

陇东地区延长组层序地层特征及油气勘探意义

郭艳琴¹ 李文厚² 陈全红² 梁积伟² 余芳² 何卫军²

(1.西安石油大学 油气资源学院,陕西 西安 710065;2.西北大学地质学系,陕西 西安 710069)

摘要:综合应用测井曲线、岩心、野外露头剖面等资料,分析鄂尔多斯盆地陇东地区延长组的层序地层特征及沉积相,在延长组识别出4个三级层序界面,将延长组分为4个三级层序10个体系域,识别出4种主要的沉积体系:扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲及湖泊沉积体系。分析了各体系域沉积体系的平面展布特征,探讨了体系域沉积模式及层序与油气的关系。指出低位体系域中发育的三角洲平原河道及前缘水下分流河道砂体是最主要的储层,水进及高位体系域中发育的浊积岩砂体分布面积大,是潜在的储层,水进和高位体系域中发育的湖相泥、页岩是良好的生油层和盖层,使得陇东地区存在有利的生储盖组合,处于有利的含油气系统之中,具较好的油气勘探前景。

关键词:层序地层;沉积体系;延长组;陇东地区

中图分类号:P539.2, TE121.3+4

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2007)03-0406-08

1 地质概况

陇东地区位于甘肃省西峰、环县、庆阳、合水、宁县、镇原及华池等区县,区域构造上属于鄂尔多斯盆地陕北斜坡西南部,与天环凹陷相连(图1),为一倾角仅半度左右的近南北向展布的西倾单斜,局部发育鼻状隆起。

鄂尔多斯盆地中生界上三叠统延长组是一套以大型拗陷型内陆盆地为背景、以河流和湖泊为主的陆源碎屑岩沉积,底部与中三叠统纸坊组呈平行不整合接触,顶部受到不同程度的剥蚀,与侏罗系延安组或富县组呈平行不整合接触,具有丰富的油气资源,属于低孔、低渗的岩性油藏^[1]。延长组形成于内陆拗陷湖盆的一个完整演化旋回期内,代表一次湖泊沉积发生、发展和消亡的完整过程,根据岩性、电性及含油性从早到晚可分为10个油层组,从下向上依次为长10—长1^[2-3]。

2 陇东地区延长组层序地层分析

鄂尔多斯盆地原本属大华北盆地的一部分,晚三叠世受印支运动影响,拗陷而形成的一个大型内陆盆地^[4-5]。在沉积上实现了由海相、过渡相向陆相的根本性转变,使盆地自晚三叠世以来发育了完整和典型的陆相碎屑岩沉积体系。盆地

内上三叠统延长组,下侏罗统富县组、中侏罗统延安组、直罗组和安定组,下白垩统志丹群构成了一个完整的盆地充填序列,即大层序。根据界面特征,将该大层序划分为3个构造超层序。

陇东地区延长组总厚900~1000 m,为一个构造超层序,即超层序I(SS I)^[6]。底部与中三叠统纸坊组呈平行不整合接触,构成层序的底界,顶部延长组遭受不同程度的剥蚀,与侏罗系也呈平行不整合接触,形成层序的顶界。笔者主要依据测井、岩心和野外露头特征,以大量的单井测井层序分析和连井对比为基础,通过构造运动面、湖平面的升降及沉积相的突变界面等分析,从而识别出层序界面、湖泛面及最大湖泛面,在延长组内划分出4个三级层序,包括10个体系域(图2)。

笔者通过典型单井岩心观察和测井资料分析,对研究区钻井揭露及保留较完整的SS I₂和SS I₃两个三级层序进行层序特征、沉积体系及沉积相分析。

SS I₂层序为完整的三级层序,层序顶、底界是岩相突变面,主要表现为区域上大规模的冲刷面。岩性以灰色、浅灰色粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、灰色、深灰色泥岩、砂质泥岩、页岩、炭质泥岩以及油页岩不等厚互层为主。自然伽马曲线起伏明显,整体呈箱型、钟型、齿状箱型及其复合型叠置或指状。自下而上,低位体系域(LST)对应以退积为特征的1个上升半旋回,由三角洲前缘水下分流河道和

收稿日期:2007-05-10;改回日期:2007-05-27

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214602)资助。

作者简介:郭艳琴,女,1972年生,博士,讲师,从事沉积学研究;E-mail:guoyanqin@xsyu.edu.cn。

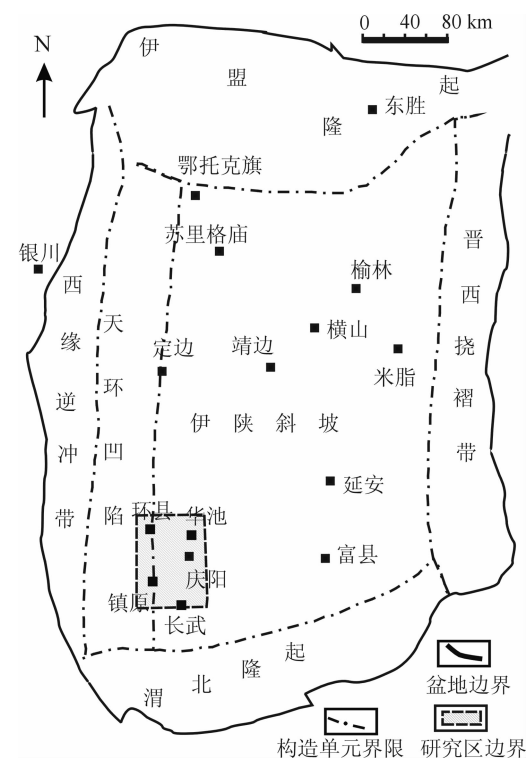


图 1 研究区构造位置略图

Fig.1 Structural location of the study area

分流间湾组成;水进体系域 (TST)对应以退积为特征的 1 个上升半旋回,由深湖相炭质泥岩和深湖相页岩组成;高位体系域(HST)对应以弱进积为特征的 1 个下降半旋回,由深湖相浊积岩和深湖相泥质岩组成 (图 3)。

SS I₃ 层序在研究区主要发育低位体系域(LST),层序底界是 SS I₂ 层序的顶界,表现为区域上大规模的冲刷面。岩性以灰色、浅灰色细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、灰色、深灰色泥岩不等厚互层为主。自然伽马曲线起伏明显,整体呈箱型、钟型、齿状箱型及其复合型叠置或指状。低位体系域 (LST)对应以进积为特征的 1 个下降半旋回,由浅湖和三角洲前缘沉积组成 (图 3)。

3 沉积体系类型及特征

依据沉积序列中的岩石类型及组合、沉积构造、测井曲线和古生物标志,将陇东地区 SS I₂ 和 SS I₃ 层序沉积环境划分为 4 种沉积体系:扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲及湖泊沉积体系。

3.1 扇三角洲沉积体系

扇三角洲主要分布在研究区西北环县一带,由西部冲积扇演化而来,在研究区主要发育扇三角洲前缘,包括水下分流河道和分流间湾沉积,其中水下分流河道砂体为其骨架相。可将扇三角洲前缘划分为退积型和进积型;前者主要发

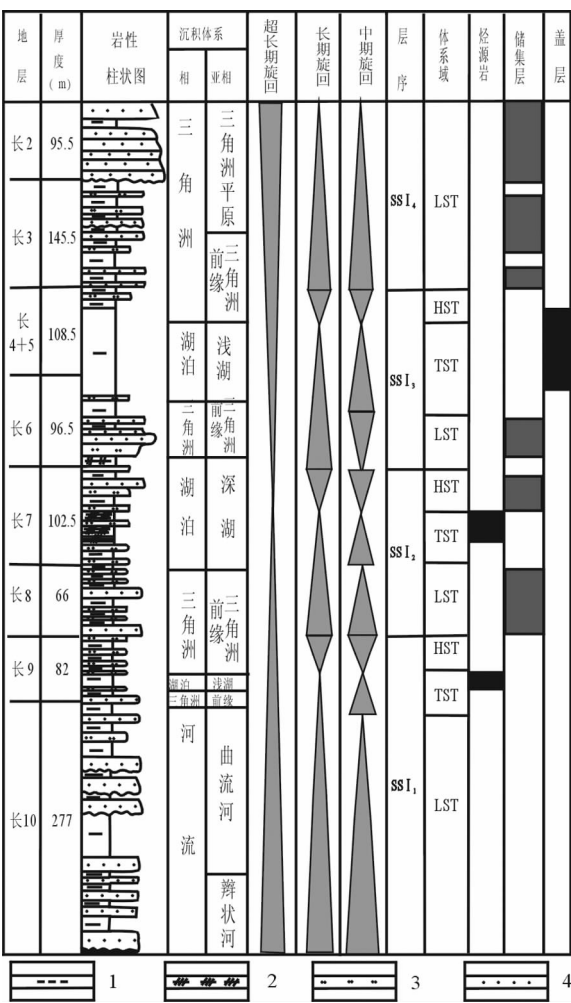


图 2 庆 36 井延长组沉积相-层序图

1—泥岩;2—油页岩;3—粉砂岩;4—细砂岩

Fig.2 Sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Yanchang Formation in well Qing 36

1—Mudstone;2—Oil shale;3—Siltstone;4—Fine sandstone

育在 SS I₂ 层序的低位体系域,纵向剖面具有下粗上细的正旋回特点,沉积构造自下而上有块状层理、板状层理、平行层理,底部含有大量泥砾或泥岩撕裂屑,局部还可见到垂直虫孔。水下分流河道砂岩粒度粗,为粗、中-粗砂岩,一般粒径为 0.25~1 mm,正态概率曲线上跳跃组分占 95%左右。自然电位曲线为中高幅的钟形组合曲线。SS I₃ 层序低位体系域基准面下降,沉积物供给速率大于新增可容空间的增加速率,三角洲不断向湖盆中心推进,形成进积型三角洲前缘序列,这类三角洲前缘剖面纵向具有向上粒度变粗、砂层厚度增大的反旋回特点。沉积构造自下而上为沙纹层理、透镜状层理、交错层理、平行层理和板状层理。

3.2 辫状河三角洲沉积体系

与辫状平原关系密切,是由辫状平原体系进积到湖泊相

稳定水体中而形成的粗粒三角洲,主要分布在研究区西南镇原—泾川一带,发育规模最大,发育的时间也较长。结合测井和钻井岩心、录井等资料,可进一步识别出辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲亚相,其中辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘沉积最为发育。

辫状河三角洲平原是由辫状平原发展演化而成,广泛发育辫状分流河道,内部具向上变细的沉积序列,底部常见冲刷面,砂岩含有零星分布的泥砾,向上为中砂岩,发育槽状交错层理,平行层理和前积型交错层理,顶部为沙纹交错层理粉—细砂岩—泥岩互层。

辫状河三角洲前缘是三角洲中砂层集中的发育带,是三角洲最主要的骨架部分,研究区河口坝不发育,从河口往湖方向水下分流河道和分流间湾呈频繁互层。水下分流河道砂

岩粒度较粗,为灰色厚层状中—细砂岩,发育平行层理、板状交错层理、槽状交错层理及变形层理,可含泥砾等滞留沉积,常见滑塌构造及水下揉皱构造,底部具冲刷面。自然电位曲线为中高幅的箱形、钟形组合曲线,自然伽马曲线为低值箱形;分流间湾以细粒沉积为主,粉砂岩中发育水平层理、透镜状层理、沙纹层理以及垂直虫孔、水平虫孔,自然电位曲线低平,自然伽马曲线中高值,呈齿形。

3.3 曲流河三角洲沉积体系

曲流河三角洲沉积主要发育在东北部华池地区,水下部分(沉积微相有水下分流河道及分流间湾)的发育规模较大,且在 SS1₃ 沉积层序中较发育,包括三角洲前缘和前三角洲沉积。纵向层序为进积型,由早期湖泊相过渡至晚期河流相过程中形成了纵向上的反粒序。砂层下部为粉砂岩、泥质粉砂岩与粉砂质泥岩薄互层,发育水平层理和沙纹层理,向下逐渐过渡为暗色泥岩,上部为厚层状或块状细砂岩,砂岩底部常见冲刷构造。自然电位曲线为多个箱形或钟形曲线的叠加,自然伽马曲线中低值,呈齿形。

3.4 湖泊沉积体系

根据沉积组合特征、古生物标志和电测曲线,可将湖泊相划分为浅湖和深湖亚相。

3.4.1 浅湖亚相

研究区浅湖亚相主要为深灰、灰黑色泥岩、粉砂质泥岩夹灰色粉砂岩、粉细砂岩及灰白色细砂岩。粉砂岩及粉细砂岩发育沙纹交错层理、变形层理、透镜状层理、包卷层理及压扁层理;泥岩中水平层理发育,具沥青,含有大量的植物碎片化石和垂直虫孔,此外可见介形虫、螺化石、少量的鱼鳞化石和瓣鳃类化石。自然电位曲线近于平直,自然伽马曲线中高值,呈齿形。

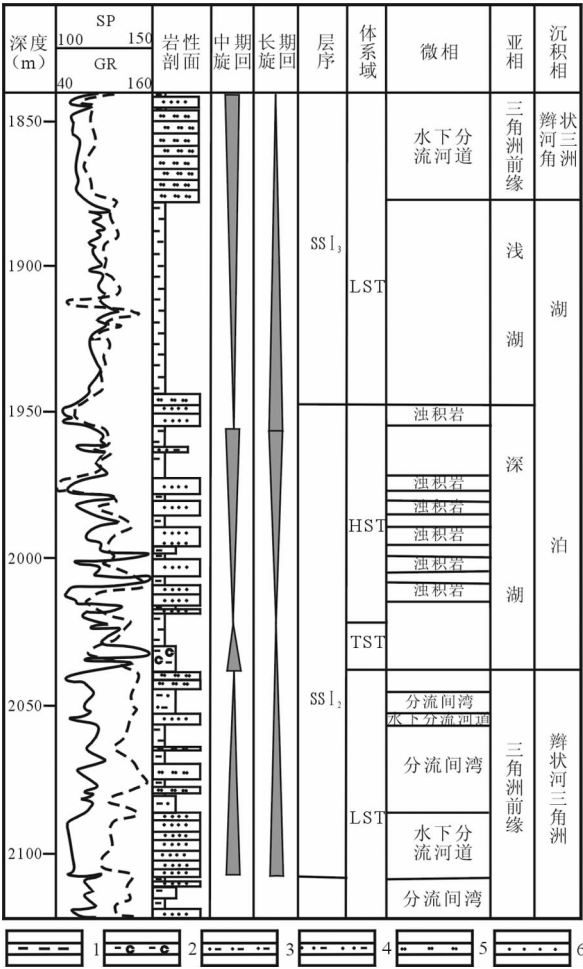


图3 西44井延长组层序地层—沉积相
1—泥岩;2—炭质泥岩;3—砂质泥岩;4—泥质砂岩;
5—粉砂岩;6—细砂岩
Fig.3 Sequence stratigraphy and sedimentary facies of Yanchang Formation from well Qing 44
1—Mudstone;2—Carbonaceous mudstone;3—Sandy mudstone;
4—Muddy sandstone; 5—Siltstone;6—Fine sandstone

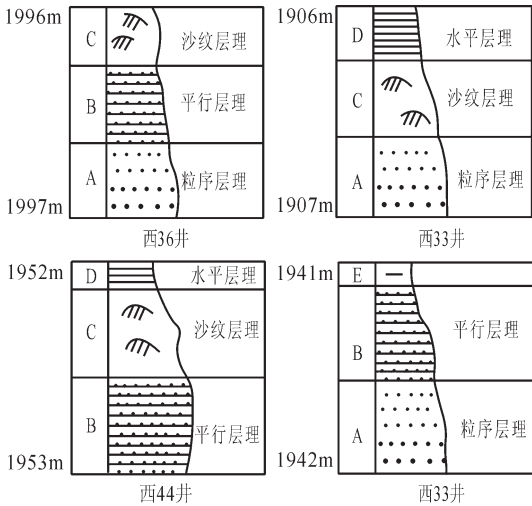


图4 鲍玛序列组合特征
Fig.4 Characteristics of the Bouma sequence

集层,如层序SS I₂的HST浊积岩砂体,但最主要的是良好的生油层和盖层,如层序SS I₂的TST是最重要的生油层,层序SS I₃的TST和HST的浅湖泥质沉积则是良好的盖层。这样便形成了研究区最重要的SS I₂和SS I₃油藏。

4.2 沉积层序影响着储层的展布及储集性能

在陆相地层中,低位体系域发育反复切割叠置的河道砂体,是最重要的储层。主要含油气层段SS I₂和SS I₃层序低位体系域三角洲沉积发育,砂体分选性好,潜在孔渗条件较好,能够形成区域规模的储层,是勘探的重要目的层。在水进体系域和高位体系域中,发育浊积岩砂体,砂体呈孤立状分布,分选性也较差。但是,研究区浊积岩分布面积大,如SS I₂高位体系域中研究区大部分面积都分布有浊积岩砂体,且厚度较大,是研究区潜在的储集体。

5 油气勘探意义

研究区存在4种储集砂体,分别为扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲河道及水下分流河道砂体和浊积岩砂体,储集砂体分布面积大,侧向延续性好,可单独或配合形成地层-岩性圈闭及油气藏。就储集物性而言,前三类砂体要好于第四类。但是,长期以来浊积扇一直是石油地质学家所注目的勘探对象,20世纪70年代以来,国内外在浊流理论研究方面取得飞速进展的同时,对浊积岩的油气勘探也获得了巨大的经济收益,证明浊积岩具有很大的石油勘探潜力^[17-19]。

在鄂尔多斯盆地中,研究区处于有利的含油气系统之中,具有较好的勘探前景。主要表现为:扇三角洲、辫状河三角洲及曲流河三角洲的分流河道砂体和水下分流河道砂体经过较长距离的搬运,分选、磨圆及孔隙性均较好,为良好的油气储层;浊积岩砂体十分发育,分布面积大,是研究区潜在的储集体;湖相暗色泥岩、炭质泥岩,尤其是长7油层组的油页岩是良好的烃源岩;同时这些烃源岩、分流间湾泥质沉积以及长4+5的泥质沉积又是较好的盖层和侧向上的遮挡。储集层砂体直接与烃源岩接触或通过裂缝与烃源岩沟通,从而可以形成有利的生储盖组合。

6 结论

依据沉积序列中的岩石类型及组合、沉积构造、测井曲线等将鄂尔多斯盆地陇东地区沉积体系划分为扇三角洲、辫状河三角洲、曲流河三角洲和湖泊沉积体系。各三角洲可进一步划分为三角洲平原和三角洲前缘亚相和若干微相,三角洲平原河道砂体和三角洲前缘水下分流河道砂体粒度较粗,分选、磨圆较好,物性相对较好,是良好的储集层。它们主要发育在低位体系域中,集中在长8及长6油层组,通常都是勘探的重要目的层。水进及高位期,研究区中部庆阳—西峰—合水一带发育的长7深湖浊积岩,虽然粒度相对较细,物性相对较差,但是分布面积大,是研究区潜在的储集体,同时深湖相暗色泥岩、油页岩是良好的烃源岩,也是较好的盖

层。所以陇东地区具有良好的生储盖组合,处于有利的含油气系统之中,有较好的油气勘探前景。

参考文献(References):

- [1] 陈安宁,韩永林,杨颢,等.鄂尔多斯盆地三叠系延长统成藏地质特征及油藏类型[J].低渗透油气田,2000,5(3):30-39.
Chen Anning,Han Yonglin,Yangyang,et al. Geological features and reservoir types of oil reservoir forming in Yanchang Formation of Triassic of Ordos Basin[J]. Low Permeability Reservoirs, 2000, 5(3): 30-39(in Chinese with English abstract).
- [2] 朱国华,王文炯.论陕北安塞延长组三角洲的油气富集条件[J].石油与天然气地质,1987,8(4):440-447.
Zhu Guohua, Wang Wenjiong. A discussion on delta hydrocarbon accumulation of Yanchang Formation in Ansai North Shaanxi [J]. Oil & Gas Geology, 1987, 8 (4):440-447 (in Chinese with English abstract).
- [3] 梅志超,彭荣华,杨华,等.陕北三叠统延长组含油砂体的沉积环境[J].石油与天然气地质,1988,9(3):261-267.
Mei Zhichao, Peng Ronghua, Yang Hua,et al. Sedimentary environment of the oil bearing sandbodies in the Upper Triassic Yanchang Formation of Northern Shanks [J]. Oil & Gas Geology, 1988,9(3):261- 267(in Chinese with English abstract).
- [4] 赵重远,刘池洋.华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存[M].西安:西北大学出版社,1990:93-100.
Zhao Zhongyuan, Liu Chiyang. The Formation and Evolution of the Sedimentary Basins and Their Hydrocarbon Occurrence in the North China Craton [M]. Xi'an:Northwest University Press, 1990: 93-100 (in Chinese).
- [5] 张岳桥,廖昌珍.晚中生代-新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地改造[J].中国地质,2006,33(1):28-40.
Zhang Yueqiao, Liao Changzhen. Transition of the Late Mesozoic-Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos basin [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):28-40 (in Chinese with English abstract).
- [6] 屈红军,李文厚,梅志超,等.论层序地层学与含油气系统在油气勘探中的联系-以鄂尔多斯中生代盆地为例[J].地质论评,2003,49(5):495-500.
Qu Hongjun, Li Wenhui, Mei Zhichao, et al. Relationship between sequence stratigraphy and petroleum system in oil and gas exploration:An example in the Mesozoic Ordos basin[J]. Geological Review, 2003, 49(5):495-500(in Chinese with English abstract).
- [7] 梅志超.沉积相与古地理重建[M].西安:西北大学出版社,1994:189-192.
Mei Zhichao. Reconstruction of Sedimentary Facies and Paleogeography [M]. Xi'an:Northwest University Press, 1994: 189-192(in Chinese).
- [8] Wheeler H E.Base level, Lithosphere surface, and time-stratigraphy

[J]. Bulletin of Geological Society, America, 1964, 75:599-610.

[9] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派-高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2):89-97.

Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U.S.A.:high-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2):89-97(in Chinese with English abstract).

[10] 樊太亮, 吕延仓, 丁明华. 层序地层体制中的陆相储层发育规律[J]. 地学前缘, 2000, 7(4):315-321.

Fan Tai liang, Lü Yancang, Ding Minghua. Characteristics of formation and distribution of reservoirs in systems of continental sequence stratigraphy[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4):315-321(in Chinese with English abstract).

[11] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 33(1):212-220.

Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dahang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sandbodies [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):212-220 (in Chinese with English abstract).

[12] 魏魁生, 徐怀大. 华北典型箕状断陷盆地层序地层学模式及其与油气赋存关系[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 1993, 18(2):139-149.

Wei Kuisheng, Xu Huaida. Sequence stratigraphic models and their relationship to oil and gas occurrence in typical faulted basins northern China [J]. Earth Science- JournaI of China University of Geosciences, 1993, 18(2):139-149(in Chinese with English abstract).

[13] 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.

Xu Huaida. Some problems in study of continental sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2):83-89(in Chinese with English abstract).

[14] Posamentier H W. Variations of the sequence straitgraphic model: past concepts present understandings and future direction[J]. AAPG Bull, 1991, 75(3):955-956.

[15] Shanley K W, McCabe P J. Perspective on the sequence stratigraphy of continental strata[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78:544-568.

[16] 刘招君, 董清水, 王嗣敏, 等. 陆相层序地层学导论与应用[M]. 北京:石油工业出版社, 2002:138-139.

Liu Zhaojun, Dong Qingshui, Wang Simin, et al. Introduction and Application of Continental Sequence Stratigraphy [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002:138-139(in Chinese).

[17] 雷怀玉, 邹伟宏, 王连军, 等. 盆西地区浊积岩的发现及其油气勘探意义[J]. 沉积学报,1999, 17(1):89-94.

Lei Huaiyu, Zhou Weihong, Wang Lianjun, et al. The turbidite found in chaxi area and its importance for exploration petroleum[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(1):89-94(in Chinese with English abstract).

[18] Khafizov S F, Syngaevsky P E. Turbidite, slump and debris flow deposits at the Kalchinskoe and Zimnee Oilfields, West Siberian Basin[J]. Petroleum Geology, 2005, 28(1):49-66.

[19] 王居峰, 郑和荣, 苏法卿. 东营凹陷中带沙河街组三段浊积体储层特征类型与成因[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5):528-532.

Wang Jufeng, Zheng Herong, Su Faqing. Reservoir characteristics and genesis of turbidite fans in the 3rd member of Shahejie Formation in central Dongying depression [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(5):528-532(in Chinese with English abstract).

Sequence stratigraphic characteristics of the Yanchang Formation in the Longdong area and their significance for petroleum exploration

GUO Yan-qin², LI Wen-hou², CHEN Quan-hong²,
LIANG Ji-wei², YU Fang², HE Wei-jun²

(1. *Institute of Petroleum Resources, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, Shaanxi, China;*

2. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China*)

Abstract: Based on data of logs, cores and outcrops, the characteristics of the stratigraphic sequence and sedimentary facies of the Yanchang Formation in the Longdong area, Ordos basin, are studied. Four third-order sequence boundaries are recognized in the formation. The authors divide the formation into four third-order depositional sequences and ten systems tracts. Four main depositional systems are identified: the fan delta, braided river delta, meandering river delta and lacustrine sedimentary systems. The distribution characteristics of the depositional systems in various systems tracts are analyzed and the depositional models of the systems tracts and the relationship between depositional sequences and petroleum are also discussed. The authors think that the sand bodies in channels of the delta plain and subaqueous distributary channels in the delta front in the lowstand systems tracts are main reservoirs, the sand bodies of turbidites in transgressive and highstand systems tracts are potential reservoirs, and the lacustrine mudstone and shale developed in transgressive and highstand systems tracts are good source rocks and cap rocks—all these show that the Longdong area is located in a favorable petroleum-bearing system with favorable source-reservoir-cap assemblages and has good petroleum prospects.

Key words: sequence stratigraphy; sedimentary system; Yanchang Formation; Longdong area

About the first author: GUO Yan-qin, female, born in 1972, Ph.D and lecturer, specializes in reservoir sedimentology; E-mail: guoyanqin@xysu.edu.cn.