

文章编号: 0253-9985(2006)04-0563-08

鄂尔多斯中生代陆相盆地层序地层格架 及多种能源矿产聚集

杨明慧¹, 刘池洋²

(1 中国石油大学 盆地与油藏研究中心 石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249;

2 西北大学 地质学系, 陕西 西安 791000)

摘要: 鄂尔多斯盆地上三叠统-下中侏罗统发育的大型陆相盆地层序类型包括河流层序、湖泊层序和湖泊三角洲层序等, 并构成上三叠统河流-湖泊-湖泊三角洲和下中侏罗统河流-湖泊三角洲-河流-湖泊层序序列。构造沉降的幕次、周期性控制层序的旋回性与层序内部发展的阶段性; 古气候制约烃源岩和煤层的形成与保存; 沉积物供给影响陆相盆地的可容纳空间变化; 湖平面变化受构造、物源及古气候变化的综合影响, 是陆相盆地层序形成的主要因素。多种能源矿产聚集与层序地层格架有关。低位体系域发育良好的储层, 形成延长组三角洲砂体和延安组河道砂体的地层-岩性油气藏; 湖进体系域的密集段是最佳的烃源岩和盖层, 延安组煤层发育在湖进体系域晚期的废弃三角洲平原之上。除了高位体系域外, 直罗组低位体系域的下切谷和辫状河道砂体也是层间氧化带砂岩型铀矿的重要成矿层位。

关键词: 陆相盆地层序; 层序地层格架; 能源矿产; 中生代; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: 111.2 文献标识码: A

Sequence stratigraphic framework and its control on accumulation of various energy resources in the Mesozoic continental basins in Ordos

Yang Minghui¹, Liu Chiyang²

(1 Basin & Reservoir Research Center, Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education • China
University of Petroleum, Beijing 102249 2 Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract The types of sequences developed in the Upper Triassic and Lower Middle Jurassic in Ordos basin include fluvial sequence, lacustrine sequence, and lake delta sequence, and they constitute two serial sequences namely the fluvial-lacustrine-lake-delta sequences in the Upper Triassic and the fluvial-lake-delta-fluvial-lacustrine sequences in the Lower Middle Jurassic. The episodes and cyclicity of tectonic subsidence controlled the cyclicity of the sequence and the stage of sequence development; paleoclimate controlled the formation and preservation of the source rocks and coalbeds; sediment supply influenced the accommodation space of the basin; and the change of lake level was caused by the combined forces of tectonics, source and paleoclimate. These are the main factors leading to the formation of sequences in continental basins. The accumulation of various energy resources might be related with the sequence stratigraphic framework. The well-developed reservoirs in lowstand system tract formed stratigraphic-lithological traps in the delta sand bodies in the Yanchang Formation and the channel sand bodies in the Yanan Formation. The condensed intervals of transgressive system tract are good source rocks and caps. The Yanan Formation coalbed was developed on the abandoned delta plain in the late transgressive sys-

收稿日期: 2006-02-02

第一作者简介: 杨明慧 (1963-), 男, 博士, 构造地质与石油地质

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目资助 (2003CB214600)

ten tract In addition to the highstand system tract the incised valley and braided channel sand bodies developed in the lowstand system tract of the Zhiluo Formation are also important potential target horizons for uranium deposits of interlayer oxidation zone and of sandstone-type

Key words continental basin sequence; sequence stratigraphic framework; energy resources; the Mesozoic Ordos basin

全球海平面升降是层序形成的主要驱动机制,但陆相层序与全球海平面变化之间缺乏直接联系,构造、沉积物供给、古气候以及与之有关的湖平面、基准面变化成为主要的影响因素^[1~6]。建立陆相盆地的层序地层格架、确定沉积体系的三维配置对查明油气、煤和铀矿的聚集规律有重要意义^[7~10],多种能源矿产,主要是指赋存于沉积盆地中的石油、天然气、煤炭和铀矿等重要的不可再生能源;而多种能源矿产聚集是指石油、天然气、煤炭和铀矿在同一沉积盆地演化-改造过程中形成、聚散和成藏(矿),其成因和分布相互关联、彼此影响。中国中西部中生代塔里木、准噶尔、吐哈和鄂尔多斯等陆相盆地在盆地演化的统一动力学体制下,其多种能源矿产聚集存在一定的成因联系^[11~13]。由于中国陆相盆地具有活动性强、后期改造强烈等显著特点^[14],在探讨多种能源矿产同盆共存关系时,应当筛去后期改造的影响,再现盆地不同阶段的层序地层形成和多种能源矿产聚集的历史过程。本文主要研究鄂尔多斯盆地晚三叠-早中侏罗世陆相层序地层格架,并讨论其对多种能源矿产聚集的约束。

1 陆相盆地层序地层格架

鄂尔多斯盆地面积达 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$, 地层近于水平,是一个多种能源矿产聚集的叠合盆地。中生界可分下中三叠统、上三叠统、下中侏罗统、上侏罗统和白垩系等构造层序^[5],其中上三叠统(延长组)、下中侏罗统(富县组-安定组)构造层序均可分为 4 个层序(表 1)。

1.1 上三叠统延长组层序

延长组最大厚度超过 3 000 m。在其形成过程中,发生了多期次的湖平面变化,如长 9、长 7、长 4+5 湖进(长 7 湖进达到鼎盛)和长 8、长 6、长

3 湖退,沉积旋回清晰。该组被薄层凝灰岩或凝灰质泥岩标志层划分为长石砂岩段、油页岩段、含油砂岩段、块状砂岩段和瓦窑堡煤系等 5 个岩性段;进而按岩性、电性和含油等旋回性变化分为长 10 至长 1 等 10 个油层组^[15]。

1.1.1 延长组层序 I

由长 10-长 9 油层组构成,为湖泊初始扩张期产物。底界面位于长 10 底部,低位体系域由河流、三角洲或扇三角洲沉积构成。单个河道砂体的旋回一般不完整,顶部常冲刷缺失。长 10 顶面为初始湖进面;长 9 的李家畔页岩是最大湖进期的密集段。高位体系域由加积或进积准层序组构成。

1.1.2 延长组层序 II

由长 8-长 7 油层组构成,为湖泊鼎盛扩张期沉积。长 8 辫状河三角洲准层序组构成低位体系域,其底界对下伏长 9 湖相泥岩强烈切割,形成层序边界;顶界为延长组最重要的初始湖进面之一。该面与长 7 最大湖进期的张家滩页岩之间的退积准层序组构成湖进体系域。

长 7 油层组顶部的褐灰色油页岩为延长组主力烃源岩,暗色泥岩的厚度在镇原以西和长武以南为 60~80 m,在庆阳以东和宁县以北大于 60 m,最大达 129.5 m。

1.1.3 延长组层序 III

由长 6-长 4+5 油层组构成,为湖盆萎缩、三角洲发展期沉积。底界面之上由多期叠置的河流、三角洲体系构成低位体系域。长 6 末期,湖泊收缩到志丹一线以南;长 4+5 的滨-浅湖泥岩(细脖子段)为最大湖进期的密集段沉积。

长 6 油层组的烃源岩为半深湖相的深灰、灰色泥岩,厚 26.5~175.5 m,平均 101.6 m;在庆

表 1 鄂尔多斯盆地上三叠-下中侏罗统层序及其控制因素与多种能源矿产聚集

Table 1 The Upper Triassic and Lower-Middle Jurassic sequences and their controlling factors and the accumulation of various energy resources in Ordos basin

地层	油层组	构造层序	层序及其类型		湖平面变化	古气候变化	物源供给	沉积环境	构造作用	构造运动	母质聚集层位		
											烃源岩	煤	铀矿
安定组		II	IV	湖泊		干旱	物源来自西、北方向的甘陕以及庆西、宁陕、蒙陕古河道	滨浅湖		燕山运动 II 幕, 受太平洋构造域影响, 基底东高西低	聚煤期, 以延 6+ 7 为主	砂岩型铀矿, 以直罗组为主	
直罗组			III	河流		早期温湿, 晚期干旱		河流					
延安组	延 1		II	湖三角洲	湖退	半潮湿-潮湿-半潮湿		曲流河-冲积平原	抬升	燕山运动 I 幕, 受特提斯构造域影响, 盆地西、西南部抬升			
	延 2												
	延 3												
	延 4+ 5				湖泊淤浅、废弃				网状河-残余湖泊				稳定
	延 6												
	延 7												
	延 8				最大湖进				湖泊三角洲				沉降
	延 9												
延 10													
富县组			I	河流	早期湖退, 晚期湖进	早期湿热, 晚期干旱		冲积扇-河流侵蚀堆积	早期抬升, 晚期沉降				
延安组	长 1	I	IV	湖泊三角洲	湖进	半湿热-半干旱	西南向物源占优势, 北部物源减弱	曲流河三角洲	整体抬升	印支运动, 构造上东西分异, 古地形东北高、西南低	腐泥型烃源岩, 以长 7 为主		
	长 2				湖退								
	长 3												
	长 4+ 5		III	湖泊三角洲	湖进	湿热	主要来自北部和西南地区	三角洲平原沼泽					
	长 6				湖退			三角洲前缘	稳定				
	长 7		II	湖泊	最大湖进			深湖-半深湖	最大沉降				
	长 8							辫状河三角洲					
	长 9		I	河流	湖进			河流	初始沉降				
	长 10												

阳-宁县以西大于 80 m。夹于暗色泥岩中的油页岩厚度变化较大, 介于 0.8~4.8 m。

1.1.4 延长组层序 IV

由长 3-长 1 油层组构成, 为湖盆消亡期沉积。底界面之上的低位体系域由长 3+2 的曲流河砂坝沉积构成, 河道砂体向南推进到华池一带。砂体多期次叠置, 顶部大面积冲刷缺失。长 1 底

部的泛滥平原泥岩为最大湖进期沉积。

1.2 下侏罗统富县组层序

印支期末, 鄂尔多斯盆地整体抬升, 形成一个起伏不平的古构造剥蚀面, 部分下切谷可达延长组烃源岩段^[16]。富县组见于准格尔旗-榆林-志丹和陇县一带, 以杂色泥岩为主, 含铝土质、菱铁质鲕粒以及褐铁矿层等残积物。在盆地东北部、中

部厚度较大,如准格尔旗一带厚 156 m;西南部薄,一般 10 m 左右。富县期末的区域抬升运动使其与延安组之间出现沉积间断^[17]。

富县组层序分布面积仅占盆地面积的 1/3 左右。低位体系域为辫状河河道砂体和泛滥平原沉积,发育在盆地中部及榆林—神木一带。由河湖相沉积构成的湖进体系域充填在凹地和沟谷之中,下部含油页岩及煤线,见于府谷、神木及准格尔旗一带。

1.3 中侏罗统延安组、直罗组和安定组层序

1.3.1 延安组层序

延安组是一个顶底均为不整合面的完整三级层序,厚 120~360 m。底部的古河道网络与区域基准面的大幅度下降有关,下切深度达 100 m;顶面为暴露面,发育砂岩型高岭土矿床、硅结层等,并被直罗期下切谷切割。

延安组层序的低位体系域从延 10 至延 9 中下部,其中辫状河“宝塔砂岩”横向延续达数十千米;而南部的曲流河砂体横向连续性变差。湖进体系域由延 8—延 6 构成,在华亭一带为曲流河沉积;在盆地中部过渡为三角洲、浅湖沉积。三角洲砂体呈透镜状,厚度较薄。延安组煤层主要堆积在废弃的三角洲平原之上。高位体系域由曲流河砂体构成,分布在盆地西北部;盆地中部为残余湖泊沉积。

1.3.2 直罗组层序

直罗组层序发育在侵蚀不整合面之上。低位体系域为冲积体系沉积的七里镇砂岩;湖进体系域为湖相泥岩夹钙质结核或碳酸盐岩薄层,显示出大型内陆湖盆的沉积特征。与延安组相比,其沉积、沉降中心均向西北方向发生了偏移。

勘探表明,东胜地区的直罗组河道砂岩型铀矿化的母体为早期温湿气候条件下形成的辫状河砂体,而与晚期干热气候条件下的曲流河砂体无关。单条辫状河道宽约 3 km,长约 30 km,缺少泥岩组分,煤线、薄煤层和黄铁矿等还原性物质夹层是后期铀成矿的有利地球化学障^[18-19]。

1.3.3 安定组层序

鄂尔多斯盆地腹部的安定组为干旱的内陆滨

浅湖沉积,以泥岩、钙质粉砂岩互层为主,夹泥灰岩、白云质泥灰岩。

2 陆相盆地层序形成控制因素

陆相盆地层序及层序地层格架的形成受构造沉降、湖平面变化、古气候和沉积物供应等 4 个因素控制,其中湖平面变化是其他三大因素变化的综合表现。鄂尔多斯陆相盆地层序地层格架内的多种能源矿产聚集与上述因素间的匹配存在关系。

2.1 构造沉降控制沉积物的沉积空间

构造沉降是陆相盆地层序演化的主要因素,它直接决定盆地可容纳空间的形成与消亡;而构造的幕次、周期性控制着层序的旋回性与层序内部发展的阶段性。在陆相盆地发育初期,沉降速率与沉积速率相差无几,水体较浅,形成低位体系域;中期,构造活动逐渐增强,沉积面积扩大,沉降速率超过沉积速率,水体加深,沉积物欠饱和,岸线向盆缘迁移,形成湖进体系域;当构造活动趋于平静,沉降速率小于沉积速率,可容纳空间减少,岸线向盆地中心迁移,形成高位体系域(图 1)。

在高一级的构造旋回影响下,层序叠置具有序列性^[20]。陆相盆地早期的湖平面较低,沉积环境以冲积扇、河流或三角洲相占优,主要发育河流层序;中期湖平面升高,半深湖、深湖相沉积占据

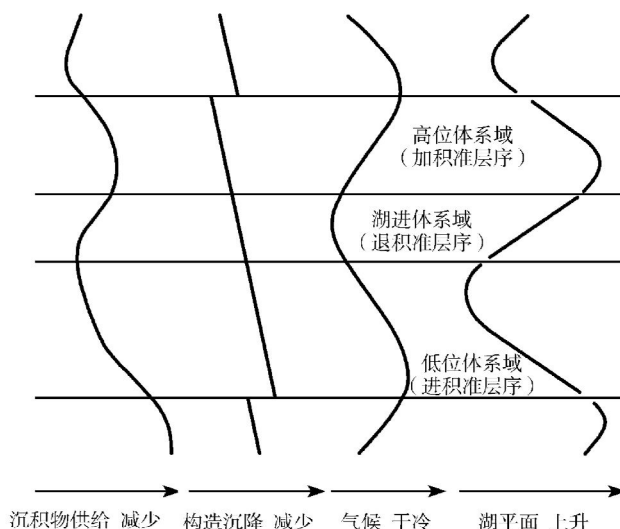


图 1 陆相盆地层序形成控制因素旋迴模式图

Fig.1 Mode chart showing the cycles of the controlling factors on the formation of sequences in continental basins

主导地位,发育湖泊层序;晚期湖平面相对下降,河流、三角洲相发育,发育湖泊三角洲层序等。鄂尔多斯盆地受中三叠世末期秦岭造山带活动影响^[21],晚三叠世陆相湖盆经历了发生、发展和消亡过程,与之对应的是在垂向上形成了河流、湖泊和湖泊三角洲层序序列。下中侏罗统构造层序可分两个演化阶段,分别形成富县-延安期河流、湖泊三角洲和直罗-安定期河流、(浅水)湖泊层序序列。

2.2 古气候控制沉积物的类型

陆相盆地层序的沉积物类型受干旱-潮湿和炎热-寒冷的周期性气候变化影响。在潮湿期,湖泊水体较深,可容纳空间大,物源区以化学风化作用为主,发育细碎屑沉积物,以加积、退积为特征;半干旱-干旱期,湖平面相对较低,湖域面积小,物源区的物理风化作用强烈,粗碎屑物质丰富,进积、加积作用显著。

古气候是烃源岩和煤层形成的前提和决定性因素。潮湿气候降雨多,陆源水系发育,水体不易蒸发;湖平面相对上升,可容纳空间增加,发育湖泊层序以及以密集段为特点的烃源岩,如长 7 期的腐泥质烃源岩。延安期古气候为温湿与干冷交替为主,并导致湖平面周期性变化。延安组煤层主要发育在气候旋回末期废弃的三角洲平原上。在干旱气候下,淡水供给不足、蒸发作用加强造成

湖水咸化、湖平面下降,易于形成河流层序。而古气候从温湿向干旱的转型期可能形成砂岩型铀矿聚集,如东胜地区直罗期铀矿。

2.3 沉积物供应控制盆地充填程度和水深变化

沉积物供给主要影响陆相盆地的可容纳空间变化。供给程度和母岩的性质决定了层序的岩石类型以及层序内部的沉积相展布与叠置样式(加积、进积或退积)。对于闭流盆地来说,沉积物淤积泄水通道,可使盆地的最低出水口高度抬升,湖平面相对上升。沉积物快速充填造成可容纳空间减小;湖平面相对下降,湖泊水体变浅。

2.4 湖平面变化控制地层和岩相分布

陆相盆地层序尤其是湖泊层序尽管受构造活动强烈、物源多、相变快、气候变化快等多种因素影响,但这些因素与湖泊水体或湖平面变化的关系是一种多元函数关系。湖平面升降变化是上述多种因素综合变化的具体实现。湖泊水体呈整体扩张或收缩(海洋水体也只是在局部地区呈单向变化),使得沉积体系环带状分布,沉积相序受控水体涨落变化。湖平面持续上升使沉积物退积,沉积物阶状后退,形成向上变细的沉积序列;反之,则水体下降,沉积相进积,沉积物向上变粗(图 2)。

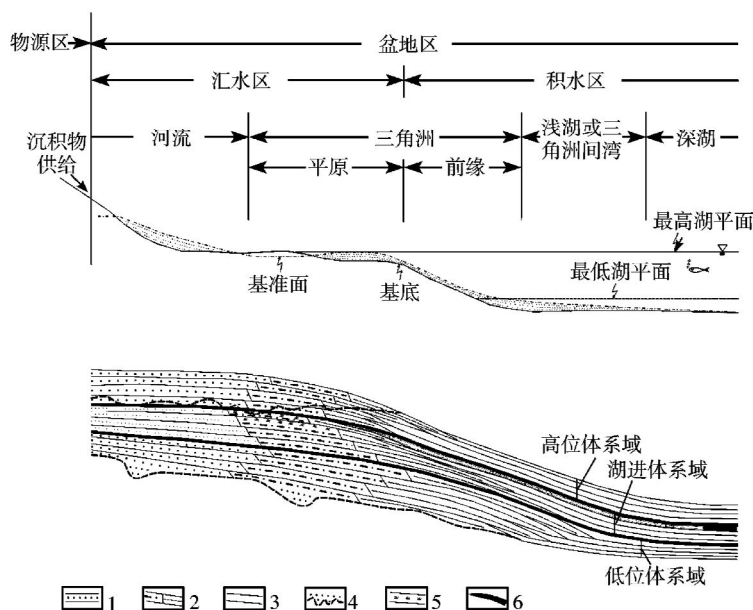


图 2 陆相盆地层序构成模式简图

Fig. 2 Sketch map showing the constituents of sequences in continental basins

1—冲积体系; 2—三角洲体系(平原、前缘); 3—湖泊体系; 4—下切谷; 5—泥炭沼泽; 6—密集段

表 2 陆相盆地层序地层格架内的多种能源矿产聚集

Table 2 Accumulation of various energy resources within sequence stratigraphic framework of continental basins

体系域	油气			煤	砂岩型铀矿
	烃源岩	储层	盖层		
高位体系域		三角洲前缘和分流河道砂体	湖泊相泥岩, 常被河道砂体切割, 侧向封闭性差		辫状河三角洲体系及扇三角洲体系
湖进体系域	密集段最佳		密集段最好	晚期废弃的三角洲平原	
低位体系域		河道砂体不连续, 漫滩砂体较广泛			靠近物源区的下切谷和扇前辫状河道砂体

3 层序地层格架内的多种能源矿产聚集

多种能源矿产聚集包括早期母质聚集(烃源岩、泥炭沼泽、原生铀)和晚期成藏成矿(油气、煤、铀)等两个方面,其聚集层位与层序地层格架内的不同体系域有关(表 2)。显然,建立陆相盆地层序地层格架对查明油气、煤和铀矿聚集规律以及资源勘探具有实践意义。

3.1 烃源岩与油气聚集

烃源岩、油气聚集与层序地层格架的关系涉及到两个方面,一是作为母质烃源岩的存在;二是烃源岩生、排烃并向圈闭运移聚集。层序地层格架约束生储盖的层位配置,如延长组层序 III、延安组层序的低位体系域发育有效储层,延长组层序 II 的密集段发育有效烃源岩或可作为良好盖层。

鄂尔多斯盆地庆阳—富县—华池—定边—环县之间的延长组烃源岩由湖进体系域半深湖、深湖相的深灰色泥岩、页岩及褐灰色油页岩组成,在纵向上位于长 7、长 6 油层组,石油资源量达 86×10^8 t。密集段沉积厚度薄但时间跨度大、补偿速率低,微体和超微体生物繁盛,有机质含量高。延长组层序 II 的密集段烃源岩(张家滩页岩)生烃后的最佳运移指向是延长组层序 III 低位体系域的砂岩储层,并由高位体系域的泛滥平原沉积构成区域盖层。长 6、长 2 油层组的生储盖组合与之类似。鄂尔多斯盆地中生界的石油聚集带围绕晚三叠世生油凹陷分布,其中北翼缓坡带的定边、吴旗、志丹、安塞和延安等延长组层序 II 低位体系域的三角洲控制延长组的湖相三角洲油藏;在印支期侵蚀面上形成的延安组层序低位体系域的下切谷河道砂体控制地层—岩性油藏。与湖进、高位体系域

中的孤立河道砂体相比,低位体系域中反复切割叠置的河道砂体储层最为重要,连续、分选性好,能够形成区域规模的储层。

3.2 泥炭沼泽与煤聚集

巨厚煤层的形成受有机质堆积速率、水深和基底沉降速率等综合制约,这些因素达到平衡的时间越长,煤层越厚^[22]。延安组煤系发育在湖进体系域向高位体系域的转折期,煤层之下为湖平面上升时的河流三角洲沉积,煤层之上则为湖平面下降时的湖泊沉积。

延安组层序湖进体系域的废弃三角洲平原是主要的聚煤环境之一。湖泊面积周期性地扩展、萎缩使得三角洲砂体在旋回末期快速淤塞湖泊,为巨厚煤层聚集提供良好的堆积场所^[5]。这种湖泊三角洲体系的发展受河流作用控制,进积速度快;分流河道频繁决口,快速迁移,导致河口砂坝异常发育,三角洲朵体交错叠置,三角洲平原分布面积广阔。研究表明,横向稳定的厚煤层主要位于进积型三角洲体系的顶部,从三角洲体系的边缘向湖泊方向,煤层厚度变薄尖灭,煤质相应变差。延安组层序累计可采煤层厚度约 25 m,储量达千亿吨。

3.3 铀聚集

层间氧化带砂岩型铀矿主要产于高位体系域以及低位体系域的下切谷、扇前辫状河砂体之中^[9]。这是因为下切谷离蚀源区较近,处于成矿有利部位;其次下切谷总体处于剥蚀暴露区,地表、地下潜水中的氧含量较高,有利于潜水氧化带发育,形成潜水氧化带砂岩型铀矿。扇前辫状河道砂体通常连通性较好,是成矿流体的运移通道与层间氧化带的有利发育部位。当砂体频繁分岔,隔挡层增多时,含矿流体的运移受阻,导致还

原物质增加,抑制层间氧化带的发育,在过渡带易于铀聚集成矿^[23]。

直罗组层序低位体系域发育的温湿气候条件下的辫状河道砂体是铀聚集的母体。受近东西向构造影响,辫状河道砂体在东胜孙家梁至皂火壕一带变细,沉积物有机质增多,形成了有效的地球化学障。值得注意的是,杭锦旗至东胜一带是鄂尔多斯盆地古生界天然气运移的指向区^[24],油气渗出和含氧、含铀水渗入的交汇部位是铀聚集的有利成矿区。据钻孔验证和带钻区调研究,该层间氧化带前锋线的含矿性良好,已有13个钻孔见工业矿化,最大平米铀含量10.67 kg控制铀资源量超过 $6\,000 \times 10^4 \text{ t}^{[18]}$ 。主成矿期从中侏罗世直到更新世末,已经持续了115~135 Ma。

参 考 文 献

- 1 Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning rationale for stratigraphic model evaluation and high-resolution stratigraphic correlation [A]. In Gradstein F M, Sandvik K O, Milton N J eds. Sequence stratigraphy concepts and applications [C]. SPE Special Publication, 1998, 8: 171–195
- 2 Wright V P, Marriott S B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems—the role of flood plain sediment storage [J]. Sedimentary Geology, 1993, 86(3–4): 203–210
- 3 Shanley K W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG Bull, 1994, 78(4): 544–568
- 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
Gu Jiayu. Framework concepts and models of sequence stratigraphy in nonmarine petroliferous basin [J]. Petroleum Exploration & Development, 1995, 22(4): 6–10
- 5 李思田, 林畅松, 解习农, 等. 大型陆相盆地层序地层学研究——以鄂尔多斯中生代盆地为例 [J]. 地质前缘, 1995, 2(3–4): 133–136, 148
Li Sitian, Lin Changsong, Xie Xinong et al. Approaches of nonmarine sequence stratigraphy—a case study on the Mesozoic Ordos basin [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3–4): 133–136, 148
- 6 Olsen T, Steel R, Høegseth K, et al. Sequential architecture in a fluvial succession—sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous Mesaverde Group, Price Canyon, Utah [J]. Journal of Sedimentary Research, 1995, B65(2): 265–280
- 7 刘池洋, 谭成仟, 孙卫, 等. 多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律研究 [A]. 见: 刘池洋. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展 [C]. 北京: 科学出版社, 2005: 1–16
Liu Chiyang, Tan Chengqian, Sun Wei et al. The formation mechanism, accumulation and distribution patterns for multi-energy mineral deposits coexisting in the same basin [A]. In Liu Chiyang ed. Advances in the accumulation and formation for multi-energy mineral deposits coexisting in the same basin [C]. Beijing: Science Press, 2005: 1–16
- 8 王双明, 张玉平. 鄂尔多斯侏罗纪形成演化和聚煤规律 [J]. 地质前缘, 1999, 6(增): 147–155
Wang Shuangming, Zhang Yuping. Study on the formation, evolution and coal accumulating regularity of the Jurassic Ordos basin [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(S0): 147–155
- 9 李胜祥, 陈肇博, 陈祖伊, 等. 层序地层学在陆相沉积盆地内砂岩型铀矿找矿中的应用前景 [J]. 铀矿地质, 2001, 17(4): 204–208, 215
Li Shengxiang, Chen Zhaobq, Chen Zuyi et al. Application potential of sequence stratigraphy to prospecting for sandstone-type uranium deposit in continental depositional basins [J]. Uranium Geology, 2001, 17(4): 204–208, 215
- 10 刘和甫, 李小军, 刘立群. 地球动力学与盆地层序及油气系统分析 [J]. 现代地质, 2003, 17(1): 80–86
Liu Hefu, Li Xiaojun, Liu Liqun. Integrated analysis of geodynamic scenarios, basin sequences and petroleum system [J]. Geoscience, 2003, 17(1): 80–86
- 11 李怀渊, 张守鹏, 李海明. 铀–油相伴性探讨 [J]. 地质论评, 2000, 46(4): 355–361
Li Huaiyuan, Zhang Shoupeng, Li Haiming. Study of the relationship between uranium mineralization and oil accumulation [J]. Geological Review, 2000, 46(4): 355–361
- 12 魏永佩, 王毅. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 385–392
Wei Yongpei, Wang Yi. Comparison of enrichment patterns of various energy resources in Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 385–392
- 13 杨建业. “多能源同盆共存”中铀的煤地球化学研究现状及思路 [J]. 煤炭学报, 2005, 30(6): 720–725
Yang Jianye. Advance and research ideas of the uranium–coal geochemistry of the multi-energy resource minerals in one basin [J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(6): 720–725
- 14 刘池洋. 后期改造强烈——中国沉积盆地的重要特点之一 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 255–261
Liu Chiyang. Strong late-reformation—one of the important characteristics of sedimentary basins in China [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(4): 255–261
- 15 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 sand bodies in the Upper Triassic Yan-chang Formation of northern Shaanxi [J]. Oil & Gas Geology, 1988, 9(3): 261–267
- 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
Yang Junjie. Structural evolution and distribution pattern of hydrocarbon in Ordos basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002

- 17 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
He Zixin. The evolution of Ordos basin and its oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003
- 18 陈法正. 鄂尔多斯盆地北部水文地质条件与铀成矿前景分析 [J]. 铀矿地质, 2002, 18(5): 287~294
Chen Fazheng. Analysis on paleohydrogeologic conditions and prospects of uranium metallogenesis in northern part of Ordos basin [J]. Uranium Geology, 2002, 18(5): 287~294
- 19 吴仁贵, 陈安平, 金达淦, 等. 沉积体系分析与河道砂岩型铀矿成矿条件讨论——以鄂尔多斯中生代盆地东胜地区为例 [J]. 铀矿地质, 2003, 19(2): 94~99
Wu Rengui, Chen Anping, Yu Dagan, et al. Analysis on depositional system and discussion on ore formation conditions of channel sandstone type uranium deposit taking Dongsheng area, Ordos Mesozoic-Cenozoic basin as an example [J]. Uranium Geology, 2003, 19(2): 94~99
- 20 杨明慧, 刘池阳. 陆相伸展盆地的层序类型、结构和序列与充填模式——以冀中坳陷下第三系为例 [J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 222~228
Yang Minghui, Liu Chiayang. Types, textures and series of the continental sequences and model of sedimentary basin-fill in rift basin: a case study from Jizhong basin, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 222~228
- 21 赵重远, 刘池洋. 华北克拉通中生代区域地质构造及含油气盆地的形成和演化 [A]. 见: 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 [C]. 西安: 西北大学出版社, 1990, 10~21
Zhao Chongyuan, Liu Chiayang. Mesozoic-Cenozoic regional geological structure in the North China Craton and the formation and evolution of its petroliferous basins [A]. In: Zhao Chongyuan, Liu Chiayang, eds. Formation and evolution of North China craton sedimentary basin and its hydrocarbon occurrence [C]. Xi'an: Northwest University Press, 1990, 10~21
- 22 庄军. 鄂尔多斯盆地南部延安期成煤环境 [J]. 中国煤田地质, 1995, 7(2): 31~35
Zhuang Jun. Coal formation environment in Yan'an Period in the Southern Ordos basin [J]. Coal Geology of China, 1995, 7(2): 31~35
- 23 焦养泉, 陈安平, 杨琴, 等. 砂体非均质性是铀成矿的关键因素之一——鄂尔多斯盆地东北部铀成矿规律探讨 [J]. 铀矿地质, 2005, 21(1): 8~15
Jiao Yangquan, Chen Anping, Yang Qin, et al. Sand body heterogeneity: one of the key factors of uranium metallogenesis in Ordos basin [J]. Uranium Geology, 2005, 21(1): 8~15
- 24 施继锡, 余孝颖. 深盆地地质特征与研究意义——以鄂尔多斯盆地为例 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(3): 171~173
Shi Jixi, Yu Xiaoyin. Geological characteristics of deep basin gas traps and their research significance: Ordos basin as example [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(3): 171~173

(编辑 高 岩)

(上接第 562 页)

- 7 李明诚, 单秀芹, 马成华, 等. 油气成藏期探讨 [J]. 新疆石油地质, 2005, 26(5): 587~591
Li Mingcheng, Shan Xiuqin, Ma Chenghua, et al. An approach to hydrocarbon accumulation period [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(5): 587~591
- 8 蒋有录, 刘华, 张乐, 等. 东营凹陷成藏期分析 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 215~218, 259
Jiang Youlu, Liu Hua, Zhang Yue, et al. Analysis of petroleum accumulation phase in Dongying sag [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 215~218, 259
- 9 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体 [M]. 北京: 科学出版社, 2004, 374~377
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. Liquid including [M]. Beijing: Science Press, 2004, 374~377
- 10 李艳霞, 刘洪军, 袁东山, 等. 石油充注对储层成岩矿物演化的影响 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 274~280, 295
Li Yanxia, Liu Hongjun, Yuan Dongshan, et al. Effect of oil charging on reservoirs diagenetic mineral evolution [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 274~280, 295
- 11 武明辉, 张刘平, 罗晓容, 等. 西峰油田延长组长 8 段储层流体作用期次分析 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 33~36
Wu Minghui, Zhang Luping, Luo Xiaorong, et al. Analysis of hydrocarbon migration stages in the 8th member of Yanchang Fm in Xifeng oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 33~36
- 12 George S C, Lisk M, Summons R E, et al. Constraining the oil charge history of the South Pepper oilfield from the analysis of oil-bearing fluid inclusions [J]. Organic Geochemistry, 1998, 2(9): 631~648
- 13 关德师, 王兆云, 秦勇, 等. 二次生烃迟滞性定量评价方法及其在渤海湾盆地中的应用 [J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 533~538
Guan Deshi, Wang Zhaoyun, Qin Yong, et al. Quantitative evaluation method of secondary generation and its application in Bohai Bay basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 533~538
- 14 张有生, 秦勇, 刘焕杰, 等. 沉积有机质二次生烃热模拟实验研究 [J]. 地球化学, 2005, 31(3): 273~282
Zhang Yousheng, Qin Yong, Liu Huanjie, et al. Investigation of hydrocarbon regeneration from sedimentary organic matters by pyrolytic simulation [J]. Geochemistry, 2005, 31(3): 273~282
- 15 秦勇, 朱炎铭. 沉积有机质二次生烃理论及其应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2001: 13~69
Qin Yong, Zhu Yanming. Theory on hydrocarbon regeneration of sedimentary organic matters and its application [M]. Beijing: Geology Press, 2001: 13~69

(编辑 陈喜禄)