

doi:10.3799/dqkx.2013.075

陆内克拉通盆地“溯源退积”层序构型构建： 以鄂尔多斯盆地山西组为例

朱红涛^{1,2}, 刘依梦¹, Liu Keyu³, 刘强虎^{1,2}

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

3. CSIRO Earth Science and Resource Engineering, P. O. Box 1130, Bentley, W. A. 6102, Australia

摘要: 陆内克拉通盆地是我国重要的含油气盆地类型之一, 其层序地层学研究相对薄弱. 以我国典型的陆内克拉通盆地—鄂尔多斯盆地山西组的层序地层学研究为例, 提出陆内克拉通盆地长期持续退积、短期进积“溯源退积”层序构型的模式. 其涵义是指陆内克拉通盆地所形成的三级层序的层序构型均以 LST 为主, TST 和 HST 相对不发育, 对应的基准面旋回具有长期持续退积(水进)、短期进积(水退)旋回特征; 不同级别层序地层格架控制下的砂体, 自下而上(从老到新), 具有向北部物源区依次退积叠置的“溯源退积”特征.

关键词: 层序地层学; 陆内克拉通盆地; 鄂尔多斯盆地; 层序构型; 溯源退积; 石油地质.

中图分类号: P539.2

文章编号: 1000-2383(2013)04-0776-07

收稿日期: 2013-01-10

Source-Ward Retro-Gradational Stacking Patterns of Sequence Stratigraphic Architectures of Intra-Cratonic Basin: One Example from Shanxi Formation of Ordos Basin, China

ZHU Hong-tao^{1,2}, LIU Yi-meng¹, LIU Keyu³, LIU Qiang-hu^{1,2}

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. CSIRO Earth Science and Resource Engineering, P. O. Box 1130, Bentley, W. A. 6102, Australia

Abstract: Intra-cratonic basins are the important hydrocarbon-bearing basins in China. However, the previous research of sequence stratigraphy is insufficient to intra-cratonic basin. Based on the sequence stratigraphic research of Shanxi Formation of Ordos basin, one typical intra-cratonic basins of China, the authors develop the source-ward retro-gradational stacking patterns with long-term retrogradation and short-term progradation. The model indicates that (1) sequence stratigraphic architecture of third-order sequence within intra-cratonic basins mainly consists of lowstand systems tract (LST), and lack of transgressive systems tract (TST) and highstand systems tract(HST); (2) the third-order base level cycle has the characteristics of long term transgression and short term regression; (3) the sand-bodies controlled by various order sequence stratigraphic framework show the model of source-ward retro-gradational stacking patterns from base to top.

Key words: sequence stratigraphy; intra-cratonic basin; Ordos basin; sequence stratigraphic architecture; source-ward retro-gradational stacking patterns; petroleum geology.

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40702024); 霍英东教育基金会资助项目(No. 132020); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No. CUGL100412).

作者简介: 朱红涛(1976—), 男, 副教授, 博士后, 主要从事层序地层学、地震沉积学与地震资料综合解释的教学与科研工作.

E-mail: zhuht_oscar@yahoo.com.cn

目前,国内外的层序地层学研究主要集中在断陷湖盆、具有地形坡折带的拗陷湖盆、前陆盆地(解习农和李思田,1993;解习农等,1996;李思田等,2002;冯有良等,2004;Escalona and Mann,2006),并且断陷湖盆的层序地层学研究较为成熟(纪友亮,1996).对于陆内克拉通盆地的层序地层学研究,一般都将其归入拗陷盆地的研究范畴.尽管前人对克拉通盆地开展了相应的研究(Cross,1988;Fairbridge,1988;Weimer,1992;何登发等,1996;Burgess *et al.*,1997;周雁等,2004;梁西文等,2006;梁积伟等,2007;朱红涛等,2007,2010;Zhu *et al.*,2008;Hoffmann *et al.*,2009;Kanygin *et al.*,2010;McLaughlin *et al.*,2010;Petty,2010),但是,相对于其他类型的陆相盆地而言,专门对克拉通盆地开展的层序地层学研究工作明显投入不足,尚未建立其层序地层模式,有待于进一步加强层序地层学研究.朱红涛等(2010)根据中-澳典型克拉通盆地的层序充填序列的对比,初步提出克拉通盆地“溯源退积”模式,并对其控制因素进行探讨.本文通过对鄂尔多斯盆地东北部山西组层序地层学研究,进一步完善该模式,提出克拉通盆地层序长期持续退积、短期进积的“溯源退积”模式.

1 陆内克拉通盆地独特的充填特征

陆内克拉通盆地是我国重要的含油气盆地类型之一,目前已在塔里木、四川和鄂尔多斯等盆地中找到了丰富的天然气资源,仅大中型气田就已找到10余个,充分展示了我国克拉通盆地天然气勘探的前景.

陆内克拉通盆地具有:(1)长期继承性升降运动控制沉积盆地构造古地理面貌;(2)继承性的沉积体系和单一的沉积中心;(3)地形平缓,沉积相带宽;(4)沉积物厚度较薄,厚度梯度和沉积速率较小;(5)封闭的沉积环境等典型地质特征(薛叔浩等,2002).与海相内克拉通盆地不同,陆相内克拉通盆地具有封闭、有限的可容纳空间、极平缓的斜坡带等特征,造就其独特的“盆地充填”特征:(1)对于其封闭、有限的可容纳空间特征,随着盆地的充填、演化,其潜在、有限的可容纳空间逐渐减小,直至盆地消亡(其潜在的可容纳空间可以由水下可容纳空间和水上可容纳空间两部分组成,其中水下可容纳空间又由沉积物已充填的空容纳空间和未充填的可容纳空间组成);(2)由于其地形平缓特征,小规模的湖平面上

升,就可以形成宽广的水陆过渡带;(3)陆相内克拉通盆地水体独立于海洋之外,不同的陆相内克拉通盆地之间没有完全统一的湖平面变化,相互之间不存在必然的联系,全球海平面变化规律与湖盆水平面变化规律不存在可对比性,同样,水体不连通的湖盆之间都不能进行湖平面升降曲线对比.

Catuneanu(2006)指出层序地层学研究最大危险在于照搬模式的教条主义,陆内克拉通盆地具有独特的地质特征,其层序构型也必然有其独特性,不能简单照搬其他类型盆地的研究成果.

2 我国典型陆内克拉通盆地鄂尔多斯盆地“溯源退积”层序构型

鄂尔多斯盆地是我国陆内克拉通盆地的典型代表,也是我国第二大沉积盆地,油气资源丰富,勘探领域广阔,是我国重要的油气资源接替区,其天然气资源量为 $8.3894 \times 10^{12} \text{ m}^3$;同时,该盆地处于“西气东输”工程的枢纽位置,具备地理位置上的优越性.明确该盆地的层序地层格架、充填、空间配置特征,对阐明该类盆地地层格架和沉积相配置样式、有效预测砂体和隐蔽油气藏的分布具有重要实际意义,尤其是对天然气勘探具有重要的战略意义.研究区位于鄂尔多斯盆地的东北部(图1),目的层位为

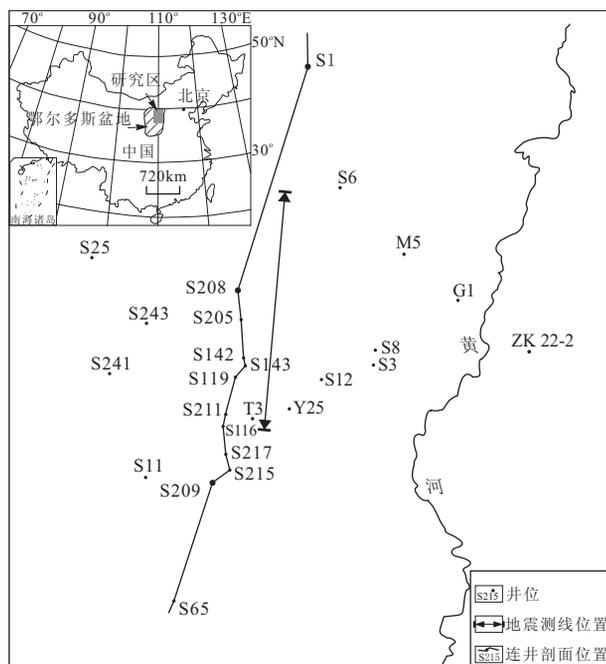


图1 研究区鄂尔多斯盆地东北部位置

Fig. 1 Map of northeastern part of the Ordos basin

山西组山 2 段.

2.1 典型单井层序指示的“溯源退积”层序构型

从研究区的沉积—层序的综合柱状图及典型单井的层序地层学分析,可以看出山 2 段具有溯源退积的特征.图 3a 为研究区山 2 段层序综合柱状图,山 2 段自下而上可以划分出 SQ1、SQ2、SQ3 三个三级层序. SQ1-SQ3 层序均为以发育 LST 为主, TST 和 LST 相对不发育,基准面旋回为上升半旋回为主的不对称旋回.层序底界面为一套底砾岩形成的强侵蚀突变接触面,岩性组合具有典型的正粒序特征,岩性序列为底部具较大型交错层理的中粗粒、粗粒石英砂岩和岩屑石英砂岩(局部含砾),向上变为小型槽状、板状交错层理的中厚层中砂岩—细砂岩,顶部则为泥质粉细砂岩、深灰色泥岩、煤层、碳质泥岩等细粒沉积物.自下而上 SQ1-SQ3 层序含砂率逐渐

减小, SQ1 层序含砂率高于 80%, SQ2 层序含砂率可达 70%, SQ3 层序含砂率则小于 50%.

通过研究区 200 多口钻井的层序地层分析,发现研究区北部的单井仅仅发育 SQ3 层序(缺失下部的 SQ1、SQ2 层序),中部的单井发育 SQ2、SQ3 层序(缺失底部的 SQ1 层序),南部的单井则发育完整的 SQ1-SQ3 层序沉积序列.图 3b~3d 分别为研究区北部的 S1 井、中部的 S208 井(层序二分典型井)、南部的 S209 井(层序三分典型井).通过图 3b~3d 的 SQ1-SQ3 层序对比,层序具有以下特点:(1)层序底界面为一套底砾岩、粗砂岩形成的强侵蚀突变接触面,岩性组合具有典型的正粒序特征;(2)层序主要以 LST 为主, TST 和 HST 相对不发育;(3)基准面旋回为上升半旋回为主的不对称旋回,具有长期持续水进、短期水退旋回特征;(4)在低可容空间条

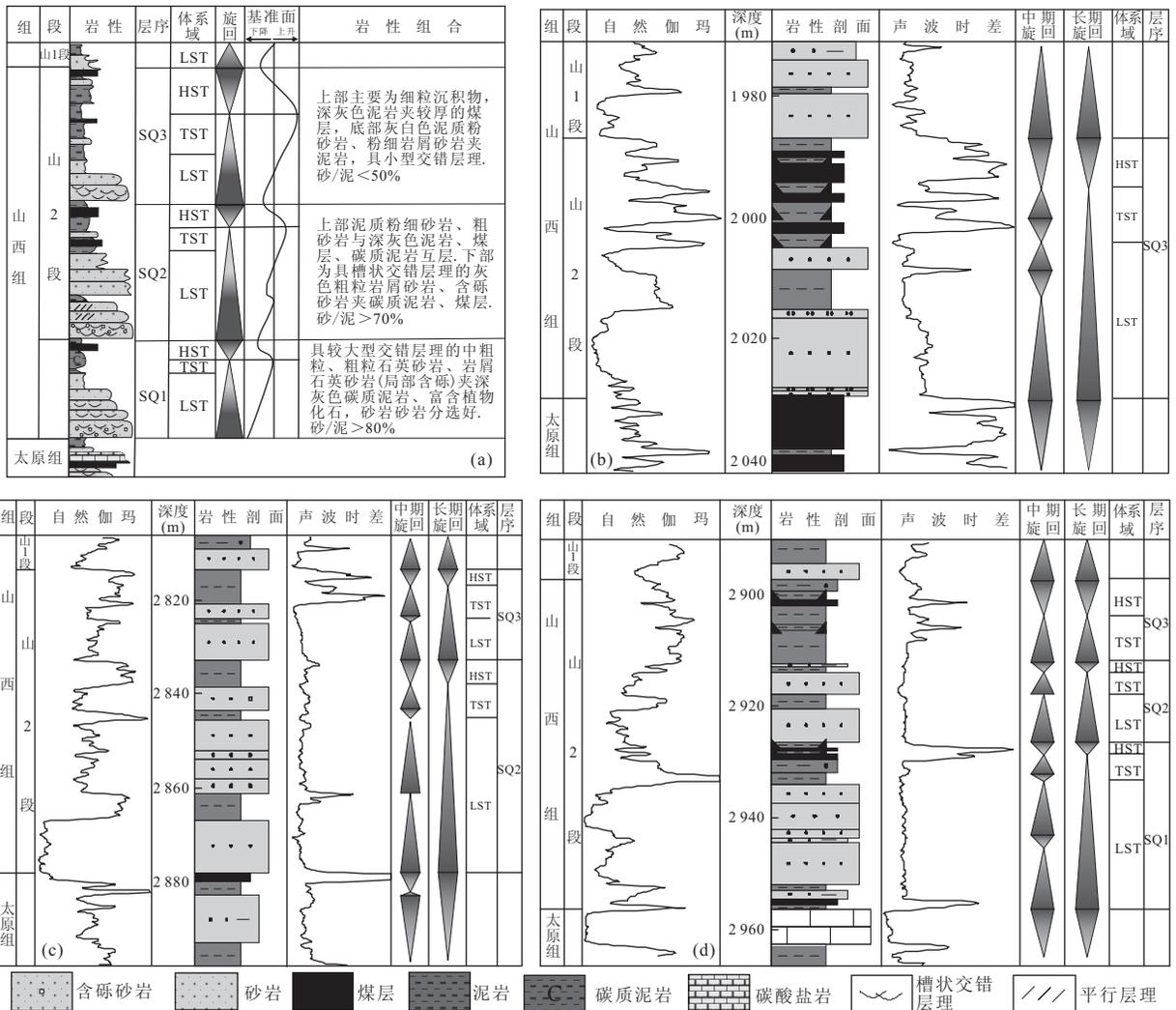


图 2 山 2 段 SQ1-SQ3 层序沉积—层序充填模式图(a)和典型单井层序划分图(b. S1 井, c. S208 井, d. S209 井)(井位位置见图 1)
Fig. 2 Generalised stratigraphic column of the sequences SQ1-SQ3, Member 2 of Permian Shanxi Formation, and sequence stratigraphic division of typical wells. See Fig. 1 for the location of wells

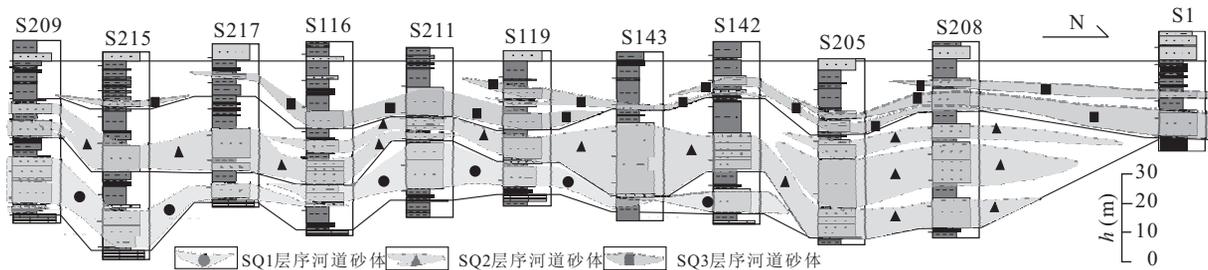


图 3 S209-S1 井南北向层序地层连井及砂体指示的“溯源退积”层序构型

Fig. 3 Sequence stratigraphic correlation section and reservoir sand-body distribution from Well S209 to S1 of the member 2 of the Shanxi Formation along the N-S direction, showing source-ward retro-gradational stacking patterns of sequence stratigraphic architecture. See Fig. 1 for the location of the cross-section

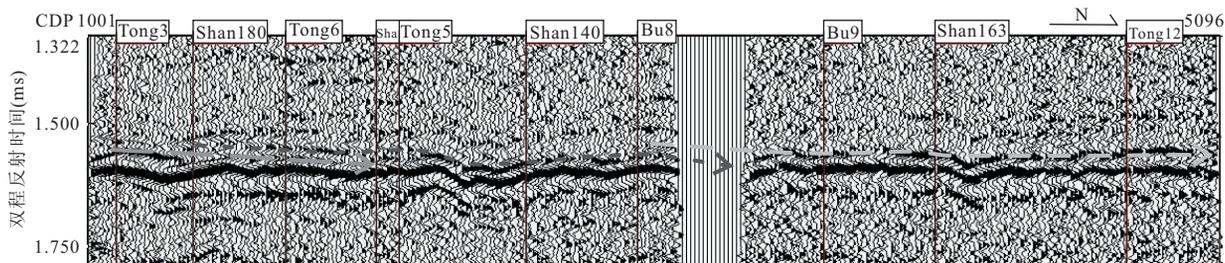


图 4 过井地震剖面指示的 SQ1-SQ3 层序的“溯源退积”层序构型

Fig. 4 Seismic cross-section (S-N direction) of the sequences SQ1-SQ3, showing source-ward retro-gradational stacking patterns of sequence stratigraphic architecture. See Fig. 1 for the location of the cross-section

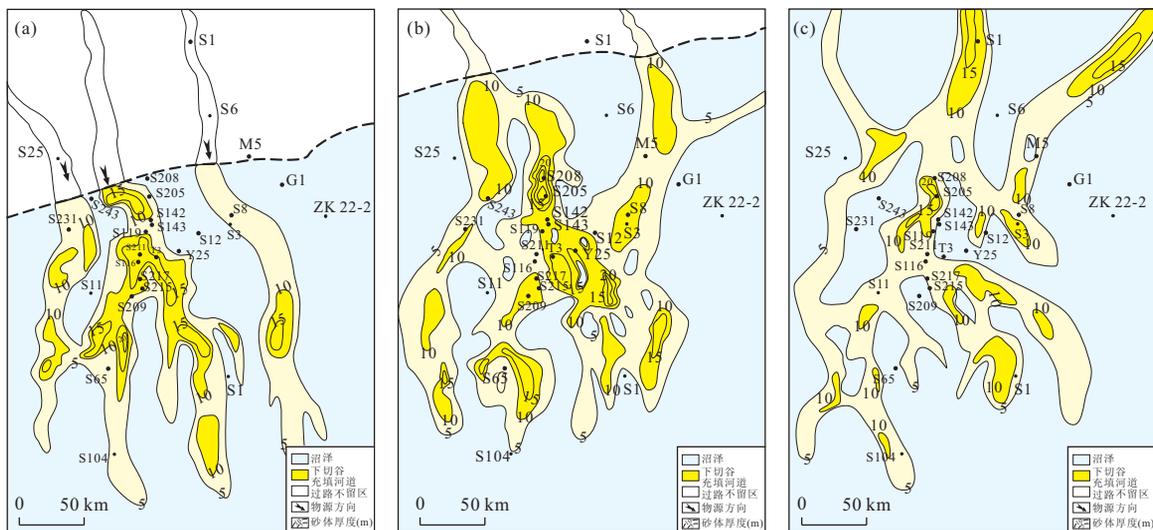


图 5 SQ1-SQ3 层序的沉积范围及沉积相指示的“溯源退积”层序构型

Fig. 5 Depositional range and sedimentary facies of the sequences SQ1-SQ3, showing source-ward retro-gradational stacking patterns of sequence stratigraphic architecture

a. SQ1 层序; b. SQ2 层序; c. SQ3 层序

件下(对应三级层序的 LST)砂体发育,砂体的叠置现象明显,TST、HST 多为泥岩背景中发育的孤立型砂体;(5)自下而上 SQ1-SQ3 层序,层序的含砂率逐渐减低.

2.2 连井剖面指示的“溯源退积”层序构型

山西组山 2 段的 SQ1、SQ2、SQ3 三期层序,自下而上具有自南向北溯源退积特征(图 3),其中, SQ1 层序尖灭于 S205 井, SQ2 层序继续向北退积,

尖灭于 S1 井. SQ1-SQ3 三期层序控制下的三期砂层组具有依次自南向北溯源退积的空间展布特点, 并且层序控制下的每个砂层组内部的单砂层也表现出自南向北溯源退积的空间展布特点(图 3). 因此, 鄂尔多斯盆地南北向连井剖面指示层序及其控制下的砂层组、单砂层均具有向北部物源区“溯源退积”特点.

2.3 过井地震剖面指示的“溯源退积”层序构型

通过分析与图 2 中连井剖面附近的南北向地震剖面的反射特征, 同样可以看出同相轴自北向南依次溯源退积特征(图 4). 这些依次退积的同相轴分别对应于 SQ1-SQ3 三期层序, 其中, SQ1 层序尖灭于 Tong5 井附近, SQ2 层序尖灭于地震剖面上的空白带, 剖面上未见 SQ3 层序的尖灭点.

2.4 平面沉积相图指示的“溯源退积”层序构型

从山西组山 2 段 SQ1-SQ3 层序的沉积范围和沉积相图, 可以看出层序自南向北“溯源退积”分布特征(图 5). 图 5 中 SQ1-SQ3 层序地层厚度的分布范围的尖灭线依次向北部物源区迁移, 其中, SQ1 层序的沉积范围在 S243-S208-M5 井一线附近尖灭, 发育南北向的多条水系, 这些水系多次出现分叉、汇合等现象, 在近物源、河道交汇处堆积砂体厚度较大, 远离物源区, 砂体厚度逐渐减薄(图 5a); SQ2 层序的沉积范围及其沉积砂体退积到 S1 井南侧尖灭, 南北向发育的多条水系多次出现分叉、汇合等现象(图 5b); SQ3 层序未见到尖灭线, 推测其尖灭线继续向北迁移超出研究区的范围.

3 陆内克拉通盆地“溯源退积”层序构型涵义

层序构型是指三级层序地层单元的不同体系域时间—空间组成配置关系, 其类型可分为 L 型、T 型、TH 型、H 型(E-H 型和 L-H 型)4 种, 其中: L 型层序主要为富砂层序, 储层相对发育; T 型层序为富泥层序, 烃源岩最为发育; TH 型层序为富泥层序, 烃源岩相对发育; E-H 型层序为富泥层序, 烃源岩相对发育; L-H 型层序主要为富砂层序, 储层相对发育(朱红涛等, 2012).

对于碳酸盐岩型(周雁等, 2004; 梁西文等, 2006; Kanygin *et al.*, 2010)、碳酸盐岩—碎屑岩混合型(McLaughlin *et al.*, 2010)、碳酸盐岩—蒸发岩混合型(Petty, 2010)3 种海相克拉通盆地地层建

立退积—进积对称的 TH 型(发育 TST 和 HST 为主, LST 不发育)和进积的 H 型(发育 HST 为主, TST 相对发育, LST 不发育).

对于碎屑岩型克拉通盆地层序研究, Fairbridge (1988) 指出克拉通地层结构就是水进和水退周期性交替为演化特征, 水进旋回形成于温暖—潮湿气候, 水退旋回形成于季节性气候. Weimer (1992) 在研究克拉通盆地 Anadarko 盆地的 Morrow 组层序时, 指出研究区(克拉通盆地)层序构型主要以低位体系域主要由下切谷充填沉积和水进体系域的相关沉积为主, 辅以高位体系域的黑色页岩沉积. 梁积伟等(2007)基于鄂尔多斯盆地东北部的层序特征, 指出山西组山 2 段为一上升半旋回, 以多层煤层和沉积砂体向北部物源方向的退积为特征, 并详细研究了层序地层格架内的煤层分布规律, 指出从山西组山 2 段的山 23 到山 21, 厚煤层的分布总体上呈向北(物源区)退却的趋势, 反映了山西组下段构成一个基准面上升的过程, 表明山 23 到山 21 是一个水进过程. Hoffmann *et al.* (2009) 在研究澳大利亚的克拉通盆地 Surat 盆地侏罗纪 Evergreen 组的地层特征时, 发现其层序特征为: 层序底界面为一套底砾岩形成的强侵蚀突变接触面, 向上整体具有典型的正粒序特征; 层序主要以 LST 为主, TST 和 HST 相对不发育, 基准面旋回为上升半旋回为主的不对称旋回; 自然伽马曲线呈典型的箱形—钟形, 岩性序列自底部的细砾向上变为含砾粗砂—粗砂—中砂—砂泥互层—含砂泥岩—泥岩, 单层砂体的厚度也逐渐变小. 朱红涛等(2007, 2010)和 Zhu *et al.* (2008) 通过对鄂尔多斯盆地山西组层序地层学研究, 发现山西组自下而上 3 个层序及其控制的砂体依次向物源区溯源退积, 并且层序各个砂组内部的单个砂岩层也同样具有向物源区迁移的特征.

因此, 针对主体为碎屑岩充填的陆内克拉通盆地, 本文提出长期持续退积、短期进积的“溯源退积”层序构型(L 型层序), 具体涵义是指克拉通盆地所形成的三级层序的层序构型均以 LST 为主, TST 和 HST 相对不发育, 对应的基准面旋回是一个以上升半旋回为主的不完全对称旋回, 具有长期持续退积(水进)、短期进积(水退)旋回特征; 不同级别层序地层格架控制下的砂体, 自下而上(从老到新), 具有向物源区依次退积叠置的“溯源退积”特征; LST 发育切割叠置砂体, 增加了砂岩的侧向连续性、连通性, 为最有利的储层, TST 和 HST 发育孤立的单砂体, 储层规模较小、较差(图 6).

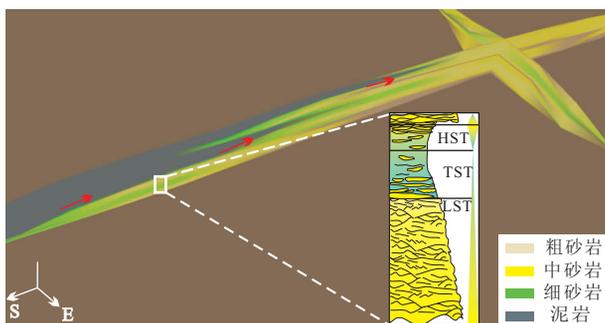


图6 陆内克拉通盆地“溯源退积”层序构型模式

Fig. 6 Source-ward retro-gradational stacking patterns and sequence stratigraphic architecture of intra-cratonic basin

4 结论

陆相内克拉通盆地具有封闭、有限的可容纳空间、极平缓的斜坡带等特征,造就其独特的“盆地充填”特征。基于我国典型的陆内克拉通盆地—鄂尔多斯盆地山西组地层,从点(典型单井层序)、线(连井层序—砂体对比剖面)和过井剖面地震层序)、面(平面相带迁移)的层序地层学分析,结果表明山西组自下而上3个层序(SQ1-SQ3)及其控制的砂体依次向物源区溯源退积,并且层序各个砂组内部的单个砂岩层也同样具有向物源区迁移的特征。

结合研究区的特点和国内外研究成果,笔者提出陆内克拉通盆地长期持续退积、短期进积的“溯源退积”层序构型(L型层序),其涵义是指陆内克拉通盆地所形成的三级层序构型均以LST为主,TST和HST相对不发育,对应的基准面旋回是一个以上升半旋回为主的不完全对称旋回(长期持续退积、短期进积);不同级别层序地层格架控制下的砂体,自下而上向物源区依次退积叠置的“溯源退积”特征;LST发育切割叠置砂体,为优质储层,TST和HST发育孤立的单砂体,储层规模较小。

References

- Burgess, P. M., Gurnis, M., Moresi, L., 1997. Formation of Sequences in the Cratonic Interior of North America by Interaction between Mantle, Eustatic, and Stratigraphic Processes. *Geological Society of America Bulletin*, 109 (12): 1515—1535. doi: 10.1130/0016-7606(1997)109<1515:FOSITC>2.3.CO
- Catuneanu, O., 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Elsevier, Amsterdam.
- Cross, T. A., 1988. Controls on Coal Distribution in Transgressive-Regressive Cycles, Upper Cretaceous, Western Interior, USA. *SEPM Special Publication*, 42: 371—380.
- Escalona, A., Mann, P., 2006. Sequence-Stratigraphic Analysis of Eocene Clastic Foreland Basin Deposits in Central Lake Maracaibo Using High-Resolution Well Correlation and 3-D Seismic Data. *AAPG Bulletin*, 90 (4): 581—623. doi: 10.1306/10130505037
- Fairbridge, R. W., 1988. Cyclical Patterns of Exposure, Weathering and Burial of Craonic Surfaces, with Some Examples from North America and Australia. *Geografiska Annaler*, 70(4): 277—283. doi: 10.2307/521259
- Feng, Y. L., Zhou, H. M., Li, S. T., et al., 2004. Sequence Types and Subtle Trap Exploration in Continental Rift Basin; A Case Study of Lower Tertiary of the Nanpu Depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 603—608 (in Chinese with English abstract).
- He, D. F., Dong, D. Z., Lv, X. X., et al., 1996. Cratonic Basin Analysis. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Hoffmann, K. L., Totterdell, J. M., Dixon, O., et al., 2009. Sequence Stratigraphy of Jurassic Strata in the Lower Surat Basin Succession, Queensland. *Australian Journal of Earth Sciences*, 56: 461—476. doi: 10.1080/08120090802698737
- Ji, Y. L., 1996. Sequence Stratigraphy of Continental Rift Basins. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Kanygin, A., Dronov, A., Timokhin, A., et al., 2010. Depositional Sequences and Palaeoceanographic Change in the Ordovician of the Siberian Craton. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3: 285—296. doi: 10.1016/j.palaeo.2010.02.014
- Li, S. T., Pan, Y. L., Lu, Y. C., et al., 2002. Key Technology of Prospecting and Exploration of Subtle Traps in Lacustrine Fault Basins; Sequence Stratigraphic Researches on the Basis of High Resolution Seismic Survey. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(5): 592—598 (in Chinese with English abstract).
- Liang, J. W., Li, W. H., Zhang, F., et al., 2007. Coal Accumulation of Lower Member of Shanxi Formation in Northeastern Ordos Basin. *Coal Geology & Exploration*, 35(1): 7—11 (in Chinese with English abstract).
- Liang, X. W., Zheng, R. C., Zhou, Y., et al., 2006. Sequence Patterns and Evaluation of Source Rocks in Cratonic Basins-by Taking Sinian and Cambrian Systems in Mid-Yangze Area for Example. *Journal of Oil and Gas*

- Technology*, 28(2): 17–19 (in Chinese with English abstract).
- McLaughlin, P. I., Brett, C. E., Taha, S. L., et al., 2010. High-Resolution Sequence Stratigraphy of a Mixed Carbonate-Siliciclastic, Cratonic Tamp (Upper Ordovician; Kentucky-Ohio, USA); Insights into the Relative Influence of Eustasy and Tectonics through Analysis of Facies Gradients. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 210: 267–294. doi: 10.1016/j.palaeo.2004.02.039
- Petty, D. M., 2010. Sequence Stratigraphy and Sequence Boundary Characteristics for Upper Tournaisian (Mississippian) Strata in the Greater Williston Basin Area: An Analysis of a Third-Order Cratonic Carbonate-Evaporite Depositional Cycle. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 58(4): 375–402. doi: 10.2113/gscpgbull.58.4.375
- Weimer, R. J., 1992. Developments in Sequence Stratigraphy: Foreland and Cratonic Basins. *AAPG Bulletin*, 76(7): 965–982.
- Xie, X. N., Cheng, S. T., Lu, Y. C., 1996. Episodic Tectonic Cycles and Internal Architectures of Sequence in Continental Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(1): 27–33 (in Chinese with English abstract).
- Xie, X. N., Li, S. T., 1993. Characteristics of Sequence Stratigraphic Analysis in Terrestrial Basin. *Geological Science and Technology Information*, 12(1): 22–26 (in Chinese with English abstract).
- Xue, S. H., Liu, W. L., Xue, L. Q., et al., 2002. Lake Basin Deposit Geology and Petroleum Exploration. Petroleum Industry Press, Beijing, 12–15 (in Chinese).
- Zhou, Y., Chen, H. D., Wang, C. S., et al., 2004. A Study on the Distribution Model of the Sequence Style on Craton Basin in the Mid-Yangze Area. *Geoscience*, 18(2): 171–179 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, H. T., Chen, K. Y., Liu, K. Y., et al., 2007. Evidences for Deposits of Fluvial Facies in Shanxi Formation in Northeastern Ordos Basin. *Natural Gas Industry*, 27(12): 67–69 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, H. T., Chen, K. Y., Liu, K. Y., et al., 2008. A Sequence Stratigraphic Model for Reservoir Sand-Body Distribution in the Lower Permian Shanxi Formation in the Ordos Basin, Northern China. *Marine and Petroleum Geology*, 25: 731–743. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2008.03.007
- Zhu, H. T., Li, M., Liu, K. Y., et al., 2010. Sequence Stratigraphic Architectures of Intra-Cratonic Basin and Its Controlling Factors. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(6): 1035–1040 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, H. T., Liu, K. Y., Yang, X. H., et al., 2012. The Sequence Stratigraphic Architecture of Continental Lake Basin and Its Significance on Lithofacies Prediction: Taking Huizhou Sag in Zhujiangkou Basin as an Example. *Earth Science Frontier*, 19(1): 32–39 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 冯有良, 周海民, 李思田, 等, 2004. 陆相断陷盆地层序类型与隐蔽油气藏勘探——以南堡凹陷古近系为例. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(5): 603–608.
- 何登发, 董大忠, 吕修祥, 等, 1996. 克拉通盆地分析. 北京: 石油工业出版社.
- 纪友亮, 1996. 陆相断陷湖盆层序地层学. 北京: 石油工业出版社.
- 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等, 2002. 断陷湖盆隐蔽油藏预测及勘探的关键技术——高精度地震探测基础上的层序地层学研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(5): 592–598.
- 梁积伟, 李文厚, 张峰, 等, 2007. 鄂尔多斯盆地东北部山西组下段基准面旋回与聚煤作用. *煤田地质与勘探*, 35(1): 7–11.
- 梁西文, 郑荣才, 周雁, 等, 2006. 克拉通盆地层序样式与烃源岩评价——以中扬子区震旦系、寒武系为例. *石油天然气学报*, 28(2): 17–19.
- 解习农, 程守田, 陆永潮, 1996. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成. *地球科学——中国地质大学学报*, 1996, 21(1): 27–33.
- 解习农, 李思田, 1993. 陆相盆地层序地层研究特点. *地质科技情报*, 12(1): 22–26.
- 薛叔浩, 刘雯林, 薛良清, 等, 2002. 湖盆沉积地质与油气勘探. 北京: 石油工业出版社, 12–15.
- 周雁, 陈洪德, 王成善, 等, 2004. 克拉通盆地层序样式分布模式研究——以中扬子区为例. *现代地质*, 18(2): 171–179.
- 朱红涛, 陈开远, Keyu, L., 等, 2007. 鄂尔多斯盆地东北部山西组的河流相沉积证据. *天然气工业*, 27(12): 67–69.
- 朱红涛, 李敏, Keyu, L., 等, 2010. 陆内克拉通盆地层序地层构型及其控制因素. *地球科学——中国地质大学学报*, 35(6): 1035–1040.
- 朱红涛, Keyu, L., 杨香华, 等, 2012. 陆相湖盆层序构型及其岩性预测意义: 以珠江口盆地惠州凹陷为例. *地学前缘*, 19(1): 32–39.