安定组。从下到上又可分为低水位体系域(LST)、水进体系域(TST)和高水位体系域(HST)。低水位体系域(LST)(下侏罗统富县组和中侏罗统延安组延10小层)由横向及纵向上叠加的辫状河道砾岩、砂砾岩和厚层中-粗粒砂岩(宝塔砂岩)以及河漫滩和废弃河道中的泥岩薄夹层组成。以自然电位的齿状负异常、低的自然伽马值和波状视电阻率曲线(10~80 $\Omega\cdot\text{m}$)为特征,其厚度变化于40~220 m之间,充填于宽度>20 km、切割深度>200 m的E-W向(与由西向东的古流向方向一致)河谷中。顶部为一相对平坦的进积面(TS),此面以河流沉积体系结构和地层型式的明显变化(从辫状河变为曲流河/交织河)为特征。当曲流河/交织河体系泥岩沉积直接位于粗粒的辫状河沉积之上时,在自然伽马和视电阻率曲线上能较好地识别出进积面(TS)。从辫状河到曲流河/交织河体系的变化导致可容纳空间的增大,因为相对基准面的上升促进了冲积平原梯度的降低和河流平衡剖面的再调节作用。反过来,可容纳空间的增大使漫滩沉积产生了一个迅速的加积作用,从而导致厚度巨大、分布广泛的泛滥平原沉积的发育^[15]。由于河流沉积体系结构中的这种变化被解释为越岸上侵的等效作用^[1,16],因此它代表了低水位体系域(LST)和水进体系域(TST)之间的转折,也即进积面(TS)。

水进体系域(TST)在厚度上相对稳定(约500 m),沉积于进积面(TS)和最大洪泛面(MFS)之间(图1)。TST由中侏罗系延安组延9-延1小层和直罗组交织河/曲流河河道亚相的细-粗粒河道砂体和河道间泥岩、粉砂岩,以及上侏罗统安定组湖泊相灰黄色-杂色泥岩和泥灰岩、深灰色-灰色泥质粉砂岩和砂质泥岩组成。黑色泥岩和煤层分布于河流相为主的下部水进体系域(TST)中(即延9

小层上部),区域上常称为“B”标志层。由于准层序很难辨认,基准面的相对上升而引起的可容纳空间的特征性进积增大使水进体系域(TST)通过进积地层型式表现出来,而不是通过水进体系域(TST)中河流相沉积顶部的湖泊-洪泛平原沉积表现出来(图1,2)。河道沉积或河道/河道间沉积比值没有明显的增大^[15]。水进体系域(TST)顶部的最大洪泛面(MFS)以自然伽马曲线和视电阻率曲线的最大峰值为明显标志。密集段由安定组湖泊相灰黄色-杂色泥岩和泥灰岩组成,以尖峰状自然伽马曲线和尖峰状视电阻率曲线以及平坦的自然电位曲线为特征。

最大洪泛面(MFS)之上为高水位体系域(HST)。位于MFS之上的安定组细粒湖泊相沉积是此高水位体系域中的最早期沉积,也是研究区侏罗系和下三叠统的最后一个层序。

上部层序中主要的储集层是位于水进体系域(TST)的河道亚相砂岩。其中延9-延7小层曲流河/辫状河河道砂体为中-细粒砂岩,孔隙度为5.8%~20.7%,平均15.3%,渗透率 $0.52\times 10^{-3}\sim 909.81\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $108.96\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,含油饱和度2.6%~87.2%,平均55.5%;富县组和延10小层辫状河河道砂体主要为粗粒砂岩和砂砾岩,其孔隙度为11.4%~21.7%,平均16.9%,渗透率 $0.37\times 10^{-3}\sim 1461.01\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $304.64\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,不含油。侏罗系延安组的原油主要来源于上三叠统延长组生油岩。采自延8和延9地层中的两个泥岩样品的热解分析结果*表明,有机碳含量分别为1.46%和1.15%,镜质体反射率分别为0.75%和0.76%, T_{max} 分别为446℃和445℃,每克产烃潜量(S_1+S_2)分别为2.61 mg和0.71 mg,产率指数(PI)和氢指数每克分别为0.13~0.37 mg和155~39 mg。由此可以判断,侏罗系河流相河道间泛滥平原亚相泥质沉积也提供了一部分油源,同时,这些沉积的厚度较大、分布面积广,从而成为良好的盖层。

3 生储盖组合类型

延长油区侏罗系和上三叠统层序中的生储盖组合以自生自储为总体特征。按生、储、盖的配置关系,又可分为3种组合类型:(1)位于下部层序

* 罗晓容,王乐.从子长油田油气富集规律探讨陕北斜坡带的油气远景.内部资料,1993

(上三叠统)下部的湖进体系域(长7湖相泥页岩)由于形成于盆地快速沉降阶段并发育在基准面旋回上升到下降的转换位置,沉积速率高,可容纳空间最大,泥岩厚度大而稳定,有机质丰度最高、干酪根类型好,是研究区最好的烃源岩。其与上覆基准面下降期形成的三角洲相进积充填体系(长6和长4+5)组成完整的下生上储式湖泊-三角洲相生储盖岩性油气藏组合。其中以长7和长6组合为研究区油气藏的最佳配置。长6末期和长4+5下部的漫滩沼泽相泥岩和煤层构成上述组合的良好区域性盖层,阻挡了长7湖相烃源岩中一部分油气的向上运移,致使长4+5储层的含油性变差;(2)位于下部层序(上三叠统)上部水进体系域(长2+3和长1河流相沉积)的河道砂体与河道间泥岩及上覆长1厚层泥岩形成上生下储式和自生自储式生储盖组合。上覆泥岩同时又是良好的盖层,因而是研究区良好的生储盖配置。但由于该体系域形成于基准面下降期,砂体向盆地方向进积充填作用较强,顶部常发育由剥蚀作用造成的局部不整合面或缺乏良好泥岩盖层,成藏作用需要有构造圈闭配合;(3)上部层序(侏罗系)中位于水进体系域(TST)的河道亚相砂岩与下部层序基准面旋回转换位置形成的生油岩(长7)及高水位体系域(长6-长1)中的生油岩构成下生上储式组合,与上部层序中河道间泛滥平原亚相泥质沉积形成自生自储式组合关系。油气可通过断层等通道垂向运移或沿进积到湖内的砂体发生侧向运移。由于侧向封堵性较差,该类油气藏的形成需要较好的构造圈闭。当封盖条件较好、且有构造圈闭配合时,可以形成较好的油气藏。上部层序低水位体系域(辫状河沉积)砂体中没有油气储存,一方面可能缘于其上的进积面(TS)没有形成良好的盖层,另一方面由于缺乏泥岩夹层其侧向封闭性差,因此,只能对油气的运移起输导作用,很难聚集成藏。

参 考 文 献

1 Aitken J F, Flint S S. The application of high resolution sequence

- stratigraphy to fluvial systems: a case study from the Upper Carboniferous Breathitt Group, eastern Kentucky USA[J]. *Sedimentology*, 1995, 42(1): 3~ 30
- 2 Currie B S. Sequence stratigraphy of nonmarine Jurassic Cretaceous rocks, central Cordilleran foreland basin system[J]. *GSA Bull*, 1997, 109(6): 1 206~ 1 222
- 3 Martinsen O J, Ryseth A, Helland-Hansen W, et al. Stratigraphic base level and fluvial architecture: ericson sandstone (Campanian), rock springs Uplift, SW Wyoming, USA[J]. *Sedimentology*, 1999, 46(2): 235~ 259
- 4 顾家裕. 陆相盆地层序地层学格架概念及模式[J]. *石油勘探与开发*, 1995, 22(4): 6~ 10
- 5 徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18(2): 83~ 89
- 6 邓宏文, 徐长贵, 王洪亮. 陆东凹陷上侏罗统层序地层与生储盖组合[J]. *石油与天然气地质*, 1998, 19(4): 275~ 279
- 7 胡受权, 泌阳断陷陆相层序外部构型研究[J]. *现代地质*, 1998, 12(4): 567~ 575
- 8 Schumm S A. River response to base-level change: implication for sequence stratigraphy[J]. *Journal of Geology*, 1993, 101(2): 279~ 294
- 9 Shanley K W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata[J]. *AAPG Bull*, 1994, 78(4): 544~ 568
- 10 李文厚, 柳益群, 冯乔. 川口油田长6段油层组储集层特征与油气富集规律[J]. *岩石学报*, 1998, 14(1): 118~ 127
- 11 张富礼, 黄舜兴, 杨昌贵, 等. 鄂尔多斯盆地天然气地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 1~ 33
- 12 郑荣才, 柳梅青. 鄂尔多斯盆地长6油层组古盐度研究[J]. *石油与天然气地质*, 1999, 20(1): 20~ 25
- 13 谢传礼, 何顺利, 魏俊之. 鄂尔多斯盆地靖安油田上三叠系延长组6段古湖泊学特征[J]. *石油大学学报*, 2000, 24(1): 18~ 21
- 14 陈建平, 黄第藩. 鄂尔多斯盆地东南缘煤矿侏罗系原油油源[J]. *沉积学报*, 1997, 15(2): 100~ 108
- 15 Wright V P, Marriott S B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage[J]. *Sedimentary Geology*, 1993, 86(1): 203~ 210
- 16 Shanley K W, McCabe P J. Alluvial architecture in a sequence stratigraphic framework: a case history from the Upper Cretaceous of southern Utah, USA[A]. In: Flint S, Bryant I, eds. *Quantitative modelling of clastic hydrocarbon reservoirs and outcrop analogues*[C]. IAS Special Publication, 1993, 15: 21~ 56

(下转第351页)