

# 陆东凹陷上侏罗统层序地层与生储盖组合

邓宏文 徐长贵 王洪亮

(中国地质大学, 北京 100083)

通过对钻井和地震等资料的综合分析, 在开鲁盆地陆东凹陷上侏罗统中可识别出 7 个钻井中期基准面旋回以及与之对应的 7 个地震层序。7 个中期旋回可合并成两个长期旋回 LSC1 和 LSC2, 并分别与盆地的稳定沉降阶段和强烈断陷阶段相对应。运用旋回对比原理, 可建立起高分辨率地层对比格架。经研究, 基准面旋回与生储盖组合的关系十分密切。基准面上升到下降的转换位置发育的大套泥岩段是区内的主要烃源层和良好的区域盖层。基准面旋回上升和下降阶段形成的各类砂体是区内主要的储集体。生储盖组合在纵向上的配置与基准面旋回的关系也十分密切, 基准面上升阶段易形成上生下储和自生自储组合; 基准面下降阶段易形成下生上储组合。基准面上升阶段形成的储盖组合更有利于油气聚集。

关键词 基准面 旋回 高分辨率 生储盖组合 陆东凹陷

第一作者简介 邓宏文 女 51 岁 教授 沉积学与储层预测

## 1 高分辨率层序地层格架

运用岩芯、钻井、测井、地震等资料, 通过单一相岩石物理性质的垂向变化、垂向相序和相组合的变化、旋回的叠加样式以及地层的几何关系等旋回的识别标志, 在开鲁盆地陆东凹陷上侏罗统中可识别出长期、中期、短期等 3 种级别的基准面旋回。中期基准面旋回是建立高分辨率层序地层格架的基础和关键, 这是因为: (1) 尽管中期基准面旋回的相组合在平面上有较大的变化, 但由于它的厚度和对称性变化较小, 仍可在整个陆东凹陷进行追踪对比; (2) 地震剖面上可分辨的地层单元可与钻井、测井上识别的中期旋回相对应, 而且地震相与地层几何形态也可用中期旋回的性质加以解释和预测。而长期基准面旋回因其级别较大, 短期基准面旋回又因其级别较小, 使其对储层预测与生储盖组合的分析意义不大, 所以本文仅阐述中期基准面旋回的性质, 并以其为单元分析陆东凹陷生储盖组合的关系。

### 1.1 钻井剖面中期基准面旋回的确定及其特征

钻井剖面中期基准面旋回的确定标志为: 地层剖面中的冲刷现象及其上覆的滞留沉积物; 作为层序界面的滨岸上超的向下迁移; 岩相类型或相组合在垂向剖面上的转换; 砂、泥岩厚度旋回性变化; 短期旋回的叠加样式分析。

根据上述标志, 可在九佛堂组—阜新组中从上到下划分出 7 个中期旋回, 即 MSC1,

MSC2, MSC3, MSC4, MSC5, MSC6 与 MSC7(图 1)。

MSC7 形成于湖盆强烈深陷期早时, 是一对称旋回, 但对称性很差, 主要发育基准面下降半旋回。基准面上升半旋回主要为凝灰质砂岩或凝灰质泥岩; 基准面下降半旋回为代表基准面下降的前缘席状砂。二者转换处发育灰色-深灰色的半深湖相泥岩。

MSC6 形成于较高可容纳空间背景下, 是一对称旋回。上升半旋回至下降半旋回转换处为半深湖相泥岩或深灰色油页岩, 下降半旋回顶部为浊流水道的侵蚀面。

MSC5 形成于湖盆强烈深陷期,  $A/S$  比值最大, 是一对称旋回。该旋回的最大特点是旋回转换位置附近集中发育一大套深灰色油页岩, 盆地中央厚度较大, 在全区可追踪对比。下降半旋回顶界面为三角洲前缘水下分支河道的轻微侵蚀面。

MSC4 大致形成于湖盆稳定沉降阶段, 其对称性随地理位置变化较大, 湖盆边缘, 对称性较差, 以基准面下降半旋回发育为特征, 湖盆中央的对称性较好。旋回底部河道下切作用明显。

MSC3 大致形成于湖盆萎缩早期, 其对称特点基本与 MSC4 一样, 随地理位置的迁移而变化。旋回底部为辫状河道的侵蚀面, 旋回的转换位置集中发育滨浅湖相泥岩。

MSC1 和 MSC2 形成于湖盆萎缩中晚期, 对称性差, 以基准面下降半旋回发育为特

点, 说明此时的可容纳空间很小,  $A/S$  比值较低, 上升半旋回底部为叠置的辫状河道砂岩, 上升半旋回到下降半旋回的转换处发育潮湿的泛滥平原泥岩。MSC1 和 MSC2 两旋回在整个盆地中厚度稳定。

1.2 地震中期基准面旋回的确定及其特征

地震中期基准面旋回的识别标志有: (1) 区域基准面下降导致的河道下切作用形成的不整合或反映地层不协调关系的地震反射终止类型, 即常规的地震地层分析标志; (2) 与中期或长期基准面旋回上升到下降转换位置(最大可容纳空间)相对应的高振幅连续反射界面或一组反射; (3) 与区域相变可对比的地震反射特征(振幅、连续性、频率、地震相等)在区域上发生重大变化; (4) 与测井曲线和岩芯中可观察到的地层叠加样式变化可对比的地震反射几何形态的变化(如由高振幅水平反射到低振幅 S 形反射)。

通过对全区二维地震剖面的分析以及骨干剖面的详细解剖, 陆东凹陷九佛堂组-一阜新组

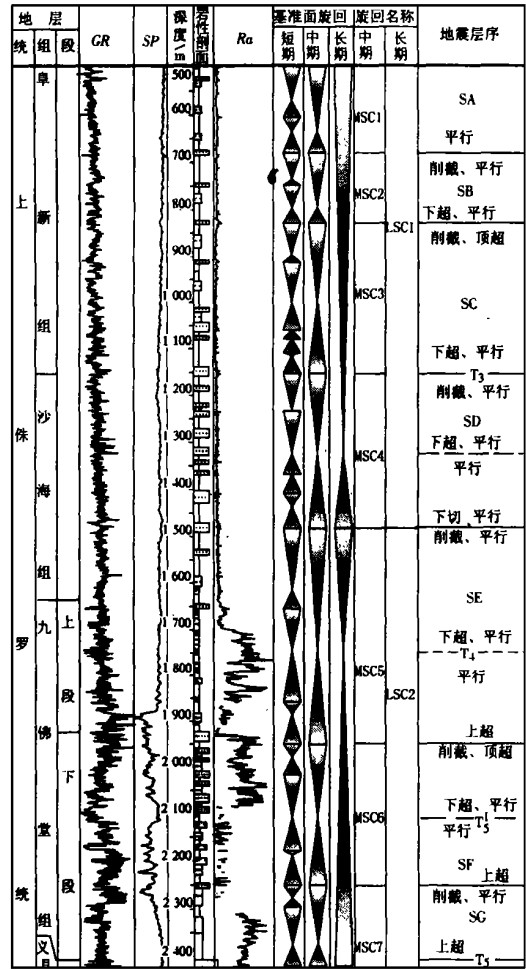


图 1 陆东凹陷钻井层序划分

可划分出 7 个地震层序, 从上至下依次命名为 SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG(图 2)。

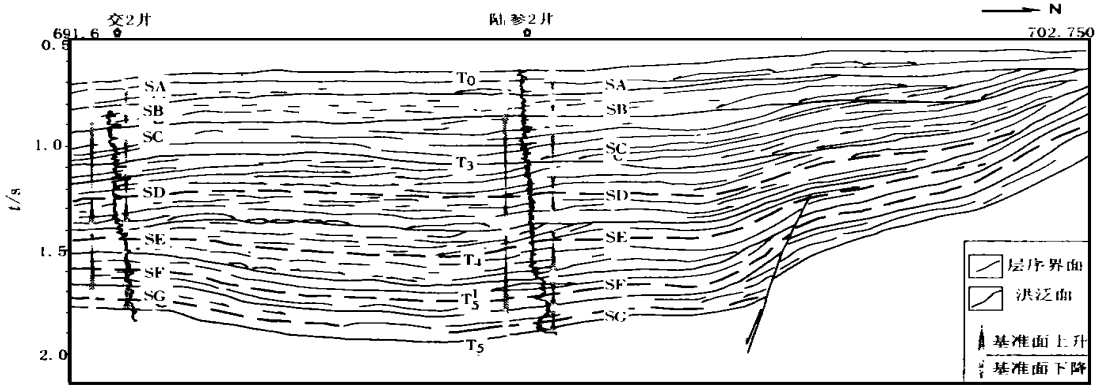


图 2 陆东凹陷地震层序划分

SG 位于九佛堂组下段最底部, 相当于钻井中期基准面旋回 MSC7。其底界为  $T_5$  反射界面, 是一个区域不整合面; 顶界为中低频、中-高振幅较连续的反射同相轴, 在盆地斜坡和边缘部分可见该反射同相轴与下伏地层的削截现象。

SF 相当于钻井中期基准面旋回 MSC6。其底界面为一上超面, 顶界面为基准面下降到地表之下形成的侵蚀河道下切面。层序内一连续的强同相轴( $T_5^1$ )反射层, 经钻井标定为深灰色泥岩或油页岩, 该强同相轴为代表可容纳空间最大位置的湖泛层。

SE 相当于中期基准面旋回 MSC5。层序底界面为侵蚀面, 可见到下切的侵蚀河道, 在盆地北缘斜坡位置可见到较明显的上超现象。顶界面大致相当于地震  $T_4$  反射层, 为一侵蚀削截面。层序中部的较连续、较强振幅反射为湖泛面。

SD 形成于湖盆稳定沉降阶段, 相当于钻井中期基准面旋回 MSC4。其底界特征与 SE 的底界特征一致, 其顶界面为一削截面, 相应于地震反射层  $T_3$ 。旋回内部的湖泛面是一个强烈的下超面, 大致相当于地震反射层  $T_4^1$ 。

SC 相当于钻井中期基准面旋回 MSC3。其底界面为下超面, 顶界为削截不整合。由于此时可容纳空间较低,  $A/S$  比值较小, 内部前积反射特征明显, 前积范围扩大。

SB 相当于钻井中期基准面旋回 MSC2。底界面为下超面, 局部可见下切河道, 顶界面为侵蚀削截面。

SA 相当于钻井中期基准面旋回 MSC1。顶部普遍削蚀, 反射波以 2~ 3 个强相位反射轴组成, 波形稳定, 为平行-亚平行的连续反射, 全区可追踪对比。

根据中期基准面旋回的叠加样式, 以及区域构造演化、古生物组合等特征, 可将上述 7 个中期基准面旋回归并成 2 个长期基准面旋回, 即 MSC1(SA), MSC2(SB), MSC3(SC), MSC4(SD) 叠加成 LSC1 旋回, 其转换位置为 MSC4 旋回的转换位置; MSC5(SE), MSC6(SF), MSC7(SG) 叠加成 LSC2 旋回, 其转换位置为 MSC5 旋回的转换位置(图 1)。

1.3 高分辨率层序地层对比格架

根据高分辨率层序地层对比原则和方法, 代表每一个中期基准面旋回转换的位置均记录了基准面旋回变化中可容纳空间增加到最大值或减小到最小值单向变化的极限位置, 即基准面旋回二分时间单元界线。因而基准面旋回上升到下降或下降到上升转换点可作为地层对比



生油岩的形成、分布与湖盆构造史和充填演化史密切相关。强烈断陷阶段和稳定沉降阶段形成的两个长期基准面旋回决定了该凹陷内两套生油岩的形成和在垂向的分布。两套生油岩均集中发育在长期基准面旋回上升到下降转换位置的湖泛期。LSC2 九佛堂组暗色泥岩厚 200~450 m, 最厚达 600 m; LSC1 沙海组暗色泥岩厚 150~300 m, 最厚为 500 m。由于 LSC2 旋回为湖盆发育的鼎盛时期, 与相对稳定时期形成的 LSC1 相比, 泥质岩系沉积厚度大, 有机质丰度高, 干酪根类型好。根据高分辨率层序划分结果, LSC2 又可分出 3 个次一级的中期基准面旋回, 每一个中期旋回均存在次一级的湖泛作用形成的暗色泥岩相对集中发育段。与长期基准面旋回的最大洪泛位置对应的中期旋回 MSC5 湖泛泥岩单层厚度大, 油页岩发育分布集中, 生油能力较强。下部的两个次级旋回(MSC6 和 MSC7) 湖泛泥岩发育段泥质岩单层厚度相对较薄, 夹薄层砂岩, 特别是 MSC7 湖泛泥岩段凝灰质泥岩较发育, 生油能力可能较差。由此可见, 陆东凹陷湖盆发育主旋回期(九佛堂组)生油岩的纵向分布, 有机质丰度与类型也并非均一的。

平面上, 由于陆东凹陷断陷期的充填长期受南侧边界断层控制, 沉降中心和沉积中心均位于凹陷的南侧, 较大厚度的生油岩也集中在盆地东南侧和各次级凹陷的南部。

## 2.2 基准面旋回与生储盖配置

对于断陷湖盆而言, 基准面上升早期易形成两类砂体, 一为近岸水下扇(水下扇)、浊积扇砂砾岩体; 一为辫状河道或辫状三角洲砂岩体。近岸水下扇和浊积扇砂砾岩体与上覆水进期的泥岩形成上生下储式生储组合, 上覆泥岩同时又是良好盖层, 因而具有良好的生储盖配置, 可以形成自生自储式生储盖组合, 常成为油气勘探, 特别是岩性油气藏勘探的主要目的层。辫状河道砂岩侧向封闭性有时较差, 一般需要构造圈闭的配合, 才能形成有利的油气圈闭。

基准面下降期易形成扇三角洲、三角洲进积充填体系, 甚至冲积-河流体系。这类砂岩体可与其下基准面旋回转换位置的生油岩形成下生上储式生储关系, 油气可以通过断层等通道垂向运移或沿进积到湖内的砂岩体发生侧向运移。由于侧向封堵性较差, 这类砂体油气藏形成一般需要较好的构造圈闭。这类砂体形成于基准面下降期, 如果砂体向盆地方向进积充填作用不断增强, 会在顶部形成不整合, 常缺少良好盖层, 油气勘探风险较高。

## 参 考 文 献

- 1 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. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 90~97
- 2 邓宏文, 王洪亮, 李熙. 层序地层学基准面的识别、对比技术及应用. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~184

# SEQUENCE STRATIGRAPHY AND SOURCE-RESERVOIR-CAPE ROCK ASSEMBLAGES OF UPPER JURASSIC IN LUDONG SAG

Deng Hongwen Xu Changgui Wang Hongliang  
(China University of Geosciences, Beijing)

## Abstract

Seven intermediate-term stratigraphic base level circles and the corresponding seven stratigraphic sequences could be distinguished in Upper Jurassic in Ludong Sag, Kailu Basin. The intermediate-term

(下转第 284 页)

# A THEORETICAL STUDY ON MEASUREMENT OF ROCK COMPACTING FACTORS

Li Chuanliang

(*Department of Modern Mechanics, China Science and Technology University, Hefei, Anhui*)

## Abstract

The measurement of rock compacting is theoretically based on Terzaghi Equation, which takes incorrectly the difference of  $P_o$  and  $P_i$  as net confining pressure. A new equation  $P_o = P_{eff} + \Phi P_i$  is proposed in this paper to calculate the net confing pressure correctly, and an improving measurement procedure is presented. The compacting factors obtained in lab must be converted into the value which is applicable to reservoir engineering when practical calculatoinis are being operated. The conversion formula is established in this paper.

(上接第279页)

stratigraphic circles could be divided into two long-term circles correesponding to the basin's subsiding and fault-depressing stages. The high-resolution stratigraphic correlation framework of the sag could be established based on the principle of the stratigraphic circle correlation. It is suggested that the base-level circles bear close relation to source-reservoir-cap rock assemblage. The huge thick mudstone section deposited at the turning position from uprising to subsiding of the base level is the main hydrocarbon source rock and favourable reginal cap rock. The sandbodies formed during the uprising and subsiding periods are the main reservoir bodies. What's more, the assemblages formed during uprising period are usually of the type with source rock in the up part and reservoirs below, or self-generation and self-reservoiring type; that formed during subsiding period usually belong to the type of source rock below reservoirs. It is proposed that the first kind of assemblages are more favourable.