

地层基准面原理在湖相储层预测中的应用

王洪亮 邓宏文

(中国地质大学, 北京 100083)

运用地层基准面原理, 通过岩芯、测井、地震资料的综合分析, 在研究层段识别出短期、中期、长期三种规模的地层旋回, 分别响应于不同级次的基准面旋回。在短期旋回内, 识别出可容纳空间增大时的重力流水道沉积和浊流溢岸沉积、可容纳空间减少时的重力流水道沉积和水道间溢岸沉积4种相序类型; 在中期旋回中, 识别出进积-退积对称型、进积非对称型和退积非对称型, 指出在不同的基准面旋回位置, 发育不同类型的中、短期旋回。通过对比, 建立了该区二维高分辨率层序地层格架, 并对前梨园洼陷南部有利储层发育层段及成油条件提出了新的认识。

关键词 地层基准面 湖相 高分辨率 层序地层 储层预测 前梨园洼陷

第一作者简介 王洪亮 男 26岁 助教 石油地质

地层基准面原理是以 Wheeler^[1]的基准面概念为基础, 由 Cross^{*} 成因地层组发展的一种新理论, 它以多级次基准面为时间参照面进行成因地层分析和储层分布预测^[2, 3]。

湖相盆地层序形成的控制因素与海相盆地有较大的差异, 层序的发育特征也存在一定的区别, 但湖相地层由于其构造运动的旋回性、边界断层的间歇性、气候变化的周期性等, 必然产生地层基准面的周期性升降、湖水面规律性的扩张与收缩、沉积物供给速率的变化以及最终的可供沉积物堆积的空间变化, 由此形成湖相地层成因上有联系、时空演化上有规律可循的分布型式。这是湖相层序地层分析的基础。这里以东濮凹陷前梨园洼陷深层下第三系湖相沉积为例, 说明如何运用地层基准面原理进行湖相地层的层序分析及储层预测。

1 区域地质背景

前梨园洼陷位于东濮凹陷东北部, 面积约300 km², 是东濮凹陷面积最大、成烃条件最好的生油洼陷。受兰聊、黄河、杜寨等断层控制, 区内下第三系厚6 000多米, 主要研究层段沙三段三亚段—四亚段沉积厚度1 500 m, 岩性为深灰色泥(页)岩与灰色粉砂岩不等厚互层沉积。

沙三段三亚段—四亚段沉积时期, 前梨园洼陷为受 NNE 方向断裂控制的东陡西缓的狭长形断槽。由于湖盆狭窄, 陡坡、缓坡及长轴方向的物源补给体系均对洼陷中心的沉积充填起重要作用。洼陷西斜坡存在高密度浊流和湖盆三角洲体系, 为洼陷中北部沉积充填和重要物源补给体系之一; 洼陷东部陡坡的水下扇、滑塌浊积扇对洼陷南部的充填起着重要作用。东部陡

* Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspective of base-level cycles and sediment accommodation, 西北欧层序地层会议材料, 1994

坡水下扇由于东部边界断层系活动的不均一性使洼陷南、北部物源体系也存在差异性。杜寨断层北段以上升盘发育远岸水下扇-滑塌浊积扇体系; 南段兰聊断层前缘, 发育近岸水下扇体系, 可能与杜寨断层的前缘滑塌浊积扇连为一体, 规模较大。

上述构造、地形及沉积物源补给特征是控制洼陷层序形成和沉积特征的主要因素。

2 钻井高分辨率层序地层格架

钻井高分辨率层序划分与对比是在确定层序界面即基准面旋回的基础上, 通过划分不同级次的地层基准面旋回实现的。

2.1 地层旋回的识别

2.1.1 岩性剖面上短期旋回的识别

根据取芯井段岩相类型、相序或相组合的变化, 可以识别出以下几种短期旋回类型:

(1) 基准面上升, 可容纳空间增大时的重力流水道沉积。自下而上为冲刷面(或砂、泥突变接触面)→含砾中细砂岩相(递变层理粉细砂岩相)→块状粉砂岩相→平行层理粉砂岩相(或波状层理粉砂岩相), 及深湖相或较深水湖相深灰色、灰黑色泥岩、泥页岩相组合。旋回底部界面形成于重力流沉积物过路搬运时产生的轻微冲刷作用或既无冲刷又无沉积的沉积间断面(图1-A)。岩相类型丰富, 向上发育完全, A/S 比值较高。此类型多出现在研究层段中上部。

(2) 基准面下降, 可容纳空间减小时的重力流水道沉积。由数个相互切割, 纵向上叠置的复合水道砂体组成。单个砂体具向上变细的旋回, 层理、岩相类型单一, 主要由递变层理砂岩和块状层理粉砂岩组成。单个砂层厚度有向上变大、粒度变粗的趋势, 表明由于沉积物补给速度的增加导致 A/S 比值逐渐减小(图1-B)。该类型多出现在研究层段下部。

(3) 基准面上升, 可容纳空间增大时浊流溢岸沉积。由块状层理粉砂岩与湖相灰色泥岩互层组成。粉砂岩厚度一般较薄, 数10厘米, 与互层泥岩呈突变接触。自下而上砂岩厚度减薄, 泥岩厚度增大、变纯, 表明 A/S 值的增加(图1-C)。

(4) 基准面下降, 可容纳空间减少时水道间溢岸沉积。由粉砂岩与湖相泥岩互层组成。单个砂层呈向上变粗韵律, 厚度一般约1m, 泥

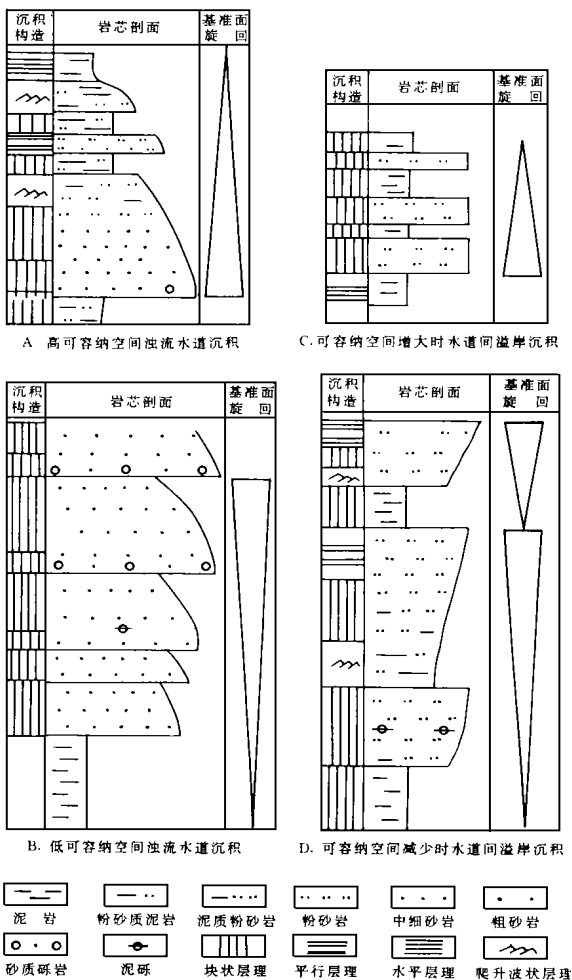


图1 各短期旋回的沉积特征

质粉砂岩具波状层理、变形层理。下部泥质岩较纯，纹理发育，向上粉砂质增多或夹粉砂条带；向上粉砂岩增厚，泥质岩减薄，表明由于溢岸沉积物的增多， A/S 比值下降(图1-D)。

2. 1. 2 测井曲线上地层旋回的识别

根据研究层段地层的岩性特点，选择以自然伽马测井曲线为主，电阻率与自然电位曲线为辅的测井系列划分地层基准面旋回。测井曲线基准面旋回的确定，特别是层序界面性质的确定是在取芯井段岩-电标定的基础上进行的，也就是说，首先要利用取芯井建立短期旋回的岩相组合与测井响应的对应模型，然后再运用到非取芯井中去。

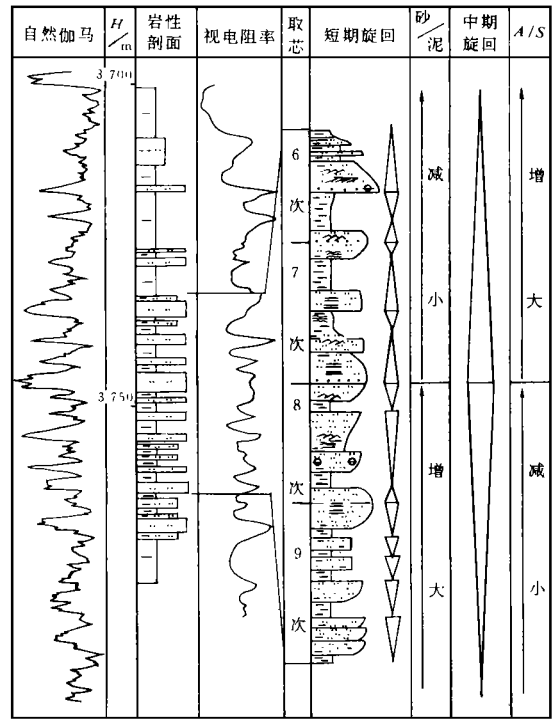


图2 进积-退积对称型中期基准面旋回的岩性-电性响应

部厚层砂岩内部。下部短期旋回叠加样式呈进积型，岩相类型较单一，砂岩厚度有向上变大、粒度变粗的趋势；上部短期旋回叠加样式呈退积型，岩相类型明显增多，砂岩厚度向上减小，粒度变细的趋势明显。

该类型旋回的形成可能与浊流沉积物供给通量的变化导致 A/S 比值的变化有关，反映 A/S 比值由减小到增大的过程。

2. 1. 2. 2 进积非对称型

测井曲线形态由砂质沉积为主的进积叠加样式突变为泥质沉积的微锯齿状平滑型(图3)，表明基准面逐渐下降到最小可容纳空间($A/S \rightarrow 0$)，然后突然上升水体迅速变深的过程。基准

中期地层基准面旋回的确定是在对短期基准面旋回叠加样式分析的基础上进行的。研究层段中期基准面旋回的测井响应包括以下几种类型。

2. 1. 2. 1 进积-退积对称型

该类型在测井曲线形态上表现为由进积叠加样式渐变过渡到退积叠加样式(图2)，对应的岩性则表现出旋回下部单层砂岩厚度向上增厚，粒度变粗，泥质含量减少，泥岩夹层厚度减薄；旋回上部砂岩厚度逐渐减薄，粒度变细，泥质含量增加，泥岩夹层厚度增加。旋回对称轴或基准面旋回由下降到上升的转换位置位于中

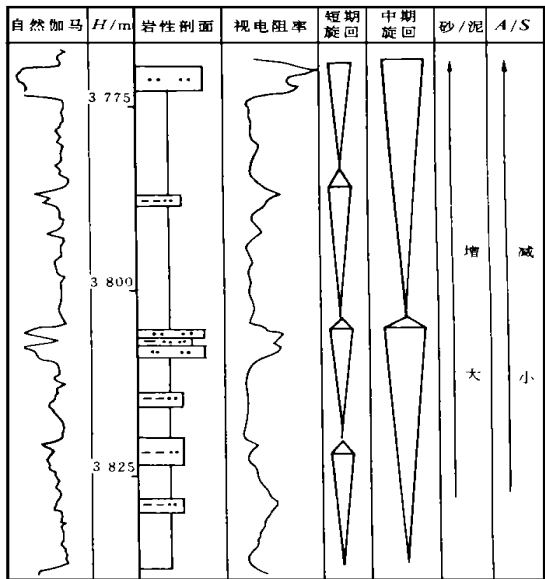


图3 进积非对称型中期基准面旋回的岩性-电性响应

面上升旋回以砂岩顶部的非沉积作用面为代表,或表现为薄层洪泛层泥质沉积。该类型可能形成于浊流沉积物补给的迅速停止或湖水洪泛作用的环境。

2. 1. 2. 3 退积非对称型

测井曲线表现为由泥质沉积的微锯齿形平滑曲线,突变为以砂质沉积为主的呈退积叠加样式的曲线形态(图4),形成于稳定的较深水湖相沉积背景上,或由于基准面突然下降或沉积物补给突然增加,A/S比值迅速减小条件下的沉积作用。基准面下降旋回由沉积物过路产生的沉积间断面或薄层反旋回砂质沉积为代表。基准面上升旋回期间的沉积作用则表现出相对的渐变性,形成旋回的非对称特征。

2. 2 一维剖面地层旋回的划分

高分辨率层序地层划分及地层格架的建立,是在一维剖面多级次地层旋回识别的基础上进行的,在研究层段,可以识别出短期、中期、长期3种时间、规模的地层旋回。不论其规模的大小,均代表了相应级次的基准面旋回。

2. 2. 1 长期基准面旋回

研究层段发育3个密集段,据此将其划分为3个长期地层旋回,自下而上分别命名为LSC1, LSC2, LSC3。每一个长期旋回均由3~4个中期旋回组成。3个长期旋回均为对称性旋回,下部旋回的非对称性较上部明显,即组成完整旋回的基准面上升期沉积厚度大于基准面下降期沉积的厚度,表明沙三段三亚段—四亚段中下部形成于盆地基底不断沉降,湖盆范围不断扩大的强烈断陷阶段。

地震层序与钻井长期基准面旋回对应关系示意如图5。

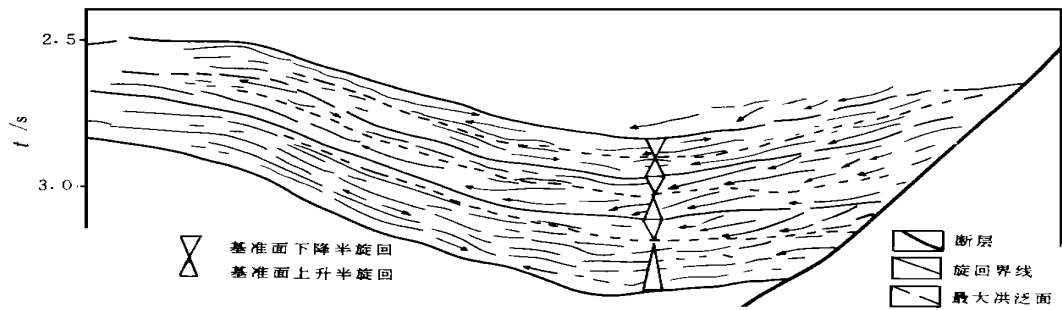


图5 地震剖面上识别出的长期基准面旋回

2. 2. 2 中期地层旋回

中期旋回主要是根据短期旋回的叠加样式确定的。一个完整的中期旋回由一系列具有进积、加积和退积叠加样式的短期旋回组成,但在盆地的某些位置中期旋回发育并不完整,即具明显的不对称性,基准面下降半旋回沉积物厚,发育完全,而上升半旋回仅表现为沉积间

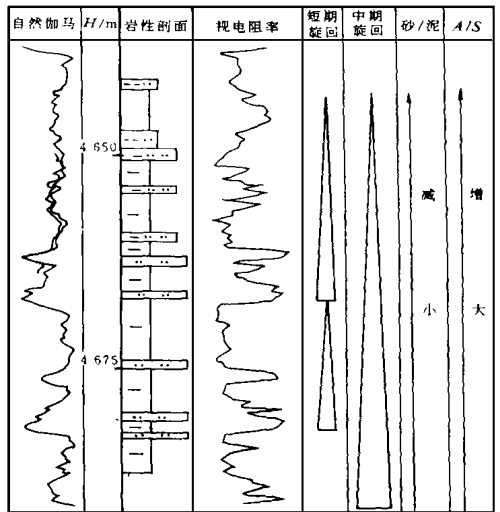


图4 退积非对称型中期基准面旋回的岩性-电性响应

断面或很薄的湖泛泥岩层。

研究层段共划分出11个中期地层旋回。由钻井剖面较全的沙三段三亚段中期旋回看,对称性变化与剖面所在盆地中的位置有关,在盆地中心部位以对称性旋回为主,盆地边缘及大断层的两侧某些部位则非对称性增加。

中期旋回的形成控制因素较多,除构造因素外,湖水的扩张与收缩,盆内较大同生断层上升盘形成的局部再搬运物源的补给,均可导致中期旋回发育特征上的差异。

2.2.3 短期地层旋回

短期地层旋回由进积、退积或加积的地层单元组成,形成于短期基准面旋回,主要根据相的结构与相序变化确定。研究层段的短期旋回主要呈对称状,即上升旋回向下降旋回转换仅表现为相或相序类型的变化,但沙三段三亚段下部旋回在盆地边缘或盆内基底断裂附近,常出现以沉积间断面为顶部边界的进积沉积单元,即表现为缺少基准面上升期沉积物的非对称旋回。根据取芯井段观察,这些沉积间断面多为砂、泥突变接触面,没有明显的冲刷作用,主要为滑塌-浊积沉积物过路时产生的轻微冲刷作用或沉积物供给突然减少或停止形成的沉积间断面。短期旋回的形成主要受沉积物补给速率的变化控制。

2.3 高分辨率层序地层对比

在单井各级次基准面旋回划分的基础上,运用前述等时对比理论与方法建立了洼陷内高分辨率地层对比格架(图6)。

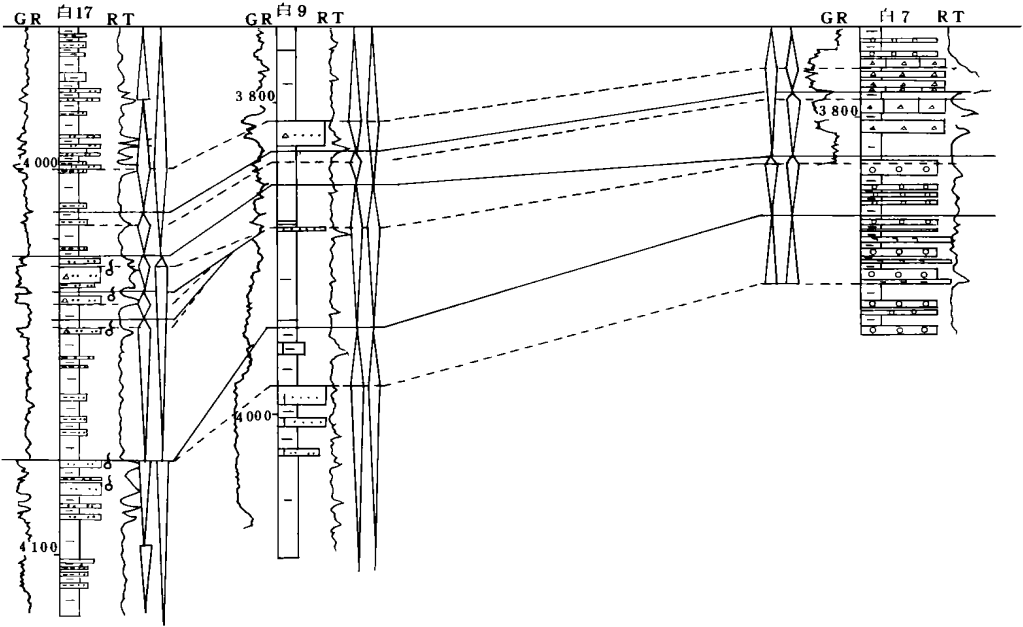


图6 研究区某一旋回高分辨率层序地层对比格架

在此格架中,由洼陷边缘到中心地层剖面旋回的厚度、对称性的变化均有一定规律可循。由于洼陷内沙三段主要为水下沉积,基准面上升与下降时期形成的沉积物均在不同程度上得以保存,因而地层旋回以对称性为主,但盆地边缘到洼陷腹部,中期与短期旋回沉积的对称程度都发生着变化,局部甚至出现非对称旋回。基准面上升期与下降期的沉积物厚度变化呈现

一定的规律性, 近盆地边界兰聊断层的沉积(白7井一带)以基准面下降旋回为主, 向盆地方向位于兰聊断层与杜寨断层之间的广大地区以对称性旋回为主(白9井一带), 至杜寨断裂带附近又以基准面下降旋回为主(白17井附近), 再向洼陷中心, 旋回的对称性逐渐增加(濮深10井以西)。

前梨园洼陷盆地边缘至中心旋回对称性的变化, 与边界断裂带断层活动形成的台阶式古地形密切相关。沙三段三亚段—四亚段沉积时期, 由于洼陷东部西侧正断层的剧烈活动, 在洼陷东侧至少产生两个明显的台阶, 第一个台阶位于兰聊断层下降盘, 第二个台阶位于杜寨断层下降盘。第一个台阶近兰聊断裂前缘主要堆积了冲积扇及近岸水下扇沉积。当基准面下降时, 由于近物源、坡度陡, 沉积物大量补给, 沉积速率高, $A/S < 1$, 进积作用产生, 形成厚层的向上变浅的冲积洪积砂砾岩旋回, 局部时期暴露于水面之上, 形成以红色沉积为代表的冲刷不整合; 基准面上升时, 湖水扩张淹没水下冲积扇, 发生微弱水进冲刷作用(表现为砂砾岩顶界面与湖相泥岩突变接触面)或沉积薄层洪泛湖相泥岩, 因而地层旋回表现出以基准面下降期沉积为主的非对称或对称性较差的特征。当扇体较大、水动力能量较强时, 冲积扇扇端可延伸较远, 一直到接近杜寨断层部位。向盆地方向, 古地形渐趋平缓, 可容纳空间逐渐增大, 沉积物补给减少, 湖盆沉积作用增强, 基准面上升与下降时期沉积物均可保存, 因而地层旋回对称性增加。在杜寨断层发育区(白13—濮深10井区), 断层活动形成的地形高差导致了沉积物的再搬运, 在断层下降盘形成了远岸水下扇及滑塌浊积扇沉积体系。基准面下降期, 浊流水道的下切作用增强, 沉积物补给增加, 进积作用产生; 基准面上升期, 以湖泛作用为主, 或表现为由于浊积作用停止产生的间歇沉积作用面或为薄层湖泛泥岩沉积。

3 储层分布预测

不同级次基准面旋回的叠加控制了有利储集层段的展布。从基准面旋回理论和可容纳空间变化的动力学观点出发, 较低级次的基准面旋回在高级次基准面旋回中的位置在很大程度上控制了旋回内部沉积物的地层学和沉积学特征, 包括旋回内部沉积物厚度、地层保存程度、体系域类型、地层堆积样式、旋回的对称性、岩相分布与相类型及体系岩石物理特征等, 当长期基准面旋回叠置在盆地更高级次的基准面旋回上升的早期时, 沉积物以粗碎屑为主, 储集层发育, 但缺乏良好的生油层段; 当叠置在上升到下降的转换时期, 即最大可容纳空间发育期时, 以水进期泥岩发育为特征, 构成盆地主要生油岩层段; 当叠置在下降期, 特别是晚期时, 以陆源碎屑进积作用为主, 储集层发育。因而, 不同层序具有不同的储层类型及生、储、盖配置关系。

当中期基准面旋回叠置在长期基准面旋回的不同位置时, 构成中期旋回的短期地层旋回的叠加样式, 岩石类型及岩石物性存在明显差异。就研究层段而言, 处于基准面旋回上升期的中期旋回由退积叠加样式的短期旋回组成, 以发育较厚的水下扇辫状水道、滑塌浊积水道砂体为特征; 叠置在长期基准面旋回上升到下降转换时期的中期基准面旋回, 其短期旋回呈加积叠加样式, 以薄层砂泥岩互层或较厚层泥岩发育为特征, 主要为深水湖相泥岩夹浊积水道沉积; 处于长期基准面下降期的中期旋回, 以呈进积叠加样式的以浊积水道砂岩相为主的短期旋回发育为特征。

根据短期旋回在中期旋回中的位置, 可对短期旋回的厚度、对称程度、岩相类型及具体含油气段在二维剖面上的展布特征作出预测。由此, 对前梨园洼陷南部研究层段有利储层发育及成油条件提出如下认识:

(1) 旋回 LSC1下部(相当于沙三段四亚段下部), 处于盆地断陷的早期, 以河流-漫湖相储集层发育为特征, 可能缺少良好的生油层段, 适合寻找构造-岩性复合气藏。

(2) 旋回 LSC1上部, 旋回 LSC2及旋回 LSC3下部(相当于沙三段四亚段上部—沙三段三亚段下部), 处于湖盆发育最大水进期, 生油岩发育。洼陷中心以发育较深水湖相泥岩夹进积和退积交替的水下浊积扇体为特征, 易于寻找岩性气藏。考虑到与生烃密集段的配置关系及密集段生烃潜力, 旋回 LSC2、LSC3形成岩性气藏的条件可能较 LSC1更为有利。

(3) 旋回 LSC3上部(相当于沙三段四亚段上部) 叠置在下第三系下部旋回基准面下降的早期, 浊积砂体的加积-进积作用增强, 储层向盆地方向延伸的范围可能较 LSC2要广。

(4) 有利储集层段多分布在基准面旋回上升到下降的转换位置。在白17井、濮深10井沙三段二亚段—四亚段的这一位置多见气层或良好气显示。而且可以推测, 中期基准面下降期的储层向盆地方向可能有一定的延伸距离。

4 结束语

地层基准面原理为进行地层层序分析提供了一种新途径, 它提高了地层分析的精度和储层预测的准确性, 其理论与分析方法都较适用于陆相地层的分析, 它在陆相地层分析中的运用必将推动陆相层序地层理论与实践的进一步发展。

参 考 文 献

- 1 Wheeler H E. Baselevel, lithosphere surface and time-stratigraphy. *Bull Geol Soc America*, 1964, 75: 599 ~ 610
- 2 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): 89 ~ 97
- 3 邓宏文, 王洪亮, 李熙. 层序地层地层基准面的识别、对比技术及应用. *石油与天然气地质*, 1996, 17(3): 177 ~ 184

APPLICATION OF BASE-LEVEL PRINCIPLE IN PREDICTION OF LACUSTRINE RESERVOIRS

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

Abstract

Based on the principle of base-level, three scales of stratigraphic cycles (short-term, intermediate-term and long-term) could be identified through the analysis of cores, logs and seismic data. The stratigraphic cycles correspond respectively to different order base-level cycles. Different types of facies successions occurred in different positions of the base-level cycles. In light of the identification of multi-order base-level cycles, 2-D high resolution sequence stratigraphic framework is established. Finally, a new proposal about favorable reservoir formations and hydrocarbon generation conditions in Qianliyuan Depression have been proposed.