

文章编号:1673-8217(2008)02-0007-04

基准面旋回与储层宏观非均质性的关系研究

——以塔中围斜区上泥盆统东河塘组储层为例

苏娟¹, 郭建华²

(1. 中国石化勘探西北分公司, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. 中南大学地质与环境工程学院)

摘要:基准面升降造成的可容纳空间变化和沉积物通量改变控制着储层的宏观非均质性。通过对塔中围斜区上泥盆统东河塘组基准面旋回的识别、划分和对比,建立了该区高分辨率层序地层格架。分析不同级次的基准面旋回特点及其对储层宏观非均质性的控制,通过利用储层宏观非均质性变化,得出基准面上升半旋回下部发育的砂体非均质性弱,上升半旋回末期和下降半旋回期因泥质较为发育,故储层非均质性强。

关键词:基准面旋回;储层宏观非均质性;高分辨率层序地层学;塔中围斜地区

中图分类号:TE111.3

文献标识码:A

高分辨率层序地层学的提出为油气勘探提供了全新的理论和技术方法,该理论充分利用露头、岩心、测井和地震解释等资料,综合识别、划分和对比等时地层,并指出了砂体的平面分布是其所在的地层位置和 A/S(可容纳空间/沉积物供给)的函数^[1,2]。基准面旋回过程决定储层的岩性、物性、几何形体和连通性,即控制了隔夹层的分布、砂体的平面分布规律和砂体物性的变化,从而最终决定了储层的宏观非均质性。

塔中围斜区位于塔里木盆地中央隆起带中的二级构造单元塔中低凸起及其周边的广大地区。上泥盆统东河砂岩沉积前,区内经历了一次强烈的构造运动,地层的抬升及其后的剥蚀作用,形成了以准平原为特征的古地貌,随之而来的基准面上升导致在地表低洼处发生沉积。研究区东河砂岩主要是在无障碍滨岸环境中沉积的砂岩和砂砾岩,其沉积体系包括有河流沉积、河流-扇三角洲-三角洲-滨岸沉积以及河口湾-滨岸沉积体系。鉴于此,其储层砂体规模较小,侧向连续性差,储层的非均质性较为严重。因此通过高分辨率层序地层研究和对比,对储层单元进行精细对比划分,以期全面认识储层非均质性的控制因素,为油田勘探提供理论依据。

1 基准面旋回原理

1.1 基准面的概念

不同学派对基准面的理解都有不同,但总的来说可以归纳为两种思想。其一为:基准面等同于海平面,尽管海平面由于波浪和洋流的作用经常低于

它。这个界面扩展的陆地上的次级界面定义了陆地剥蚀的最终水平面。在陆地上,加积作用过程和与之相对的下切作用是由河流平衡剖面的概念控制的。河流平衡剖面 and 基准面在滨线上会合。其二为:基准面的概念概括起来定义了侵蚀和沉积作用在海洋和陆地地区的平衡界面。河流平衡剖面的概念就可以合并为基准面的概念,地层的基准面因此将包括陆地部分和海洋部分^[3]。考虑到研究实际和描述的准确性,本文主要采用了第二种看法。

1.2 基准面旋回的识别

基准面旋回界面的识别是进行高分辨率层序地层学研究的前提和关键。用来识别的沉积和地层特征主要包括:单一相物理性质的垂向变化;相序与相组合变化;旋回叠加样式的改变;地层几何形态与接触关系等。具体做法是综合露头、岩心、测井与地震剖面等资料,使其相互验证。短周期基准面旋回界面主要应用露头、岩心、测井相结合综合标定;中周期基准面旋回在露头、岩心、测井标定的基础上,结合地层叠加样式和地层结构才能确定;长周期基准面旋回通过测井曲线标定,在地震剖面上识别^[4-6]。

1.3 基准面旋回的划分

基准面虽然是动态的抽象势能面,但可容空间和沉积物补给通量可以通过沉积物体积分配所产生的沉积物保存程度、地层堆积样式、相序、相类型和岩石结构等参数构成的地层旋回加以确定,进而划

收稿日期:2007-11-22;改回日期:2008-01-16

作者简介:苏娟,1981年生,硕士,2006年毕业于中南大学地质与环境工程学院矿产普查与勘探专业,研究方向为石油地质。

分基准面旋回。目前,对基准面旋回级次划分尚未形成统一标准,划法各异。邓宏文等^[1]按基准面旋回的结构和叠加特征,将基准面旋回划分为长周期、中周期、短周期;郑荣才等依据基准面的时限、界面类型和主要控制因素将基准面旋回划分为六个级次,即巨旋回、超长周期、长周期、中周期、短周期和超短周期。笔者在文章中采用了郑荣才的划分方案。

1.4 基准面旋回的对比

在成因层序的对比中,基准面旋回的转换点,即基准面由下降到上升或由上升到下降的转变位置,可作为时间地层对比的优越位置^[7]。完整的基准面穿越旋回及与其伴生的可容纳空间的增加与减少,在地层记录中由代表二分时间单元(每部分分别代表基准面上升与下降)的完整的地层旋回组成,有时仅由不对称的半旋回和代表侵蚀作用和非沉积作用的界面构成。因而在对比中,要通过地层过程的分析实现岩石与岩石对比、岩石与界面对比或面与面对比^[8,9]。

2 基准面旋回与沉积砂体响应

依据地震、岩心、测井资料识别出超短期、短期、中期和长期四级基准面旋回,研究层段内识别出5个短期、2个中期和1个长期旋回。

2.1 基准面旋回识别标志

东河塘组由东河砂岩段组成,底界为盆地范围内的一个大型不整合面,东河砂岩段呈角度不整合超覆于奥陶、志留及泥盆系之上。这个界面即是区域内的一个构造层界面,也是一个长期基准面旋回的界面,代表了一次非常强烈的区域构造运动。底部的不整合界面在地震反射剖面上具有明显的削蚀反射特征,东河砂岩在不整合面上上超尖灭(图1)。

在塔中围斜区,石炭系含砾砂岩段直接覆盖于东河砂岩之上,其间的剥蚀很难从地震剖面中识别,但通过对满西地区、塔中围斜区及塔北地区石炭系层序地层对比,可以发现东河砂岩段在塔东地区具有非常好的对比性,是一个等时地层单元。在满西

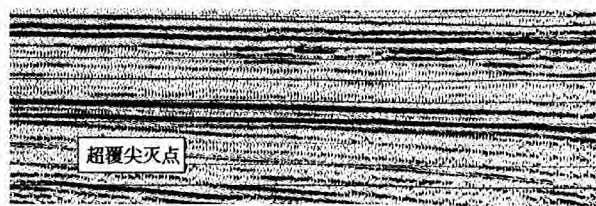


图1 塔中围斜区东河砂岩超覆尖灭点 (TZ02-576NE 测线)

地区大部分地带东河砂岩的顶部缺失含砾砂岩段及底泥岩段,甚至于缺失生屑灰岩段。因此,与塔中围斜区对比,东河砂岩的顶部为一个区域性的基准面下降低于地层面所产生的剥缺面,这也就确定了长期旋回。

中期旋回表现为一个较明显的水体变化,为一系列较小幅度的水体变化组成的一个整体上呈现出区域性的进积-退积地层叠加样式^[7],本区为扇三角洲-三角洲-滨岸的沉积过程。

短期旋回为一组沉积事件的产物,反映一期明显水体变化过程,形成一个小规模的进积-退积样式,本区与分支水道砂体形成过程对应,垂向上由一种或两种地貌要素所构成的湖进-湖退地层叠加样式所组成,是井间可对比的最小单元。

超短期旋回是单一沉积事件的沉积,由沉积事件中所形成的单一岩性或相关岩性组成的地层叠加样式,反映一期水体的变浅和加深过程,垂向上由一种地貌要素组成,本区为分支水道侧积体的沉积。分布局限只能在岩心上识别,井间无法对比。

2.2 沉积砂体响应

由于在不同地区基准面与地表面的距离不同,可容纳空间与沉积物供给的比值(A/S)也就有明显差异,进而造成沉积微相和堆叠样式特征不同,造成不同的基准面旋回类型。塔中围斜地区东河塘组主要存在3类基准面旋回类型,不同基准面旋回类型具有不同的沉积砂体响应。

2.2.1 以上升半旋回为主的基准面旋回

分布于侵蚀角度不整合面上的河流沉积体系,是区内最主要的旋回类型。岩性上为较薄的砂、砾质河流沉积体系组成,厚度一般为1~10 m。垂向上表现为若干个向上变细的旋回序列,旋回层的厚度从几厘米至1米以上不等。形成基准面上升的半旋回沉积记录,而下降半旋回多被冲刷侵蚀难以保存,最终形成只保存了上升半旋回的明显不对称旋回(图2)。这类旋回基准面变化对沉积的控制表现在上升旋回过程中基准面上升幅度有限,可容纳空间较低,而沉积物补给量大,形成有多期河道的相互切割,旋回上部漫溢沉积物被侵蚀殆尽,只有下部河道砂体得以保存。从旋回中可识别出底砾岩和河道砂坝。

底砾岩:呈肉红色,分选差、细砾级为主,从2 mm~5 cm不等,砾石成分大多为硅质,其含量约50%左右,砾间为砂质充填。砾石磨园度好,但杂乱排列,与下伏层呈非常清晰的侵蚀突变接触。TZ4

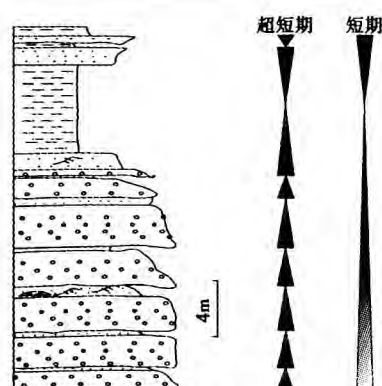


图2 塔中圈斜区 TZ6 井第 14—15 筒取心的基准面旋回划分

井中厚为 7 cm, 在下伏层中具有垂直及斜交的溶蚀微缝, 缝内为方解石充填, 常被棕褐色泥质所侵染, 反映下伏层遭受风化侵蚀的特征。

河道砂坝:以灰色、灰白色为主, 中厚层, 主要岩性为含砾中—细砂岩, 砂质砾岩及中—细砂岩。砾石成分以硅质为主, 火山岩砾石及少量绿灰色泥砾。砂岩中大、中型单斜层理极其发育并且有下伏层岩性的较大砾石, 这可能反映了河道边缘未完全固结的岩石的崩塌。岩石颗粒分选性好至中等, 分选系数为 0.6~0.76。

沉积微相组合上主要由河道滞留砾岩与点砂坝两个微相组成, 厚 10 cm 至几米。滞留砾石层厚仅几厘米至 20 cm, 底部具明显的冲刷面, 砾石排列杂乱, 分选较差, 不显层理。点砂坝组成河道砂坝序列的主体, 大型板状层理, 中型单斜层理, 水平层理发育。这种河道砂坝的垂向序列代表了砂、砾质粗屑冲积辫状河流的沉积环境, 河道浅而宽。这种向上变深的不对称旋回组成了东河砂岩底部的粗粒岩段, 遍布于区内, 其测井响应表现为起伏大的向上变细的河道充填副层序及不规则叠加的副层序组。

2.2.2 上升与下降半旋回对称的基准面旋回

这类旋回在基准面上升和下降时期形成的沉积记录都保存得比较完整, 从而形成沉积物由粗到细, 再由细到粗的对称沉积旋回。在这种对称的基准面旋回控制下, 沉积体系主要发育河口湾、三角洲以及无障壁海岸沉积体系。

三角洲体系仅只有三角洲前缘相, 进一步可划分出水下分流河道亚相和分流间湾亚相。分流河道亚相以灰色、灰白色的中—细粒、细粒砂岩为主, 垂向上组成向上变细的分流河道充填序列, 序列的底部常见有含细砾的中—细砂岩, 顶部为细砂岩, 粉砂质细砂岩, 并且有绿灰色薄层泥质条带。矿物成熟

度较高, 含较多的暗色矿物, 其分选性能较好—中等, 分流河道砂中大型的斜交层理较发育, 其中有快速堆积而导致的泄水揉皱构造对斜层理的破坏, 在较粗粒的中粗砂岩中发育槽状交错层理。分流间湾是在横穿三角洲沉积体系的地震剖面中根据斜交反射结构地震相中所夹连续性较强的平行反射结构解释的。

研究区塔中 4—塔中 6 井区为河口湾沉积, 河口湾沉积特征为: 沉积物总体较细, 以分选、磨圆较好的细砂和泥质沉积为主, 但由于风暴潮的影响, 沉积物粒度也可以较粗, 甚至形成以砾岩为主的沉积。岩性主要为浅灰色、灰色、绿灰色砾岩、砂砾岩、中砂岩、细砂岩夹灰绿色、深灰色粉砂质泥岩、泥岩; 沉积构造丰富多样, 常见有潮汐环境的透镜状层理、脉状层理、小型波状层理、双向交错层理和河流作用形成的板状斜层理、板状交错层理。此外, 也可以见到低角度冲洗层理、砂纹层理、块状层理、平行层理、水平层理、浪成交错层理、生物扰动构造、生物潜穴和风暴成因的正粒序层理; 垂向结构剖面多显示出垂向加积式的和向上变细的两种沉积序列, 对应的 GR 曲线呈齿化钟形和箱形。

2.2.3 以下降半旋回为主的基准面旋回

以下降半旋回为主的基准面旋回的形成原因是基准面上升期, 物源供给不足, 处于饥饿状态, 表现为无沉积作用, 基准面下降时, 物源供给不断增加, 形成进积序列, 粗粒沉积物不断覆盖在早期相对细粒沉积之上, 从而形成只保存有基准面下降时期沉积记录的下降半旋回。这一阶段主要发育滨岸沉积体系, 具体可分为前滨亚相、上滨面亚相、下滨面亚相及远下滨面亚相。

前滨亚相以灰白色、棕灰色细砂岩, 中—细砂岩为主, 矿物成熟度高, 分选好—较好, 以发育低角度的板状交错层系为特征, 还见有中—小型斜层理及冲刷痕迹等; 上滨面亚相岩性以灰白色、灰褐色的细砂岩为主, 矿物成熟度高, 分选好, 中型斜层理, 槽状交错层理及平行层理非常发育。另外, 受潮汐的影响, 还有含灰绿色泥砾的双向斜层理及大型板状斜层理; 下滨面与远下滨面亚相: 以灰白色、浅灰褐色粉砂质细砂岩为主, 夹有灰色、灰绿色泥质条带, 粉砂岩及薄层粉砂质泥岩, 见有中小型斜层理。而生物扰动、生物钻孔及生物潜穴是该亚相的特征构造, 生物扰动非常强烈。局部完全破坏了原生层理构造, 但在较粗粒的粉砂质细砂岩中(下滨面亚相)扰动更强烈, 而在较细粒粉砂岩(远下滨面)中则主要

以垂直的钻孔及潜穴为主。以上各亚相在垂向上有规律的组合成向上变浅变粗的超短期基准面下降半旋回,这些半旋回又以进积的方式堆叠成短-中期基准面下降半旋回,尤其是在水体较浅的潜山上形成的下降半旋回表现为强烈的进积型。

3 基准面旋回与储层非均质性

塔中围斜区东河砂岩具有较高的成分和结构成熟度,储集物性较好。但是从该区孔隙度(图3)、渗透率分布直方图(图4)中可看出,各井之间物性分布也有一定的差异。顺1井孔隙度成双峰不规则分布;中1、中12、中13井孔隙呈单峰非正态分布,但中1、中12井峰值偏小,中13井峰值位于12-16区间内。塔中4和塔中24井较为相似,孔隙度与渗透率都呈众数偏大值的单峰分布。塔中10井的孔隙度分布为单峰的正态分布,但渗透率呈多峰的不规则分布,孔隙结构复杂。塔中6、塔中35和塔中47井的孔隙度和渗透率分布曲线均呈众数偏小值的单峰非正态分布。而塔中66井的孔隙度和渗透率均呈多峰的非正态分布。这些差异充分说明塔中围斜区东河砂岩的孔隙类型、孔隙结构在不同部位有不同的特征。从孔隙度、渗透率平均值和中值的大小看,从塔中4、塔中24往塔中10和塔中35、塔中47方向,物性逐渐变差,同时在靠近东河砂岩尖灭线方向储层物性逐渐变差。从孔渗数值看从高孔高渗储层到低孔低渗储层在塔中都有发育。

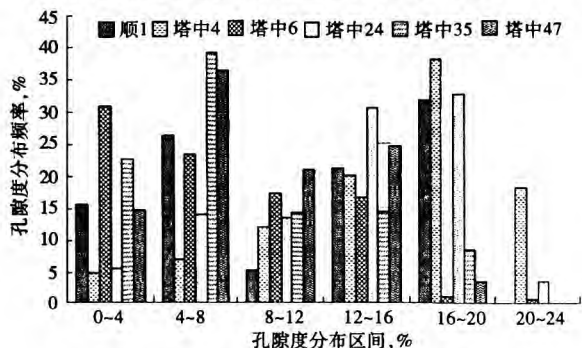


图3 塔中围斜区东河砂岩孔隙度分布

结合基准面旋回变化不难发现,基准面旋回格架控制了沉积环境。沉积环境是控制储集体的形成与分布,影响储层储集性能的宏观因素。由于沉积环境和相带的不同,形成储集岩的类型不同,而不同类型的储集体则由于岩石的成分、粒度、分选及填隙物的差异,储集性能变化很大,因此,沉积环境是控制储层物性的宏观分布及变化的首要因素。由此基准面旋回控制了砂体的沉积,如储集砂体主要分布

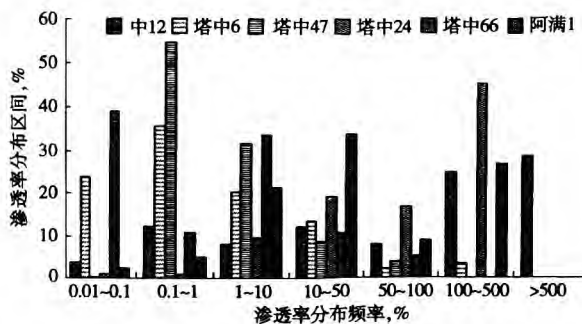


图4 塔中围斜区东河砂岩渗透率分布

在基准面上升初期,而基准面持续上升期沉积物供给减少,水动力条件减弱,泥质含量逐渐增加,沉积泥岩增厚,储层的非均质性增强。同时旋回也对储集砂体的物性也有很大的影响作用,在基准面上升初期水动力条件较强,沉积物粒度较粗,孔隙度与渗透率均较大;在基准面上升末期-下降初期,形成的砂体粒度细,孔隙度和渗透率偏小。

4 结论

基准面识别时短周期基准面旋回界面主要应用露头、岩心、测井相结合综合标定;中周期基准面旋回在露头、岩心、测井标定的基础上,结合地层叠加样式和地层结构才能确定;长周期基准面旋回通过测井曲线标定,在地震剖面上识别,主要标志包括冲刷面、相组合及砂、泥岩厚度旋回性变化。本区可识别出以上升半旋回为主、上升与下降半旋回对称和以下降半旋回为主的3种基准面旋回类型。

塔中围斜上泥盆统东河砂岩划分为5个短期、2个中期以及1个长期基准面旋回。由于基准面旋回变化造成A/S值的变化,导致了沉积物体积分配和相分异作用,使地层堆积样式、相序、相类型及岩石结构发生变化。由此沉积砂体空间叠置形式不同,储层物性发生很大变化。一般来说在中期基准面旋回上升半旋回的下部砂体比较发育,非均质性弱;各中期基准面旋回上升半旋回末期和下降半旋回期泥质沉积较发育,隔夹层层数与厚度明显增大,储层非均质性增强。

参考文献

- 1 邓宏文. 高分辨率层序地层学原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002. 3~13
- 2 易定红,裴明利,田光荣等. 饶阳凹陷大王庄地区古近系沙三段层序地层与成藏条件[J]. 石油地质与工程,2007, 21(5):4~7

(3)油管采用3"油管代替2 1/2"油管,降低了原油与油管和抽油杆的摩擦力,对于超稠油可降低上行负荷和减缓光杆滞后。

(4)泵由φ56/38反馈抽稠泵变为φ56防砂泵。φ56/38反馈抽稠泵虽然下行程有反馈力,可帮助抽油杆下行,但排量系数较小,不利于强排强抽;φ56防砂泵泵径大,排量大(排量系数3.55),可强排强抽,缩短排水期,提高峰值产量。

4 试验前后效果对比

2005年10月,对下二门浅北区块4口试验井T4-2122、T4-2123、T4-2121、T4-2124采取了先期充填防砂、隔热油管注汽、防膨剂油层保护、地层和井筒降粘、机杆泵优化配套等措施后,与措施前相对比,增产效果显著。4口井产油量和油气比都比试验前有大幅度的提高,见表1。

表1 浅北区块先导试验总体生产情况统计

井号	试验前			试验后			累计产油/t
	周期产油量/t	日产油量/t	油气比	周期产油量/t	日产油量/t	油气比	
T4-2121	240.30	4.15	0.17	868.40	9.44	0.65	1 473.90
T4-2122	124.40	1.87	0.06	775.54	5.21	0.63	2 472.30
T4-2123	107.10	1.12	0.02	508.70	4.61	0.40	1 741.50
T4-2124	258.20	3.52	0.19	343.00	3.82	0.35	1 532.30

5 结论和认识

(1)防好砂、注好汽是保证稠油热采开发效果的关键。对于胶结疏松的砂岩油藏必须配套防砂措施才能保证正常生产;对于出砂严重、注汽困难的,应采用挤压充填防砂措施;对于出砂不太严重,有一定注汽能力的,可以采用滤砂管防砂工艺。对于油层较深的稠油油藏,井筒热损失是制约热采效果的瓶颈,必须要用隔热油管注汽,才能保证热采效果。

(2)配套蒸汽计量监测技术,有利于准确分析注汽效果,便于隔热方式优选。

(3)对不同的油藏类型应采用不同的工艺措施。下二门浅北区块前期过多地参照河南油田浅薄层稠油开发的经验,由于地质条件和油层埋深的不同,效果不是很理想,后来根据油藏自身的特点开发出合适的工艺技术,效果得到很大改善。

参考文献

- 郭恩常,刘峰君,郭印龙等.精细油藏描述在改善下二门油田开发效果中的应用[J].河南石油,2006,20(4):25~27
- 汪周华,郭平,孙雷等.油气藏出砂研究现状及其发展趋势[J].特种油气藏,2005,12(4):6~10
- 张毅.采油工程技术新进展[M].北京:中国石化出版社,2005.111~120
- 罗英俊,万仁溥.采油工艺手册(上册)[M].北京:石油工业出版社,2005.792~799
- 谢建军,魏淋生,赵长善等.稠油热采井新型增效技术的现场实践及认识[J].石油地质与工程,2007,21(2):65~68
- 张勇,刑金生,王长在等.大港油田稠油井开采工艺现状及发展趋向[J].特种油气藏,2005,12(6):4~5

编辑:李金华

.....

(上接第10页)

- 刘波.基准面旋回与沉积旋回的对比方法探讨[J].沉积学报,2002,20(1):112~117
- Octavian Catuneanu. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfall[J]. Journal of African Earth Sciences,2002,35:1~43
- 龙国清,邓宏文,刘斌等.宝浪油田三工河组基准面旋回与储层宏观非均质性[J].石油地质与工程,2007,21(2):13~17
- Cross T A. Application of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis[A]. Subsurfaces Reservoir Characterization from Outcrop Observations Proceedings of the 7th E&P Research Conference[C]. Paris: Tec-

- chni,1993.11~33
- 靳松,朱筱敏,钟大康.基准面旋回对储层宏观非均质性的控制—以胡状集油田沙三中6-8油层组为例[J].西安石油大学学报(自然科学版),2005,20(3):48~52
- 雷燕平,林畅松,刘景彦等.海拉尔盆地贝尔凹陷下白垩统层序地层与沉积体系分析[J].石油地质与工程,2007,21(5):11~15
- 王军,郑浚茂,张俊峰等.卫城油田沙四下段冲积-河流相层序地层划分[J].石油地质与工程,2006,20(5):10~12

编辑:吴官生