

鄂尔多斯盆地延长组层序地层特征

李运振¹, 刘震², 郭彦如³, 韩品龙³

(1. 中海油研究总院, 北京 100027; 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. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:通过对鄂尔多斯盆地延长组钻井、测井及地震等资料分析,寻找作为层序界面的冲刷侵蚀面与不整合面,认为延长组岩石地层单元的划分存在穿时性。延长组沉积时期鄂尔多斯盆地为克拉通盆地,其沉积层序特征:①三级层序在盆地内厚度变化不大,发育稳定;②沉积坡折带为主要的坡折类型,不会形成巨厚的低位体系域砂体;③物源控制了湖平面之上砂体的分布,坡折带控制了湖平面之下砂体的分布;④整个层序结构具有多物源多旋回充填特征。

关键词:鄂尔多斯盆地延长组;层序边界;体系域;岩石地层单元;穿时

中图分类号:TE121.1

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2012)04-0026-11

Sequence Stratigraphy Characteristics of the Yanchang Formation in Ordos Basin

LI Yunzhen¹, LIU Zhen², GUO Yanru³, HAN Pinlong³

(1. Central Research Institute of China National Offshore Oil, Beijing 100027, China;

2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the drilling, logging and seismic data, the right scour erosion surfaces and the unconformities as sequence boundaries can be found. There is time through in the division of lithostratigraphic units in Yanchang formation. In the sedimentary period of Yanchang formation, Ordos basin is a craton basin, which have special sedimentation sequence features. ①The three-order sequences growth are stable totally, with little change of the thickness in Ordos basin. ②Sedimentary slope-break belt is the main type in the glaciais depression basin, it can not form thick sand bodies in the low stand systems. ③Above the lake level, the distribution of sand-bodies is controlled by sediment source. Below the lake level, the distribution of sand-bodies is controlled by slope-break belt. ④The whole sequence has the filling characteristics with multiprovenance and multicycle.

Key words: Yanchang formation in Ordos basin; sequence boundary; system tract; lithostratigraphic units; diachroneity

岩石地层单元所划定的单一砂体,属不同层序所形成的不同成因类型的多个砂体叠加构成的复合砂体,因此岩石地层单元的划分具有穿时性,尤其是多物源、地层岩相变化快及砂体厚度薄时更加明显。术语“穿时”最初由英国地质学家 Wright^[1]介绍英国兰开夏郡内的磨石粗砂岩的地质时代时提出,在现代地层学中指在持续的海侵或海退条件下,岩石地层体的界线与地质时间面或化石带斜交的现象,是现代地层学的一个重要术语,也是多重地层单位划分的主要理论支柱^[2]。在地层的非渐变堆积作用过程中,空间变化(在同一时间内沉积环境的空间变化)将产生有序的相带分异,形成静态相变面,以时间变化为主的相变将产生动态相变面,前者造成“相变面穿时”,后者产生“间断面穿时”^[3],因此在地层记录中存在两种相变面,即静态相变面和动态相变面,与之相关存在两种穿时性,即相变面穿时和间断面穿时,这两种穿时在地层记录中普遍存

收稿日期:2011-12-16

作者简介:李运振(1977—),男,山东鄒城人,工程师,博士,主要从事石油地质学和层序地层学的研究。

E-mail:liyzh4@cnooc.com.cn

在,是沉积地层的基本属性之一。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地北以阴山、大青山及狼山为界,南至秦岭,西起贺兰山、六盘山,东到吕梁山,总面积 $32 \times 10^4 \text{ km}^2$,沉积厚度 $5\ 000 \sim 10\ 000 \text{ m}$ (图 1)。位于属华北地台西部,为克拉通边缘的拗陷盆地。盆地基底为太古代、元古代变质岩结晶基底,其上为古生代、中生代、新生代盖层沉积,具明显的二元结构^[15-16]。

鄂尔多斯盆地近南北走向,为西翼陡东翼缓的大向斜。据现今构造形态,结合鄂尔多斯盆地演化史,将盆地划分为六个一级构造单元:伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、陕北斜坡、天环拗陷以及西缘逆冲带,其中陕北斜坡是最大的构造单元。

2 常用方法

目前,解决岩石地层单元穿时现象最好的办法是利用层序地层学原理进行综合性划分。层序地层学源于海相盆地,在被动大陆边缘盆地油气勘探研究实践的基础上,先后建立了地震地层学和层序地层学理论,提出了比较成熟的海相层序模式,并在深海扇等油气勘探中发挥了重要作用^[4-5]。我国油气资源主要分布于中生代陆相盆地,因而要着重开展陆相层序地层学研究,并在陆相层序成因、层序划分对比及层序演化规律等方面取得一些进展。

与海相盆地相比,陆相盆地具有多物源、多沉降中心、多沉积中心等特点^[6]。在充分考虑陆相地层的复杂性与特殊性的基础上,提出“构造层序”^[7]、“超层序”^[8-9]等概念来描述盆地构造旋回与层序样式及层序界面的关系,将沉积盆地内以不整合面或与之相对应的整合面为边界的具有成因联系的旋回岩性序列划分为层序,进行盆地内层序界面的追踪对比,建立等时年代地层格架^[10-11]。从层序地层模式来看,穿时具有普遍性,其根本原因是相对海(湖)平面变化过程中侧向加积和纵向加积两种沉积作用的相互叠加,海(湖)侵和海(湖)退控制了穿时的表现形式。以 Vail 为代表的基本层序地层模式中地层超覆、顶超以及削蚀等接触关系体现了地层穿时普遍性的本质,穿时性的正确识别,是建立层序地层格架的基础^[4]。

鄂尔多斯盆地是在华北克拉通盆地的基础上,由于印支运动的影响,于晚三叠世在华北克拉通盆地西部拗陷形成的一个大型内陆盆地^[12]。盆地地形平坦,海(湖)平面升降对层序发育起主要控制作用,层序特征在较大的范围内表现出很好的一致性^[13],但由于盆地内具有丰富的地球动力学和油气聚集成藏演化的信

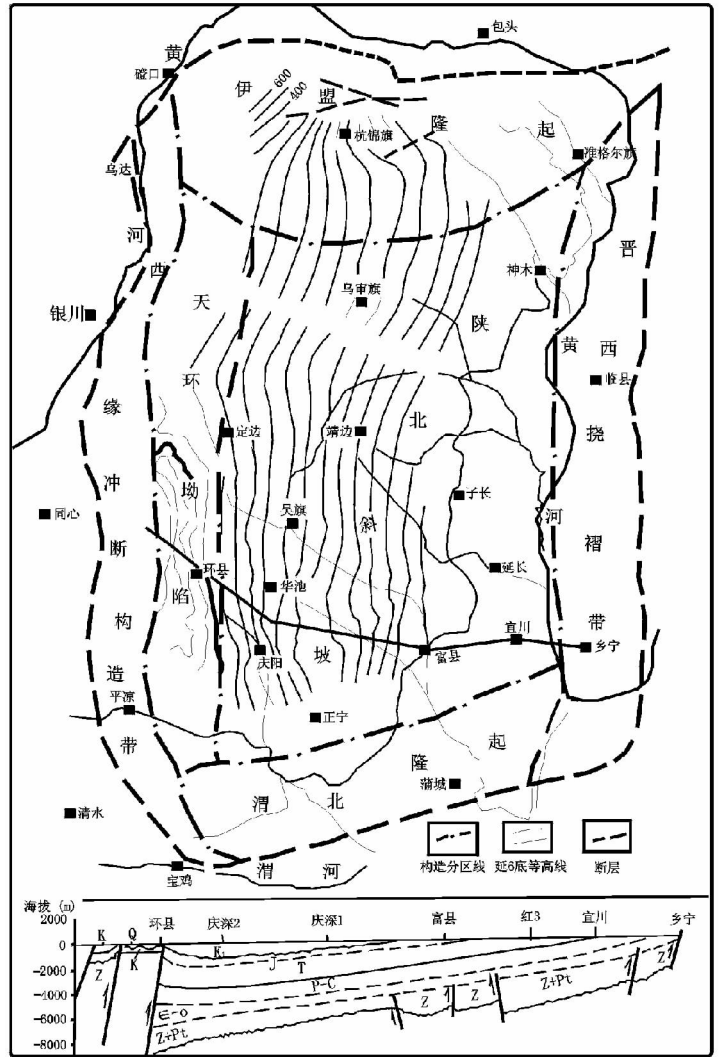


图 1 鄂尔多斯盆地构造单元略图^[16]

Fig. 1 The sketch map of tectonic units in Ordos basin

息,在不同地区具有不同的层序样式和沉积发育特征。由于该盆地地震资料品质差、钻井资料多解性强、层序界面难识别以及等时对比困难^[14],造成三级层序界面的划分及对比工作比较薄弱,尤其针对体系域方面的研究更为少见。本文在 Vail 的理论体系基础上,根据鄂尔多斯盆地延长组河流—三角洲—湖泊沉积体系的结构特征,综合分析钻井、测井和地震资料,建立了延长组陆相碎屑岩的等时层序地层格架,探讨层序发育特征及沉积相、沉积充填等的响应关系,对研究区的油气勘探与开发具有一定的指导意义。

3 延长组岩石地层单元的穿时性

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组是在盆地拗陷持续发展和稳定沉降过程中沉积的以河流—湖泊相为主的陆源碎屑岩系,它的发展和演化记录了这个大型淡水湖盆从发生、发展到消亡的历史。根据岩性特征分为五段,即 T_3y_1 、 T_3y_2 、 T_3y_3 、 T_3y_4 、 T_3y_5 ;再根据其岩性、电性及含油性,将五段对应划分为 10 个油层组(长 1—长 10)。

第一段长 10 油层组,为河流、三角洲及浅湖相沉积,岩性为灰绿色、浅红色长石砂岩夹暗紫色泥岩及粉砂岩,砂岩为沸石胶结,呈麻斑结构。

第二段包括长 9、长 8 油层组,是以砂泥岩为主的湖相三角洲沉积,长 8 相对较粗,是重要的储油层;长 9 以泥页为主,习称“李家畔”页岩,是延长组重要的生油岩之一。

第三段包括长 7、长 6、长 4+5 油层组,为一套砂泥岩互层。长 7 在盆地南部发育“张家滩”页岩,是盆地的主要生油层;长 4+5 以泥页岩为主,既是生油层也是较好的区域盖层。

第四段包括长 3、长 2 油层组,为一套灰绿色中—细粒砂岩夹灰黑色粉砂质泥岩,是盆地延长组重要的储油层之一。

第五段为长 1 油层组,为一套深灰绿色粉砂质泥岩与泥质粉砂岩、细砂岩互层,局部夹薄煤层。

理解地层穿时的本质是正确估计地层对比中可能存在的时间误差。通过鄂尔多斯盆地延长组三级层序界面的追踪,认为延长组的岩石地层单元的划分存在穿时性,穿时部位位于同相轴横向变化剧烈及轴相间组合复杂的地区,例如在鄂尔多斯盆地南部地区的某些地震测线中,不同井的不同层段分别位于不同的三级层序中(图 2)。两种划分方案的叠合存在较大差别,岩石地层单元划分的地层较为平缓,地层厚度变化不大;而利用层序地层学进行划分,地层不仅厚度变化大,且起伏剧烈。因此在建立层序地层框架的过程中,要考虑层序等时的重要性。对于层序内部的体系域界面,由于体系域内地层的发育期次与叠置关系更加复杂,不同的岩石地层单元可以穿过相同体系域,岩石地层的穿时性会更加明显。

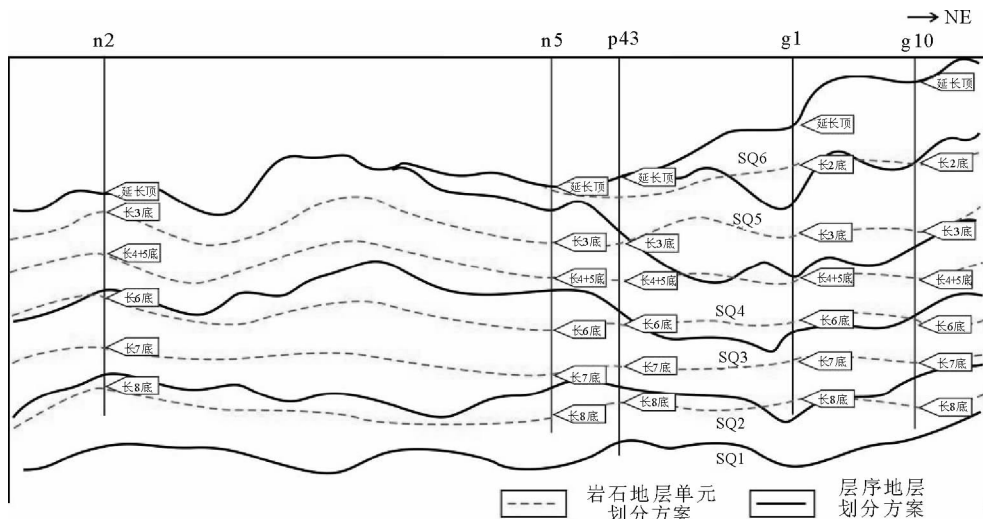


图 2 鄂尔多斯盆地延长组岩石地层单元与层序地层划分对比图

Fig. 2 The contrast between lithostratigraphic units and sequences of Yanchang formation in Ordos basin

4 延长组层序界面特征

层序界面的识别标志很多,其中最可靠、最易操作的是地震反射界面、测井以及岩心岩相标志,另外,古生物、地球化学指标也可以作为层序界面的辅助识别标志^[17]。由于鄂尔多斯盆地延长组沉积时期为坳陷型盆地,盆地面积大,层序发育稳定,确定准确的层序界面相对困难,但盆地内大量单井及地震资料均能反映层序边界的冲刷剥蚀面及不整合面。本文在分析区域地质背景和前人研究的基础上,根据大量地质资料对延长组三级层序界面进行多方面的验证,依据全区不整合面特征及同相轴的连续性,建立鄂尔多斯盆地延长组地震层序地层格架,控制全区层序地层的划分,修正单井及联井层序地层划分,并发现盆地不同地区岩石地层划分的穿时现象。

4.1 单井层序及体系域边界特征

单井层序划分是覆盖全区层序地层学研究的基础,以钻井地层剖面和测井曲线为基础。沉积旋回记录了不同级别的基准面旋回,成为层序划分和层序体系域划分的理论依据^[18-19]。与地震资料相比,钻测井资料有较高的垂向分辨率,更能清楚地反映井孔附近较小级别的沉积旋回性变化。层序界面在测井曲线上往往表现为岩性转换面或者进积-退积转换面(图3);最大湖泛面是层序内部分割湖侵和高位体系域的界面,在湖盆演化过程中,湖平面达到最高、湖岸上超点达到向陆最远时期所对应的湖泛面,常形成分布范围广、色暗质纯、反映较深水环境的暗色泥岩、黑色油页岩等,测井响应表现为高伽玛、平直自然电位(图4);首次湖泛面是低位体系域与湖侵体系域的界面,在坳陷型盆地确定湖泛面或确定像海盆那样的“陆棚坡折带”相对困难,依据低位体系域和湖侵体系域的内部沉积旋回叠置样式来确定其位置。低位体系域发育河流和三角洲平原分流河道沉积,表现为垂向加积或退积序列;湖侵体系域以较深水的湖相沉积为特征,表现出向上泥岩厚度加大的退积式沉积。三级层序往往表现为粗-细-粗旋回,这也是在延长组内部划分层序的重要依据之一。因此,可将鄂尔多斯盆地延长组划分为6个三级层序(图3)。

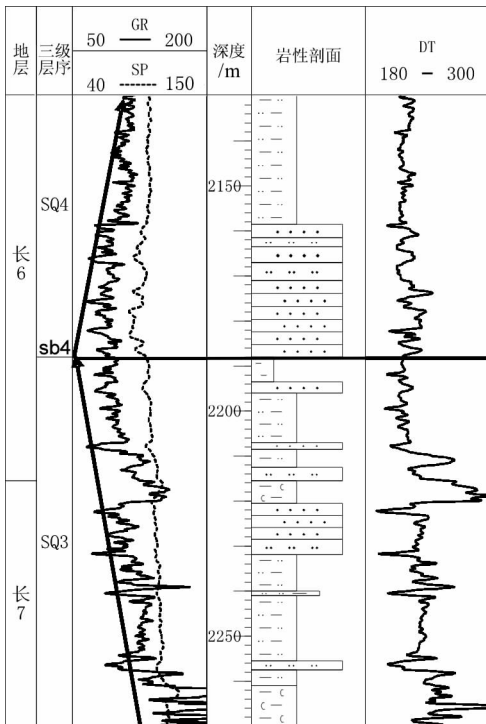


图3 b247井进积-退积转换面

Fig. 3 The transitional surface between progradation and retrogradation in b247 well

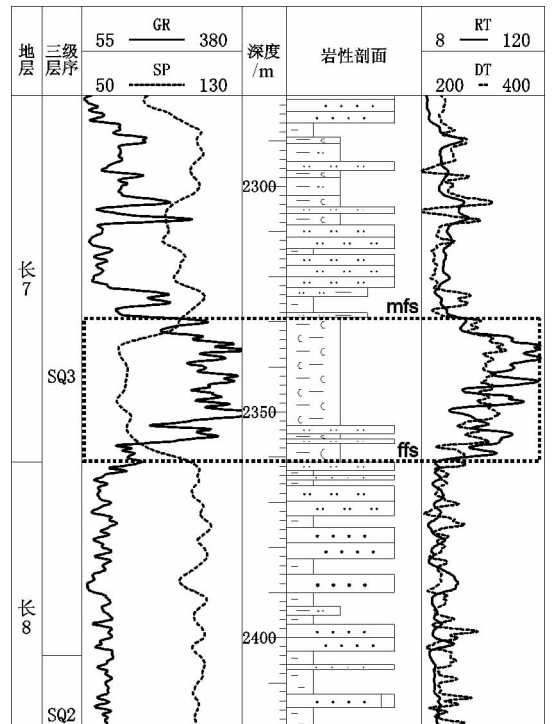


图4 157井最大湖泛期电性特征

Fig. 4 The electrical characteristics of maximum flood in 157 well

层序一(SQ1)对应于长 10 油层组,地层厚度南厚北薄、变化很大,从几十米至几百米,底界面是延长组与下伏中三叠统纸坊组的侵蚀不整合面,低位与湖侵体系域相当于长 10 油层组中下部,最大湖泛面出现于三角洲前缘—前三角洲—浅湖亚相中,由灰黑色泥岩和粉砂质泥岩组成。

层序二(SQ2)对应于长 9 和长 8 油层组下部,地层厚度从几十米至二百多米,南厚北薄,低位体系域相当于长 9 油层组下部;湖侵体系域相当于长 9 油层组中上部,最大湖泛面对应于“李家畔页岩”,为浅湖—半深湖亚相沉积,由灰黑色泥岩及油页岩组成,高位体系域相当于长 8 油层组下部,其顶部与层序三之间具较明显的区域型冲刷面。

层序三(SQ3)包括长 8 油层组上部、长 7 及长 6 油层组下部,厚度从几十米至三百米不等,是一个限定良好的三级层序,层序顶底边界由长 6 和长 8 油层组三角洲沉积底部块状砂岩组成,长 6 中部和长 8 下部均是三角洲大规模向盆地内推进形成的进积序列,湖侵体系域由整个长 7 油层组构成,厚度非常大、湖侵时间长,发育灰黑色泥岩及油页岩的深湖亚相。

层序四(SQ4)相当于长 6 油层组上部、长 4+5 油层组以及长 3 油层组下部,厚度从几十米至三百多米,底界面为长 6 油层组内部的冲刷界面,顶界面为岩性岩相、沉积韵律转换面,低位体系域厚度较大,长 4+5 油层组大段灰黑色泥岩、粉砂质泥岩沉积在盆地内广泛分布,代表了最大湖泛面沉积,为三角洲前缘—浅湖亚相沉积类型。

层序五(SQ5)相当于长 3 油层组上部和长 2 油层组下部,厚度从几十米至一百多米,底界面为长 3 油层组内部的岩性岩相、沉积韵律转换面。

层序六(SQ6)相当于长 2 油层组上部和长 1 油层组,其底界面为岩性岩相、沉积韵律转换面,顶界面为三叠系与侏罗系之间的侵蚀不整合界面,晚三叠末受到印支运动的影响,研究区不均一抬升造成延长组顶部地层遭受不同程度的剥蚀。

4.2 地震层序边界特征

地震层序分析是进行层序地层框架分析的重要方法。利用地震资料研究层序地层,可以从区域上划分地震层序,并校正单纯利用井资料划分的层序,为沉积层序划分和对比建立基础。

根据鄂尔多斯盆地合成地震记录制作和层序地层对比,认为延长组存在 7 个层序界面,从下至上分别为 SB1~SB7,其中延长组顶界 SB7 和底界 SB1 为区域性不整合面,为整个延长组二级层序的顶底界面。延长组顶界 SB7,与上覆侏罗系富县组或延安组层序间为侵蚀不整合界面,存在剥蚀、河道充填现象,在全区能够很好识别,其剥蚀现象非常明显。层序界面 SB1 为长 10 与下伏中三叠统纸坊组的不整合面,在区域上存在剥蚀现象,但同相轴连续性较差。SB5 和 SB3 为削蚀面,代表较强的构造运动幕,为延长组 SQ5 和 SQ3 的底界面。层序界面 SB5 存在范围较广的剥蚀现象,在盆地中分布地区较局限,同相轴连续性较差,局部有明显的上超现象。层序界面 SB3 存在区域剥蚀现象,在研究区内分布比较广泛,同相轴连续性较好,能够很好的识别。SB6、SB4 和 SB2 为延长组三级层序 SQ6、SQ4 和 SQ2 的底界面。层序界面 SB6 存在局部剥蚀及河道充填现象,盆地中分布较局限,同相轴连续性较差,局部出现下凹现象,同相轴连续性差;在研究区内很难发现层序界面 SB4 的剥蚀现象,存在下超及上超现象,同相轴连续性较好;层序界面 SB2 存在局部剥蚀及上超现象,同相轴连续性较差(表 1)。

4.3 层序划分方案

对于鄂尔多斯盆地延长组层序地层的划分,不同学者之间存在较大分歧,原因是地震资料品质较差,加之盆地具有物源多、相变快的特点,钻井资料的多解性强,层序界面难识别,层序级别也不容易确定;另外,不同研究者所侧重的资料不一样,通过野外剖面、测井资料以及地震资料等分析;再次,众多研究者仅对盆地某区块的层序划分进行研究,诸多因素造成了划分方案的差异。

多数学者^[20-24]的层序划分方案与本文一致(表 2),认为 SQ1 与长 10 基本对应,SQ2 对应长 9 到长 8 中,SQ3 对应长 8 中到长 6 下,SQ4 对应于长 6 上到长 3 下。本文综合分析钻井、地震及岩性旋回,最终将延长组划分为 6 个三级层序。

表 1 鄂尔多斯盆地延长组层序界面地震特征表

Tab. 1 The seismic characteristics of sequence boundary of Yanchang formation in Ordos basin

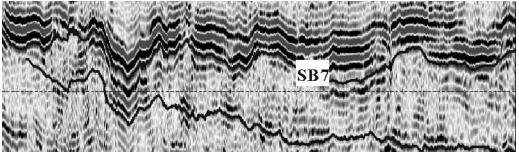
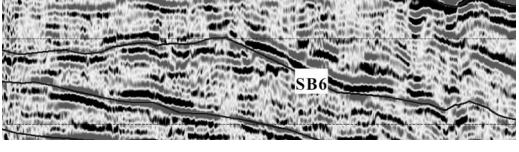
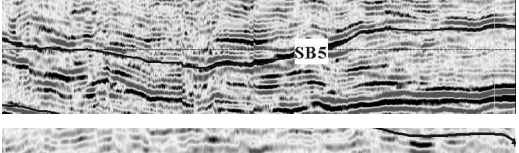
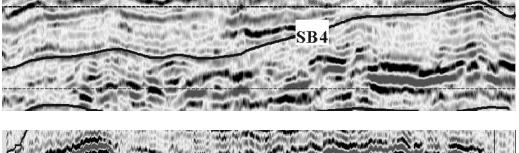
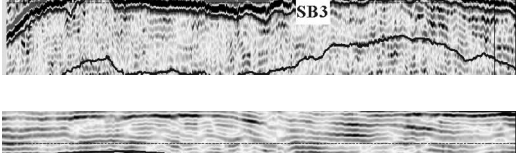
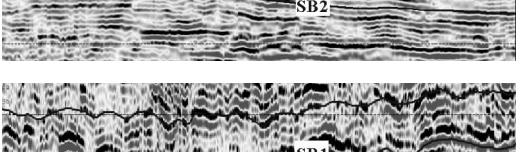
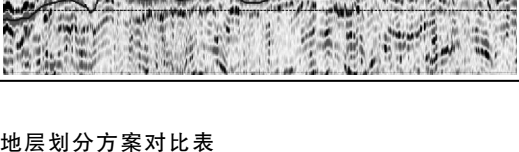
层序边界	层序界面地震特征	层序界面典型地震剖面
SQ6 顶界面 (SB7)	与上覆侏罗系富县组或延安组层序间为侵蚀不整合界面,存在剥蚀、河道充填现象,在全区能够很好识别。	
SQ6 底界面 (SB6)	存在局部剥蚀及河道充填现象,同相轴连续性差。	
SQ5 底界面 (SB5)	存在范围较广的剥蚀及上超现象,同相轴连续性较差。	
SQ4 底界面 (SB4)	存在下超及上超现象,同相轴连续性好。	
SQ3 底界面 (SB3)	存在区域剥蚀现象,同相轴连续性较好。	
SQ2 底界面 (SB2)	存在局部剥蚀及上超现象,同相轴连续性差。	
SQ1 底界面 (SB1)	为长 10 与下伏中三叠统纸坊组的不整合面,存在剥蚀现象,同相轴连续性差。	

表 2 鄂尔多斯盆地延长组层序地层划分方案对比表

Tab. 2 The comparison table of sequence stratigraphy of Yanchang formation in Ordos basin

油层	[24]	[23]	[26]	[20]	[22]	[21]	本文
长1	SQ4	SQ6	SQ4	SQ5	SQ4	SQ6	SQ6
长2						SQ5	SQ5
长3	SQ3	SQ5	SQ3	SQ4	SQ3	SQ4	SQ4
长4+5						SQ4	SQ4
长6	SQ2	SQ4	SQ3	SQ3	SQ2	SQ3	SQ3
长7						SQ3	SQ3
长8	SQ1	SQ2	SQ2	SQ2	SQ1	SQ2	SQ2
长9						SQ2	SQ2
长10						SQ1	SQ1

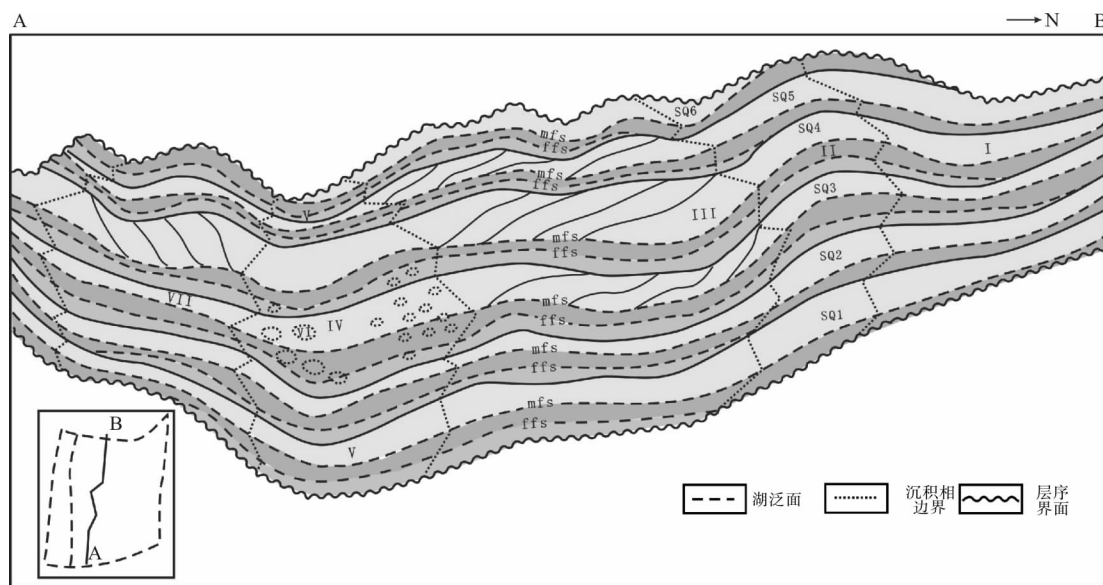
5 拗陷湖盆层序地层特征

沉积层序通过属性不同的沉积体系的交替表现出来。这种地层层序的变化绝非单一的地质作用所为，而是多种因素相互作用的结果^[25]。鄂尔多斯盆地上三叠统延长组经历了较大规模的湖盆发生、发展和消亡的过程，构成了一个完整的大型开阔克拉通湖盆构造层序，地层的堆砌和充填都具有自身的特点。

5.1 层序地层厚度特征

鄂尔多斯盆地是晚三叠世初期，华北地台解体后独立发展起来的大型内陆湖盆，盆地内主要以升降运动为主，层序地层厚度整体变化不大。在南北向骨干剖面中，顶部层序在南北边界遭受剥蚀，层序地层具有中间厚，两边薄的特征(图 5)。延长组层序地层发育稳定，盆地边缘剥蚀较严重。盆地西南部由于接近西缘逆冲带，后期地层遭受挤压变形，抬升剥蚀较为严重^[27]，不整合现象明显，延长组顶部层序缺失严重，盆地边缘缺失 SQ4、SQ5 以及 SQ6。盆地东北部由于地层坡度平缓，较少遭受抬升剥蚀，不整合现象不明显，层序地层发育较齐全，仅缺失 SQ6，接近盆地边缘缺失 SQ5(图 5)。

层序之间及层序内部出现的厚度变化通常出现在沉积坡折带附近。与断陷盆地相比，拗陷盆地不发育断裂坡折带，坡折带类型以沉积坡折为主，由于地形总体平缓，不会形成巨厚的低位体系域砂体。晚三叠世，鄂尔多斯盆地构造活动不强烈，是一个东缓西陡的不对称拗陷盆地，东部缓坡带地势平坦、水体浅、分布面积广，携带大量泥沙的河水密度大于湖水的密度，入湖后仍保持较高的流速沿平坦的湖底向前流动很远，从而形成广阔的三角洲前缘沉积。由于不存在剧烈的构造沉降，形成的沉积坡折带延伸的范围较广，坡折带之下的低位体系域厚度较小(图 5)。盆地西部及西南部地区坡度虽然较陡，延伸距离较短，沉积物通过河谷在坡折带顶端谷口沉积浊积扇及扇三角洲，然而通过现有的地震剖面来看，层序及体系域厚度与盆地东部地区相差不大。



I—河流，II—曲流河三角洲平原，III—曲流河三角洲前缘，IV—半深湖-深湖，
V—滨浅湖，VI—浊积扇，VII—辫状河三角洲，ffs—初次湖泛面，mfs—最大湖泛面

图 5 鄂尔多斯盆地延长组层序地层模式

Fig. 5 The sequence stratigraphic model of Yanchang formation in Ordos basin

5.2 层序内砂体主控因素

在陆相盆地中，砂岩体的形成和分布受多种因素的控制，不同类型的盆地会有不同的主控因素。断陷盆地中，构造对砂体的形成和分布起着主要的控制作用，而在拗陷盆地的形成过程中，构造不起主要作用。鄂

鄂尔多斯盆地延长组层序的形成及展布主要受物源分布、坡折带变化以及湖平面变化的影响,在不同阶段主控因素有所不同。物源类型反映了盆地的大地构造背景,控制着盆地中沉积物的输送,湖平面升降和坡折带反映了盆地相对湖平面和可容空间的变化,它们共同影响湖盆中沉积体系域的发育程度和分布范围,控制了砂岩体在坳陷湖盆中的形成与分布。

1)物源与砂体分布

由于物源范围与湖岸线有着互为消长的关系,因此物源的范围首先控制了湖平面之上的砂体展布,即控制了沉积体系的源头,并与其他因素共同控制了湖平面之下的砂体(图6)。

延长组沉积时期研究区存在来自东北、西部、西南和东南部物源。东北物源和西南物源是研究区影响范围最大的物源,西部物源和东南物源影响范围较小。盆地延长组沉积时期主要存在七个三角洲沉积体系,其中西南三角洲与东北三角洲是最主要的三角洲沉积体系,这些沉积体系都有相对应的物源体系,例如东北部物源的母岩类型为来自阴山古陆和阿拉善古陆的酸性岩浆岩和低级变质岩;西部物源主要来自六盘山以西的花岗岩;西南及东南部物源主要为陇西古陆和秦岭—祁连古陆提供的浅海相碎屑岩及碳酸盐岩。这些盆地边缘物源与砂体分布具有直接的因果关系,它们控制了湖平面之上的砂体沉积相类型、规模及展布特征。

2)湖平面变化与砂体分布

在坳陷型盆地中,湖平面的升降对盆地内砂体的展布起到了至关重要的作用。东部缓坡带湖岸线之上发育曲流河三角洲平原、曲流河或冲积扇砂体,湖岸线之下发育曲流河三角洲前缘或三角洲滑塌浊积扇;西部及西南部陡坡带湖岸线之上发育辫状河三角洲平原、扇三角洲平原、辫状河或冲积扇砂体,湖岸线之下发育辫状河三角洲前缘、扇三角洲前缘或浊积扇(图6)。

体系域的划分与湖平面变化密切相关,延长组沉积时期上超砂体主要分布在低位体系域、湖侵体系域的湖岸线之下,湖岸线之上一般为平行岸线分布的滩坝砂体;高位体系域对应的湖岸线主要发育前积砂体,湖岸线控制了多期次叠加连片分布的滨岸席状砂。

湖平面附近的砂体分布沿湖岸线具有群带性和规模性的特点,砂体类型为滨岸席状砂体、沿岸坝及湖湾砂等。分布在滨浅湖的滩砂为砂泥岩频繁互层,粒序不明显,平行岸线分布,呈较宽的条带或席状,是分布最广泛的一种滨浅湖沉积。湖湾是一种比较特殊的滨浅湖沉积,在湖水的沿岸流、旋涡流等的影响下,储层展布非常复杂,纵向上以砂泥岩薄互层为主,平面上呈现旋涡状,表现为强烈的非均质性。沿岸坝在广湖浅水的坳陷盆地中发育,规模较大。

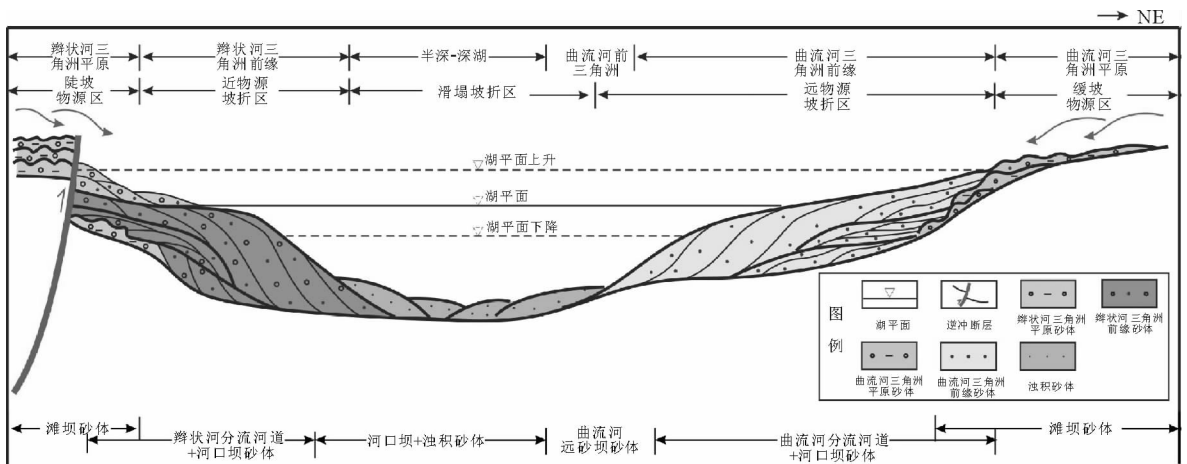


图6 鄂尔多斯盆地延长组层序内砂体主控因素

Fig. 6 The main controlling factors on the formation and distribution of sandbodies of Yanchang formation in Ordos basin

3)坡折带与砂体分布

坡折带是砂岩厚度和砂岩层数的加厚带,沿坡折带走向的碎屑体系供给部位可找到有利的储集砂体。

沉积区与物源区的消长与坡折带有密切关系,由于远离湖水的物源对盆地内部演化影响局限,盆地中坡折带发育的部位是沉积物卸载的有利场所。坡折带制约着盆地内可容纳空间的变化,当基准面从坡折带运动到坡折带以上部位时,可容纳空间陡然增大,因此坡折带附近可容纳空间对基准面的变化最敏感,从而造成不同体系域的发育。具坡折带的湖盆,低位体系域内低位扇和侵蚀谷充填发育,低位扇主要包括水下冲积扇、大型浊积扇、小型低位三角洲及低位扇三角洲等。

拗陷型盆地由于面积大,物源控制范围有限,湖平面之下砂体展布主要受控于坡折带的规模及分布。离物源较近的坡折带前积层多位于坡折线之下,砂体厚度大,沉积相变快;离物源较远的坡折带前积层多位于坡折线之上,砂体厚度小,沉积相变慢(图 6)。

6 拗陷湖盆沉积演化特征

鄂尔多斯盆地延长期湖盆演化受印支运动影响经历了初始拗陷、强烈拗陷、回返抬升和萎缩消亡的完整过程^[28],为一个由水进—水退序列构成的完整沉积旋回,具有多物源多旋回充填特征(图 7)。

SQ1、SQ2 沉积期,湖盆开始发育,面积小,水体浅,可容空间小,盆缘造山带强烈抬升,物源供给充分。盆缘造山带抬升与盆地沉降的强度成正比,盆内沉积物供给和可容空间处于增长状态,沉积物的供给远大于构造沉降所产生的可容空间,沉积充填作用强烈,河水携砂量大,沉积物供给充分,沉积速率大,层序表现为强烈的主动进积。低位体系域较为发育,处于湖盆初始发育期,湖盆中形成的坡折与沟谷相对较少,处于填平补齐阶段,沉积相以冲积扇、辫状河及辫状河三角洲为主。

SQ3、SQ4 沉积期,湖盆强烈拗陷,可容空间迅速增加,沉积物供给速率由大于到逐渐等于到小于可容纳空间增加速率,沉积环境进入弱补偿和欠补偿状态,形成以加积、退积为主的细粒砂、泥质沉积,以三角洲及湖泊沉积为主。发育巨厚的湖侵体系域,低位体系域相对不发育,高位体系域由于三角洲的建设作用开始发育。盆地地形变得复杂,坡折与沟谷开始形成。SQ3 的坡折带形成规模较大,距湖盆中心较远;SQ4 的坡折带规模更大,不断向湖盆中心推进。早期在盆地边缘形成的三角洲前缘等沉积体中未固结的沉积物在地震、重力滑动等外力诱导因素影响下,经历了再次搬运沉积,形成了广泛分布的浊积砂体。

SQ5、SQ6 沉积期,湖盆全面抬升收缩并进入萎缩消亡期,盆地地形的变化开始减弱,坡折带的发育也由鼎盛期向消亡期转变,SQ5 坡折带由远离湖盆中心,向湖盆边缘退缩,规模变小。此时物源供应充足,可容

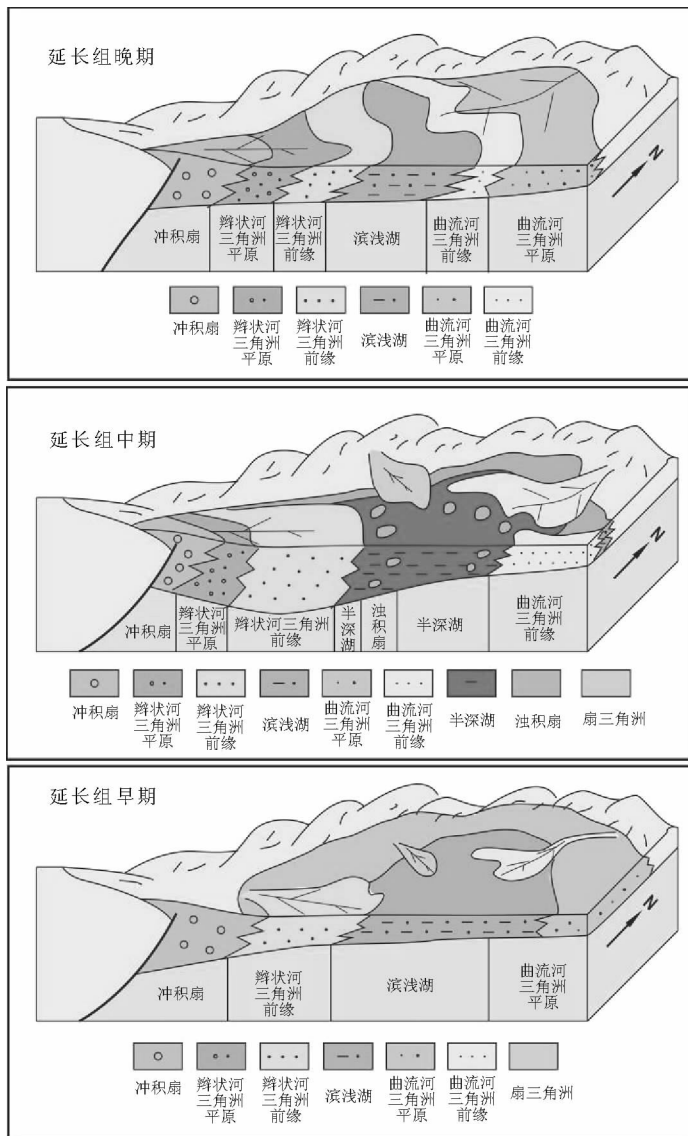


图 7 鄂尔多斯盆地延长组沉积演化图

Fig. 7 The sedimentary evolution of Yanchang formation in Ordos basin

广泛分布的浊积砂体。

空间增长速率明显小于沉积物供给速率,湖水迅速退缩变浅,形成河道向盆地方向大幅度迁移的强迫进积作用。盆地边缘及盆地内大部分地区形成了进积式浅覆水型曲流河三角洲,以低位体系域三角洲平原分流河流沉积广泛发育为特征,三角洲河口坝不发育,砂岩粒度细,泥质含量较高,泛滥沼泽和残留湖泊洼地暗色泥岩、炭质泥岩广布。

7 结论

鄂尔多斯盆地因其可利用资料和信息相对有限,对于统一的层序界面难以判识,加上砂体沉积构造类型变化较复杂和典型沉积环境指相标志较少,导致对同一地层和沉积体得出不同的认识。近年来,随着新资料和地质信息的丰富,以及全盆层序地层格架的建立,开始重新认识延长组沉积特征,逐渐消除岩石地层单元划分造成的不等时现象,揭示三角洲沉积体系的类型以及沉积相带的展布规律。然而,要正确划分沉积体系的类型,掌握砂体分布规律,有效指导油气勘探,必须结合延长组沉积时地质背景的研究,才能得到盆地内沉积体系与层序格架之间的内在联系。

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组为一个完整的弱构造活动大型开阔克拉通湖盆,湖盆发育经历了诞生、成长到消亡的过程。延长组层序整体发育稳定,单个层序厚度变化不大;坡折带只在部分层序中规模较大。低位体系域相对不发育。物源、坡折带与湖平面变化共同控制了盆地中砂体的展布特征。由于盆地范围广,物源丰富,并且延长组及其中的每个层序旋回性明显,研究区层序结构具有多物源多旋回充填特征。

参考文献:

- [1]张守信. 理论地层学与应用地层学:现代地层学概念[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [2]龚一鸣,张克信. 地层学基础与前沿[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2007.
- [3]梅冥相,马永生. 从旋回层序的特征论地层记录的两种相变面及两种穿时性[J]. 地层学杂志,2001,25(2):150-153.
MEI Mingxiang, MA Yongsheng. On two kinds of facies change surface and two kinds of diachronism in stratigraphical records according to the natures of cyclic-sequences[J]. Journal of Stratigraphy, 2001, 25(2): 150-153.
- [4]MITCHUM R M, CAMPION K M, RAHMANIAN V D, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well Logs, cores, and outcrops; Concepts for high-resolution correlation of time and facies[J]. AAPG, Methods in Exploration. 1990, 7: 1-55.
- [5]POSAMENTIER H W, ALLEN G P, JAMES D P. High resolution sequence stratigraphy-the East Coulee Delta, Alberta [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1992, 62(2): 310-317.
- [6]刘震,曾宪斌,张万选. 构造掀斜对单断湖盆湖平面变化的影响[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 64-71.
LIU Zhen, ZENG Xianbin, ZHANG Wanxuan, et al. Effect of tectonic tilt of faulted blocks on lake level change of single faulted continental basins[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 64-71.
- [7]李思田. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [8]王东坡,刘立. 大陆裂谷盆地层序学的研究[J]. 岩相古地理, 1994, 14(3): 1-9.
WANG Dongpo, LIU Li. Sequence stratigraphy in continental rift basins[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1994, 14(3): 1-9.
- [9]李祥辉,王成善. 特提斯喜马拉雅显生宙的超层序[J]. 岩相古地理, 1997, 21: 8-30.
LI Xianghui, WANG Chengshan. The super-sequence of Tethyan Himalayan in Phanerozoic[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1997, 21: 8-30.
- [10]刘震,吴因业. 层序地层框架与油气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,1999.
- [11]汪泽成,刘焕杰,张林,等. 鄂尔多斯含油气区构造层序地层研究[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(4): 432-436.
WANG Zecheng, LIU Huanjie, ZHANG Lin, et al. Analysis of tectonic sequence stratigraphy in Erdos basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(4): 432-436.
- [12]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.
- [13]邓宏文,王洪亮,翟爱军,等. 中国陆源碎屑盆地层序地层与储层展布[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 108-114.
DENG Hongwen, WANG Hongliang, ZHAI Aijun, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 108-114.
- [14]李相博,郭彦如,刘化清,等. 浅谈小波分析在鄂尔多斯盆地延长组层序地层划分中的应用[J]. 天然气地球科学, 2006, 17

(6):779-782.

LI Xiangbo, GUO Yanru, LIU Huaqing, et al. The application of wavelet analysis in sequence stratigraphic subdivision of the Yanchang formation, Ordos basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(6):779-782.

[15] 李克勤. 中国石油地质志[M]. 北京:石油工业出版社, 1992.

[16] 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.

[17] 王鸿祯, 史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别[J]. *现代地质*, 1998, 12(1):1-16.

WANG Hongzhen, SHI Xiaoying. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles a discussion on the mechanism of sedimentary cycles[J]. *Geoscience*, 1998, 12(1):1-16.

[18] 袁新涛, 沈平平. 高分辨率层序框架内小层综合对比方法[J]. *石油学报*, 2007, 28(6):87-91.

YUAN Xintao, SHEN Pingping. Continental strata correlation of high-resolution sequence in reservoir development phase [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(6):87-91.

[19] 霍春亮, 古莉, 赵春明, 等. 基于地震、测井和地质综合一体化的储层精细建模[J]. *石油学报*, 2007, 28(6):66-71.

HUO Chunliang, GU Li, ZHAO Chunming, et al. Integrated reservoir geological modeling based on seismic, log and geological data[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(6):66-71.

[20] 李凤杰, 王多云. 坳陷湖盆三角洲前缘沉积微相构成及其分带性:以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组为例[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(6):775-788.

LI Fengjie, WANG Duoyun. The microfacies architecture and zoning of delta front in depressed-type lacustrine basin: Taking the Yanchang formation of Triassic in Ordos basin as an example[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(6):775-788.

[21] 郑希民, 郭彦如, 刘化清, 等. 应用自然伽玛测井曲线小波分析划分陆相坳陷盆地三级层序的方法:以鄂尔多斯盆地延长组为例[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(5):672-676.

ZHENG Ximin, GUO Yanru, LIU Huaqing, et al. The method of division third-degree succession of strata by gamma ray logging wavelet analysis in stationary continental facies depression basin: Taking Yanchang formation of Ordos basin as an example[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(5):672-676.

[22] 杨友运. 鄂尔多斯盆地南部延长组沉积体系和层序特征[J]. *地质通报*, 2005, 24(4):369-372.

YANG Youyun. Characteristics of the depositional systems and sequence evolution of the Yanchang formation in the southern Ordos basin[J]. *Regional Geology of China*, 2005, 24(4):369-372.

[23] 谢渊, 王剑, 刘家铎, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组湖盆致密砂岩储层层序地层与油气勘探[M]. 北京:地质出版社, 2004.

[24] 杨雷, 梅志超, 熊伟. 陕北地区延长组层序地层划分与含油性[J]. *古地理学报*, 2001, 3(3):83-88.

YANG Lei, MEI Zhichao, XIONG Wei. Stratigraphic sequence and petroliferous characters of Yanchang group in north Shaanxi province[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001, 3(3):83-88.

[25] 赵红格, 刘池洋, 翁望飞, 等. 新近纪鄂尔多斯盆地东西部的构造反转及其意义[J]. *石油学报*, 2007, 28(6):6-11.

ZHAO Hongge, LIU Chiyang, WENG Wangfei, et al. Structural reverse and its significance to oil and gas in the east and west parts of Ordos basin in the Neogene[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(6):6-11.

[26] 罗静兰, KETZER J M, 李文厚, 等. 延长油田侏罗系—上三叠统层序地层与生储盖组合[J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(4):337-401.

[27] 牛嘉玉, 冯有良, 鲁卫华, 等. 中国东部陆相湖盆层序类型与岩性圈闭发育特征[J]. *石油学报*, 2006, 27(4):18-22.

NIU Jiayu, FENG Youliang, LU Weihua, et al. Sequence type and lithologic trap distribution in lacustrine basin of east China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(4):18-22.

[28] 王峰, 田景春, 范立勇, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积充填演化及其对印支构造运动的响应[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(6):882-889.

WANG Feng, TIAN Jingchun, FAN Liyong, et al. Evolution of sedimentary fillings in triassic Yanchang formation and its response to Indosinian movement in Ordos basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(6):882-889.