文章编号: 1009-3850(2002)01-0035-05

测井曲线在地层基准面旋回划分中的应用

段秋梁1,陈永进2,陈国强3,冯庆忠3,赵翠霞3,梁秀光3

(1. 中国科学院 地质与地球物理研究所,北京 100101; 2. 中国地质大学,北京 100083; 3.
 胜利油田河口采油厂地质研究所,山东 东营 257200)

摘要:利用视电阻率测井曲线的周期性对渤南油田沙三段中上部地层进行地层基准面旋回的划分对比后发现:该 旋回界面与地层基准面由上升到下降期间可容纳空间单向增加的极限位置基本一致;地层基准面旋回的划分与测 井分析相结合可以进行储层。特别是高渗透储层预测。

关键 词:测井曲线; 地层基准面旋回; 储层物性; 沙三段; 渤南油田中图分类号: TE121.3文献标识码: A

1 概述

渤南油田位于济阳坳陷沾化凹陷中部的渤南洼 陷内,该洼陷东邻北洼陷及弧岛凸起,南为罗家鼻状 构造,西为四扣洼陷,为古近纪发育起来的箕状断陷 盆地。 渤南油田的含油面积为75.8km²,含油 11887×10⁴t,是济阳坳陷内八大油气田之一,也是 最大的低渗透油田之一。主要含油层系是古近系沙 河街组二段、三段,其中沙三段中上部的0~9 砂层 组是主要含油砂层组。

高分辨率层序地层学是层序地层学的一个重要 分支,它强调了地层基准面变化对沉积作用的控制。 该方法以岩心、三维露头、测井和高分辨率地震反射 剖面为基础,应用精细的层序划分和对比技术来建 立成因地层骨架,目的在于提高层序地层分析的分 辨率和储层的预测精度^[1]。杨家福等(1990)已经 对渤南油田沙三段中上部0~9 砂层组的浊流沉积 特征进行了总结^[2]。笔者拟应用高分辨率层序的 分析方法,以电测井(视电阻率、自然电位)曲线为研 究对象,对该段地层进行地层基准面旋回分析。

2 高分辨率层序地层分析

2.1 旋回划分与界面特征

虽然视电阻率测井曲线不同程度地受到井眼、 泥浆侵入及围岩的影响,但它的周期性仍然是沉积 旋回韵律性的反映。而层序结构、层序叠加样式与 可容纳空间/沉积物补给通量(A/V比值)变化之间 有着密切的关系[3],因而测井曲线的周期性也间接 地反映了地层基准面的变化历程。通过对渤南油田 沙三段视电阻率测井曲线的地层基准面旋回划分与 对比,同时结合综合录并图、岩心观测等资料,发现 这种旋回界面具有以下特点:①为一电性突变面,其 中中长期基准面旋回表现更为明显;②为一岩性界 面,其中中、长期基准面旋回一般为砾岩与泥岩的接 触面,而短期基准面旋回多为中粗粒砂岩与泥岩、粉 砂岩的接触面:③各级地层基准面旋回内部由下而 上粒度由粗到细的变化是对地层基准面上升过程中 的沉积响应,因而该界面也代表了可容纳空间单向 增加的极限位置,与时间地层对比的优选位置^[4]基 本一致。

36

根据以上地层基准面旋回的划分原则,将渤南 油沙三段中上部的地层划分为两个长期基准面旋回 (LSC1~2)和9个中期基准面旋回(MSC1~9) (图 1),其中LSC1和LSC2分别与7~9和0~6砂层 组大致相当。在LSC1内部的MSC1和MSC2的下部 又可进一步细分为14个短期基准面旋回,其中 MSC1由SSC1~7组成(图 2)。



图 1 沙三段中上部中、长期基准面旋回综合划分图

1. 砾岩; 2. 含砾砂岩; 3. 砂岩; 4. 粉砂岩; 5. 钙质砂岩; 6. 白云质砂岩; 7. 白云质泥岩; 8. 泥岩; 9. 钙质泥岩; 10. 油泥岩; 11. 含油砂岩; 12. 地层 基准面上升半旋回; 13. 地层基准面下降半旋回

Fig. 1 Synthetic division of the medium- and long-term base level cycles in the middle and upper parts of the third member of the Shahejie Formation

1= conglomerate; 2= gravelly sandstone; 3= sandstone; 4= silt; 5= calcareous sandstone; 6= dolomitic sandstone; 7= dolomitic mudstone; 8= mudstone; 9= calcareous mudstone; 10= oil mudstone; 11= oil bearing sandstone; 12= stratigraphic base-level rise half-cycles; 13= stratigraphic base-level fall half-cycles



图 2 Y5-36 井一 Y5-2-6 井沉积倾向短期基准面旋回对比图 a. 油层; b. 油水同层 c. 干层; d. 水层; e. 泥岩; f. MSC 界线; g. SSC 界线; h. SSC 编号

Fig. 2 Correlation of long-term base-level cycles in Y5-36 and Y5-2-6 wells

a=oil bed; b=oil-water bed; c=dry bed; d= water bed; e= mudstone; f=MSC boundary; g=SSC boundary; h=SSC number

对研究区内 Y5-0-01, Y5-0-02, Y5-5-02, Y6-4-4 和Y6-8-12等20多口井的中期基准面旋回的划分对 比表明:中期基准面旋回厚32.7~75.6m,可在整个 洼陷内部追踪对比。在长期基准面旋回内部,下部 的两个中期基准面旋回的底部一般有砾岩沉积,含 砂率大于40%;视电阻率曲线以高阻旋回为特征,测 井相多为锯齿状箱型、箱型和钟型。而上部的2~3 个中期基准面旋回底部砾岩不发育,含砂率一般小 于20%;视电阻率曲线多为低阻旋回,测井相多为圣 诞树型、钟型和指状。

从短期基准面旋回的划分中发现,旋回厚度一 般为8~12m,分布范围较小,仅可在浊积扇内部追 踪对比。从油田中部的短期基准面旋回对比图可看 出(图2),MSC1下部的SSC1~3在北部的Y5-1-4-Y5-2-6井一带较薄,而SSC4~6的变化与之正好相 反。SSC7在全区较为稳定,为湖相泥岩沉积。 MSC2与MSC1的变化基本一致,唯SSC8~9的向源 (SSE)上超现象更为明显。电测井曲线特征为:下 部的SSC1~3(SSC8~10)的视电阻率相对较小,测 井相为锯齿状箱型、圣诞树型;而中部的SSC4~5 (SSC11~12)的视电阻率相对较大,测井相多为箱型;顶部的SSC6~7(SSC13~14)视电阻率波动较大,测井相多为钟形。经过对Y65-4-2井岩心的观测及短期基准面旋回划分的短期基准面旋回一般由4~6个总体向上变细的完整或不完整的鲍马序列组成(图3)。下部的SSC1~2一般发育块状层理和粒序层理;SSC3出现平行层理和波纹层理等;SSC4~5发育平行层理,局部出现交错层理;SSC6以后湖相沉积逐渐占据优势。各短基准面旋回由下而上粒度总体上由粗变细,与中、长期地层基准面旋回下部砂体较发育相对应。

3 储层特征

在长期基准面旋回内部各中期基准面旋回之间 的砂体发育程度存在着较大差异。下部的两个中期 基准面旋回内部发育的砂体一般具有层数少、单层 厚度大、砂体累厚大的特点;而中上部的2~3 个中 期基准面旋回则与之正好相反。现以LSC1为例来 说明, MSC1~2一般发育1~3 层厚度在10m以上且 分布稳定的砂体, 砂体平均累积厚度一般大于30m, 最大厚度可达45m以上;而上部的MSC3~4内部一 般发育2~5层厚度一般在5~10m之间且分布较不 稳定的砂体,砂体平均累积厚度一般小于25m。从 发育空间上来说,MSC1的砂体主要发育于研究区 的南部,MSC2的砂体向北略有迁移,MSC3的砂体 明显的向南东向迁移,MSC4的砂体仅发育于研究 区的南缘地带。



图 3 Y65-4-2 井短期基准面旋回图

 含砾砂岩; 2. 砂岩; 3. 粉砂岩; 4. 砂质泥岩; 5. 粉砂质泥岩; 6. 递 变层理; 7. 块状层理; 8. 交错层理; 9. 平行层理; 10. 波纹层理; 11. 含油砂岩; 12. 鲍玛序列

Fig. 3 Division of the short-term base-level cycles in MSC1 of the Y65-4-2 well

1= gravelly sandstone; 2= sandstone; 3= siltstone; 4= sandy mudstone; 5= silty mudstone; 6= graded bedding; 7= massive bedding; 8= cross-bedding; 9= parallel bedding; 10= ripple lamination; 11= oil-bearing sandstone; 12= Bouma sequence 在中期基准面旋回内部的砂体主要发育于中下 部(图1),在空间上也具有明显的迁移性,现以 MSC1为例来说明:SSC1~3的砂体主要发育于研 究区的西北部,SSC4~5发育于南部,而SSC6仅在 南部边缘有薄层砂体分布,SSC7则基本无砂体。 中、长期地层基准面旋回内部砂体发育的这种垂向 差异性,反映了在地层基准面由下降到上升变化过 程中,A/S比值也发生了由小于或等于1向远大于1 的周期性变化。

3.2 储层物性特征

渤南油田沙三段中上部储层岩性主要为中、细 粒砂岩,胶结方式以接触式、孔隙式胶结为主,颗粒 以次棱角-次圆状为主。以中期基准面旋回 2 (MSC2)为例来说明岩石学的构成特征,石英含量 为40.5%~42.3%,长石含量为34.7%~36.5%,岩 屑含量为22.3%~24.7%,垂向上各短期基准面旋 回之间差异不大。唯填隙物在垂向变化较为明显, 在SSC11~12中为8.9%~9.3%,由下而上具有明 显的减小趋势。

储层的孔隙类型以原生粒间孔为主。对中期基 准面旋回2(MSC2)下部各短期基准面旋回8~12 (SSC8~12)的储层物性统计表明:下部的SSC8~10 的孔隙度为14.4%~15.8%,渗透率为(5.4~6.7) ×10⁻³ μ m²,由下而上孔隙度虽略有增加,但渗透率 却显著增大。造成垂向上这种物质成分、储层物性 差异的根本原因在于SSC11~12形成期间相对稳定 的湖平面与适中的碎屑物质供应速率使辫状水道微 相得以充分发育¹³。

4 讨论

(1)砂岩储层主要位于中期基准面旋回的下部, 其中又以长期基准面旋回下部的两个最好,在空间 上主要发育于研究区的中南部;而高渗透层段在时 间上位于中期基准面旋回中部,在空间上位于研究 区东南部。

(2)稳定砂岩发育层段和高渗透率储层发育层段分别与锯齿状箱形-箱形、箱形的测井相相对应, 说明了在基准面旋回划分的基础上结合测井相分析可进行储层的分布预测。

(3) 视电阻率测井曲线的周期性可以用来划分 地层基准面旋回, 且这种旋回的界面与地层基准面 由上升到下降的转折点的优选位置基本对应。

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
 [1].石油与天然气地质,1995,16(2):89-97.
- [2] 杨家福,孙仲珂,袁向春,等. 渤南油中田沙三段沉积相和储层研究[J]. 石油学报, 1990, 11(4): 77-87.
- [3] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动 力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369-375.
- [4] 邓宏文, 王洪亮, 李熙 . 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177-184.
- [5] 段秋梁,武法东,陈建渝,等.渤南油田9砂层组高分辨率层序 特征及其沉积演化[J].现代地质,2001,15(1):83-87.

Applications of well logs to the division of stratigraphic base-level cycles

DUAN Qiu-liang¹, CHEN Yong-jin², CHEN Guo-qiang³, FENG Qing-zhong³, ZHAO Cuixia³, LIANG Xiu-guang³

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Geological Institute of Hekou Oil Extraction Factory, Shengli Oil Field, Dongying 257200, Shandong, China)

Abstract: The Bonan Oil Field located in the Jiyang depression, Shandong is the greatest oil field of low permeability in the depression. The oil-bearing rock series are mostly made up of the second and third members of the Paleogene Shahejie Formation in the Bonan oil field, of which 0—9 sandstone beds in the middle and upper parts of the third member have been well documented, and may be divided into hierarchical stratigraphic base-level cycles by using apparent resistivity curves. The interfaces between these base-level cycles are consistent with those divided by increasing limits of accommodation. The findings in this study may provide an important basis for the prediction of the distribution of reservoirs, especially the highly permeable reservoirs.

Key words: well logs; stratigraphic base-level cycle; reservoir property; third member of the Shahejie Formation; Bonan Oil Field